



**HİBRİT (GÜNEŞ PANELİ / RÜZGAR TÜRBİNİ) ENERJİ  
SİSTEMİ DESTEKLİ ENDÜSTRİYEL TİP BİR KURUTUCUNUN  
TASARIMI VE PERFORMANSI**

**ONUR TAŞKIN**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT (GÜNEŞ PANELİ / RÜZGAR TÜRBİNİ) ENERJİ  
SİSTEMİ DESTEKLİ ENDÜSTRİYEL TİP BİR KURUTUCUNUN  
TASARIMI VE PERFORMANSI**

**ONUR TAŞKIN**

Prof. Dr. Ali VARDAR  
(Danışman)

Doç. Dr. Nazmi İZLİ  
(İkinci Danışman)

DOKTORA TEZİ  
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2018  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Onur TAŞKIN tarafından hazırlanan “Hibrit (Güneş Paneli / Rüzgar Türbini) Enerji Sistemi Destekli Endüstriyel Tip Bir Kurutucunun Tasarımı ve Performansı” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/~~oy çokluğu~~ ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Ali VARDAR

**İkinci Danışman:** Doç. Dr. Nazmi İZLİ

**Başkan:** Prof. Dr. Ali VARDAR  
Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

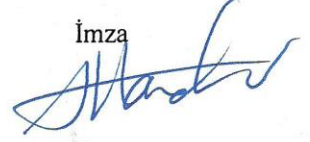
**Üye:** Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ  
Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye:** Prof. Dr. Bülent EKER  
Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye:** Doç. Dr. Ferhat KURTULMUŞ  
Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Hakan POLATCI  
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

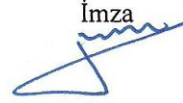
İmza



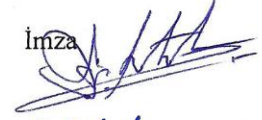
İmza



İmza



İmza



İmza



Yukarıdaki sonuç onaylarım



Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

05.11.2018

**B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

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

**beyan ederim.**

05/11/2018

Onur TAŞKIN

## ÖZET

Doktora Tezi

### HİBRİT (GÜNEŞ PANELİ / RÜZGAR TÜRBİNİ) ENERJİ SİSTEMİ DESTEKLİ ENDÜSTRİYEL TİP BİR KURUTUCUNUN TASARIMI VE PERFORMANSI

**Onur TAŞKIN**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Ali VARDAR  
**İkinci Danışman:** Doç. Dr. Nazmi İZLİ

Yapılan bu tez çalışması kapsamında hibrit (güneş paneli / rüzgar türbini) enerji sistemi destekli endüstriyel tip bir kurutucunun tasarımı, üretimi ve performans denemeleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen kurutucu farklı işletme koşulları altında çalıştırılmıştır. Denemeler esnasında kurutma performansının araştırılması amacıyla üç farklı kurutma havası sıcaklığı (50, 60 ve 70 °C) ve iki farklı kurutma havası hızının (3 ve 4 m/s) mısır ve bezelye üzerindeki enerji tüketimi, kuruma zamanı, renk ve rehidrasyon özelliklerine etkileri incelenmiştir.

Mısır kurutma denemeleri 02.09.2015 ile 19.09.2015 tarihleri arasında yapılmış ve kuruma süreleri boyunca gerekli toplam enerji tüketiminin %23,00 - %9,81'i güneş enerjisinden, %2,17 - %0,77'si ise rüzgar enerjisinden karşılanmıştır. Özgül enerji tüketim değerlerinin 0,62 ile 1,22 kWh/kg<sub>su</sub>°C arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kurutma süresine göre mısır denemelerinin 340 ile 565 dakika arasında sürdüğü belirlenmiştir. Renk parametrelerinden sarılık değerleri incelendiğinde taze örnekler 44,54±1,72 olarak ölçülürken, en düşük değer 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları sonucunda 35,14±1,16 ve en yüksek değer 42,77±0,49 olarak 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında bulunmuştur. Rehidrasyon kapasitesinin 1,23±0,49 - 1,38±0,08 arasında artan kurutma sıcaklığı ve hava hızı ile yükseldiği sonucuna varılmıştır.

Bezelye kurutma denemeleri 01.07.2016 ile 14.07.2016 tarihleri arasında gerçekleştirilmiş ve kuruma süreleri boyunca gerekli toplam enerji tüketiminin %20,74 - %9,84'i güneş enerjisinden, %2,01 - %0,85'si ise rüzgar enerjisinden karşılanmıştır. Özgül enerji tüketim değerlerinin 0,41 ile 0,88 kWh/kg<sup>su</sup>°C arasında olduğu belirlenmiştir. Kurutma süresine göre bezelye denemeleri 360 ile 600 dakika arasında değişmiştir. Yeşil renk değerleri incelendiğinde taze örnekler  $-5,69 \pm 0,02$  olarak ölçülürken, en düşük değer 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları sonucunda  $-2,51 \pm 0,57$  ve en yüksek değer  $-0,15 \pm 0,10$  olarak 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında tespit edilmiştir. Rehidrasyon kapasitesinin  $1,23 \pm 0,49$  -  $1,38 \pm 0,08$  arasında olduğu ancak istatistiksel analizde denemeler arasındaki farkın önemsiz olduğu belirlenmiştir ( $p < 0,05$ ).

Geliştirilen kurutucu ile yapılacak uygulamalardan önce çalışılacak bölgenin iklimsel değerlerini bilmek, kurutulacak ürüne uygun kurutma sıcaklığını ve hava hızı seçimi doğru tespit etmek, kurutma işlemi için harcanacak zamanı ve tüketilecek enerjiyi doğrudan etkileyecektir. Ayrıca kaliteli nihai ürün elde etmek için birçok parametreyi (renk, rehidrasyon vb.) birlikte dikkate almak oldukça önemli olacaktır. Sonuç olarak kurutma süreleri boyunca tüketilen enerjinin tamamı güneş ve rüzgar enerjilerinden karşılanamamış olsa da sistemin şebeke bağlantılı çalıştırılması ile sürekli elektrik üretmesi ve tüketimin tamamının mahsuplaşma sonucu karşılanabileceğini göstermektedir. Ayrıca geliştirilen kurutucunun diğer birçok tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılabileceği öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, kurutma, mısır, bezelye  
**2018, x + 102 sayfa.**

## ABSTRACT

PhD Thesis

DESIGN and PERFORMANCE of a HYBRID (SOLAR PANEL / WIND TURBINE)  
ENERGY SYSTEM ASSISTED INDUSTRIAL TYPE DRYER

**Onur TAŞKIN**

Bursa Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Biosystems Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Ali VARDAR  
**Second Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Nazmi İZLİ

Within this thesis; design, production and performance experiments of hybrid (solar panel / wind turbine) energy system assisted industrial type dryer were applied. The developed dryer was operated under different operating conditions. The effects of three different drying air temperatures (50, 60 and 70 °C) and two different drying air velocities (3 and 4 m/s) on drying time, energy consumption, color and rehydration properties of maize and peas were investigated.

Maize drying experiments were conducted between 02.09.2015 and 19.09.2015. Between 23.00% - 9.81% and 2.17% - 0.77% of the total energy consumption was met by solar and wind energy during the drying times, respectively. It was determined that the specific energy consumption values varied between 0.62 and 1.22 kWh/kgwater°C. According to the drying time, the maize experiments took between 340 and 565 minutes. When yellowness color values were examined, fresh samples were measured as  $44.54 \pm 1.72$ . The lowest value was found of drying conditions of 50 °C and airspeed of 3 m/s with  $35.14 \pm 1.16$  and the highest value was  $42.77 \pm 0.49$  at 70 °C and 4 m/s air velocity drying conditions. It was concluded that the rehydration capacity was between  $1.23 \pm 0.49$  -  $1.38 \pm 0.08$  and increased with the increasing drying temperature and air velocity.

Peas drying experiments were conducted between 01.07.2016 and 14.07.2016. Between 20.74% - 9.84% and 2.01% - 0.85% of the total energy consumption was met by solar and wind energy during the drying times, respectively. It was determined that the specific energy consumption values varied between 0.41 and 0.88 kWh/kgwater°C. Drying times were changed between 360 and 600 minutes. The greenness color values were examined and fresh samples were found as  $-5.69 \pm 0.02$ . The lowest and highest values were determined with 50 °C and airspeed of 3 m/s drying conditions ( $-2.51 \pm 0.57$ ) and 70 °C and 4 m/s air velocity drying conditions ( $-0.15 \pm 0.10$ ), respectively. The rehydration capacity was found between  $1.23 \pm 0.49$  -  $1.38 \pm 0.08$ , but the difference between the experiments in the statistical analysis was not significant ( $p < 0.05$ ).

To know the climatic values of the region and to select proper drying temperature and air velocity will directly affect the drying time and the energy consumption of developed dryer. It would be also significant to consider several parameters (color, rehydration, etc.) together to obtain a high-quality final product. As a conclusion, although the energy consumption during drying periods was not met by solar and wind energy, it has to known that the system can generate continuous electricity by grid-connected operation and all consumption can be met by feed-in-tariff. In addition, the developed dryer can be used for drying many other agricultural products.

**Key Words:** Solar energy, wind energy, drying, maize, pea

**2018, x + 102 pages.**



## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sırasında, bilgi ve tecrübeleriyle bana her zaman destek olan başta danıőmanlarım Prof. Dr. Ali VARDAR ve Doç. Dr. Nazmi İZLİ'ye, tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Bülent EKER, Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ ve merhum Prof. Dr. Eőref IŞIK ile çalıőmalarım esnasında yardımcı olan Emre COŞKUN, Yalçın SARIKAYA, Muhammet KIR ve Orhan Macit SÜZEN'e en içten duygularımınla teşekkür ederim.

Ayrıca bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan annem, babam ve kardeőim ile bana her zaman yardımcı olan eőim Elif Gamze TAŞKIN ve moral veren kızım Zeynep Alya TAŞKIN'a teşekkür ederim.

Son olarak, bu doktora çalışmasına verdikleri maddi destekten dolayı Bursa Uludağ Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teőekkürlerimi sunarım (Proje No: OUAP(Z)-2014/20).

Onur TAŞKIN

05/11/2018

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. Kurutma .....	4
2.1.1. Kurutma sürecinin temelleri .....	4
2.1.2. Kurutma sırasında meydana gelen değişimler .....	5
2.1.3. Kurutma kinetiği .....	5
2.1.4. Denge nem içeriği .....	7
2.1.5. Isı ve kütle değişimi .....	7
2.2. Fotovoltaik Enerji Teknolojisi .....	8
2.3. Rüzgar Enerji Teknolojisi .....	11
2.4. Enerji Kaynakları ve Potansiyeli.....	12
2.5. Önceki Çalışmalar.....	17
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	35
3.1. Bitkisel Materyal.....	35
3.2. Yöntem .....	35
3.2.1. Kurutucunun tasarımı, imalatı ve teknik özellikleri .....	35
3.2.2. Enerji üretim ile tüketiminin ölçüm ve hesaplanması .....	44
3.2.3. Özgül enerji tüketimi değerinin hesaplanması .....	49
3.2.4. Renk değerlerinin belirlenmesi ve hesaplanması .....	49
3.2.5. Rehidrasyon değerlerinin belirlenmesi ve hesaplanması .....	51
3.2.6. İklimsel koşulların ölçümü .....	52
3.2.7. Verilerin değerlendirmesi.....	55
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	56
4.1. Mısır Kurutma .....	56
4.1.1. İklimsel veriler .....	56
4.1.2. Kurutma performansı .....	60
4.1.3. Enerji üretimi ve tüketimi.....	62
4.1.4. Özgül enerji tüketimi .....	67
4.1.5. Renk değerleri .....	68
4.1.6. Rehidrasyon değerleri.....	72
4.2. Bezelye Kurutma.....	73
4.2.1. İklimsel veriler .....	73
4.2.2. Kurutma performansı .....	78
4.2.3. Enerji üretimi ve tüketimi .....	79
4.2.4. Özgül enerji tüketimi .....	84
4.2.5. Renk değerleri .....	86
4.2.6. Rehidrasyon değerleri.....	90
5. SONUÇ .....	92
KAYNAKLAR .....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	101

## SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
°C	: Santigrat derece
kJ	: Kilo Joule
g	: Gram
K	: Kelvin
m	: Metre
sn	: Saniye
W	: Watt
kWh	: Kilowatt saat
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
m <sup>3</sup>	: Metreküp
kW	: Kilowatt
V	: Volt
cm	: Santimetre
<i>P</i>	: Güç
$\eta$	: Güneş pilinin verimi
ha	: Hektar
sa	: Saat
h°	: Hue açısı
C	: Kroma değeri

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
y.b.	: Yaş baz
k.b.	: Kuru baz
PV	: Fotovoltaik
sc-Si	: Tek kristalli
mc-Si	: Çok kristalli
c-Si	: Kristal silikon
DC	: Doğru akım
AC	: Alternatif akım
RK	: Rehidrasyon kapasitesi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Nem içeriği - zaman ve kuruma hızı - nem içeriği .....	6
Şekil 2.2. Gıda ürünleri döngüsü .....	7
Şekil 2.3. Kurutma sırasındaki ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi .....	8
Şekil 2.4. Güneş paneli çalışma prensibi .....	9
Şekil 2.5. Yaygın kullanılan panel çeşitleri .....	10
Şekil 2.6. Rüzgar türbini çalışma prensibi .....	11
Şekil 2.7. Yaygın kullanılan rüzgar türbini çeşitleri .....	12
Şekil 2.8. Dünya enerji tüketimi .....	13
Şekil 2.9. Dünya yenilenebilir enerji gelişimi .....	14
Şekil 2.10. Dünya tarımında enerji kullanımı .....	14
Şekil 2.11. Türkiye birincil enerji tüketimin dağılımı .....	15
Şekil 2.12. Türkiye yenilenebilir enerji gelişimi .....	15
Şekil 2.13. Türkiye tarımında enerji kullanımı .....	15
Şekil 3.1. Tasarlanan prototip kurutucuya ait çizimler .....	36
Şekil 3.2. Yan görünüş .....	37
Şekil 3.3. İç düzenek ve kapak görünüşü .....	38
Şekil 3.4. Hareket motoru ve hava iletim kanalı .....	39
Şekil 3.5. Arka görünüş .....	40
Şekil 3.6. Hava çıkış kanalı ve rüzgar türbini .....	41
Şekil 3.7. Bataryalar .....	42
Şekil 3.8. Genel görünüş .....	43
Şekil 3.9. Fan ve ısıtma üniteleri .....	44
Şekil 3.10. Elektrik panosu .....	45
Şekil 3.11. Hibrit enerji panosu .....	46
Şekil 3.12. Elektrik devresi .....	47
Şekil 3.13. Meteoroloji istasyonu .....	54
Şekil 3.14. Loggernet programı ekran görüntüsü .....	55
Şekil 4.1. 07.09.2015 ve 19.09.2015 tarihleri iklimsel verileri .....	57
Şekil 4.2. 06.09.2015 ve 17.09.2015 tarihleri iklimsel verileri .....	57
Şekil 4.3. 05.09.2015 ve 16.09.2015 tarihleri iklimsel verileri .....	58
Şekil 4.4. 04.09.2015 ve 11.09.2015 tarihleri iklimsel verileri .....	59
Şekil 4.5. 03.09.2015 ve 10.09.2015 tarihleri iklimsel verileri .....	59
Şekil 4.6. 02.09.2015 ve 09.09.2015 tarihleri iklimsel verileri .....	60
Şekil 4.7. Nem - zaman ilişkisi .....	61
Şekil 4.8. 07.09.2015 ve 19.09.2015 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi .....	63
Şekil 4.9. 06.09.2015 ve 17.09.2015 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi .....	64
Şekil 4.10. 05.09.2015 ve 16.09.2015 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi .....	64
Şekil 4.11. 04.09.2015 ve 11.09.2015 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi .....	65
Şekil 4.12. 03.09.2015 ve 10.09.2015 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi .....	66
Şekil 4.13. 02.09.2015 ve 09.09.2015 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi .....	66
Şekil 4.14. Enerji tüketim değerleri .....	67
Şekil 4.15. Özgül enerji tüketim değerleri .....	68
Şekil 4.16. Renk analizinde ölçülen $L^*$ değerleri .....	69
Şekil 4.17. Renk analizinde ölçülen $a^*$ değerleri .....	69
Şekil 4.18. Renk analizinde ölçülen $b^*$ değerleri .....	70
Şekil 4.19. Renk analizinde hesaplanan $C$ değerleri .....	71

Şekil 4.20. Renk analizinde hesaplanan $h^{\circ}$ değerleri .....	71
Şekil 4.21. Renk analizinde hesaplanan $BI$ değerleri .....	71
Şekil 4.22. Renk analizinde hesaplanan $\Delta E$ değerleri .....	72
Şekil 4.23. Rehidrasyon kapasitesi değerleri .....	72
Şekil 4.24. 08.07.2016 ve 14.07.2016 tarihleri iklimsel verileri .....	74
Şekil 4.25. 06.07.2016 ve 13.07.2016 tarihleri iklimsel verileri .....	75
Şekil 4.26. 04.07.2016 ve 12.07.2016 tarihleri iklimsel verileri .....	75
Şekil 4.27. 03.07.2016 ve 11.07.2016 tarihleri iklimsel verileri .....	76
Şekil 4.28. 02.07.2016 ve 10.07.2016 tarihleri iklimsel verileri .....	77
Şekil 4.29. 01.07.2016 ve 09.07.2016 tarihleri iklimsel verileri .....	77
Şekil 4.30. Nem - zaman ilişkisi .....	78
Şekil 4.31. 08.07.2016 ve 14.07.2016 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi .....	81
Şekil 4.32. 06.07.2016 ve 13.07.2016 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi .....	81
Şekil 4.33. 04.07.2016 ve 12.07.2016 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi .....	82
Şekil 4.34. 03.07.2016 ve 11.07.2016 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi .....	83
Şekil 4.35. 02.07.2016 ve 10.07.2016 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi .....	83
Şekil 4.36. 01.07.2016 ve 09.07.2016 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi .....	84
Şekil 4.37. Enerji tüketim değerleri .....	85
Şekil 4.38. Özgül enerji tüketim değerleri .....	86
Şekil 4.39. Renk analizinde ölçülen $L^*$ değerleri .....	87
Şekil 4.40. Renk analizinde ölçülen $a^*$ değerleri .....	87
Şekil 4.41. Renk analizinde ölçülen $b^*$ değerleri .....	88
Şekil 4.42. Renk analizinde hesaplanan $C$ değerleri .....	89
Şekil 4.43. Renk analizinde hesaplanan $h^{\circ}$ değerleri .....	89
Şekil 4.44. Renk analizinde hesaplanan $BI$ değerleri .....	89
Şekil 4.45. Renk analizinde hesaplanan $\Delta E$ değerleri .....	90
Şekil 4.46. Rehidrasyon kapasitesi değerleri .....	90

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Dikey eksenli rüzgar türbini teknik özellikleri .....	40
Çizelge 3.2. Batarya teknik özellikleri .....	42
Çizelge 3.3. Güneş panelleri teknik özellikleri .....	43
Çizelge 3.4. İnvörtör teknik özellikleri .....	47
Çizelge 3.5. Piranometre teknik özellikleri .....	52
Çizelge 3.6. Pirheliometre teknik özellikleri .....	52
Çizelge 3.7. Güneşlenme süresi ölçer teknik özellikleri .....	52
Çizelge 3.8. Sıcaklık ölçer teknik özellikleri .....	53
Çizelge 3.9. Nem ölçüm cihazı teknik özellikleri .....	53
Çizelge 3.10. Anemometre teknik özellikleri .....	53



## 1. GİRİŞ

Ülkemiz mevcut fosil kaynakları itibarıyla kısıtlı enerji kaynaklarına sahip durumdadır. Ayrıca gerek karbondioksit salınımındaki kısıtlamalar gerekse tükenmezliği, temizliği ve sürdürülebilirliği nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artarak devam etmektedir. Ülkemizin sahip olduğu yüksek yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin sanayide ve tarımda kullanılması ile artacak enerji talebimiz karşılanabilecektir.

Yenilenebilir enerji; güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal ve biyokütle'ye (yakacak odun, hayvan atıkları ve sobada yanabilen bitki artıkları vd.) dayalı modern teknolojileri ifade etmektedir (Martinot ve ark. 2002). Yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ilkel olarak dünyanın enerji talebinin daha fazlasını karşılayabilir (Herzog ve ark. 2001). Ancak bu kaynakların iklimsel koşullara bağımlılık hususu, üretilen güç ile yük talebinin değişimi ve uyum sağlayamaması olasılığını ortaya çıkartmaktadır. Bu değişken yapılarından oluşan sorunlar, hibrit sistemlerin kullanımı ile çözülebilmektedir.

Yenilenebilir enerjiye dayalı hibrit uygulamalarda en fazla tercih edilen enerji kaynakları rüzgar ve güneş enerjileridir. Bu uygulamalarda; gerek güneş gerekse rüzgar enerjisinin sürekli etkin bir kaynak olarak çalışmaması sorununa çözüm olarak birlikte kullanılmasıyla günün büyük bir bölümünde kesintisiz enerji elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu nedenle son yıllarda, hibrit sistemlerin optimizasyonu, performans analizi ve entegrasyonu konularında yoğun araştırmalar söz konusudur (Aktacir ve ark. 2008).

Enerji tüketimi yoğun bir işlem olan tarımsal ürünlerin kurutulmasında da etkin enerji kullanımına sahip süreçlerin geliştirilmesinde önem arz etmektedir. Kapalı sistemlerde yapılan kurutma işlemlerinde konvansiyonel yakıt kullanımı yüksek maliyetler ortaya çıkarmaktadır. Oransal olarak gıda ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında enerji maliyeti toplam maliyetin %12'sine ulaşmaktadır (Aktelli 2010). Yenilenebilir enerjileri kullanan kurutucu sistemler ise giderek daha yaygın hale gelmektedir. Bu sistemlere ek

olarak uygulamada yakıt veya elektrikle çalışan sistemler de bulunmaktadır. Aksi halde, kurutma işleminde yaşanabilecek kesiklilikler ürünün doğru kurutulmamasına ve dolayısıyla ürünün bozulmasına sebep olabilmektedir (Atalay 2010).

Endüstriyel bir süreç olan kurutma işleminde asıl amaç, tarım ürünlerinde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların gelişmesini durdurmak ve üreyemeyeceği bir orana indirilmesini sağlamaktır. Ayrıca uzun süre muhafaza edilmesine olanak sağlayarak ve ürünün piyasaya uygun şartlarda sürülmesi yardımcı olmaktadır (Aktelli 2010). Son on yılda, işlenmiş ürünlerin pazar payı istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Dünyada ticareti yapılan kurutulmuş işlenen sebzelerin ise %97-98'i kontrollü koşullarda sıcak hava ile kurutulmaktadır. Sıcak hava ile kurutulmuş bu sebzeler üstün kaliteli ve tüketilmeye hazır durumdadırlar. Hijyenik koşullarda ürünler üretmek için gelişmiş teknoloji ve üretim yöntemlerinin de kurutma işlemlerine uygulanması zorunlu görülmektedir. Bu da kurutma tesis ve sistemlerinin gerekliliğine ve artırılmasına bir işarettir (Çakmak 2007).

Önemli tarım ürünlerinden kabul edilen ve hem Türkiye'de hem de dünyada yaygın olarak üretilmekte ve tüketilmekte olan mısır ve bezelye düşük maliyetli olup yüksek besin özelliklerine sahiptir. Bu önemli ürünler ancak doğru işlenmesi durumunda uzun süre depolanabilir (Tunaboyu 2011). Raf ömrünü uzatmak için işlenen ürünlerin yapısal bütünlüğün bozulması, besin maddelerinin kaybı ya da kimyasal değişiklikler gibi sonuçlara maruz kalmaması için farklı işleme yöntemlerinin incelenmesi arzu edilmektedir (Murcia ve ark. 2009).

Mısır, binlerce yıldan beri tarımı yapılan birkaç ender bitkiden biridir. Mısırdan insan gıdası, hayvan yemi, yağ, nişasta ve biyo-yakıt olarak faydalanılması ve hemen hemen tüm ülkelerde yetiştirilebilmesi sebebiyle bu bitkiye olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Birim alan veriminin de buğday ve arpadan iki kat daha yüksek olması mısır bitkisini dünyada en fazla üretilen tahıl konumuna getirmiştir. Ülkemizde ise yaklaşık 6 milyon ton mısır, ortalama 665 bin ha alanda üretilmektedir (FAO 2016).



Bezelye ise dünyadaki en yaygın baklagillerden biridir. Mükemmel bir protein, vitamin, mineral ve yüksek lif kaynağı olması yanı sıra düşük yağ oranı ve kolesterol içermemesi uzun süredir insan beslenmesinde kullanılmasını sağlamıştır (Tunaboyu 2011). Gıda ve Tarım Örgütü tarafından hazırlanan istatistiklere göre, dünya çapında 2016 yılında kuru bezelye üretimi yaklaşık 26,8 milyon ton olmuştur. Ülkemizde ise 235 bin ton bezelye, yaklaşık 88 bin ha alanda üretilmektedir.

Bu tez çalışmasındaki amaç, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş ve rüzgar enerjisinin elektriksel gücünden hibrit olarak yararlanılarak imal edilmiş bir kurutucu ile mısır ve bezelye'nin kurutma koşullarını araştırmaktır. Enerji girdisi yüksek bir işlem olan kurutmanın, geliştirilen kurutucu ile farklı çalışma koşullarındaki enerji verimliliğine katkısı ile kalite parametrelerinden renk ve rehidrasyon oranı parametreleri incelenmiştir.



## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde; kurutma, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi ile ilgili bilgiler alt başlıklar halinde ele alınmış olup sırasıyla açıklanmıştır. Ayrıca önceki çalışmalar kısmında literatürde bulunan hibrit enerji kaynaklı kurutuculara dair örneklere yer verilmiştir.

### 2.1. Kurutma

#### 2.1.1. Kurutma Sürecinin Temelleri

Kurutma bir ısı ve kütle transferi işlemidir. İletim, taşınım, ışıınım veya bunların kombinasyonları ile ürünün içinden çevreye doğru ısı transferi gerçekleşir. Bu transfer; kurutma ortamının sıcaklığı, havanın nemi, ürün tipi, hava akış hızı ve yönü gibi dış parametreler ile ürünün nem içeriği ve ürün sıcaklığı gibi iç parametrelerden etkilenmektedir. Kurutmanın ilk aşaması çevresel dış parametrelerden etkilenirken, kritik nem değerine ulaşıldıktan sonra iç parametreler kuruma hızını kontrol eder.

Kurutma işlemindeki temel amaç son ürünü tüketicinin beğenisine uygun hale getirirken kalitesini korumak ve raf ömrünü uzatmaktır. Kurutma işlemiyle son üründe istenilen renk, tat, tekstür gibi özellikler ve istenilen fiziksel formu (granül, toz vb.) elde edebilmek de mümkündür.

Kurutma sırasında kullanılan tanımlardan bazıları şu şekildedir (Coşkun 2017);

**Yaş nemlilik:** Üründeki su ağırlığının, ürünün toplam ağırlığına oranıdır.

**Kuru nemlilik:** Üründeki su ağırlığının, ürünün katı madde ağırlığına oranıdır.

**Denge nemi:** Ortamın sıcaklık ve basınç değerlerine göre materyalin kazanacağı veya kaybedeceği nem miktarıdır.

**Su aktivitesi:** Ürünün içerdiği suyun buhar basıncının, aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranıdır.

**Yaş termometre sıcaklığı:** Normal bir termometrenin haznesi sık bir tülbent kılıfla sarılır ve tülbentin bir ucu fitil görevi yapmak üzere içinde damıtık su bulunan küçük bir hazneye daldırılırsa ıslak termometre elde edilmiş olur. Doymamış durumdaki hava akımı, ıslak termometrenin haznesi üzerinden geçtiğinde, nemli fitilden su buharlaşır. Bunun sonucunda ıslak termometrenin sıcaklığı hava sıcaklığının altına düşer. Havadan nemli fitile ısı geçişi aralarında bir sıcaklık dengesi kuruluncaya kadar devam eder. Bu dengenin sağlandığı sıcaklığa termodinamikte yaş termometre sıcaklığı denir.

**Kuru termometre sıcaklığı:** Oda sıcaklığını ölçmek için kullanılan termometre çeşididir.

**Mutlak nem:** Herhangi bir durumdaki havanın 1 m<sup>3</sup>'ünün içinde bulunan su buharı miktarının gram veya kilogram olarak ifadesidir.

**Bağıl nem:** Herhangi bir sıcaklıktaki havanın içinde bulundurabileceği maksimum nem miktarı ile o anda havada bulunan nem miktarına oranıdır.

### **2.1.2. Kurutma Sırasında Meydana Gelen Değişimler**

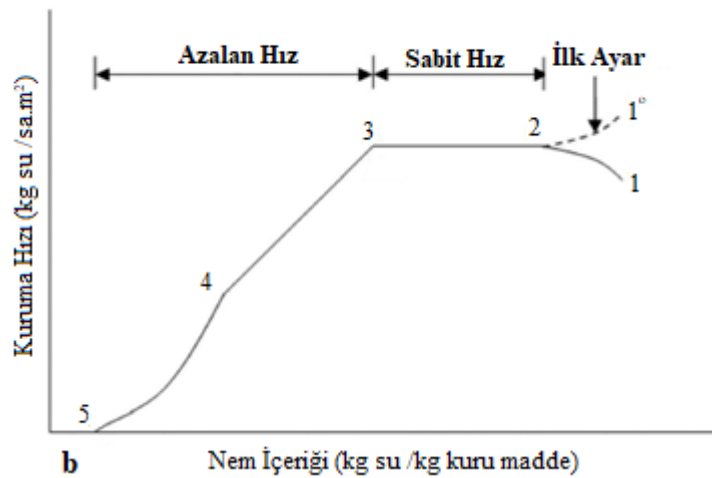
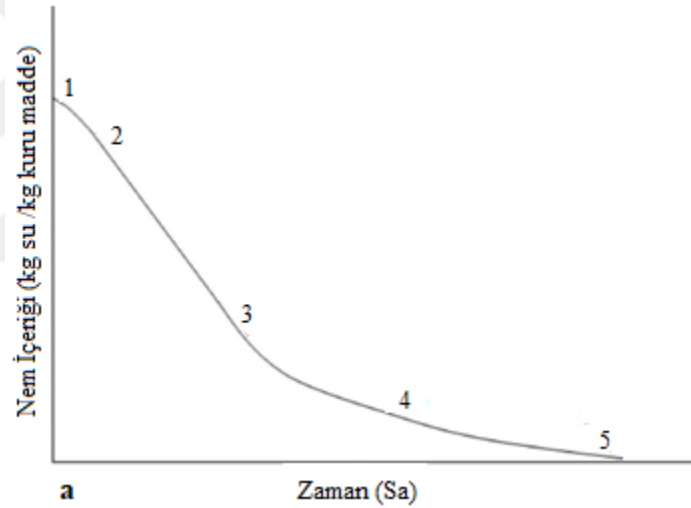
Kurutma, nemli materyal ile çevresindeki katı veya akışkan (sıvı veya gaz) fazdaki ortama geçmesini içeren karmaşık bir transfer işlemidir. Hava genellikle kurutma işlemlerinin çevre ortamı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle kurutma nemli materyal ile hava arasındaki bir ilişki olarak ele alınabilmektedir. Kuruma sırasında materyal neminde meydana gelen değişimler ve etkili unsurlar, kinetik ve denge nemi açılarından incelenebilir (Mengeş 2006).

### **2.1.3. Kurutma Kinetiği**

Şekil 2.1'de gıda maddelerinin kurutulması sırasında oluşan tipik bir kuruma hızı eğrisi gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi gıda yüzeyi başlangıçta kurutma ortamından daha düşük bir sıcaklıktadır ve bu nedenle buharlaşma oranı yüzeyin yaş termometre sıcaklığına ulaşıncaya kadar daha yüksektir (bölge 1-2). Yüzey daha yüksek sıcaklığa sahipse yüzey yaş termometre sıcaklığına kadar azalacaktır (bölge 1-2). İlk

kararsız durumdan sonra kurutma işlemi başlamaktadır. Bölge 2-3 sabit kuruma evresini göstermektedir. Bu süre zarfında katı yüzey oldukça ıslaktır ve serbest su yüzeyi gibi davranır. Ürünün yüzey sıcaklığı, kuruma havası yaşı termometre sıcaklığına yakın seviyede kalır. Sabit kuruma hızı ürünün kritik nem değerine ulaşıncaya kadar devam eder (3. nokta). Bu evredeki kuruma hızı, sabit hız ve bağıl nem koşulları altındaki kuruma havası ile ürün yüzeyi arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Azalan hızda kuruma'da, ürün içindeki nem hareketi genellikle iki aşamaya ayrılır:

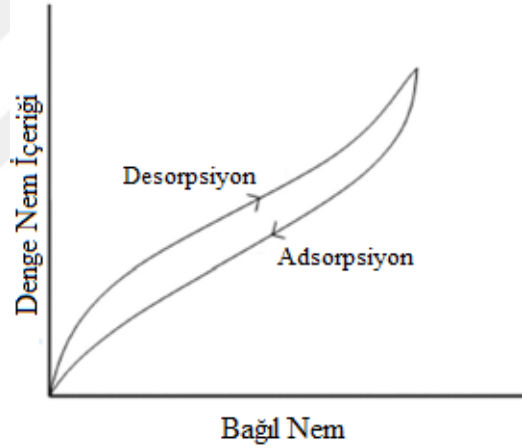
- Doymamış yüzey kuruması veya ilk azalan hızda (bölge 3-4) ıslak yüzey alanı tamamen kuru hale gelene kadar kademeli olarak azalır;
- Kurutma ya da ikinci azalan hızda (bölge 4-5) ürün içindeki nem difüzyonu yavaştır.



Şekil 2.1. Nem içeriği - zaman (a) ve kuruma hızı - nem içeriği (b)

#### 2.1.4. Denge Nem İçeriği

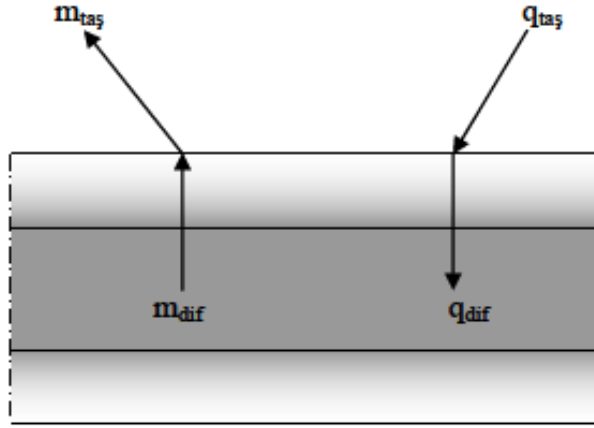
Çevre havası ile gıda maddesi arasındaki termodinamik dengenin durum bilgisi kurutmanın temel ön şartıdır. Kurutma modellemesinde, kurutma havasıyla dengelenen malzemenin nem içeriğinin dikkate alınması oldukça önemlidir. Islak bir katı sürekli hava akımında sabit nem ve sıcaklık ile temas ettirildiğinde, katı nem düzeyine bağlı olarak nem kaybeder ya da nem kazanır. Bu süreç, hava ile katıdaki nemin buhar basıncı aynı düzeye gelene kadar devam eder, buna da denge nemi denmektedir. Denge nem içeriği; kurutma ve depolama sırasında belirli bir sıcaklık ve nem koşulundaki bir ürünün nem alacağını veya nem kaybedeceğini belirlemek için oldukça kullanışlıdır. Tarımsal ürünlerinin adsorpsiyon ya da desorpsiyon ile ulaştıkları denge nemi Şekil 2.2'de verilen izotermlerle ifade edilir.



Şekil 2.2. Gıda ürünleri döngüsü

#### 2.1.5. Isı ve Kütle Değişimi

Kurutma; ısı ve kütle transferinin eş zamanlı olarak gerçekleşmesi olayıdır. Kurutma işleminde meydana gelen ısı ve kütle transferi Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Isı transferi kurutma havasından kurutulan ürün yüzeyine taşınım ile gerçekleşirken ( $q_{taş}$ ), ürünün iç kısmına ise difüzyonla ( $q_{dif}$ ) gerçekleşir. Nem ise ısı transferinin tam tersi yönünde, iç kısımdan ürün yüzeyine difüzyonla ( $m_{dif}$ ), ürün yüzeyinden kurutma havasına taşınım ile ( $m_{taş}$ ) transfer olur. Nem, gözenekli maddelerde kılcal kuvvetlerin etkisi ile hareket ederken, gözenekli olmayan maddelerde ise sıvı difüzyonla hareket eder (Özdeş 2013).



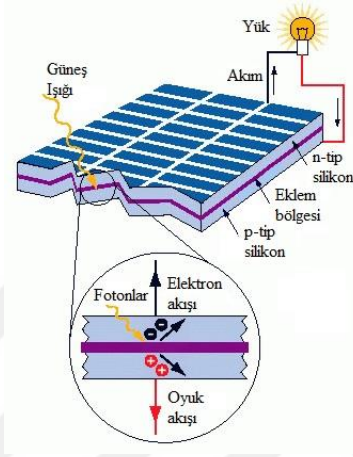
Şekil 2.3. Kurutma sırasındaki ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi

## 2.2. Fotovoltaik Enerji Teknolojisi

Fotovoltaik (PV) teknolojisinin temelinde birbirine oldukça yaklaştırılmış iki yarı iletkenin güneş ışığına maruz kaldığında aralarında elektrik akımının oluşması prensibi yatar. Güneş ışığı iki yarı iletkenin yörüngesindeki elektronları harekete geçirecek enerjiyi sağlar. Enerji alarak yörüngeden kopan bir elektron diğer yarı iletkene doğru hareketlenir. Elektronlarda oluşan bu hareket tek yönlüdür yani bir yarı iletkenen diğerine doğru oluşur. Bu tek yönlü hareketin oluşturduğu gerilim doğru akımdır. PV gözelerde bu akımın oluşması için, gözelerin güneş ışığını doğrudan alması gerekmez. Verimi düşük olsa da dağınık güneş ışığı veya bulutlu havalarda da bu akım oluşur. Elektrik üretimi azalan ışıkla yavaşlar. Üretilen elektriğin alınan güneş ışığı ile kabaca orantılı olduğu söylenebilir.

Yarı iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmeleri için saf yarı iletken içerisine istenilen "n" ya da "p" tipi maddelerin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. En yaygın güneş gözesi maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum içerisine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element eklenir. Bu nedenle 5. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi denir. PN eklem oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesinde oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan"

olarak adlandırılır. Yarı iletken eklem bölgesi güneş gözesi olarak çalışması için eklem bölgesinde PV dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur. İlk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-oyuk çiftleri oluşturulur. İkinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır. Elektronların ayrılması P ve N bölgesi arasında elektriksel potansiyel farkı ifade eder.



