



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MISIRIN SICAK HAVA AKIMIYLA KURUTULMASINDA KURUTMA
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

NAZMİ İZLİ

Yrd.Doç.Dr. EŞREF IŞIK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

BURSA 2007

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MISIRIN SICAK HAVAYLA KURUTULMASINDA KURUTMA
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

NAZMİ İZLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Bu Tez/...../200... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Eşref IŞIK
Danışman

Prof.Dr. Kamil ALİBAŞ

Prof.Dr. İlhan TURGUT

ÖZET

Bu çalışmada mısırın sıcak hava akımıyla kurutulmasında kurutma parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla Uludağ Üniversitesi Tarım Makinaları Bölümü'nde, 700 kg kapasiteli sıcak havayla kurutma düzeneği tasarlanıp imal edilmiştir. Denemeler bu düzende gerçekleştirilmiştir. Denemeler 1 m/s sabit çıkış hızında, 45°C, 55°C, 65°C, 75°C ve atmosfer sıcaklıklarında olmak üzere beş farklı sıcaklık değerinde, %16.4 nemden mısır için güvenli depolama nemi olan %10 nem değerine ininceye kadar yapılmıştır. Karıştırıcılı ve karıştırıcısız olarak beş farklı sıcaklık değerinde gerçekleştirilen denemelerde kurutma hızı, çimlenme hızı, çimlenme gücü, enerji tüketimi, kurutma özellikleri ve maliyet gibi parametreler belirlenmiştir.

Denemeler sonucunda karıştırıcılı ve karıştırıcısız kurutmada kurutma süresi, enerji tüketimi ve maliyet açısından 75°C sıcaklıktaki kurutmadan en iyi sonuçlar elde edilirken çimlenme hızı ve çimlenme gücü açısından en iyi sonuçlar karıştırıcılı kurutmada 55°C'de, karıştırıcısız kurutmada 45°C'deki sıcaklık değerlerinde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mısır, kurutma hızı, enerji tüketimi, kurutma maliyeti

ABSTRACT

In this study, drying parameters of maize were determined in hot-air drying. For this purpose, a convective air dryer which has 700 kg capacity was designed and produced in Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Engineering, Uludag University. The studies were performed in this mechanism. The studies were made at 1 m/s constant exit velocity under five different temperature values for 45°C, 55°C, 65°C, 75°C and atmosphering temperature and for humidity value from 16.4 % to 10 % (d.b.) which is security storing humidity value for maize. The trials performed under five different temperature values as for with mixer and without mixer were determined for the parameters such as drying velocity, sprout velocity, sprout power, energy consumption, drying properties and cost.

As in the result of trials, in dryings with mixer and without mixer the best results were obtained for the drying at 75 °C in terms of drying time, energy consumption and cost, while the best results were obtained for temperature values 55 °C in drying with mixer and 45 °C in drying without mixer.

Key Words: Maize, drying velocity, energy consumption, drying cost

İÇİNDEKİLER	Sayfa
TEZ ONAY SAYFASI	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	V
SİMGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
GİRİŞ	1
1. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2. MATERYAL VE YÖNTEM	20
2.1. Materyal.....	20
2.2. Yöntem.....	24
2.2.1. Mısırın Başlangıç ve Sonuç Nemlerine Bağlı Olarak Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerini Belirleme Yöntemleri.....	24
2.2.2. Mısırın Sıcak Havayla Kurutulması Yöntemi.....	29
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI	31
3.1. Mısırın Başlangıç ve Sonuç Nemlerine Bağlı Olarak Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri.....	31
3.2. Nem Zaman İlişkisi.....	35
3.2.1. Beş Farklı Sıcak Hava ile Kurutmada Nem Zaman İlişkisi.....	35
3.3. Enerji Tüketimi.....	40
3.3.1. Beş Farklı Sıcak Hava İle Kurutmada Enerji Tüketimi.....	40
3.4. Çimlenme Oranları.....	42
3.4.1. Çimlenme Hızı.....	42
3.4.2. Çimlenme Gücü.....	45
3.5. Maliyetler.....	47
TARTIŞMA VE SONUÇ	50
KAYNAKLAR	53
TEŞEKKÜR	57
ÖZGEÇMİŞ	58

SİMGELER DİZİNİ

AEEO	Etil alkol emülsiyonu
Ap	Görüntü alanı (mm ²)
As	Yüzey alanı (mm ²)
D	Tane çapı (mm)
Da	Tanenin aritmetik çapı (mm)
Dg	Tanenin geometrik çapı (mm)
H	Tanenin yüksekliği (mm)
L	Tanenin genişliği (mm)
Mc	Tanenin nemi (%)
M₁₀₀₀	Tanenin bin tane ağırlığı (g)
R²	Regresyon katsayısı
T	Tanenin kalınlığı (mm)
V	Tanenin hacmi (mm ⁻³)
ρ_b	Yığın ağırlığı (kg m ⁻³)
ρ_t	Özgül ağırlık (kg m ⁻³)
ε	Porozite (%)
μ	Sürtünme katsayısı
α	Yuvarlanma açısı (°)
φ	Küresellik
y.b.	Yaş baz

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No</u>	<u>Sekil Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.	Yığın Kurutucunun Şematik Görünüşü	8
Şekil 2.	Kayısı Kurutma Deney Düzeneginin Şematik Görünüşü	13
Şekil 3.	Bamya Kurutma Deney Düzeneginin Şematik Görünüşü	16
Şekil 4.	Havayla Defne Yaprağı Kurutma Düzeneginin Şematik Görünüşü	18
Şekil 5.	Denemelerde Kullanılan Ada-523 Atdışı Mısır Örneği	20
Şekil 6.	Laboratuar Tipi Sıcak Hava Kurutma Düzenegi Genel Görünüşü	21
Şekil 7.	Kurutma Düzenegi Deposu	22
Şekil 8.	Karıştırıcı Elektrik Motoru	22
Şekil 9.	Serpantin Rezistanslı Isıtıcılar	23
Şekil 10.	Radyal Fan	23
Şekil 11.	Tri-Faze Elektrik Sayacı ve Elektronik Varyatör	24
Şekil 12.	Mısır Tanelerinin Geometrik Boyutları, Uzunluk (L), Genişlik (W) ve Kalınlık (T)	25
Şekil 13.	Kritik Hız Ölçme Deney Düzenegi Görünüşü	27
Şekil 14.	Mısır Tanelerinin Yuvarlanma Açısı Belirleme Deney Düzenegi Görünüşü	28
Şekil 15.	Mısır Tanelerinin Kuvvet Altındaki Kırılma Direnci Belirleme Deney Düzenegi Görünüşü	29
Şekil 16.	Mısırdan Nem İçeriğinin Hacim Ağırlığına Etkisi	32
Şekil 17.	Mısırdan Nem İçeriğinin Özgül Ağırlığa Etkisi	33
Şekil 18.	Mısırdan Nem İçeriğinin Statik Sürtünme Katsayısına Etkisi	34
Şekil 19.	Mısırdan Nem İçeriğinin Boşluk Oranına Etkisi	35
Şekil 20.	Karıştırıcısız Kurutmada Değişik Sıcaklıklardaki Kurutma Süreleri	37
Şekil 21.	Karıştırıcılı Kurutmada Değişik Sıcaklıklardaki Kurutma Süreleri	38
Şekil 22.	Karıştırıcısız ve Karıştırıcılı Kurutmada Toplam Enerji Tüketim Değerleri	41
Şekil 23.	Karıştırıcısız ve Karıştırıcılı Kurutmada Birim Enerji Tüketim Değerleri	42
Şekil 24.	Karıştırıcısız Kurutmada Çimlenme Hızı Deney Görünüşü	43
Şekil 25.	Karıştırıcılı Kurutmada Çimlenme Hızı Deney Görünüşü	43
Şekil 26.	Karıştırıcısız ve Karıştırıcılı Altı Farklı Sıcaklıktaki Kurutmada Çimlenme Hızı Oranları	44
Şekil 27.	Karıştırıcısız kurutmada Çimlenme Gücü Deney Görünüşü	45
Şekil 28.	Karıştırıcısız ve Karıştırıcılı Altı Farklı Sıcaklıktaki Kurutmalarda Çimlenme Gücü Oranları	46
Şekil 29.	Karıştırıcısız ve Karıştırıcılı Kurutmalarda Toplam Kurutma Maliyeti	48
Şekil 30.	Karıştırıcısız ve Karıştırıcılı Kurutmalarda Birim Kurutma Maliyeti	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Çizelge Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.	Hasat ve Depolamada Çeşitli Ürünler İçin Uygun Nem Miktarı Değerleri	2
Çizelge 2.	Yıllar Bazında Dünya’da ve Türkiye’de Mısır Ekim Alanları, Üretim ve Verim Değerleri	4
Çizelge 3.	Yıllar Bazında Türkiye’nin Mısır İthalatı	5
Çizelge 4.	Türkiye ve Dünya Mısır Fiyatları	5
Çizelge 5.	Başlangıç ve Son Nem Değerlerinde Mısır Tanelerinin Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri	31
Çizelge 6.	Kurutma Yöntemlerine Bağlı Olarak Toplam Kuruma Süreleri	36
Çizelge 7.	Kurutma Yöntemlerine Bağlı Olarak Toplam Kuruma Sürelerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları	39
Çizelge 8.	Karıştırıcısız Kurutmada Toplam Enerji Tüketimlerine Ait Varyans Analiz Sonuçları	41
Çizelge 9.	Karıştırıcısız Kurutmada Çimlenme Hızı ve Güçlerine Ait Varyans Analiz Sonuçları	47
Çizelge 10.	Toplam Kurutma Maliyetine İlişkin Varyans Analizi Sonuçları	48

GİRİŞ

Genel olarak tarım ürünlerinin kurutulması, nemin ürün bölgesinden uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Tarım ürünlerine uygulanan kurutmanın amacı ürünün bozulmadan uzun süre depolanabilmesidir.

İnsanların beslenmesinde en önemli yere sahip olan tarımsal ürünler, üretiminden tüketimine kadar değişik evrelerde kayba uğramaktadırlar. Örneğin tahıllarda, hasattan kullanıma kadar meydana gelen kayıpların yıllık üretimin %10'u, kuru ot üretiminde ise bu oranın %28'e ulaştığı saptanmıştır. Meyve ve sebzedeki kayıpların ise yıllık üretimin %35-40'ına ulaştığı tahmin edilmektedir (Işık ve Alibaş 2000). Dünya toplam üretim rakamlarının büyüklüğü göz önüne alınırsa bu kayıpların büyük ölçüde olduğu gözlenebilmektedir. İnsanlık için besin maddelerinin yitirilmesinden ötürü karşılaşılan zararın yanı sıra, üreticinin ekonomik açıdan uğradığı kayıplar da küçümsenemeyecek boyutlara varır. Üretimden tüketime aktarılacak besin maddeleri miktarının en yüksek düzeyde kalmasını sağlamak amacıyla uygulanan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu uygulamalar tarladan tüketiciye kadar olan geniş bir alanı kapsamaktadır. Tarımsal ürünlerin korunması ve kullanılabilir ekonomik ömürlerinin azaltılmasında uygulanabilecek çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler;

- Pastörize (mikroorganizmaları yok etme veya gelişmelerini durdurma)
- Soğutma (solunum miktarını azaltma)
- Atmosfer kontrolü (ürünün etrafındaki atmosfer koşullarında O₂ oranının azaltılıp, CO₂ oranının artırılması)
- Kimyasal uygulamalar (propionic, acetic, bulyric ve formic asit gibi organik asitler ve amonyak gibi maddelerin ürünlerin kurutulmasında kullanılması)
- Beta ve gama ışınları (bu ışınlarla mikroorganizmalar iyonlaştırılarak öldürülmesi)
- Kurutma (ısı ve hava hareketi yardımıyla nemin uzaklaştırılması)'dır (Işık ve Alibaş 2000).

Kısaca, ürünlerin bünyesinden nemin uzaklaştırılması işlemi olarak tanımlanabilen kurutma, giderek önemini artırmaktadır. Kurutma yardımıyla sağlanabilecek yararlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Ürünlerin erken hasat edilmelerine olanak sağlar. Böylece yüksek nemde yapılan hasatta ürün dökülmeleri önlenir. Hasat kayıpları azalır. Erken hasat ikinci ürün için uygun yetiştirme periyodu sağlar.
- Ürünün bozulmadan uzun süre korunmasını sağlar (Çizelge 1).
- Tohumların çimlenme kabiliyeti daha uzun süre korunabilir.
- Tütün, kuru meyve ve kuru sebze gibi ekonomik değeri olan başka ürünlerin üretimine olanak verir.
- Tarımsal üretim artıklarının yeniden değerlendirilmesine olanak sağlar (küspe, kabuk, posa vb.)
- Ürünün nem miktarının düşmesi ile aroma ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin muhafaza edilmesini sağlar.
- Ürünün hacminin azalması, dolayısıyla ürünün önemli bileşenlerinin taşınma ve depolanmasındaki verimin artmasına olanak verir.
- Pamuk, mısır ve çay gibi ürünlerin işlenmesine olanak sağlamasıdır.

Çizelge 1. Hasat ve Depolamada Çeşitli Ürünler İçin Uygun Nem Miktarı Değerleri (% y.b (yaş baz)) (Işık ve Alibaş 2000).

Ürün	En Yüksek Hasat Nemi (%)	En Uygun Hasat Nemi (%)	Uygulamada Hasat Nemi (%)	Emniyetli Depolama İçin Max. Nem (%) 1 yıl	Tahmini nem (%) 2 yıl
Mısır	35	24-30	14-30	13	11
Buğday	28	16-20	9-17	13-14	11-12
Arpa	-	16-20	10-18	13	11
Yulaf	32	-	10-18	13	10-11
Darı	-	-	10-20	13	10-11
Bezelye	28	22	17-20	17	-
Çeltik	30	17-23	16-24	13	-
Soya	-	-	9-20	13	10
Ot	-	70-80	-	20-25	15-20

Orijini ve gen merkezi Amerika kıtası olan mısır (*Zea mays* L.) gerek dünyada ve gerekse Türkiye’de bitkisel kökenli proteinlerin yeterli ve ekonomik üretimi için büyük önem taşımaktadır. Özellikle ülkemizde mısır tarımı hayvansal protein üretimine büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ayrıca mısırın tanesinden elde edilen nişasta, glikoz ve mısırözü yağı da gıda sektöründe ham madde açısından büyük önem taşımaktadır.

Mısır, ılıman ve tropik bölgelerde yetiştirilen bir sıcak iklim bitkisidir. Çok farklı iklim koşullarına uyabilen pek çok tipleri vardır. Mısır tarımı kuzey yarım kürede 58–60° enlemlerinden güney yarım kürede 35–40° enlemleri arasında yapılır. Diğer taraftan deniz seviyesinden daha düşük yerlerden 4000 m yüksekliğe kadar alanlarda yetiştirilebilir. Mısırın yetiştirme sınırlarını belirleyen en önemli faktörler sıcaklık ile yetiştirme periyodudur. Dünyada mısır üretiminin çoğu 30–47° kuzey enlemleri arasında yapılmaktadır. 36–42° kuzey enlemleri arasında bulunan Türkiye de mısır yetiştirmeye uygun sınırlar içerisinde yer almaktadır. İklim verilerine göre yapılan değerlendirmede Ağrı, Kars ve Erzurum illerinde düşük sıcaklık nedeniyle yetiştirme süresi; Siirt, Diyarbakır, Ş.Urfa, Adıyaman ve Mardin illerinde yüksek sıcaklık ve düşük nem dolayısıyla mısır üretiminde sorunlar olabileceği belirlenmiştir. GAP projesinin devreye girmesiyle bu illerde mısır üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde mısırın gerek birinci, gerekse ikinci ürün yetiştiriciliğinde toplam yağış, sıcaklık ve bağıl nem yönünden sorun olmayan 9 ilimiz vardır. Bunlar; Rize, Giresun, Ordu, Zonguldak, Trabzon, Samsun Kocaeli, Sinop ve Sakarya’dır (Turgut 2001).

Ülkemizde genelde yetiştirilen mısır çeşitleri atdışi mısır (*Zea mays indentata*), sert mısır (*Zea mays indurata*), cin mısır (*Zea mays everta*) ve şeker mısır (*Zea mays saccharata*)’dır. Mısır, ülkemizde tarla ürünleri arasında ekiliş alanı bakımından yedinci sırada, üretim miktarı bakımından ise üçüncü sırada yer alan bir üründür (Süzer 2006).

