



**FARKLI SICAKLIKLARLA BUĞDAY (*Triticum aestivum* cv.  
Adana 99) KURUTULMASINDA BAZI KURUTMA  
PARAMETRELERİ İLE FİZİKSEL VE MEKANİKSEL  
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

**EMRE COŞKUN**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI SICAKLIKLARLA BUĞDAY (*Triticum aestivum* cv. Adana  
99) KURUTULMASINDA BAZI KURUTMA PARAMETRELERİ  
İLE FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİN  
İNCELENMESİ**

**EMRE COŞKUN**

Doç. Dr. Nazmi İZLİ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2017

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Emre COŞKUN tarafından hazırlanan “Farklı Sıcaklıklarla Buğday (*Triticum aestivum* cv. Adana 99) Kurutulmasında Bazı Kurutma Parametreleri ile Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerin İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Nazmi İZLİ

İmza

**Başkan:** Doç. Dr. Nazmi İZLİ  
Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

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

İmza

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

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

  
Prof. Dr. Ali BAYRAM  
Enstitü Müdürü

18.08.2017

**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.**

...../...../.....

Emre COŞKUN

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### FARKLI SICAKLIKLARLA BUĞDAY (*Triticum aestivum* cv. Adana 99) KURUTULMASINDA BAZI KURUTMA PARAMETRELERİ İLE FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

**Emre COŞKUN**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Nazmi İZLİ

Yapılan bu çalışmada buğdayın sıcak hava akımı ile kurutulmasında kurutma parametreleri belirlenmiştir. Denemeler “Sıcak Hava Kurutma Düzeneği’nin” bulunduğu Uludağ Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü “Kurutma-Soğutma ve Biyolojik Materyal” laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Denemeler, 1 m/s sabit hava çıkış hızında dört farklı sıcaklık değeri (50, 60, 70 ve 80 °C) kullanılmıştır. Yaş baza (y.b.) göre %25,5 nem içeriğine sahip buğday örnekleri, güvenli depolama nemi olan %12 nem değerine kadar kurutulmuştur. Dört farklı sıcaklık uygulamasında gerçekleştirilen denemelerde kurutma hızı, enerji tüketimi, kurutma özellikleri, maliyet ve çimlenme parametreleri incelenmiştir. Ayrıca, kurutulmuş ve kurutulmamış buğday tanelerinin farklı malzemeler üzerindeki yuvarlanma açıları, statik sürtünme katsayıları ile bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri araştırılmıştır.

Sonuç olarak, kurutma süresi, enerji tüketimi ve maliyet açısından en iyi sonuçlar 80 °C sıcaklık uygulaması ile elde edilmiştir. Ancak artan kurutma sıcaklığı uygulamalarının çimlenme hızı ve çimlenme gücü üzerinde olumsuz etkileri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Buğday, kurutma hızı, enerji tüketimi, maliyet, çimlenme

**2017, vii + 37 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

**Emre COŞKUN**

INVESTIGATION OF SOME DRYING PARAMETERS, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES FOR WHEAT (*Triticum aestivum* cv. Adana 99)  
DRYING AT DIFFERENT TEMPERATURES

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

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Nazmi İZLİ

In this study, wheat drying parameters in hot-air drying were determined. Experiments have been performed in “ the hot air drying mechanism “which is at the “ drying-cooling and biological materials“ laboratory. The experiments were made with 1 m/s constant air velocity at different temperatures (50, 60, 70 and 80 °C) and for moisture losses from 25.5% wet basis (w.b.) to 12% which is security storing humidity scale for wheat. Drying rate, energy consumption, drying characteristic, cost and germination parameters were determined for four treatments temperatures. In addition, rolling angles, static friction coefficients, and some physical and mechanical properties of dried and undried wheat were determined on different materials.

In conclusion, the best results of drying time, energy consumption and cost parameters were obtained at the 80 °C. However, the negative effects of increased drying temperature were determined on germination rate and vigor.

**Key Words:** Wheat, drying rate, energy consumption, drying cost, germination  
**2017, vii + 37 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐması sırasında, bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman destek olan baŐta merhum Prof. Dr. EŐref IŞIK'a, danıŐmanım Doç. Dr. Nazmi İZLİ'ye, çalıŐmalarımda yardımcı olan değerli arkadaşlarım ArŐ. Gör. Onur TAŞKIN'a, ArŐ. Gör. Hilal ERDOğAN'a, Sayın Yalçın SARIKAYA'ya ve bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan canım annem, babam ve kardeŐime en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Emre COŞKUN

...../...../.....

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	6
2.1. Kurutma .....	6
2.1.1. Kurutma Sırasında Meydana Gelen Değişimler .....	7
2.1.2. Kurutmanın Statiği .....	7
2.1.3. Kurutmanın Kinetiği .....	8
2.1.4. Kurutma Sırasında Isı ve Kütle İletimi .....	9
2.2. Önceki Çalışmalar .....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	17
3.1. Materyal .....	17
3.2. Yöntem.....	20
3.2.1. Başlangıç ve Bitiş Nem Değeri Belirleme.....	20
3.2.2. Sıcak Hava ile Kurutma.....	20
3.2.3. Enerji Tüketimi.....	20
3.2.4. Maliyet.....	20
3.2.5. Fiziksel ve Mekaniksel Özellikler.....	21
3.2.6. Çimlenme Hızı ve Çimlenme Gücü Oranları.....	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	23
4.1 Nem Zaman İlişkisi.....	23
4.2. Enerji Tüketimi .....	24
4.3. Birim Nem Enerji Tüketimi .....	25
4.4. Toplam Kurutma Maliyeti.....	26
4.5. Birim Nem Maliyet .....	27
4.6. Fiziksel ve Mekaniksel Özellikler.....	28
4.7. Çimlenme Hızı ve Çimlenme Gücü .....	30
5. SONUÇ .....	32
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	33
ÖZGEÇMİŞ.....	37



## SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
°C	: Santigrat derece
kJ	: Kilojoule
g	: Gram
K	: Kelvin
m	: Metre
s	: Saniye
W	: Watt
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
N <sub>2</sub>	: Nitrojen
m <sup>3</sup>	: Metreküp
kPa	: Kilopaskal
kW	: Kilowatt
cm	: Santimetre
TL	: Türk lirası
da	: Dekar
sa	: Saat

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
y.b.	: Yaş baz
k.b.	: Kuru baz
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
UHK	: Ulusal Hububat Konseyi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statığı açısından anlamı.....	8
Şekil 2.2. Kurutmanın kinetik eğrileri.....	8
Şekil 2.3. Kurutma prosesinde eş zamanlı ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi...9	
Şekil 3.1. Adana-99 buğday çeşidi .....	17
Şekil 3.2. Sıcak hava kurutma sistemi .....	18
Şekil 3.3. Kurutucu fotoğrafı .....	19
Şekil 3.4. Buğday örnekleri.....	20
Şekil 3.5. Dijital kumpas.....	21
Şekil 3.6. Yuvarlanma açısı belirleme düzeneği.....	21
Şekil 3.7. Çimlendirme dolabı.....	22
Şekil 4.1. Nem – Zaman grafiği .....	23
Şekil 4.2. Toplam enerji tüketim değerleri .....	24
Şekil 4.3. Birim nem başına enerji tüketimi .....	25
Şekil 4.4. Toplam kurutma maliyeti .....	26
Şekil 4.5. Birim nem başına maliyet .....	27
Şekil 4.6. Buğday tanelerinin fiziksel ve mekaniksel özellikleri .....	28
Şekil 4.7. Buğday yuvarlanma açısı.....	29
Şekil 4.8. Buğday statik sürtünme katsayısı.....	29
Şekil 4.9. Farklı kurutma sıcaklıklarının buğday çimlenme oranı üzerine etkisi.....	31

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Dünya buğday üretimi (Milyon ton) .....	1
Çizelge 1.2. Başlıca ülkelerin buğday ihracat miktarı (Milyon ton) .....	3
Çizelge 1.3. Başlıca ülkelerin buğday ithalat miktarı (Milyon ton).....	3
Çizelge 4.1. Farklı kurutma sıcaklıklarının çimlenme komponentleri üzerine etkisi.....	31



## 1.GİRİŞ

Bitkisel ve hayvansal kaynaklı gıda maddeleri insanlığın yaşayabilmesi ve sosyal fonksiyonlarını sürdürebilmesi için gerekli besin maddelerini sağlamaktadır. Bitkisel gıda maddeleri içinde yer alan tahıl ürünleri önemli bir besin maddesi kaynağıdır. Tahıl ürünleri arasında ise en önde gelen bitkilerden birisi şüphesiz buğdaydır (Emeksizoğlu, 2016).

Buğday, yerleşik düzene geçen insanların yetiştirdikleri ilk bitki olmuştur. Arkeolojik kazılara göre MÖ 7000’li yıllarda İran ve Irak sınırı yakınlarında kaplıca buğdayı (*Triticum monococcum* L.), kaba tahıl (*Triticum turgidum* L.) ve yabani arpa (*Hordeum spontaneum* L.) yetiştirildiği anlaşılmaktadır (Dirik, 2016). Ayrıca Babil, Hitit ve İbraniler 4 bin yıl önce, Mısırlılar ve Doğu Akdeniz uygarlıklarının ise 3 bin yıl önce pişirilmiş kurutulmuş buğdayı kullandıkları belirlenmiştir (Melik, 2014).

Buğday, yüksek adaptasyon yeteneği sayesinde dünyanın hemen her tarafında yetiştirilebilen, ekonomik ve stratejik bir öneme sahip, tek yıllık bir bitkidir (Emeksizoğlu, 2016). Dünya’da başlıca buğday üreticisi ülkelerini 2009 yılı verilerine göre Çin (%16,9), Hindistan (%11,8), Rusya (%9,1), ABD (%8,8), Fransa (%5,6), Kanada (%3,9), Almanya (%3,7), Pakistan (%3,5), Avustralya (%3,2) ve Ukrayna (%3,1) oluşturmaktadır (UHK, 2011). Çizelge 1.1’de ise 2009 yılı sonrası buğday üretimde önde gelen 10 ülke gösterilmiştir (TUİK, 2017).

**Çizelge 1.1.** Dünya buğday üretimi (Milyon ton)

Ülke	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Çin	115,1	117,4	120,8	121,9	126,2	130,2	128,9
ABD	58,9	54,2	61,3	58,1	55,1	56,1	62,9
Hindistan	80,8	86,9	94,9	93,5	95,9	86,5	86,0
Rusya	41,5	56,2	37,7	52,1	59,1	61,0	72,5
Kanada	23,3	25,3	27,2	37,5	29,4	27,6	31,7
Avustralya	27,4	29,9	22,9	25,3	23,7	24,2	33,5
Pakistan	23,9	24,2	23,3	24,2	26,0	25,5	25,5
Türkiye	19,7	21,8	20,1	22,1	19,0	22,6	20,6
Ukrayna	16,8	22,3	15,8	22,3	24,7	27,3	26,8
Arjantin	15,9	14,5	8,0	9,2	13,9	11,3	15,5

Türkiye’de tarım yapılabilir arazi 23,8 milyon hektar’dır. Hububat ekimi ise bu alanın da yaklaşık %74’ünü kapsamaktadır. Hububat ekim alanı içinde ilk sırada buğday, ikinci sırada arpa, üçüncü sırada ise mısır sırasıyla %67,2, %23,7 ve %5,7’lik paylarla yer almaktadır. Bu ürünleri de çavdar, çeltik, yulaf ve tritikale takip etmektedir. Buğday, ülkemizin her bölgesinde üretimi yapılması sebebiyle tarla bitkileri içerisinde ekiliş alanı ve üretim miktarı bakımından ilk sırayı almaktadır. Ülkemizde buğday ekim alanları son 20 yılda 7,5-9,8 milyon hektar arasında; üretimi ise 17,2-22,05 milyon ton arasında değişmiştir. Bu üretim değerleri ile ülkemiz toplam dünya buğday üretiminde 9. sırada, makarnalık buğday üretiminde ise 3. sırada yer almaktadır (Büyükdeveci, 2016).

Buğday üreticisi ülkeler, verim düzeylerindeki gelişmeler bakımından değerlendirildiğinde, dünyada buğday verimi 1999 yılından 275 kg/da iken, 2009 yılında 302 kg/da 'a yükselmiştir. Başlıca buğday üreticisi ülkelerden Almanya'da ortalama verim 780 kg/da olup, bu ülkeyi 744 kg/da ile Fransa ve 474 kg/da ile Çin takip etmiştir (UHK, 2011). Türkiye'nin buğday verimi ise yıllar itibariyle yükselme kaydetmiş olmasına rağmen ortalama dünya veriminin altındadır. Yüksek kaliteli tohum kullanımı, buğday verimliliğindeki en önemli faktörlerden biridir. Buğday üretimi için ayrılan ortalama 8,1 milyon hektar alan dikkate alındığında, hektar başına 200 kg tohum kullanımına dayanarak yıllık tohum talebi 1,6 milyon tondur. Ülkemizde üretilen sertifikalı tohumluk miktarı 2006 yılında 212 bin ton iken 2014 yılında 404 bin ton, 2015 yılında 484 bin ton olarak gerçekleşmiştir (TMO, 2016).