**Şekil 2.4.** Güneş paneli çalışma prensibi (Anonim 2018a)

Tamamen ticari kullanıma dönük ve Birinci nesil olarak adlandırılan PV sistemler tek (sc-Si) ya da çok kristalli (mc-Si) yarı iletken temelli kristal silikon (c-Si) teknolojileridir. Tek kristalli modüllerin verimi %17-22 arasındadır. Bunlar verimlerinin yüksek oluşundan dolayı uzun vadeli yatırımlar için idealdir. Maliyetini geri ödeme süresi koşullara göre değişmekle birlikte yaklaşık 4-6 yıldır. 20 yıllık bir sürede %7 verim kaybı meydana gelir. Saf kristal gereksinimi yüzünden pahalıdır. Çok kristalli modüllerin verimli %14-17 arasındadır. Kristal yapıları tam homojen olmadığından ucuzdurlar. İlk yatırım maliyetini geri ödeme süresi tek kristalli modüllere göre daha uzundur. 20 yıllık bir sürede %14 verim kaybı meydana gelir.



Tek Kristalli

Çok Kristalli

**Şekil 2.5.** Yaygın kullanılan panel çeşitleri (Anonim 2018b)

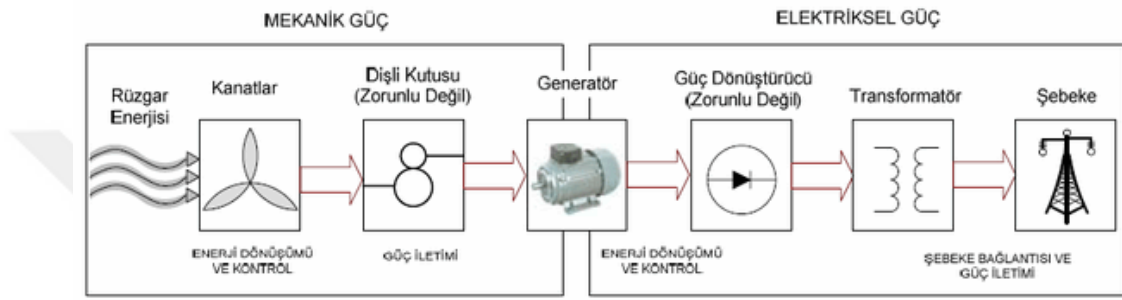
Güneş ışığından PV panellerde oluşan elektrik akımı şarjı düzenlenerek bir akü sistemine depolanır. Binalarda elektrik tüketen araç-gerecin çoğunluğu alternatif akım ile çalıştığı için genellikle aküde depolanan elektrik bir invertörde alternatif akıma çevrilerek tüketilir. Bu sistemlere “şebekeden bağımsız (off-grid)” sistemler denilir. Üretilen elektriğin ihtiyaç fazlası şebeke bağlantısı yapılarak satılabilmesi ise “şebeke bağlantılı (on-grid)” sistemler olarak adlandırılır.

Birinci nesil PV Teknolojileri düşük maliyetleri ve yüksek verimleri ile piyasaya hakim durumdadır. Son yıllarda ciddi maliyet düşüşü sağlanmış olmasına karşın, temel girdi maliyeti hala yüksek ve uygulamadaki verimleri ise hala istenen seviyede değildir. Bu girdilerde sağlanacak maliyet düşüşünün, çok kaliteli güneş kaynağına sahip olmayan bölgelerdeki enerji piyasasında rekabet edebilir bir seviyeye yetip yetmeyeceği belli değildir. Ayrıca uygulamada takip sistemlerinin ağır çelik konstrüksiyon olması çatı kurulumunu zorlaştırdığından ve paneller sabit konumlu olarak yerleştirildiklerinden zaten en fazla % 19 olan verimlerinin yaklaşık % 42’sini bu yüzden kaybetmektedirler. Kullanılan sistemlerde “ısı kaçakları”, “yüzey tozlanması”, ve “beklenmedik engeller” gibi durumlardan oluşan tüm kayıplar dikkate alındığı zaman “toplam kayıp” yaklaşık % 41’e ulaşmaktadır.



### 2.3. Rüzgar Enerjisi Teknolojisi

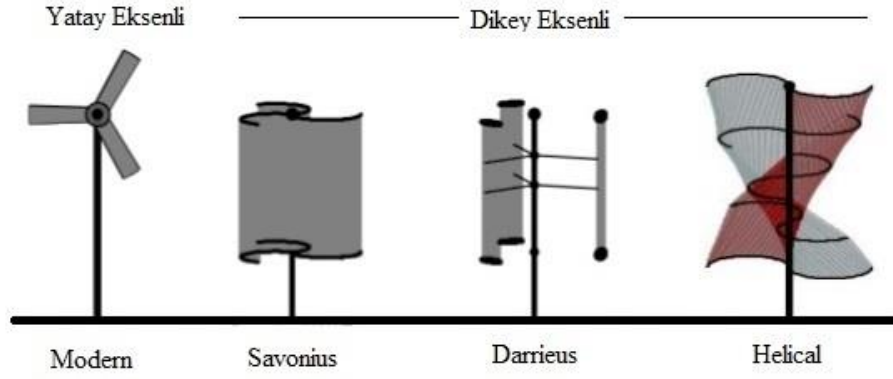
Rüzgar türbinleri, basınç farkı ile oluşan hava akımındaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Kinetik enerji taşıyan rüzgarlar, yeryüzündeki farklı güneş ısı dağılımlarının neden olduğu basınç ve sıcaklık farklılıklarının dengelenmesiyle oluşan hava akımlarıdır. Dolayısıyla rüzgar enerjisinin asıl kaynağı da güneştir.



Şekil 2.6. Rüzgar türbini çalışma prensibi (Kelsoy ve Soysal 2015)

Rüzgarın kinetik enerjisinden elde edilen güç ( $P$ ) şaftta mekanik enerji olarak aktarılır. Bu mekanik enerjiden elde edilecek güç teorik olarak yaklaşık %59 oranındadır ve bu değere “Betz Limiti” denilmektedir. Diğer bir ifade ile teoride ideal %100 verimli bir rüzgar türbininde hasat edilen rüzgarın en fazla %59’u elektriğe çevrilebilir. Ve bu durum giriş rüzgar hızının çıkış rüzgar hızının sadece üç misli olduğu durumda mümkün olabilir. Pratikte ise günümüz teknolojisi kullanılarak iyi tasarlanmış ideal bir rüzgar türbini için elde edilecek maksimum güç, giriş rüzgar gücünün %40-50 aralığındadır. Yani günümüz teknolojileri ile hasat edilen enerjinin en fazla %50’si elektriğe çevrilebilmektedir. Rüzgar türbinlerinde elektrik verimini arttırmak için temel değişkenler, rüzgar hızı, pervanelerin süpürdüğü alan ve akışkanın (hava ya da deniz suyu) yoğunluğudur.

Rüzgar türbinlerinde ana sınıflandırma dönme eksenlerine (yatay/dikey) göre yapılırsa, kuruldukları yere (kara/deniz/hava/denizaltı), kule yükseklikleri ve çalışma mekanizmalarına göre muhtelif biçimlerde de sınıflandırılmaktadır. Rüzgar türbinleri yaklaşık 25 m/s hava hızlarına kadar elektrik üretebilen makinelerdir.



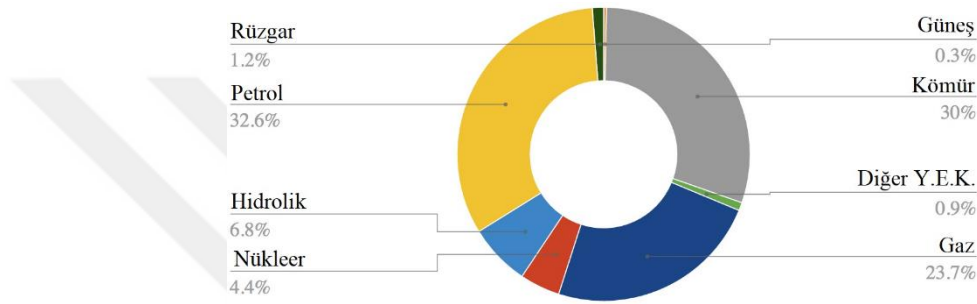
**Şekil 2.7.** Yaygın kullanılan rüzgar türbini çeşitleri (Anonim 2018c)

Bu sınıflandırma içinde 100 kW'a kadar olan türbinler küçük sınıfında yer almakta ve özellikle elektrik şebekesi bulunmayan köylerde hayvan çiftlikleri, evler vb. yerlerde güvenilir şekilde elektrik üretmek için kullanılabilirler. Öz elektrik ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile kurulan rüzgar türbinlerinin yatırım maliyeti yüksek, verimleri nispeten daha düşüktür. Bu türbinlerin kullanılmasında yaşanan temel sorunlar; kuruldukları yerde bulunan bina, ağaç vs nedeniyle rüzgar hızı düşmekte ve türbülanslar çoğalmaktadır. Yerleşim yerine yakın oldukları için bu türbinlerin gürültü seviyesinin yüksek olmaması istenir. Bu da tasarıma ekstra yük getiren bir durumdur. Tüm bu sebeplerden dolayı küçük türbinlerde dikey eksenli türbinler daha avantajlı olmaktadır. Dikey eksenli türbinler, ayrıca türbülansdan daha az etkilenir, yatay eksenlilere oranla kurulum maliyetleri daha düşüktür. Düşük rüzgar hızındaki elektrik üretimleri yatay eksenlilere oranla daha yüksektir. Bu türler, gürültü ve titreşim seviyesi azaltılarak yatay eksenli türbin hızlarının dörtte biri/üçte biri kadar daha düşük rüzgar hızında elektrik üretebilirler.

#### **2.4. Enerji Kaynakları ve Potansiyeli**

Günümüzden yaklaşık 12 Milyar TEP olan dünya enerji ihtiyacının 2035 yılında bu günkü politikalar takip edilirse 18 Milyar TEP değerini aşacağı tahmin edilmektedir. Bir diğer ifade ile dünya enerji tüketiminin %53 artacağı öngörülmektedir ve bu artışın yarısının Çin ve Hindistan tarafından tüketileceği düşünülmektedir (TMMOB 2015).

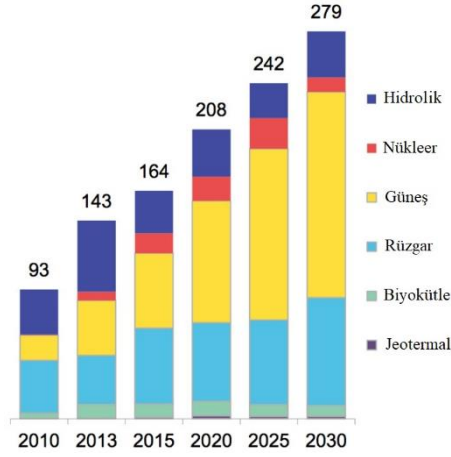
“Küresel Biyoenerji İstatistikleri” raporuna göre dünya genelinde kullanılan toplam enerjide fosil yakıtlardan petrol ilk sırada yer alırken; bunu sırayla kömür ve doğalgaz takip etmektedir. Küresel enerji arzının 2000 ve 2014 yılları arasındaki verileri incelendiğinde yıllık %2,2 oranında bir artış yaşanmıştır. Kömür (%3,8) ve doğalgaz (%2,4) en yüksek artışı gösteren kaynaklar olmuşlardır. Aynı yıllar arasında toplam enerji arzının yenilenebilir enerjiye oranı ise; yıllık %2,8 artış göstererek 2014 yılında %14,1’e yükselmiştir. Aynı yıllarda küresel nükleer enerji arzı ise düşüş göstermiş ve nükleer enerji tek düşüş gösteren enerji kaynağı olmuştur (Aslantaş 2018).



Şekil 2.8. Dünya enerji tüketimi (Evans 2015)

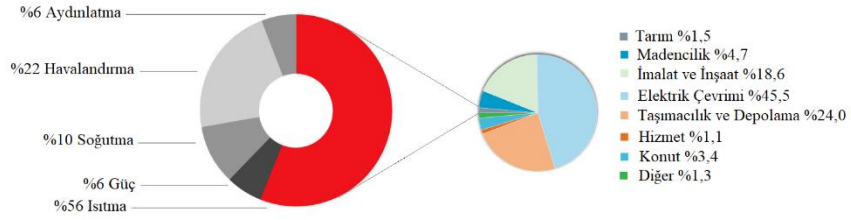
Yenilenebilir enerjide; güç kapasitesinde yaşanan büyük artışlar, maliyetlerin düşürülmesi, yatırımlardaki artışlar ve teknolojiye imkan veren gelişmeler gibi konularda her geçen yıl yeni rekorlar kırılmaktadır. Dünya çapında ihalelerde verilen düşük tekliflerin, ulaşımın elektrifikasyonuna dikkat edilmesi, dijitalleşmenin artışı, kömürsüz hale gelmeyi vaat eden yargı yetkileri, yeni politikalar ve karbon fiyatlandırmasıyla ilgili ortaklıklar ve hükümet düzeyinde belirlenen hedefler yenilenebilir enerjinin kullanımını etkilemektedir. Ayrıca özel sektör de, yenilenebilir enerjinin kullanılmasını teşvik etmede giderek daha fazla rol oynamaktadır.

Yenilenebilir enerji 2016 yılı itibarıyla, küresel toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık %18,2'sini oluştururken, modern yenilenebilir enerjinin %10,4'ünü temsil etmektedir. Yenilenebilir sektörler içinde fotovoltaik güneş paneli (PV) sektörü güçlenerek büyümesine devam etmiştir. Bu büyüme rüzgâr gücünün neredeyse iki katı (ikinci sırada) iken kömür, doğal gaz ve nükleer enerjiden daha fazla net kapasite eklenmiştir (DEK 2018).



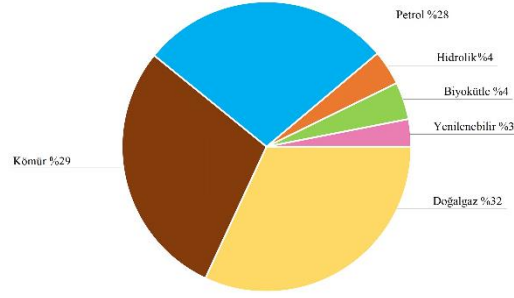
Şekil 2.9. Dünya yenilenebilir enerji gelişimi (Puiu 2018)

Dünyada sektör bazlı enerji tüketimleri sınıflandırıldığında ilk sırayı elektrik çevrim sektörünün, ikinci sırayı taşımacılık ve depolama sektörünün aldığı görülmektedir. Tarım sektöründe ise toplam tüketimin %1,5'i başta ısıtma ve havalandırma faaliyetleri olmak üzere soğutma, güç ve aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır.



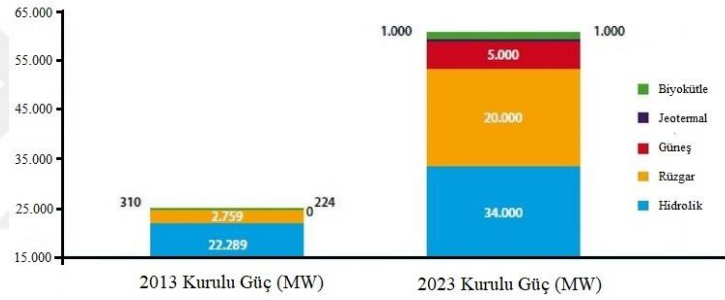
Şekil 2.10. Dünya tarımında enerji kullanımı (EON 2018)

Türkiye'nin birincil enerji tüketimi 2016 yılı verilerine göre ve 2000 yılına kıyasla %71,5 oranında artış göstererek 136,2 Mtep değerine ulaşmıştır. Bu 16 yıllık dönemde birincil enerji tüketimindeki yıllık ortalama artış %3,4'tür. Türkiye'nin birincil enerji tüketimi kaynak bazında incelendiğinde kömür, petrol ve doğalgazın ön plana çıktığı görülmektedir (Şekil 2.11). Kömür, 2000 yılındaki seviyesini korurken, petrolün payı çok hızlı bir düşüş göstererek %42,3 seviyesinden gerilemiştir. Doğalgaz tüketiminde ise 16 yıllık dönemde %208 oranında bir artış gerçekleşmiş ve doğalgazın %15,7 olan payı %32'ye kadar çıkmıştır. Doğalgaz tüketimi yıllık bazda ortalama %7,3 artış göstermiştir (YEGM 2018).



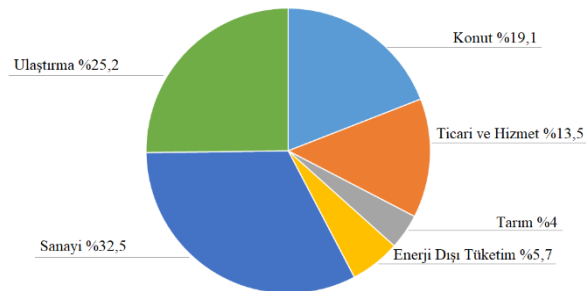
Şekil 2.11. Türkiye birincil enerji tüketiminin dağılımı (UPA 2017)

Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, jeotermal ısı ve biyoyakıt) ise toplam arz içerisinde fazla paya sahip olmasa da, 2000-2016 döneminde yıllık bazda ortalama %14,4 oranında artış göstererek kaynak bazında en hızlı artışı gerçekleştirmiştir (YEGM 2018).



Şekil 2.12. Türkiye yenilenebilir enerji gelişimi (Karaca 2015)

Toplam nihai enerji tüketimi sektörel olarak incelendiğinde ise tüm sektörlerin enerji tüketimleri artmıştır. En hızlı artış hizmet ve ulaştırma sektörlerinde olmuştur. Tarım sektörünün enerji tüketiminde 2000-2008 dönemi için hızlı bir artış gözlemlenirken, 2008-2016 döneminde ise yıllık bazda ortalama %3'lük bir azalma yaşanmıştır (YEGM 2018).



Şekil 2.13. Türkiye tarımında enerji kullanımı (Bulut 2017)

Tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi, Türkiye'nin de son yıllardaki en önemli gündem maddelerinden biri enerji politikaları ve enerji kaynaklarının dengelenmesidir. Türkiye, jeopolitik konumu itibariyle dünya üzerindeki kanıtlanmış petrol ve doğal gaz rezervlerinin büyük bir kısmının bulunduğu ülkelere yakın bulunmaktadır. Bu sebeple Türkiye, enerji üreticisi ve tüketicisi ülkeler arasında bir köprü konumundadır. Bu durum, enerji güvenliğinin sağlanması hususunda Türkiye'nin çok önemli stratejik bir yeri olduğunun ispatıdır. Ancak fosil enerji kaynakları bakımından Türkiye'nin, dışa bağımlı olması, mevcut yenilenebilir potansiyelini değerlendirme konusunda önemli adımlar atılmasını gerekli kılmaktadır. Özellikle son dönemlerde bu amaçla yapılan büyük yatırımların devam ettirilmesi ülkenin kalkınma performansına önemli bir destek sağlayacaktır (Aslantaş 2018).

Yapılan araştırmalara göre Türkiye'nin son yıllarda ekonomik anlamda göstermiş olduğu hızlı büyüme grafiğinin sonucu olarak enerji ihtiyacı da büyük ölçüde artmıştır. Türkiye son 10 yıllık dönemde OECD ülkeleri içerisinde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke olmuştur ve bu talebin gelecek on yıllık süreçte iki katına çıkması beklenmektedir. 2015 yılı itibariyle, toplam enerji talebinin sadece %24'ü yerli kaynaklardan karşılanırken, enerji bağımlılığı yaklaşık %76 seviyelerindedir. Türkiye, artan enerji talebini karşılayabilmek, mevcut kalkınma ivmesini sürdürebilmek ve enerji ithalatını düşürmek amacıyla yenilenebilir enerji kanunu yürürlüğe sokmuş ve 2009 Kyoto Protokolü'nün imzalanmasıyla birlikte çevre ve hava kirliliğini bertaraf etmek üzere, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi, sera gazı emisyonlarının azaltılması gibi bir dizi hedefler belirlemiştir. Bu hedeflerin başında, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretimini 2023 yılına kadar %30 artırarak toplam enerji tüketiminin %20'sini sadece bu kaynaklardan temin etmek bulunmaktadır (Aslantaş 2018).

Gelişmekte olan birçok ülkede farklı tarımsal üretim işlemlerinde yaygın olarak "Kas gücü" kullanılır. Ancak tarım, özellikle dünyanın batı bölgelerinde 1945 yılından bu yana büyük ölçüde mekanik olmuştur. Bu da fosil yakıtların kullanıldığı mekanizasyon araçları sayesinde tarımda insan gücünün kullanımını sınırlandırmıştır. Günümüzde,

modern tarımsal üretim işlemlerinin fosil yakıt kullanılmadan gerçekleştirilmesi mümkün değildir.

Tarım sektöründe bitkisel ve hayvansal üretim işlemleri belirli miktarda enerji kullanımını gerektirmektedir. Tarımda enerji kullanımını iki grupta incelenebilir:

1) Doğrudan enerji kullanımı: Bitkisel üretimde, büyükbaş ve küçükbaş hayvan yetiştirmede, tarım ürünlerinin taşınmasında, tarımsal ürünlerin işleme ve değerlendirilmesinde kullanılan elektrik, petrol ürünleri, doğal gaz, kömür vb. enerjilerin kullanımını kapsamaktadır.

2) Dolaylı enerji kullanımı: Tarımsal mekanizasyon araç ve makinaları, kimyasal gübreler, tarım ilaçlarının üretim, paketlenme ve taşınmasında kullanılan enerjileri kapsamaktadır (Öztürk 2006).

Tarımsal üretim işlemleri arasında çok fazla miktarda enerji tüketilen başlıca işlemler: ürün kurutma, sulama, sera ve hayvan barınaklarının ısıtma ve soğutulmasıdır. Bu işlemler sırasında yaygın olarak fosil yakıtlar kullanılır. Fosil yakıtların kullanımıyla ortaya çıkan çevresel sorunların etkin bir şekilde önlenmesi için, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması gerekmektedir. Bununla birlikte, tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik kullanılabilirliği ve uygulama yöntemi, bölgesel koşullara göre değişmektedir. Tarım sektöründe etkin olarak yararlanılabilecek başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisidir. Tarımda enerji kullanım etkinliğinin artırılması, enerji kaynaklarının çevresel etki değerlendirmesi açısından önemlidir. Daha az enerji kullanarak çevreye en düşük düzeyde zarar vermek için sistem etkinliğinin artırılması gerekmektedir (Öztürk ve ark. 2010).

## **2.5. Önceki Çalışmalar**

Yapay kurutma işleminde ihtiyaç duyulacak enerjinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması konusunda birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Bu kapsamda farklı kaynaklarının hibrit kullanımı ile ilgili aşağıdaki literatür çalışması yer verilmiştir.

Mastekbayeva ve ark. (1999), güneş ve biyokütle enerjileri kaynaklı hibrit bir tünel kurutucu tasarlamışlar ve imal etmişlerdir. Biyokütle yakıtı olarak pirinç kabuğu kullanmışlardır. Deneylerde biber ve mantarın kurutma performansı test edilmiştir. 12 saatlik denemelerde 19,5 kg taze biber yaş baza göre %76,0 ilk nem içeriğinden %6,6 son nem içeriğine, 21 kg taze mantar ise yaş baza göre %91,4 ilk nem içeriğinden %9,8 son nem içeriğine düşürülmüştür. Sonuç olarak, doğal güneşte kurutmada 3-5 gün sürebilecek kurutma sürecini oldukça hızlandırmışlardır.

Yılmaz (1999), güneş paneli destekli bir kurutucu tasarlamış, imal etmiş ve denemiştir. Kurutucuyu; kabin, güneş paneli sistemi, hava kanalları ve havalı düzlemsel kolektörden oluşturmuştur. Kurutma havasının dolaşımında kullanılan fanın ihtiyacı olan gücü (45 W) güneş panellerinden üretmiştir. Kurutma materyali olarak %95,0 ilk nem içeriği sahip domatesi 5 günde %17,0 son nem içeriğine (y.b.) düşürmüştür. Sonuçta sistemin verimliliğinin oldukça yeterli olduğu ancak 25 kg olan kapasitenin geliştirilmesi gerektiği tespit etmiştir.

Sarsılmaz ve ark. (2000), kayısı kurutma amacıyla döner sütun silindir tip kurutucuyu özel olarak tasarlamışlar ve hava ısıtmalı güneş kolektörü ile birleştirmişlerdir. Hijyenik kurutma koşulları sağlamak ve kurutma zamanını azaltmak için kurutma havası hızı ve kurutucunun dönme hızı parametrelerini incelemişlerdir. Bu araştırmada ilk nem içeriği %70,0 olan “Hacıhaliloğlu” ve “Çataloğlu” çeşitleri üzerinde çalışmışlardır. Dönme hızı ya da hava hızı arttıkça kuruma miktarının hızlandığını belirlemişlerdir. Sütun silindir tip kurutucunun hava ısıtmalı güneş kolektörü ile hibrit çalışması sonucunda açık alanda kurutmaya göre yarı zamanda %25,0 nem içeriğine ulaşılabilmiştir. Ayrıca daha homojen ve yüksek kalitede kurutma gerçekleştirilmiştir.

Bala ve Mondol (2001), güneş enerjili tünel tip kurutucuda balık kurutma performansını araştırmışlardır. Kurutucu, şeffaf plastik kaplı düz bir toplayıcı plakadan ve kurutucu içine sıcak hava yönlendirecek 4 adet DC fan ile bunları çalıştıracak 2 adet 40 W'lık güneş panelinin seri bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Kapasite olarak 150 kg balık kurutma imkanı sağlanmıştır. Balıklar başlangıçta kuru tuz ile muamele edilmiştir. Yaptıkları araştırmada, kolektör çıkışındaki kurutma havası sıcaklığının 35,1 °C ile 52,2



°C arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Tuz ön işlemine tabi tutulmuş balıklar güneş enerjili tünel kurutmada %67,0 ilk nem içeriğinden %16,78 son nem içeriğine (y.b.) 5 gün sonunda ulaşabilmiştir. Aynı süre zarfında geleneksel yöntemle ise ancak %32,84 son nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Ek olarak, güneş enerjili tünel tip kurutucuda kurutulan balıklar yağmur, böcek ve tozdan tamamen korunmuş ve kaliteli ürün olarak ortaya çıkmıştır.

Bena ve ark. (2002), doğrudan tip doğal konveksiyonlu güneş enerjili kurutucu ile basit biyokütle yakıcısını meyve ve sebze kurutmada kullanmak amacıyla birleştirmişlerdir. Kalınlığı 1 mm olan taze ananas dilimlerinin tek bir tabaka halinde yayılması ile kurutucu kapasitesi 20-22 kg olarak bulunmuştur. Yapılan alışma sonucunda toplam kurutma verimliliği %9 olarak hesaplanmıştır. Ancak farklı modifikasyonlar ile güneş ve biyokütle bileşenli kurutucuların performansının geliştirilebileceği önerilmiştir.

Ghazanfari ve ark. (2003), zoraki hava iletimli güneş enerjili kurutucuyu tasarlamışlar ve tek tabaka fıstık kurutma üzerine çalışma yapmışlardır. Güneş kolektörünün sıcaklığının maksimum 56 °C sıcaklığa ulaşabildiği, bu değerin de ortam sıcaklığından 20 °C daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan araştırmada kurutma için gerekli süreyi 36 saat olarak bulmuşlardır. İlk kurutma günü sonunda %21,0 olan ilk nem içeriği %6,0 son nem içeriğine (y.b.) kadar düşürölmüştür. Genel olarak geliştirilen yöntem ile kurutulan fıstıkların geleneksel yöntemle göre daha kaliteli olduğu tespit edilmiştir.

Thanaraj ve ark. (2004), küçük üreticilere yönelik hibrit sistem Hindistan cevizi içi kurutucusunu tasarlamışlar ve geliştirmişlerdir. Güneş kolektörü, kurutma fırını ve ısı değiştiriciyi ayrı olarak incelemişlerdir. Çalışma kapsamında, kurutucu içinde ölçölen en yüksek sıcaklık 50 °C olup tambur tip güneş kolektörünün verimliliği %4 olarak bulunmuştur. Kurutma fırınında ise 3, 5 ve 10 kg/saat oranlarında pirinç kabuğu yakmışlardır. Kurutma odası sıcaklığını sırasıyla 43, 53 ve 62 °C olarak kaydetmişler, kurutma fırını verimliliğini ise %43, %48 ve %70 olarak belirlemişlerdir. Hindistan cevizi içlerini geliştirilen hibrit kurutucuda 70 saatlik sürekli kurutma sonucunda %7,0 son nem içeriğine (y.b.) düşürmüşlerdir. Tüm sistemin ısı verimini %10 bulmuşlardır.

Ayrıca kurutulan ürünlerin renklerinin %73'ünü beyaz, %21'ini kahverengi ve %6'sını ise ara seviyede derecelendirmişlerdir. Sonuç olarak geliştirilen kurutucunun ısı verimi tatminkar olmasa da elde edilen son ürün kalitesi ve olumsuz çevre koşullarında çalışma yeteneği sebeplerinden dolayı diğer kurutma yöntemlerine kıyasla ekonomik bulunmuştur.

Chen ve ark. (2005), çalışmalarında güneş paneli sistemli kapalı tip kurutucuyu geliştirmişlerdir. Kurutma kabini, güneş ışığı yansımaları azaltmak ve ürün üzerine doğrudan güneş ısısını alması amacıyla yüksek geçirgenlikte şeffaf camdan tasarlanmıştır. Çalışmada limon dilimleri güneş paneli sistemli kapalı tip güneş enerjili kurutucu kullanılarak kurutulmuş ve 60 °C sıcak hava kurutma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Güneş paneli sistemli kapalı tip güneş enerjili kurutucu kullanılarak kurutulmuş limon dilimlerinin duyu parametreleri açısından daha iyi bir kalite düzeyine sahip olduğu bildirilmiştir. Dizayn edilen sistem sayesinde yüksek kalitede ürünler ve etkin doğal enerji kullanımı sağlanmıştır. Uygulama sırasında yetersiz batarya durumları için yerel elektrik şebekesinden paralel kablolamanın gerekli olduğu belirtilmiştir.

Prasad ve Vijay (2005), doğal konveksiyonlu güneş enerjili kurutucu ile biyokütle yakıcısını birleştirmişlerdir. Deneylerde zencefil, zerdeçal ve guduchi kurutmanın performansı test edilmiştir. Kurutucu kapasitesinin bu ürünler için 15-18 kg aralığında olduğu belirlenmiştir. Zencefil %11,8, zerdeçal %8,8 ve guduchi %9,67 son nem içeriğine (k.b.) sırasıyla 33, 36 ve 48 saat sonunda düşürülmüştür. Sadece güneş enerjili kurutucunun çalıştırılması ile 72-120 saat, açıkta kurutma yönteminde ise 192-288 saat arasında sürmüştür. Hibrit kurutucu ile kurutma süresinin sadece güneş enerjili kurutucunun çalıştırılmasına göre %54-60, açıkta kurutmaya göre %83-84 kısaldığı bulunmuştur. Geliştirilen kurutucunun bu ürünler için kullanılabilir bir sistem olduğu sonucuna varmışlardır.

Prasad ve ark. (2006a), tarımsal ürünlerin kurutulması için bir teknoloji geliştirilmiş ve zerdeçal köklerinin kurutulma performansı değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında, doğrudan tip doğal konveksiyonlu güneş enerjili ve biyokütle kaynaklarını içeren

kurutucusu üretilmiştir. Sistem 55-60 °C arasında yeterli ve sürekli sıcak hava üretebilmiştir. Zerdeçal kökleri geliştirilen sistemde başarıyla kurutulmuştur. Geleneksel açık havada kurutmanın 11 gün sürmesine karşın geliştirilen kurutucu ile sadece 1,5 gün sürmüştür ve daha kaliteli ürün elde etmişlerdir. Tüm sistemin ise verimliliği %28,57 olarak bulunmuştur.

Prasad ve ark. (2006b), zencefilin hibrit (doğrudan tip doğal konveksiyonlu - biyokütle) kurutucuda ve açık güneş altında kuruma özelliklerini incelenmişlerdir. Açık güneş altında kurutmanın ürün kalınlığına ve iklim koşullarına bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Hibrit kurutucuda 8 mm kalınlığında zencefil 33 saatte kurutulurken, açık havada 96 saat sürmüştür. Hibrit kurutucunun toplam kurutma verimliliği yaz koşullarında %18, kış koşullarında %13 olarak bulunmuştur. Zencefilin uçucu yağ içeriğinin kaybının açık güneşte kurutmaya karşılaştırıldığında hibrit kurutucuda daha az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca daha kısa sürede daha kaliteli nihai ürün elde edilmiştir. Hibrit kurutucuda zencefil kurutma için ortalama hava hızı 0,6 m/sn ve 60 °C ortalama kurutma hava sıcaklığının yeterli olduğu bulunmuştur. Hibrit kurutucu yerelde bulunabilecek malzemelerle üretilebilecek basit bir cihaz olup diğer baharatların, sebzelerin ve meyvelerin kurutulması için kullanılabilmesi belirtilmiştir.

Kurban ve ark. (2007), güneş enerjisi destekli hibrit (gün ısı sistemi - güneş paneli - elektrik şebekesi) sistemden beslenen bir ton kapasiteli, kapalı sistem ve taşınabilir yaş sebze ya da meyve kurutma makinesi tasarlanmıştır. Güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi, su deposu etrafına döşenen rezistanslar sayesinde ısı enerjisine çevrilmiştir. Ayrıca makine içinde küçük bir kalorifer sistemi konumlandırılmıştır. Gün ısıyla elde edilen sıcak su, makinenin içerisinde dolaştırılmakta ve bu sayede güneş enerjisinden maksimum fayda sağlanmıştır. Kurutma esnasında oluşan su buharını tahliye etmek için fan sistemi monte edilmiştir. Tasarlanan sistem ile ürünün kuruma süresi kısaltılarak verim artırılmıştır. Güneş enerjisi destekli makinelerin tarımda kullanılması, ürünlerin kalitesini yükselteceği ve uluslararası alanda ülkenin rekabet gücünü ve pazar payını arttıracığı bildirilmiştir.

Ferreira ve ark. (2007), hibrit (güneş enerjili ve elektrikli) kurutucunun deneysel bir analizini sunmuşlardır. Çalışma kapsamında 12 kg ağırlığındaki muz dilimleri kurutulmuştur. Hibrit ve doğal kurutma yöntemleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak arzu edilen son nem içeriğine ulaşmada hibrit kurutmanın diğer yöntemlere göre daha az zaman aldığı ve nihai ürünün kalitesinin arttığı tespit edilmiştir. Yapay kurutucular ile kıyaslandığında önerilen kurutucunun ekonomik ve teknik açıdan bir alternatif olabileceği gösterilmiştir.

Chavan ve ark. (2008), güneş ve biyokütle enerjileri kökenli otomatik sıcaklık kontrolü mekanizması olan hibrit kabin tip kurutucuyu deneysel çalışmalarında kullanmışlardır. Çelik ve alüminyumdan yapılmış geleneksel bir kurutucudan daha verimli olduğu gerekçesiyle kurutucuyu tuğla ve harç kullanarak imal etmişlerdir. Çalışma kapsamında orkinos balığı kurutulmuş ve kurutucunun ortalama verimliliği %6,3 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, balıkçıların daha kaliteli kurutulmuş balık ürünleri elde edebileceği bir kurutucu üretilmiştir.

Hossain ve ark. (2008), domates kurutma amacıyla hibrit - güneş enerjili kurutucunun bir prototipini geliştirmişlerdir. Kurutucu; düz plakalı kolektör, ısı depolamalı yardımcı ısıtma birimi ve kurutma ünitesinden oluşturulmuştur. Kurutucu farklı hava ve çalışma koşullarında test edilmiştir. Çalışma kapsamında yarıdan kesilmiş 20 kg yaş üründen 2 kg kurutulmuş ürün elde edilmiştir. Farklı çalışma koşullarına bağlı olarak kurutma sisteminin ortalama verimliliğinin %17 ile %29 arasında değiştiği belirlenmiştir. Kurutma işlemi sonucunda renk, askorbik asit, likopen ve toplam flavonoidler düşmüş, ancak renk ve besin içeriği Avrupa pazarındaki ticari örneklere göre hala yüksek olduğu bulunmuştur.

Barnwal ve Tiwari (2008), hibrit güneş paneli - termal (PV/T) sera tipi kurutucu tasarlamışlar ve 100 kg kapasiteli olarak üretmişlerdir. Geliştirilen kurutucu Thompson çekirdeksiz üzümün kurutulması için kullanılmıştır. Ayrıca açıkta ve gölgede kurutma karşılaştırılması yapmışlardır. Buharlaştırılan nem, üzüm yüzey sıcaklıkları, ortam hava sıcaklığı ve nemi, sera hava sıcaklığı ve nemi gibi saatlik değişen deneysel veriler önerilen sistem için ısı ve kütle transferini değerlendirmek amacıyla kaydedilmiştir.

Açıkta kurutmada uzaklaştırılan nem miktarı oluşan rüzgar hızı sebebiyle sera kurutmaya göre daha fazla olmuştur. Ancak kurutma oranı sera içindeki hava hızının yükseltilmesi ya da daha fazla DC fan eklenmesi ile artırılabilceği bildirilmiştir.

Mukaminega (2008), kabin tip hibrit kurutucuda güneş enerjisi ve biyokütle fırını kullanılarak yapılan kurutma ile domatesin raf ömrünü artırmak ve kayıpları en aza indirmek için çalışmıştır. Kurutma sırasında maksimum ortam sıcaklığı 27 °C iken, hibrit kurutma kabini iç sıcaklığının 70 °C olduğu gözlemiştir. 6 ve 8 mm kalınlıklarındaki domates dilimleri 12 saatlik süre içinde %94,0 ilk nem içeriğinden %9,0 son nem içeriğine (y.b.) kadar kurutmuş ve domateslerin ağırlığını %92 oranında azaltmıştır. Bu süre güneşte kurutmada 36 saat olarak bulunmuştur. Bu düşük maliyetli teknoloji ile Rwanda da hasat sonrası yaşanan domates kayıplarına çözüm olunabileceği söylemiştir.