Dünya da ortalama 138 milyon hektar alanda mısır üretimi yapılmaktadır. Toplam dünya üretimi ortalama 600 milyon ton, ortalama verim ise 4.3 t/ha’dır. Mısır üretiminde dünyada önde gelen ülkeler Çin, Rusya, Hindistan, Polonya, ABD, Meksika, Brezilya ve Almanya’dır. Dünya’da ve Türkiye’de mısır ekim alanları, üretim ve verim değerleri Çizelge 2’ de verilmiştir (FAO 2004).

Ülkemizde üretilen mısırın tamamına yakını yurtiçinde tüketilmektedir. İçinde bulundurduğu zengin besin maddesi nedeniyle insan ve hayvan beslenmesinde büyük

değer taşımaktadır. Dünyada üretilen mısırın yaklaşık %27'si insan beslenmesinde, %73'ü ise hayvan yemi olarak tüketilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde üretilen mısırın %45.9'u hayvan beslenmesinde, %54.1'i insan besin kaynağı olarak kullanılırken, gelişmiş ülkelerde hayvan yeminin payı %88.9'a ulaşmaktadır (Anonim 2003).

Çizelge 2. Yıllar Bazında Dünya'da ve Türkiye'de Mısır Ekim Alanları, Üretim ve Verim Değerleri (FAO 2004).

Yıllar	Ekim Alanı (ha)		Üretim (ton)		Verim (kg/ha)	
	Dünya	Türkiye	Dünya	Türkiye	Dünya	Türkiye
1999	138.802.039	518.000	607.520.079	2.297.000	4.377	4.434
2000	138.441.644	555.000	592.484.256	2.300.000	4.280	4.144
2001	139.158.093	550.000	614.754.770	2.200.000	4.418	4.000
2002	138.418.371	500.000	601.994.057	2.100.000	4.349	4.200
2003	143.392.867	575.000	640.064.440	2.800.000	4.464	4.870
2004	145.142.583	700.000	705.293.226	3.000.000	4.859	4.286

Son yıllarda artan tüketime karşın, uygulanan destekleme politikaları ile üretim artmış, buna karşılık ithalat miktarında önemli bir azalma gözlenmiştir. İthal ettiğimiz mısırın yaklaşık %1.3'ü mısır tohumluğu, geriye kalan %98.7'lik kısmı ise diğer mısır (tane, yağ, vs.) ithalatı şeklindedir. Yıllar itibariyle Türkiye'nin mısır ithalatı Çizelge 3' de verilmiştir (FAO 2004).

Çizelge 3. Yıllar Bazında Türkiye'nin Mısır İthalatı (FAO 2004).

Yıllar	Miktar (ton)	Değer (1000 \$)	Ort. İth. Fiyat. (\$/ton)
1999	838920	98177	117
2000	1258530	144126	114.5
2001	537481	65635	122.1
2002	1172915	133223	113.5
2003	1818132	276182	151.9
2004	1029702	189504	183.2

Ülkemizde mısırın yetişme şartları ve ekim alanlarının dağılımı göz önüne alındığında mısır ekimi için en elverişli bölge Karadeniz Bölgesi'dir. Ülkemizdeki mısır ekiminin yarıya yakını bu bölgede yapılır. Karadeniz, Akdeniz ve Marmara bölgeleri ülkemiz mısır ekim alanlarının % 87.6'sına, mısır üretiminin ise %88.8'ine sahiptir.

TMO (Türkiye Malzeme Ofisi) tarafından belirlenen mısır destekleme alım fiyatı 2004 yılı itibariyle 0.33 YTL/kg'dır. Alımlarda nem oranı için belirlenen son sınır değeri % 30'dur (TMO 2004). Çizelge 4'de TMO tarafından belirlenen 2004 yılı Türkiye mısır fiyatları belirtilmiştir.

Çizelge 4. Türkiye ve Dünya Mısır Fiyatları (TMO 2004).

Yıllar	Destekleme Alım Fiyatı (YTL/kg)	Artış (%)	Tefe Artış Oranı (%)	TMO Alım Fiyatı (\$/Ton)	Dünya Mısır Fiyatı (FOB ¹ /\$/Ton)
1999	0.07	42.6	62.9	164	145
2000	0.09	35.0	32.7	150	117
2001	0.16	69.7	88.6	143	113
2002	0.22	40.2	30.8	145	119
2003	0.31	41.9	13.9	210	121
2004	0.33	7.1	13.8	215	129

¹ FOB: Gemi Bordasında Teslim Fiyatı

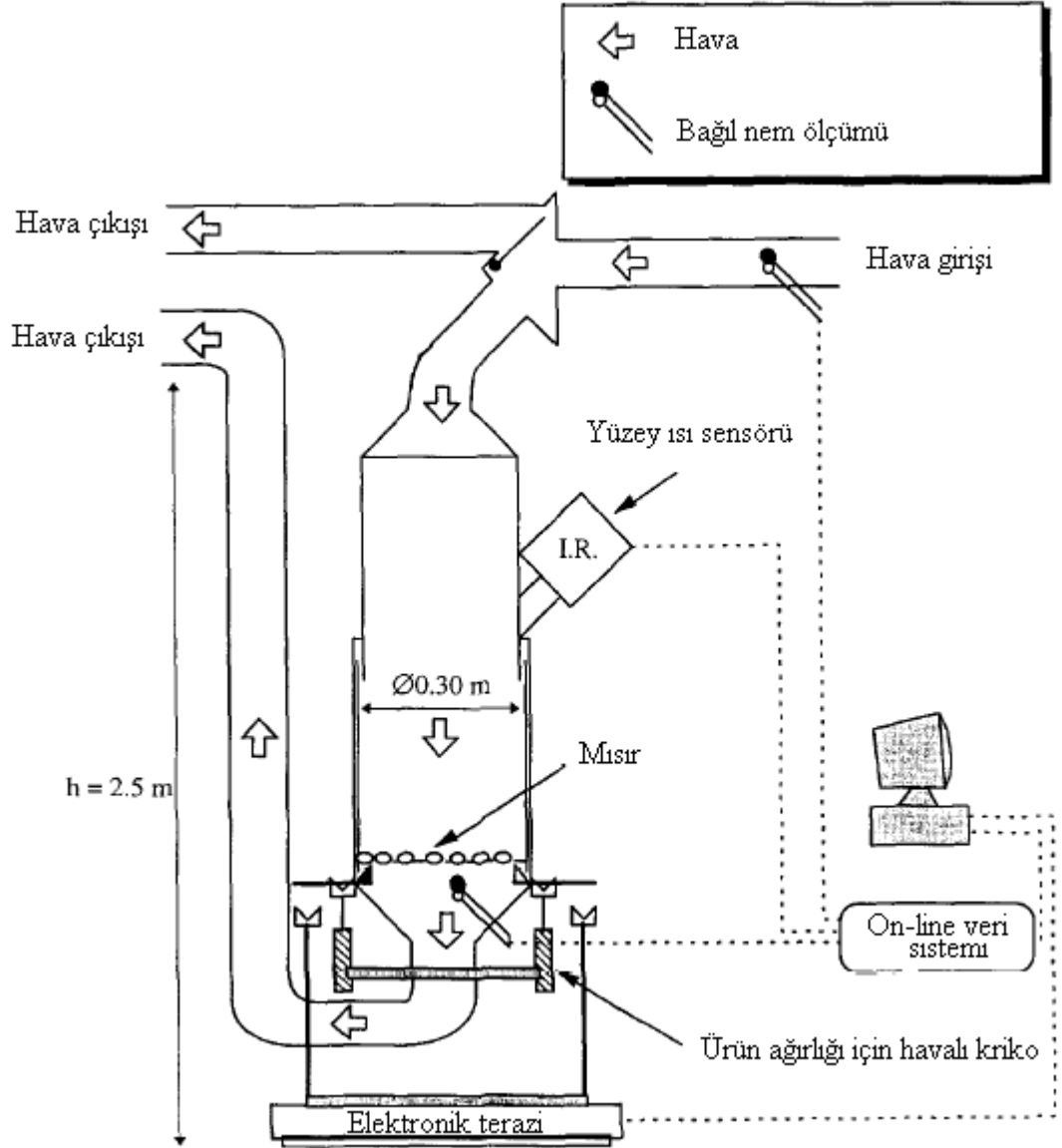
Bu çalışmada, yöremizde yaygın olarak üretimi yapılan mısırdn, sıcak hava akımıyla kurutulmasında; aynı hava akım hızında beş değişik hava akım sıcaklığında, zamana bağlı olarak nem değişimi değerleri belirlenmiş ve nem – zaman değerleri görsel olarak tanımlanarak regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Denemeler sırasında, enerji tüketimi değerleri de llerek, optimum kurutma parametreleri saptanmiş, kurulacak olan ticari tip mısır kurutucular için n parametreler belirlenmiştir. Bu parametrelerin yanı sıra, değişik hava sıcaklığlarıyla kurutmada, mısır için çimlenme hız oranı ve çimlenme gücü oranı gibi fizyolojik özelliklerde belirlenmiş ve istatistiksel farklılıklar araştırılmıştır.

1. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yıldız ve ark. (1989) tane mısırın düşük sıcaklıkta kurutulmasında enerji tüketimi ile ilgili çalışmalarında, tane mısırın kurutulmasına ilişkin bazı özellikleri belirlemişlerdir. İkinci ürünlerin %17-25 (yaş baz) nemde hasat edilebileceğini, bu ürünlerin bozulmadan depo edilebilmesi için %11-13 (y.b.) neme kadar kurutulması gerektiği belirtilmiştir. Bölgede bu amaçla çalıştırılan birçok kurutucunun bulunduğu vurgulanmıştır. Yüksek sıcaklıkta kurutma yapan bu kurutucularda enerji tüketiminin 4000-5000 kJ/kg-su arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu çalışmada bir kurutucuda, tane mısırın düşük sıcaklıkta kurutulmasına ilişkin bazı özellikler belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, mısırdan 1 kg suyun alınması için 2112.87-6114.52 kJ enerji tüketildiğini, uygun bir ısıtıcının kullanımı ile bu miktarın azaltılabileceğini göstermiştir.

Yağcıoğlu ve Evcim (1991) mısırın kurutulması için gerekli parametrelerin bilgisayar destekli simülasyon yoluyla belirlenmesi ile ilgili çalışmalarında, İzmir, Aydın ve Manisa illerinden aldıkları örnek tanelenmiş mısırları Ekim, Kasım ve Aralık aylarında düşük sıcaklık şartlarında kurutmuşlardır. İnce tabaka kurutma teorisi ve Thompson'un önerdiği modeli esas alarak BASIC diliyle bir bilgisayar programı yazmışlar ve simülasyon programını çeşitli şartlar için çalıştırarak, kuruma süresi, ürün nemi, enerji tüketimi ve üründe meydana gelen kuru madde kayıpları açısından incelemişlerdir.

Trelea ve ark. (1996) doğrusal olmayan en uygun yığın kontrolü işlemlerinde mısır kurutma uygulaması ile ilgili çalışmalarında, yığın kurutma işleminin on-line kontrolü için tahmini bir en uygun kontrol algoritması sunmuşlardır. Uygun komut profilini hesaplayarak ölçümleri on-line sisteme dönüştürmüşlerdir (Şekil 1). Doğrusal olmayan işlem modeli örneğinde off-line ve on-line da tahminleyici kullanmışlardır.



Şekil 1. Yıgın Kurutucunun Şematik Görünüşü

Haroz ve Suarez (1997) nemli öğütülmüş mısırdaki kurutma etkisi, ilk nem ve değişkenlik ile ilgili çalışmalarında, nemli öğütme işleminde farklı kurutma şartları altında atdışi ve sert mısır tanelerinin nişasta kazanımını belirlemeye çalışmışlardır. Kurutulmamış ürünlerle karşılaştırarak kurutulmamış örnekler için nişasta kazanımı değişkenleri arasındaki farkın önemsiz olduğunu tespit etmişlerdir. Hava sıcaklığı artarken tohumların ilk nem içeriğinin azaldığını, sert mısır tanelerinin atdışi mısır tanelerine göre daha fazla protein bozulmasının olduğunu belirlemişlerdir. Şişme, çözünürlük ve ilk filizlenme sıcaklığı değişkenlerinin kurutma şartlarını etkilediğini belirlemişlerdir.

Johnson ve ark. (1998) bir muz çeşidi olan Plantain (Musa AAB)'in hava kurutma karakteristikleri ile ilgili çalışmalarında, bir sıcak hava kurutucusu ile çeşitli kalınlıklardaki Plantain silindir parçalarını, farklı hava sıcaklıklarında kurutma davranışlarını, büzülme ve nem dağılımını incelemişlerdir. Sonuç olarak hava sıcaklığının görünüş metodoloji etkisi ve kuruma oranlarındaki parçaların kalınlığını bulmuşlardır. Sıcak havanın kurutma davranışında en büyük etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Plantain'in hava kurutması için hareket enerjisinin 38.81 kJ/(g.mol) olarak hesaplamışlardır. Kurutma süresince büzülen parçaların hacim ve boyutlarındaki değişiklikleri izleyerek hacimdeki değişiklikleri bir çekirdek kurutma modeli ile çok iyi tanımlarken boyutlardaki değişiklikleri doğrusal nem içeriği ile tanımlamışlardır. Fick'in yayılım denklemini kullanarak kurutma süresince Plantain parçaları içindeki nemin yayılımını engellemek için kullanmışlardır. Bu model ile yiyecek parçalarındaki ortalama nem içeriğinden çok, yerel nem içeriklerine karar vermek için kullanarak yiyeceklerin çürümesinin hassaslığını tam olarak tahmin etmişlerdir.

Szöke ve Persoons (1999) buğdayın kurutulmasında yeni bir model geliştirmeye çalışmışlardır. Kurutma çalışmalarında küçük depoları kullanmışlardır. Denemelerde yedi farklı model deneyerek ürünler nem kaybederken modeller arasındaki farklılıkları belirlemişlerdir. Bu farklılıklara göre yeni bir model geliştirmişlerdir. Aynı çalışmalarını arpa ve bezelye üzerinde de uygulamışlardır.

Boudhrioua ve ark. (2001) Muzun kurutulması süresince yapısındaki değişikliklere olgunluk ve hava sıcaklığının etkisi ile ilgili çalışmalarında, sıcak hava kurutma süreci süresince muz dilimlerinin reolojik özelliklerini karakterize etmeyi amaçlamışlardır. Kurutulmuş muzdaki önemli değişiklik, depolama süresince oda sıcaklığı ve havadaki nem oranında reolojik özelliklerinin olgunluk derecesine etkisi olarak gözlemlenmiştir. Bu çalışma, muzun sert meyve kabuğundaki şeker içeriği ile meyve olgunluk derecesi arasında belirlenen kabuk (s) ve kabuk rengi (a) parametrelerine karar vermeyi mümkün kılmıştır. Depolama süresince birbirleriyle orantılı olmayan s ve a bağlantılarıdır. Glikoz içeriği ile güvenli nem içeriği değerleri çoğu kez tüketimden kaçınmak için aralarında uygunluk sağlamıştır. Reolojik özelliklerdeki değişiklikler deneyler süresince penetrometre ile baştan sona izlenmiştir. Bu çalışma sonucunda muz dilimlerinin 80 °C de kurutulması 4, 6 ya da 8 saatten sonra muz meyvelerinde radikal bir değişiklik meydana getirdiğini, muzun bozulabilirlik ve ani kırılabilirlik

özelliklerinin kaybolduğunu belirlemişlerdir. Muz dilimlerinin termik ve termodinamik özelliklerinin analizleri sonucunda muzun kuruduktan sonra soğuma geçiş sıcaklığında ani değişikliği gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Maskan ve ark. (2001a) üzüm pestillerinin sıcak hava ve güneşle kurutulması ile ilgili çalışmalarında, geleneksel teknikler kullanılarak kaynatılan üzüm suyu ve nişasta karışımı hazırlamışlardır. Pestillerin kurutulmasını sıcak hava ve güneş kurutması yöntemleri ile yapmışlardır. Sıcak hava kurutmasında hava sıcaklığı (55 °C, 65 °C ve 75 °C), örnek kalınlığı ($S_1=0.71$ mm, $S_2=1.53$ mm $S_3=2.20$ mm ve $S_4=2.86$ mm) ve hava hızı ($V_1= 0.86$ m/s $V_2=1.27$ m/s ve $V_3=1.82$ m/s) olarak belirlemişlerdir (Şekil 3). Pestilin kurutma süresince kuruma zamanın, sıcaklık ve dilim kalınlığının, nem içeriğinin önemli ($P<0.05$) iken hava hızının önemli olmadığını tespit etmişlerdir. Sıcak hava ile kurutmada pestil (0.12 kg H₂O/kg DS)'in ticari nemi için örnekteki kalınlık ve hava sıcaklık derecesine bağlı olarak kuruma zamanını 50–140 dakika olduğunu tespit ederlerken, güneş ile kurutmada 180–1500 dakika olduğunu tespit etmişlerdir. Tüm örnekleri değişik periyot oranlarında güneş kurutmasının S_1 , S_2 , S_3 ve S_4 oranları hariç 55 °C de kurutmuşlardır. Etkin yayılma değerini Fick'in yayılım modelinden almışlardır. Bu değerler sıcak hava kurutması için $3.00-37.6 \times 10^{-11}$ m²/s güneş kurutması için $1.93-9.16 \times 10^{-11}$ m²/s arasındadır. Su yayılımının hareket enerjisi değerini bir Arrhenius tipi denklem kullanarak hesaplamışlardır. Bulunan değerler S_1 , S_2 , S_3 ve S_4 için sırasıyla 10.3, 12, 16.5 ve 21.7 kJ/mol'dür.