Dünyada en fazla ticareti yapılan tarım ürünlerinden birisi olma özelliği gösteren buğdayda, başlıca ihracatçı ülkelerin aynı zamanda üretici ülkeler olduğu görülmektedir. Bu miktardaki buğday ticaretinin önemli bölümünü Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri tek başlarına gerçekleştirmektedirler. Bu miktar her yıl giderek artmakta ve buğday, üretici ülkeler açısından önemli bir gıda ürünü ve politik baskı aracı özelliğini sürdürmektedir. Çizelge 1.2’den Dünyadaki başlıca buğday satıcısı ülkeler görülebilmektedir (UHK, 2011).

**Çizelge 1.2.** Başlıca Ülkelerin Buğday İhracat Miktarı (Milyon ton)

Ülkeler	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Rusya	18,8	4,0	21,6	11,2	18,5	22,2	25,4	28,5
AB (28)	20,8	22,1	15,6	21,7	31,0	34,4	33,9	25,9
ABD	24,2	35,7	27,9	27,5	31,3	22,6	21,6	25,7
Avustralya	13,7	18,5	23,1	21,3	18,4	16,6	15,8	23,0
Kanada	18,3	16,3	18,2	18,7	22,9	24,9	21,9	21,0
Ukrayna	9,3	4,3	5,4	7,1	9,5	11,2	17,4	15,0
Kazakistan	8,0	5,6	11,1	7,2	8,4	5,9	7,3	8,9
Ukrayna	5,2	7,6	11,3	7,1	1,5	4,1	8,7	8,7

Dünya’da buğday ithalatçı ülkeler incelendiğinde, 2000 yılından 2008 yılına kadar alım yapan ülkelere Japonya, Cezayir, Mısır, İtalya, Endonezya ve Brezilya’nın ilk sıralarda yer aldığı ancak 2008 sonrası Rusya, AB, ABD, Avustralya ve Kanada’nın küresel ihracattaki payı artmıştır (Çizelge 1.3.). Sürekli alım yapmasa da zaman zaman alıma ihtiyaç duyan ülkeler arasında Türkiye gibi buğday üreticisi ülkeler de bulunmaktadır (TMO, 2016).

**Çizelge 1.3.** Başlıca Ülkelerin Buğday İthalat Miktarı (Milyon ton)

Ülkeler	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
AB (27)	2,519	1,928	1,860	1,453	1,902	2,828	2,482	2,350
Cezayir	1,534	1,335	1,821	1,613	1,529	1,748	1,740	1,950
Fas	548	773	661	765	734	633	810	850
Tunus	476	687	489	527	676	534	800	725
ABD	534	474	614	667	819	908	392	400
Venezuela	349	403	403	424	440	407	350	400
Japonya	234	230	273	197	212	205	200	200
Libya	25	10	20	186	162	50	2	10

Ekmek, bulgur, makarna, irmik, bisküvi, nişasta ve buğdaya dayalı diğer unlu mamuller tüketimi ile buğday ihtiyacımız oldukça artmıştır. Bu nedenle hububatın gerektiğinde kurutulması ve üretim mevsimleri dışında da faydalanması gereksinimi doğmuştur. Hububat kurutmada asıl amaç, nem miktarını depolamaya uygun düzeye düşürmek ve meydana gelebilecek bozulmaları engellemektir. Kurutma uygulanan ürünün belirli kalite özelliklerini muhafaza etmesi, kurutma işleminde uygulanan koşullara bağlıdır.

Hububatın üretici tarafından hasat öncesi tarlada iken veya hasat sornası ince tabakalar halinde yayılarak kurutulması çok eski devirlerden beri kullanılan yöntemdir. Ancak günümüzde verimin artması, belli kalitede ürün eldesinin amaçlanması ve nem oranı yüksek ürünlerin kurutulmasında karşılaşılan sorunlar geleneksel güneşte kurutma yöntemlerin yerine modern yöntemlerin almasına yol açmıştır (Köksel ve ark, 1994).

Kullanılan yöntemlerden biri olan mikrodalga enerjili kurutucular ile materyaldeki polar molekülleri etkileyerek elektromanyetik enerjinin termal enerjiye dönüşümünü sağlanmaktadır. Birçok ürünün başarılı bir şekilde kurutulduğu sistemlerde; hızlı işlem, enerji verimliliği, maliyet ve kurutulmuş üründe yüksek kalite özellikleri öne çıkmaktadır (Erbay ve Küçüköner, 2008).

Vakum kurutma metodu ise, özellikle meyveler gibi uzun sürede kuruyan ürünler için kullanılmaktadır. Vakum üründe bulunan suyun düşük sıcaklıklarda atmosferik koşullardan daha kolay buharlaşmasını sağlamaktadır. Vakum kurutucularda kurutulmuş olan ürünlerde renk, tekstür ve aroma iyi bir şekilde korunabilmektedir ve kurutma süresini kısalttığını göstermektedir (Erbay ve Küçüköner, 2008).

İnfrared kurutma yöntemi çeşitli tarımsal ürünlerin kurutulmasında yeni yeni önem kazanmaktadır. İnfrared kurutma geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha yüksek enerji kazanımı, kısa kurutma süresi gibi avantajlarının yanı sıra ürün üzerinde üniform ısı dağılımı gerçekleştirerek bu yöntemle kurutulan ürünlerin daha yüksek kalite değerlerine sahip olmalarını sağlamaktadır (Nasıroğlu ve Kocabıyık, 2009).

Dondurularak kurutulma seçeneğinde ise ürünlerin tazesine en yakın özelliklere sahip olduğu kabul edilmektedir. Taze örneklerin flekil, görünüm, tat, besin, gözeneklilik, renk, lezzet, doku ve biyolojik aktivitesinin korunması bu tekniği gıda malzemeleri kurutmak için en etkileyici ve uygulanabilir sürecin bir parçası yapmaktadır. Bununla birlikte, düşük buhar basıncı gerekli olduğundan daha uzun kurutma süresi gerektirir ve bazı bileşiklerin parçalanmasına bağlı olarak antioksidan içeriğinde azalma söz konusu olabilir. Ayrıca, işletim maliyeti de yüksektir (Akyıldız ve ark, 2017).

Diğer bir kurutma sistemi olan hava üfleli kurutma sistemleri basit tasarıma sahip olup, yerel imkânlarla yapılabilmesi, bakım ve işletme masraflarının az olması, mevsime göre farklı ürünlerin kurutulabilir olması bu tip kurutma sistemlerinin avantajları arasında yer almaktadır. Ayrıca güneşte kurutmaya göre daha hızlı, homojen ve hijyenik kurutma sağlamaktadır (Erbay ve Küçüköner, 2008).

Bu çalışma ile Türkiye genelinde yaygın olarak üretimi yapılan Adana-99 buğday çeşidinin (*Triticum aestivum* cv. Adana 99) sıcak hava akımı ile kurutulmasında dört farklı hava sıcaklığının sabit hava akımındaki etkisi araştırılmıştır. Zamana bağlı olarak nem değişimi, enerji tüketimi değerleri, çimlenme oranları ve optimum koşullar tespit edilmiştir. Ayrıca, kurutulmuş ve kurutulmamış buğday tanelerinin farklı malzemeler üzerindeki yuvarlanma açıları, statik sürtünme katsayıları ve bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.



## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, kurutmaya ilgili bilgiler alt başlıklar halinde ele alınmış olup sırasıyla açıklanmıştır. Ayrıca önceki çalışmalar kısmında literatürde kurutma alanında yapılmış örneklere yer verilmiştir.

### 2.1. Kurutma

Gıdalara, genellikle meyve ve sebzelere uygulanan kurutma işlemi eski çağlardan beri kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Kurutma işlemi katı, sıvı ya da yarı katı maddeleri daha az nem içeriğine sahip olan ürünlere dönüştüren bir işlem olarak tanımlanmaktadır. 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 (Cesur, 2013).

Kurutma sırasında kullanılan tanımlardan bazıları şu şekildedir (İzli, 2012);

**Islak 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 fitle 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.

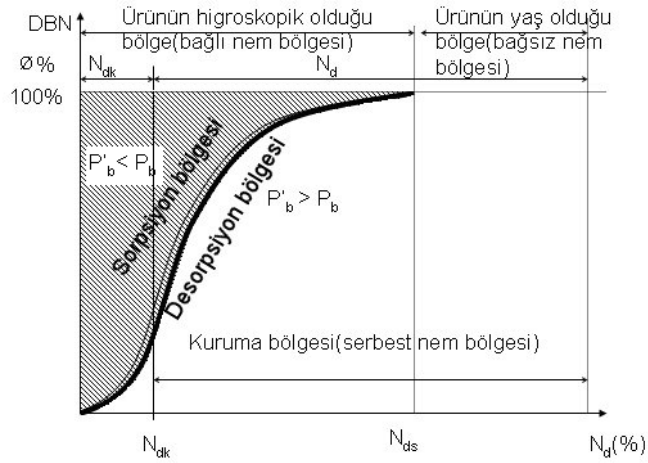
**Bağlı nem:** Herhangi bir sıcaklıktaki havanın içinde bulundurabileceği maksimum nem miktarı ile o anda havada bulunan nem miktarına oranıdır.

### **2.1.1. 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 evre 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, statik ve kinetik açılardan incelenebilir (Mengeş, 2006).

### **2.1.2. Kurutmanın statiği**

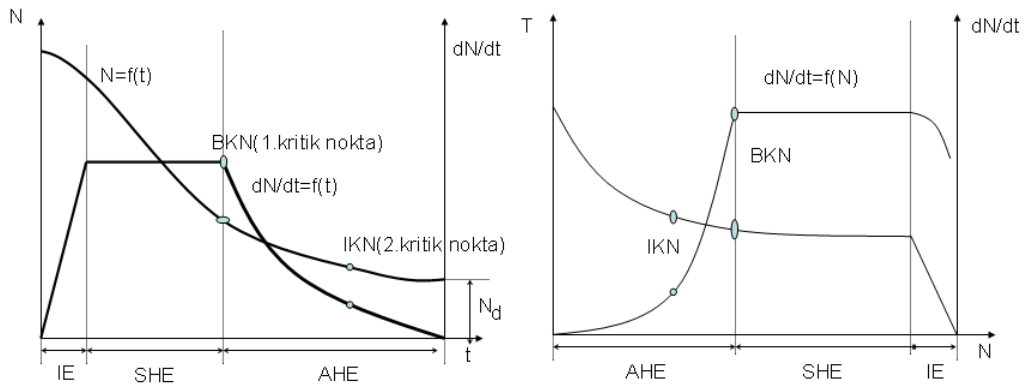
Statik açıdan kurutmanın incelenmesinde zaman dikkate alınmadan, hava ile materyal arasındaki nem dengesi irdelenmektedir. Denge ortamı, materyalin evre havasına nem vermesi (desorpsiyon) veya nem alması (sorpsiyon) neticesinde gerçekleşmektedir. Denge durumunda, havadaki su buharının kısmi basıncı ( $P_b$ ) ile üründe bulunan suyun buhar basıncı ( $P_{\bar{u}}$ ) birbirine eşittir. Materyalin yüzey sıcaklığı evre havası yaş termometre havası sıcaklığına eşit olduğundan ürünün zeyinde bulunan suyun buhar basıncı ile ( $P_{\bar{u}}$ ), havanın yaş termometre sıcaklığındaki su buharının kısmi buhar basıncı ( $P_b$ ) eşit alınabilmektedir. Bu nedenle denge durumunda materyalin ulaştığı nem ( $N_d$ ), havanın kısmi buhar basıncına yani bağlı nemine ( $\varphi$ ) bağlıdır (Mengeş, 2006).



Şekil 2.1. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statüğü açısından anlamı

### 2.1.3. Kurutmanın kinetiği

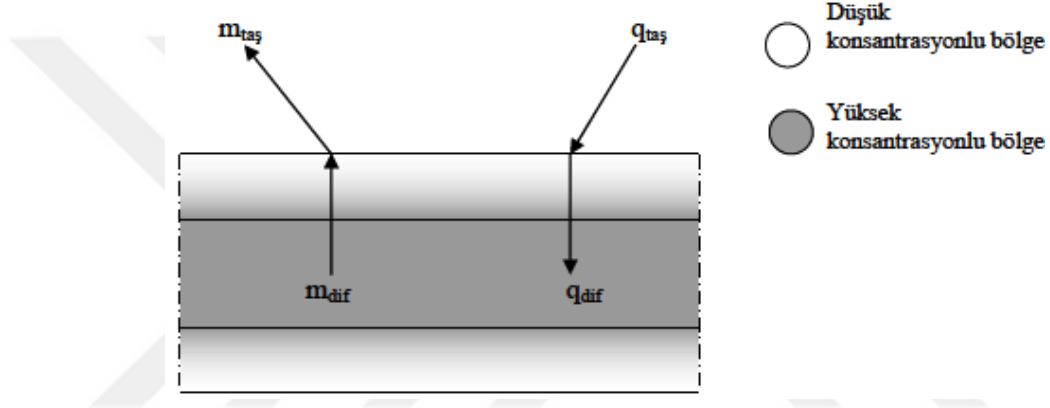
Kurutmanın kinetiğinde zaman dikkate alınarak, materyal ile çevresindeki hava arasındaki nem alışverişi incelenir. Tarım ürünlerinin kinetik kuruma eğrileri Şekil 2.2'de görülmektedir. Herhangi bir materyalin kuruması kinetik açıdan incelenirken; Materyalin nemi ile kuruma süresi ( $N=f(t)$ ), Kuruma hızı ile materyal nemi ( $dN/dt=f(N)$ ), Kuruma hızı ile kuruma süresi ( $dN/dt=f(t)$ ) ve Materyal sıcaklığı ile nemi  $T=f(N)$  arasındaki ilişkiler dikkate alınır. Kurutma sürecinde; materyalin ısınma evresi (IE), sabit hızla kuruma evresi (SHE) ve azalan hızla kuruma evresi (AHE) karakteristik evreleriyle karşılaşılır (Yağcıoğlu, 1999).