Hepbaşı ve ark. (2009), gaz motoru tahrikli güneş enerjisi destekli ısı pompasına sahip bir kurutucu sistemin tasarımı ve testi yapılmıştır. Performansının değerlendirilmesi kapsamında erik kurutmuşlardır. Buna göre, sistemde havanın ısıtılması gaz motoru tahrikli ısı pompası ile yapılmış, ısıtma destek ünitesi olarak havalı güneş kolektörlerinden faydalanılmıştır. Kurutma ise bantlı tünel tip bir kurutucuda gerçekleştirilmiştir. 45 - 55 °C hava sıcaklığı aralığında ve 1,5 m/s hava hızında yapılan kurutma deneylerine dayanarak %72,72 - 75,66 aralığında ekserji verimliliği değerleri bulunmuşlardır.

Boughali ve ark. (2009), tarım ürünleri için hibrit (dolaylı aktif güneş enerjili - elektrikli) tip kurutucu prototipi imal etmişlerdir. Kurutucunun yüklü ve yüksüz termal davranışını incelemek üzere kış mevsiminde deneysel testleri yapılmıştır. Dilim domatesler farklı sıcaklıklara (50, 65 ve 75 °C) ve farklı kurutma havası (1, 1,5 ve 2 m/s) hızlarına tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, yapılan ekonomik değerlendirmede 15 yıl ömrü olan kurutucunun 1,27 yılda geri ödeme süresine sahip olduğu bulunmuştur.

Janjai ve ark. (2009), muz ve muşmula kurutulması için gereken havalandırma enerjisini güneş panelinden alan sera tip kurutucunun performansını incelemişlerdir. Kurutucu

beton zemin üzerine polikarbonat plakalarla kaplı bir parabolik çatı yapısında oluşturulmuştur. Güneş paneller tarafından desteklenen üç adet 50 W fan ile kurutucu havalandırmıştır. Doğal güneşte kurutma süreleri 5-6 günden iken, muzun kurutma süresi 4 güne, muşmulanın kurutma süresi 3 güne düşürülmüştür. Kurutulan ürünler renk ve tat açısından yüksek kaliteli bulunmuştur.

Çakmak ve Yıldız (2009), güneş enerjisi destekli sarmal akışlı yeni bir kurutucu tasarlamışlar ve üzüm kurutma sürecini incelenmişlerdir. Homojen ve daha düşük nem değerleri elde edilmiştir. Ayrıca kurutma havası hızındaki artış ile kuruma süresi azaltılmıştır. Böylece, doğal koşullarda 200 saat olan kurutma süresi geliştirilen kurutucu ile 1,5 m/s hava hızında 80 saate düşürülmüştür. Kurutulmuş üzümün kâr oranı ve ekonomiye olan katkısı göz önüne alındığında, çalışmaların kurutulmuş üzüm üzerine yoğunlaşması gerektiğini bildirmişlerdir. Aynı zamanda, geliştirilen kurutucunun kapasitesi artırılarak daha fazla ürün kurutulabileceği belirtilmiştir.

Aktelli (2010), güneş enerjisi destekli ısı pompalı bir kurutucuda kırmızı biber kurutmuştur. Isı borulu güneş kolektörü ve havadan havaya ısı pompası sistemi kullanarak kırmızı biberler ilk nem miktarı 10,81 g su/g kuru madde olan ve son nem miktarı 0,16 g su/g kuru madde olacak şekilde kurutmuştur. Kurutma sistemindeki 24 saatlik kurutma süreci ısı pompası desteği ile sağlamıştır. PID (Proportional Integral Derivative) kontrollü kurutucuda hava hızı kontrol cihazından ayarlanan sıcaklık değerine göre değiştirmiştir. Kırmızı biberleri 50 °C kuru termometre sıcaklığında ve ortalama 0,4 m/s hava hızında 210 dakikada kurutmuştur. Ayrıca yapılan duyu analizler sonucunda, her bir kurutma havası sıcaklığında kurutulan ürünlerin kurutma sonrası tadında bir fark olmadığı görmüştür. Geliştirdiği kurutucu ile Türkiye için önemli bir ihraç ürünü olan kırmızı biberin kurutma esnasında oluşabilecek kurutma kusurlarını ortadan kaldırmıştır.

Fadhel ve ark. (2010), güneş enerjisi destekli kimyasal ısı pompalı bir kurutucu tasarlamış, üretmiş ve test etmişlerdir. Sistem dört ana bileşenlidir. Bunlar; Güneş kolektörü, depolama tankı, katı-gaz kimyasal ısı pompası ünitesi ve kurutma odasıdır. Katı - gaz kimyasal ısı pompası da reaktör, kondansatör ve buharlaştırıcıdan

oluşturulmuştur. Sonuçlar göstermiştir ki, 55 °C sıcaklıkta yapılacak kurutmada ihtiyaç duyulan toplam 60 kWh enerjinin %85'i olan 51 kWh'i sistem tarafından karşılanabilmiştir. Ancak güneş radyasyonunun azalması sonucu kondansatördeki enerji azalmakta buna bağlı olarak kimyasal ısı pompasının performans katsayısı düşmüş ve kurutma etkinliği negatif yönde eğilim gösterdiği bildirilmiştir.

Atalay (2010), güneş enerjisi destekli nem alma ünitesine sahip ısı pompalı kurutucunun tasarımını ve termodinamik analizini yapmıştır. Kurutma deneylerini 2 m/s ortalama kurutma havası ve doğal olarak gerçekleştirmiştir. Kurutma zamanı bakımından ısı pompalı sistem, doğal kurutmaya göre %50, güneş enerjisi destekli sisteme göre %30 daha iyi bulmuştur. Çalışmada aynı sıcaklıktaki kurutma havası ile yapılan kurutmada hava hızının artmasıyla kurutma performansının arttığı görülmüştür. Ayrıca ısı pompalı sistem ve güneş enerjisi sistemi ile kurutulan ürünlerin fiziksel görünümünün doğal ortamda kurutulan ürünlere göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Geliştirilen sistemin diğer yöntemlere göre hızlı kurutma, çevresel etkilerden en az etkilenme (yağmur, toz, böcek) ve çevresel şartlara en az bağlı olması gibi yüksek avantajlara sahip olduğunu belirtilmiştir.

Amer ve ark. (2010), doğrudan tip güneş enerjili ve ısı değiştirici kullanılan hibrit bir kurutucu tasarlamışlar ve imal etmişlerdir. Kurutucu; güneş kolektörü, reflektör, ısı depolama ünitesi, boşaltıcı ısı değiştiricisi ve kurutma odasından oluşturulmuştur. Kurutma odası kolektörün altına monte edilmiştir. Normal güneşli günlerde güneş enerjili kurutucu olarak, bulutlu günlerde ise hibrit kurutucu olarak kullanılmıştır. Gece yapılacak kurutma da ise gün içerisinde güneş ve elektrikli ısıtıcı ile tanktaki suya depolanan ısı enerjisi kullanılmıştır. Kurutucuda havanın geri dönüşümü ile kurutma verimi yaklaşık %65 artırılmıştır. Yapılan denemelerde 30 kg muz dilimi kapasiteli kurutucuda güneşli 8 saat sonunda %82,0 olan ilk nem içeriğinden %18,0 son nem içeriğine (y.b.) düşürülmüştür. Renk, aroma ve yapı bakımından doğal güneşte kurutmaya göre daha iyi sonuçlar bulunmuştur.

Li ve ark. (2010), tahıl kurutma işlemi için güneş enerjisi destekli kurutucu geliştirmişlerdir. Kurutucu içinde ısı pompası, havalandırma sistemi, bir tane karıştırıcı

kullanılmıştır. Bu sayede; düşük enerji tüketimi, kısa döngü süresi ve su içeriği eşitliği sağlanmıştır. Tipik güneşli günlerde 8 saat çalıştırılan güneş kolektörünün ortalama ısı verimi 0,6 kat daha fazla olmuştur. Kurutma etkisi açısından, birim güç tüketimi miktarı 3,05 kg/kWh bulunmuştur.

Rathore ve Panwar (2010), taşınabilir tip yarı silindirik güneş enerjili tünel kurutucu imal etmişler ve ısı yalıtımı yapmışlardır. Geliştirilen kurutucuyu değerlendirmek için çekirdeksiz üzüm kurutma performansı incelenmiştir. Kimyasal işlem görmemiş üzümler 7 günde %16 son nem içeriğine (y.b.) ulaştırılmıştır. Sonuçlar üzüm kurutma için tatmin edici bulunmuştur. Ayrıca açık günler boyunca tünel kurutucu içindeki sıcaklık eğimi yaklaşık 10 - 28 °C arasında artırılabilmiştir. Bu da tarımsal ürünlerin kuruması için oldukça yeterli görülmüştür. Ek olarak, geliştirilen kurutucu ile büyük bir kurutma kapasitesine ulaşılmış ve hiçbir ilave çalışma maliyeti olmadan mekanik kurutmaya imkan sunmuştur.

Nayak ve ark. (2011), yüksek maliyetli fosil enerjinin kullanımı yerine maliyetleri düşürmek için hibrit fotovoltaik-termal (PV/T) ultraviyole (UV) polietilen malzemeden yapılmış sera tipi kurutucu geliştirmişlerdir. Denemelerde yaş baza göre %80,0 ilk nem içeriğine sahip naneler %11,0 son nem içeriğine (y.b.) kadar kurutulmuş ve bu işlem 21 saat sürmüştür. Kurutulmuş nane tozları da taze numuneler ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, besleyici ve kalorifik değerlerinin orjinal rengine yakın biçimde korunduğu ve kurutulan ürünün daha uzun raf ömrüne sahip olduğunu görülmüştür. Ayrıca kurutucunun verimliliğinin %34,2 ve net CO<sub>2</sub> salınımında 140,97 ton azalma sağlandığını ortaya koymuşlardır. Kazanılan karbon kazancının ton başına 704.85 \$'dan 2.919.40 \$'a kadar değişebileceği belirtilmiştir.

Mortezapour ve ark. (2012), yüksek kaliteli ürün elde etmek ve düşük fosil yakıt kullanımı amacıyla hibrit fotovoltaik-termal (PV/T) kurutucuya ısı pompası ilave etmişler ve sıcaklık hassasiyeti olan safran bitkisini kurutmuşlardır. Safranın kuruma davranışını üç farklı hava sıcaklıkları düzeyinin (40, 50 ve 60 °C), üç farklı hava hızının (0,008, 0,012 ve 0,016 kg/s) ve iki farklı konumun (ısı pompası sistemi olan ve olmayan) kurutmaya etkisi incelemişlerdir. Sonuç olarak, ısı pompası uygulamasının



kurutma zamanı ve enerji tüketimini düşürdüğü ve güneş kolektörünün elektriksel verimliliğini arttırdığı sonucuna ulaşmıştır. Isı pompası ilavesi ile enerji tüketimi %33 düşürülmüştür. Güneş kolektörünün en yüksek elektriksel verimi %10,8 olurken, ısı verimi %28 olarak bulunmuştur. Kurucunun en yüksek verimliliği ise %72 olup, en yüksek nem alma oranı 1,16 ile 0,016 kg/s hava hızı, 60 °C ve ısı pompası kullanım koşullarında sağlanmıştır.

Aktaş ve ark. (2013), fotovoltaik ve termal güneş enerjili ve 10 kg kapasiteli bir kurutucu tasarlamışlar ve imal ederek domates kurutmayı analiz etmişlerdir. Geliştirilen kurutucu farklı şartlarda domates kurutmak için kullanılmıştır. Gerekli olan elektrik ve ısı enerjisinin tamamı güneş enerjisiyle sağlanmıştır. Domates dilimleri; 40, 45 ve 50 °C kurutma havası sıcaklıklarında ve ortalama 0,2 m/s hava hızında sırasıyla 8,5, 7 ve 6 saat sürede kurutulmuştur. Deney sonuçlarına göre, güneş kolektörü verimi ortalama %49,33 olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışma ile konvansiyonel kurutma sistemlerine tüm ölçeklerde alternatif olabileceği test edilmiştir.

Lopez-Vidana ve ark. (2013), güneş enerjisi ve doğalgazın hibrit çalıştığı bir kurutucunun termal ve kurutma verimliliği hesaplamışlardır. Kurutucuyu; güneş kolektörü, yardımcı LPG yakıcı ve kurutma odasından oluşturmuşlardır. Maksimum kurutma etkinliği sadece LPG kullanıldığında %86, Hibrit olarak çalıştırıldığında %71 ve sadece güneş enerjili seçenekte ise %24 olarak bulunmuştur. Hibrit kurutucu etkinliği LPG ile kurutma sistemine göre kurutulmuş ürünün kalitesinden kayıp olmaksızın %20 daha az yakıt tüketilmesi avantajı sağlanmıştır.

Sahin ve ark. (2013), güneş enerjisi destekli akışkan yataklı kurutucuda bezelye kurutmanın etkilerini değerlendirmişlerdir. Kurutucu; sıcak havanın elde edildiği güneş kolektörü, hava üfleyici ve numunelerin kurutulduğu sütundan oluşturulmuştur. Bu sistemde yapılan kurutmanın hızı, açık güneşte kurutmanın 3,5 katı olduğu bulunmuştur. Ayrıca bu iki yöntem arasında renk kalitesi açısından farklılık oluşmamıştır. Ancak kurutma sürenin düşürülmesi sebebiyle bezelye kurutma için önerilmiştir.

Mohajer ve ark. (2013), kurutucu sistemini destekleyen ve sıcak su tüketimine olanak sağlayan çift amaçlı güneş kolektörünün yeni bir hibrit sistemini sunmuşlardır. Sistem; 100 lt su depolama tankı, 5 raflı güneş enerjili kurutucu ve çift amaçlı kolektörden oluşturulmuştur. Deneyler sabit hava ve su akış hızında sebzelerin (maydanoz, dereotu ve kişniş) kurutulması ile gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra, elektrikli ısıtıcı da ısıtmaya yardımcı kaynak olarak kullanılmıştır. Sonuçlar sistemin sebzeleri iyi şekilde kuruttuğunu ve aynı zamanda da tüketilecek sıcak suyun sağlanabildiğini göstermişlerdir.

Yunus ve ark. (2013), güneş enerjili kurutucunun ek ısıtıcı olarak biyokütle yakıcı ile kullanılmasının simülasyonu incelemiştir. Simülasyon sonuçlarını deneysel ölçümlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Simülasyonların gerçek koşullara uygun sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Hibrit uygulamanın; yüksek sıcaklık sağlaması ve istenen kurutma sıcaklığı aralığında yer almasından dolayı en uygun yöntem olduğu söylenmiştir. Simülasyon sonuçları sistemin zayıflığını belirleyerek pratik bilgi sağlanması ve dolayısıyla tasarım iyileştirmesine yardımcı olmuştur.

Ceylan ve ark. (2013), güneş enerjili yeni bir kurutucu tasarlamış ve üretmişlerdir. Bu kurutucu; ısı toplayıcı borular, kurutma odası, hava sirkülasyon fanı, güneş panelleri, bataryalar ve halojen lambalardan oluşturulmuştur. Bu deneysel kurutma çalışması için domates kullanılmıştır. Gün içerisindeki kurutma havası ısı toplayıcı borularda ısıtılmış ve fan ile domateslerin üzerine üflenmiştir. Güneş panelleri ise hem fanı çalıştırmış hem de gün boyunca bataryaları şarj etmek için kullanılmıştır. Şarj edilen bataryalar gece boyunca halojen lambaları çalıştırmak için kullanılmıştır. Ayrıca güneş radyasyonunun yükselmesi ile bataryaların şarj yüzdesinin artacağını böylece halojen lambaların daha uzun kurutma süresince kullanılabileceği açıklanmıştır.

Seveda (2013), güneş panelli ve zoraki konveksiyonlu güneş enerjili maliyeti düşük bir kurutucu geliştirilmiş ve değerlendirmiştir. Kurutucuyu 280x230 mm<sup>2</sup> alanlı güneş paneline bağlı kurutma odasından oluşturmuştur. Kurutma kabini, 10 mm kalınlığındaki malzeme ile yalıtılmıştır. Kurutma kabini her bir seferde yaklaşık 6 kg biber kurutma kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapılan denemelerde ilk nem içeriği

%80,2 olan biberler kurutucuda 32 saat içinde yaklaşık %10,0 son nem içeriğine (y.b.), açık güneşte kurutmada ise 56 saat sonunda %11,9 son nem içeriğine düşürülebildiğini belirtmiştir. Kurutucu içinde ortalama hava sıcaklığı ortam sıcaklığından yaklaşık 40 °C daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Hürdoğan ve ark. (2013), düşük sıcaklıkta gıda kurutmak için güneş enerjisi destekli desisif bir kurutma sisteminin uygulanabilirliğinin araştırmışlardır. İki farklı nem alma işleminin aynı anda kullanıldığı bir sistem tasarlamışlar ve yer fıstığının kurutulması üzerine uygulama yapmışlardır. Tasarlanan sistem ile enerji girdisi yüksek bir işlem olan kurutmayı, alternatif enerji kaynakları kullanarak gerçekleştirmenin yanında düşük sıcaklıkta gerçekleşen kurutmaya daha kaliteli ürün elde edilebileceği gösterilmiştir.

Helvacı ve ark. (2013), ısı değiştiricili jeotermal enerji kaynaklı kurutucunun tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Kurutucu, fan ünitesi, ısıtma ünitesi ve kurutma odası olmak üzere 3 ana bölümden oluşturulmuştur. Zeytin yapraklarının kontrollü şartlarda kuruma davranışlarını incelemek amacı ile 40, 50 ve 60 °C hava sıcaklığında ve 0,5, 1 ve 1,5 m/s hava hızlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda, kuruma hızının, artan hava sıcaklığı ve hızı ile arttığı ve kuruma süresinin de artan hava sıcaklığı ve hızı ile azaldığı gözlenmiştir. Kurutma sistemi için gerçekleştirilen enerji analizi sonucunda enerji kullanım oranının atık kurutma havasının çevreye atıldığı %7,96, atık kurutma havasının bir miktarının geri kazanıldığında ise %50,36 bulunmuştur. Kurutucunun geri kazanım yolları sayesinde enerji miktarını düşürmesi sağlanmıştır.

Polatçı (2013), çalışması kapsamında güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucu, normal etüv, vakumlu etüv, hassas kurutucu, gölgede kurutma ve güneşte kurutma yöntemlerini kullanmıştır. Isı pompalı kurutucuda 55 °C sıcaklık, diğer kurutucularda ise 55, 60, 65 ve 70 °C sıcaklıkta kurutma işlemlerini yürütmüştür. Çalışmada kuruma performansı, kuruma kinetiği, matematiksel modellemesi, renk analizi, enerji tüketim miktarı, kimyasal özellikleri (pH ve Titrasyon asitliği) belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre örnekler 20-300 saat arasında istenilen nem seviyesine ulaşmıştır. Kurutucular kendi arasında karşılaştırıldığında ise 55 °C'de en hızlı kurutma 28 saat ile ısı pompalı

kurutucuda elde etmiştir. Isı pompalı kurutucu tasarlanırken sistemden nem alarak enerji tasarrufu sağlanması amaçlamıştır. Tüm veriler ışığında tasarlanan ısı pompalı kurutucunun Selinus çeşidi domatesin kurutulması için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Oueslati ve ark. (2014), tarım ürünlerinin tünel kurutucuda kurutulması sırasındaki ısı ve kütle transferi analizini yapmışlardır. Sistem tünel kurutucu ve 4 adet güneş enerjili hava ısıtıcıdan oluşturulmuştur. Çeşitli enerji dengesi denklemleri çözümlenerek kurutucunun ısı performansını incelenmiştir. Domates kurutma uygulamalarında tahminler ve deneysel sonuçlar arasında benzerlikler gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında dikkate alınan kurutma hava hızındaki bir artışın kurutma havası sıcaklığındaki artışa göre kuruma süresine daha az etki ettiği gösterilmiştir.

Reyes ve ark. (2014), domates kurutma amacıyla 3 m<sup>2</sup> güneş paneli ve elektrik dirençli hibrit bir kurutucu kullanmışlardır. Kurutma tepsi çıkışındaki hava %80 veya %90 devri daim yaptırılmış ve hava sıcaklığı 50 veya 60 °C'de ayarlanmıştır. Güneş paneli çıkışındaki hava sıcaklığı çevre sıcaklığının 5 ile 18 °C arasında yükseltilmiştir. Güneş enerjisi girdisi %6,6 ile %12,5 arasında enerji tasarrufu ile sonuçlanmıştır. Bu değerlerin kurutucuya konulacak domates miktarının artırılması ile daha da iyileştirilebileceği ifade edilmiştir.

Aritesty ve Wulandani (2014), sera tipi, raflı ve güneş enerjili kurutucuda yabancı zencefilin kurutulması performansını belirlemişlerdir. Ürünsüz ve iki farklı kapasitede ürün koyularak denemeler gerçekleştirilmiştir. En iyi kurutma performansı 47,2 °C'de 60 kg'lık yabancı zencefillerin dilimlendiği ve 30 saat boyunca kurutulması sonucu oluşmuştur. Bulutlu ve yağışlı koşulların üstesinden gelmek için biyokütle sobası kullanımı sağlanmıştır.

Cipliene ve ark. (2015), denemeleri için iki farklı güneş kolektörü içeren kurutucu geliştirilmiştir. Bunlar doğrudan ısıtma sağlayacak havalı tip güneş kolektörü (12 m<sup>2</sup>) ve ısı enerjisi dönüştüren düz plakalı tipi güneş kolektörleridir (8 m<sup>2</sup>). Çalışmalarda aslankuyruğu bitkisi kurutulmuştur. İki farklı güneş kolektörünün kombine edilmesiyle,

güneş ışınımının değişkenliğini telafi etmek ve kurutma işleminin devamlı kullanılabilceği saptanmıştır.

Sepehrimehr ve Kohan (2015), pasif tip hibrit güneş enerjili - elektrikli kurutucu tasarlamış ve imal etmişlerdir. Bu kurutucunun ısı kaynakları elektrikli ısıtıcı ve 2 m<sup>2</sup> alana sahip düz yüzeyli bir güneş kolektörüdür. Kurutucuda üzümleri kurutmak için tamamen rasgele olacak şekilde beş muamele ve üç tekrar uygulanmıştır. Bu araştırmada yapılan işlemler; Açık havada (kontrol) kurutma, dolaylı güneş kurutma, 600 W elektrikli ısıtıcı ile dolaylı güneş kurutma, 1200 W elektrikli ısıtıcı ile dolaylı güneş kurutma ve karma modda 1200 W elektrikli ısıtıcı ile güneş kurutmadır. Sonuçlar, her bir uygulamanın kurutulmuş örneklerin nem oranı arasında önemli bir fark olduğunu göstermiştir. Üçüncü uygulamada üretilen kurutulmuş kuru üzümlerin daha iyi bir kalite, renk ve görünüme sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Son uygulamada ise üzümler daha kısa zamanda kurutulmuştur. Bu araştırmada üzümün son nem içeriği %16,0 olarak belirlenmiştir.

Sona (2015), güneş enerjili tünel tip kurutucuyu Hindistan cevizi kurutma amacıyla tasarlamış, doğru ve etkin güneş radyasyonunun bulunmadığı durumlarda gerekli olan ısıyı üretmek için biyogaz yakma ünitesi bulunan yedekleme sistemi ilave etmiştir. Burada gerekli ürünün kurummasını sağlamak için ısıtılmış hava aktarılarak dolaştırılmıştır. Daha düşük güneş radyasyonunda ise yardımcı ısıtma birimi kullanılmıştır. Bu ünite biyogazın yakılması için bir brülörden ve kurutma odasına hava taşıyan tüplerden oluşturulmuştur. Sonuç olarak, açık güneşte kurutulması 34 saat süren bu işlem, geliştirilen kurutucuda 20 saat sürmüştür.

Yassen ve Al-kayiem (2016), ısıl biyokütle yedekleme ünitesinden çıkan baca gazının ısıl enerjisini geri kazanım kriterleri açısından değerlendirmiştir. Hibrit güneş - ısıl kurutma sisteminin bir prototipini oluşturmuşlar ve geri kazanım yapılmayan sisteme kıyasla performans değerlendirilmesini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmalar hibrit mod (gece - gündüz) ve tek başına ısıl mod (gece) olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Kurutma malzemesi olarak kırmızı biber kullanılmıştır. Isıl modun sonucuna göre kurutucunun genel kurutma verimliliğinin geri kazanımsız % 9,9'dan geri

kazanımlı % 12,9'a yükseltildiğini göstermiştir. Hibrit kurutmanın genel kurutma verimi geri kazanımsız değeri % 10,3 iken, geri kazanımlı değeri % 13'e yükselmiştir. Genel kurutma verimi artışı hibrit gün ve gece kurumasında % 25,84, ısı gece kurutma modunda % 29,7 olarak bulunmuştur. Bu onaylanmış sistemin kapasitesini arttırmak için ısı geri kazanım kullanımını teşvik etmişlerdir.

Hussein ve ark. (2016), hibrit, güneş enerjili ve açık güneşte kurutma yöntemiyle kurutulan domates dilimlerinin ince tabaka kurutma davranışları ile kuruma özellikleri araştırılmıştır. Diğer yöntemlere kıyaslandığında domates dilimleri en hızlı hibrit kurutma yöntemiyle kurutulmuştur. Kalınlıkları 4, 6 ve 8 mm olan domates dilimleri sırasıyla 300, 360 ve 420 dakikada %94,22 ilk nem içeriğinden %10,0 son nem içeriğine (y.b.) kadar hibrit kurutucuda kurutulmuştur. Bununla birlikte güneş enerjili kurutma sırasıyla 420, 510, 600 dakika ve açık güneşte kurutma da 510, 630, 840 dakika sürmüştür. Ölçülen sonuçlara göre hibrit kurutmanın, güneş ve açık güneş kuruma özelliklerine kıyasla tatminkar olduğunu doğrulamıştır.

Satria ve ark. (2016), hibrit güneş - biyokütle enerji kaynağına sahip mekanik pirinç kurutucu tasarlamışlardır. Pahl & Beitz yönteminde tasarım metodolojisi olarak süreç dört aşamadan oluşturulmuştur. Bunlar; fonksiyon, planlama ve açıklama, tasarım, tasarım prototipi ve tasarım detaylarıdır. Tasarım sonuçlarına ve hesaplama dayanarak kurutucunun ve biyokütle fırınının özellikleri önerilmiştir. Üfleyci olarak kullanılan pnömatik konveyör ile sürekli bir akış sağlanan bir kurutma odası sistemi oluşturulmuştur. Bu sayede hibrit olarak güneş ve biyokütle enerji kaynakları kullanılabilmiştir. Önerilen kurutucu 500 kilo kapasiteye sahip olup 455 Watt enerji kullanacağı ve bunun normal ısıtıcıdan daha verimli olduğu belirtilmiştir.

Misha ve ark. (2016), güneş enerjisi destekli bir kurutucuyu ezilmiş yağ palmyesi yapraklarını kurutmak için kullanmışlardır. Güneş enerjisi ile güneş kolektöründeki ısıtılmış su ve iki ısı eşanjörü aracılığıyla ısı havaya aktarılmıştır. Ezilmiş yağ palmyesi yapraklarının %69,0 ilk nem içeriğini %29,0 son nem içeriğine (y.b.) azaltmak için açık güneşte kurutma süresi yaklaşık 30 saat 40 dakika sürmüştür. Geliştirilen güneş enerjili kurutucunun birinci, ikinci ve üçüncü sütunlarında sırasıyla %64, %44 ve %33 oranında

kurutma zamanı düşürülmüştür. Tam kapasitede kuruma hızı (8,37 kg/saat), açık havadaki kurumanın (4,23 kg/saat) iki katıdır. Geliştirilen kurutucu ile daha iyi kurutma havası koşulları üretilmiş, kurutma performansı geliştirilmiş ve güneş enerjisinin birincil enerji kaynağı olarak kullanılmasından dolayı daha düşük enerji tüketilmiştir.

Nabnean ve ark. (2016), yeni tasarladıkları güneş enerjili kurutucunun domates kurutma performansını sunmuşlardır. Kurutucu; kurutma kabini, ısı eşanjörü, 16 m<sup>2</sup>'lik su ısıtma amaçlı güneş kolektörü ve su tipi ısı depolama ünitesinden oluşturulmuştur. Kabin boyutu 1 m genişliğinde, 3 m uzunluğunda ve 1,4 m yüksekliğindedir. Domatesler için 100 kg yük kapasitesine sahiptir. Yeni geliştirilen kurutucuda doğal güneşte kurutmaya kıyasla kuruma süresinde belirgin bir azalma olmuştur. Kurutulan ürünler yağmur ve böceklerden tamamen korunmuş, yüksek kaliteli olarak elde edilmiştir. Güneş kolektörünün verimliliği %21-69 arasında bulunmuş olup geri ödeme süresinin 1,37 yıl olduğu tahmin edilmiştir.

Slimani ve ark. (2016), dolaylı bir güneş enerjili kurutma sistemine yerleştirilebilen bir fotovoltaiik - termal hibrit güneş kolektörü konfigürasyonu incelenmiştir. Sistemin elektriksel ve termal denge denklemi geliştirilmiş ve analiz edilmiştir. Sayısal sonuçlar, hibrit kolektör konfigürasyonunun enerji etkinliğinin yüksek olduğunu ve özellikle tarımsal ürünlerin kurutulması için daha uygun bir hava sıcaklığı sağladığını göstermiştir. Elektrik, termal ve toplam enerji verimliliği değerleri sırasıyla %10,5, %70 ve %90 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada sunulan sonuçlar çalışma koşullarının hibrit kolektör performansı üzerindeki etkilerinin önemini de ortaya koymuştur.

Tiwari ve ark. (2016), hibrit bir fotovoltaiik - termal sera tipi kurutucu incelemiş ve farklı parametreler altında değerlendirilmiştir. Ayrıca termal modelleme geliştirilmiştir. Toplam termal enerjinin teorik ve deneysel değerleri sırasıyla 1,92 ve 2,03 kWh olarak bulunmuştur. Sonuç olarak ürünün kalitesi artırılmış ve renk problemi en aza indirilmiştir.

Yahya ve ark. (2017), güneş-biyokütle kaynaklı hibrit bir akışkan yataklı kurutma sistemi tasarlanmış, geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu kurutucu ile çeltiklerin

kuruma kinetiği araştırılmıştır. Kurutma havasının ortalama sıcaklığı 61 ve 78 °C'dir. Çeltik %20,0 ilk nemi içeriğinden %14,0 son nem içeriğine (y.b.) 0,125 kg/s'lik bir kütle akış hızı ile düşürülmüştür. Güneş enerjili kurutuculara kıyasla, hibrid güneş - biyokütle akışkan yataklı kurutma sisteminin özgül enerji tüketimi ve kurutma süreleri daha düşük bulunmuştur.

Nwakuba ve ark. (2017), hibrit elektrik - gaz kaynaklı kurutucu kullanarak soğan kurutulmanın özgül enerji tüketimini, nem oranını ve termal verimliliğini 50, 60 ve 70 °C hava sıcaklıklarında ve 0,5, 1,0 ve 1,5 m/s hava hızları koşullarında belirlemiştir. Elde edilen sonuçlar, özgül enerji tüketiminin hava sıcaklığındaki artışla birlikte azaldığını, ancak her iki ısı kaynağında hava hızının artmasıyla yükseldiğini göstermiştir. Isı kaynaklarının termal verimliliği kurutma havası sıcaklığının artmasıyla orantılı olarak artmış ve kurutma havası hızının artmasıyla ise azalmıştır.

Bhansali (2017), parabolik toplayıcı ve fotovoltaik hibrit kaynaklı güneş enerjili bir kurutucu geliştirmiştir. Yaptığı çalışmada birden fazla meyve üzerinde denemeler yapmış, geliştirilen kurutucunun farklı tarımsal ürünlerin kurutulması için olumlu sonuçları olduğunu bulmuştur. Kurutucunun kurutma süresini 2-3 güne düşürmüş olmanın yanı sıra ürünü kuş, böcek, mikroorganizma ve iklim koşullarından da koruduğu belirlenmiştir.

Dhanushkodi ve ark. (2017), güneş-biyokütle hibrit kurutucusu ile Kaju'nun kuruma davranışını matematiksel modeller kullanarak deneysel olarak analiz etmişlerdir. Two-Term modeli güneş enerjili kurutucu için en uygun iken, Page modeli biyokütle ve güneş-biyokütle hibrit kurutucusu için en uygun model olduğu gösterilmiştir.

Yapılan tez çalışması kapsamında yapay kurutmanın enerji maliyetini düşürmek için elektriksel uygulamalarda hibrit olarak en fazla tercih edilen güneş ve rüzgar enerjisinden yararlanılarak bir kurutucu geliştirilmiş ve literatürdeki eksikliğin doldurulması hedeflenmiştir.



### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

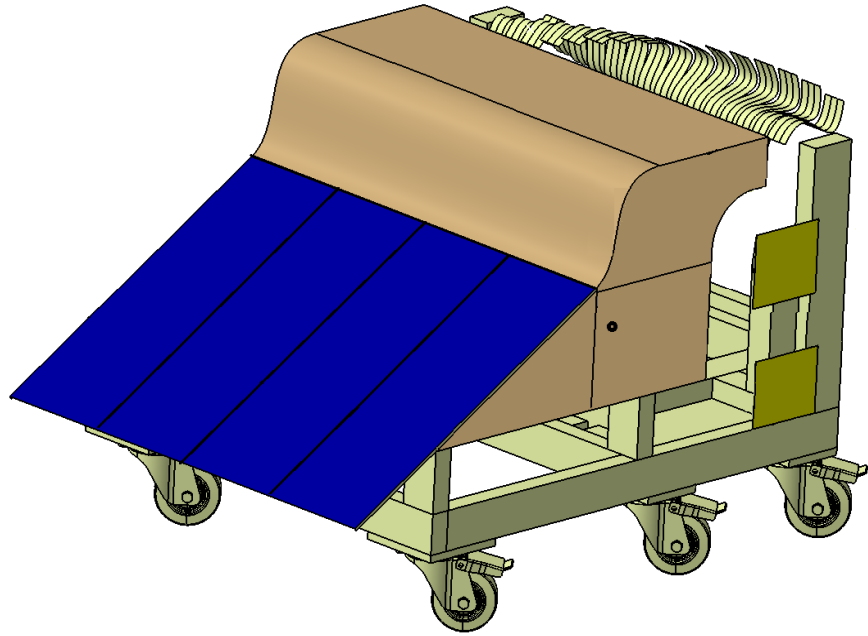
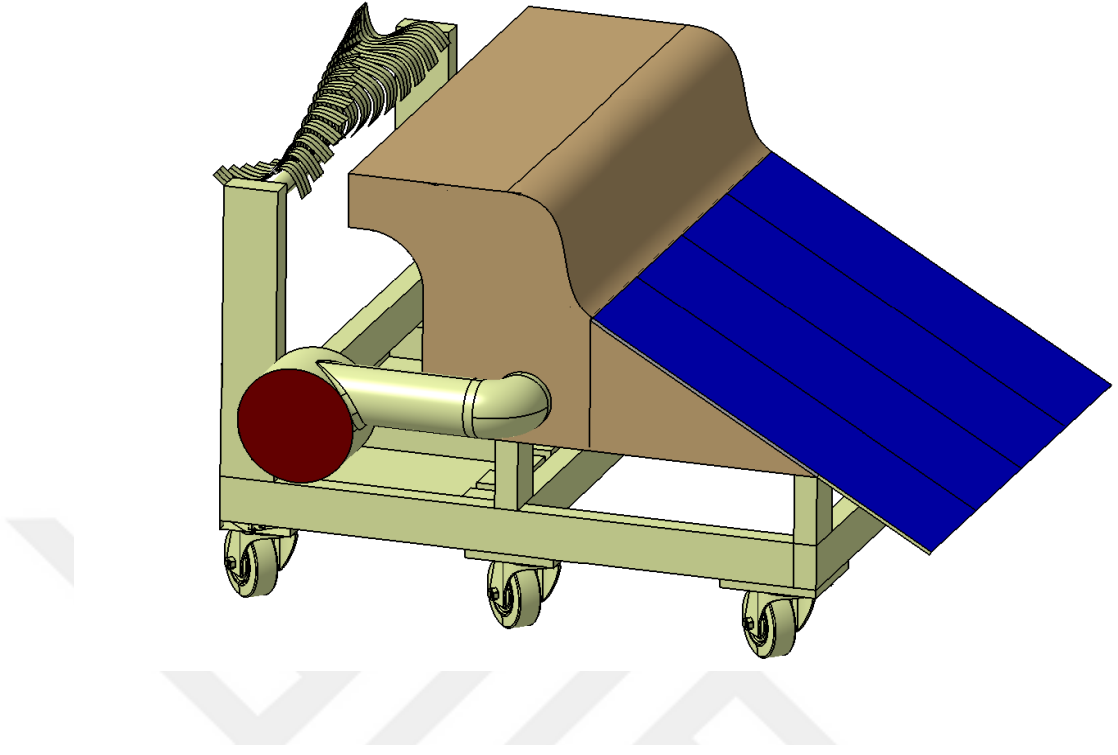
#### **3.1. Bitkisel Materyal**

Çalışma kapsamın kullanılan ürünler Bursa ili Yenişehir ilçesinde yetiştirilmiştir. Mısırlar 1 Eylül 2015 günü, bezelyeler ise 29 Haziran 2016 günü hasat edilmiştir. İlk nem içeriği tespiti ED115 (Binder, Tuttlingen, Almanya) model kurutma etüvünde 105 °C’de 24 saat bekletilerek belirlenmiştir. Yaş baza göre mısır örneklerinin %44,0±0,3, bezelye örneklerinin ise %75,6±0,2 nem içeriğine sahip olduğu saptanmıştır. Ürünler hasat sonrası nem kaybı yaşamaması için 4,0±0,1 °C’de depo edilmiştir (İzli ve ark. 2014). Ortalama mısır dane çapı 6,8±0,2 mm, ortalama bezelye dane çapı ise 10,9±0,4 mm olarak ölçülmüştür.

#### **3.2. Yöntem**

##### **3.2.1. Kurutucunun Tasarımı, İmalatı ve Teknik Özellikleri**

Çalışma kapsamında; endüstriyel düzeyde kullanılacak, geleneksel kurutma yöntemlerine alternatif, ihtiyaç duyduğu enerjiyi güneş panelleri ve rüzgar türbininin hibrit olarak çalışmasından destek alarak üretebilecek, taşınabilir, raflı ve tanbur tip bir tarımsal ürün kurutucusu tasarlanmış ve çizimi Solidworks 2010 programı ile gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan kurutucunun görünüşü Şekil 3.1’de verilmiştir.



**Şekil 3.1.** Tasarlanan prototip kurutucuya ait çizimler

Geliştirilen kurutucu temel olarak güneş paneli, rüzgar türbini, kurutma kabini, hava ısıtıcı rezistans, fan ve kontrol ünitesi kısımlarından oluşmaktadır.