Maskan ve ark. (2001b) üzüm suyu ve pestilinin renk değişiminde yoğunlaşma ve kurutma sürecinin etkisi ile ilgili bir diğer çalışmalarında, pestil örneklerini pişirme, kurutma ve üzüm suyu kaynama sürecinde, Hunter renk parametrelerini araştırmışlardır. Üzüm suyunun kaynama sürecinde en iyi renk değişimlerinin meydana geldiğini bularak Hunter a değerinin değiştiğini tespit etmişlerdir. Renk değişimi ile birleşmiş tepkiyi sıfır-sonrası tepki hareketleri izlemiştir. Sabit tepki oranının sıcaklık bağımlılığını bir Arrhenius-tipi denklem ile tanımlamışlardır.

Arinze ve ark. (2002a) düşük sıcaklıklarda arpanın kurutulmasında kontrol stratejisi geliştirmişlerdir. İnce tabaka kurutucu kullanarak arpanın kuruma değerlerini bilgisayar simülasyon modeli ile sunmuşlardır.

Arinze ve ark. (2002b) bir ticari ot kurutma makinasının deneysel değerlendirilmesi ve en iyi şekilde kullanılması ile kurutucu işlevsel performansı,

üretim kalitesi ve kurutmanın ekonomik analizleri ile ilgili çalışmalarında, hava ısıtmalı yığın ot kurutucununun otomatik bir balya vagonu ile çalıştırmanın mühendislik tasarımını işlevsel performansını üretim kalitesini ve doğal bir yakıtın ekonomik analizini araştırmışlardır. Otomatik balya vagonunu yığın ot kurutma kurutucularının yüklemeli ve yüklemesiz yığınları için kullanmışlardır. Yenilenerek geliştirilmiş bir yığın ot kurutucusunun üçgen çatı biçimindeki bir yapıda iki benzer kurutma ünitesine ve her kurutma ünitesi için büyük bir aksiyal akıntıya sahip olduğunu ve bunu sağlayan fan güçlerinin yaklaşık 450 m³/dak hava basıncı değerinde olduğunu belirlemişlerdir. Balyaları küçük dikdörtgen biçiminde bir yapıda 22–31 t (en fazla beş yığın) kapasiteli delikli geniş bir metal ızgara zeminine koyarak üst çerçeve sınırını polyethylene perdeler ile sarmışlar ve dikey kenarlar ot yığınlarının bir sonu olarak kullanmışlardır. Ot yığınlarını %25–40 ilk nem içeriği ve %12–15 son nem içeriği için ortalama 45 ± 5°C'lik hava sıcaklığında 17–37 h kurutmuşlardır. Kuruma kapasitesinin 1.0 t/h, yakıt tüketiminin 26 m³/t, enerji tüketimi için ise 4790 kJ/kg su buharlaştırıldığını tespit etmişlerdir. Kurutucu tarafından kurutulan otun yüksek kaliteli çekici yeşil bir renge sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Arinze ve ark. (2002c) bir ticari ot kurutma makinasının deneysel değerlendirilmesi ve en iyi şekilde kullanılması ile ilgili ikinci çalışmalarında, daha önceki çalışma testlerinin sonuçlarından yararlanarak yeni bir hava ısıtmalı yığın ot kurutma makinası tasarlamışlar, kurutma makinası için geçerli bir bilgisayar programını kullanmışlardır. Kurutma makinaları için çeşitli konumlarda ölçülmüş uygun sıcaklıkları bilgisayara aktarmışlar ve kopyalanan program ile otun çeşitli ilk nem içerikleri, hava akıntı oranı, kurutma hava sıcaklığı, ot yığın ağırlığı ve yığın ebadı için kurutma zamanını bulmuşlardır.

Doymaz ve Pala (2002) kırmızıbiberin sıcak hava ile kurutma karakteristikleri ile ilgili çalışmalarında, farklı işlem ve hava kurutma şartları altında kırmızıbiberlerin kurutulmasının teorik ve deneysel bir çalışmasını sunmuşlardır. Değişik alkalın çözeltileri, etil alkol emülsiyonu (AEEO) ile önceden işlenip kurutulmaktadır. Kırmızıbiberlerin kurutulmasından önce hazırlanmış AEEO'nun etkisi için yapılmış hiç bir çalışma yoktur. Bu çalışma sonuçları önceden hazırlanmış biberlerin daha önce kurduğunu, L (Işıksız), +a (kırmızısız) ve b (sarısız), kimyasal işleme tabi tutulmamış ve kurutulmuş biberlerden daha değerli olduğunu göstermiştir. %2 etil alkol ve %5

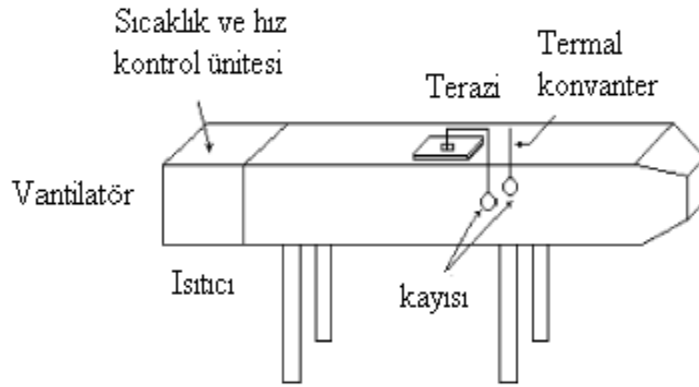
K_2CO_3 çözeltisi 50 °C de kurutulan balina biberleri için sağlanan en etkili sonuç ve en iyi renk kalitesinde ürün olmuştur. Parçalanmış biberlerin kuruyan kavisleri üstel denklem ve Page denklemi kullanılarak elde edilmiştir. Her iki denklemin R^2 değerleri karşılaştırılarak üstel denklemden daha iyi kurutma karakteristiklerini hazırlayan denklemin Page denklemi olduğu sonucuna varmışlardır.

Kamışlı (2002) sert buğdaydan yapılmış bulguru tepsili kurutucuda kurutmuştur. Çalışmasında sert buğdaydan yapılmış bulguru tepsili kurutucuda farklı hava hızlarında ve sıcaklıklarında kurutarak bulgurun kuruma dinamiğini incelemiştir. Kurutmada kullanılan hava hızının ve sıcaklığının kuruma hızı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deneysel verilere uyan matematiksel modelin logaritmik model olduğu sonucuna varmıştır. Bulgur için önerilen logaritmik kurutma modeline ait kuruma sabiti ve kurumaya tabi tutulan madde sabitlerini bulmuştur. Önerilen kurutma modeli ile deneysel verilerin uyum içerisinde olduğunu gözlemleyerek, araştırmada çalışılan hava hızının (0.29–1.70 m/s) kuruma hızı üzerinde etkisi yok denecek kadar az olduğunu belirlemiştir. Kuruma hızının hava hızıyla (çalışılan aralıkta) hissedilmeyecek derecede artarken, sıcaklığa büyük oranda bağlı olduğunu gözlemlemiştir. Özellikle kurumanın başlangıcında yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark arttıkça kuruma hızının arttığını belirlemiştir.

Tang ve Sokhansanj (2002) mercimek tohumlarında kurutma ile meydana gelen geometrik değişiklikleri incelemişlerdir. Bir ince tabaka kurutucu ile mercimek tanelerini %40 nemden %4 neme, 70 °C'den 30 °C'ye kadar farklı sıcaklıklarda kurutmuşlardır. Yoğunlukölçer ile mercimek tanelerinin hacmini, elektron mikroskop ile dış yapılarını incelemişlerdir. Nemin azalması ile geometrik farklılıkları kaydetmişlerdir. Nemin %20'den %5'e düştüğü zaman mercimek tohumlarının hacminin %17 ile %12 arasında azaldığını tespit etmişlerdir. Porozitenin ise 5.5'den 2.6'ya düştüğünü tespit etmişlerdir.

Toğrul ve Pehlivan (2002) kayısının kurutma parametrelerinin modellenmesi ile ilgili çalışmalarında, kayısının kuruma davranışını, kuru bir odada sıcak havanın akıntı yönüne tutarak belirlemişlerdir (Şekil 2). Deneylerde hava sıcaklıklarını 50 °C, 60 °C, 70 °C ve 80°C akıntı oranlarını ise 0.2 m/s, 0.5 m/s, 1.0 m/s ve 1.5 m/s olarak kullanmışlardır. Literatürde verilen 14 farklı tek tabaka kuruma modellerini kullanarak yeni bir model geliştirmişlerdir. Bütün modeller içinde logaritmik modeli kayısıların

kuruma davranışını açıklamak için en iyi model olarak tespit etmişlerdir. Kuruma hava akıntı oranlarının ve modellerinin içeriği ile sıcaklıkların etkilerini, yaptıkları analizler ile belirlemişlerdir. Yeni model ile hazırlanan tek kayısı kurutma hareketlerinde %99.9 doğruluk oranını bulmuşlardır. Çeşitli yenilenen analizler ile yayılım katsayısının hava akım oranları ve iç sıcaklığa bağlı olarak %97.3 doğruluk oranına ulaştığını tespit etmişlerdir. Bu testlerin sonucunda logaritmik modellerin kararlılığının sürekli olduğunu belirlemişlerdir.



Şekil 2. Kayısı Kurutma Denei Düzeneyinin Şematik Görünüşü

Bruce (2003) arpa kurutmada üç model uygulamıştır. Çalışmasında 50 °C 'den 150 °C' ye kadar on bir farklı hava sıcaklığını denemiştir. Örnek ağırlıklarını ve yüzey sıcaklıklarını kaydetmiştir. Newton modeli ile kurutma oranlarında hava sıcaklığının etkisini belirlemiş, fakat kuruma eğrilerini uygun şekilde belirleyememiştir. Page modeli ile kurutma eğrilerini daha iyi belirlemiştir. Fick'in difüzyon modeli ile ise kurutma eğrilerini en iyi şekilde belirlemiştir.

Brusewitz (2003) kurutma, karıştırma ve depolama süresince mısır nem değişkenliği ile ilgili çalışmasında, bir ürün yığını içindeki nem dağılımının eşit olmamasının onun depolanabilirliğini etkilediğini belirlemiştir. Bağımsız değişkenleri hesaplayarak kullanmış, bağımsız değişkenleri karışım nemi ve mısır kuruma süresi olarak belirlemiştir. Karıştırılmış mısırın karıştırılmamış mısırdan daha iyi nem değişkeni olduğunu bulmuş ve farklılığı 24 gün depolama süresince göz önüne almamıştır.

Chandra ve Sodha (2003) işlenmemiş tarımsal ürünlerin kurutma karakteristikleri ile ilgili çalışmalarında, bazı işlenmemiş tarımsal ürünlerin (buğday, çeltik, mısır ve bezelye) kurutma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Yüzeysel kurutma oranları için basit değişkenler elde etmişlerdir. Bu değişkenlerin ürünlerin ilk nem içeriğinin fonksiyonları, kurutma hava sıcaklığı, hava akımı ve yığın miktarı olduklarını tespit etmişlerdir. Yığın yatağı ve hava hızı etkisinin yüzeysel kurutmada sadece sınırsal bir değer olduğunu bulmuşlardır.

Doymaz ve Pala (2003) mısırın ince tabaka kurutma karakteristikleri ile ilgili çalışmalarında, mısır için kurutma oranlarında etil oleatın etkisini bir deney hava kurutucusunda incelemişlerdir. Mısırı muamele edilmeksizin ya da etil oleat çözeltisine daldırılarak kontrollü kurutma koşullarında hava ile kurutmuşlardır. Çoğu durumda %2 etil oleat ve %4 potasyum karbonat çözeltisine daldırıldıktan sonra mısır çekirdeğinin kurutma hızında artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Hunter renk ölçüm parametrelerini renk değişiklik miktarı için ölçmüşler, daha kısa süre ve en kaliteli kurutmayı etil oleat çözeltisine mısır tanelerinin daldırarak elde etmişlerdir. Tek üslü denklem ve Page denklemlerini ince tabaka kurutma karakteristiklerini belirlemek için kullanmışlardır. İki denkleminde deneysel bilgiler için çok uygun olduğunu belirleyerek Page denkleminin ince tabaka mısır kurutma için tek üslü denklemden daha uygun olduğunu bulmuşlardır. Yayılım etkisi sırasıyla 55–75°C de kimyasal işleme tutulmamış mısır için 9.488×10^{-11} – 1.768×10^{-10} m²/s kimyasal işleme tutulmamış örnek için 1.424×10^{-10} – 2.716×10^{-10} m²/s olarak belirlemişlerdir. Kimyasal işleme tutulmamış mısır için ise 29.56 kJ/kg mol ve 30.56 kJ/kg mol olarak belirlemişlerdir.

Ghaly ve Sutherland (2003) soya fasulyelerinin ısıtılmış hava ile kurutmasının kalite görünüşleri ile ilgili çalışmalarında, 300 g soya fasulyesi tohumu örneğini %14.6 ve %18'lik nem içeriği koşullarında 0.03 kg/s'deki hava akım oranı ile 4 saat kurutmuşlardır. Kurutma sıcaklıkları olarak 40 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C, 65 °C, 70 °C ve 80 °C kullanmışlardır. Tohum filizlenmesi ve tohumlanma gücünün açıkça sıcak hava akışının diğerlerinden daha duyarlı tek kriter olmadığını belirlemişlerdir. 55 °C, 60 °C ve 65 °C hava sıcaklıklarının güvenli kurutma için sırasıyla %14, %16 ve %18'lik nem içeriklerini belirlemişlerdir. Perokside değeri, 50 °C üzerindeki sıcaklıklarda biraz artış gösterirken, oda sıcaklığındaki akıcılık filizlenmeyi etkilemediğini 50–80 °C'lik beyazlatma ısısından sonra ham yağın rengi, 40 °C'lik çok koyu bir renk verirken, ilk

halinden daha soluk bir hale geldiğini tespit etmişlerdir. Soya fasulyelerini ayçiçeği ve kolza tohumları için karşılaştırılarak kuruması için logaritmik kuruma modelini değişik kurumlara uyarlamışlardır. Kurutucu bilgisayar programının soya fasulyeleri için uygulanabilir olduğunu, etkili tohum kalitesinin önemli olmadığı kurutmalarda yüksek bir hava giriş sıcaklığı ile kurutmanın avantajlı olduğunu belirlemişlerdir.

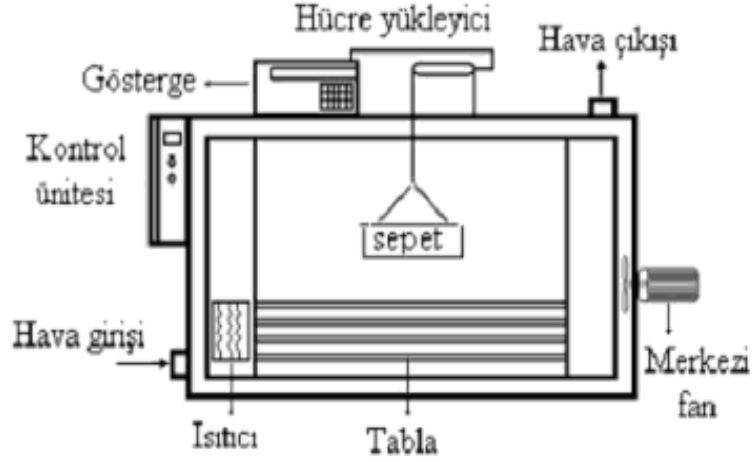
Lewicki ve Jakubczyk (2003) kurutulmuş elmaların mekanik özelliklerinde sıcak havanın etkisi ile ilgili çalışmalarında, elmaları dilimlere bölmüşler ve sonra 50–80 °C oranındaki sıcaklıklarda kurutmuşlardır. Mekanik özellikleri kuvvet-deformasyon test yöntemini kullanarak belirlemişlerdir. Kurutulmuş elmaların 50 °C, 60 °C ve 70 °C de kuvvet-deformasyon eğrileri arasındaki farklılıkları belirlemişlerdir.