Şekil 2.2. Kurutmanın kinetik eğrileri

#### 2.1.4. Kurutma sırasında ısı ve kütle iletimi

Kurutma; ısı ve kütle transferi eş zamanlı işlemi olarak ifade edilebilir. Kurutma işleminde meydana gelen ısı ve kütle transferi Şekil 2.3’de gösterilmiştir. Isı transferi kurutma havasından kurutulmuş 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 meydana hareket ederken, gözenekli olmayan maddelerde ise sıvı difüzyonla hareket eder (Özdeş, 2013).



Şekil 2.3. Kurutma prosesinde eş zamanlı ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi

#### 2.2. Önceki Çalışmalar

Mohapatra ve Rao (2005) Yarı-teorik ve ampirik modeller kullanarak kaynatılmış buğdayın ince tabaka kuruma özelliklerini 40-60 °C sıcaklık aralığı için incelenmişlerdir. Kurutma esnasında nem difüzyonunun aktivasyon enerjisini 37,013 kJ / g mol K olarak bulmuşlardır. Buğdayın ince tabaka kurutma kinetikleri Two-term model ile en uygun şekilde açıklanmıştır.

Çatak ve Aktaş (2007) Trakya bölgesinde yaygın olarak kullanılan çekilir depo tipi kurutma tesislerinin genel durumu incelemişlerdir. Araştırma kapsamında, en çok tercih edilen 4 farklı marka (Petrotti-2006, Fili Zaffrani 2005, Mecmar 2006, Amerikan GT 1998) kurutucuyu denemeye almışlardır. Denemelerinde Osmancık-97 çeltik çeşidini kullanmışlardır. Bu sistemlerin çeltik kalitesine etkilerini saptamak amacıyla her bir makineden kurutma öncesi ve kurutma sonrasında alınan örneklerde ilk ve son nem

içerikleri, maksimum kırıksız randıman değerleri, pirinç kırılma dirençleri ve çeltik örneklerinin fiziksel özellikleri saptanmışlardır. Özellikle bölgede aşırı kurutmadan, makine ayarlarından veya makinenin ömründen kaynaklanan kalite kayıplarının olup olmadığı değerlendirmişlerdir. Yaptıkları incelemeler sonucunda işletmelerde kurutma işlemi ile ilgili pek çok yanlış uygulamanın gerçekleştirildiğini saptamışlardır.

Erçetin (2007) Doktora çalışmasında buğdayın kurutulması işleminin, geleneksel yöntemler yerine akışkan yataklı kurutucuda gerçekleştirilmesi konu edinmiştir. Bu amaçla kurulan bir akışkan yataklı kurutucuda, buğdayın kuruma karakteristiğine çeşitli parametrelerin etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Sabit yataktan akışkan yatağa geçiş esnasındaki kuruma değerleri ile minimum akışkanlaşma hızında elde edilen kuruma değerlerinin birbirine çok yakın olması, yatak yüksekliğinin düşük olması, yatakta akışkanlaşma olmasa dahi tanecikler arasından geçen havanın yeteri kadar nemi tanelerden uzaklaştırabildiği olarak bildirilmiştir.

İzli (2007) Mısırın sıcak hava akımıyla kurutulmasında kurutma parametrelerini belirlemiştir. Denemelerinde 1 m/s sabit çıkış hızını ve beş farklı sıcaklık değerini (45-55-65-75 °C ve atmosfer sıcaklığı) kullanmış olup, ilk nemi %16,4 olan mısırları güvenli depolama nemi olan %10 değerine ininceye kadar kurutmuştur. Karıştırıcılı ve karıştırıcısız olarak yürüttüğü denemelerde kurutma hızını, çimlenme hızını, çimlenme gücünü, enerji tüketimini, bazı kurutma özelliklerini ve maliyet gibi parametreleri incelemiştir. Denemelerinin sonucunda karıştırıcılı ve karıştırıcısız kurutmada, kurutma süresi, enerji tüketimi ve maliyet açısından 75 °C sıcaklıktaki kurutmadan en iyi sonuçları elde etmiş ancak çimlenme hızı ve çimlenme gücü açısından en iyi sonuçları karıştırıcılı kurutmada 55 °C'de, karıştırıcısız kurutmada ise 45 °C'deki sıcaklık değerlerinden elde etmiştir.

Markowski ve ark. (2007) Laboratuvar ölçekli kurutucuda 30, 35, 40 ve 45 °C'de ve 23 m/s'lik giriş havası hızında ve 0.048, 0.061, 0.073 ve 0.107 W/cm<sup>2</sup>'lik bir kızılötesi radyasyon yoğunluğunda 0,5 m/s hava hızında arpa tanelerinin kurutma özelliklerini ve kalitesini belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre kurutma hızında önce keskin bir düşüş, daha sonra nispeten yavaş bir düşüş evresi

izlemişlerdir. Arpa kurutma zamanının kurutucudaki giriş havasının sıcaklığına ve kızılötesi radyasyon yoğunluğuna bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Toplam enerji tüketiminin en düşük 45 °C'de gerçekleştiği ortaya çıkmıştır. Test edilen iki kurutma yöntemi arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını ortaya çıkarmışlardır.

Mellmann ve ark. (2007) Yapmış oldukları çalışmalarında yaygın olarak kullanılan karışık akışlı hububat kurutucularının, işlem kontrolünün optimize edilmesinin bir ihtiyaç olduğunu belirlemişlerdir. Kurutucu girişindeki hububatın nem içeriğindeki dalgalanmaların az veya aşırı kurumaya bağlı olarak kalite ve ekonomik kayıplara neden olan önemli bir sorun olduğunu belirlemişlerdir. Bu nedenle, karışık akışlı bir kurutucuda ısı ve kütle transferi için matematiksel bir model geliştirilmişlerdir. Tahmin edilen veriler ile sonuçlar arasında tatmin edici bir uyum bulmuşlardır.

Rafiee ve ark. (2008) Yaptıkları çalışmada, konvektif bir kurutucu içindeki buğdayın (Tajan) ince tabaka kuruma davranışını deneysel olarak araştırmışlardır. Literatürde bulunan ince tabaka kurutma modellerini kullanarak matematiksel modelleme yapmışlardır. Kurutma deneylerini 35, 45, 50, 60 ve 70 °C'lik giriş kurutma havası sıcaklıklarında, 0.3 m/s'lik sabit bir kuruma havası hızında ve 0.26-0.27 (k.b.) 'lik başlangıç nem içeriğinde gerçekleştirilmişlerdir.

Hemis ve ark. (2009) İnce tabaka halinde buğday kurutmayı incelemişlerdir. Buğdayın ince tabaka kurutmasında 40-60 °C hava sıcaklığı aralığını, %10-30 hava bağıl nemini ve 0.7 m/s hava hızını kullanmışlardır. Desorpsiyon izotermleri kullanılarak elde edilen ince tabaka kurutma verilerinden buğdayın denge nem içeriğini belirlemişlerdir. Buğdayın simüle edilmiş nem içeriği verileri ile deneysel nem verileri sonuçlarının uyum içinde olduğunu tespit etmişlerdir.

Kahyaoglu ve ark. (2010) Yapmış oldukları çalışmalarında, fiskiyeli yataklı ve mikrodalga yardımcı fiskiyeli yataklı kurutucularda kurutulmuş buğday ve bulgurun fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Kurutma deneyleri 50, 70 ve 90 °C hava sıcaklığı ile 288 ve 624 W mikrodalga güçlerinde gerçekleştirmişlerdir. Buğday kurutulduktan sonra bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Fiskiyeli yataklı

kurutucuda hava sıcaklığının renk dışındaki diğer fiziksel özelliklere etkisinin anlamlı olmadığını belirlemişlerdir. Mikrodalga ile kurutulan buğday örneklerinde diğer yönteme göre daha gözenekli yapı gözlemişlerdir.

Jittanit ve ark. (2010) Akışkan yataklı kurutucuda başlangıç nemi %20-25 olan mısır, çeltik ve buğday tohumlarını nem değeri %18 olana kadar 48 ve 80 °C sıcaklıklarda kurutmuşlardır. Fıskiyeli yataklı kurutucuda ise 18 ve 30 °C sıcaklıklarda nem değerini %14'ün ve altına kadar düşürmüşlerdir. Kuruttukları tohumların çimlenme oranlarının yüksek olmasıyla iki kademeli kurutma kavramını önermişlerdir. Kurutma sıcaklığının seçiminin önemine dikkat çekmişlerdir. Buğday tohumlarının %90'ı 60 °C sıcaklıktaki kurutmadan sonra çimlenmesine rağmen bütün örnekler için en güvenli sıcaklığın 40 °C olduğunu tespit etmişlerdir.

Hemis ve ark. (2011) Buğdayının kuruma özelliklerini ev tipi mikrodalga konveksiyon fırını kullanılarak incelemişlerdir. Çalışmalarında; mikrodalga güç seviyesi, tane kalınlığı ve başlangıçtaki tane neminin kurutma kinetiği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Başlangıç nem seviyesi 0,18 ila 0,29 (k.b.) olan buğday örneklerini 180 ile 360 saniye arasında farklı kurutma süreleri boyunca kurutulmuşlardır. Nem kaybı verilerini düzenli aralıklarla kaydetmişlerdir. Daha sonra buğdayın kurutma kinetiğini incelemek için çeşitli modellerle kıyaslamışlardır. Page ve Midilli ince tabaka kurutma modelleri buğdayın mikrodalga ile kurutulmasını iyi biçimde tanımlamıştır.

Doungporn ve ark. (2012) Başlangıç nem değeri %32 (k.b.) olan çeltiği 0,4 m/s sabit hava hızında ve 40, 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda farklı gazlar kullanarak (CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub>) kurutmuşlardır. Kurutma hızı kurutma gazlarından etkilenmemiş, ancak kurutma sıcaklıklarının etkisiyle arttığını gözlemlemişlerdir. Nem oranlarını, kurutma süreci esnasında belirli zaman aralıklarında çeşitli modeller ile karşılaştırmışlardır. R<sup>2</sup> katsayısını, ortalama karekök hatasını ve ki-kare yöntemini en iyi modelin seçilmesi için kriter olarak kullanmışlardır. Çalışmalarında Midilli ve ark. modelinin her bir kurutma gazında çeltiğinin kuruma davranışını tanımlamak için en iyi model olduğunu belirlemişlerdir. Genelleştirilmiş modelle bir ürünün nem içeriğini tahmin etmenin mümkün olduğunu savunmuşlardır.

Ogawa ve ark. (2012) Durum buğdayının kurutma işleminin her bir kurutma koşulunda kurutma sürecini öngörmek için araştırma yapmışlardır. Sırasıyla 30-90 °C sıcaklık ve %0-80 bağıl nem aralıklarında ölçmüşler gerçekleştirmişlerdir. Suyun yaklaşık %20'si, önceki kurutma çalışmaları göz ardı edilerek sabit kurutma hızı döneminde buharlaştırılmıştır. Kurutma eğrisinin yüksek doğrulukla tahmin edilebilmesi için sabit kurutma hızı süresinin dikkate alınması gerektiğini göstermişlerdir. Sabit kuruma hızı periyodundaki kurutma hızı ve termogravimetrik analiz ile hesaplanan kütle aktarım katsayısı, sıcaklık ve bağıl nemin işlevleri olarak ifade edilmiştir.

Taşkın ve Korucu (2013) İki farklı işletmedeki tohumluk koçanlı mısır kurutma parametrelerinin belirlenmesini ve karşılaştırılmasını amaçlamıştır. A işletmesinde; 43 °C'lik ısıtılmış hava 7.68 m/s ortalama hava hızı ile kurutma odasına gönderilmiş ve 29.760 kg koçanlı mısırın ortalama tane nemi 56 saat sonunda %19,75'den %12,05'e düşürülebildiğini belirlemişlerdir. B işletmesinde ise 39 °C'lik ısıtılmış hava 5.45 m/s ortalama hava hızı ile kurutma odasına gönderilmiş ve 31.080 kg koçanlı mısırın ortalama tane nemi 108 saat sonunda %27.35'den %12.55'e düşürülebildiğini tespit etmişlerdir.