İmal edilen sistem, 6 adet sarhoş tekerlekli ana şase üzerine monte edilmiştir. Kurutma kabini 2 mm kalınlığındaki paslanmaz sac malzemeden 200 cm uzunlukta, 60 cm genişlikte ve 125 cm yüksekliğinde üretilmiştir. Kurutucunun ön bölgesinde bulunan güneş panelleri kurutucunun kullanılmadığı zamanlarda hem yerden tasarruf sağlamak hem de panelleri dış etkenlerden koruyabilmek için birbiri üzerine kapanabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Kurutucunun sol bölgesinde sistemin kontrolünü sağlayan panolar bulunmaktadır (Şekil 3.2). Bu panolardan birincisi enerji üretimine, ikincisi ise enerji tüketimine yönelik düzenekleri içermektedir. Ayrıca kurutucunun arka bölgesinde ise yatay biçimde yataklarılandırılmış dikey eksenli rüzgar türbini, 12 adet jel batarya, fan ve hava ısıtma (rezistans) üniteleri bulunmaktadır (Şekil 3.5). Kurutucunun sağ bölgesinde ise sadece ürünlerin yerleştirildiği kapak bulunmaktadır (Şekil 3.3).



**Şekil 3.2.** Yan görünüş

Kurutucu kapağı ile kurutucu yüzeyi arasına yalıtım malzemesi çekilerek hava kaçışları önlenmiş, kilit mekanizması ile kapağın tam kapanması sağlanmıştır. Kurutucu içinde bulunan raflar 58 - 198 cm boyutlarında 2 mm çaplı deliklere sahip olup ve 0,5 mm kalınlığındaki krom nikel paslanmaz delikli çelik saçtan üretilmiştir. Raflar 8'er cm

aralıklı olacak şekilde 4 adet üretilmiştir. Denemelerde sadece bir raf kullanılarak kurutma havasının bu tabaka içinden geçerken herhangi bir değişikliğe uğramaması sağlanmıştır. Ayrıca farklı çalışmalarda kullanılmak üzere bir tanbur düzeneği de üretilmiştir. Tanbur düzeneği altında bulunan miller vasıtası ile tanbur döndürülebilmektedir. Millere hareket veren motorun devri değiştirilebilmektedir. Bu sayede tanburun dönüş hızı da ayarlanabilmektedir.



**Şekil 3.3.** İç düzenek ve kapak görünüşü

Kurutma kabini ile fanın bağlantısı 2 mm kalınlığındaki sacdan imal edilen silindirik hava kanalı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kurutma havasının sıcaklığı silindirik borunun kurutucu bağlantı noktasında açılan deliğe monte edilen PT100 termokupl (Esm 7730, Emko, Türkiye) ile ölçülmüştür. Ayrıca Şekil 3.4’te görülen silindirik hava kanalı altında bulunan motor ile tanbur dönüşü için çalışacak millere hareket verilmektedir.



**Şekil 3.4.** Hareket motoru ve hava iletim kanalı

Kurutucunun arka bölgesinde ise 62 - 178 cm boyutlarında hava çıkış alanına yatay biçimde yataklandırılmış 48 V manyetik jeneratörlü dikey eksenli rüzgar türbini (500 W VAWT, DPL Energy, Çin) konumlandırılmıştır (Şekil 3.5). Kurutucu hava çıkış alanı daraltılarak 200 cm uzunluğunda 9 cm yüksekliğinde tasarlanmış (Şekil 3.6) ve çıkan hava hızının arttırması amaçlanmıştır (Shikha ve ark. 2003). Bu sayede hem kurutucudan çıkan hava ve hem de her yönden gelebilecek çevre havasından oluşacak rüzgarı kabul edebilme üstünlüğüne sahip bu türbin çeşidinden elektrik üretimi hedeflenmiştir. Belirli bir hızla gelen rüzgarın etkisiyle, çarkı oluşturan silindirin iç kısmında pozitif ve dış kısmında negatif bir moment oluşturulmuştur. Pozitif moment,

negatif momentten daha büyük olduğundan, dönme hareketi pozitif moment yönünde olması sağlanmıştır (Nurbay ve Çınar 2005). Çalışma kapsamında kullanılan rüzgar türbinine ait teknik özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Dikey eksenli rüzgar türbini teknik özellikleri

Özellik	Değer
Güç	500 W
Başlangıç Rüzgar Hızı	2,5 m/sn
Malzeme	CBF ve fiberglass
Frenleme Sistemi	Aerodinamik
Jeneratör	Merkezi sürekli-mıknatıs jeneratörü



**Şekil 3.5.** Arka görünüş



**Şekil 3.6.** Hava çıkış kanalı ve rüzgar türbini

Kurutucunun arka bölgesinde 12 adet batarya (12 V DC 100 A) (SPG 100/12, SB, Çin) 48 V elektrik kaynağı elde edilecek şekilde seri olarak bağlanmıştır (Şekil 3.7). Yüksek performansa sahip akü ihtiyaçlarının artmasıyla birlikte jel akülerin kullanım alanı genişlemiş ve çalışma kapsamında da jel aküler kullanılmıştır. Jel aküler sulu akülerle kıyaslandığında, 4-5 kat arası daha yüksek ömürleri bulunmaktadır. Ayrıca kullanılabilir kapasite sulu akülerde maksimum %50 seviyesindeyken, jel akülerde bu değer %80'dir. Bu özelliklere ilave olarak sulu akünün çevrim ömrü, jel akünün 4,5 katıdır. Diğer bir ifade ile akünün %80'ini deşarj etmek koşuluyla jel akü 450 kez deşarj ve şarj edilebilmektedir (Turan 2013). Çalışma kapsamında kullanılan bataryalara ait teknik özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Batarya teknik özellikleri

<b>Özellik</b>	<b>Değer</b>
Nominal Voltaj	12 V
İç Direnç	5 mΩ
Kısa Devre Akımı	2900 A
Maksimum Şarj Akımı	25 A
Elektrolit Türü	Jel Sülfürik Asit
Yaşam Ömrü	12 yıl



**Şekil 3.7.** Bataryalar



Kurutucunun ön bölgesinde boyutları 169 - 400 cm ve toplam kapasitesi 1 kW olan 4 adet güneş paneli (SFP250, Solarfield, Türkiye) kullanılmıştır (Şekil 3.8). Güneş'ten elde edilebilecek enerji miktarı panelin bulunduğu enleme ve panelin yüzey ile yaptığı eğim açısına göre değişmektedir. Bu sebep ile Türkiye'de güneş panellerin optimum çalışmasına uygun 30°'lik açı ile güney yöne bakacak biçimde konumlandırılmıştır (Turhan ve Çetiner 2012). Çalışma kapsamında kullanılan panellerin teknik özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Güneş panelleri teknik özellikleri

Özellik	Değer
Güç	250 W
Açık Devre Voltajı	37,44 V
Nominal Güç Voltajı	30,78 V
Kısa Devre Akımı	8,90 A
Nominal Güç Akımı	8,13 A
Hücre Tipi	Polikristal



**Şekil 3.8.** Genel görünüş

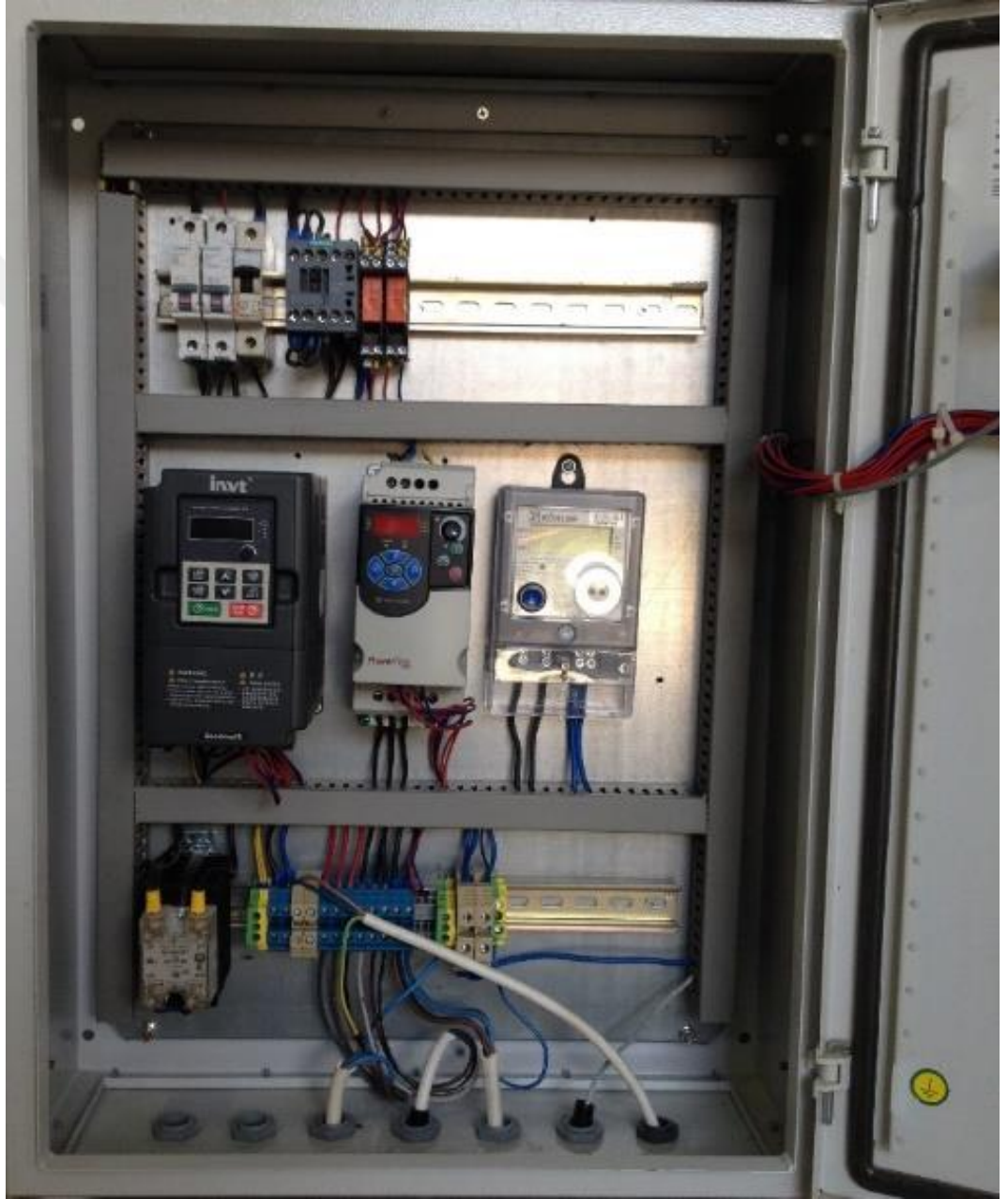
### 3.2.2. Enerji Üretim ile Tüketiminin Ölçüm ve Hesaplaması

Çalışma kapsamında kurutma için gerekli olan sıcak havayı üretmek için 1,1 kW gücünde radyal tip fan (1.5 1500S, MTA, Türkiye) ve 8 kW gücünde elektrik rezistanslarını içeren hava ısıtma ünitesi kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Fan ve ısıtma üniteleri

Her bir kurutma denemesi esnasında tüketilen toplam elektrik enerjisini belirlemek için pano içerisine sabitlenmiş Şekil 3.10’da gösterilen Kohler (AEL.MF.07, Türkiye) marka enerji ölçer kullanılmıştır (Tarhan ve ark 2010). Aynı pano içerisine kurutma için hava sağlayan fan motoru ve tanbur dönüşü için çalışacak millere hareket verecek motorlarının sürücüleri de monte edilmiştir.

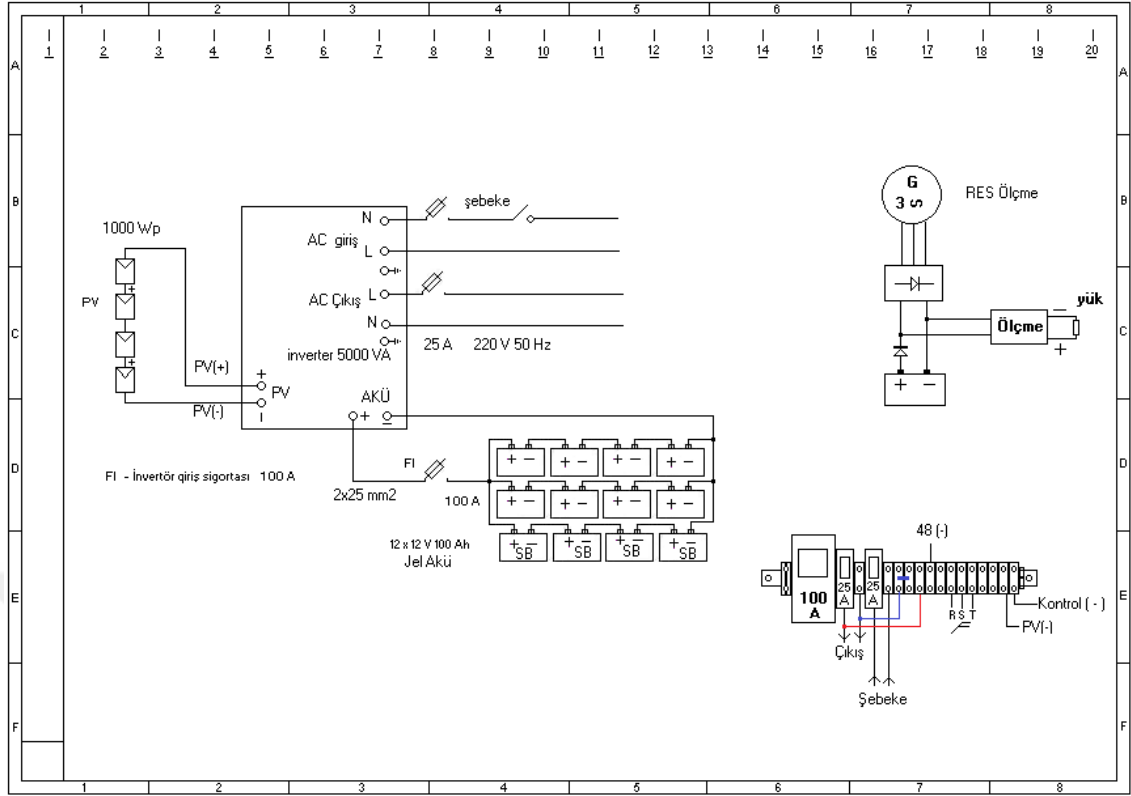


Şekil 3.10. Elektrik panosu

Kurutma esnasında güneş panelleri ve rüzgar türbininden üretilen elektrik enerjisi sırasıyla Smakn (Pzem-003, Çin) ve GT Power RC (Bk325, Çin) marka cihazlar ile ayrı ayrı ölçülmüştür (Pavlović ve ark. 2011). Çizelge 3.4’de özellikleri verilen ve üretilen enerjinin dönüşümü için kullanılan AC/DC invertör (Smart 5000, Turkwatt, Çin) pano içine monte edilmiştir (Şekil 3.11). Yine bu pano içerisine monte edilen şalter sistemi sayesinde istenildiği taktirde üretilen elektrik akülere ya da şebekeye iletilebilmektedir. Sisteme ait elektrik devresi Şekil 3.12’de verilmiştir.



**Şekil 3.11.** Hibrit enerji panosu



Şekil 3.12. Elektrik devresi

Çizelge 3.4. İnvörtör teknik özellikleri

Özellik	Değer
Nominal Güç	5000 VA / 4000 W
DC Giriş	48 VDC, 93 A
AC Çıkış	230 VAC, 50 Hz, 22 A
Sıcaklık Aralığı	0-55 °C

Güneş panellerinden üretilebilecek elektrik enerjisi için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Öztürk 2012),

$$P_{GP} = I.A.t.\eta \quad (3.1)$$

Yukarıda verilen eşitlikte;

$P_{GP}$ : Güneş panelinin üretebileceği enerji (kWh)  
 $I$  : Panele gelen güneş ışınımı şiddeti (kW/m<sup>2</sup>)  
 $A$  : Panelin yüzey alanı (m<sup>2</sup>),  
 $t$  : Güneşlenme süresi (h),  
 $\eta$  : Güneş panelinin toplam verimi

Rüzgar türbininden üretilebilecek elektrik enerjisi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Klug 2001),

$$P_{RT} = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta \cdot t \quad (3.2)$$

Yukarıda verilen eşitlikte;

$P_{RT}$ : Rüzgar türbininin üretebileceği enerji (Wh)  
 $\rho$  : Hava yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)  
 $A$  : Süpürme alanı (m<sup>2</sup>)  
 $v^3$  : Hava hızı (m/s)  
 $C_p$  : Güç katsayısı  
 $\eta$  : Mekanik verim  
 $t$  : Çalışma süresi (h)

Kurutma süresinde üretilen toplam enerji miktarı ( $P_{TEÜ}$ ) ise aşağıdaki basitleştirilmiş eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$P_{TEÜ} = P_{GP} + P_{RT} \quad (3.3)$$

Kurutma süresince tüketilen toplam enerji ise aşağıdaki eşitlik ile bulunmuştur.

$$P_{NET} = P_{ET} - (P_{GP} + P_{RT}) \quad (3.4)$$

Yukarıda verilen eşitlikte;

$P_{NET}$ : Net enerji tüketimi (kWh)  
 $P_{ET}$ : Enerji tüketimi (kWh)  
 $P_{GP}$ : Güneş enerjisi üretimi (kWh)  
 $P_{RT}$ : Rüzgar enerjisi üretimi (kWh)

### 3.2.3. Özgül Enerji Tüketim Değerlerinin Hesaplaması

Üründen birim miktarda suyu uzaklaştırmak için harcanan enerjiye özgül enerji tüketimi denilmektedir. Özgül enerji tüketiminin hesaplanmasında hava sıcaklığının ısıtma sonunda yükselme miktarı hesaplamaya dahil edilmiştir (Polatçı 2013).

Hava sıcaklığının yükselme miktarı dikkate alınarak, özgül enerji tüketimi aşağıdaki eşitlik ile bulunmuştur.

$$\text{ÖET} = \frac{T_{NET}}{\left( W \cdot \frac{N_1 - N_2}{100 - N_2} \right) \cdot (T_{OS} - T_{OÇ})} \quad (3.5)$$

Yukarıda verilen eşitlikte;

ÖET: Özgül Enerji tüketimi (kWh/kgsu °C)

T<sub>NET</sub>: Toplam enerji tüketimi (kWh)

W: Materyal ağırlığı (kg)

N<sub>1</sub>: İlk nem miktarı (% , yaş baz)

N<sub>2</sub>: Son nem miktarı (% , yaş baz)

T<sub>OS</sub>: Ortalama ısıtılmış hava sıcaklığı (°C)

T<sub>OÇ</sub>: Ortalama çevre havası sıcaklığı (°C)

### 3.2.4. Renk Değerlerinin Belirlenmesi ve Hesaplanması

Taze ve kurutulmuş örneklerin renk değerleri Hunter Lab (EZ4500L) renk ölçüm cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Her bir örnekten 10 adet okuma yapılmıştır. Renk ölçüm cihazı her okumada üç farklı renk skalasına ( $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$ ) ait sayısal değerler vermektedir (İnan 2010). Cihaz, renk ölçümlerinden önce standart bir beyaz plaka ve standart bir siyah plaka kullanılarak kalibre edilmiştir. Ölçümler ürünlerin siyah silindirik kutunun yüzeyini tamamen örtecek şekilde gerçekleştirilmiştir.

$L^*$ : Parlaklık 0 ile 100 arasında değerler alabilmektedir.  $L^*$ , “0” değerini siyah renkte hiçbir yansımanın olmadığı durumda alırken 100 değerini mükemmel yansımanın olduğu beyaz renkte almaktadır.

$a^*$ : Kırmızılık değerini ifade etmektedir. Pozitif  $a^*$  değerleri kırmızılığı temsil ederken, negatif  $a^*$  değerleri yeşil rengi temsil etmektedir.

$b^*$ : Sarılık değerlerini vermektedir. Pozitif  $b^*$  değerleri sarılığı temsil ederken, negatif  $b^*$  değerleri maviliği temsil etmektedir.

“ $a^*$ ” sıfır değeri ve “ $b^*$ ” sıfır değerini aldığı anda, renksizlik yani grilik olmaktadır.

$L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri, piyasada doğrudan alıcı ve satıcı tarafından algılanan renk olguları olmadığı için bu değerler ile insanların renk algısına hitap eden hue açısı ve kroma değerleri hesaplanmaktadır.

Hue açısı bir renk dairesi olarak tanımlanmakta olup kırmızı-mor renkleri  $0^\circ$  ve  $360^\circ$  açı değerlerinde almakta, sarı rengi  $90^\circ$  açı değerlerinde, mavimsi yeşil rengi de  $180^\circ$  ve  $270^\circ$  açı değerlerinde almaktadır. Kroma değerleri, rengin doygunluğunu göstermektedir. Donuk renklerde kroma değerleri düşerken canlı renklerde ise kroma değeri yükselmektedir. Hue açısı ( $h^\circ$ ) ve kroma değeri ( $C$ ) aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanır (Ramallo ve Mascheroni 2012).

$$h^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (3.6)$$

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (3.7)$$

Renkte meydana gelen değişmeyi ifade etmede iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Birinci yöntem ile ürün renginde kurumanın sebep olduğu toplam renk değişimi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{(L_t - L_k)^2 + (a_t - a_k)^2 + (b_t - b_k)^2} \quad (3.8)$$



Verilen eşitlikte;

$\Delta E$  = Toplam renk değişimini

t = Taze örneklere ait değerleri

k = Kurutulmuş örneklere ait değerleri temsil etmektedir.

İkinci yöntem olan kahverengileşme indeksi (*BI*) ise kahverengi renginin saflığını temsil etmektedir ve kahverengileşme reaksiyonlarının ürün renginde meydana getirdiği değişimleri tanımlamada önemli bir parametredir. Kahverengileşme indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır;

$$BI = \frac{[100(x - 0,31)]}{0,17} \quad (3.9)$$

Eşitlikte x değeri aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır (İnan 2010);

$$x = \frac{a + (1,75 \times L)}{[(5,645 \times L) + (a - (3,012 \times b))]} \quad (3.10)$$

### 3.2.5. Rehidrasyon Değerlerinin Belirlenmesi ve Hesaplanması

Rehidrasyon deneyleri, kurutulmuş 10 gr numunenin bir beze koyularak 250 ml damıtılmış su içeren bir beherde yaklaşık 20 °C'lik oda sıcaklığında 14 saat süreyle bekletilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra çıkarılan örnekler yüzeysel suyu yok etmek için süzölmüş ve tartılmıştır. Rehidrasyon kapasitesi aşağıdaki eşitlikte tanımlanmıştır (Tunaboyu 2011).

$$\%RK = 100 \cdot \left( \frac{W_f}{W_d} \right) \quad (3.11)$$

Yukarıda verilen eşitlikte; RK: Rehidrasyon kapasitesi,  $W_f$ : Numunelerin rehidrasyon sonrası ağırlığı (gr) ve  $W_d$ : Numunelerin kuru ağırlığı (gr) olarak ifade edilmiştir.

### 3.2.6. İklimsel Koşulların Ölçümü

Çizelge 3.5 - 3.10'da teknik özellikleri verilen cihazlar ile toplam güneş ışınımı şiddeti (CM11 piranometre, Kipp&Zonen, Hollanda), güneş takip sistemine monte edilmiş direkt güneş ışınım şiddeti (CHP1 pirheliometre, Kipp&Zonen, Hollanda), güneşlenme süresi (CSD 3 Sensor, Kipp & Zonen, Hollanda), dış ortam sıcaklığı (41342, Young, ABD), dış ortam nemi (41003, Young, ABD) ve çok fonksiyonlu anemometre ile hava hızı ve yönü (AM4836C, Landtek, Çin) verileri ölçülmüştür (Şekil 3.13).

**Çizelge 3.5.** Piranometre teknik özellikleri

<b>Özellik</b>	<b>Değer</b>
Spektral Aralığı	305 ~ 2800 nm
Hassasiyet	4 ~ 6 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Eğim Hatası	Yok
Çalışma Sıcaklığı	-40 °C ~ +80 °C

**Çizelge 3.6.** Pirheliometre teknik özellikleri

<b>Özellik</b>	<b>Değer</b>
Spektral Aralığı	200 ~ 4000 nm
Hassasiyet	7 ~ 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Maksimum Güneş Işını	4000 $\text{W}/\text{m}^2$
Çalışma Sıcaklığı	-40 °C ~ +80 °C

**Çizelge 3.7.** Güneşlenme süresi ölçer teknik özellikleri

<b>Özellik</b>	<b>Değer</b>
Spektral Aralığı	400 ~ 1100 nm
Güneş Sinyali	1 $\pm$ 0.1 V
Doğruluk	> 90%
Çalışma Sıcaklığı	-40 °C ~ +70 °C

**Çizelge 3.8.** Sıcaklık ölçer teknik özellikleri

<b>Özellik</b>	<b>Değer</b>
Ölçüm Aralığı	-50 °C ~ +50 °C
Sensör Tipi	1000 $\Omega$ Platinyum RTD
Doğruluk	$\pm 0.3$ °C
Çıkış Sinyali	0-1 VDC

**Çizelge 3.9.** Nem ölçüm cihazı teknik özellikleri

<b>Özellik</b>	<b>Değer</b>
Ölçüm Aralığı	0 ~ 100% (Bağıl Nem)
Sensör Tipi	Kapasitif Polimer
Doğruluk	$\pm 2$ % Bağıl Nem

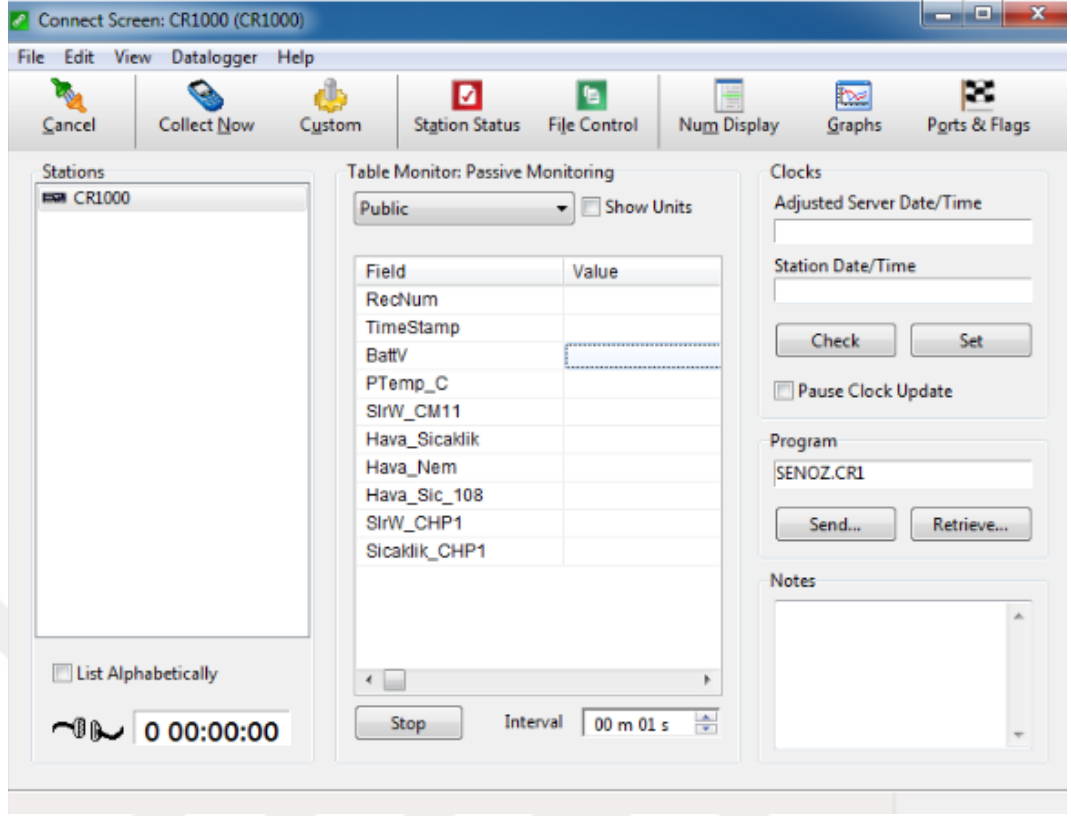
**Çizelge 3.10.** Anemometre teknik özellikleri

<b>Özellik</b>	<b>Değer</b>
Hava Hızı Aralığı	0,4 ~ 45,0 m/s
Hava Yönü	0 ~ 360 °
Doğruluk	$\pm 2$ %
Sıcaklık Aralığı	-10 ~ +60 °C



**Şekil 3.13.** Meteoroloji istasyonu

Çevresel koşulların etkisini anlayabilmek için ölçülen veriler Campell Scientific marka datalogger (Cr1000, Kanada) tarafından ortalama 1 dk aralıklarla olacak şekilde veri ölçümleri kaydedilmiştir. Veri kaydediciden bilgisayar ortamına veri aktarımında ise *loggernet 4.2.1.* yazılımından yararlanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Loggernet programı ekran görüntüsü

### 3.2.7. Verilerin Değerlendirilmesi

Farklı kurutma yöntemlerinden elde edilen verilerin işlenmesinde MS-Excel programı kullanılmıştır. Renk ve rehidrasyon kapasitelerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde JMP (Versiyon 7, ABD) paket programı kullanılarak tek yönlü varyans analizi ile karşılaştırma testi yapılmıştır. Farklar  $p < 0.05$ 'de anlam düzeyinde kabul edilmiştir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

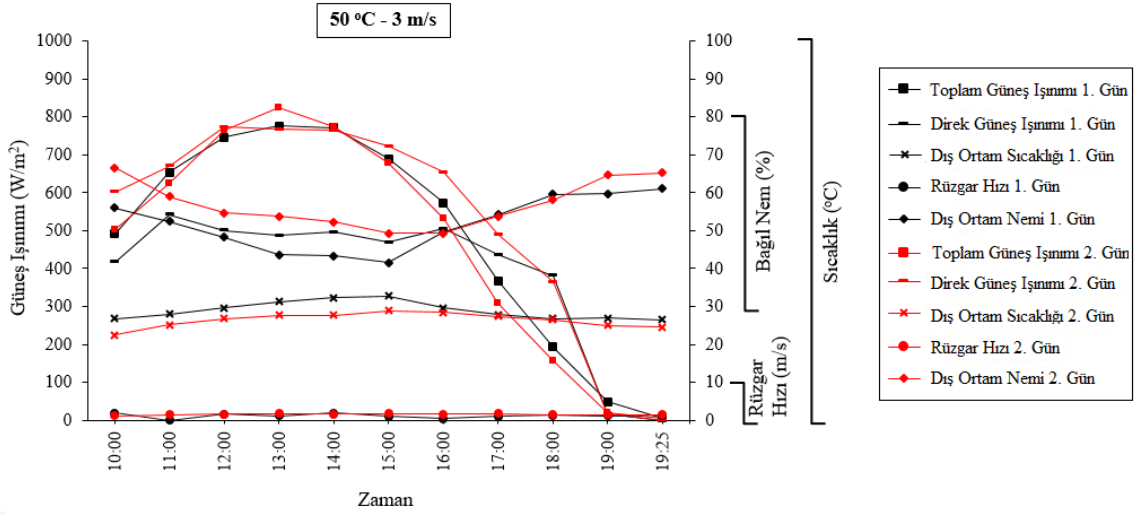
Yapılan tez çalışması kapsamında geliştirilen kurutucunun enerji üretim ve tüketim değerlerinin yanı sıra mısır ve bezelye ürünleri üzerindeki kurutma performansı, özgül enerji tüketimi değerleri ile renk ve rehidrasyon analizine ait sonuçlar alt başlıklar halinde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

### 4.1. Mısır Kurutma

#### 4.1.1. İklimsel Veriler

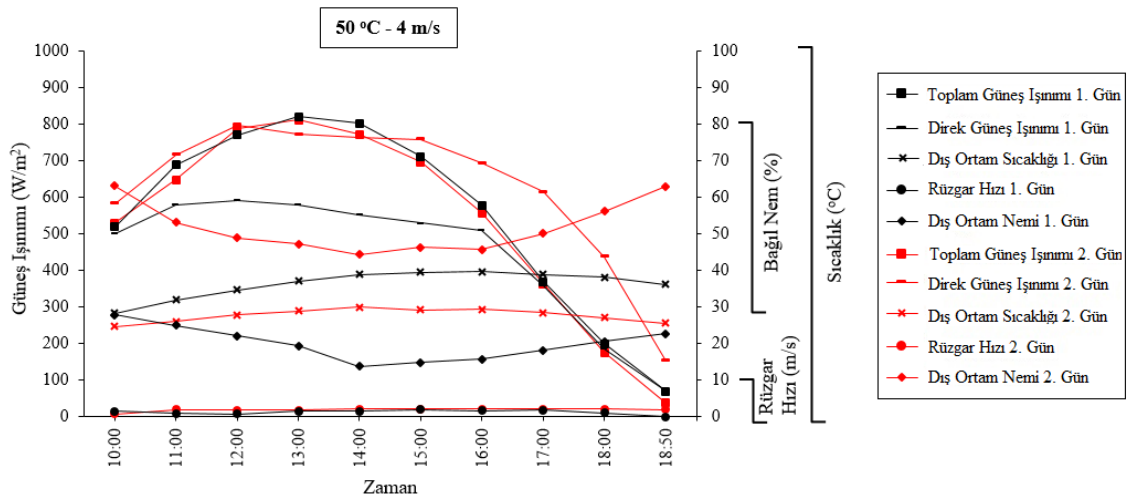
Şekil 4.1 - 4.6'da 02.09.2015 ve 19.09.2015 tarihleri arasında saat 10.00'dan kurutma tamamlanincaya kadar ölçülen toplam ışıınım, direkt ışıınım, dış ortam nemi, dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı verileri sunulmuştur. Çalışma günlerinde havanın açık-güneşli seçilmesine dikkat edilmiştir. Deneme periyodu boyunca en yüksek toplam ışıınım 867,23 W/m<sup>2</sup> ile 05.09.2015 tarihinde saat 13.00'da, en düşük ise 19.09.2015 tarihinde saat 19.25'de 4,07 W/m<sup>2</sup> olarak saptanmıştır. Direkt ışıınım olarak en yüksek 17.09.2015'da saat 12.00'da 797,26 W/m<sup>2</sup>, en düşük ise 07.09.2015 ve 09.09.2015 tarihlerinde saat 19.25'de 0 W/m<sup>2</sup> değerleri gözlemlenmiştir. En yüksek dış ortam sıcaklığı 39,53 °C ile 06.09.2015 tarihinde saat 16.00'da, en düşük ise 22,48 °C ile 19.09.2015 tarihinde saat 10.00'da gerçekleşmiştir. Dış ortam neminde en yüksek değere 06.09.2015 günü saat 10.00'da %69,2 ile en düşük değere ise 06.09.2015 günü saat 14.00'da %13,75 ile rastlanmıştır. En yüksek rüzgar hızı 2,8 m/s ile 09.09.2015 tarihinde saat 15.00'da, en düşük ise 06.09.2015 tarihinde saat 18.50'de 0 m/s olarak belirlenmiştir.

50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemeler 07.09.2015 ve 19.09.2015 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 1. deneme günü esnasında elde edilen iklimsel verilerin ortalamaları; toplam güneş ışıınımı 483,65 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışıınımı 386,53 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 28,97 °C, dış ortam nemi %51,75 ve rüzgar hızı 1,17 m/s'dir. Denemenin yapıldığı 2. günün ortalamaları ise; toplam güneş ışıınımı 471,94 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışıınımı 529,45 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 26,42 °C, dış ortam nemi %56,98 ve rüzgar hızı 1,59 m/s olmuştur (Şekil 4.1).