Sutherland ve Ghaly (2003) yağ tohumlarının (ayçiçeği ve kolza) ısıtılmış hava ile kurutulması ile ilgili çalışmalarında, kurutucu tasarımı için ihtiyaç duyulan parametreler olan kuruma oranları ve hava akıntısı dirençlerini ölçmüşlerdir. Bazı sıcaklık testlerini karşılaştırma için uygulamışlardır. Kalite değerlendirmesinde, çekilmiş yağın peroksit değerini, asit yağı içerisinde ve tohumun filizlenmesindeki kurutma durumlarının etkisini de esas almışlardır. Yağın rengini bir fotometrik metot kullanarak sıcaklık ile beyazlatma testinden önce ve sonra ölçmüşlerdir. Kalite sonuçları göstermiştir ki filizlenme, kritik bir kurutma havası ve tohum sıcaklığı ile etkilidir. Ayçiçeği tohumları için güvenli kurutma hava sıcaklıkları sırasıyla % 12, % 14 ve % 16 nem içeriği için 55 °C, 60 °C ve 65 °C olarak belirlemişlerdir. Kolza tohumu için 60 °C'lik bir giriş hava sıcaklığı her ilk nem içeriği için filizlenmenin kaybolmasına sebep olmuştur.

Akosman ve Kalender (2004) soya fasulyesinin kuruma karakteristiğini tepsili kurutucuda incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarında laboratuvar tipi bir tepsili kurutucu kullanılarak soya fasulyesini 30–50 °C aralığındaki değişik sıcaklıklarda ve değişik hava akış hızlarında (0.5, 1.0 ve 1.5 m/s) kurutmuşlardır. Tüm katı örnekleri için kuruma hızının sıcaklık ve hava akış hızı ile arttığını belirlemişlerdir. Yüksek sıcaklıklarda katı neminin denge nemine çok kısa sürede ulaştığını gözlemişlerdir. Deneysel verileri kararsız hal difüzyon eşitliğinin çözümlenmesi ile analiz etmişlerdir.

Doymaz (2004a) bamyanın kurutma karakteristikleri ve hareketleri ile ilgili çalışmada, bamyanın hava kurutma karakteristiklerini, 50–70°C sıcaklık oranı için bir laboratuvar ölçeği ile sıcak hava kurutmasını araştırmış ve havadaki nem oranını % 8–

25 olarak belirlemiştir (Şekil 3). Sonuçlar düşen oran periyodunda yer alan kurumayı göstermiştir. Bamyadan nem transferini Fick'in yayılım modelini kullanarak tanımlamış ve etkili yayılım hesaplamıştır. İki matematiksel modeli (Page ve numune üst modelleri) literatürdeki mevcut bilgileri deneysel bilgi için uygulamıştır. Bu iki modelin performansını incelemiş ve karşılaştırmıştır. Page modelinin bamyanın tek kuru tabakasını tarif etmek için en iyi sonuçları verdiğini belirlemiştir.



Şekil 3. Bamyaya Kurutma Deneysel Düzeninin Şematik Görünüşü

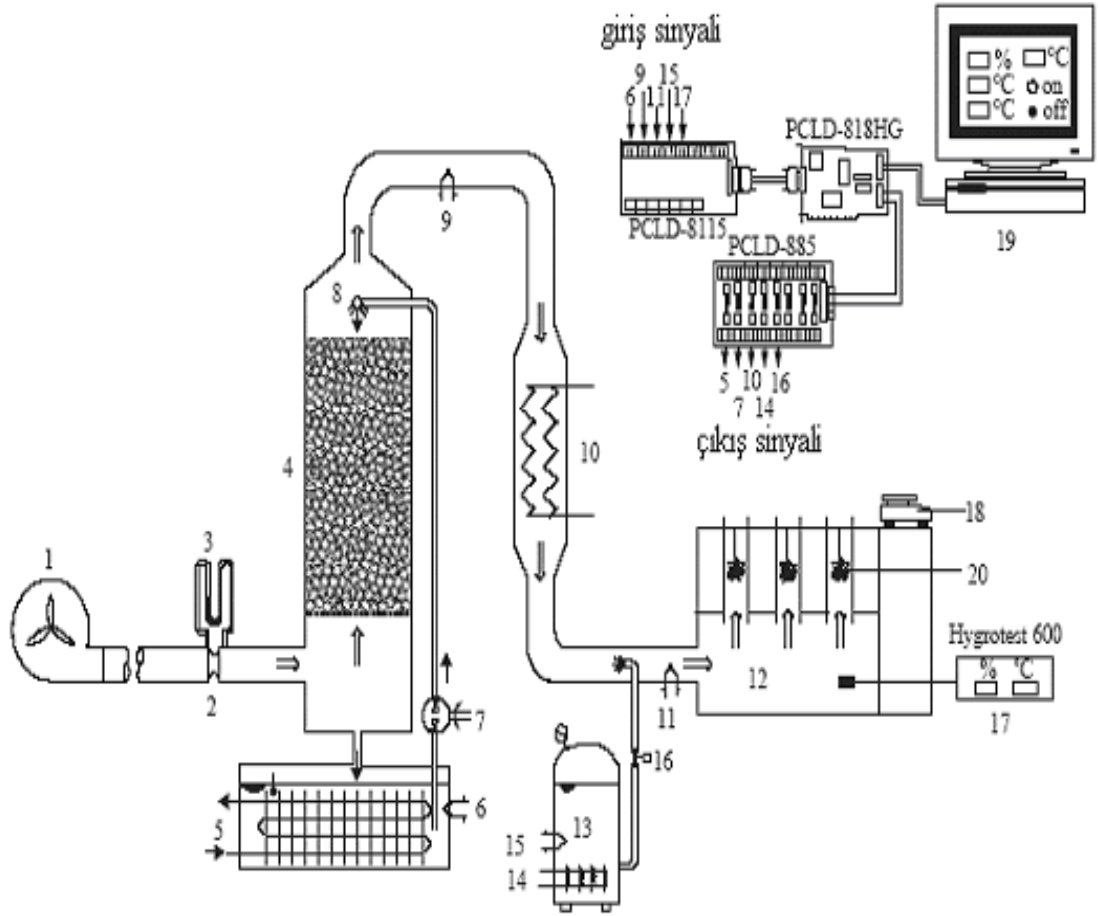
Doymaz (2004b) yeşil fasulyelerin kuruma davranışları ile ilgili çalışmasında, Türkiye İskenderun'da yetişen yeşil fasulyenin matematiksel modelini ve ince tabaka kuruma deneylerini sunmuştur. Yeşil fasulyenin kurutma karakteristikleri 50–70°C sıcaklık oranında sıcak hava kullanılarak 90.53 ± 0.5 'den 14 ± 0.3 'e ortalama nem içeriği için incelemiştir. Artan hava sıcaklığının daha kısa kuruma zamanına sebep olduğu sonucuna varmıştır. Deneysel kurutma eğrilerini yarı teorik modeller ile oluşturmuştur (Handerson, Pabis, Lewis ve Page modelleri). Page modelinin diğerlerinden daha iyi kurutma karakteristiklerini gösterdiği sonucuna varmıştır. Nem transferinin etkin yayılım katsayısı sıcaklık oranı üzerinde $2.641 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ den $5.711 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ 'ye değiştiğini, nem yayılım için hareket enerjisinin 35.43 kJ/mol olduğunu bulmuştur.

Madamba ve Yabes (2004) işlenmemiş pirinç için uygun geçici kurutma şartlarının belirlenmesi ile ilgili çalışmalarında, üç seviye kullanarak uygun kurutma bağlantısının belirlenmesi amaçlamışlar ve üç seviyeyi kısımlara ayırarak hava sıcaklığı

(X_1), hava hızı (X_2) ve tavlama süresi (X_3) yüksek öğütme işlemi (MR), yüksek oranda pirinç (HRR), kısa kurutma süresi (DT), yüksek tohum sertliği (H), yüksek çimlenme oranı (GR), yüksek beyazlık derecesi (W) ve tohum kırılma oranı (CGR) olarak belirlemişlerdir. Geçici kurutma, sıcak hava ile kurutma süreci sırasında işlenmemiş pirincin tavlanamaya çalışılmasıdır. Çalışma yapılırken 35°C den 55°C 'ye değişik hava sıcaklıklarını kullanmışlar, %95 önem seviyesindeki hava hızı H'yi etkilerken tavlama süresini DT etkilemediğini belirlemişlerdir. İşlenmemiş pirinç için geçici kurutmada uygun kurutma sıcaklığı 45 °C ve tavlama süresi 2 saat olarak belirlemişlerdir.

Pinheiro ve Peça (2004) Akdeniz iklim koşulları altında yulaf ve burçak için bir kurutma modeli oluşturarak yulaf ve burçak kurutmuşlardır. Kurutma sürecinde kurutmaya en büyük etkiyi hava şartlarının yaptığını belirlemişlerdir. Özellikle rüzgar hızı ve hava buhar basıncının da en önemli etkenler olduğunu tespit etmişlerdir.

Demir ve ark. (2004) hava ile kurutulan defne yaprağının bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi ve matematiksel modeli ile ilgili çalışmalarında, defne yapraklarını 40 °C, 50 °C ve 60 °C hava sıcaklığında kurutmuşlar ve sıcak hava ile kurutmada meydana gelen kalitenin farkı önemli olsun olmasın, açık hava sahasında görmek için gölge ve güneş altında havadaki nem ile ilişkisini % 5, % 10, % 15 olarak belirlemişlerdir. Sıcak hava ile kurutma testleri süresince hava akış hızını 1.5 m/s de tutmuşlar ve örnekleri hava akıntısı yönüne paralel tutulan yaprakların yüzeyi olarak kuruyan kanallarda asmışlardır. Örneklerin nem içerik değişikliklerini ortaya çıkarmak için yapraklardaki ağırlık kaybını sabit aralıklarla kayıt etmişlerdir. Kuruma oranı ile iyi bilinen beş model hava sıcaklığının bir işlevi olarak ve hem sıcaklık hem de havadaki neme bağlı olarak uygunluk için test etmişlerdir. Bununla birlikte, renkte ve defne yaprağının gerekli yağ miktarında kurutma şartlarının etkilerini belirlemek için yapmışlardır. Farklı durumlar altında, kurutulan yaprakları ve taze yaprakları karşılaştırmışlardır. Bütün kurutma modelleri arasında Page modelini defne yapraklarının konveksiyon yöntemi ile kurutmanın hareketlerini tarif etmek için tatmin edici bulmuşlar, 60 °C hava sıcaklığında kuruyan defne yapraklarında ortaya çıkan kalite kaybının önemli olmadığı sonucuna varmışlardır. Deney düzeneği Şekil 4' de gösterilmiştir.



Şekil 4. Havayla Defne Yaprığı Kurutma Düzenine Şematik Görünüşü: 1) merkezi fan; 2) ağız plakası; 3) diferansiyel manometre; 4) soğutma ve dolun tankı; 5) soğuk su tankı ve evaporatör; 6, 9, 11 ve 15) konverter (T tip); 7) pompa; 8) soğuk su göstergesi; 10) elektrikli ısıtıcı; 12) karıştırıcı ve hava kanalları; 13) buhar tankı; 14) elektrikli su ısıtıcı; 16) valf; 17) ısı sensörü; 18) terazi; 19) bilgisayar; 20) ürün

Giner ve Gely (2005) ayçiçeği tohumlarının kurutma ve depolama parametrelerini belirlemişlerdir. Ayçiçeği tohumlarının mikrobiyal bozulma ve yağ asitleşmelerine karşı analiz ve ölçümleri yapmışlardır. Çalışmalarında Halsey denklemi ve Othmer modelini kullanmışlardır.

Mohapatra ve Rao (2005) kavrulmuş buğdayın ince tabaka kurutma modelini oluşturmuşlardır. Teorik ve deneysel modelleri kullanarak 40 °C ve 50 °C sıcaklıklar için buğdayın ince tabaka kurutma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Kurutma süresince nem difüzyon etkisinin önemli ölçüde kurutma periyodunu azalttığını

belirlemişlerdir. Bu difüzyonun 1.218×10^{-10} ile 2.861×10^{-10} m²/s arasında değiştiğini bulmuşlardır. Kurutma süresince nem difüzyonu için hareket enerjisinin 37.013 kJ/g mol K olarak hesaplamışlardır.

Özler ve ark. (2005) mısırdaki farklı ön işlemlerin kuruma hızına etkisini araştırmışlardır. Tokat ve çevre illerde mevcut olan hasat sonrası kurutma ve depolama problemleri ve benzeri nedenlerden dolayı mısır tarımı, sınırlı ölçüde yapılmaktadır. Bu çalışmada, Tokat yöresinde yetiştirilen mısırların farklı kurutma ortamlarını ve ön işleme tekniklerini kullanmak suretiyle, mısırdaki kuruma hızına etkisini belirleyerek ve kurutma süresini azaltarak mevcut problemlere çözüm getirmeye çalışmışlardır. Denemelerde atdışi mısır, sert mısır ve şeker mısır olmak üzere üç mısır tipi kullanmışlardır. Mısır tanelerini % 2 etil oleat, % 4 potasyum karbonat, % 2 sodyum hidroksit çözeltilerinden bir tanesine 1 dakika süreyle bandırdıktan sonra laboratuvar tipi kurutucuda kurutmuşlardır. Kurutucuda hava sıcaklığını ortalama 49.3 °C ve hava bağıl nemini % 21.5 tutarak kontrollü olarak denemeleri yürütmüşlerdir. Atdışi mısır ve şeker mısır örneklerinde kuruma hızı üzerine en etkili kimyasalın % 2 sodyum hidroksit olduğunu belirlemişlerdir. Sert mısırdaki ise kurutucuda yapılan kurutma denemelerinde ön işlem yapmanın pratik olmayacağı sonucuna varmışlardır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

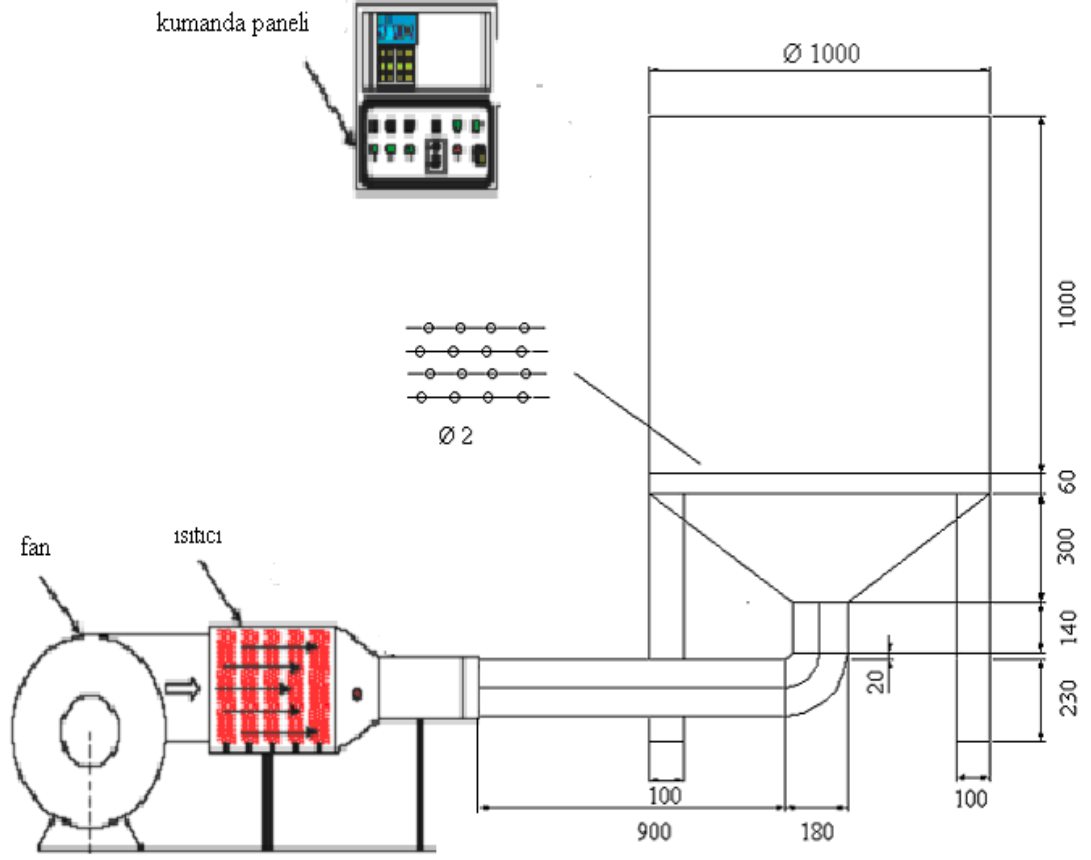
2.1. Materyal

Çalışmada materyal olarak Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde 2005 yılında üretilen Ada-523 atdışı mısır (*Zea mays indentata* Sturt.) kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Denemelerde Kullanılan Ada-523 Atdışı Mısır Örneği

Mısırın kurutma denemeleri, tasarımı ve imalatı Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde yapılan "laboratuar tipi sıcak hava kurutma düzeneği" nde gerçekleştirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Laboratuvar Tipi Sıcak Hava Kurutma Düzenegi Genel Görünüşü

Düzenekte bir adet fan, ısıtıcı, depo, iletim boruları, karıştırıcı ve kumanda paneli bulunmaktadır. Kurutucunun depo kapasitesi 700 kg mısır alacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Kurutma Düzeneği Deposu

Kurutma deposunun içindeki ürünlerin eşit bir şekilde kurutulmasını sağlamak amacıyla bir adet karıştırıcı eklenmiştir. Karıştırıcıyı çalıştıran elektrik motorunun gücü 0.75 kW'dır (Şekil 8).