Bualuang ve ark. (2013) Sıcak hava, kızılötesi ve kombinasyonunu ısı kaynaklarının kurutma kinetikleri üzerindeki etkileri analiz etmiş ve kalite değerlendirmesini amaçlamışlardır. Kurutma sıcaklığını 60 ve 100 °C arasında değiştirmişlerdir. Kızılötesi ısı kaynağının gücünün 1000 ve 1500 W, hava hızının ise  $1,0 \pm 0,2$  m/s olduğu ortamda çalışmışlardır. Deneysel sonuçlarını çeşitli denge nem içeriği modelleri ve kurutma kinetikleri tahmini için matematiksel kurutma modeli ve etkin difüzyon katsayısı ( $D_{eff}$ ) ile birlikte Fick difüzyon yasası kullanarak simüle etmişlerdir.

Swasdisevi ve ark. (2013) Sıcak hava ve kızgın buhar kullanarak çeltiklerin kurutulması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Kızgın buhar kullanımını hacimsel su buharlaşma oranı, hacimsel ısı aktarımı katsayısı ve sistemin farklı koşullarda özgül enerji tüketimini değerlendirmiş ve buhar devresinin etkisini de belirlemişlerdir. Ayrıca, kurutulmuş çeltiğin kalite parametrelerini de incelemişlerdir. Tek aşamalı kurutma durumunda, kurutma sıcaklığındaki artış, hacimsel su buharlaşma oranı ve hacimsel ısı



aktarımı katsayısında önemli bir artışa sebep olduğunu görmüşlerdir. İki aşamalı kurutmada kurutma sıcaklığındaki artış ile hacimsel ısı aktarımı katsayısında önemli bir düşüş olduğunu görmüşler, hacimsel su buharlaşma oranında ise önemli bir değişim gözlemlenmemişlerdir. Özgül enerji tüketiminin kurutma sıcaklığındaki artışla birlikte azaldığını tespit etmişlerdir. Aynı sıcaklıkta, kurutma aracı olarak kızgın buhar kullanımının özgül enerji tüketimini azalttığını görmüşlerdir. Yüksek seviyede buhar çevrimi de daha fazla enerji tasarrufu sağlamıştır. Kurutulmuş çeltiğin rengi kurutma sıcaklığındaki değişimden etkilenmemiştir. Kızgın buharla kurutulmuş çeltik, sıcak havayla kurutulmuş çeltikten daha kırmızı ve daha sarı olduğunu tespit etmişlerdir. Kurutma sıcaklığındaki artışın, tane pirinç verim yüzdesini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Kızgın buharla kurutma, aynı sıcaklıkta sıcak havayla kurutmaya göre nişasta jelatinizasyonunun seviyesini daha çok arttırdığını, yine de ölçülen en yüksek sıcaklıkta kurutma daha düşük bir nişasta jelatinizasyonu seviyesi sağladığını görmüşlerdir.

Rumruaytum ve ark. (2014) Tayland menşeli Sung Yod Phattalung ve Nauykaur çeltik kültürlerinin kurutmasında fizikokimyasal ve antioksidan özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. İlk metot olarak sıvılaştırma ve yüksek sıcaklıklı buhar yöntemlerinin bir arada kullanıldığı kurutma aşamasını kullanmışlardır. Çeltikleri 170 °C’de farklı sürelerde kurutma için iki aşamalı bir işlem uygulamışlardır. İlk olarak yüksek sıcaklıklı buharda 2,5 ile 4 dakika bekletilip ardından nem içeriği %13-14’e düşene kadar gölgede kurutma yapmışlardır. Kurutma işlemi sonrasında çeltiklerin fizikokimyasal ve antioksidan özelliklerinin yüksek sıcaklıklı buharla kurutma süresi uzadıkça çeltiğin yapıştırıcılık özelliklerinde (örneğin yoğun olduğu viskozite, bozulma, çökme, nihai viskozite ve gerileme gibi özelliklerinde) değişimler olduğunu gözlemlenmiştir. Yapıştırıcılık değerleri kurutma sıcaklığı arttıkça azaldığını belirlemişlerdir. Yüksek sıcaklıklı buharda kurutma süresi uzadıkça SungYod Phattalung’ un antioksidan etkileri azalırken, Nauykaur çeltiğinde arttığını gözlemlenmiştir.

Sarker ve ark. (2014) Ortalama 15 ton kapasiteli endüstriyel eğik yataklı kurutucularda kurutma sıcaklığı ve hava akımının yakıt sarfiyatı ve çeltiğin kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Hasat nemi %22-23 seviyesinde olan çeltik nem oranı %12,5

civarına düşürülmüşlerdir. Yaptıkları analizlerde, çeltik neminin %22-23'den %12,5 civarına düşürülmesi sırasında 38-39 °C yerine 41-42 °C' lik sıcaklıkta kurutma yapıldığında elektrik sarfiyatının %20 daha düşük, termal yakıt sarfiyatının ise %10 daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. 0,27 ve 0,29 m<sup>3</sup> arasındaki hava akımının pirinç kalitesinde bir artış sağlamakla beraber kurutma süresi üzerinde belirgin bir etkisinin olduğunu gözlemlemişlerdir. Makul bir yakıt tüketimi ile kaliteli pirinç elde etmek için başlangıç nem oranı %23' ün altında olan kurutmada sıcaklığının 39 °C' nin üstünde olmamasını önermişlerdir.

Erdoğan (2015) Çalışmasında çeltiğin sıcak hava akımı ile kurutulmasında işletim parametreleri belirlemiştir. Denemelerinde 1 m/s sabit hava çıkış hızında 50 °C, 60 °C, 70 °C ve 80 °C gerçekleştirmiştir. İlk nemi %24 (y.b.) olan çeltiği güvenli depolama nemi olan %14 seviyesine ininceye kadar kurutmuştur. Sonuç olarak, kurutma süresi, enerji tüketimi ve maliyet açısından en iyi sonuçlar 80 °C sıcaklık uygulaması ile elde edilirken çimlenme hızı ve çimlenme gücü açısından en iyi sonuçlar 50 °C sıcaklık değerindeki uygulama ile bulmuştur.

De Oliveira ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada farklı kurutma havası koşullarının soya fasulyesi üzerindeki termodinamik özelliklere etkisini, aktivasyon enerjisini ve difüzyon katsayısının belirlenmesini amaçlamışlardır. 0,56 (k.b.) başlangıç nem içeriğinden 0,133 ± 0,019 (k.b.) son nem içeriğine kadar beş farklı sıcaklıkta (40, 55, 70, 85 ve 100 ° C), kurutmuşlardır. Analiz edilen modellerin arasında, Page modeli en uygun olarak seçmişlerdir. Soya fasulyesinin difüzyon katsayısı, hava sıcaklığı ile birlikte arttığını belirlemişlerdir. Entalpi ve entropinin ise sıcaklık arttıkça azaldığını tespit etmişlerdir.

Yoğurtçu (2016) Haşlanmış buğdayın halojen kurutma karakteristiği incelemiştir. Kurutma deneylerini 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklıklarında gerçekleştirmiş ve elde edilen deneysel verilere seçilmiş ince tabaka kuruma modelleri uygulamıştır. Haşlanmış buğdayın kuruma hızı, kuruma hız sabiti ve etkin difüzyonu üzerine kurutma sıcaklığının etkisi değerlendirilmiştir. Kullandığı modeller arasında Weibull distribution modelinin kuruma eğrilerini temsil eden en iyi model olduğu belirlemiştir. Aktivasyon enerjisi 39.667 kJ gmol<sup>-1</sup> olarak belirlemiştir.

Gao ve ark. (2016) Bezelyenin kurutma kinetiğini aktivasyon enerjisi açısından araştırmışlardır. Buna ek olarak, yüzey sıcaklığı profiline dayanan aktivasyon enerjisini sıcaklık duyarlılığına göre değerlendirmek için tekrar hesaplamışlardır. İncelenen kurutma havası sıcaklıklarında, bağıl aktivasyon enerjisini malzeme sıcaklığındaki değişimlere karşı çok hassas olmadığını ve nem içeriğindeki değişikliklerin malzeme sıcaklığına hakim olduğunu bulmuşlardır.



### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

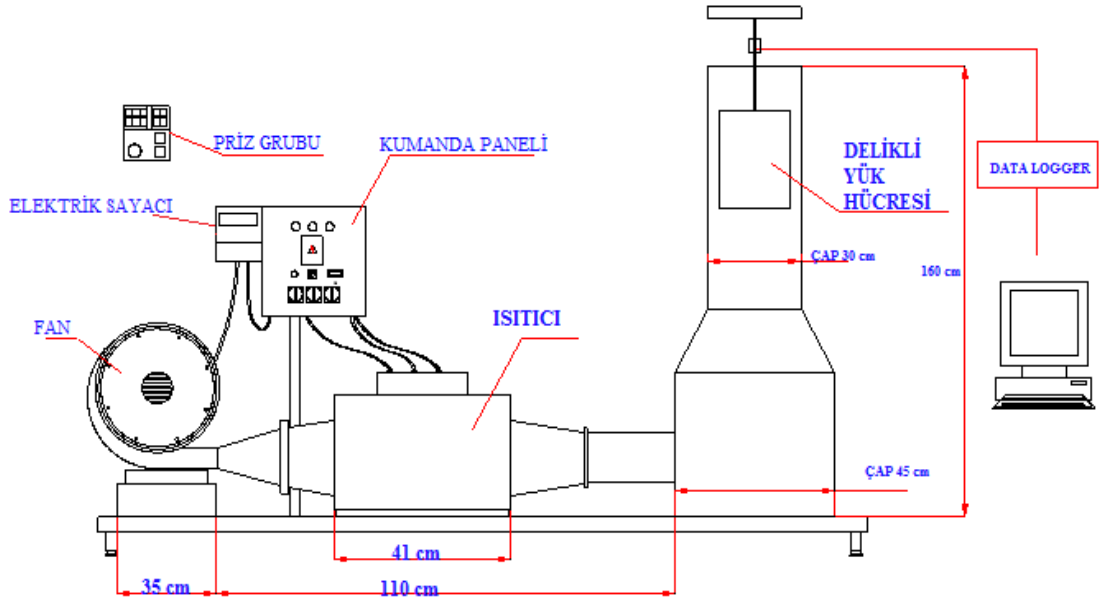
Bu çalışmada kurutma materyali olarak Yenişehir/Bursa yöresinden temin edilen Adana-99 çeşidi buğday (*Triticum aestivum* cv. Adana 99) kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Adana-99 buğday çeşidi

Adana-99 buğday çeşidi 1999 yılında Çukurova Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından ıslah edilmiştir. Bitki boyu 95-110 cm. olup yatmaya karşı dayanıklıdır. Beyaz sık kılçıklı bir başak yapısına sahiptir. Beyaz, renkli oval yapıda sert bir tanesi mevcuttur. 1000 tane ağırlığı 40-42 gramdır. Kışa ve kurağa orta derecede dayanıklıdır. Orta-erkenci bir çeşittir. Yüksek verim potansiyeline sahiptir. Gübreye karşı reaksiyonu ve hasat-harman kabiliyeti iyidir. Sarı, kahverengi paslara ve Septoria'ya karşı dayanıklıdır. Sahil bölgelere kullanımı önerilir (Anonim 2017).

Kurutma denemeleri Şekil 3.2'de gösterilen sıcak hava kurutma sisteminde gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.2.** Sıcak hava kurutma sistemi

Düzenekte bir adet fan, ısıtıcı, depo, iletim boruları, kumanda paneli ve ölçme ve değerlendirme sistemi (data logger) bulunmaktadır. Kurutma düzeneği 60 cm derinlik, 196 cm uzunluk ve yerden yüksekliği 10 cm olan paslanmaz sacdan yapılmış tabla üzerine monte edilmiştir. Düzenekte kullanılan paslanmaz sacın kalınlıkları 1,5 – 2,0 mm arasındadır. Kullanılan fan orta basınç radyal tip olup, debisi saatte  $1800 \text{ m}^3$ , statik basıncı 3,5 kPa, gücü 1,5 kW ve devri 2800 devir/dakika' dır. Fan da kompakt gövdeli motor kullanılmıştır. Epoksi boyalı, yağış, nem ve toza dayanıklıdır.

Hava çıkış deliği 8 cm çapında olan aspiratörden çıkan hava 15 cm alt taban çapı, 25 cm üst çapı olan konik tünel içerisinde geçer ve rezistansların bulunduğu 30 cm çaplı silindirik bölme içerisine gelir. Bu bölmede üç adet rezistans bulunur ve toplam güçleri 10 kW' dır. Rezistanslar kontrol paneli tarafından istenen sıcaklığa göre ayarlanabilmektedir. Tek bir rezistans ya da üçü ya da her ikisi kontrol paneli tarafından çalıştırılıp kapatılabilir. Denemelerde üçünün de açık olduğu konumda çalışılmıştır. Rezistanslardan geçen hava, materyalin içerisinde 10 kg olarak asılı halde bulunduğu, yukarı doğru çapı azalan silindirik tünel içerisinde geçerken bünyesinde tutabileceği kadar nemi de alarak ortamdan uzaklaşır. Hava çıkış hızı  $1 \text{ m/s}$ ' dir.