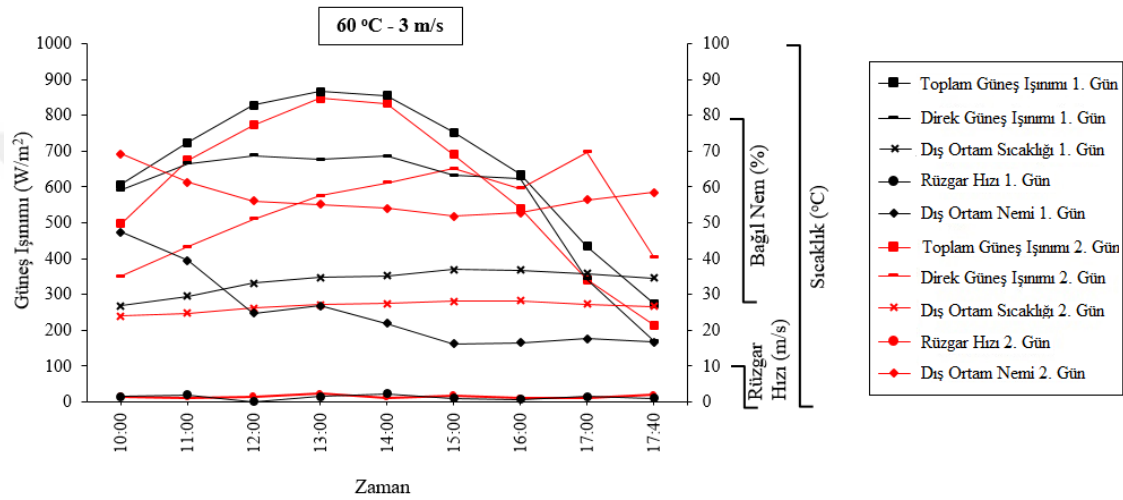
Şekil 4.1. 07.09.2015 ve 19.09.2015 tarihleri iklimsel verileri

50 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemeler 06.09.2015 ve 17.09.2015 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 1. deneme günü esnasında elde edilen iklimsel verilerin ortalamaları; toplam güneş ışınımı 551,93 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışınımı 444,47 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 36,22 °C, dış ortam nemi %19,94 ve rüzgar hızı 1,24 m/s'dir. Denemenin yapıldığı 2. günün ortalamaları ise; toplam güneş ışınımı 536,62 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışınımı 627,69 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 27,62 °C, dış ortam nemi %51,68 ve rüzgar hızı 1,82 m/s olmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. 06.09.2015 ve 17.09.2015 tarihleri iklimsel verileri

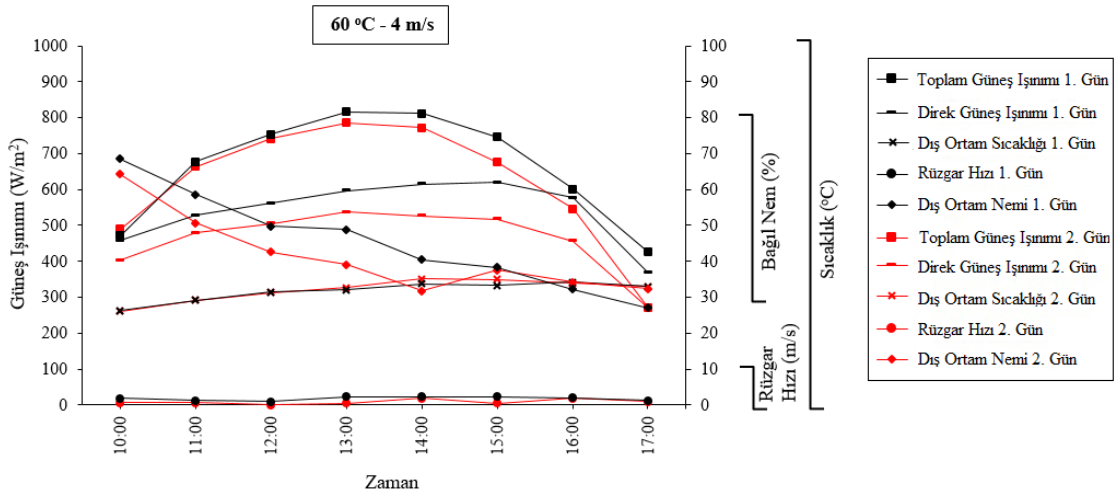
60 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemeler 05.09.2015 ve 16.09.2015 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 1. deneme günü esnasında elde edilen iklimsel verilerin ortalamaları; toplam güneş ışıınıımı 664,31 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışıınıımı 563,64 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 33,72 °C, dış ortam nemi %25,29 ve rüzgar hızı 1,23 m/s'dir. Denemenin yapıldığı 2. günün ortalamaları ise; toplam güneş ışıınıımı 601,47 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışıınıımı 536,44 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 26,60 °C, dış ortam nemi %57,25 ve rüzgar hızı 1,48 m/s olmuştur (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. 05.09.2015 ve 16.09.2015 tarihleri iklimsel verileri

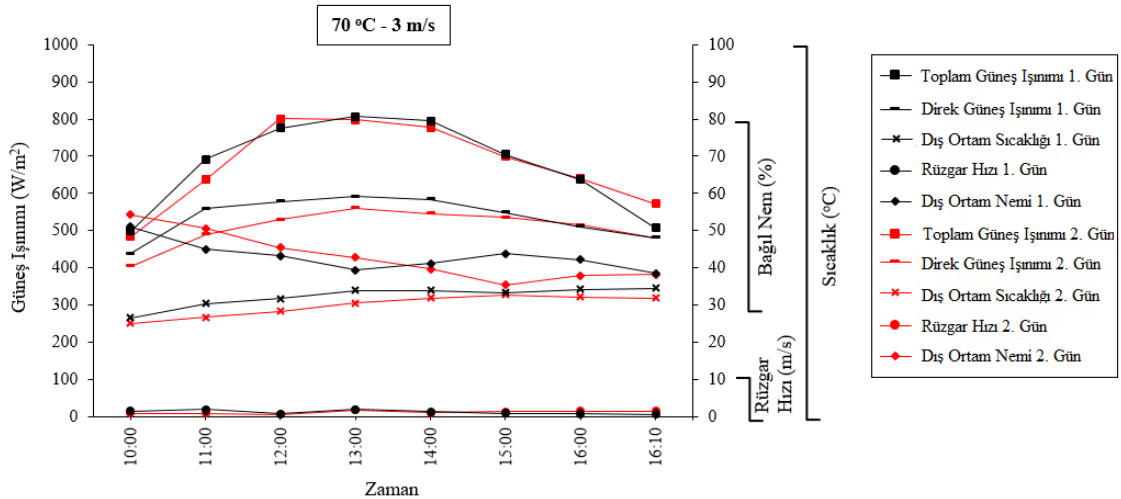
60 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemeler 04.09.2015 ve 11.09.2015 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 1. deneme günü esnasında elde edilen iklimsel verilerin ortalamaları; toplam güneş ışıınıımı 663,18 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışıınıımı 540,90 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 31,69 °C, dış ortam nemi %45,48 ve rüzgar hızı 1,78 m/s'dir. Denemenin yapıldığı 2. günün ortalamaları ise; toplam güneş ışıınıımı 618,48 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışıınıımı 461,68 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 32,04 °C, dış ortam nemi %41,58 ve rüzgar hızı 0,86 m/s olmuştur (Şekil 4.4).





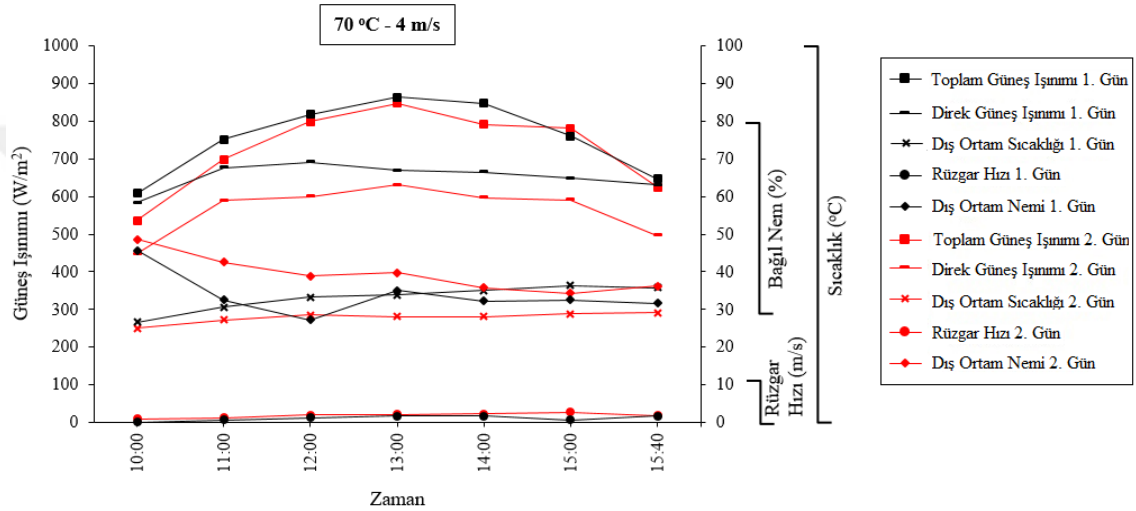
Şekil 4.4. 04.09.2015 ve 11.09.2015 tarihleri iklimsel verileri

70 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan deneyler 03.09.2015 ve 10.09.2015 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 1. deneme günü esnasında elde edilen iklimsel verilerin ortalamaları; toplam güneş ışınımı  $677,42 \text{ W/m}^2$ , direkt güneş ışınımı  $536,17 \text{ W/m}^2$ , dış ortam sıcaklığı  $32,31 \text{ }^\circ\text{C}$ , dış ortam nemi  $\%43,00$  ve rüzgar hızı  $1,17 \text{ m/s}$ 'dir. Denemenin yapıldığı 2. günün ortalamaları ise; toplam güneş ışınımı  $675,87 \text{ W/m}^2$ , direkt güneş ışınımı  $507,30 \text{ W/m}^2$ , dış ortam sıcaklığı  $29,87 \text{ }^\circ\text{C}$ , dış ortam nemi  $\%43,00$  ve rüzgar hızı  $1,15 \text{ m/s}$  olmuştur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. 03.09.2015 ve 10.09.2015 tarihleri iklimsel verileri

70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemeler 02.09.2015 ve 09.09.2015 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 1. deneme günü esnasında elde edilen iklimsel verilerin ortalamaları; toplam güneş ışınımı  $756,84 \text{ W/m}^2$ , direkt güneş ışınımı  $652,41 \text{ W/m}^2$ , dış ortam sıcaklığı  $33,11 \text{ }^\circ\text{C}$ , dış ortam nemi %33,82 ve rüzgar hızı  $1,10 \text{ m/s}$ 'dir. Denemenin yapıldığı 2. günün ortalamaları ise; toplam güneş ışınımı  $725,83 \text{ W/m}^2$ , direkt güneş ışınımı  $564,58 \text{ W/m}^2$ , dış ortam sıcaklığı  $27,89 \text{ }^\circ\text{C}$ , dış ortam nemi %39,43 ve rüzgar hızı  $1,88 \text{ m/s}$  olmuştur (Şekil 4.6).

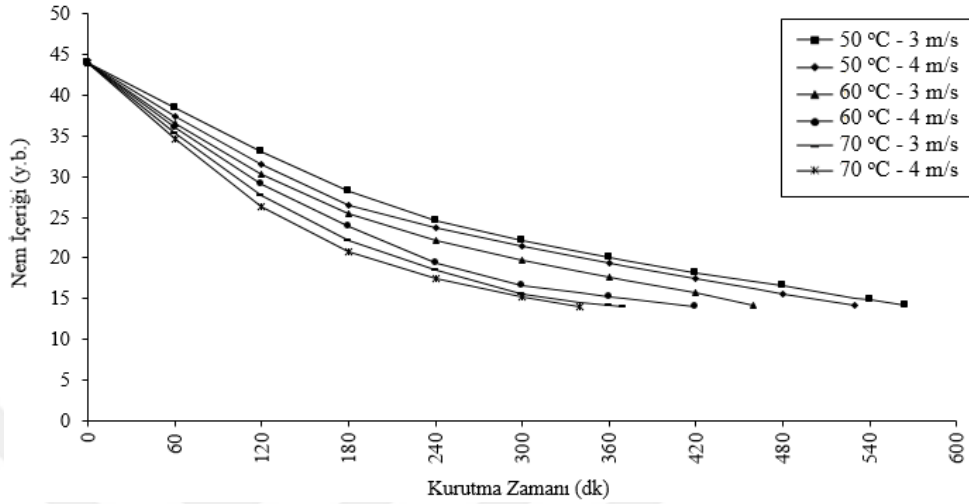


Şekil 4.6. 02.09.2015 ve 09.09.2015 tarihleri iklimsel verileri

#### 4.1.2. Kurutma Performansı

Denemelerde ilk nem içeriği %44,0 olan mısırların %14,0 son nem içeriğine kadar kurutulmasında nem değerleri yaş baza göre (Doymaz ve Pala 2003), kurutma süreleri ise dakika olarak verilmiştir. Farklı kurutma havası sıcaklıklarının ve hava hızlarının nem içeriğinin azaltılması üzerindeki etkileri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 3 m/s sabit bir kurutma havası hızında ve 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarında yapılan denemelerde mısırlar kuruma süreleri sırasıyla 565, 460 ve 370 dakika olmuştur. Ayrıca 70 °C sıcaklık koşulundaki kurutma denemesinde kuruma süresi 50 °C sıcaklık koşuluna göre 1,52 kat azalmıştır. Kurutma işlemi, 4 m/s sabit bir kuruma havası hızında ise 50, 60 ve 70 °C sıcaklıkları için sırasıyla 530, 420 ve 340 dakika kuruma süreleri belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığının 70 °C sıcaklık koşulundan 50 °C sıcaklık koşuluna düşürülmesi ile kurutma süresi 1,55 kat artmıştır. Toplam kuruma

süreleri dikkate alındığında kuruma süresi en fazla 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı ve en kısa ise 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı yapılan deneme sonucunda gerçekleşmiştir. İki deneme arasında ortalama toplam kuruma süresi yaklaşık %40 oranında azalmıştır.



Şekil 4.7. Nem - zaman ilişkisi

Elde edilen sonuçlara göre hava sıcaklığı ve hava hızı arttıkça kurutma süresi azalmaktadır. Bu sonuçların önceki çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüş ve benzer sonuçlar farklı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Simal ve ark. (1996), bezelyeyi farklı sıcaklıklarda (40, 50, 60, 70, 80 ve 90 °C) kurutmuştur. Elde ettikleri deneysel verilere göre kurutma havası sıcaklığının toplam kuruma süreleri üzerinde önemli bir etki gösterdiğini tespit etmişlerdir. Mohapatra ve Rao (2005), ince tabaka şeklinde ve 40, 50 ve 60 °C kurutma havası sıcaklığında buğday kurutmuş ve sırasıyla 720, 385 ve 185 dakika sürdüğünü belirlemişlerdir. Doungporn ve ark. (2012), çeltik için 40, 50, 60 ve 70 °C'de yaptıkları çalışmada yüksek kurutma sıcaklığı ile daha düşük nem içeriğinin elde edildiğini bulmuşlardır. Ayrıca hava hızındaki artışın kuruma süresini belirgin bir şekilde düşürdüğü ispat edilmiştir. Iguaz ve ark. (2003), 2 farklı hava hızında (0,75 ve 2,5 m/s) ve 4 farklı kurutma havası sıcaklığında (5, 12, 25 ve 35 °C) çeltik kurutma gerçekleştirmişlerdir. Sabit hava sıcaklığında artan kurutma hava hızının kurutma süresini düşürdüğünü belirlemişlerdir. Khatchatourian (2012), soya fasulyesi üzerindeki hava akışının, tanecik yüzeyinden su buharlaşması için gerekli olan ısı miktarının sağlanmasında ve elde edilen buharın uzaklaştırılması için gerekli olduğunu ifade etmiştir.

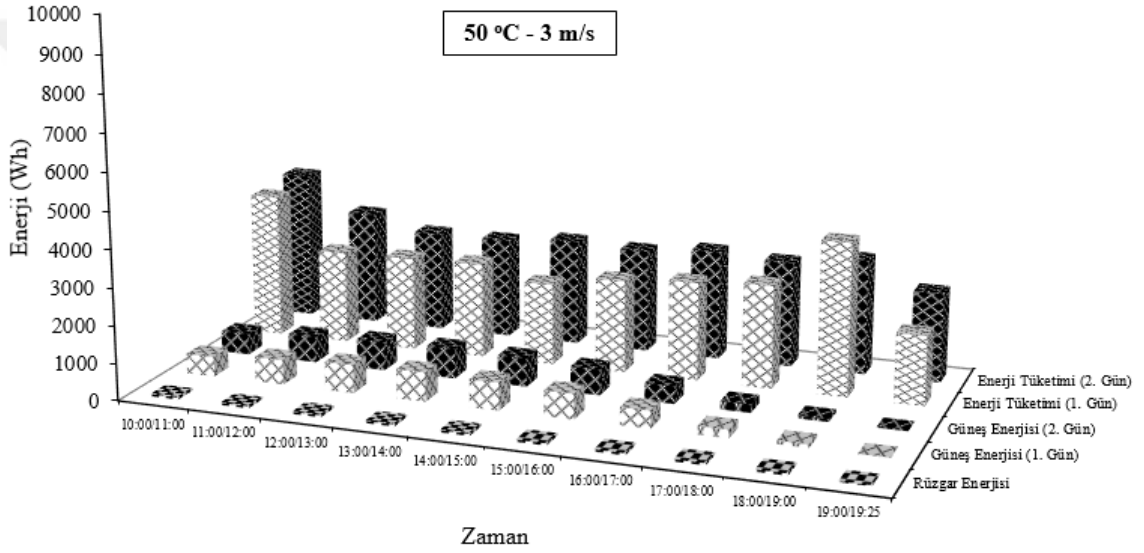
### 4.1.3. Enerji Üretimi ve Tüketimi

Farklı kurutma şartları için enerji tüketiminde ve enerji üretimindeki (güneş paneli ve rüzgar türbini) değişim Şekil 4.8 - 4.13'de gösterilmektedir. Kurutma denemeleri enerji tüketimlerine göre karşılaştırıldığında, bağıl nem ve hava sıcaklığının artması rezistansların enerji tüketimini düşürmesi için önemli birer parametre oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca kurutucunun yüksek sıcaklıktaki çevre havasını ısıtırken daha az enerji tükettiği belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde en düşük enerji tüketimi 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı, en yüksek ise 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında gerçekleşmiştir. Sonuç olarak kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası hızında yapılan artışlar enerji tüketimi de arttırmıştır.

Kurutma denemelerinin (kurutma havası sıcaklığı (50, 60 ve 70 °C) ve kurutma havası hızı (3 ve 4 m/s)) sürelerine bağlı olarak güneş panellerinin ürettiği enerji miktarı değişmekte olup, toplam enerji tüketimlerinin %23,00 ile %9,81 arasında karşılamıştır. Ayrıca kurutucudan çıkan atık nemli havadan ve çevre rüzgarından faydalanmak amacıyla yapısal avantajı gereği her yönden gelen hava ile hareket edebilen dikey eksenli rüzgar türbini kullanılmıştır. Bölgede oluşan rüzgar hızına ilaveten kurutucu içinden çıkan 3 m/s hava hızı denemelerinde 1,5 m/s, 4 m/s hava hızı denemelerinde 1,7 m/s kadar toplam hava hızları oluşmuştur. Rüzgar türbininin farklı hava hızları altında üretebileceği enerji miktarı ölçülmüş ve optimum hava hızında üretebileceği enerji miktarı belirlenerek kurutma süresine göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu kapsamda, rüzgar türbininin farklı kurutma süreleri için enerji tüketimini 311 ila 518 Wh arasında karşılayabileceği belirlenmiştir.

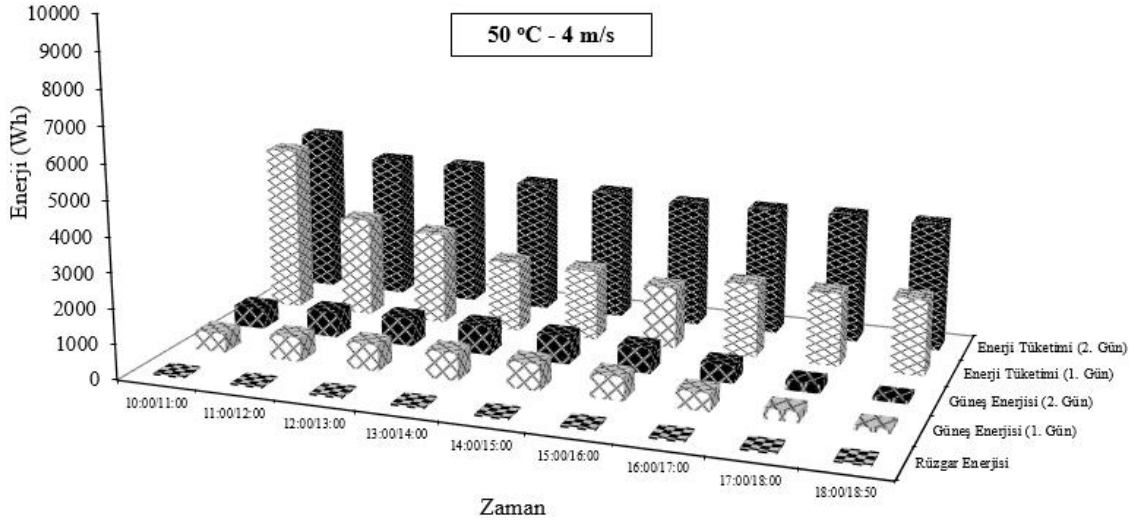
Şekil 4.8 - 4.13'de 02.09.2015 ve 19.09.2015 tarihleri arasında saat 10.00'dan kurutma tamamlanıncaya kadar ölçülen enerji tüketimi, güneş enerjisi üretimi ve rüzgar enerjisi üretimi verileri saatlik olarak sunulmuştur. Deneme periyodu boyunca en yüksek enerji tüketimi 7,31 kWh ile 09.09.2015 günü 10.00 - 11.00 saatleri arasında gerçekleşmiştir. Güneş panellerinden elde edilen en yüksek üretim 851 Wh ile 16.09.2015 günü saat 13.00 - 14.00 arasında gerçekleşmiştir. Rüzgar türbininden üretilen enerji için bölgede oluşan rüzgar hızı ve kurutucu içinden çıkan hava hızlarının toplamı kadar hava hızı rüzgar türbinine iletilebilmiş ve optimum hava hızında 55 Wh üretim yapılmıştır.

50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerin 1. ve 2. gününde sırasıyla 27,60 ve 29,50 kWh enerji tüketilmiştir. Buna karşın, güneş panellerinden 1. deneme gününde 5,00 kWh, 2. Deneme gününde ise 5,09 kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince rüzgar türbininden ise 518 Wh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Denemelerin yapıldığı günlerde en fazla tüketim 4,1 kWh ile 07.09.2015 günü saat 18.00 - 19.00 arasında, güneş panellerinden yapılan en fazla üretim ise 19.09.2015 günü saat 13.00 - 14.00 arasında 802 Wh olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.8).



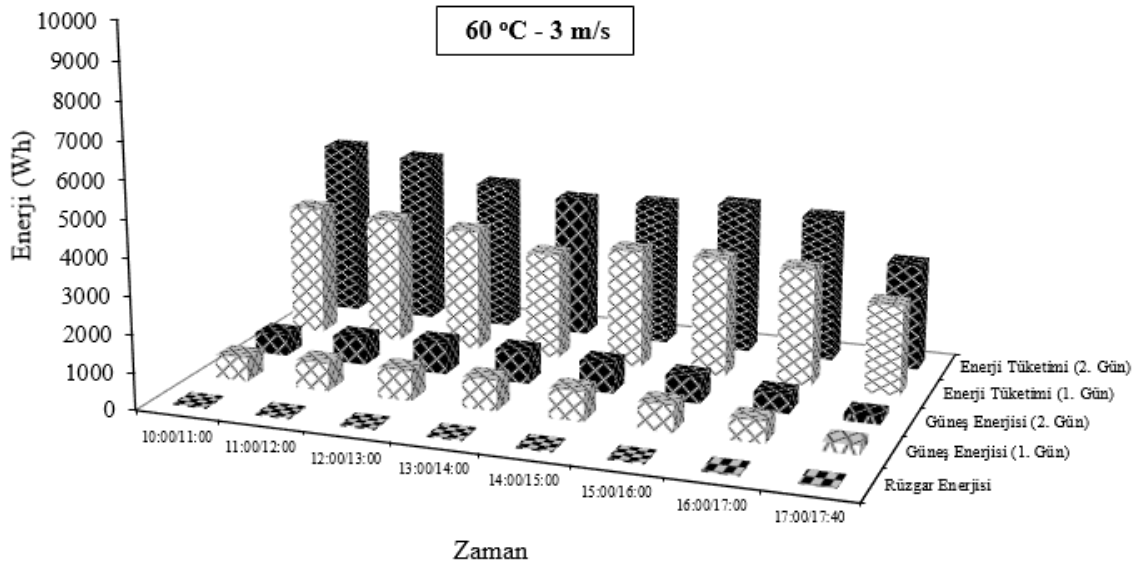
Şekil 4.8. 07.09.2015 ve 19.09.2015 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi

50 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerin 1. ve 2. gününde sırasıyla 22,3 ve 34,8 kWh enerji tüketilmiştir. Buna karşın, güneş panellerinden 1. deneme gününde 5,14 kWh, 2. Deneme gününde ise 5,29 kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince rüzgar türbininden ise 486 Wh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Denemelerin yapıldığı günlerde en fazla tüketim 4,75 kWh ile 06.09.2015 günü saat 10.00 - 11.00 arasında, güneş panellerinden yapılan en fazla üretim ise 17.09.2015 günü saat 13.00 - 14.00 arasında 815 Wh olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.9).



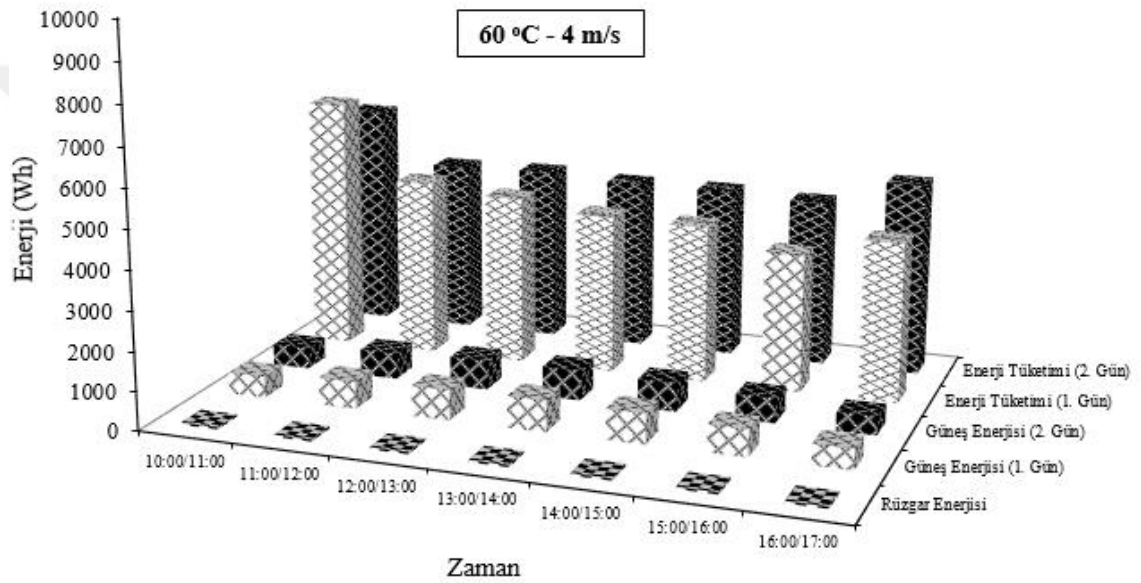
Şekil 4.9. 06.09.2015 ve 17.09.2015 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi

60 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerin 1. ve 2. gününde sırasıyla 24,93 ve 31,89 kWh enerji tüketilmiştir. Buna karşın, güneş panellerinden 1. deneme gününde 5,24 kWh, 2. Deneme gününde ise 5,11 kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince rüzgar türbininden ise 422 Wh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Denemelerin yapıldığı günlerde en fazla tüketim 4,75 kWh ile 16.09.2015 günü saat 10.00 - 11.00 arasında, güneş panellerinden yapılan en fazla üretim ise 16.09.2015 günü saat 13.00 - 14.00 arasında 851 Wh olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.10).



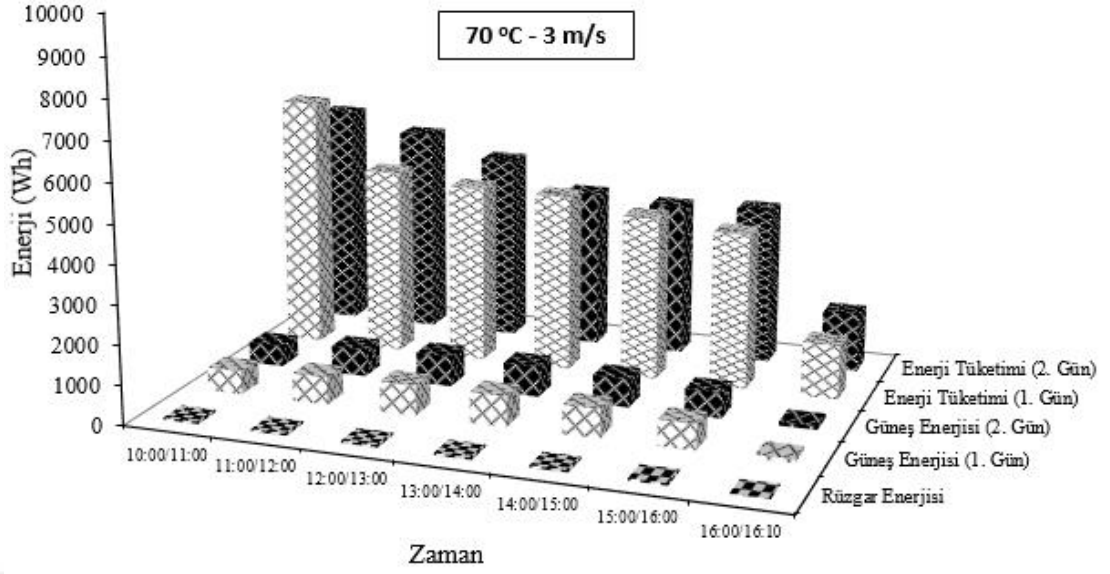
Şekil 4.10. 05.09.2015 ve 16.09.2015 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi

60 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerin 1. ve 2. gününde sırasıyla 31,26 ve 32,82 kWh enerji tüketilmiştir. Buna karşın, güneş panellerinden 1. deneme gününde 4,83 kWh, 2. Deneme gününde ise 4,59 kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince rüzgar türbininden ise 385 Wh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Denemelerin yapıldığı günlerde en fazla tüketim 6,48 kWh ile 04.09.2015 günü saat 10.00 - 11.00 arasında, güneş panellerinden yapılan en fazla üretim ise 04.09.2015 günü saat 13.00 - 14.00 arasında 806 Wh olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.11).



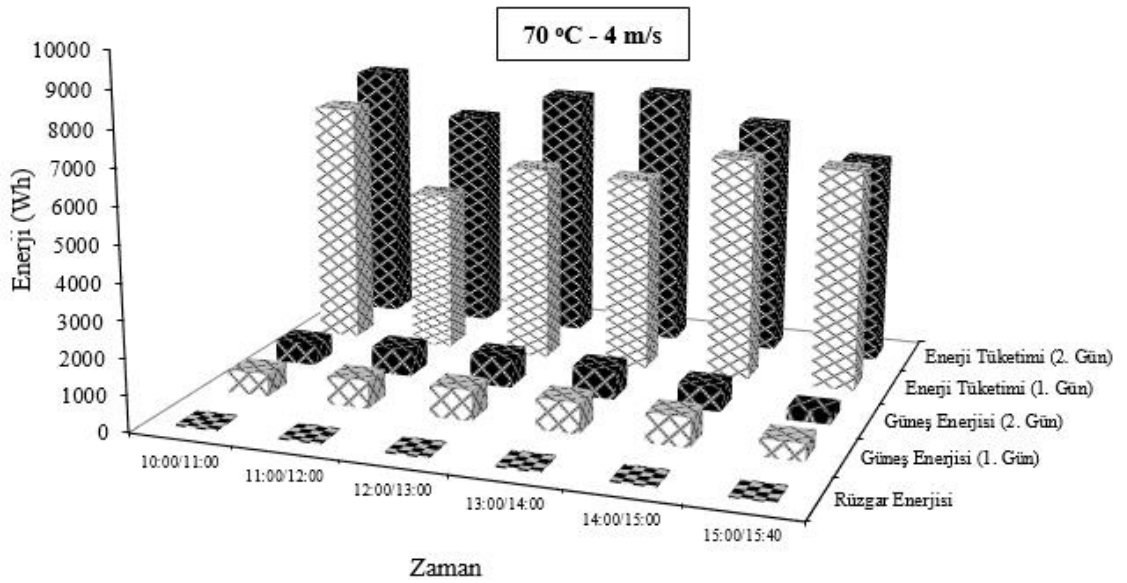
Şekil 4.11. 04.09.2015 ve 11.09.2015 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi

70 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerin 1. ve 2. gününde sırasıyla 29,92 ve 29,30 kWh enerji tüketilmiştir. Buna karşın, güneş panellerinden 1. deneme gününde 4,33 kWh, 2. Deneme gününde ise 4,31 kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince rüzgar türbininden ise 339 Wh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Denemelerin yapıldığı günlerde en fazla tüketim 6,46 kWh ile 03.09.2015 günü saat 10.00 - 11.00 arasında, güneş panellerinden yapılan en fazla üretim ise 10.09.2015 günü saat 12.00 - 13.00 arasında 784 Wh olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. 03.09.2015 ve 10.09.2015 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi

70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerin 1. ve 2. gününde sırasıyla 34,41 ve 39,97 kWh enerji tüketilmiştir. Buna karşın, güneş panellerinden 1. deneme gününde 4,36 kWh, 2. Deneme gününde ise 3,92 kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince rüzgar türbininden ise 311 Wh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Denemelerin yapıldığı günlerde en fazla tüketim 7,31 kWh ile 09.09.2015 günü saat 10.00 - 11.00 arasında, güneş panellerinden yapılan en fazla üretim ise 02.09.2015 günü saat 13.00 - 14.00 arasında 847 Wh olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.13).

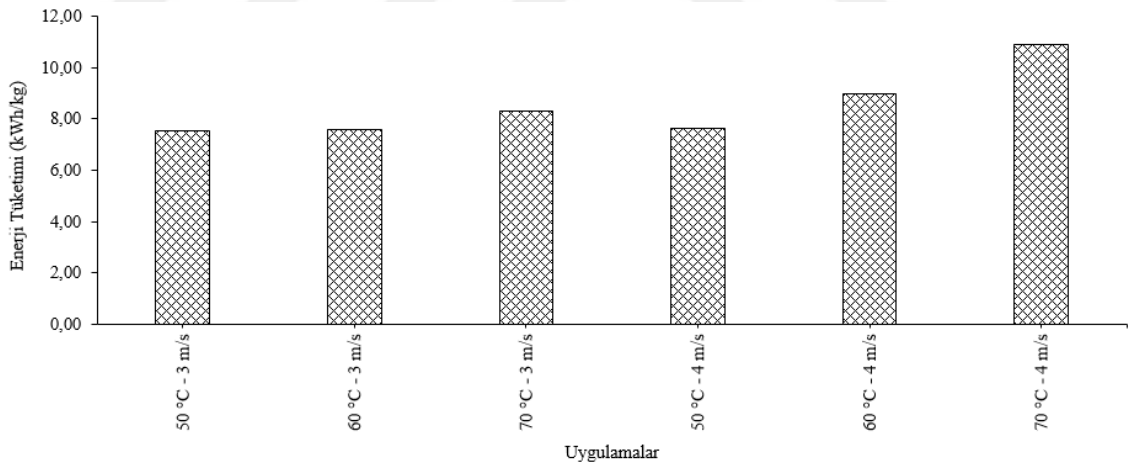


Şekil 4.13. 02.09.2015 ve 09.09.2015 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi



#### 4.1.4. Özgül Enerji Tüketimi

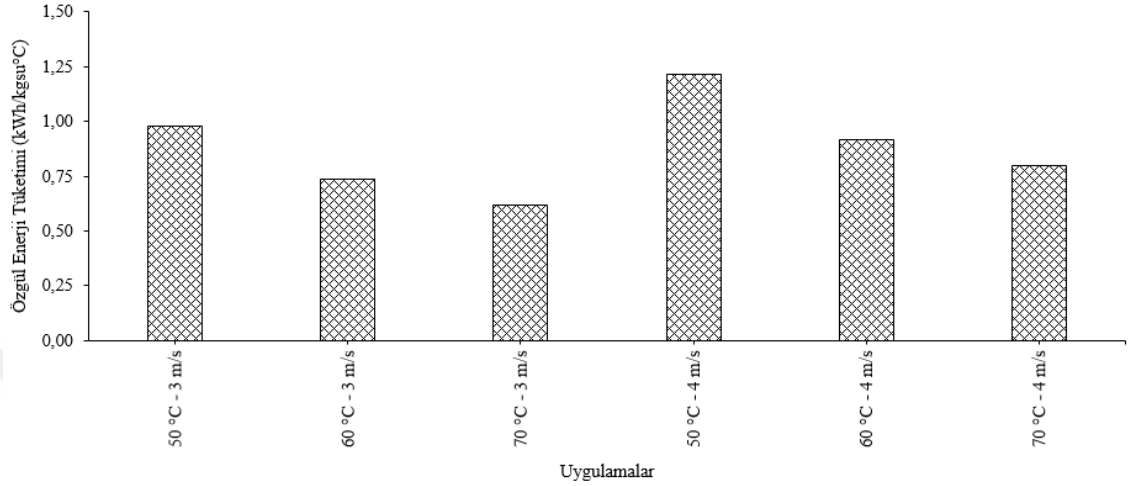
Şekil 4.14 incelendiğinde, artan kurutma sıcaklığı ve artan hava hızı ile enerji tüketiminin yükseldiği görülmektedir. Mısır kurutmada en yüksek enerji tüketimi 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında yapılan denemede 10,91 kWh/kg olarak ve en düşük enerji tüketimi ise 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşullarında yapılan denemede 7,56 kWh/kg olarak gerçekleşmiştir. Sonuç olarak, kurutma sıcaklığının yüksek olması, gerektiğinden fazla havanın ısıtılması ve kurutmanın yapıldığı yerdeki çevre havası sıcaklığının düşük iken bağıl neminin yüksek olması anlamına gelir. Bu da kurutma için harcanması gereken enerji miktarını arttırmaktadır. Benzer biçimde Markowski ve ark. (2007), 40 °C'de kurutulan arpanın 30 ve 35 °C'de kurutulmasından daha yüksek toplam enerji tüketimine neden olduğunu bildirmiştir. Taweerattanapanish ve ark. (1999), yüksek nem içeriğindeki çeltiklerin kurutulmasını incelemiş ve hava hızının düşürülmesi ile enerji tüketimi azaldığını belirlemiştir.



Şekil 4.14. Enerji tüketim değerleri

Özgül enerji tüketim değerlerinin 0,62 ile 1,22 kWh/kg<sup>°C</sup> arasında değiştiği Şekil 4.15'de görülmektedir. Veriler incelendiğinde artan kurutma havası sıcaklığının (sabit hava hızında) özgül enerji tüketim değerini azalttığı belirlenmiştir. Deneme günlerindeki ortalama çevre havası sıcaklığı ve bağıl nemdeki farklarının etkileri sonuçlar üzerinde gözlemlenmiştir. Benzer sonuçları Polatci (2013), Selinus çeşidi domatesin kurutulması denemelerinde tespit etmiştir. Özgül enerji tüketimi sırasıyla 55,

60, 65 ve 70 °C’de 0,51, 0,44, 0,41 ve 0,35 kWh/kgsu°C olarak bulmuştur. Artan kurutma havası sıcaklık değerinin özgül enerji tüketiminde düşüğe sebep olduğunu belirlemiştir.