Şekil 8. Karıştırıcı Elektrik Motoru

Sistemde 1.5 kW gücünde 9 adet serpantinli rezistanslardan oluşmuş bir ısıtıcı ve bu ısıtıcıya ek olarak 1.5 kW gücünde 3 adet serpantinli rezistanslardan oluşmuş ikinci bir ısıtıcı kullanılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Serpantin Rezistanslı Isıtıcılar

Sistemde 5.5 kW gücünde elektrik motora sahip radyal tipte bir adet fan kullanılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Radyal Tip Fan

Karıştırıcı devrini ayarlamak amacıyla Siemens marka 2.2 kW 'lık bir elektronik varyatörden yararlanılmıştır. Enerji değerlerinin okunabilmesi amacıyla Kaan marka bir adet dijital tri-faze elektrik sayacı kullanılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Tri-Faze Elektrik Sayacı ve Elektronik Varyatör

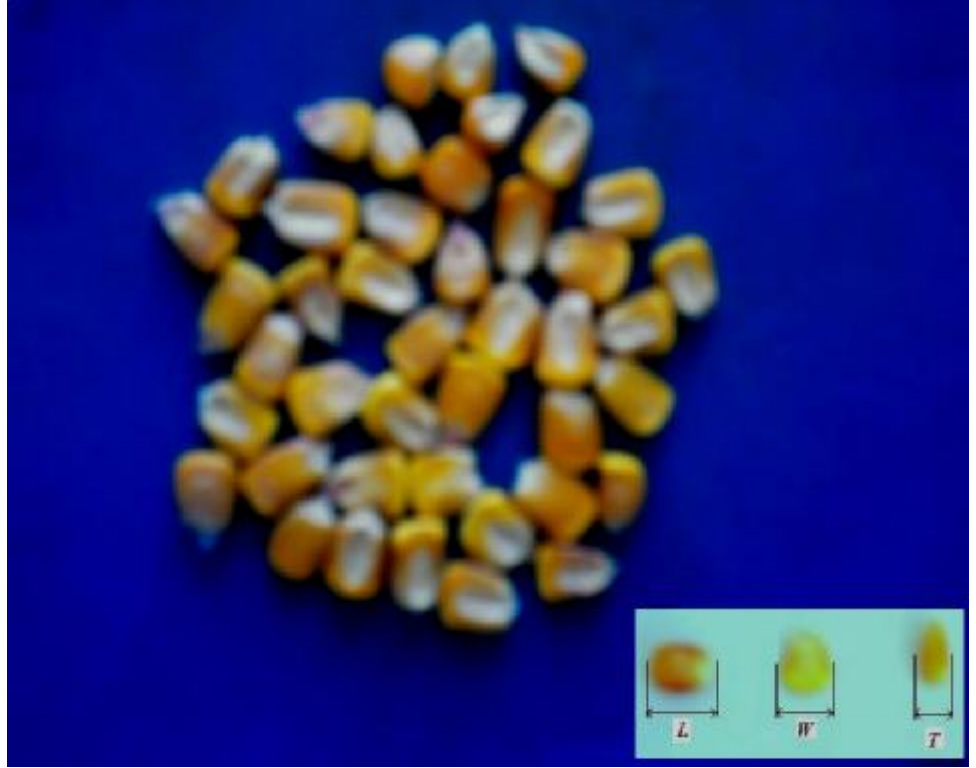
Denemelerde bir adet % 0.01 hassasiyetteki dijital nem ölçer (Pfeuffer HE 50, Almanya), üç adet termometre, bir adet kronometre (Huger), bir adet 0.1 m/s hassasiyete sahip bir dijital anemometre (Thies clima), bir adet devir ölçer (Shimpo), bir adet higrometre ve bir adet terazi kullanılmıştır.

2.2.Yöntem

2.2.1. Mısırın Başlangıç ve Sonuç Nemlerine Bağlı Olarak Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerini Belirleme Yöntemleri

Tanelerin nem içeriği % 0.01 hassasiyetteki dijital nem ölçer (Pfeuffer HE 50) ile belirlenmiştir.

Tohumların boyutlarını belirlemek için, uzunluk (L), genişlik (W) ve kalınlık (T) 0.01 mm hassasiyetindeki dijital kumpas (Minolta) kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 12).



Şekil 12. Mısır Tanelerinin Geometrik Boyutları, Uzunluk (L), Genişlik (W) ve Kalınlık (T)

Tanelerin aritmetik çapı (D_a) ve geometrik çapı (D_g) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Mohsenin, 1970; Ünal, Işık, Alpsöy, 2006).

$$D_a = (L + W + T) / 3 \quad (1)$$

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad (2)$$

Küresellik ise,

$$f = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \quad (3)$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır (Mohsenin 1970).

1000 Tane ağırlığı 0,001g hassasiyetindeki elektronik teraziyle belirlenmiştir.

Ada-523 atdişi mısır tohumlarının yüzey alanı, geometrik ortalama çapa bağlı olarak, (A_s) aşağıdaki eşitlik kullanılarak, hesaplanmıştır. (Olajide ve Ade-Omewaye 1999).

$$A_s = \rho D_g^2 \quad (4)$$

Mısır tanelerinin görüntü alanları (A_p), dijital kamara (Creative DV CAM 316; 6.6 Mpixels) ile çekilmiş ve Global Lab Image 2-Streamline bilgisayar programı kullanılarak, ölçeği bilinen referans bir alan ile karşılaştırılarak belirlenmiştir (Işık ve Güler 2003).

Mısır tohumlarının yığın ağırlığı, Singh ve Goswami (1996) ve Gupta ve Das (1997) tarafından bildirilen standart test ağırlık işlemi kullanılarak (500 ml hacimdeki bir kaba 150 mm yükseklikte doldurularak) belirlenmiştir.

Ortalama özgül ağırlık, yer değiştirme yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Toluen doldurulmuş ölçekli kap içerisine belirli miktarda mısır tohumu boşaltılmış ve özgül ağırlığı fazla olan mısır tohumları dibe çöktüğünden, kap içinde taşan toluen hacmi kayıt edilmiştir, elde edilen hacim değeri, ağırlığa oranlanarak özgül ağırlık belirlenmiştir. (Singh ve Goswami 1996).

Porozite aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Mohsenin 1970):

$$e = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) 100 \quad (5)$$

Eşitlikte ε porozite (%); ρ_b yığın ağırlığı (kg m^{-3}) ve ρ_t özgül ağırlık'tır (kg m^{-3}).

İki farklı nem içeriğindeki tohumların kritik hızları, materyalin hava akımında askıda kalma prensibine göre silindirik bir hava tüpü kullanarak Şekil 13'de görülen düzenekte ölçülmüştür (Ünal ve ark. 2006).



Şekil 13. Kritik Hız Ölçme Deney Düzeneği Görünüşü

Hava tüpü 18 mm çapındadır. Üfleyicinin girişine yerleştirilen ayarlanabilir bir vananın belirli aralıkta tutulması ile hava hızı ayarlanmıştır. Başlangıçta üfleyici çıkışı minimumda tutularak her çalışma için bir örnek silindirik hava tüpü içerisine bırakılmıştır. Hava akım oranı tanenin silindir tüp içerisinde havada asılı kalacak şekilde ayarlanmıştır. Hava akım oranı 0.1 m s^{-1} hassasiyete sahip bir dijital anemometre ile ölçülmüştür (Ünal ve ark. 2006).

Mısır tanelerinin sürtünme katsayıları 6 farklı yapısal malzemeye karşı (lastik, galvaniz, alüminyum, paslanmaz çelik, cam ve MDF), Şekil 14'de gösterilen deney düzeneğinde belirlenmiştir.



Şekil 14. Mısır Tanelerinin Yuvarlanma Açısı Belirleme Deneş Düzenegi Görünüşü

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.(Ünal ve ark. 2006).

Sürtünme katsayısı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$m = \tan a \quad (6)$$

Eşitlikte μ is sürtünme katsayısı; α yuvarlanma açısıdır.

Şekil 15’de gösterilen tanelerin kuvvet altındaki kırılma direnci, penetrometre kullanılarak belirlenmiştir (Bosch BS45 tester).



Şekil 15. Mısır Tanelerin Kuvvet Altındaki Kırılma Direnci Belirleme Deney Düzenegi GörünüŖü

2.2.2. Mısırın Sıcak Havayla Kurutulması Yöntemi

Denemeler karıştırcılı ve karıştırcısız olmak üzere iki grup olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda her bir deneme için 250 kg mısır kullanılarak 1 m/s hava hızı, 37 d/d karıştırcı devri ile çalışılmıştır. Hava sıcaklığı olarak, literatür bilgileri ışığında 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C ve ısıtılmamış hava seçilerek, kurutma denemeleri gerçekleştirilmiştir (Trelea ve ark. 1996).

Denemeler sırasında her 15 dakikada bir, tane nem, enerji tüketim ve zaman değerleri ölçülerek, analiz yapmak amacıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bu parametreler dışında, her denemenin sonunda kurutulan mısır tanelerinin çimlenme hız oranları ve çimlenme güç oranları da belirlenmiştir.

Mısırın sıcak havayla kurutmasında;

- a) Enerji tüketim değeri
- b) Ürün sıcaklığı
- c) Çalışma ortam sıcaklığı
- d) Ürünün kurutulduğu sıcaklık
- e) Ürün ve ortam nemi
- f) Karıştırıcı devri
- g) Kurutucu hazneye hava giriş ve çıkış hızları
- h) Depo içerisindeki ürün yüksekliği
- i) Kurutulacak ürün ağırlığı
- j) Kurutulmuş ürün ağırlığı gibi parametreler ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Araştırma sonuçları çizelge ve grafikler halinde verilmiştir. Denemeler karıştırıcılı ve karıştırıcısız olarak yapılmıştır.

3.1. Mısırın Başlangıç ve Sonuç Nemlerine Bağlı Olarak Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri

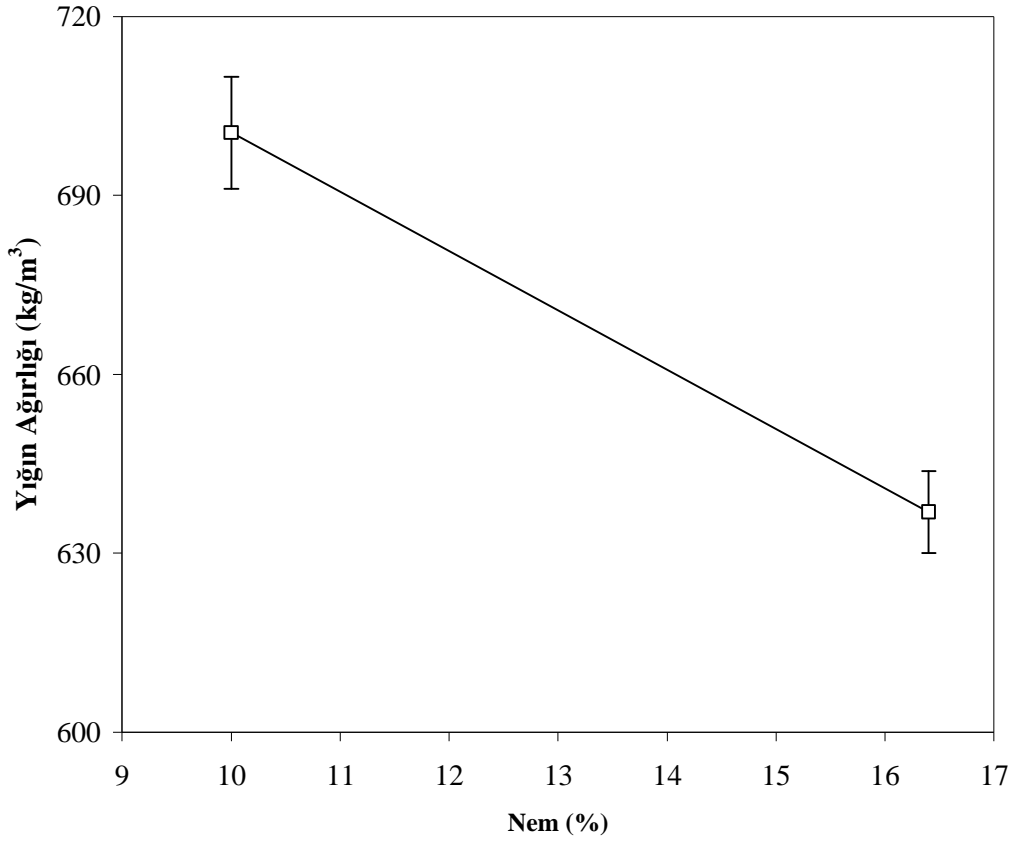
Denemelerde kullanılan başlangıç (% 16.4) ve son nemdeki (% 10) mısıra ait en, boy, kalınlık, yüzey alanı, küresellik, aritmetik ortalama çap, geometrik ortalama çap, 1000 Tane ağırlığı, kırılma direnci ve kritik hız değerleri Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Başlangıç ve Son Nem Değerlerinde Mısır Tanelerinin Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri

Parametreler	Nem Değeri (% y.b.)	
	10	16.4
	Fiziksel ve Mekaniksel Özellikler	
En (mm)	8.17±0.074	8.77±0.057
Boy (mm)	10.85±0.131	11.62±0.086
Kalınlık (mm)	4.48±0.088	4.94±0.076
Yüzey Alanı (mm ²)	169.742±2.452	186.955±2.413
Küresellik (%)	0.675±0.004	0.685±0.005
Aritmetik Ortalama Çap (mm)	7.84±0.06	8.22±0.060
Geometrik Ortalama Çap (mm)	7.35±0.05	7.72±0.060
1000 Tane Ağırlığı (g)	430.00±10.83	526.2±0.380
Kırılma Direnci (N)	100.76±3.215	83.68±2.431
Kritik Hız (m/s)	6.2± 0.190	5.5 ±0.874

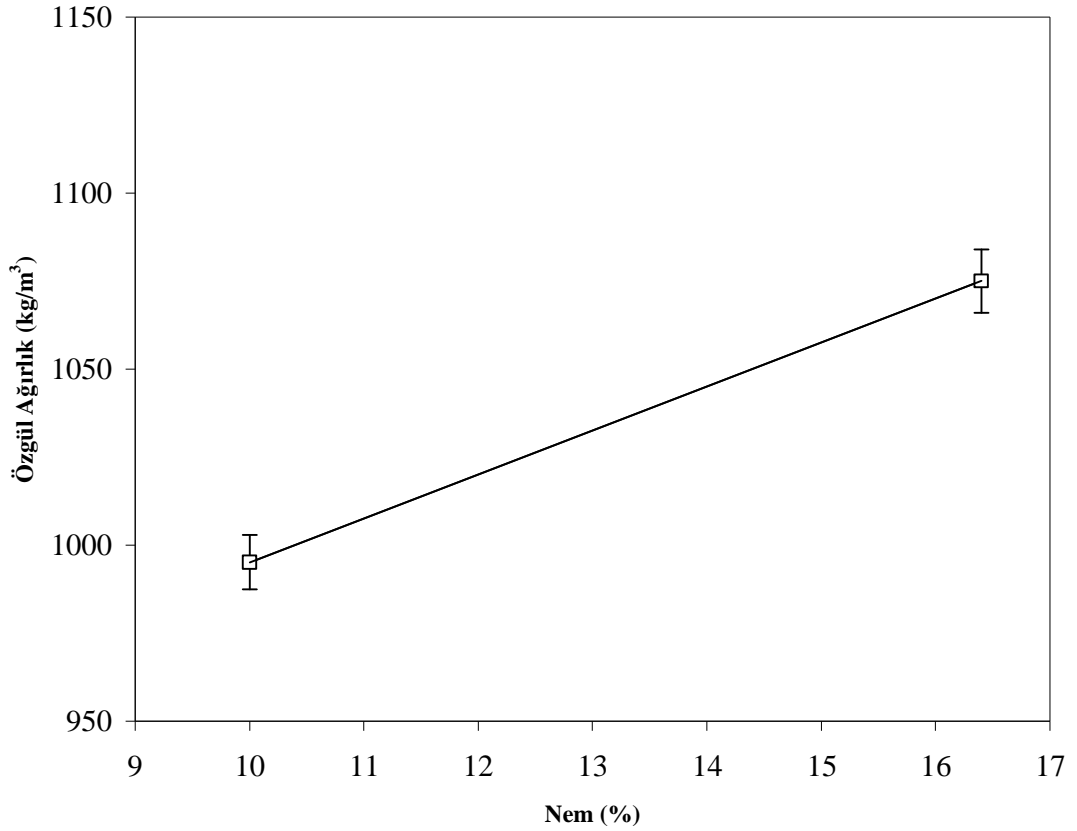
Çizelge 5 incelendiğinde, mısırdaki %10’dan %16.4 nem artışında %7.22, boyda %7.09, kalınlıkta ise %10.26 oranında bir artış görülmektedir. Bu artış oranları yüzey alanında %10.14 küresellikte %1.48, 1000 tane ağırlığında %22.3 olarak gerçekleşirken, kırılma direncinde %16.19 ve kritik hızda %11.29’luk bir azalış söz konusudur.