Materyalin içinde asılı olarak bulunan silindirik bölmenin içerisinde 29 cm çaplı materyalin konulduğu yük hücresi bulunmaktadır. Yük hücresinin uzunluğu 96 cm' dir ve havanın içerisinde rahatça geçebileceği ve materyalin düşmesini de engellemek amacı ile sık ve küçük gözenekli hasır tel (gözenekleri 0,50 mm) kullanılmıştır.

Materyalin konulduğu düzenek bir veri kaydedici aracılığı ile her bir dakikada ağırlık olarak bilgisayara aktarılmıştır. Enerji değerinin okunabilmesi için üç fazlı dört telli aktif elektronik elektrik sayacı kullanılmıştır.

Düzenekte genel olarak farklı çaplardaki parçaların birleşimi için kaynak yapılmıştır. Genel bağlantılar perçin, vida, cıvata somun grubu ile sabitlenmiştir. Düzeneğin genel görünüş fotoğrafı Şekil 3.3' de gösterilmiştir.

Denemelerde hava hızının belirlenmesinde 0,1 m/s hassasiyete sahip dijital anemometre (Thimes Clima, Almanya) kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Kurutucu fotoğrafı

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Başlangıç ve bitiş nem değeri belirleme

Buğdaylar yaş baza göre %25,5 başlangıç nem değerlerinden, son nem içeriği yaş bazda % 12'ye düşene kadar kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir (Kahyaoğlu ve ark. 2012).



Şekil 3.4. Buğday örnekleri

### 3.2.2. Sıcak hava ile kurutma

Çalışmalarda her bir deneme için 10 kg buğday kullanılmıştır. Kurutma denemeleri 1 m/s sabit hava hızında ve 50, 60, 70 ve 80 °C hava sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir (Erdoğan, 2015).

### 3.2.3. Enerji tüketimi

Denemeler sırasında enerji tüketim değerleri dijital elektrik sayıcı kullanılarak ölçülmüştür (Alibaş, 2007).

### 3.2.4. Maliyet

Kurutulan ürünün ağırlığının, kurutma sırasında çalışan fan ve ısıtıcının tükettiği elektrik enerjisi miktarına bölünmesi (Sreekumar, 2010) ve ülkemizdeki 2017 yılı elektrik fiyatı ile çarpımı sonucu elde edilmiştir.

### 3.2.5. Fiziksel ve mekaniksel özellikler

Tohumların boyutları, uzunluk (L), genişlik (W) ve kalınlık (T) 0,01 mm hassasiyetindeki dijital kumpas (Tronic, Güney Kore) kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Dijital Kumpas

Tanelerin aritmetik çapı ( $D_a$ ) ve geometrik çapı ( $D_g$ ) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (İzli, 2007).

$$D_a=(L+W+T)/3 \quad (3.1)$$

$$D_g=(LWT)^{1/3} \quad (3.2)$$

Küresellik ise,

$$\emptyset=(LWT)^{1/3} / L \quad (3.3)$$

Eşitliğiyle hesaplanmıştır (İzli, 2007).

Bin tane ağırlığı 0,001g hassasiyetindeki elektronik teraziyle (RADWAG PS4500/C/2, Polonya) belirlenmiştir. Buğday tanelerinin yüzey alanı, geometrik ortalama çapa bağlı olarak, ( $A_s$ ) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (İzli 2007).

$$A_s=\pi D_g^2 \quad (3.4)$$

Buğday tanelerinin sürtünme katsayıları beş farklı yapısal malzemeye karşı ( paslanmaz, MDF, galvaniz, alüminyum ve kauçuk), Şekil 3.6' da gösterilen deney düzeneğinde belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Yuvarlanma açısı belirleme düzeneği



50 mm çapında 100 mm yüksekliğindeki polyvinylchloride silindir borunun içine örnek tohumları doldurulmuştur. Bu silindir ters çevrilerek test yüzeyine uygun şekilde konulmuş yüzeye değmeden kaldırılmış ve bu şekilde ürünler test yüzeyine bırakılmıştır. Vidalı test mekanizması harekete geçirilerek yapı yukarıya doğru kaldırılmış ve ürünlerin yarısının kaymaya başladığı anda yuvarlanma açıları kaydedilmiştir (İzli, 2007). Sürtünme katsayısı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\mu = \tan \alpha \quad (3.5)$$

Eşitlikte  $\mu$  sürtünme katsayısı,  $\alpha$  yuvarlanma açısıdır.

### 3.2.6. Çimlenme hızı ve çimlenme gücü oranları

Farklı kurutma sıcaklıklarının buğday çimlenmesi üzerine etkisini belirlemek amacıyla, beş kurutma sıcaklığında (Kontrol, 50, 60, 70 ve 80 °C) ve üç tekrarlamalı olarak Tesadüf Parselleri Deneme Deseni oluşturulmuştur. Tohumlar içerisinde 15 ml saf su bulunan önceden steril edilmiş 15 cm çaplı petri kaplarına, her kaba 50 tohum olacak şekilde, yine önceden steril edilmiş özel filtre kağıtları arasına yerleştirilmiştir. Petri kapları daha sonra çimlendirme kabine alınarak sabit sıcaklıkta (25 °C) sürekli karanlıkta 7 gün süresince çimlenmesi (ISTA 2006) ve 14 gün süresince de erken fide gelişiminin incelenmesi için bırakılmıştır. Kökçükleri 1 mm kadar uzamış tohumlar çimlenmiş olarak kabul edilmiştir. Laboratuvar denemesinde çimlenme süresince 7 gün sonunda petri kaplarında çimlenen tohumlar sayılmış ve çimlenme oranları (%) olarak belirlenmiştir. 14. günün sonunda ise petri kaplarında çimlenen tohumlar sayılmış ve çimlenme oranları (%) olarak belirlenmiştir.

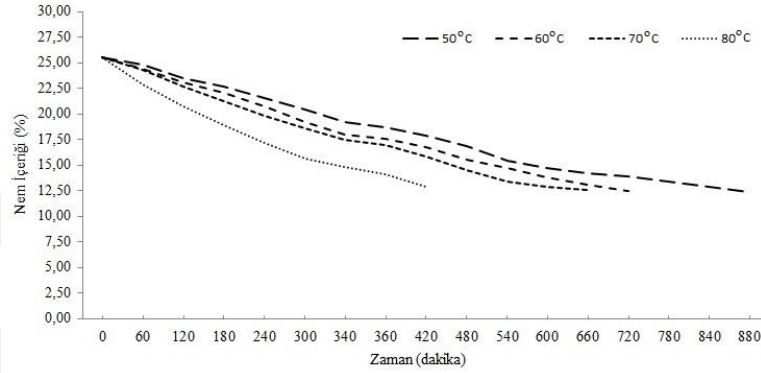


Şekil 3.7. Çimlendirme Dolabı

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Nem Zaman ilişkisi

Başlangıç nemi %25,5 (y.b.) olan buğday örnekleri, uygun depolama nemi olan %12 (y.b.) nem seviyesine kadar kurutulmuştur. Toplam kurutma süreleri Şekil 4.1' de verilmiştir.

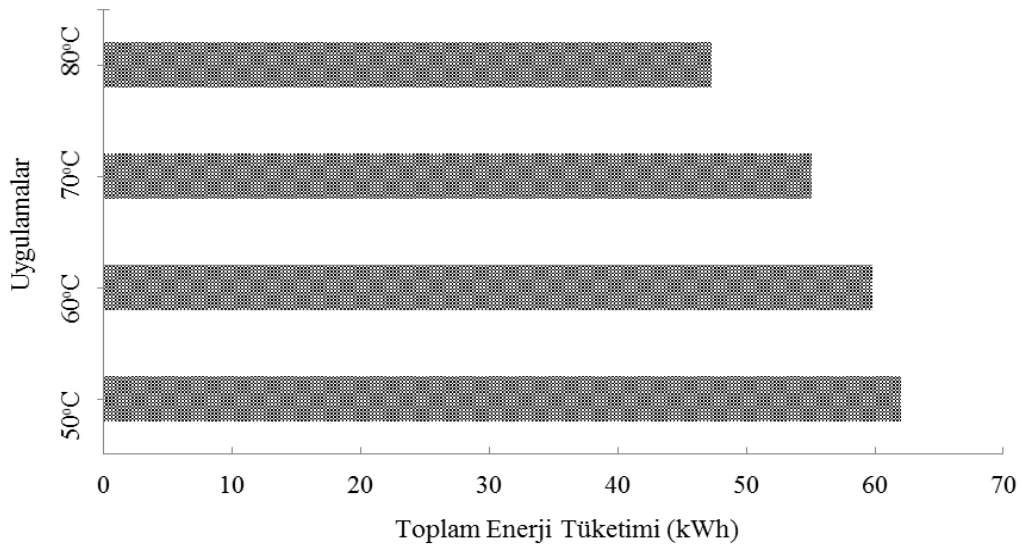


Şekil 4.1. Nem İçeriği – Zaman Grafiği

Dört farklı sıcak hava ile kurutulan buğday örneklerinin kurutma süreleri incelendiğinde 50, 60, 70, 80 °C sıcaklıklarda sırasıyla 880, 720, 660 ve 429 dakika sürdüğü görülmüştür. Tüm kurutma koşulları için sonuçlar karşılaştırıldığında, en kısa kuruma süresinin beklenildiği gibi 80 °C'de, en uzun kuruma süresi ise 50 °C'de gerçekleşmiştir. 50 °C'lik sıcak hava ile kurutulan buğday örneklerinin 80 °C'lik kurutma yöntemine göre 2,05 kat uzun sürdüğü belirlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre buğday örneklerinin kurutulmasında artan hava sıcaklığının kurutma süresi düşmesi bakımından büyük oranda zaman kazanımı sağlamıştır. Elde edilen bu sonuçlar, daha önce buğday kurutma uygulamaları sonucu elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Benzer sonuçlar çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Markowski ve ark. (2007) yapmış olduğu kurutma çalışmasında kuruttuğu örnekler için uygulamış olduğu hava sıcaklıklarının artmasıyla elde ettiği kuruma hız değerlerinin önemli ölçüde arttığını tespit etmiştir. Ogawa ve ark. (2012) gerçekleştirdikleri durum buğdayı kurutma uygulamalarında azalan hava sıcaklığı ile kurutma süresinin uzadığını belirlemiştir. Rafiee ve ark. (2008) farklı kurutma sıcaklıklarının (35, 45, 50, 60 ve 70 °C) nem oranıyla olan kuruma süresi değişimlerini incelemiş ve nem oranı değerlerinin azalmasıyla kuruma sürelerinin arttığı belirlenmiştir.

## 4.2. Enerji Tüketimi

Dört farklı sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma uygulamasının toplam enerji tüketim değerleri Şekil 4.2' de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 50 °C kurutmada 62,0 kWh, 60 °C kurutmada 59,8 kWh, 70 °C kurutmada 55,1 kWh ve 80 °C kurutmada 47,3 kWh enerji tüketildiği belirlenmiştir. En fazla enerji tüketimi 50 °C sıcaklıkta, en az enerji tüketimi ise 80 °C sıcaklıkta elde edilmiştir. 80 °C' de bir saat içinde daha fazla elektrik gücü tüketilirken, kuruma süresinin kısılması toplam kurutma işleminde tüketilen elektrik enerjisi miktarını azaltmıştır. Daha önce yapılan farklı kurutma çalışmalarda benzer sonuçlar çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Alibaş (2007) farklı kurutma yöntemlerinin ısırgan otu yapraklarının kurutulması esnasında neden olduğu enerji tüketimini değerlerini belirlemiştir. 1 m/s sabit hava hızında ve 50, 75, 100 ve 125 °C'de sıcak hava seviyelerinde yaptığı kurutma çalışmasında en yüksek enerji tüketimi 50 °C, en düşük enerji tüketimi ise 125 °C gerçekleşmiştir. Aghbashlo ve ark. (2008) 50, 60, 70 °C'de sıcak hava ve 0,5, 0,7, 1 ve 2 m/s hava hızında berberis meyvesini kurutmuş ve azalan hava sıcaklığı ile enerji tüketiminin arttığını belirlemiştir. Motevali ve ark. (2011) mantar dilimlerinin 40, 50, 60 °C'de sıcak hava ve 0,5, 0,7 ve 1 m/s'lik hava hızlarında kurutulmasının enerji tüketimine etkisini incelemiştir. Hava sıcaklığının ile enerji tüketimi arasında ters oran olduğu, hava hızı ile enerji tüketimi arasında doğru oran olduğu ifade edilmiştir.