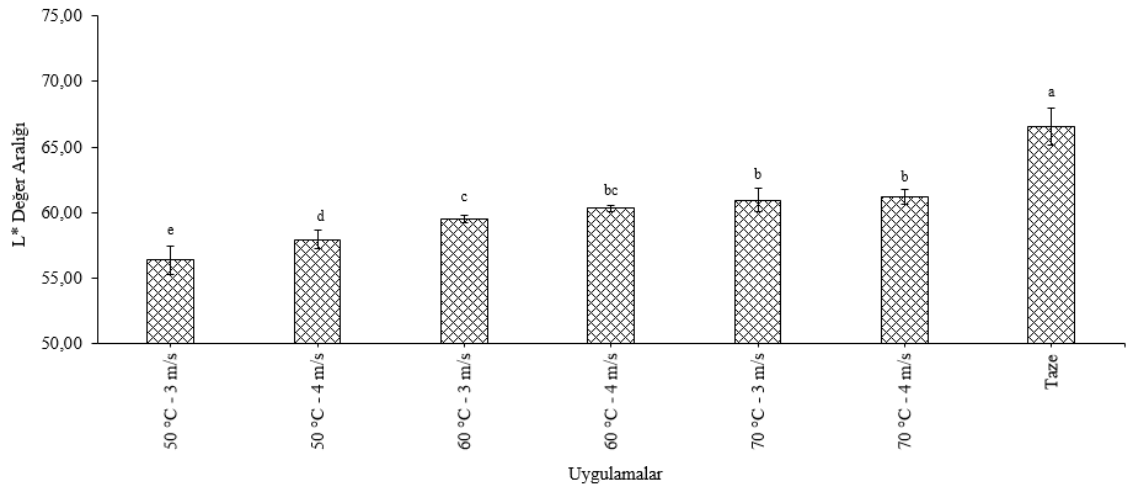


Şekil 4.15. Özgül enerji tüketim değerleri

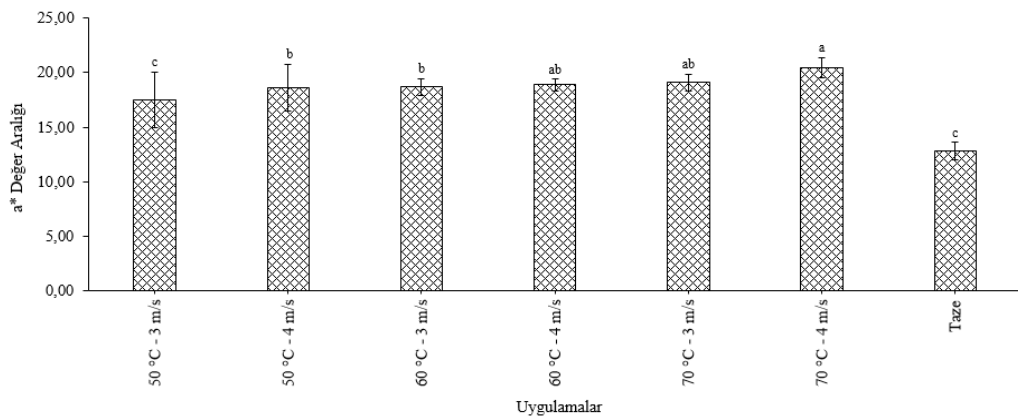
#### 4.1.5. Renk Değerleri

Ölçülen  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri ve bu değerleri kullanılarak hesaplanan kroma değerleri ( $C$ ), hue açısı ( $h^\circ$ ), kahverengilik indeksi ( $BI$ ) ve toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) değerleri Şekil 4.16 - 4.22’de verilmiştir. Kurutma sıcaklığının ya da hava hızının artırılması mısır örneklerinin belirgin bir şekilde koyulaşmasına yol açmıştır.  $L^*$  değerinin, kurutma süresi uzadıkça düştüğü tespit edilmiştir. Taze örnekler ile karşılaştırıldığında  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin kuruma sırasında önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Kurutma koşulları kendi içerisinde incelendiğinde, sıcaklık seviyesinin artması ile parlaklık değeri ( $L^*$ ), kırmızılık değeri ( $a^*$ ) ve sarılık değerinin ( $b^*$ ) artan kurutma sıcaklıkları ile yükseldiği belirlenmiştir. Yukarıdaki renk ( $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$ ) incelemelerinden sonra taze örneklere göre en iyi değerlere 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında, en kötü değerlere ise 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları sonucunda ulaşıldığı belirlenmiştir. İstatistiksel analiz açısından, hem hava sıcaklığının hem de hava hızının artmasının renk değerlerini önemli derecede etkilediği bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Bu kurutma sıcaklıklarında önemli olan mısır için sarılık değerinin korunmasıdır ve bu sayede kurutulan ürünlerin pazar değerinin artması sağlanacaktır.

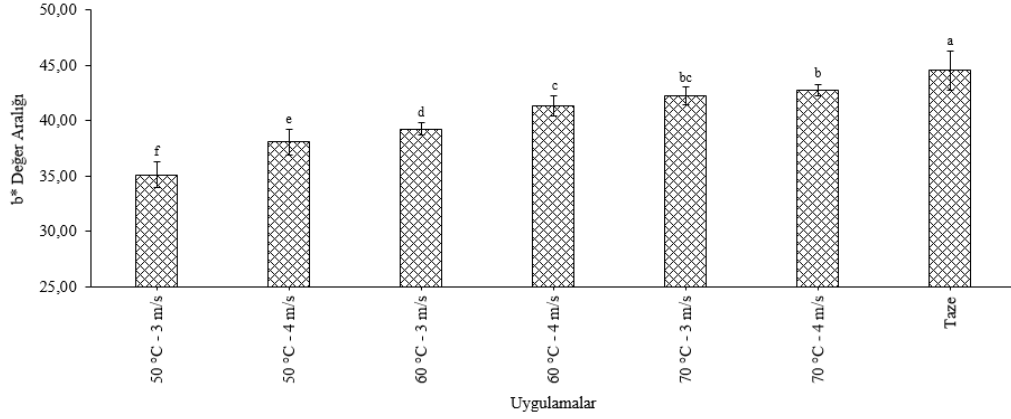
Benzer renk kaybı deęişiklikleri bazı arařtırmacılar tarafından řu řekilde bildirilmiřtir. Gowen ve ark. (2007), nohut ve soya fasulyesinin  $L^*$  deęerlerinin kuruma sırasında belirgin dūřuřler gōsterdięini ve bunun sonrasında parlaklıęında hafif bir deęiřiklik olduęunu bildirmiřtir. Jaiboon ve ark. (2009), yūksək sıcaklıklarda pirinç kurutmuř ve  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulan ōrneklerin dięer dūřuk sıcaklıklara nispeten daha koyu hale geldięini belirtmiřtir. Kahyaoęlu ve ark. (2010), buęday için esmerleřme reaksiyonlarının būyūk ōlūde nem içerięine, kuruma sıcaklıęına ve kuruma sūresine baęlı olduęunu bulmuřlardır. Bu nedenle, yūksək sıcaklıklarda kurutmanın ve artan hava hızının renk deęiřimlerini arttırdıęını sōylemiřlerdir.



řekil 4.16. Renk analizinde ōlūlen  $L^*$  deęerleri

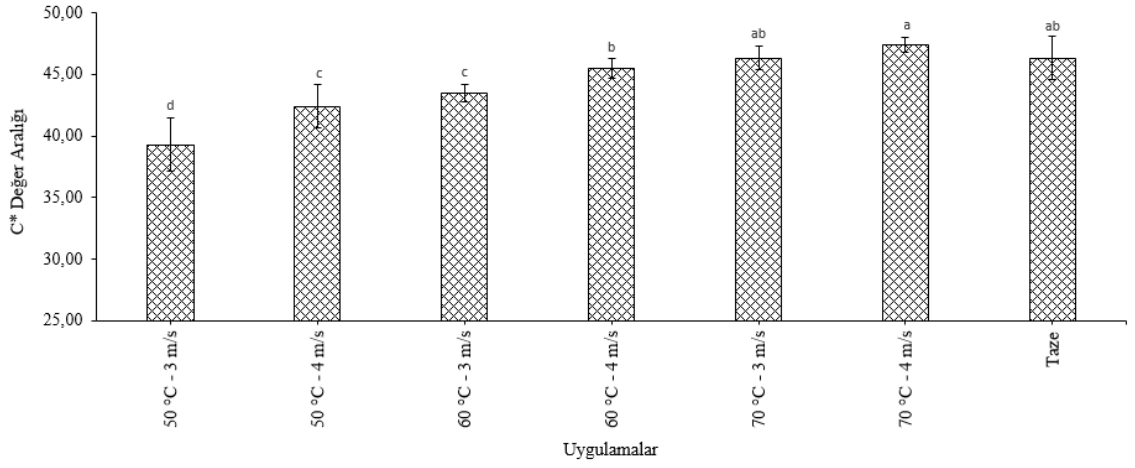


řekil 4.17. Renk analizinde ōlūlen  $a^*$  deęerleri

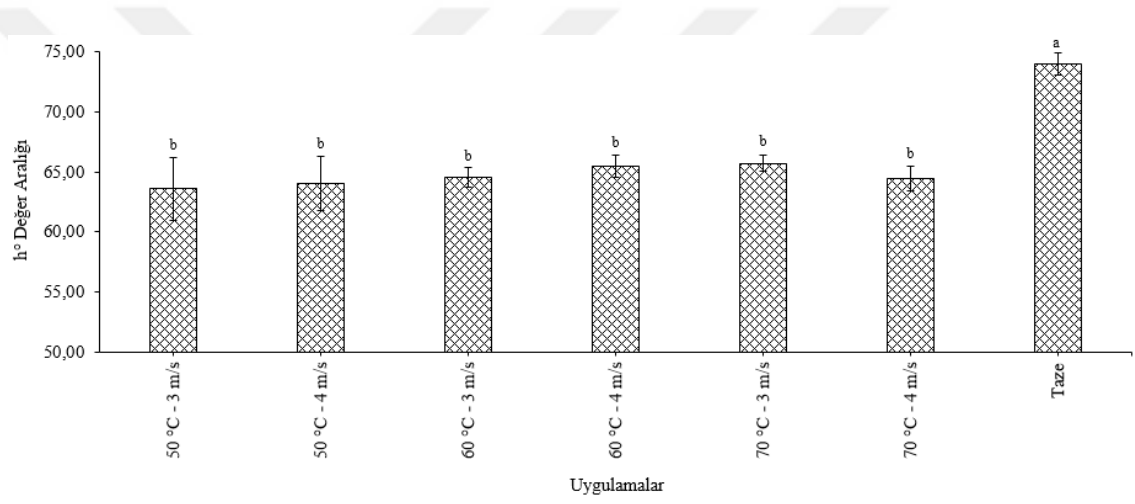


**Şekil 4.18.** Renk analizinde ölçülen  $b^*$  değerleri

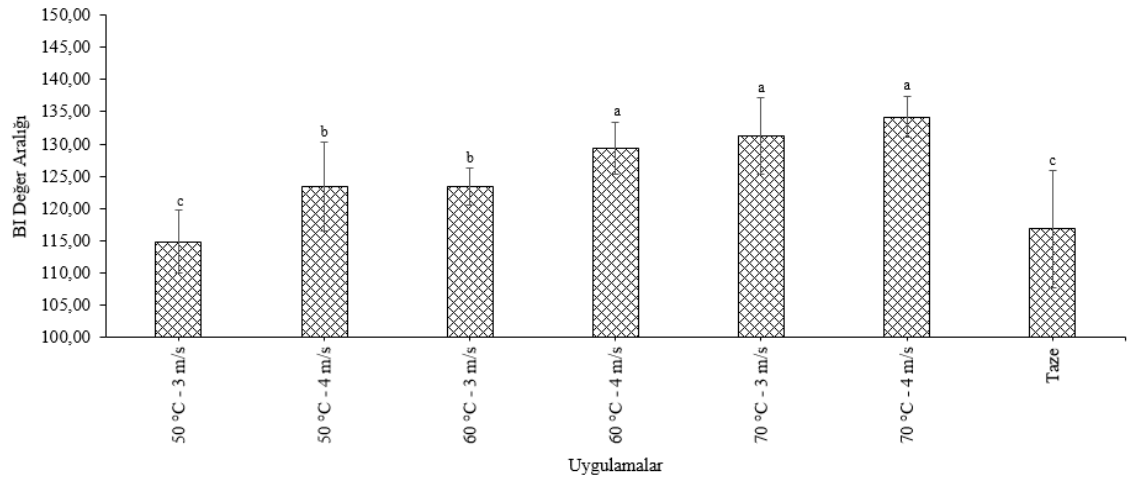
Şekil 4.19 incelendiğinde taze mısırın kroma (renk doygunluğu) değeri 46,34 olarak hesaplanmıştır. En düşük değer 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşullarında yapılan kurutmada 39,30 iken en yüksek değer ise 47,43 olarak 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında yapılan kurutma koşullarında bulunmuştur. Taze ürünlerin hue açısı 73,99° olarak belirlenmiştir (Şekil 4.20). Farklı kurutma sıcaklıkları ve hava hızlarında yapılan denemeler incelendiğinde en düşük hue açısı 63,62° ile 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşullarında, en yüksek hue açısı ise 70 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşullarında yapılan kurutma şartlarında 65,72° olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.21'e göre kahverengileşme indeksi ( $BI$ ) taze ürün için 116,81 olarak belirlenmiştir. En düşük  $BI$  değeri 114,83 ile 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşullarında, en yüksek  $BI$  değeri ise 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında yapılan kurutmada 134,20 olarak bulunmuştur. Toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) sonuçlara göre en düşük  $\Delta E$  değeri 9,57 ile 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında, en yüksek değer ise 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşullarında 14,88 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.22).



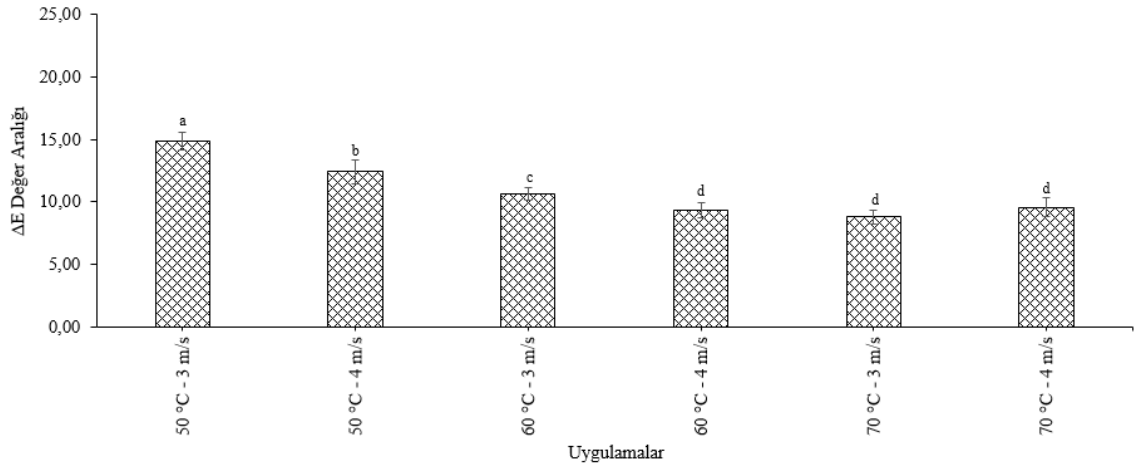
Şekil 4.19. Renk analizinde hesaplanan  $C$  değerleri



Şekil 4.20. Renk analizinde hesaplanan  $h^\circ$  değerleri



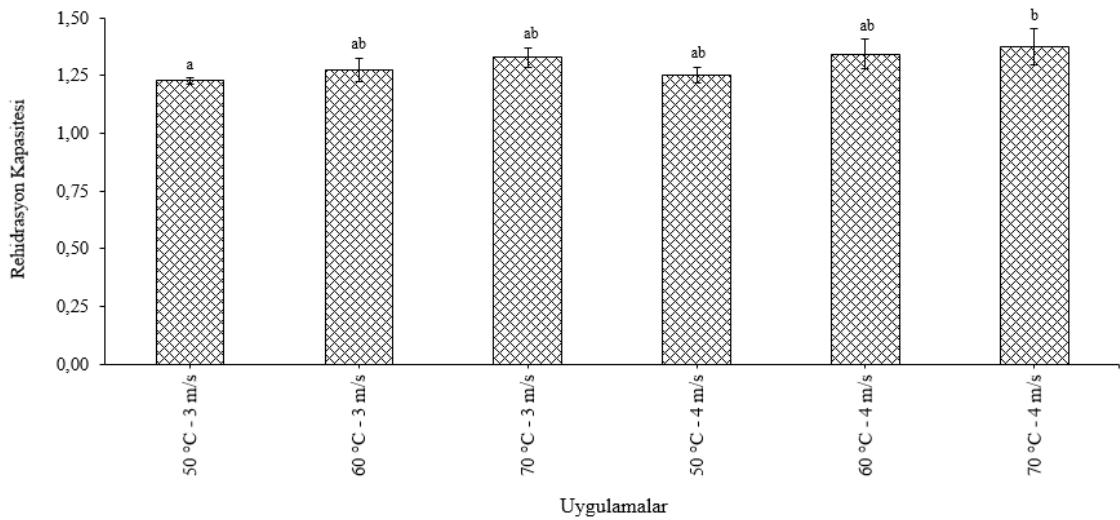
Şekil 4.21. Renk analizinde hesaplanan  $BI$  değerleri



Şekil 4.22. Renk analizinde hesaplanan  $\Delta E$  değerleri

#### 4.1.6. Rehidrasyon Değerleri

Farklı kurutma sıcaklığı ve hava hızlarında kurutulmuş mısır örneklerinin rehidrasyon değerleri Şekil 4.23'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, örneklerin ortalama rehidrasyon kapasitesi artan kurutma sıcaklığı ve hava hızı ile artmıştır. Hava hızının 3 m/s uygulandığı 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklardaki rehidrasyon kapasitesi değerleri sırasıyla 1,23, 1,28 ve 1,33 bulunmuştur. Hava hızının 4 m/s uygulandığı 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklardaki rehidrasyon kapasitesi değerleri ise sırasıyla 1,25, 1,34 ve 1,38 olarak tespit edilmiştir. Buna ek olarak, istatistiksel analizde 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı ile 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları dışında yapılan kurutmalar arasındaki farkın önemsiz olduğu belirlenmiştir ( $p < 0,05$ ).



Şekil 4.23. Rehidrasyon kapasitesi değerleri

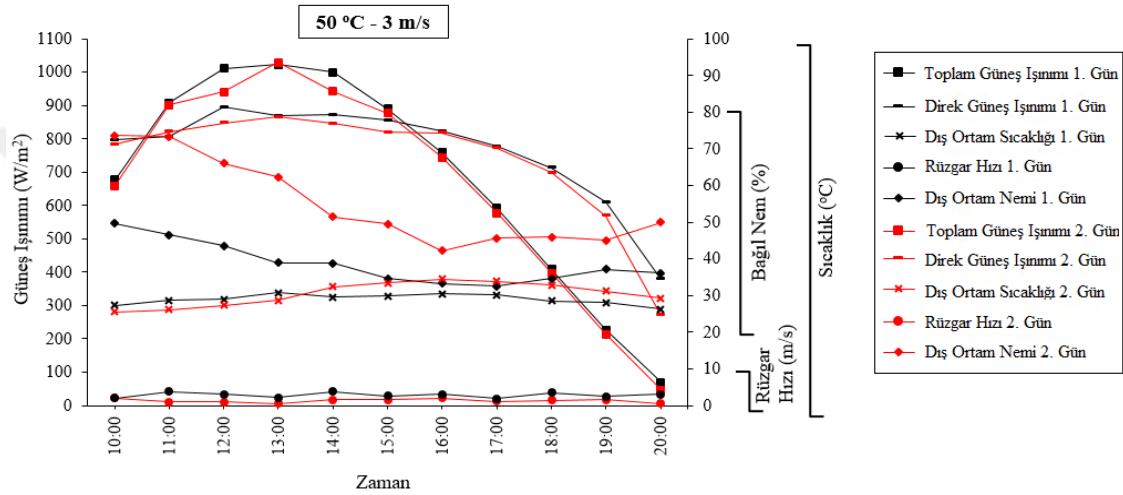
Kurutulmuş tahılların rehidrasyonu diğer araştırmacılar tarafından da incelenmiştir. Tunaboyu (2011), 40 ve 68 °C aralığında güneş enerjili-fiskiyeli yataklı kurutucuda ve 25 ile 32 °C arasındaki hava sıcaklığındaki açık havada buğday kurutmuştur. Güneş enerjili-fiskiyeli yataklı kurutucuda kurutulmuş buğdayın açık havada kurutulmuş buğdaydan daha yüksek rehidrasyon oranına sahip olduğunu bulmuştur. Krokida ve Marinos-Kouris (2003), farklı meyve ve sebzelerin (elma, patates, havuç, muz, biber, sarımsak, mantar, soğan, pırasa, bezelye, mısır kabak ve domates) farklı sıcaklıklardaki rehidrasyon kinetiklerini incelemiştir. Tüm ürünler 40, 60 ve 80 °C'lik su banyosu işlemine tabi tutulmuştur. Sıcaklıkta yaşanan artışların rehidrasyon oranını artırdığını belirlemiştir. Sobukola ve Abayomi (2011), farklı mısır çeşitlerinin fiziksel özelliklerini ve rehidrasyon karakteristiklerini araştırmıştır. Araştırılan tüm tohum eşitleri üzerine yapılan denemelerde, yüksek sıcaklığın düşük sıcaklık ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir rehidrasyon oranına neden olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu sonuç tahıllar için bildirilen yüksek sıcaklıklarda yüksek rehidrasyon oranı olabileceği çıkarımını onaylamaktadır.

## **4.2. Bezelye Kurutma**

### **4.2.1. İklimsel Veriler**

şekil 4.24 - 4.29'da 01.07.2016 ve 14.07.2016 tarihleri arasında saat 10.00'dan kurutma tamamlanıncaya kadar ölçülen toplam ışınım, direkt ışınım, dış ortam nemi, dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı verileri sunulmuştur. Çalışma günlerinde havanın açık-güneşli seçilmesine dikkat edilmiştir. Deneme periyodu boyunca en yüksek toplam ışınım 1083,0 W/m<sup>2</sup> ile 04.07.2016 tarihinde saat 13.00'da, en düşük toplam ışınım ise 14.07.2016 tarihinde saat 20.00'da 47,7 W/m<sup>2</sup> olarak saptanmıştır. Direkt ışınımın değeri en yüksek 09.07.2016'da saat 13.00'da 923,4 W/m<sup>2</sup> olarak, en düşük değeri ise 14.07.2016 tarihinde saat 20.00'da 270,7 W/m<sup>2</sup> olarak gözlemlenmiştir. En yüksek dış ortam sıcaklığı 34,5 °C ile 14.07.2016 tarihinde saat 16.00'da, en düşük dış ortam sıcaklığı ise 25,0 °C ile 06.07.2016 tarihinde saat 10.00'da gerçekleşmiştir. Dış ortam neminde en yüksek değere 14.07.2016 günü saat 10.00'da %73,7 ile en düşük değere ise 09.07.2016 günü saat 13.00'da %28,3 ile rastlanmıştır. En yüksek rüzgar hızı 4,5 m/s olarak 12.07.2016 tarihinde saat 11.00'de, en düşük rüzgar hızı ise 13.07.2016 tarihinde saat 11.00'de 0,4 m/s olarak belirlenmiştir.

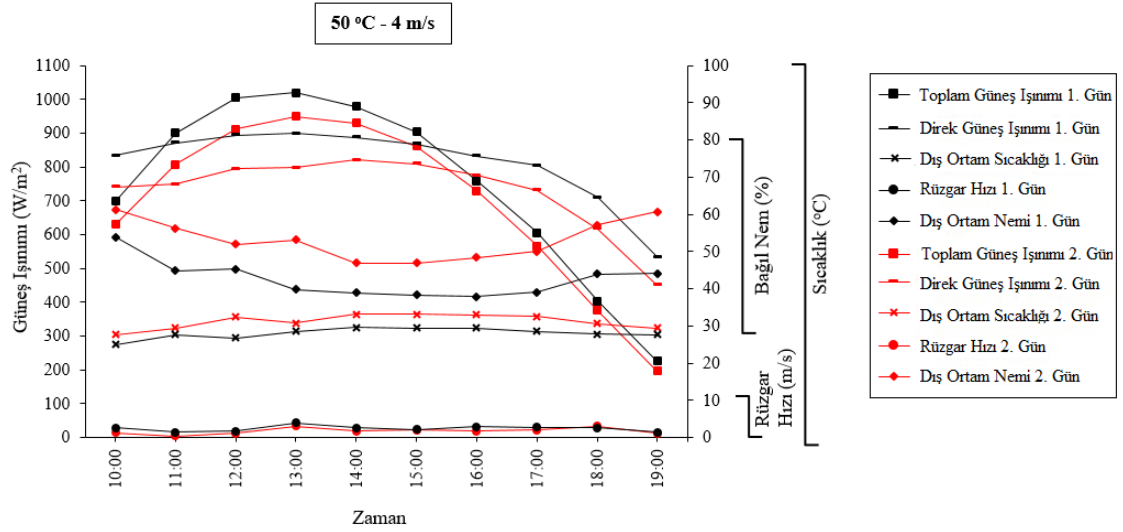
50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemeler 08.07.2016 ve 14.07.2016 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 1. deneme günü esnasında elde edilen iklimsel verilerin ortalamaları; toplam güneş ışıınıımı 687,70 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışıınıımı 763,54 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 28,96 °C, dış ortam nemi %38,71 ve rüzgar hızı 2,83 m/s'dir. Denemenin yapıldığı 2. günün ortalamaları ise; toplam güneş ışıınıımı 666,70 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışıınıımı 737,34 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 30,46 °C, dış ortam nemi %55,02 ve rüzgar hızı 1,30 m/s olmuştur (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. 08.07.2016 ve 14.07.2016 tarihleri iklimsel verileri

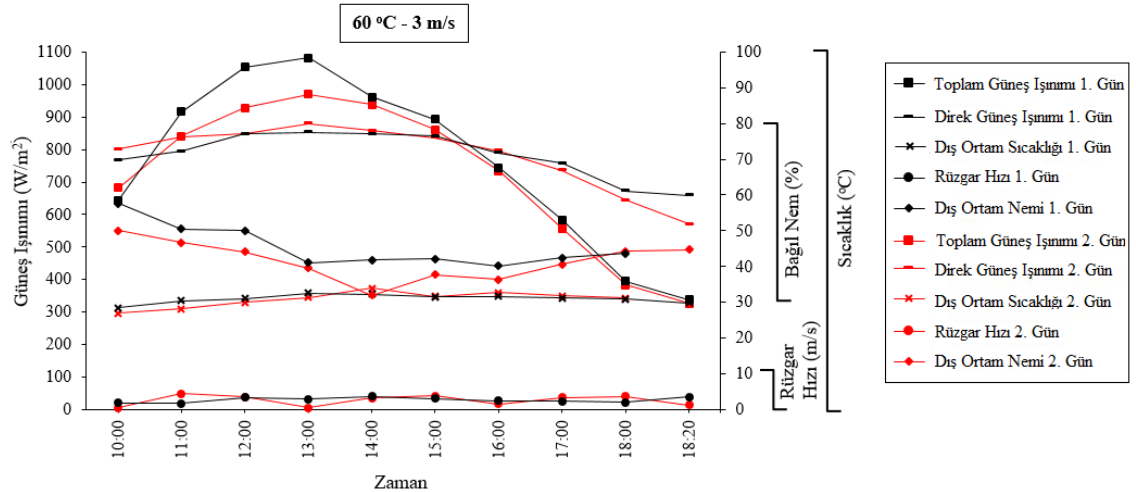
50 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemeler 06.07.2016 ve 13.07.2016 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 1. deneme günü esnasında elde edilen iklimsel verilerin ortalamaları; toplam güneş ışıınıımı 750,44 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışıınıımı 813,74 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 28,05 °C, dış ortam nemi %42,62 ve rüzgar hızı 2,44 m/s'dir. Denemenin yapıldığı 2. günün ortalamaları ise; toplam güneş ışıınıımı 696,06 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışıınıımı 729,23 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 31,21 °C, dış ortam nemi %53,27 ve rüzgar hızı 1,75 m/s olmuştur (Şekil 4.25).





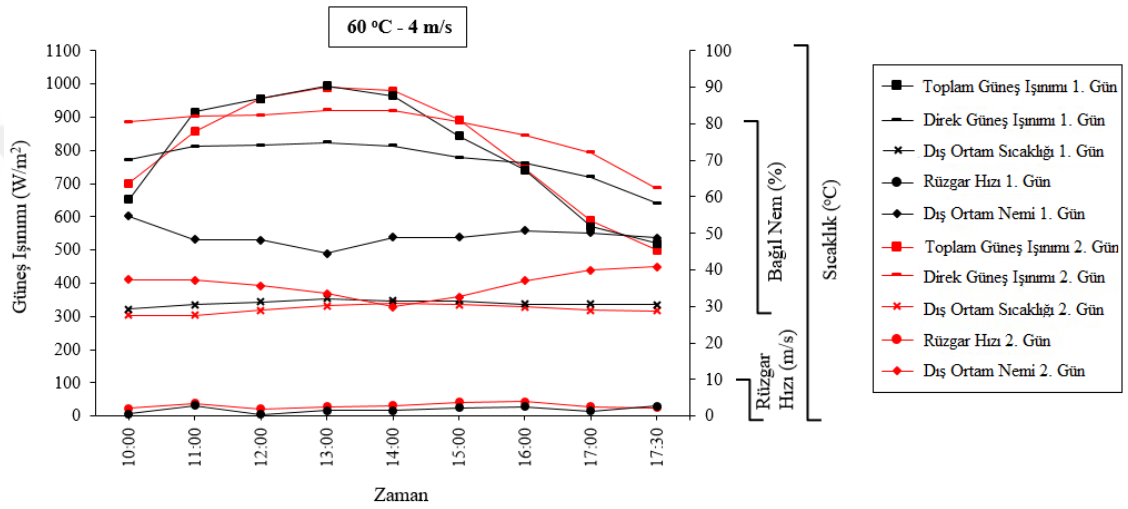
**Şekil 4.25.** 06.07.2016 ve 13.07.2016 tarihleri iklimsel verileri

60 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemeler 04.07.2016 ve 12.07.2016 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 1. deneme günü esnasında elde edilen iklimsel verilerin ortalamaları; toplam güneş ışınımı  $761,15 \text{ W/m}^2$ , direkt güneş ışınımı  $783,25 \text{ W/m}^2$ , dış ortam sıcaklığı  $31,00 \text{ °C}$ , dış ortam nemi %45,48 ve rüzgar hızı  $2,68 \text{ m/s}$ 'dir. Denemenin yapıldığı 2. günün ortalamaları ise; toplam güneş ışınımı  $722,33 \text{ W/m}^2$ , direkt güneş ışınımı  $781,04 \text{ W/m}^2$ , dış ortam sıcaklığı  $30,87 \text{ °C}$ , dış ortam nemi %41,61 ve rüzgar hızı  $2,57 \text{ m/s}$  olmuştur (Şekil 4.26).



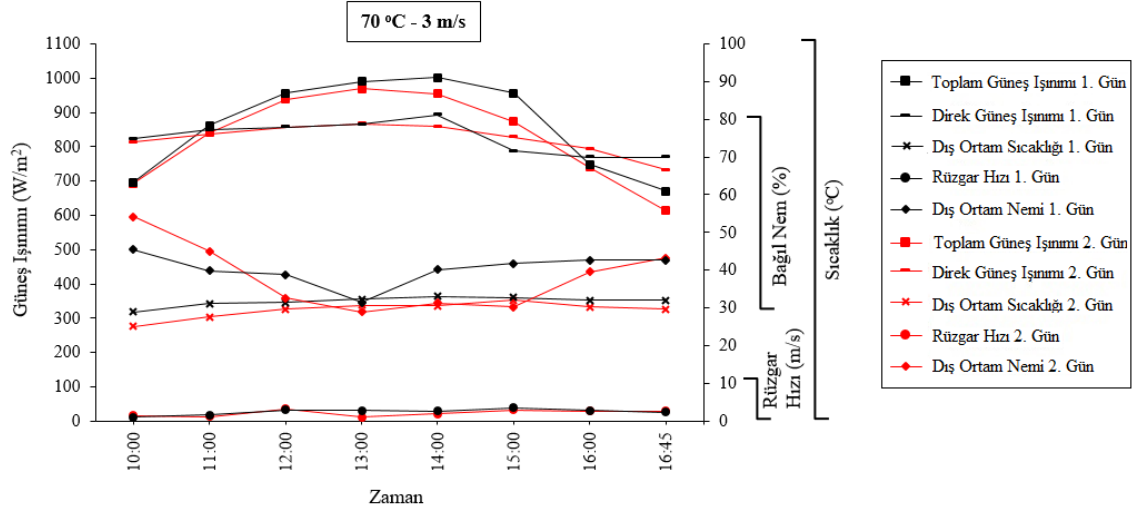
**Şekil 4.26.** 04.07.2016 ve 12.07.2016 tarihleri iklimsel verileri

60 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemeler 03.07.2016 ve 11.07.2016 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 1. deneme günü esnasında elde edilen iklimsel verilerin ortalamaları; toplam güneş ışınımı  $795,44 \text{ W/m}^2$ , direkt güneş ışınımı  $770,73 \text{ W/m}^2$ , dış ortam sıcaklığı  $30,86 \text{ }^\circ\text{C}$ , dış ortam nemi %49,27 ve rüzgar hızı  $1,76 \text{ m/s}$ 'dir. Denemenin yapıldığı 2. günün ortalamaları ise; toplam güneş ışınımı  $801,16 \text{ W/m}^2$ , direkt güneş ışınımı  $860,37 \text{ W/m}^2$ , dış ortam sıcaklığı  $29,24 \text{ }^\circ\text{C}$ , dış ortam nemi %36,01 ve rüzgar hızı  $2,84 \text{ m/s}$  olmuştur (Şekil 4.27).



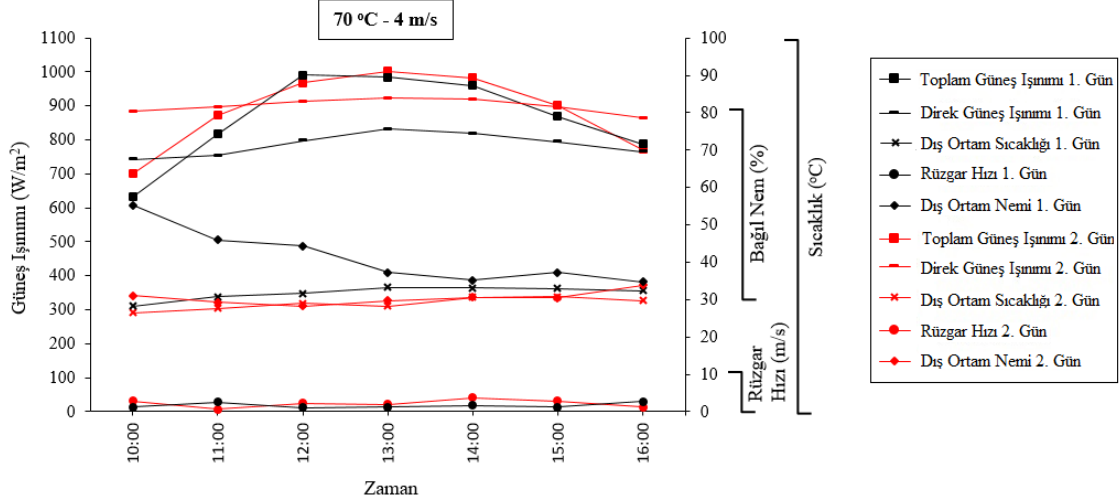
Şekil 4.27. 03.07.2016 ve 11.07.2016 tarihleri iklimsel verileri

70 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemeler 02.07.2016 ve 10.07.2016 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 1. deneme günü esnasında elde edilen iklimsel verilerin ortalamaları; toplam güneş ışınımı  $859,80 \text{ W/m}^2$ , direkt güneş ışınımı  $826,42 \text{ W/m}^2$ , dış ortam sıcaklığı  $31,71 \text{ }^\circ\text{C}$ , dış ortam nemi %40,36 ve rüzgar hızı  $2,51 \text{ m/s}$ 'dir. Denemenin yapıldığı 2. günün ortalamaları ise; toplam güneş ışınımı  $827,86 \text{ W/m}^2$ , direkt güneş ışınımı  $823,43 \text{ W/m}^2$ , dış ortam sıcaklığı  $29,45 \text{ }^\circ\text{C}$ , dış ortam nemi %38,15 ve rüzgar hızı  $2,16 \text{ m/s}$  olmuştur (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. 02.07.2016 ve 10.07.2016 tarihleri iklimsel verileri

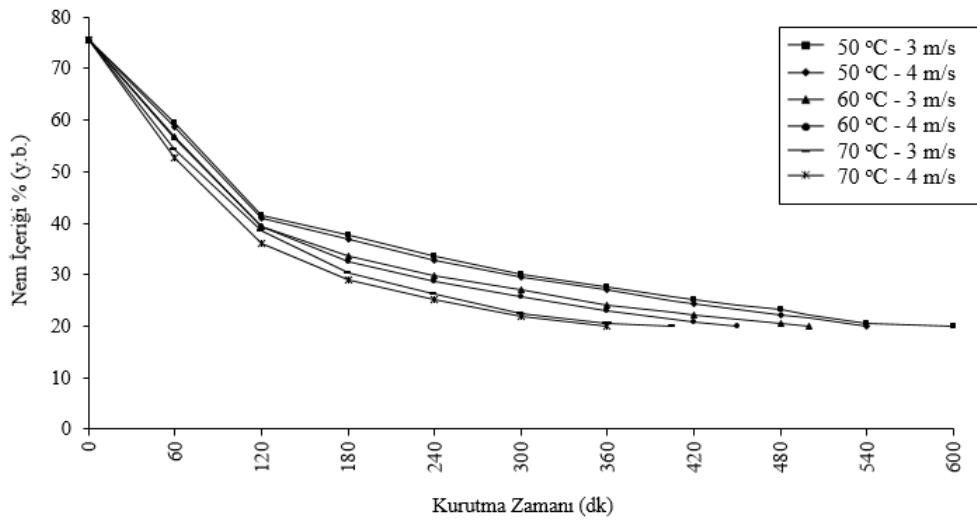
70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemeler 01.07.2016 ve 09.07.2016 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 1. deneme günü esnasında elde edilen iklimsel verilerin ortalamaları; toplam güneş ışınımı 862,84 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışınımı 786,21 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 31,75 °C, dış ortam nemi %41,41 ve rüzgar hızı 1,70 m/s'dir. Denemenin yapıldığı 2. günün ortalamaları ise; toplam güneş ışınımı 885,67 W/m<sup>2</sup>, direkt güneş ışınımı 900,01 W/m<sup>2</sup>, dış ortam sıcaklığı 28,70 °C, dış ortam nemi %30,45 ve rüzgar hızı 2,21 m/s olmuştur (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. 01.07.2016 ve 09.07.2016 tarihleri iklimsel verileri

#### 4.2.2. Kurutma Performansı

Denemelerde ilk nem içeriği %75,6 olan bezelyelerin %20,0 son nem içeriğine kadar kurutulmasında nem değerleri yaş baza göre (Barzager ve ark 2015), kurutma süreleri ise dakika olarak verilmiştir. Farklı kurutma havası sıcaklıklarının ve hava hızlarının nem içeriğinin azaltılması üzerindeki etkileri Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 3 m/s sabit kurutma havası hızında ve 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarında yapılan denemelerde bezelyeler sırasıyla 600, 500 ve 405 dakikada kurutulmuştur. 70 °C sıcaklık denemesinde kurutma süresi 50 °C sıcaklık denemesine kıyasla 1,48 kat kısalmıştır. 4 m/s sabit kurutma havası hızında ise 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarında sırasıyla 540, 450 ve 360 dakika sürmüştür. Kurutma sıcaklığının 70 °C sıcaklıktan 50 °C sıcaklığa düşürülmesi ile kurutma süresi 1,5 kat artmıştır. Sonuç olarak, nemi düşürmek için gereken kuruma süresi en fazla 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızında ve en kısa ise 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında gerçekleşmiştir. İki deneme arasında ortalama toplam kuruma süresi yaklaşık % 40 oranında azalmıştır. Su moleküllerinin kinetik enerjisi yüksek kurutma sıcaklığı ve hava hızı ile artarken, su buharlaştırma oranını yükseltmekte ve kurutma süresi de azalmaktadır. Bu sonuçların önceki çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.30. Nem - zaman ilişkisi

Kurutma havası sıcaklığının artması üzerine yapılmış çalışmalarda; Rattanamechaiskul ve ark. (2016), mor pirinç üzerine 100, 130 ve 150 °C’de araştırmalarda bulunmuş ve en hızlı kurumunun 150 °C kurutma havasında gerçekteştiğini belirlemişlerdir. Doymaz (2016), barbunya tohumlarını 50, 60, 70 ve 80 °C’de kurutmuştur. Sırasıyla kurutma sürelerini 450, 375, 330 ve 225 dakika olduğunu ve yüksek sıcaklıklarda kuruma süresinin düştüğünü bildirmiştir. Ayrıca hava hızındaki artışın kuruma süresini belirgin bir şekilde düşürdüğü önceki çalışmalar tarafından da gösterilmiştir. Darvishi ve ark. (2015), soya fasulyesini % 25 (y.b.) ilk nem içeriğinden 80, 100, 120 ve 140 °C kurutma havası sıcaklıklarında ve 1,8, 3,1 ve 4,5 m/s hava hızlarında % 10 (y.b.) son nem içeriğine kadar kurutmuşlar ve sabit sıcaklıklarda artan hava hızının kuruma süresini düşürdüğünü bulmuşlardır. Chielle ve ark. (2016), papaya tohumları üzerine 48 °C’de yapılan kurutma denemelerinde hava hızının 2,71 m/s’den 1,29 m/s’ye düşürülmesi ile kurutma süresinin yaklaşık 100 dakika arttığını belirlemişlerdir.