Şekil 16'da başlangıç nemi %16.4, son nemi %10 olan mısır tanelerine ilişkin nem-yığın ağırlığı arasındaki ilişki görülmektedir. Başlangıç nemindeki (%16.4) mısırların yığın ağırlığı 636.91 kg/m^3 iken son nemdeki (%10) mısırların yığın ağırlığı 700.5 kg/m^3 olmuştur.



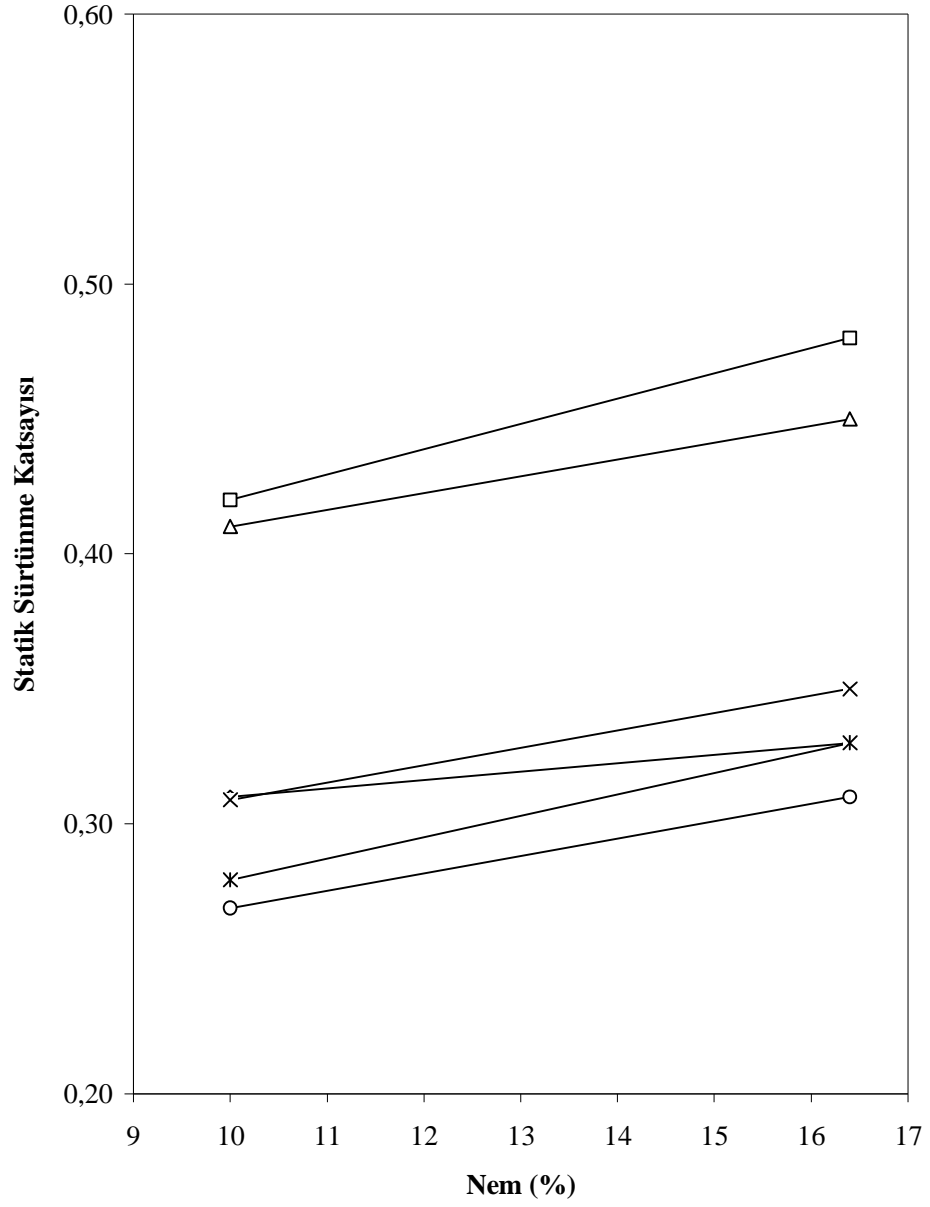
Şekil 16. Mısırdaki Nem İçeriğinin Yığın Ağırlığına Etkisi

Şekil 17'de başlangıç nemi %16.4, son nemi %10 olan mısır tanelerine ilişkin nem-özgül ağırlık arasındaki ilişki görülmektedir. Başlangıç nemindeki (%16.4) mısırların özgül ağırlığı 1075.05 kg/m^3 iken son nemdeki (%10) mısırların özgül ağırlığı 995.09 kg/m^3 olarak belirlenmiştir.



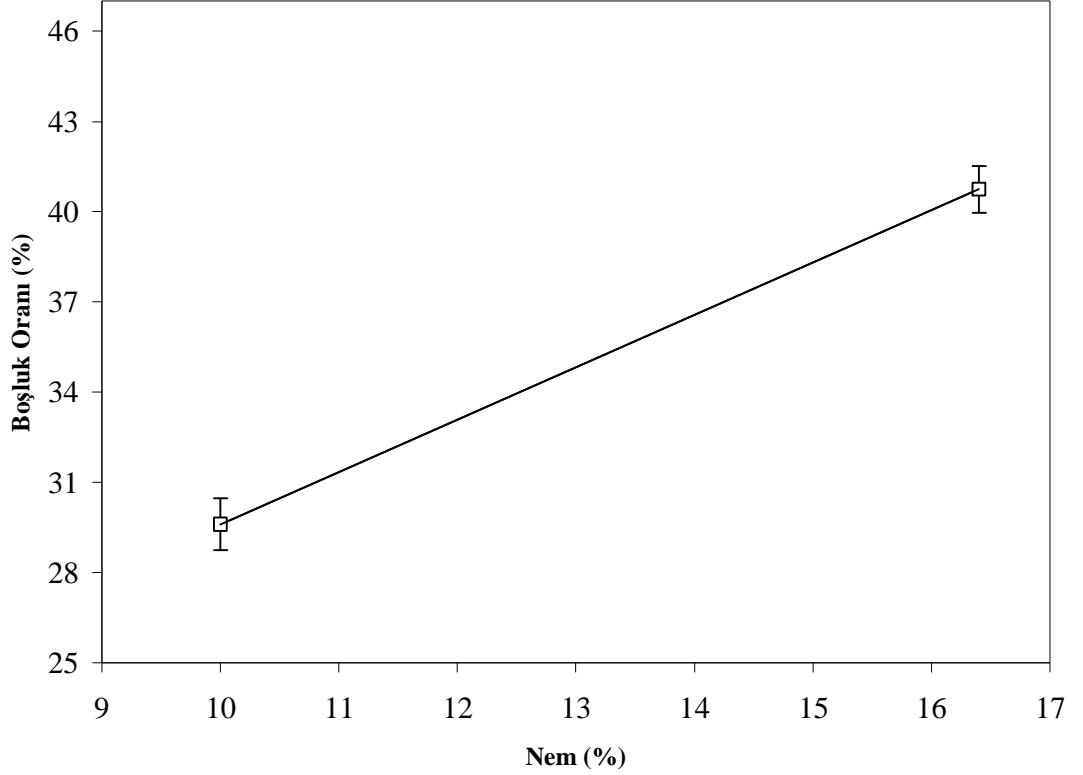
Şekil 17. Mısırdaki Nem İçeriğinin Özgül Ağırlığa Etkisi

Şekil 18’de başlangıç ve son neme bağlı olarak mısır tanelerine ilişkin nem-statik sürtünme katsayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Denemelerde kauçuk, paslanmaz çelik, alüminyum, mdf, cam ve galvanizli sac malzeme kullanılmıştır. Başlangıç nemindeki (%16.4) mısırların statik sürtünme katsayısı kauçuk malzemede 0.48 iken, çelik malzemede 0.33, alüminyum malzemede 0.45, cam malzemede 0.31, mdf malzemede 0.33 ve galvanizli sac malzemede 0.35 olurken, son nemdeki (%10) mısırların statik sürtünme katsayısı kauçuk malzemede 0.42 iken, çelik malzemede 0.31, alüminyum malzemede 0.41, cam malzemede 0.27, mdf malzemede 0.28 ve galvanizli sac malzemede 0.31 olarak saptanmıştır.



Şekil 18. Mısırdaki Nem İçeriğinin Statik Sürtünme Katsayısına Etkisi
 (Sürtünme yüzeyleri: (□)kauçuk; (x) galvanizli sac; (◇) paslanmaz çelik;
 (Δ) alüminyum; (*) mdf; (o) cam)

Şekil 19’da nem değerlerine bağlı olarak mısır tanelerine ilişkin nem-boşluk oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Başlangıç nemindeki (%16.4) mısırların boşluk oranı %40.74 iken son nemdeki (%10) mısırların boşluk oranı %29.6 olmuştur.



Şekil 19. Mısırdaki Nem İçeriğinin Boşluk Oranına Etkisi

3.2. Nem Zaman İlişkisi

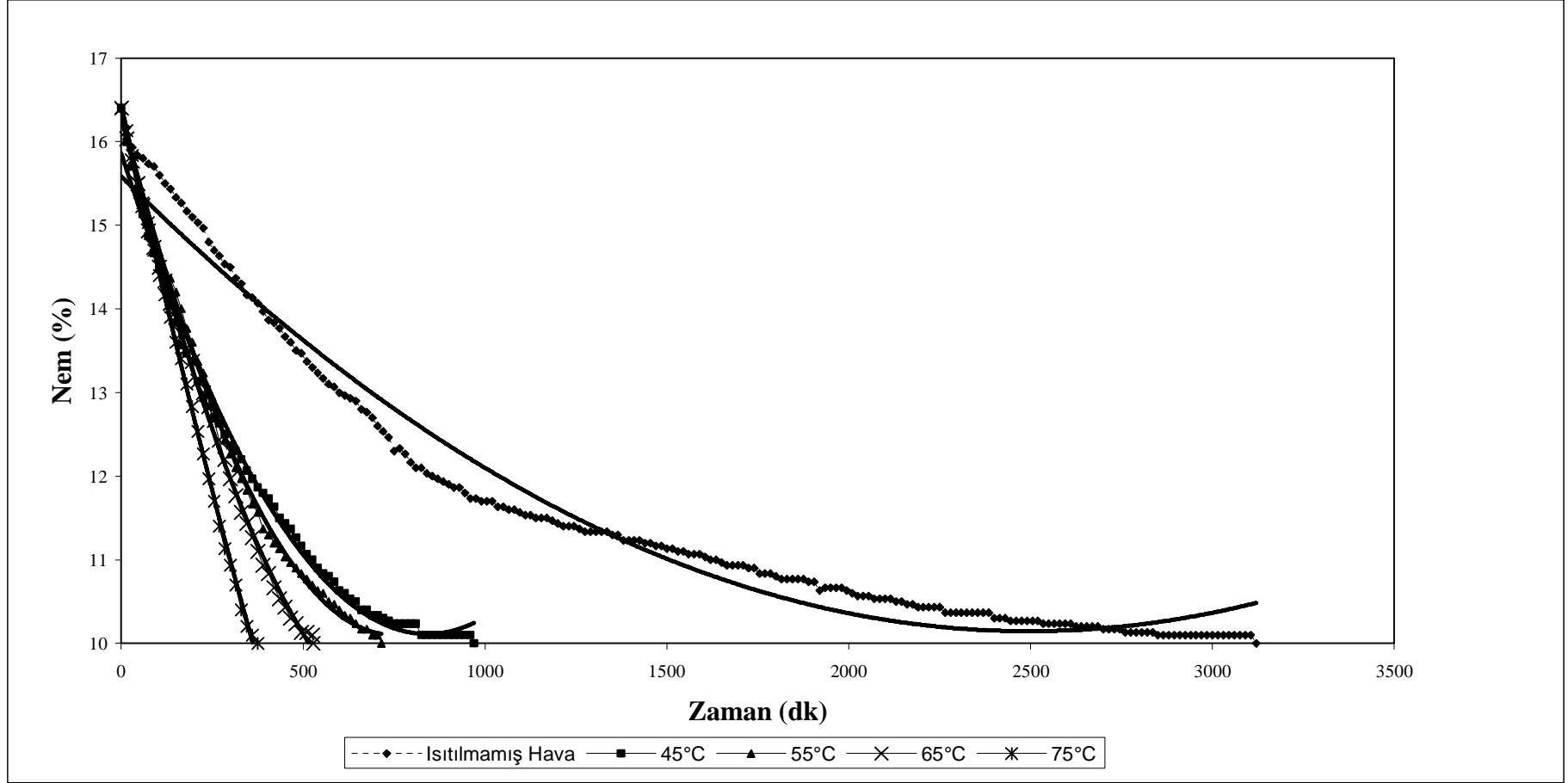
3.2.1. Beş Farklı Sıcak Hava İle Kurutmada Nem Zaman İlişkisi

Beş farklı sıcak hava ile kurutmada karıştırıcısız ve karıştırıcılı kurutulan mısırın nem zaman grafikleri Şekil 20 ve Şekil 21’de verilmiştir. Karıştırıcısız ve karıştırıcılı kurutulan %16.4 nemdeki ürünler, uygun depolama nemi olan %10 nem değerine kadar kurutulmuştur. Kurutma yöntemlerine bağlı olarak, toplam kurutma süreleri Çizelge 6’da verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, 75 °C de karıştırıcısız toplam kurutma süresinin 375 dakika, karıştırıcılı toplam kurutma süresinin ise 300 dakika olduğu görülmektedir.