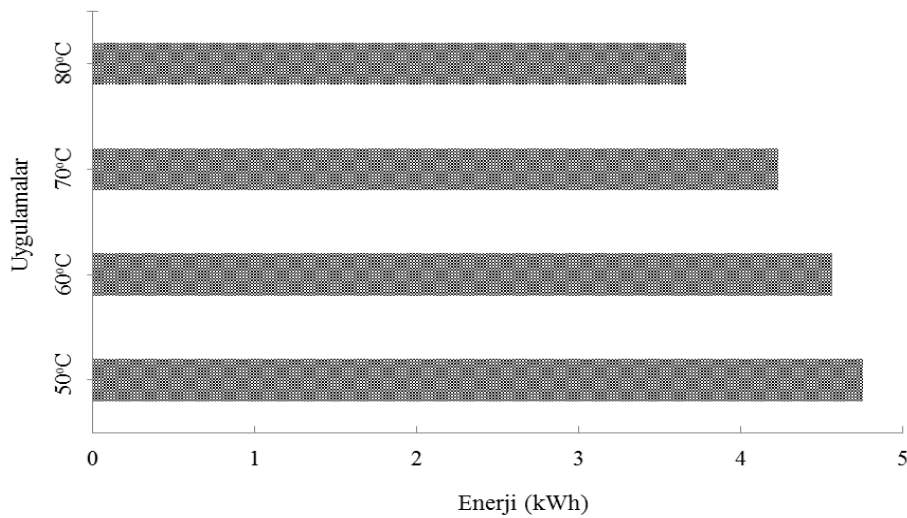


Şekil 4.2. Toplam enerji tüketim değerleri

### 4.3. Birim Nem Enerji Tüketimi

Denemelerden elde edilen verilere göre buğdayın ortalama nem oranını bir birim (%1) düşürmek için gerekli enerji miktarı Şekil 4.3' de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 50 °C'de yapılan kurutma ile 4,75 kWh, 60 °C kurutmada 4,56 kWh, 70 °C kurutmada 4,23 kWh ve 80 °C kurutmada 3,65 kWh enerji tüketildiği belirlenmiştir. Nem içeriğini bir puan düşürebilmek için en fazla enerji tüketimi 50 °C sıcaklıkta, en az enerji tüketimi ise 80 °C sıcaklıkta gerçekleşmiştir.

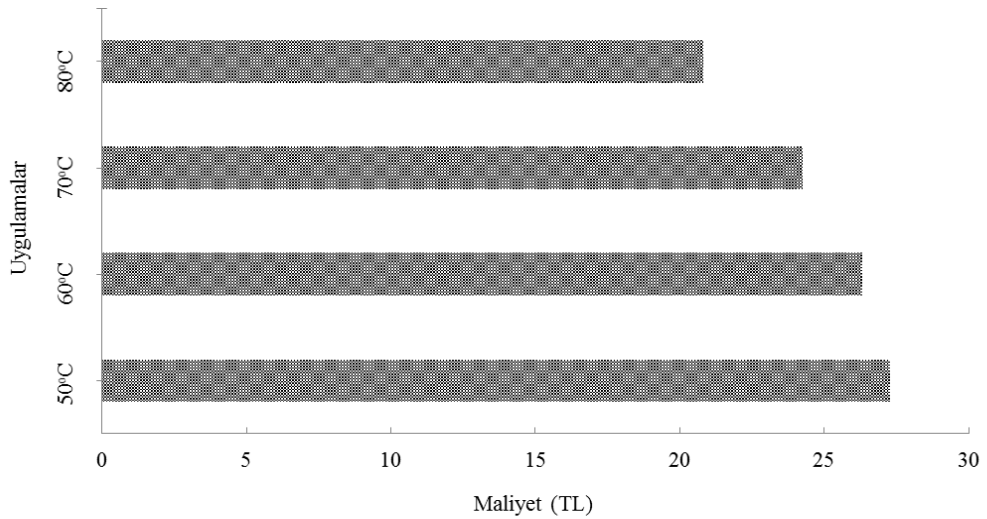
Kurutucunun bir saat içinde tükettiği enerji incelendiğinde ise ısıtıcılar ve fanın en fazla 80 °C sıcaklıkta tüketim yaptığı bulunmuştur. En düşük saatlik tüketim ise 50 °C'de gerçekleşmiştir. Ortam havasını istenilen sıcaklığa ulaştırmak için daha fazla enerji tüketimi gerçekleştiği belirlenmiştir. Saatlik sonuçlar incelendiğinde 50 °C'de yapılan kurutma ile 4,24 kWh, 60 °C kurutmada 4,90 kWh, 70 °C kurutmada 6,12 kWh ve 80 °C kurutmada 6,47 kWh enerji tüketildiği tespit edilmiştir. Artan hava sıcaklığı ile bir saat içinde oluşan tüketim artmış olsa bile kuruma süresi kısaltılmış ve toplam kurutma işleminde tüketilen elektrik enerjisi miktarı azaltılmıştır. Rudy (2009) sarımsak kurutma üzerine yaptığı çalışmada benzer sonuçları bildirilmiştir. 40, 50, 60 ve 70 °C'lik sıcak hava ve 0,3 ile 1 m/s'lik hava hızında saatlik enerji tüketimine dair sonuçta göre iki hava hızı koşulunda da düşük hava sıcaklığı değerinde saatlik tüketim azalmış ancak kurutma süreleri uzamıştır. Ancak, artan hava hızı değeri ise saatlik enerji tüketimi değerini artırmıştır.



Şekil 4.3. Birim nem başına enerji tüketimi

#### 4.4. Toplam Kurutma Maliyeti

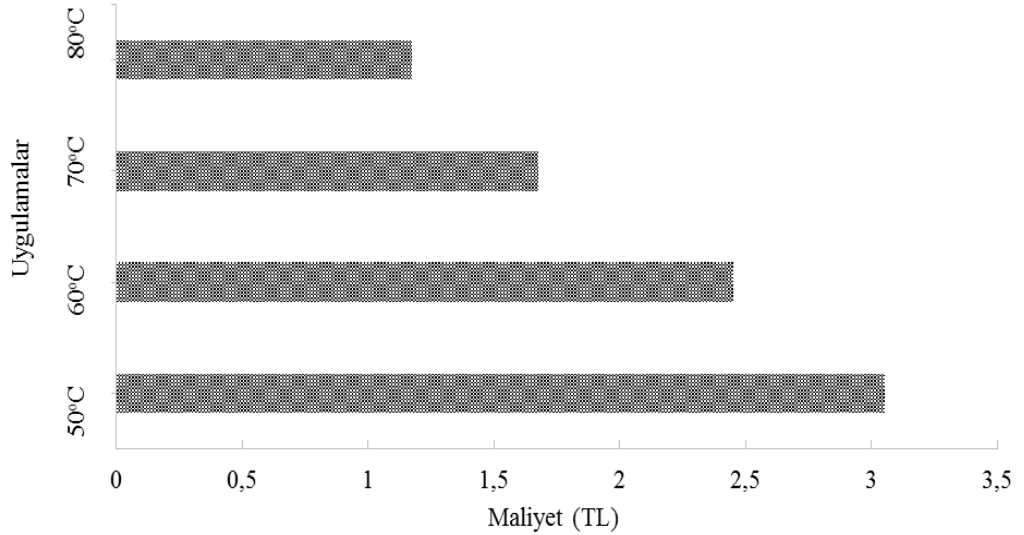
Şekil 4.4' de toplam enerji maliyetlerinin dört farklı kurutma sıcaklığına göre dağılımı verilmiştir. 50 °C' deki kurutma maliyeti 27.28 TL, 60 °C sıcaklıkta 26.32 TL, 70 °C sıcaklıkta 24.24 TL, 80 °C sıcaklıkta 20.80 TL olmuştur. Toplam maliyetlere göre en fazla 27.78 TL ile 50 °C sıcaklıkta, en düşük 20.80 TL ile 80 °C sıcaklıkta kurutulan buğdaylar olmuştur. Denemelerde kullanılan 10 kg buğday örneklerinden uzaklaştırılan 1,5 kg su'ya göre yapılan maliyet hesaplamasında ise 50, 60, 70 ve 80 °C için sırasıyla 18.18, 17.54, 16.15 ve 13.86 TL olarak bulunmuştur. Bazı araştırmacılar tarafından bildirilen farklı kurutma çalışmalarında da benzer sonuçlar ifade edilmiştir. İzli (2007) Karıştırıcısız ve karıştırıcılı kurutmalarda beş farklı sıcaklıkta kurutulan mısırların toplam enerji maliyetlerini araştırmıştır. Karıştırıcısız kurutmada, ısıtılmamış hava kurutma maliyeti 21.46 TL, 45 °C sıcaklıkta 29.17 TL, 55 °C sıcaklıkta 24.79 TL, 65 °C sıcaklıkta 22.75 TL ve 75 °C sıcaklıkta 16.99 TL olduğunu bulmuştur. Karıştırıcılı kurutmada ise, ısıtılmamış hava kurutma maliyeti 20.22 TL, 45 °C sıcaklıkta 23.10 TL, 55 °C sıcaklıkta 20.07 TL, 65 °C sıcaklıkta 13.34 TL ve 75 °C sıcaklıkta 13.12 TL olmuştur. Erdoğan (2015) ise dört farklı sıcaklıktaki çeltik kurutmanın toplam enerji maliyetlerini vermiştir. 50 °C' deki kurutma maliyeti 7,71 TL, 60 °C sıcaklıkta 6,92 TL, 70 °C sıcaklıkta 6,71 TL, 80 °C sıcaklıkta 5,99 TL olduğunu ortaya çıkarmıştır.



Şekil 4.4. Toplam kurutma maliyeti

#### 4.5. Birim Nem Maliyet

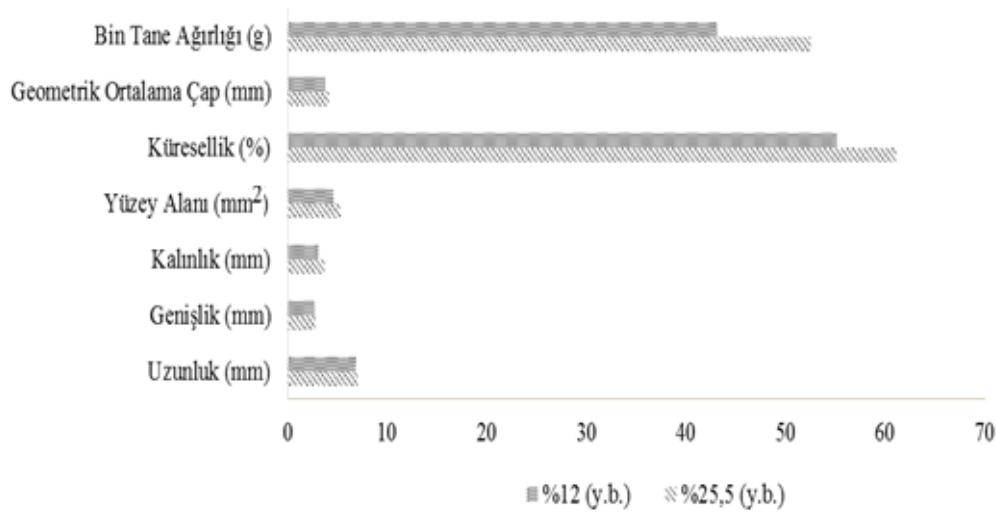
Buğdayın ortalama nem içeriğini bir birim (%1) düşürmek için gerekli maliyet Şekil 4.5’ de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 50 °C’de yapılan kurutma ile 3,05 TL, 60 °C kurutmada 2,45 TL, 70 °C kurutmada 1,67 TL ve 80 °C kurutmada 1,17 TL enerji tüketildiği belirlenmiştir. Nem içeriğini bir puan düşürebilmek için en yüksek maliyet 50 °C sıcaklıkta, en düşük maliyet ise 80 °C sıcaklıkta gerçekleşmiştir. Oransal olarak da yaklaşık %260 daha fazla maliyete sebep olmuştur. Işık ve ark. (2010) çeltiğin kurutma süresi ve kurutma maliyeti üzerine yaptıkları araştırmada her bir % nem düşümüne karşılık gelen kurutma süresi değerlendirmişlerdir. Baldo çeşidinde her bir nem değerine bağlı olarak harcanacak zaman miktarları kömür, doğalgaz ve motorin için sırasıyla; 0.715 sa, 0.618 sa ve 0.647 sa olarak tespit etmişlerdir. Osmancık çeşidi için ise 0.869 sa, 0.962 sa ve 0.698 sa olarak belirlemişlerdir. Baş (2010) 21 ton mısırın %30 nem değerinden %15 nem değerine düşürüldüğünde 386 kg LPG ve 139 kW elektrik kullanıldığını belirtmiştir. Bu kullanım 1.080,800 TL LPG, 86,875 TL elektrik ve 50,00 TL işçilik gideri maliyetlerine sebep olduğunu açıklamıştır. Sonuç olarak kurutma süreleri ve çevresel dış faktörler göz önüne alındığında mısırın mısır kurutma makinasında kurutulmasını önermiştir.