#### **4.2.3. Enerji Üretimi ve Tüketimi**

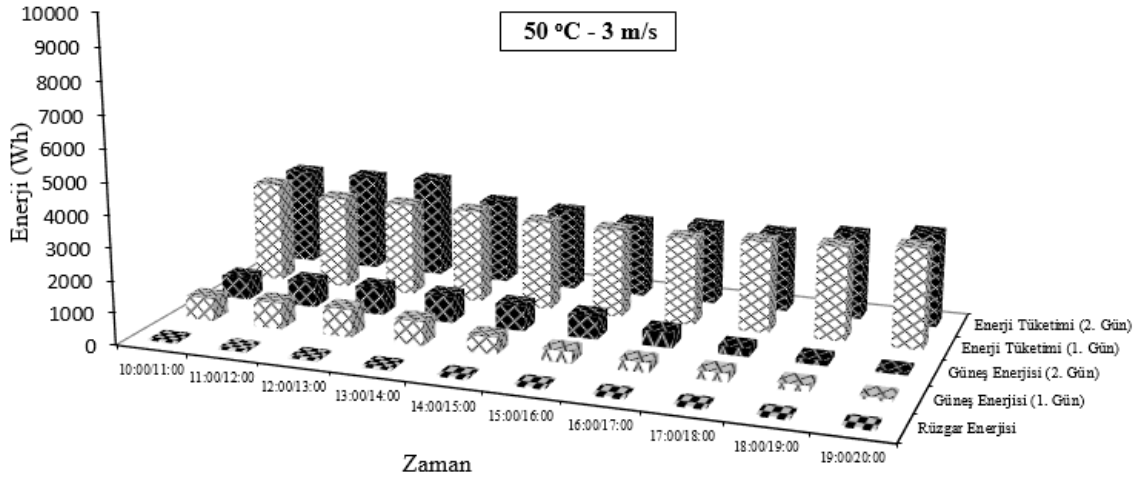
Kurutma denemeleri için enerji tüketiminde ve enerji üretimindeki (güneş paneli ve rüzgar türbini) değişim şekil 4.31 - 4.36’da gösterilmektedir. Kurutma denemeleri enerji tüketimlerine göre karşılaştırıldığında, bağıl nem ve hava sıcaklığının artması rezistansların enerji tüketimini düşürmesi için önemli birer parametredir. Buna ek olarak, kurutucunun yüksek sıcaklıktaki çevre havasını ısıtırken daha az enerji tükettiği belirlenmiştir. Tüm kurutma denemeleri sonuçları arasında en düşük enerji tüketimi 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşullarında, en yüksek enerji tüketimi ise 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında elde edilmiştir. Sonuçlardan da görüldüğü üzere hava sıcaklığı ve hava hızı artışı ile enerji tüketimi de yükselmiştir.

Kurutma denemelerinin farklı sürelerde tamamlanması nedeniyle güneş panellerinin ürettiği enerji miktarı da değişmekte olup toplam enerji tüketimlerinin %20,74 ile %9,84 arasında karşılanmıştır. Kurutucudan çıkan atık nemli havadan ve çevre rüzgarından faydalanmak amacıyla yapısal avantajı gereği her yönden gelen hava ile hareket edebilen dikey eksenli rüzgar türbini kullanılmıştır. Bölgede oluşan rüzgar hızına ilaveten kurutucu içinden çıkan 3 m/s hava hızı denemelerinde 1,5 m/s, 4 m/s

hava hızı denemelerinde 1,7 m/s kadar toplam hava hızları oluşmuştur. Rüzgar türbininin farklı hava hızları altında üretebileceği enerji miktarı ölçülmüş ve optimum hava hızında üretebileceği enerji miktarı belirlenerek kurutma süresine göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu kapsamda, rüzgar türbininin farklı kurutma süreleri için enerji tüketimini 330 ila 550 Wh arasında karşılayabileceği belirlenmiştir.

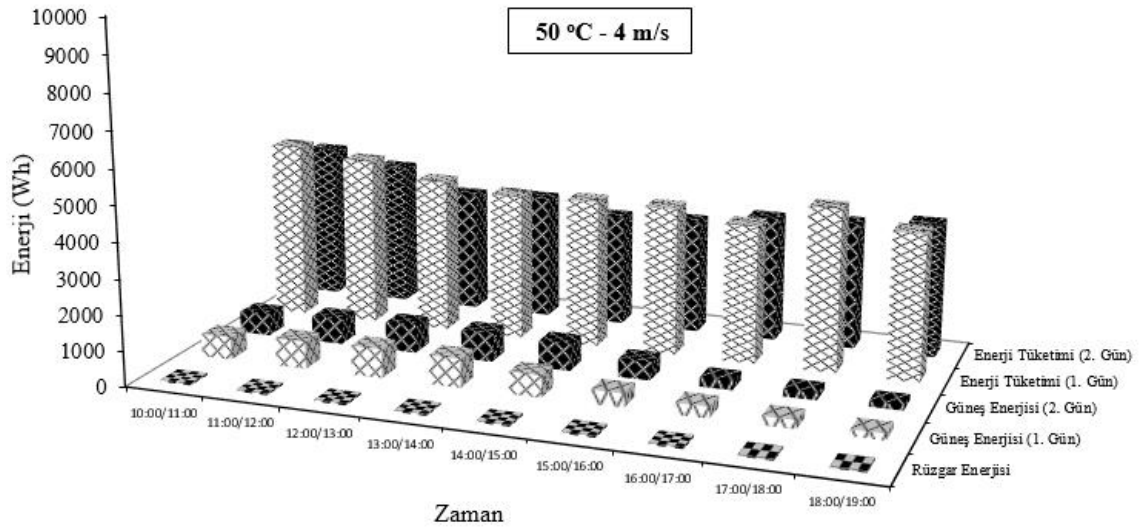
Şekil 4.31 - 4.36'da 01.07.2016 ve 14.07.2016 tarihleri arasında saat 10.00'dan kurutma tamamlanıncaya kadar ölçülen enerji tüketimi, güneş enerjisi üretimi ve rüzgar enerjisi üretimi verileri saatlik olarak sunulmuştur. Deneme periyodu boyunca en yüksek enerji tüketimi 7,02 kWh ile 01.07.2016 günü 13.00 - 14.00 saatleri arasında gerçekleşmiştir. Güneş panellerinden en yüksek üretim 854 Wh ile 08.07.2016 günü saat 12.00 - 13.00 arasında elde edilmiştir. Rüzgar türbininden üretilen enerji için bölgede oluşan rüzgar hızı ve kurutucu içinden çıkan hava hızlarının toplamı kadar hava hızı rüzgar türbinine iletilmiş ve optimum hava hızında 55 Wh üretim yapılmıştır.

50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerin 1. ve 2. gününde sırasıyla 28,96 ve 27,26 kWh enerji tüketilmiştir. Buna karşın, güneş panellerinden 1. deneme gününde 4,86 kWh, 2. Deneme gününde ise 5,65 kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince rüzgar türbininden ise 550 Wh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Denemelerin yapıldığı günlerde en fazla tüketim 3,15 kWh ile 08.07.2016 günü saat 10.00 - 11.00 arasında, güneş panellerinden yapılan en fazla üretim ise 08.07.2016 günü saat 12.00 - 13.00 arasında 854 Wh olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.31).



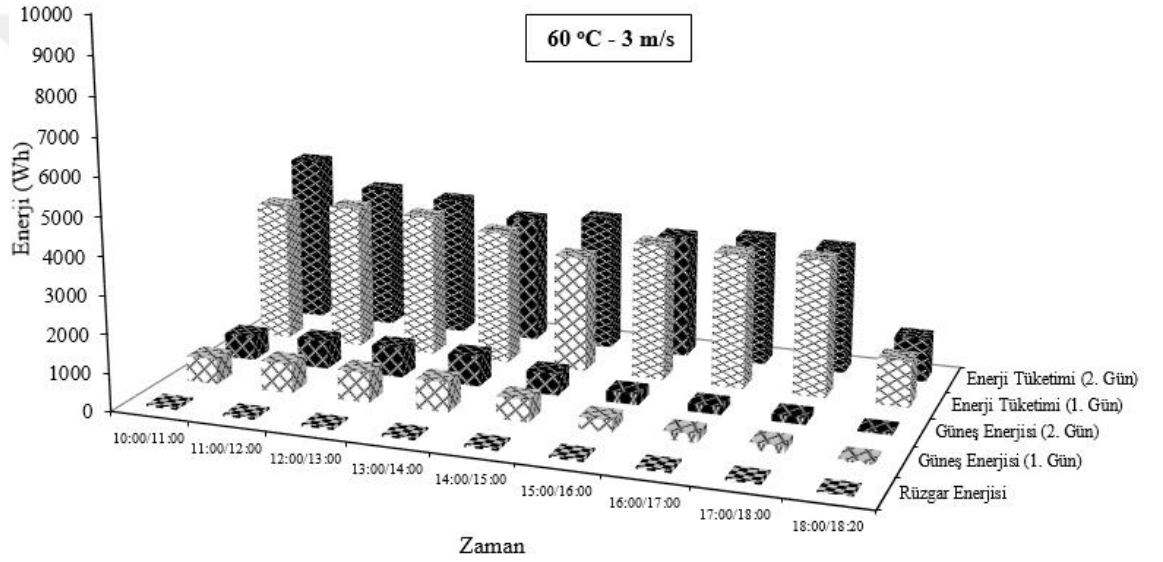
Şekil 4.31. 08.07.2016 ve 14.07.2016 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi

50 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerin 1. ve 2. gününde sırasıyla 39,34 ve 32,58 kWh enerji tüketilmiştir. Buna karşın, güneş panellerinden 1. deneme gününde 4,78 kWh, 2. Deneme gününde ise 4,79 kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince rüzgar türbininden ise yaklaşık 495 Wh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Denemelerin yapıldığı günlerde en fazla tüketim 5,02 kWh ile 06.07.2016 günü saat 10.00 - 11.00 arasında, güneş panellerinden yapılan en fazla üretim ise 06.07.2016 günü saat 12.00 - 13.00 arasında 817 Wh olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. 06.07.2016 ve 13.07.2016 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi

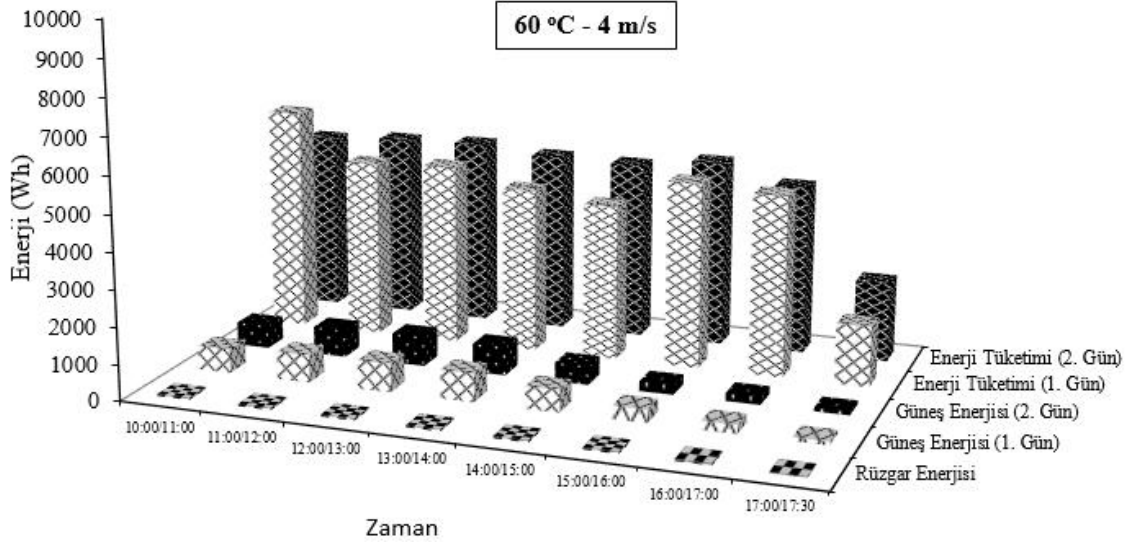
60 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerin 1. ve 2. gününde sırasıyla 29,70 ve 29,90 kWh enerji tüketilmiştir. Buna karşın, güneş panellerinden 1. deneme gününde 4,37 kWh, 2. Deneme gününde ise 4,29 kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince rüzgar türbininden ise 458 Wh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Denemelerin yapıldığı günlerde en fazla tüketim 4,44 kWh ile 12.07.2016 günü saat 10.00 - 11.00 arasında, güneş panellerinden yapılan en fazla üretim ise 12.07.2016 günü saat 13.00 - 14.00 arasında 792 Wh olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. 04.07.2016 ve 12.07.2016 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi

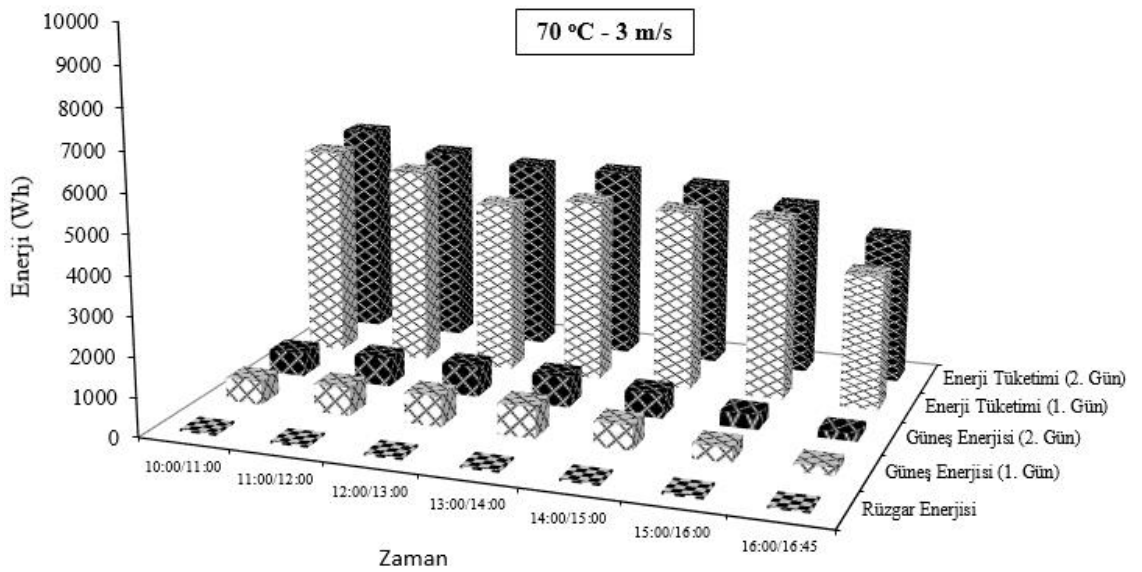
60 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerin 1. ve 2. gününde sırasıyla 36,45 ve 36,83 kWh enerji tüketilmiştir. Buna karşın, güneş panellerinden 1. deneme gününde 4,26 kWh, 2. Deneme gününde ise 4,09 kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince rüzgar türbininden ise 413 Wh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Denemelerin yapıldığı günlerde en fazla tüketim 6,13 kWh ile 03.07.2016 günü saat 10.00 - 11.00 arasında, güneş panellerinden yapılan en fazla üretim ise 11.07.2016 günü saat 12.00 - 13.00 arasında 816 Wh olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.34).





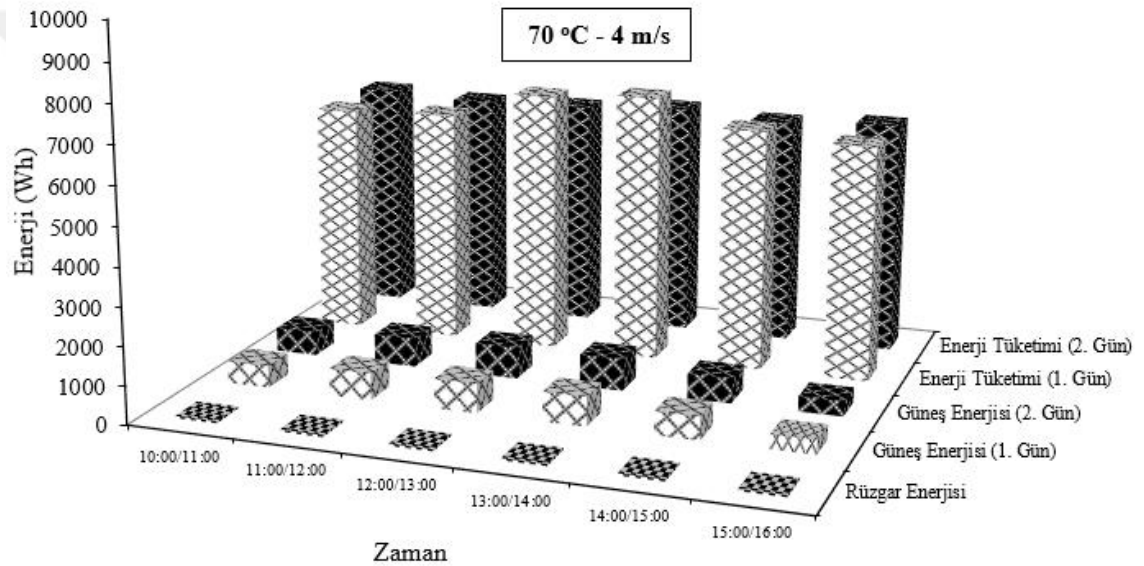
Şekil 4.34. 03.07.2016 ve 11.07.2016 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi

70 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerin 1. ve 2. gününde sırasıyla 31,93 ve 32,96 kWh enerji tüketilmiştir. Buna karşın, güneş panellerinden 1. deneme gününde 4,08 kWh, 2. Deneme gününde ise 4,09 kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince rüzgar türbininden ise 371 Wh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Denemelerin yapıldığı günlerde en fazla tüketim 5,43 kWh ile 10.07.2016 günü saat 10.00 - 11.00 arasında, güneş panellerinden yapılan en fazla üretim ise 02.07.2016 günü saat 13.00 - 14.00 arasında 791 Wh olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. 02.07.2016 ve 10.07.2016 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi

70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerin 1. ve 2. gününde sırasıyla 38,56 ve 36,26 kWh enerji tüketilmiştir. Buna karşın, güneş panellerinden 1. deneme gününde 3,79 kWh, 2. Deneme gününde ise 4,11 kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince rüzgar türbininden ise 330 Wh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Denemelerin yapıldığı günlerde en fazla tüketim 7,02 kWh ile 01.07.2016 günü saat 13.00 - 14.00 arasında, güneş panellerinden yapılan en fazla üretim ise 09.07.2016 günü saat 13.00 - 14.00 arasında 839 Wh olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.36).

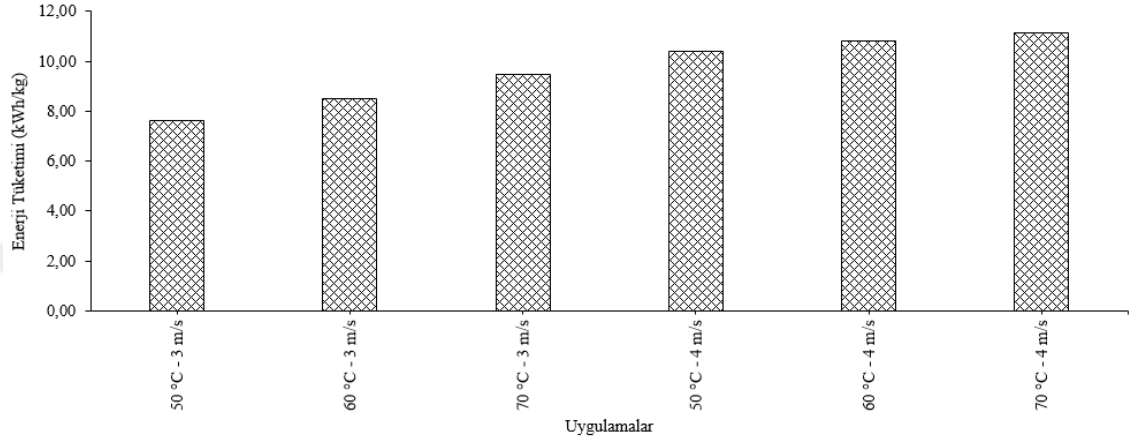


Şekil 4.36. 01.07.2016 ve 09.07.2016 tarihleri enerji tüketimi ve üretimi

#### 4.2.4. Özgül Enerji Tüketimi

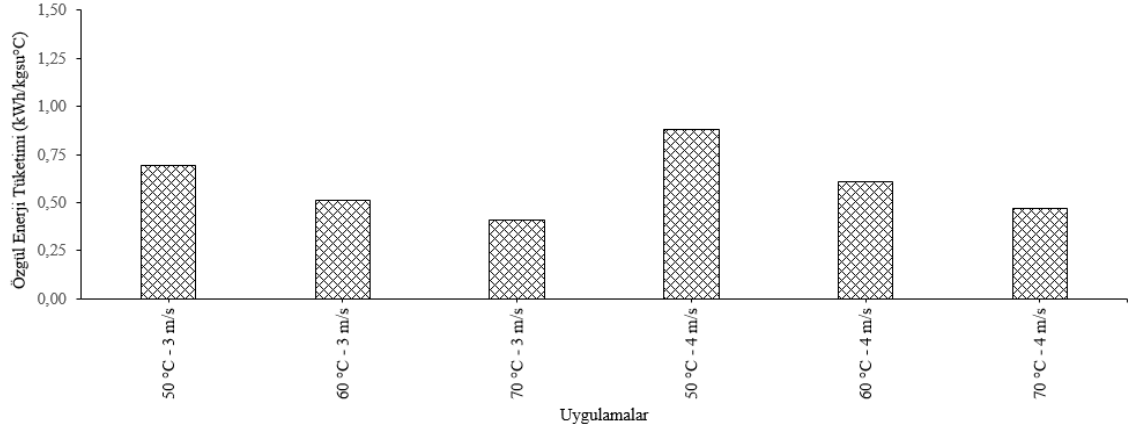
Şekil 4.37 incelendiğinde, artan kurutma sıcaklığı ve artan hava hızı ile enerji tüketiminin yükseldiği görülmektedir. Bezelye kurutmada en yüksek enerji tüketimi 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında 11,15 kWh/kg ve en düşük enerji tüketimi ise 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşullarında 7,62 kWh/kg olarak gerçekleşmiştir. Sonuç olarak, kurutma sıcaklığının yüksek olması, gerektiğinden fazla havanın ısıtılması ve kurutmanın yapıldığı yerdeki çevre havası sıcaklığının düşük iken bağıl neminin yüksek olması anlamına gelir. Bu da kurutma için harcanması gereken

enerji miktarını arttırmaktadır. Benzer biçimde Stroem ve ark. (2009), 200 ve 240 °C'de farklı hava hızlarında kurutma işlemi gerçekleştirmişlerdir. 240 °C - 1 m/s hava hızında 10,5 kWh enerji tüketilirken, 200 °C - 1 m/s hava hızında 9 kWh enerji tüketilmiştir. Hava hızının artırılarak 2,5 m/s'de yapılan denemelerde 240 °C'de 13,9 kWh, 200 °C ise 12,4 kWh enerji tüketilmiştir.



**Şekil 4.37.** Enerji tüketim değerleri

Özgül enerji tüketim değerlerinin 0,41 ile 0,88 kWh/kg $^{\circ}$ C arasında değiştiği görülmektedir. Veriler incelendiğinde artan kurutma havası sıcaklığında (sabit hava hızında) özgül enerji tüketim değerini azalttığı belirlenmiştir (Şekil 4.38). Deneme günlerindeki ortalama çevre havası sıcaklığı ve bağıl nemdeki farklarının etkileri sonuçlar üzerinde gözlemlenmiştir. Benzer sonuçları Jittanit ve ark. (2013), çeltik ve buğdayın akışkan yataklı ve fiskıyeli yataklı kurutucuda elde etmişlerdir. Bu kurutucularda ürünlerin %20 ve %25 ilk nem içeriğinden %18 ve %14 son nem içeriğine kadar kurutulmasındaki özgül enerji tüketimi değerleri belirlenmiştir. 40, 60 ve 80 °C sıcaklıkta yapılan tüm deneme koşullarında artan kurutma havası sıcaklığının özgül enerji tüketim değerini azalttığını bulmuşlardır.



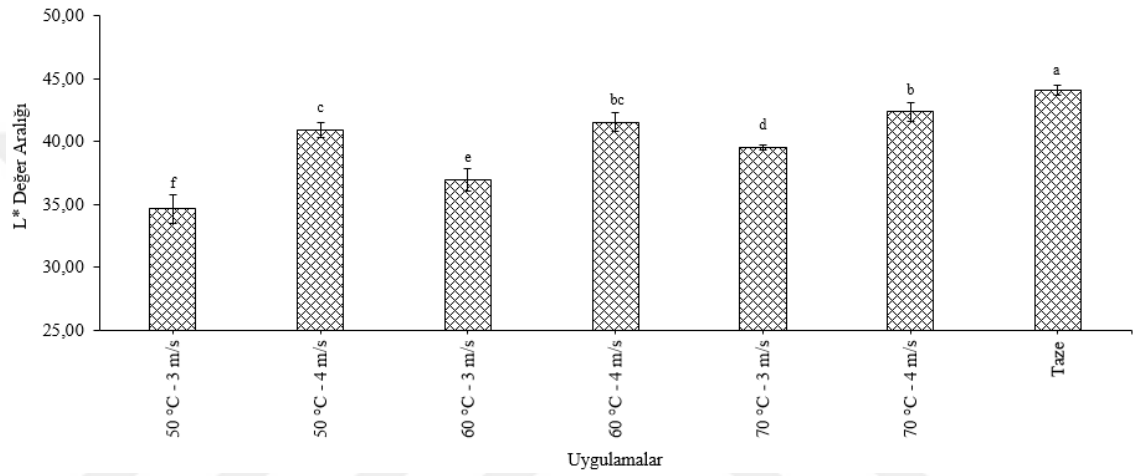
Şekil 4.38. Özgül enerji tüketim değerleri

#### 4.2.5. Renk Değerleri

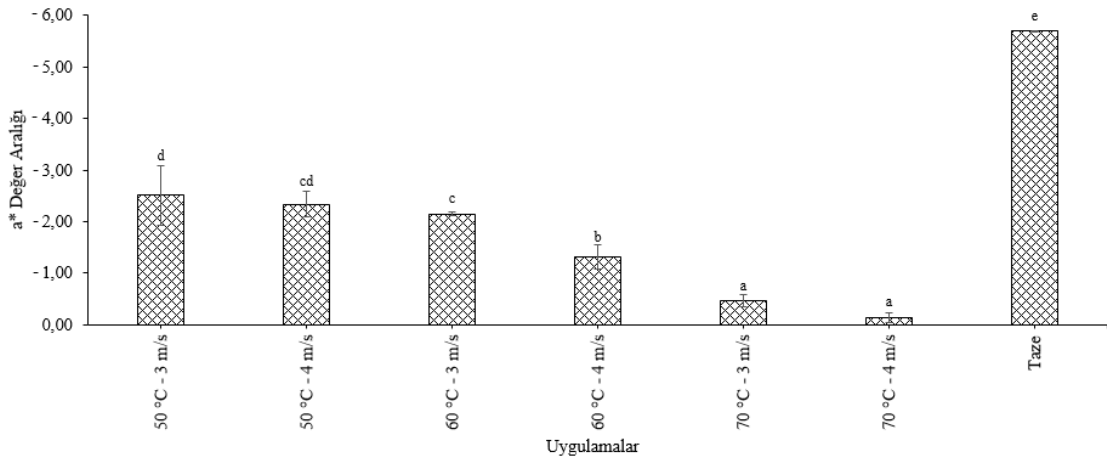
Farklı kurutma koşulları sonucunda oluşan renk ölçümleri ve hesaplamaları arasındaki farklar Şekil 4.39 - 4.45’de verilmiştir. Kurutma sıcaklığının ya da hava hızının artırılması bezelye örneklerinin belirgin bir şekilde renk değiştirmesine sebep olmuştur.  $L^*$  değerinin kurutma süresi uzadıkça düştüğü tespit edilmiştir. Taze örnekler ile karşılaştırıldığında  $a^*$  değerlerinin kuruma sırasında önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir.  $b^*$  değerinin ise  $L^*$  değeri gibi kurutma süresi uzadıkça düştüğü tespit edilmiştir. Kurutma koşulları kendi içerisinde incelendiğinde, sıcaklık seviyesinin artması ile parlaklık değeri ( $L^*$ ), kırmızılık değeri ( $a^*$ ) ve sarılık değerinin ( $b^*$ ) artan kurutma sıcaklıkları ile yükseldiği belirlenmiştir. Renk ( $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$ ) incelemelerinden sonra taze örneklerle göre en iyi değerlere 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında, en kötü değerlere ise 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları sonucunda ulaşılmıştır. İstatistiksel analiz açısından, hem hava sıcaklığının hem de hava hızının artmasının renk değerlerini önemli derecede etkilediği bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Bu kurutma sıcaklıklarında önemli olan bezelye için negatif  $a^*$  değerini temsil eden yeşillik değerinin korunmasıdır ve bu sayede kurutulan ürünlerin pazar değerinin artması sağlanacaktır.

Bazı araştırmacılar tarafından benzer renk sapmaları şu şekilde vurgulanmıştır. Said ve ark. (2013), üç farklı sıcaklıkta (40, 50 ve 60 °C) ve iki farklı hava hızında (1,0 ve 1,5 m/s) Allium roseum yapraklarına ince tabaka yöntemiyle konvektif kurutmayı

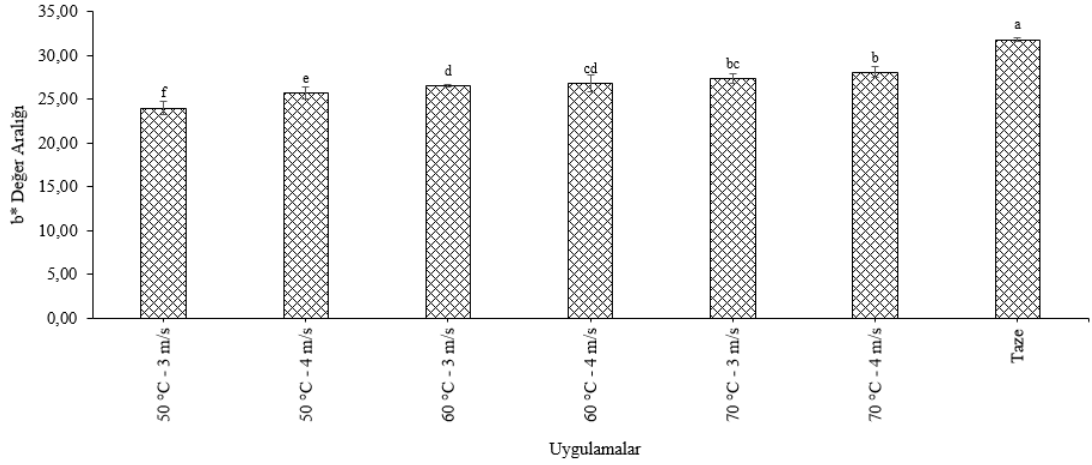
uygulamış ve negatif  $a^*$  değerinin önemli ölçüde arttığını ileri sürmüştür. Demiray ve Tülek (2015), sıcaklığın havuç dilimlerinin renk değişimi üzerine etkisini incelemiştir.  $L^*$  değerlerinin 65 °C'deki sıcak hava ile kurutulması sonucu 57,87'den 49,32'ye düştüğünü belirlemişlerdir. Aral ve Beşe (2016), 50, 60 ve 70 °C hava sıcaklıklarında ve 0,5, 0,9 ve 1,3 m/s hava hızlarında konveksiyonlu bir kurutucuda alıç meyvesini (*Crataegus spp.*) ince tabaka yöntemi ile kurutmuşlar ve renk analizi yapmışlardır. Kuruma havası sıcaklığının ve hava hızının azalmasının kurutma süresinin uzamasına neden olduğunu,  $b^*$  sarılık değerinin ise düşüşler görüldüğünü keşfetmişlerdir.



Şekil 4.39. Renk analizinde ölçülen  $L^*$  değerleri

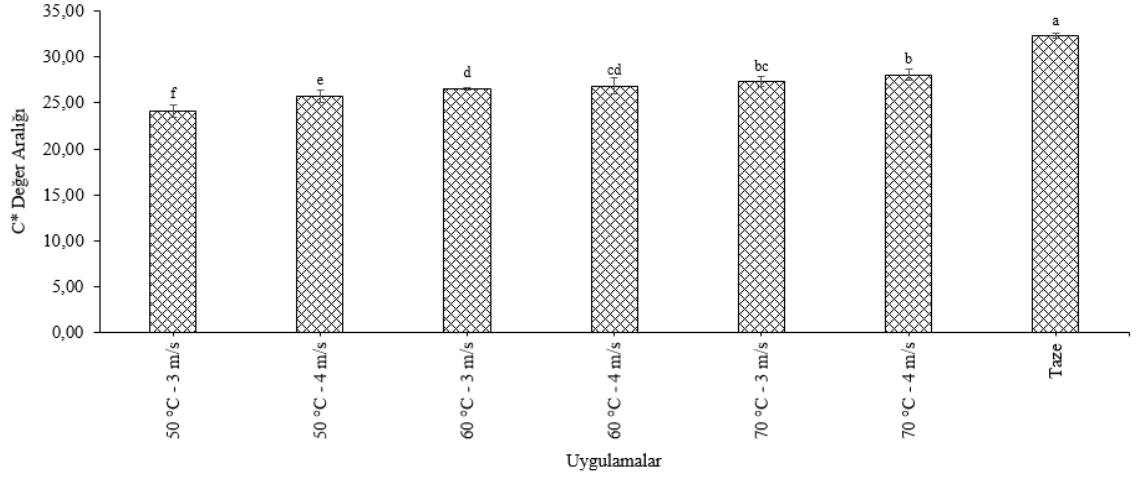


Şekil 4.40. Renk analizinde ölçülen  $a^*$  değerleri

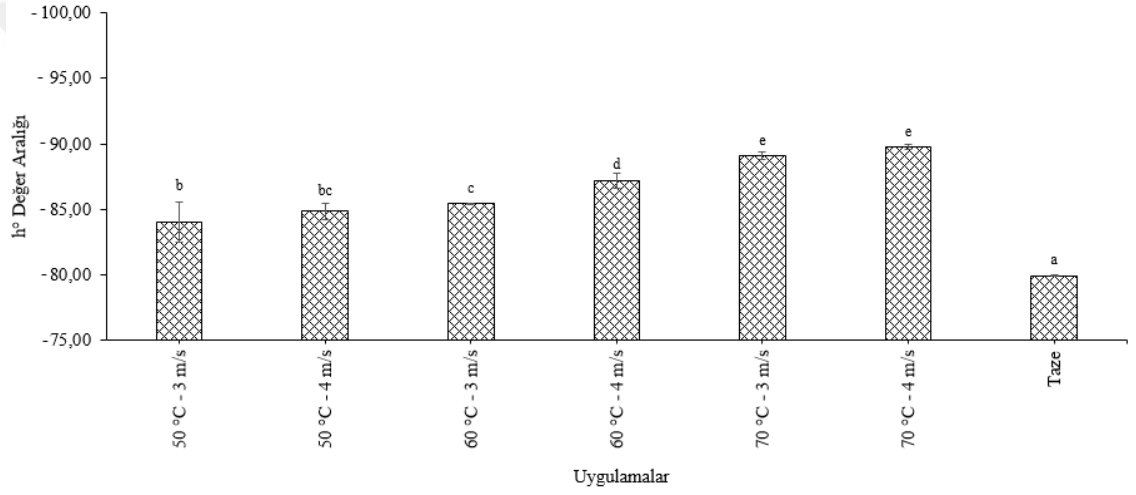


**Şekil 4.41.** Renk analizinde ölçülen  $b^*$  değerleri

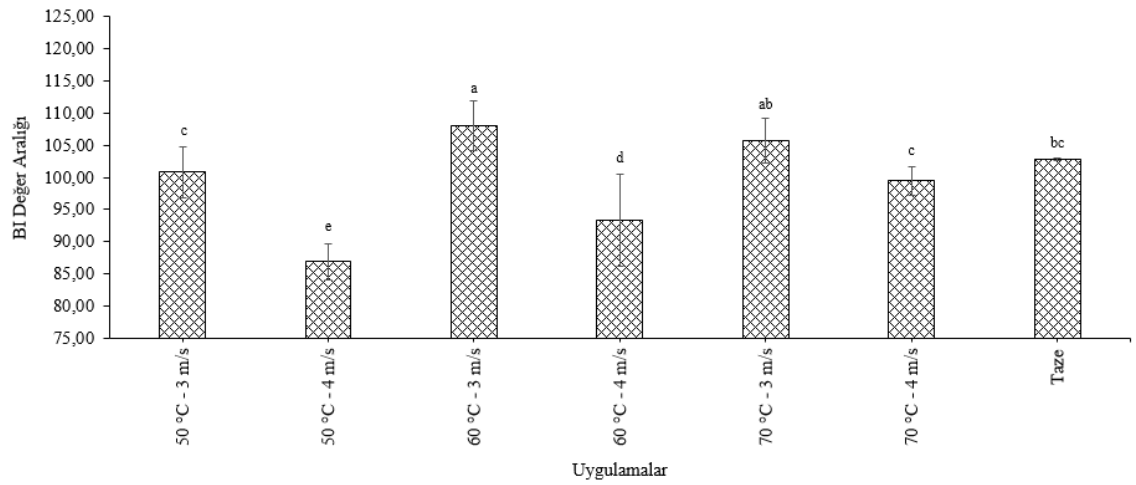
Taze bezelyenin kroma (renk doygunluğu) değeri 32,32 olarak hesaplanmıştır. En düşük kroma değeri 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşullarında yapılan kurutmada 24,14 iken taze ürüne en yakın değer ise 28,08 olarak 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında yapılan kurutmada bulunmuştur (Şekil 4.42). Taze ürünlerin hue açısı  $-79,90^\circ$  olarak belirlenmiştir. Farklı kurutma sıcaklıkları ve hava hızlarında yapılan denemeler incelendiğinde en düşük hue açısı  $-89,75^\circ$  ile 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında gerçekleştirilen kurutmada, en yüksek hue açısı ise 60 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşullarında tespit edilmiştir (Şekil 4.43). Kahverengileşme indeksi ( $BI$ ) taze ürün için 102,86 olarak belirlenmiştir. En düşük  $BI$  değeri 86,91 ile 50 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı, en yüksek  $BI$  değeri ise 60 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızında yapılan kurutmada 108,09 olarak bulunmuştur (Şekil 4.44). Toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) sonuçlara göre en düşük  $\Delta E$  değeri 6,94 ile 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşullarında, en yüksek değer ise 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşullarında 12,71 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.45).