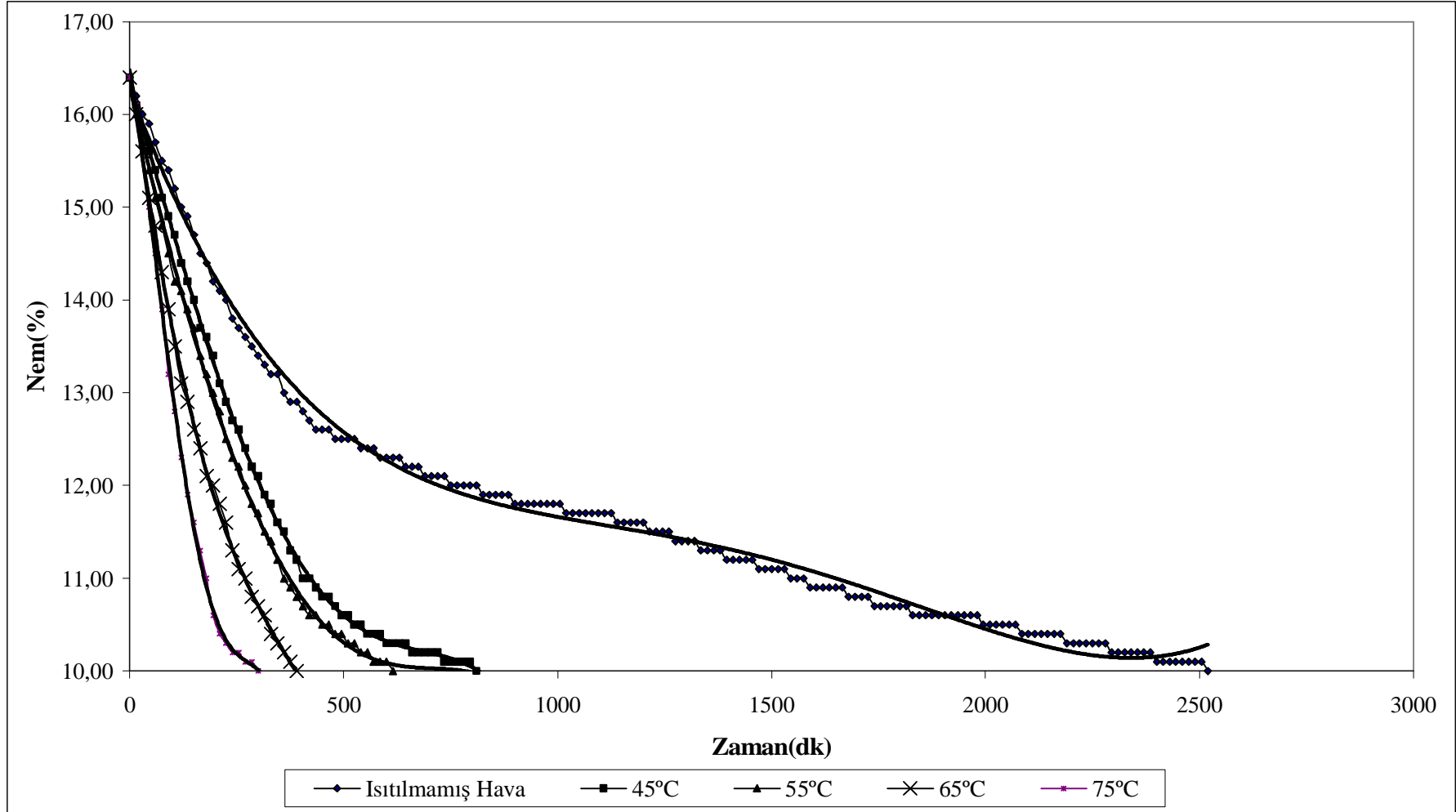
65 °C de karıştırıcısız toplam kurutma süresi 528.3 dakika, karıştırıcılı toplam kurutma süresi 390 dakikadır. 55 °C de karıştırıcısız toplam kurutma süresi 715 dakika, karıştırıcılı toplam kurutma süresi 450 dakikadır. 45 °C de karıştırıcısız toplam kurutma süresi 970, karıştırıcılı toplam kurutma süresi 810 dakikadır. Isıtılmamış hava ile karıştırıcısız toplam kurutma süresi 3120, karıştırıcılı toplam kurutma süresi 2520 dakikadır. Beş farklı sıcak hava ile kurutmada toplam kurutma sürelerine göre karıştırıcısız ve karıştırıcılı olarak en kısa süre 75 °C sıcaklık ile yapılan kurutmada gözlenirken en uzun kurutma süresi ısıtılmamış hava ile yapılan kurutmada gözlenmiştir.

Çizelge 6. Kurutma Yöntemlerine Bağlı Olarak Toplam Kuruma Süreleri (dakika)

Kurutma Yöntemi	Isıtılmamış	45 °C	55 °C	65°C	75 °C
Karıştırıcısız	3120	970	715	528.3	375
Karıştırıcılı	2520	810	450	390	300



Şekil 20. Karıştırıcısız Kurutmada Değişik Sıcaklıklardaki Kurutma Süreleri



Şekil 21. Karıştırıcı Kurutmada Değişik Sıcaklıklardaki Kurutma Süreleri

Karıştırıcısız nem zaman ilişkileri aşağıdaki eşitliklerle tanımlanabilir.

$$N_{\text{Isıtılmamış}} = 9.10^{-7}t^2 - 4,4.10^{-3}t + 15,559 \quad R^2 = 0.9733 \quad (7)$$

$$N_{45} = 8.10^{-6}t^2 - 1,37.10^{-2}t + 15,863 \quad R^2 = 0.9942 \quad (8)$$

$$N_{55} = 1.10^{-5}t^2 - 16,7.10^{-3}t + 16,325 \quad R^2 = 0.9986 \quad (9)$$

$$N_{65} = 1.10^{-5}t^2 - 17,5.10^{-3}t + 16,297 \quad R^2 = 0.9983 \quad (10)$$

$$N_{75} = 1.10^{-5}t^2 - 2.10^{-2}t + 16,442 \quad R^2 = 0.9989 \quad (11)$$

Karıştırıcılı nem zaman ilişkileri aşağıdaki eşitliklerle tanımlanabilir.

$$N_{\text{Isıtılmamış}} = 5.10^{-13}t^4 - 4.10^{-9}t^3 + 9.10^{-6}t^2 - 10,3.10^{-3}t + 16,021 \quad (12)$$

$$R^2 = 0,9875$$

$$N_{45} = 3.10^{-11}t^4 - 4.10^{-8}t^3 + 4.10^{-6}t^2 - 16.10^{-3}t + 16,343 \quad (13)$$

$$R^2 = 0,9996$$

$$N_{55} = 2.10^{-11}t^4 - 2.10^{-8}t^3 + 1.10^{-5}t^2 - 19,8.10^{-3}t + 16,291 \quad (14)$$

$$R^2 = 0,999$$

$$N_{65} = 4.10^{-11}t^4 - 2.10^{-8}t^3 + 6.10^{-5}t^2 - 33,5.10^{-3}t + 16,482 \quad (15)$$

$$R^2 = 0,999$$

$$N_{75} = 2.10^{-9}t^4 - 1.10^{-6}t^3 + 2.10^{-4}t^2 - 27,3.10^{-3}t + 16,479 \quad (16)$$

$$R^2 = 0,999$$

Kurutma sürelerini istatikselsel olarak incelediğimiz zaman Çizelge 7’de kurutma yöntemlerine bağlı olarak toplam kuruma sürelerine ilişkin varyans analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7. Kurutma Yöntemlerine Bağlı Olarak Toplam Kuruma Sürelerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları

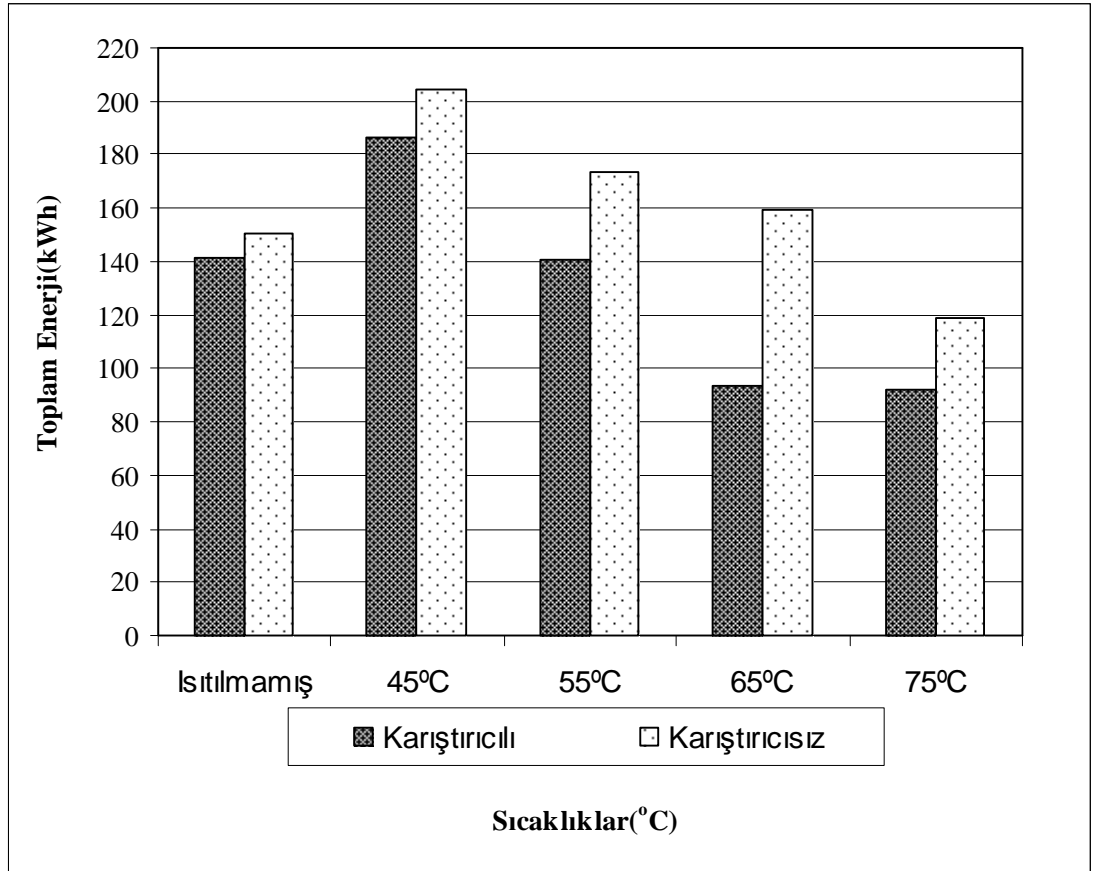
Sıcaklıklar	Toplam Süre (dakika)
Isıtılmamış	3120 ± (8.66) ^a
45°C	970 ± (84.10) ^b
55°C	715 ± (5.00) ^c
65°C	528.3 ± (11.70) ^d
75°C	375 ± (15.00) ^d

Yapılan varyans analizine göre %1 düzeyinde gruplar arasında fark bulunmuştur. Isıtılmamış havayla yapılan kurutmada kurutma süresinin en yüksek olduğu, 45°C, 55°C ve 65°C'deki kurutmada kurutma sürelerinin daha az olduğu, 75°C'deki kurutmada ise kurutma süresinin en az olduğu belirlenmiştir.

3.3. Enerji Tüketimi

3.3.1. Beş Farklı Sıcak Hava İle Kurutmada Enerji Tüketimi

Karıştırıcının kullanılmadığı ve kullanıldığı beş farklı sıcaklıktaki toplam enerji tüketim değerleri Şekil 22'de verilmiştir. Karıştırıcının kullanılmadığı beş farklı sıcaklık incelendiğinde, ısıtılmamış hava ile kurutmada 150.08 kWh, 45 °C kurutmada 203.99 kWh, 55 °C kurutmada 173.35 kWh, 65 °C kurutmada 159.13 kWh ve 75 °C kurutmada 118.79 kWh enerji tüketildiği belirlenmiştir. En fazla enerji 203.99 kWh ile 45 °C sıcaklıkta, en az enerji 118.79 kWh ile 75 °C sıcaklıkta elde edilmiştir. Karıştırıcının kullanıldığı 5 farklı sıcaklık incelendiğinde, ısıtılmamış hava ile kurutmada 141.42 kWh, 45 °C kurutmada 186.49 kWh, 55 °C kurutmada 140.34 kWh, 65 °C kurutmada 93.27 kWh ve 75 °C kurutmada 91.76 kWh enerji tüketildiği belirlenmiştir. En yüksek enerji tüketimi 186.49 kWh ile 45 °C sıcaklıkta, en az enerji tüketimi 91.76 kWh ile 75 °C sıcaklıkta elde edilmiştir.



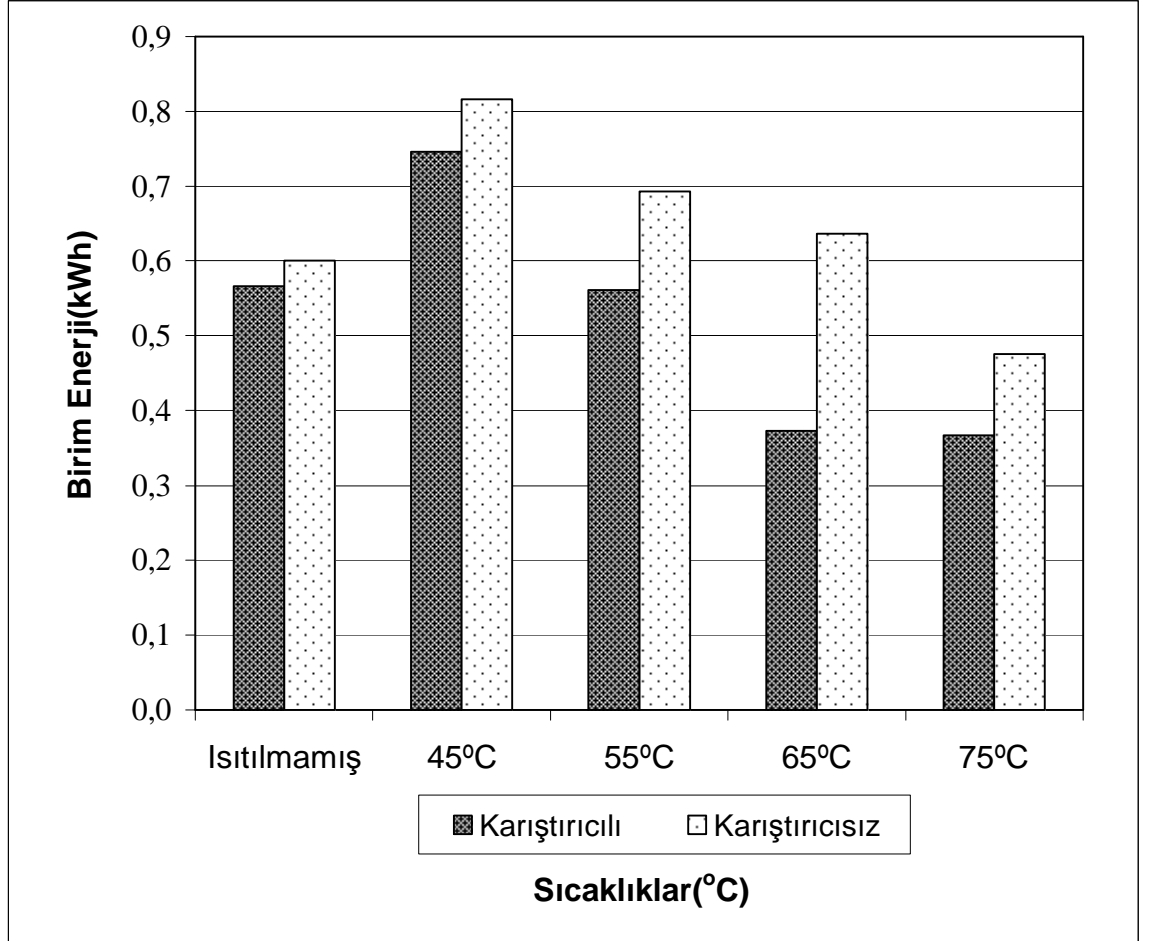
Şekil 22. Karıştırıcısız ve Karıştırıcılı Kurutmada Toplam Enerji Tüketim Değerleri

Çizelge 8' de karıştırıcısız kurutmada toplam enerji tüketimlerine ilişkin yapılan varyans analizi sonuçları gösterilmektedir. Yapılan varyans analizine göre %1 düzeyinde gruplar arasında fark bulunmuştur. 45°C ile kurutmada enerji tüketiminin en yüksek, 55°C, 65°C ve ısıtılmamış kurutmada daha az enerji tüketimi ortaya çıkmış, 75°C'de kurutmada ise enerji tüketiminin en az olduğu görülmüştür.

Çizelge 8. Karıştırıcısız kurutmada Toplam Enerji Tüketimlerine İlişkin Varyans Analizi Sonuçları

Sıcaklıklar	Toplam Enerji Tüketimi
45°C	203.99 ± (7.73) ^a
65°C	159.13 ± (3.44) ^b
55°C	173.35 ± (2.45) ^b
Isıtılmamış	150.08 ± (5.19) ^b
75°C	118.79 ± (3.66) ^c

Karıştırıcının kullanılmadığı ve kullanıldığı beş farklı sıcaklıktaki kurutmalardaki birim enerji tüketim değerleri Şekil 23’de verilmiştir.



Şekil 23. Karıştırıcısız ve Karıştırıcılı Kurutmada Birim Enerji Tüketim Değerleri

3.4. Çimlenme Oranları

3.4.1. Çimlenme Hızı

Şekil 24 ve 25’de altı farklı sıcaklıktaki karıştırıcısız ve karıştırıcılı kurutmalardaki çimlenme hızı oranlarına ait deney düzenekleri verilmiştir. Her bir sıcaklık örneği için 100 adet mısır tohumu çimlendirme kabında çimlendirilmiştir. Çimlenen tohumlar sayılarak çimlenme hız oranları belirlenmiştir.