Şekil 4.5. Birim nem başına maliyet

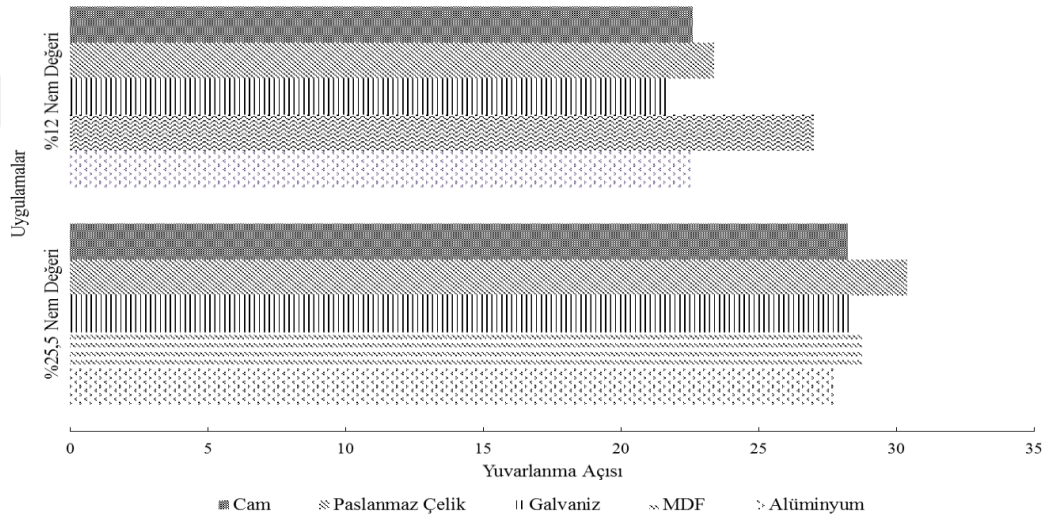
#### 4.6. Fiziksel ve Mekaniksel Özellikler

Denemelerde kullanılan buğdaya ait en, boy kalınlık, yüzey alanı, küresellik, aritmetik ortalama çap, geometrik ortalama çap ve bin tane ağırlığı değerleri Şekil 4.6' da verilmiştir. Uzunluk, genişlik ve kalınlık ölçüleri için yüz adet tohum üzerinden ölçüm yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Çıkan rakamlar doğrultusunda da yüzey alanı, küresellik, aritmetik ortalama çap ve geometrik ortalama çap değerleri elde edilmiştir. Bin tane ağırlığı hassas terazide on tekerrür yapılarak elde edilmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde, buğdayın %25,5 ilk nem değerinden %12 son nem değerine indiğinde %2,85 uzunlukta, %3,57 genişlikte, kalınlıkta ise %18,9 oranında bir azalış görülmektedir. Bu azalış oranları yüzey alanında %13,2, küresellikte %6, bin tane ağırlığında %17,96 ve geometrik ortalama çapta %7,31' lik bir azalış söz konusudur. Elde edilen bulgular önceki çalışmalarla uyumlu biçimde ortaya çıkmıştır. Bakhtiari ve ark. (2011), kenaf tohumlarının nem içeriğinin %6.8'den %25.2'ye (k.b.) yükselmesiyle uzunluk, genişlik, kalınlık, aritmetik ortalama çap ve geometrik ortalama çapın sırasıyla için %8.44, %6.56, %6.02, %7.59 ve %6.99 oranında arttığını belirlemişlerdir. Baumler ve ark. (2006) elde ettikleri sonuçlara göre aspir tohumundaki nem içeriği değişikliklerinin boyutta küçük bir değişime neden olduğunu, gövde kalınlığının ise en fazla etkilenen parametre olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, tohumun hacmi ve ağırlığı, genleşme katsayısı, eşdeğer çap ve küresellik değerleri tohum nem içeriğinin artmasıyla birlikte lineer olarak arttığını bulmuşlardır.

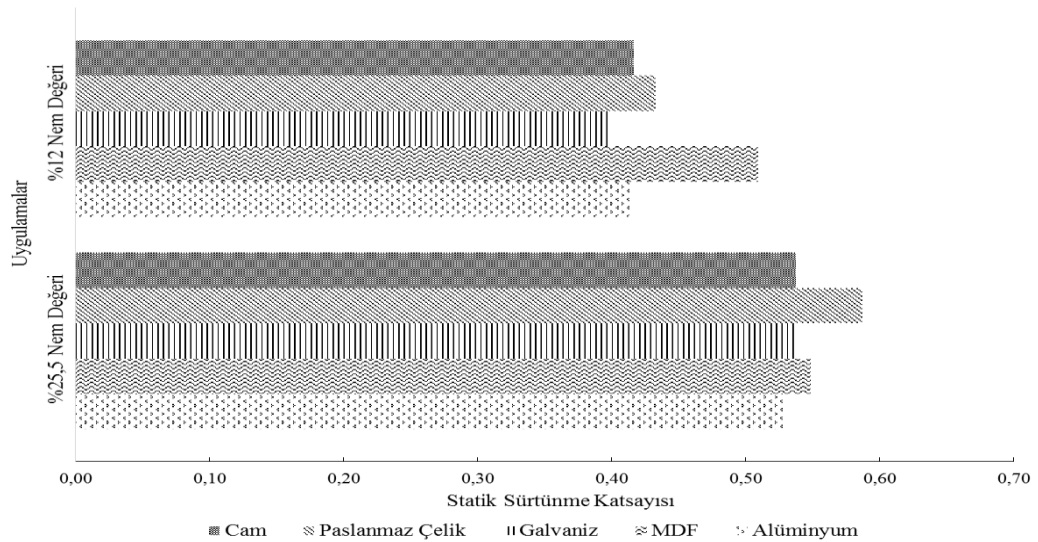


Şekil 4.6. Buğday tanelerinin fiziksel ve mekaniksel özellikleri

Şekil 4.7’ de başlangıç ve son nem değerlerine bağlı olarak buğday tanelerine ilişkin yuvarlanma açısı tespit edilmiştir. Düzenekte cam, paslanmaz çelik, galvaniz, MDF ve alüminyum kullanılmıştır. Başlangıç nemindeki (%25,5) buğdayların yuvarlanma açısı cam, paslanmaz çelik, galvaniz, MDF ve alüminyum malzemeler için sırası ile 27,8°, 28,7°, 28,3°, 30,4° ve 28,2° olarak tespit edilmiştir. Son nemdeki (%12) buğdayların yuvarlanma açısı cam malzemede 22,55° iken, paslanmaz çelik malzemede 27°, galvaniz sac malzemede 21,7°, MDF malzemede 23,4° ve alüminyum malzemede 22,6° olarak saptanmıştır.



Şekil 4.7. Buğday yuvarlanma açısı



Şekil 4.8. Buğday statik sürtünme katsayısı

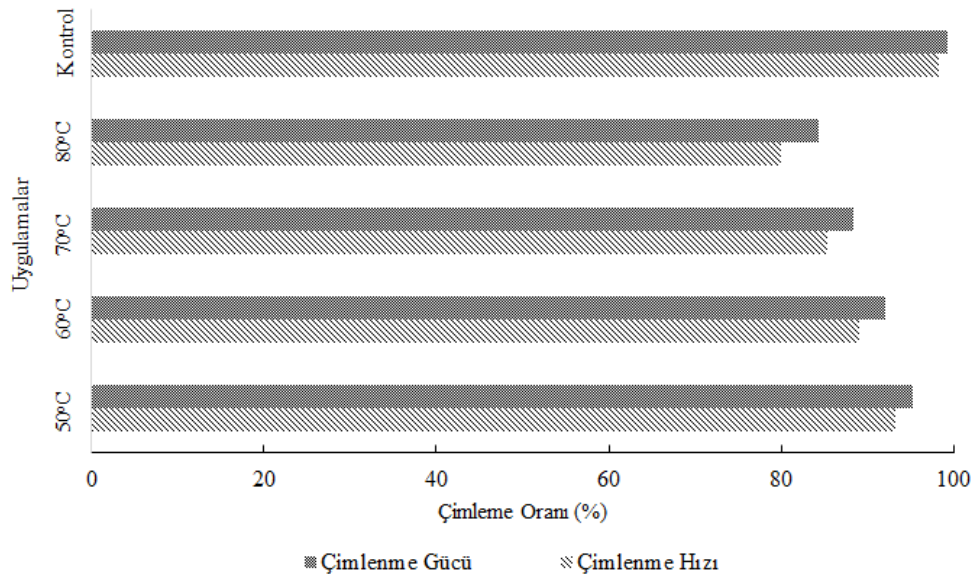


Şekil 4.8' de başlangıç ve son nem değerlerine bağlı olarak buğday tanelerine ilişkin statik sürtünme katsayısı belirlenmiştir. Düzenekte cam, paslanmaz çelik, galvaniz, MDF ve alüminyum kullanılmıştır. Başlangıç nemindeki (%25,5) buğdayların statik sürtünme katsayısı cam, paslanmaz çelik, galvaniz, MDF ve alüminyum malzemeler için sırası ile 0,52, 0,55, 0,54, 0,58 ve 0,53 olarak tespit edilmiştir. Son nemdeki (%12) buğdayların statik sürtünme katsayısı cam malzemede 0,41 iken, paslanmaz çelik malzemede 0,51, galvaniz sac malzemede 0,40, MDF malzemede 0,43 ve alüminyum malzemede 0,41 olarak saptanmıştır. Sirisomboon ve ark. (2007) *Jatropha* tohumlarına ait fiziksel ve mekaniksel bazı özellikleri incelemişlerdir. Bu kapsamda 1000 dane ağırlığını 688,1 gr, uzunluğunu 15,45 mm, yüzey alanını 306,48 mm<sup>2</sup> ve geometrik ortalama çapını ise 10,55 mm olarak bulmuştur. Statik sürtünme katsayısını ise kontrplak, çelik ve paslanmaz çelik malzemeleri üzerinde denemiş, sırasıyla 0,72, 0,73 ve 0,65 olarak bulmuştur. Altuntaş ve Yıldız (2007) bakla tanelerini benzer biçimde araştırmıştır. Tanelerinin nem oranının % 9.89'dan % 25.08'a yükselmesiyle ortalama uzunluğun, genişliğin, kalınlığın, geometrik ortalama çapın ve birim kütesinin sırasıyla 18,4'den 19,77 mm'ye, 12,54'den 13,66 mm'ye, 7,00'dan 8,02 mm'ye, 11,68'dan 13.01 mm'ye ve 1.147'den 1.301 g arasında değiştiğini belirlemiştir. Yapılan kurutma sonucunun tane ağırlığı ise 1332,67 g'dan 1140,15 g'a düşmüştür. Statik sürtünme katsayısı için kauçuk yüzeyin kontrplak, metal, sunta ve galvaniz'e göre daha fazla sürtünmeyi sağladığını belirlemiştir.

#### **4.7. Çimlenme Hızı ve Gücü**

Laboratuvar denemesinden elde edilen veriler ile Tesadüf Parsellerinde Deneme Desenine göre varyans analizi yapılmıştır. Araştırmada incelenen özelliklerin ortalama değerleri arasındaki farkların istatistiksel anlamda önemlilikleri, JUMP paket programı kullanılarak belirlenmiştir. Dört farklı sıcaklıkta kurutulan buğdayın çimlenme sonuçları Şekil 4.9' da verilmiştir. Kurutulan buğdayların 7'inci gün çimlenme hızı oranlarına göre en fazla % 93,3 ile 50 °C sıcaklıkta olurken en az % 80 ile 80 °C sıcaklıkta olmuştur. 14'üncü gün çimlenme gücü oranlarına göre en fazla % 95,3 ile 50 °C sıcaklıkta olurken en az % 84,3 ile 80 °C sıcaklıkta olmuştur. Benzer biçimde artan sıcaklığının çimlenme oranına negatif etki yaptığı Madamba ve Yabes (2005) tohumluk

pirinç kurutma üzerine yaptıkları çalışmada da anlaşılmaktadır. 35, 45 ve 55°C'lik sıcak hava ile yapılan araştırmada sırasıyla %93, %77 ve %65,5'lük çimlenme hızı bulunmuştur. Kurt ve Göre (2014) ise Ames ve Uniimk olmak üzere iki ketencik çeşidinin 4'er derece aralıkla olmak üzere 12 farklı çimlenme sıcaklığını incelemiştir. En yüksek çimlenme oranını her iki çeşitte de 24 °C'de ve 10. günde yapılan gözlemler sonucu Ames çeşidinde % 92,2 ile ve Uniimk çeşidinde % 92,8 ile elde etmişlerdir. Ayrıca, Bu araştırmada çimlenme sıcaklığının 24 °C'nin üzerinde olması durumunda çimlenme oranının düştüğünü belirlemiştir.



**Şekil 4.9.** Farklı kurutma sıcaklıklarının Buğday çimlenme oranları üzerine etkisi

Çizelge 4.1' de kurutulan çeltiklerin 7'inci ve 14'üncü gün çimlenme oranlarına ait varyans analizi sonuçları gösterilmektedir. Yapılan varyans analizine göre %1 düzeyinde gruplar arasında fark bulunmuştur.