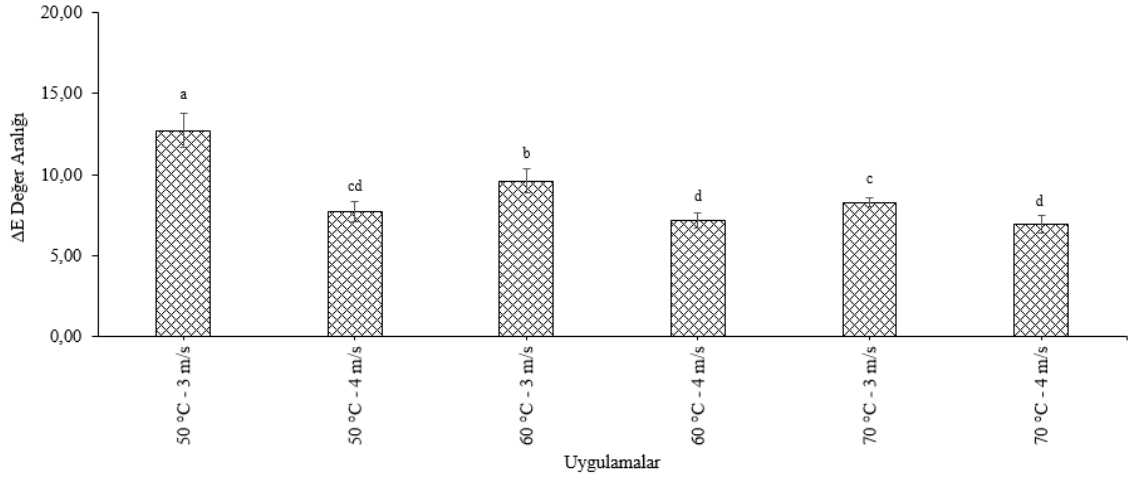
Şekil 4.42. Renk analizinde hesaplanan  $C^*$  değerleri



Şekil 4.43. Renk analizinde hesaplanan  $h^o$  değerleri



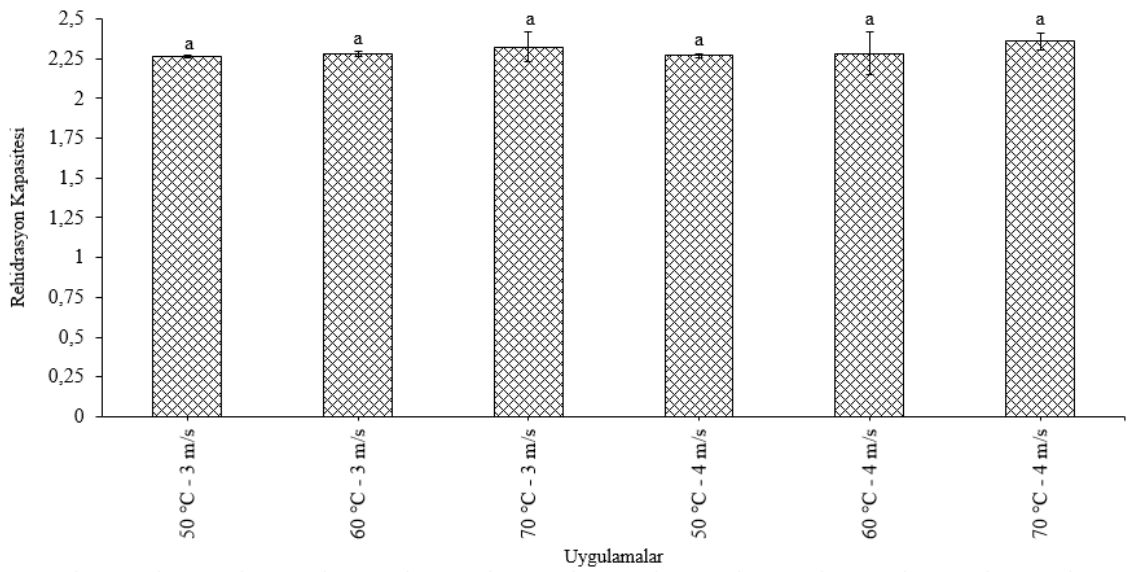
Şekil 4.44. Renk analizinde hesaplanan  $BI$  değerleri



Şekil 4.45. Renk analizinde hesaplanan  $\Delta E$  değerleri

#### 4.2.6. Rehidrasyon Değerleri

Farklı kurutma sıcaklığı ve hava hızlarında kurutulmuş bezelye örneklerinin rehidrasyon değerleri Şekil 4.46'da gösterilmiştir. Etkiler incelendiğinde, örneklerin ortalama rehidrasyon kapasitesi artan kurutma sıcaklığı ve hava hızı ile artmıştır. Hava hızının 3 m/s uygulandığı 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklardaki rehidrasyon kapasitesi değerleri sırasıyla 2,26, 2,27 ve 2,32 bulunmuştur. Hava hızının 4 m/s uygulandığı 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklardaki rehidrasyon kapasitesi değerleri ise sırasıyla 2,26, 2,28 ve 2,35 olarak tespit edilmiştir. Buna ek olarak, istatistiksel analizde denemeler arasındaki farkın önemsiz olduğu belirlenmiştir ( $p < 0,05$ ).



Şekil 4.46. Rehidrasyon kapasitesi değerleri



Kurutulmuş bazı tarımsal ürünlerin rehidrasyonu diğer araştırmacılar tarafından da incelenmiştir. Sıcak hava ile kabak dilimleri (Seremet ve ark. 2016), hindistan cevizi jölesi (Fan ve ark 2011) ve rosa rubiginosa (Ohaco ve ark. 2015) kurutulmasında benzer sonuçlara ulaşılmışlardır. Bezelye üzerine yapılmış çalışmalarda ise Kaur ve Bawa (2002), akışkan yataklı kurutucuda araştırmalar yapmıştır. Rehidrasyon değerinin 140 °C sıcaklıkta yapılan kurutmalarda 100 ve 120 °C sıcaklığa göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Thakur (2008), kabuğu soyulmuş ve soyulmamış bezelye üzerine 55, 60 ve 65 °C sıcaklıkta doğrusal hava akışına sahip bir kurutucuda gerçekleştirdiği denemelerin sonucunda incelediği parametrelerden birisi de rehidrasyon değerleridir. Artan sıcaklık değerlerinin rehidrasyon oranında artışa sebep olduğunu belirlemiştir. Pardeshi ve ark. (2009), farklı bezelye çeşitlerinin kurutulması üzerine bir araştırmada bulunmuşlardır. Pb-87 çeşidi için kurutma sıcaklığının 55 °C sıcaklıktan 75 °C sıcaklığa çıkarılması ile rehidrasyon oranı 2,81'den 3,64'e yükselmiştir. Pb-88 çeşidi ise aynı sıcaklık değerlerinde 3,02'den 3,61'e yükselmiştir.

## 5. SONUÇ

Tez kapsamında geliştirilen kurutucuda kurutma sıcaklığı olarak 50, 60 ve 70 °C, kurutma hava hızı için ise sabit 3 ve 4 m/s kullanılmıştır. Yapılan denemelerde 3 kg mısırın %44,0 ilk nem içeriğinden %14,0 son nem içeriğine, 3 kg bezelyenin ise %75,6 ilk nem içeriğinden %20,0 son nem içeriğine kadar kurutulması işlemi gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen kurutucu ile yapılan mısır denemeleri sonucunda kurutma süresi en kısa 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı kurutma koşulları altında 340 dakika, en uzun kurutma süresi ise 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında 565 dakika olarak gerçekleşmiştir. Farklı kurutma koşulları sürelerince sırasıyla güneş ve rüzgar enerjilerinden üretilen ortalama enerji değerleri 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı koşullarında 5,05 kWh ve 518 Wh, 50 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı koşullarında 5,22 kWh ve 486 Wh, 60 °C sıcaklık ve 3 m/s hızı koşullarında 5,18 kWh ve 422 Wh, 60 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı koşullarında 4,71 kWh ve 385 Wh, 70 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı koşullarında 4,32 kWh ve 339 Wh ve 70 °C sıcaklık ve 4 hava hızı m/s koşullarında 4,14 kWh ve 311 Wh olarak tespit edilmiştir. Özgül enerji tüketim değerlerine göre en düşük değer 70 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı koşulları altında 0,616 kWh/kg $\cdot$ su $\cdot$ °C olarak bulunmuştur. Toplam renk değişiminde en düşük  $\Delta E$  değeri 9,57 ile 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı koşullarında, en yüksek  $\Delta E$  değeri ise 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı koşullarında 14,88 olarak belirlenmiştir. Rehidrasyon kapasitesi değerlerinde ise en düşük 1,23 $\pm$ 0,01 ile 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı koşullarında, en yüksek 1,38 $\pm$ 0,08 ile 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı koşullarında elde edilmiştir.

Bezelye üzerine yapılan denemelerde kurutma süresine göre 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı koşulları 360 dakika ile en kısa, 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı koşulları ise 600 dakika ile en uzun olarak tespit edilmiştir. Farklı kurutma koşulları sürelerince sırasıyla güneş ve rüzgar enerjilerinden üretilen ortalama enerji değerleri 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı koşullarında 5,26 kWh ve 550 Wh, 50 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı koşullarında 4,78 kWh ve 495 Wh, 60 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı koşullarında 4,33 kWh ve 458 Wh, 60 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı koşullarında 4,18 kWh ve 413 Wh,

70 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı koşullarında 4,08 kWh ve 371 Wh ve 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı koşullarında 3,95 kWh ve 330 Wh olarak belirlenmiştir. En düşük özgül enerji tüketim değeri 70 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı kurutma koşulları altında yapılan denemelerde 0,410 kWh/kg<sub>su</sub>°C olarak elde edilmiştir. Toplam renk değişimine göre en düşük  $\Delta E$  değeri 6,94 ile 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı koşullarında, en yüksek  $\Delta E$  değeri ise 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı koşullarında 12,71 olarak bulunmuştur. Rehidrasyon kapasitesinde 50 °C sıcaklık ve 3 m/s hava hızı koşullarında en düşük ( $2,26 \pm 0,01$ ), 70 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı koşullarında en yüksek ( $2,35 \pm 0,05$ ) değerlere ulaşılmıştır.

Ülkemizin güneş ve rüzgar enerjileri açısından zengin bir potansiyele sahip olmasından dolayı, kurutma uygulamalarında bu kaynakların verimli bir şekilde kullanımı son derece önemlidir. Geliştirilen kurutucu ile fosil yakıt tüketimi içeren ya da kontrolsüz iklim şartlarında gerçekleştirilen kurutma işlemini yerine yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak enerji giderlerinin düşürecek, nihai ürünlerin kalitesinin yükseltecek ve uluslararası pazarlarda rekabet gücünün arttırmaya örnek teşkil edecek bir prototip bu tez çalışması kapsamında yapılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Anonim, 2018a.** Güneş pili hakkında teknik bilgiler. <http://www.unienerji.com/arsivler/17> (Erişim Tarihi: 08.06.2018).
- Anonim, 2018b.** Monokristalyos es polikristalyos napelemes rendszerek. <https://www.alternativenergia.hu/monokristalyos-es-polikristalyos-napelemes-rendszerek/81607> (Erişim Tarihi: 10.06.2018).
- Anonim, 2018c.** Rüzgar Türbini. <https://www.topragizbiz.com/konular/ruzgar-turbini.3474/> (Erişim Tarihi: 14.06.2018).
- Aktacir, M. A., Yeşilata, B., Işıker, Y. 2008.** Fotovoltaik-rüzgar hibrid güç sistemi uygulaması. *Yeni Enerji Dergisi*, 3(1): 1-14.
- Aktaş, M., Şevik, S., Doğan, H., Öztürk, M. 2013.** Fotovoltaik ve termal güneş enerjili sürekli bir kurutucuda domates kurutulması. *Tarım Bilimleri Dergisi-Journal of Agricultural Sciences*, 18: 287-298.
- Aktelli, Z. 2010.** Kırmızıbiber için bir kurutucu tasarımı, imalatı ve performans deneyleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitim Anabilim Dalı, Ankara.
- Amer, B. M. A., Hossain, M. A., Gottschalk, K. 2010.** Design and performance evaluation of a new hybrid solar dryer for banana. *Energy conversion and management*, 51(4): 813-820.
- Aral, S., Beşe, A. V. 2016.** Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. *Food Chemistry*, 210: 577-584.
- Aritesty, E., Wulandani, D. 2014.** Performance of the rack type-Greenhouse effect solar dryer for wild ginger (*Curcuma Xanthorrhiza* Roxb.) drying. *Energy Procedia*, 47: 94-100.
- Aslantaş, A. 2018.** Dünya’da ve Türkiye’de biyokütle enerjisinin kullanımı ve potansiyeli. *Yüksek Lisans Tezi*, Konya Karatay Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Konya.
- Atalay, Ö. 2010.** Güneş enerjisi destekli nem almalı ısı pompalı kurutucunun tasarımı ve termodinamik analizi. *Doktora Tezi*, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Bala, B. K., Mondol, M. R. A. 2001.** Experimental investigation on solar drying of fish using solar tunnel dryer. *Drying Technology*, 19(2): 427-436.
- Barnwal, P., Tiwari, G. N. 2008.** Grape drying by using hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) greenhouse dryer: an experimental study. *Solar Energy*, 82(12): 1131-1144.
- Barzegar, M., Zare, D., Stroshine, R. L. 2015.** An integrated energy and quality approach to optimization of green peas drying in a hot air infrared-assisted vibratory bed dryer. *Journal of Food Engineering*, 166: 302-315.
- Bena, B., Fuller, R. J. 2002.** Natural convection solar dryer with biomass back-up heater. *Solar energy*, 72(1): 75-83.
- Bhansali, S. S. (2017).** Concentrated parabolic solar dryer system. *International Journal of Engineering Science*, 7(4): 11060-11064.
- Boughali, S., Benmoussa, H., Bouchekima, B., Mennouche, D., Bouguettaia, H., Bechki, D. 2009.** Crop drying by indirect active hybrid solar-electrical dryer in the eastern Algerian Septentrional Sahara. *Solar Energy*, 83(12): 2223-2232.
- Bulut, H. 2017.** Türkiye’de genel enerji durumu: Enerji kaynakları, üretim ve tüketim. *Enerji Verimliliği ve Tasarrufu Kursu*.

- Ceylan, İ., Kaya, M., Gürel, A. E., Ergun, A. 2013. Energy analysis of a new design of a photovoltaic cell-assisted solar dryer. *Drying Technology*, 31(9), 1077-1082.
- Chavan, B. R., Yakupitiyage, A., Kumar, S. 2008. Mathematical modeling of drying characteristics of Indian mackerel (*Rastrilliger kangurta*) in solar-biomass hybrid cabinet dryer. *Drying Technology*, 26(12): 1552-1562.
- Chen, H. H., Hernandez, C. E., Huang, T. C. 2005. A study of the drying effect on lemon slices using a closed-type solar dryer. *Solar Energy*, 78(1): 97-103.
- Chielle, D. P., Bertuol, D. A., Meili, L., Tanabe, E. H., Dotto, G. L. 2016. Convective drying of papaya seeds (*Carica papaya* L.) and optimization of oil extraction. *Industrial Crops and Products*, 85: 221-228.
- Ciplienė, A., Novošinskas, H., Raila, A., Zvicevičius, E. 2015. Usage of hybrid solar collector system in drying technologies of medical plants. *Energy Conversion and Management*, 93: 399-405.
- Coşkun, E. 2017. Farklı sıcaklıklarla buğday (*Triticum aestivum* cv. Adana 99) kurutulmasında bazı kurutma parametreleri ile fiziksel ve mekaniksel özelliklerin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Çakmak, G. 2007. Çekirdekli üzüm kurutmada güneş enerjisi destekli dönel akışlı kurutucu tasarımı. *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Çakmak, G., Yıldız, C. 2009. Design of a new solar dryer system with swirling flow for drying seeded grape. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(9): 984-990.
- Darvishi, H., Khoshtaghaza, M. H., Minaei, S. 2015. Effects of fluidized bed drying on the quality of soybean kernels. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(2): 134-139.
- DEK, 2018. Yenilenebilir enerjiler 2018 küresel durum raporu. *Dünya Enerji Konseyi Türkiye*.
- Demiray, E., Tulek, Y. 2015. Color degradation kinetics of carrot (*Daucus carota* L.) slices during hot air drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6): 800-805.
- Dhanushkodi, S., Wilson, V. H., Sudhakar, K. 2017. Mathematical modeling of drying behavior of cashew in a solar biomass hybrid dryer. *Resource-Efficient Technologies*, In press.
- Doungporn, S., Poomsa-ad, N., Wiset, L. 2012. Drying equations of Thai Hom Mali paddy by using hot air, carbon dioxide and nitrogen gases as drying media. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2): 187-198.
- Doymaz, I., Pala, M. 2003. The thin-layer drying characteristics of corn. *Journal of Food Engineering*, 60(2): 125-130.
- Doymaz, İ. 2016. Hot-air drying and rehydration characteristics of red kidney bean seeds. *Chemical Engineering Communications*, 203(5): 599-608.
- EON, 2018. Agriculture and horticulture.
- Evans, S. 2015. How much energy does the World get from renewables? *Carbon Brief*.
- Fadhel, M. I., Sopian, K., Daud, W. R. W. 2010. Performance analysis of solar-assisted chemical heat-pump dryer. *Solar Energy*, 84(11): 1920-1928.
- Fan, H., Wu, Y., Hu, X., Wu, J., Liao, X. 2011. Characteristics of thin-layer drying and rehydration of nata de coco. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(7): 1438-1444.

- FAO, 2016.** Food and agriculture organization of the united nations statistics division. <http://faostat3.fao.org/download/P/PP/E> - Erişim Tarihi: (09.02.2017).
- Ferreira, A. G., Charbel, A. L. T., Pires, R. L., Silva, J. G., Maia, C. B. 2007.** Analysis of a hybrid solar-electrical dryer. *In Proceedings of the 19th Brazilian Congress of Mechanical Engineering*, Brasil.
- Ghazanfari, A., Tabil Jr, L., Sokhansanj, S. 2003.** Evaluating a solar dryer for in-shell drying of split pistachio nuts. *Drying Technology*, 21(7): 1357-1368.
- Gowen, A. A., Abu-Ghannam, N., Frias, J. M., Oliveira, J. C. 2007.** Characteristics of cooked chickpeas and soybeans during combined microwave–convective hot air drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 31(4): 433-453.
- Helvacı, H. U., Gökçen, G., Korel, F., Aydemir, L. Y. 2013.** Bir jeotermal kurutucu tasarımı saha testleri ve kurutma sisteminin enerji analizi. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 345- 358.
- Hepbaşlı, A., Erbay, Z., İçier, F., Çolak, N., Hancıoğlu, E. 2009.** Güneş enerjisi destekli gaz motoru tahrikli bir ısı pompası sistemi uygulaması, *Mühendis ve Makina*, 15-18, 49(581): 20-29.
- Herzog, A. V., Lipman, T. E., Kammen, D. M. 2001.** Renewable energy sources. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Forerunner Volume- ‘Perspectives and Overview of Life Support Systems and Sustainable Development.
- Hossain, M. A., Amer, B. M. A., Gottschalk, K. 2008.** Hybrid solar dryer for quality dried tomato. *Drying Technology*, 26(12): 1591-1601.
- Hussein, J. B., Filli, K. B., Oke, M. O. 2016.** Thin layer modelling of hybrid, solar and open sun drying of tomato slices. *Research Journal of Food Science and Nutrition*, 1, 15-27.
- Hürdoğan, E., Kaşka, Ö., Yılmaz, T., Büyükalaca, O. 2013.** Düşük sıcaklıkta gıda kurutmak için güneş enerjisi destekli desisif bir kurutma sisteminin uygulanabilirliğinin araştırılması. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 875-883.
- Iguaz, A., San Martin, M. B., Mate, J. I., Fernandez, T., Virseda, P. 2003.** Modelling effective moisture diffusivity of rough rice (*Lido cultivar*) at low drying temperatures. *Journal of Food Engineering*, 59(2): 253-258.
- İnan, E. 2010.** Yeni tip doğrudan değmeli kurutucunun geliştirilmesi ve reyhan (*Ocimum basilicum* l.) bitkisini kurutma performansının belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Tokat.
- İzli, N., Yıldız, G., Ünal, H., Işık, E., Uylaşer, V. 2014.** Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of goldenberry (*Physalis peruviana* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 49(1): 9-17.
- Jaiboon, P., Prachayawarakorn, S., Devahastin, S., Soponronnarit, S. 2009.** Effects of fluidized bed drying temperature and tempering time on quality of waxy rice. *Journal of Food Engineering*, 95(3): 517-524.
- Janjai, S., Lamlert, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Bala, B. K., Nagle, M., Müller, J. 2009.** Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. *Solar Energy*, 83(9): 1550-1565.
- Jittanit, W., Srzednicki, G., Driscoll, R. H. 2013.** Comparison between fluidized bed and spouted bed drying for seeds. *Drying Technology*, 31(1): 52-56.

- Kahyaoglu, L. N., Sahin, S., Sumnu, G. 2010.** Physical properties of parboiled wheat and bulgur produced using spouted bed and microwave assisted spouted bed drying. *Journal of Food Engineering*, 98(2): 159-169.
- Karaca, İ. H. 2015.** Elektrik tüketimi ve üretiminde yeni ufuklar “Yenilenebilir enerji sistemleri”. *Verimlilik Haftası 2015*.
- Kaur, H., Bawa, A. S. 2002.** Studies on fluidized bed drying of peas. *Journal Of Food Science and Technology*, 39(3): 272-275.
- Kelsoy, M. E., Soysal, M. A. 2015.** Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Türbinleri. <https://kontrolotomasyon.files.wordpress.com/2015/09/rucc88zgar-tribucc88nleri.pdf> (Erişim Tarihi: 12.06.2018)
- Khatchaturian, O. A. 2012.** Experimental study and mathematical model for soya bean drying in thin layer. *Biosystems Engineering*, 113(1): 54-64.
- Klug, H. 2001.** Basic course in wind energy, German Wind Energy Institute GmbH (DEWI), Istanbul.
- Krokida, M. K., Marinos-Kouris, D. 2003.** Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 57(1): 1-7.
- Kurban, M., Varlık, T., Filik, Ü. B., Hocaoğlu, F. O. 2007.** Yaş sebze-meyve kurutma işleminde güneş enerjisi destekli hibrid sistemli makina kullanımı. *IV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 102-105.
- Li, H., Dai, Y., Dai, J., Wang, X., Wei, L. 2010.** A solar assisted heat pump drying system for grain in-store drying. *Frontiers of Energy and Power Engineering in China*, 4(3), 386-391.
- López-Vidaña, E. C., Méndez-Lagunas, L. L., Rodríguez-Ramírez, J. 2013.** Efficiency of a hybrid solar–gas dryer. *Solar Energy*, 93: 23-31.
- Markowski, M., Sobieski, W., Konopka, I., Tańska, M., Białobrzewski, I. 2007.** Drying characteristics of barley grain dried in a spouted-bed and combined IR-convection dryers. *Drying Technology*, 25(10): 1621-1632.
- Martinot, E., Chaurey, A., Lew, D., Moreira, J. R., Wamukonya, N. 2002.** Renewable energy markets in developing countries. *Annual review of energy and the environment*, 27(1): 309-348.
- Mastekbayeva, G. A., Bhatta, C. P., Leon, M. A., Kumar, S. 1999.** Experimental studies on a hybrid dryer. *In ISES 99 Solar World Congress*, 4-9.
- Mengeş, G. 2006.** Patatesin farklı kurutma şartlarındaki kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Konya.
- Misha, S., Mat, S., Ruslan, M. H., Salleh, E., Sopian, K. 2016.** Performance of a solar-assisted solid desiccant dryer for oil palm fronds drying. *Solar Energy*, 132: 415-429.
- Mohajer, A., Nematollahi, O., Joybari, M. M., Hashemi, S. A., Assari, M. R. 2013.** Experimental investigation of a hybrid solar drier and water heater system. *Energy conversion and Management*, 76: 935-944.
- Mohapatra, D., Rao, P. S. 2005.** A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, 66(4): 513-518.
- Mortezapour, H., Ghobadian, B., Minaei, S., Khoshtaghaza, M. H. 2012.** Saffron drying with a heat pump–assisted hybrid photovoltaic–thermal solar dryer. *Drying Technology*, 30(6): 560-566.
- Mukaminega, D. 2008.** Hybrid dryer (solar and biomass furnace) to address the problem of post harvest losses of tomatoes in Rwanda. *Master of Science Thesis*,

- Larenstein University of Applied Sciences, Agricultural Chain Management, specialization Post Harvest Technology and Logistics Department, Wageningen.
- Murcia, M. A., Jiménez, A. M., Martínez-Tomé, M. 2009.** Vegetables antioxidant losses during industrial processing and refrigerated storage. *Food Research International*, 42(8): 1046-1052.
- Nabnean, S., Janjai, S., Thepa, S., Sudaprasert, K., Songprakorp, R., Bala, B. K. 2016.** Experimental performance of a new design of solar dryer for drying osmotically dehydrated cherry tomatoes. *Renewable Energy*, 94: 147-156.
- Nayak, S., Kumar, A., Mishra, J., Tiwari, G. N. 2011.** Drying and testing of mint (*Mentha piperita*) by a hybrid photovoltaic-thermal (PVT)-based greenhouse dryer. *Drying Technology*, 29(9): 1002-1009.
- Nurbay, N., Çınar, A. 2005.** Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 164-168.
- Nwakuba, N. R., Chukwuezie, O. C., Osuchukwu, L. C. 2017.** Modeling of drying process and energy consumption of onion (*Ex-gidankwano* Spp.) slices in a hybrid crop dryer. *American Journal of Engineering Research*, 6(1): 44-55.
- Ohaco, E. H., Ichiyama, B., Lozano, J. E., De Michelis, A. 2015.** Rehydration of rosa rubiginosa fruits dried with hot air. *Drying Technology*, 33(6): 696-703.
- Oueslati, H., Mabrouk, S. B., Mami, A. 2014.** Dynamic modelling and performance study of solar gas tunnel dryer. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems: Methods, Tools and Applications in Engineering and Related Sciences*, 20(2): 130-145.
- Özdeş, M. 2013.** Kurutma prosesinde kurutma hava hız ve sıcaklığının ekserji verimine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Aksaray.
- Öztürk, H. H. 2006.** Tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*.
- Öztürk, H. H. 2012.** Güneş enerjisi ve uygulamaları. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 354.
- Öztürk, H. H., Yaşar, B., Eren, Ö. 2010.** Tarımda enerji kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynakları. *TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*. 909-932.
- Pardeshi, I. L., Arora, S., Borker, P. A. 2009.** Thin-layer drying of green peas and selection of a suitable thin-layer drying model. *Drying Technology*, 27(2): 288-295.
- Pavlović, T. M., Milosavljević, D. D., Radivojević, A. R., Pavlović, M. A. 2011.** Comparison and assessment of electricity generation capacity for different types of PV solar plants of 1 MW in Soko Banja, Serbia. *Thermal Science*, 15(3): 605-618.
- Polatçı, H. 2013.** Tokat ilinde güneş enerji destekli ısı pompalı bir kurutucu sistem geliştirilmesi ve domates kurutma performansının farklı kurutma sistemleri ile karşılaştırılması. *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Erzurum.
- Prasad, J., Vijay, V. K. 2005.** Experimental studies on drying of Zingiber officinale, Curcuma longa l. and Tinospora cordifolia in solar-biomass hybrid drier. *Renewable Energy*, 30(14): 2097-2109.
- Prasad, J., Vijay, V. K., Tiwari, G. N., Sorayan, V. P. S. 2006a.** Study on performance evaluation of hybrid drier for turmeric (*Curcuma longa* L.) drying at village scale. *Journal of Food Engineering*, 75(4): 497-502.



- Prasad, J., Prasad, A., Vijay, V. K. 2006b.** Studies on the drying characteristics of Zingiber officinale under open sun and solar biomass (hybrid) drying. *International Journal of Green Energy*, 3(1): 79-89.
- Puiu, T. 2018.** How much renewable energy does the world use. *Zme Science*.
- Ramallo, L. A., Mascheroni, R. H. 2012.** Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. *Food and bioproducts processing*, 90(2): 275-283.
- Rathore, N. S., Panwar, N. L. 2010.** Experimental studies on hemi cylindrical walk-in type solar tunnel dryer for grape drying. *Applied Energy*, 87(8): 2764-2767.
- Rattanamechaikul, C., Junka, N., Wongs-Aree, C., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. 2016.** Influence of hot air fluidized bed drying on quality changes of purple rice. *Drying Technology*, 34(12): 1462-1470.
- Reyes, A., Mahn, A., Huenulaf, P., González, T. 2014.** Tomato dehydration in a hybrid-solar dryer. *Journal Chemical Engineering Process Technology*, 5(4): 1-8.
- Sahin, S., Sumnu, G., Tunaboyu, F. 2013.** Usage of solar-assisted spouted bed drier in drying of pea. *Food and Bioproducts Processing*, 91(3): 271-278.
- Said, L. B. H., Najjaa, H., Neffati, M., Bellagha, S. 2013.** Color, phenolic and antioxidant characteristic changes of Allium Roseum leaves during drying. *Journal of Food Quality*, 36(6): 403-410.
- Sarsilmaz, C., Yildiz, C., Pehlivan, D. 2000.** Drying of apricots in a rotary column cylindrical dryer (RCCD) supported with solar energy. *Renewable Energy*, 21(2): 117-127.
- Satria, D., Haryadi, Austin, R., Kurniawan, B. (2016).** Design of drying chamber and biomass furnace for sun-biomass hybrid rice-drying machine. *In AIP Conference Proceedings*, 1717(1): 1-7.
- Sepehrimehr, B., Kohan, A. 2015.** Evaluating a hybrid passive solar-electrical dryer for drying grapes. *Advances in Environmental Biology*, 9(3): 353-355.
- Seremet, L., Botez, E., Nistor, O. V., Andronoiu, D. G., Mocanu, G. D. 2016.** Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices. *Food Chemistry*, 195: 104-109.
- Seveda, M. S. 2013.** Design of a photovoltaic powered forced convection solar dryer in NEH region of India. *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(4), 906-912.
- Shikha, T., S. Bhatti, D.P. Kothari. 2003.** A new vertical axis wind rotor using convergent nozzles. *Proceedings of the Large Engineering Systems Conference on Power Engineering*, 177-181.
- Simal, S., Mulet, A., Tarrazo, J., Rosselló, C. 1996.** Drying models for green peas. *Food Chemistry*, 55(2): 121-128.
- Slimani, M. E. A., Amirat, M., Bahria, S., Kurucz, I., Sellami, R. 2016.** Study and modeling of energy performance of a hybrid photovoltaic/thermal solar collector: Configuration suitable for an indirect solar dryer. *Energy Conversion and Management*, 125: 209-221.
- Sobukola, O. P., Abayomi, H. T. 2011.** Physical properties and rehydration characteristics of different varieties of maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) seeds. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(3): 299-307.
- Sona, V. P. 2015.** Solar tunnel drier combined with biogas for copra drying. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2(4): 882-885.

- Stroem, L. K., Desai, D. K., Hoadley, A. F. A. 2009.** Superheated steam drying of Brewer's spent grain in a rotary drum. *Advanced Powder Technology*, 20(3): 240-244.
- Tarhan, S., Telci, İ., Tuncay, M. T., Polatci, H. 2010.** Product quality and energy consumption when drying peppermint by rotary drum dryer. *Industrial Crops and Products*, 32(3): 420-427.
- Taweerattanapanish, A., Soponronnarit, S., Wetchakama, S., Kongseri, N., Wongpiyachon, S. 1999.** Effects of drying on head rice yield using fluidization technique. *Drying Technology*, 17(1-2): 346-353.
- Thakur, A. K. 2008.** Studies on drying characteristics and physical quality evaluation of green peas. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 45(2): 117-122.
- Thanaraj, T., Dharmasena, D. A. N., Samarajeewa, U. 2004.** Development of a rotary solar hybrid dryer for small scale copra processing. *Tropical Agriculture Research*, 16: 305-315.
- Tiwari, S., Tiwari, G. N., Al-Helal, I. M. 2016.** Performance analysis of photovoltaic-thermal (PVT) mixed mode greenhouse solar dryer. *Solar Energy*, 133: 421-428.
- TMMOB, 2015.** Enerji raporu 2015. *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*.
- Tunaboyu, F. 2011.** Usage of solar-spouted bed drier in the drying of parboiled wheat, corn and pea. *Master of Science Thesis*, Middle East Technical University of Natural and Applied Sciences, Food Engineering Department, Ankara.
- Turan, A. 2013.** Neden Jel Akü? Url: <http://blog.inciaku.com/neden-jel-aku/>
- Turhan, M. S., Çetiner, İ. 2012.** Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi. *6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*.
- UPA, 2017.** Güneş enerjisi Türkiye'nin enerjideki dışa bağımlılığını azaltabilir mi? *Uluslararası Politika Akademisi*.
- Yahya, M., Fudholi, A., Sopian, K. 2017.** Energy and exergy analyses of solar-assisted fluidized bed drying integrated with biomass furnace. *Renewable Energy*, 105: 22-29.
- Yassen, T. A., Al-Kayiem, H. H. 2016.** Experimental investigation and evaluation of hybrid solar/thermal dryer combined with supplementary recovery dryer. *Solar Energy*, 134: 284-293.
- YEGM, 2018.** 2000-2016 Türkiye enerji verimliliği gelişim Raporu. *Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü*.
- Yılmaz, H.N., Ozbalta, N. Gungor, A. 1999.** Performance analysis of a solar cabinet drier for tomatoes, *7. International Congress on Agricultural Mechanisation and Energy*, Turkey.
- Yunus, Y. M., Al-Kayiem, H. H. 2013.** Simulation of hybrid solar dryer. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 16(1): 1-4.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Onur TAŞKIN

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa, 18.08.1987

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lisans (1) : Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,  
Tarım Makinaları Bölümü, 2010

Lisans (2) : Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi,  
İşletme Bölümü, 2011

Yüksek Lisans : Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,  
Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği,  
2012

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,  
Biyosistem Mühendisliği, 2012-2013

Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Biyosistem Mühendisliği, 2014-2018

İletişim (e-posta) : onurtaskins@gmail.com

Yayınları :

**Taşkın, O., İzli, G., İzli, N.,** 2018. Convective drying kinetics and quality parameters of European Cranberrybush. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 24, 349-358.

İzli, G., İzli, N., **Taşkın, O.,** Yıldız, G. 2018. Convective drying of kumquat slices: comparison of different drying temperatures on drying kinetics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity. *Latin American Applied Research*, 48, 37-42.

İzli, N., İzli, G., **Taşkın, O.** 2018. Impact of different drying methods on drying kinetics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of pineapple. *CyTA – Journal of Food*, 16(1), 213-221.

İzli, N., İzli, G., **Taşkın, O.** 2017. Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. *Food Science and Technology*, 37(4), 604-612.

İzli, N., İzli, G., **Taşkın, O.** 2017. Drying kinetics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity properties of kiwi dried by different methods. *Food Measurement*, 11(1): 64-74.

Taşcıoğlu, A., **Taşkın, O.**, Vardar, A. 2016. A power case study for monocrystalline and polycrystalline solar panels in Bursa city, Turkey. *International Journal of Photoenergy, Photovoltaic Materials and Devices*: 1-7.

Vardar, A., Eker, B., Kurtulmuş, F., **Taşkın, O.** 2015. Developing wind concentrator systems to use wind turbines in areas with lower wind speed potential. *Energy Technology*, 3(12): 1260-1270.

Vardar, A., **Taşkın, O.** 2015. Technical and economic evaluation of energy production from wind in Istanbul and surrounds. *Journal of Energy in Southern Africa*, 26(4): 64-70.

**Taşkın, O.**, Vardar, A. 2015. Cost assessment of the combined rainwater harvesting with solar irrigation. *Scientific Journal of Agricultural Engineering*, 4, 75-80.

Vardar, A., **Taşkın, O.** 2014. Renewable energy sources and Turkey. *International Journal of Energy and Power Engineering*, 3(5), 245-249.