**Çizelge 4.1.** Farklı kurutma sıcaklıklarının çimlenme komponentleri üzerine etkisi

Kurutma Sıcaklığı	Kontrol	50°C	60°C	70°C	80°C	Sıcaklık
Çimlenme Hızı (%)	98,3a	93,3b	89c	85,3d	80e	**
Çimlenme Gücü (%)	99,3a	95,3b	92c	88,3d	84,3e	**
Kök Ağırlığı (g)	0,03575a	0,03485b	0,03395c	0,3305d	0,03215e	**
Sap Ağırlığı (g)	0,06585a	0,06455b	0,06405c	0,06315d	0,06225e	**
Kök Uzunluğu (cm)	10,05a	9,95a	9,55b	9,41b	8,95c	**
Sap Uzunluğu (cm)	5,455a	5,010b	4,650c	4,300cd	3,800d	**

\*\* %1 önemli, \* %5 önemli, ns önemsiz

## 5. SONUÇ

Denemelerde kullanılan 10 kg buğdayın % 25,5 başlangıç neminden ve % 12 son neme kadar kurutulması işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan denemelerde kurutma sıcaklığı olarak 50, 60, 70, 80 °C kullanılmıştır. Kurutma denemeleri 1 m/s sabit hava hızında gerçekleştirilmiştir. Denemelere göre en kısa kurutma süresi 420 dakika ile 80 °C’de, en uzun kurutma süresi ise 50 °C’ de 880 dakika olarak belirlenmiştir.

Buğdayların kurutulmasında enerji miktarlarına sonuçlar incelendiğinde 50 °C kurutmada 62,0 kWh, 60 °C kurutmada 59,8 kWh, 70 °C kurutmada 55,1 kWh ve 80 °C kurutmada 47,3 kWh enerji tüketildiği belirlenmiştir. En fazla enerji tüketimi 50 °C sıcaklıkta, en az enerji tüketimi ise 80 °C sıcaklıkta elde edilmiştir. Kurutucunun saatlik olarak enerji tüketiminde ise 50 °C’de yapılan kurutma ile 4,24 kWh, 60 °C kurutmada 4,90 kWh, 70 °C kurutmada 6,12 kWh ve 80 °C kurutmada 6,47 kWh tüketime sebep olduğu bulunmuştur.

Toplam enerji maliyetli ve uzaklaştırılan su miktarına göre yapılan maliyet hesaplamalarda ise 50, 60, 70 ve 80 °C için sırasıyla 27.28 TL, 26.32 TL, 24.24 TL, 20.80 TL ve 18.18, 17.54, 16.15 ve 13.86 TL olarak bulunmuştur.

İlk ve son nemdeki buğdayların yuvarlanma açısı cam, paslanmaz çelik, galvaniz, MDF ve alüminyum malzemeler için sırası ile 27,8°, 28,7°, 28,3°, 30,4°, 28,2° ve 22,55°, 27°, 21,7°, 23,4° 22,6° olarak saptanmıştır. Statik sürtünme katsayısı ise 0,52, 0,55, 0,54, 0,58, 0,53 ve 0,41, 0,51, 0,40, 0,43, 0,41 olarak belirlenmiştir.

Sıcak hava ile kurutmada kurutma sıcaklığını kurutulacak ürünün miktarına ve kullanım yerine göre doğru bir şekilde tespit etmek gerekmektedir. Yüksek sıcaklıkta kurutma işlemi, zaman, harcanan enerji ve maliyet bakımından tohumluk olarak kullanılmayacaksa tercih edilebilir. Aksi halde yüksek sıcaklık buğdayda çimlenme hız ve gücünde düşüslere sebep olmaktadır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aghbashlo, M., Samimi-Akhijahani, H. 2008.** Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of berberis fruit (*Berberidaceae*). *Energy Conversion and Management*, 49(10): 2865-2871.
- Akyıldız, A., Polat, S., Ağçam, E. 2017.** Konveksiyonel ve dondurarak kurutma yöntemlerinin karpuzun bazı kalite özelliklerine etkisi. *Gıda*, 42(2): 169-176.
- Alibas, I. 2007.** Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying. *Biosystems Engineering*, 96(4): 495-502.
- Altuntaş, E., Yıldız, M. 2007.** Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) grains. *Journal of Food Engineering*, 78(1): 174-183.
- Anonim, 2017.** Url Adresi, <http://bilgitc.blogspot.com/2011/07/bugday-cesitleri-ve-ozellikleri.html> – Erişim Tarihi: (12.12.2016).
- Baş, B. 2010.** Mısırın çeşitli kurutma yöntemleriyle kurutulması üzerinde bir araştırma. *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Bakhtiari, M. R., Ahmad, D., Othman, J., Ismail, N. 2011.** Physical and mechanical properties of kenaf seed. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(2): 263-268.
- Bäumler, E., Cuniberti, A., Nolasco, S. M., Riccobene, I. C. 2006.** Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. *Journal of Food Engineering*, 72(2), 134-140.
- Bualuang, O., Tirawanichakul, Y., Tirawanichakul, S. 2013.** Comparative study between hot air and infrared drying of parboiled rice: Kinetics and qualities aspects. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(6): 1119-1132.
- Büyükdeveci, K. 2016.** Buğdaydan izole edilen bakteriyel çizgi yanıklığı etmeni *xanthomonas translucens*'in moleküler karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, Hatay.
- Çatak, S., Aktaş, T. 2007.** Trakya bölgesinde kullanılan çeltik kurutma makineleri ve bunların pirinç kalite parametrelerine etkileri. *Tarımsal Mekanizasyon*, 24: 5-6.
- Cesur, Ö. 2013.** Kurutma metodları ve şartlarının nar tanesinin kurutma kinetiği ve kalitesi üzerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- De Oliveira, D.E.C., Resende, O., Bessa, J.F.V., Kester, A.N., Smaniotto, T.A.S. 2015.** Mathematical modeling and thermodynamic properties for drying soybean grains. *African Journal of Agricultural Research*, 10(1): 31-38.
- Dirik, E. 2016.** Edirne ili buğday ekilişlerinde bulunan heteroptera türleri üzerinde araştırmalar. *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Doungporn, S., Poomsaad, 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: 187-198.
- Emeksizoglu, B. 2016.** Kastamonu yöresinde yetiştirilen siyez (*triticum monococcum* L.) buğdayının bazı kalite özellikleri ile bazlama ve erişte yapımında kullanımının araştırılması. *Doktora Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.

- Erbay, B., Küçüköner, E. 2008.** Gıda endüstrisinde kullanılan farklı kurutma sistemleri. *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, 21-23.
- Erdoğan, H. 2015.** Çeltiğin sıcak hava ile akımıyla kurutulmasında işletim parametrelerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Erçetin, Ü. 2007.** Tanecikli gıda maddelerinin akışkan yatakta kurutulması. *Doktora Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- FAO, 2015.** Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division. <http://faostat3.fao.org/download/P/PP/E> - Erişim Tarihi: (04.01.2017).
- Gao, X., Wang, J., Wang, S., Li, Z. 2016.** Modeling of drying kinetics of green peas by reaction engineering approach. *Drying Technology*, 34(4): 437-442.
- Hemis, M., Singh, C. B., Jayas, D. S. 2011.** Microwave-assisted thin layer drying of wheat. *Drying Technology*, 29(10): 1240-1247.
- Hemis, M., Choudhary, R., Watson, D. G. 2009.** A coupled mathematical model for simultaneous microwave and convective drying of wheat seeds. *Biosystems Engineering*, 112(3): 202-209.
- Işık, E., İzli, N., Alibaş, K., Özçeşmeci, E. 2010.** Yerli yapım kurutma makinesinde kurutulan çeltiğin kurutma süresi ve kurutma maliyeti. *26. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi*, 316-323.
- İzli, N. 2007.** Mısırın sıcak hava ile akımıyla kurutulmasında kurutma parametrelerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Bursa.
- İzli, N. 2012.** Bazı tarımsal ürünlerin mikrodalga konvektif kurutma yöntemiyle ince tabaka kurutma kuramına göre kurutulmasında kurutma parametrelerinin belirlenmesi. *Doktora Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Bursa.
- Jittanit, W., Srzednicki, G., Driscoll, R. 2010.** Corn, rice, and wheat seed drying by two-stage concept. *Drying Technology*, 28: 807-815.
- 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.
- Kahyaoglu, L. N., Sahin, S., Sumnu, G. 2012.** Spouted bed and microwave-assisted spouted bed drying of parboiled wheat. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2): 301-308.
- Kurt, O., Merve, G. 2014.** Ketencik (*Camelinasativa L. Crantz*)’te uygun çimlenme sıcaklığının belirlenmesi üzerinde bir araştırma. *5. Tohumculuk Kongresi ve Sektörel İş Forumu*, 65-69
- Köksel, H., Şahbaz, F., Özboy, Ö. 1994.** Yaş hasat edilmiş gerek-97 buğdayının farklı kurutma sıcaklıklarının kalite üzerine etkileri. *Gıda*, 19(4): 261-264.
- Madamba, P. S., Yabes, R. P. 2005.** Determination of the optimum intermittent drying conditions for rough rice (*Oryza sativa, L.*). *LWT-Food Science and Technology*, 38(2): 157-165.
- 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.

- Melik, M. 2014.** Bazı yerel ve tescilli makarnalık buğday çeşitlerinin verim unsurları, bulgur kalitesi ve randımanının incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Hatay.
- Mellmann, J., Richter, I. G., Maltry, W. 2007.** Experiments on hot-air drying of wheat in a semi-technical mixed-flow dryer. *Drying technology*, 25(7-8): 1287-1295.
- Mengeş, G. 2005.** Patatesin farklı kurutma şartlarındaki kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Konya.
- Mohapatra, D., Rao, P.S. 2005.** A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, 66(4): 513-518.
- Motevali, A., Minaei, S., Khoshtaghaza, M. H., Amirnejat, H. 2011.** Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. *Energy*, 36(11): 6433-6441.
- Nasiroglu, S., Kocabiyik, H. 2009.** Thin-layer infrared radiation drying of red pepper slices. *Journal of Food Process Engineering*, 32(1): 1-16.
- Ogawa, T., Kobayashi, T., Adachi, S. 2012.** Prediction of pasta drying process based on a thermogravimetric analysis. *Journal of Food Engineering*, 111(1): 129-134.
- 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.
- Rafiee, S., Keyhani, A., Jafari, A. 2008.** Modeling effective moisture diffusivity of wheat (Tajan) during air drying. *International Journal of Food Properties*, 11(1): 223-232.
- Rudy, S. 2009.** Energy consumption in the freeze-and convection-drying of garlic. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.-OL PAN*, 9: 259-266.
- Rumruaytum, P., Borompichaichartkul, C., Kongpensook, V. 2014.** Effect of drying involving fluidisation in superheated steam on physicochemical and antioxidant properties of Thai native rice cultivars. *Journal of Food Engineering*, 123: 143-147.
- Sarker, M.S.H., Ibrahim, M.N., Aziz, N.A., Salleh, P.M. 2014.** Energy and rice quality aspects during of freshly harvested paddy with industrial inclined bed dryer. *Energy Conversion and Management*, 77: 389-395.
- Sirisomboon, P., Kitchaiya, P., Pholpho, T., Mahuttanyavanitch, W. 2007.** Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. fruits, nuts and kernels. *Biosystems engineering*, 97(2), 201-207.
- Sreekumar, A. 2010.** Techno-economic analysis of a roof-integrated solar air heating system for drying fruit and vegetables. *Energy Conversion and Management*, 51(11): 2230-2238.
- Swasdisevi, T., Devahastin, S., Thanasookprasert, S., Soponronnarit, S. 2013.** Comparative evaluation of hot-air and superheated-steam impinging stream drying as novel alternatives for paddy drying. *Drying Technology*, 31: 717-725.
- Taşkın, O., Korucu, T. 2013.** İki farklı tohumluk mısır kurutma tesisine ait kurutma parametrelerinin karşılaştırılması. 28. *Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi*, 208-218.
- UHK, 2011.** Ulusal hububat konseyi buğday raporu. <http://uhk.org.tr/dosyalar/bugdayraporumayis2011.pdf> - Erişim Tarihi: (09.11.2016).

**TMO, 2016.** Ulusal hububat konseyi buğday raporu. <http://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/hububat/hububatraporu2016.pdf> - Erişim Tarihi: (09.04.2017).

**TUIK, 2017.** Türkiye istatistik kurumu.

[http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1001](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001) - Erişim Tarihi: (09.01.2017).

**Yağcıoğlu, A. 1999.** Tarım ürünleri kurutma tekniği. Ege Üniveristesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No:536, Bornova, İzmir.

**Yoğurtçu, H. 2016.** Investigation of drying characteristics of parboiled wheat kernel in a halogen lamp dryer and its modelling. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 2(1): 34-39.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emre COŞKUN

Doğum Yeri ve Tarihi : Gebze, 01.01.1988

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Darıca Lisesi, 2004

Lisans : Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,  
Tarım Makinaları Bölümü, 2010

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Zeropest Çevre Sağlığı 2010-2011  
May-Agro Tohumculuk 2012-2016

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