A) 75 °C, B) 65 °C, C) 55 °C, D) 45 °C, E) Isıtılmamış, F) Kontrol

Şekil 24. Karıştırıcısız Kurutmada Çimlenme Hızı Deney Görünüşü



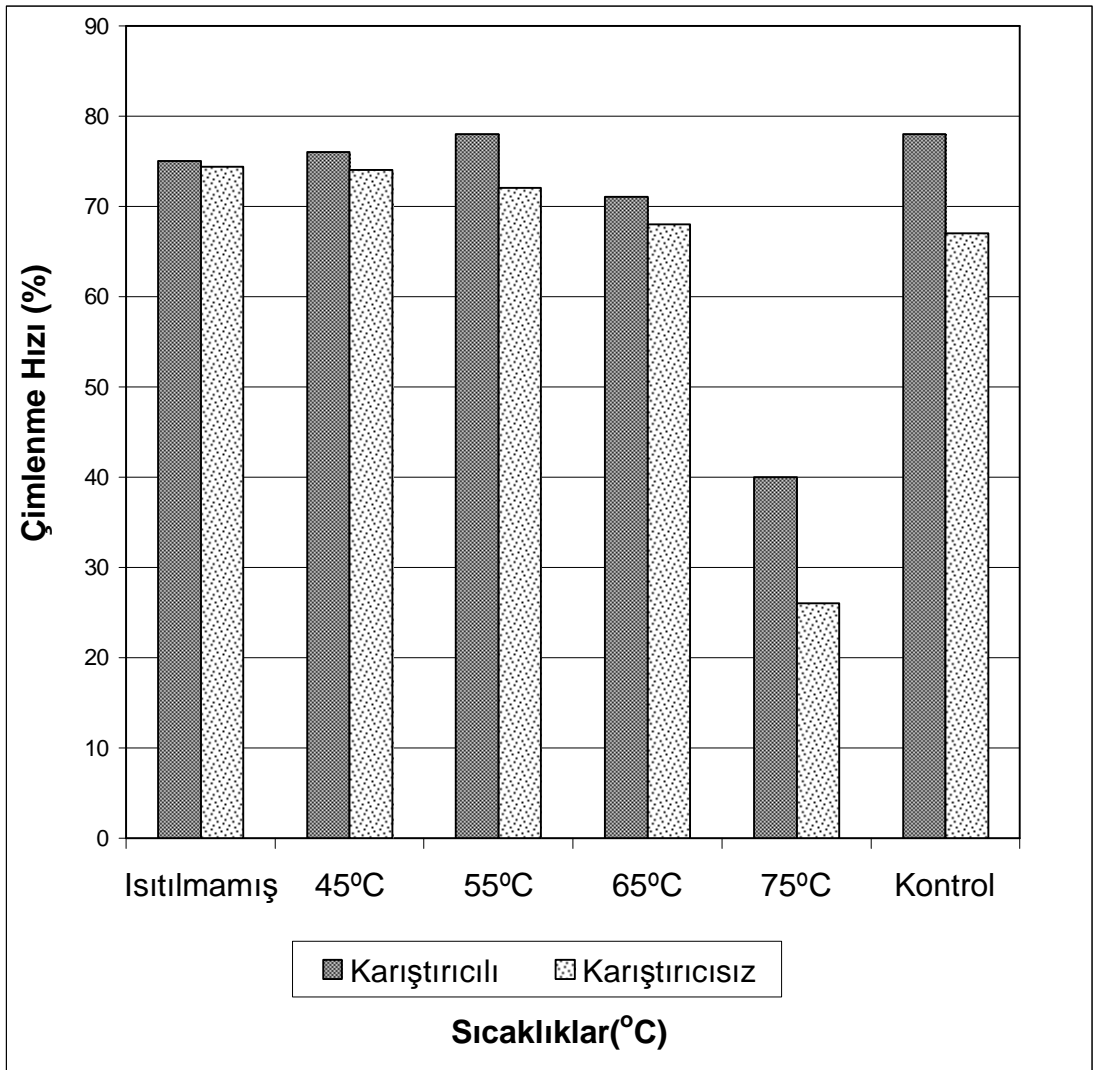
A) 75 °C, B) 65 °C, C) 55 °C, D) 45 °C, E) Isıtılmamış, F) Kontrol

Şekil 25. Karıştırıcılı Kurutmada Çimlenme Hızı Deney Görünüşü

Karıştırıcısız ve karıştırıcılı kurutmalarda beş farklı sıcaklıktaki çimlenme hızı oranları Şekil 26'da verilmiştir. Karıştırıcısız kurutulmuş mısırların çimlenme hızlarına göre ısıtılmamış hava ile çimlenme hızı %74, 45 °C sıcaklıkta çimlenme hızı %74, 55 °C sıcaklıkta çimlenme hızı % 72, 65 °C sıcaklıkta çimlenme hızı %68, 75 °C sıcaklıkta çimlenme hızı % 26 ve kurutulmamış mısırların çimlenme hızı %67 olmuştur. Çimlenme

hızı oranlarına göre en fazla % 74 ile ısıtılmamış hava ve 45 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olurken en az % 26 ile 75 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olmuştur.

Karıştırıcılı beş farklı sıcaklıktaki çimlenme hızı oranlarına göre ısıtılmamış hava ile kurutmada çimlenme hızı %75, 45 °C sıcaklıkta çimlenme hızı %76, 55 °C sıcaklıkta çimlenme hızı %78, 65 °C sıcaklıkta çimlenme hızı %71, 75 °C sıcaklıkta çimlenme hızı %40 ve kurutulmamış mısırın çimlenme hızı % 78 olmuştur. Çimlenme hızı oranlarına göre en fazla %78 ile 55 °C ve kontrol amaçla yapılan kurutulmamış mısırlar olurken en az %40 ile 75 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olmuştur.



Şekil 26. Karıştırıcısız ve Karıştırıcılı Altı Farklı Sıcaklıktaki Kurutmada Çimlenme Hızı Oranları

3.4.2. Çimlenme Gücü

Karıştırıcısız beş farklı sıcaklıktaki karıştırıcısız kurutmada çimlenme gücü deney görünüşü Şekil 27’de verilmiştir.



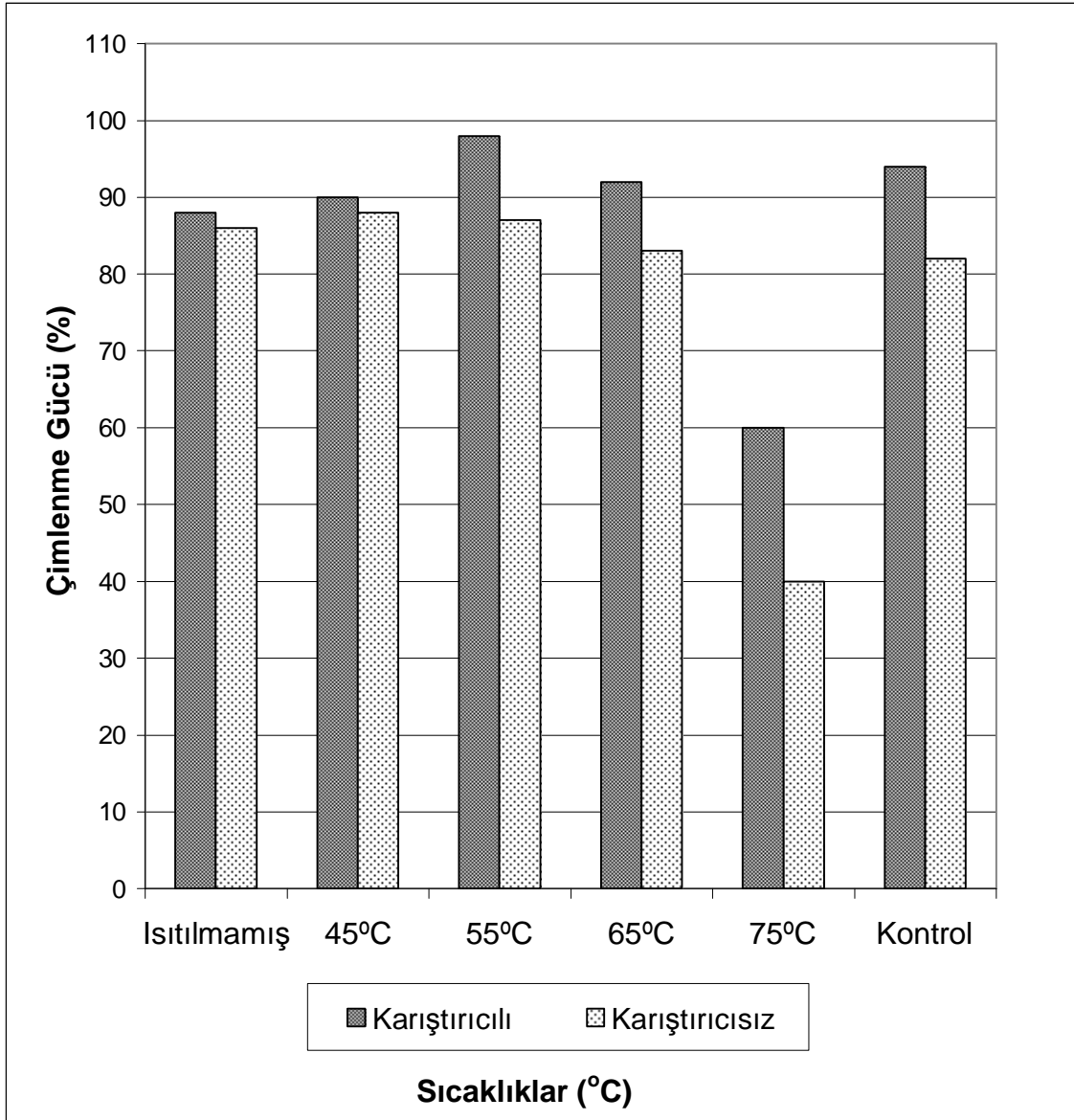
A) 75 °C, B) 65 °C, C) 55 °C, D) 45 °C, E) Isıtılmamış, F) Kontrol

Şekil 27. Karıştırıcısız Kurutmada Çimlenme Gücü Deney Görünüşü

Karıştırıcısız ve karıştırıcılı kurutmalarda beş farklı sıcaklıktaki çimlenme gücü oranları Şekil 28’de verilmiştir. Karıştırıcısız kurutmada, ısıtılmamış hava ile çimlenme çıkış gücü %86, 45 °C sıcaklıkta %88, 55 °C sıcaklıkta %87, 65 °C sıcaklıkta %83, 75 °C sıcaklıkta %40 ve kurutulmamış mısırın çimlenme çıkış gücü % 82 olmuştur. Çimlenme çıkış gücü oranlarına göre en fazla %88 ile 45 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olurken en az %40 ile 75 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olmuştur.

Karıştırıcılı kurutmada, ısıtılmamış hava ile çimlenme çıkış gücü %88, 45 °C sıcaklıkta %90, 55 °C sıcaklıkta %98, 65 °C sıcaklıkta %92, 75 °C sıcaklıkta %60 ve kurutulmamış mısırın çimlenme çıkış gücü %94 olmuştur. Çimlenme çıkış gücü

oranlarına göre en fazla %98 ile 55 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olurken en az %60 ile 75 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olmuştur.



Şekil 28. Karıştırıcısız ve Karıştırıcılı Altı Farklı Sıcaklıktaki Kurutmalarda Çimlenme Gücü Oranları

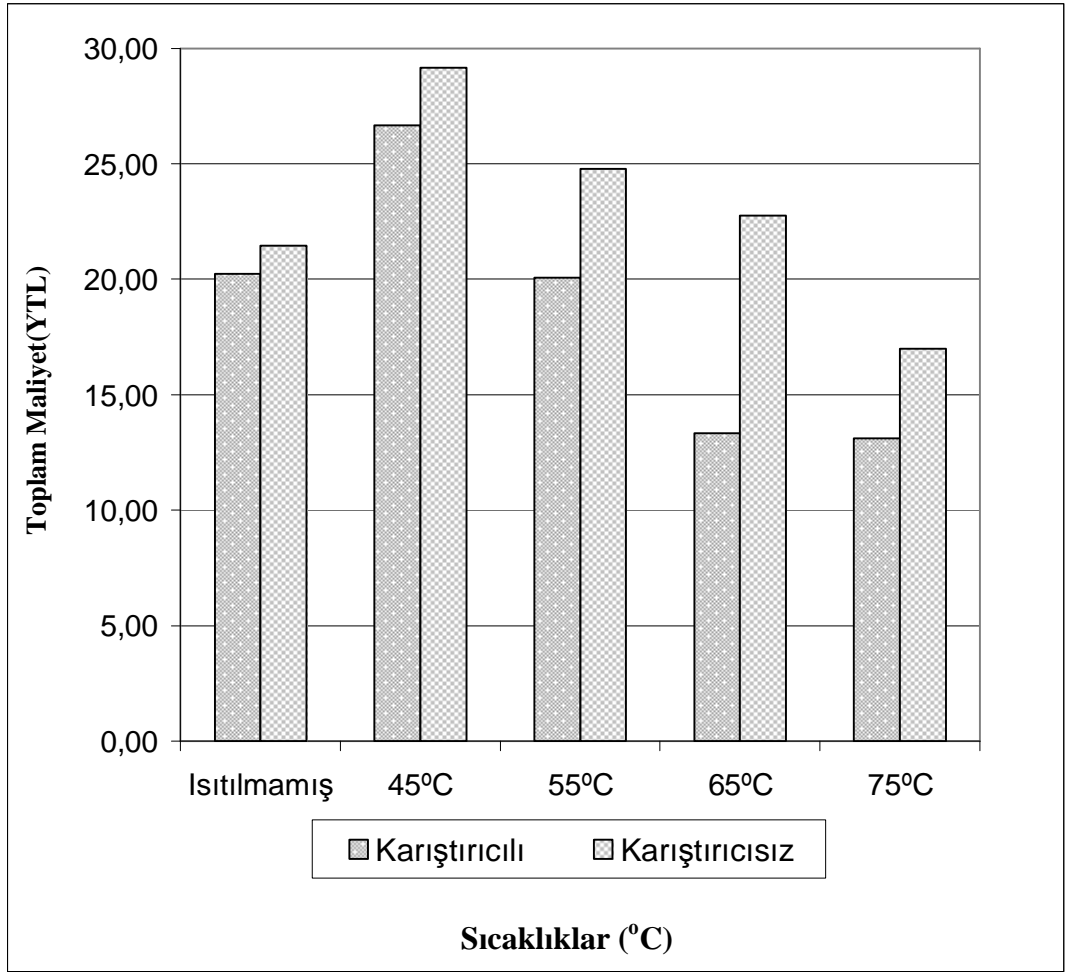
Çizelge 9' da karıştırıcısız kurutmada çimlenme çıkış hızı ve çıkış güçlerine ait varyans analiz sonuçları gösterilmektedir. Yapılan varyans analizine göre %1 düzeyinde gruplar arasında fark bulunmuştur.

Çizelge 9. Karıştırıcısız Kurutmada Çimlenme Hızı ve Güçlerine Ait Varyans Analiz Sonuçları

Sıcaklıklar	Çimlenme Hızı	Çimlenme Gücü
Kontrol	66.67±(5.81) ^a	82.33±(7.13) ^a
Isıtılmamış	74.33±(2.33) ^a	86.00±(3.06) ^a
45°C	74.33±(4.70) ^a	88.33±(3.38) ^a
55°C	72.00±(3.06) ^a	87.33±(2.03) ^a
65°C	68.33±(7.31) ^a	83.33±(5.46) ^a
75°C	26.33±(3.33) ^b	40.00±(2.52) ^b
p<0.01 Her bir sütunun istatistiği ayrı ayrı uygulanmıştır.		

3.5. Maliyetler

Karıştırıcısız ve karıştırıcılı kurutmalarda beş farklı sıcaklıktaki toplam enerji maliyetleri Şekil 29'da verilmiştir. Karıştırıcısız kurutmaya göre, ısıtılmamış hava kurutma maliyeti 21.46 YTL, 45 °C sıcaklıkta 29.17 YTL, 55 °C sıcaklıkta 24.79 YTL, 65 °C sıcaklıkta 22.75 YTL ve 75 °C sıcaklıkta 16.99 YTL olmuştur. Toplam maliyetlere göre en fazla 29.17 YTL ile 45 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olurken en az 16.99 YTL ile 75 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olmuştur. Karıştırıcılı kurutmaya göre, ısıtılmamış hava kurutma maliyeti 20.22 YTL, 45 °C sıcaklıkta 23.10 YTL, 55 °C sıcaklıkta 20.07 YTL, 65 °C sıcaklıkta 13.34 YTL ve 75 °C sıcaklıkta 13.12 YTL olmuştur. Toplam maliyetlere göre en fazla 26.67 YTL ile 45 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olurken en az 13.12 YTL ile 75 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olmuştur.



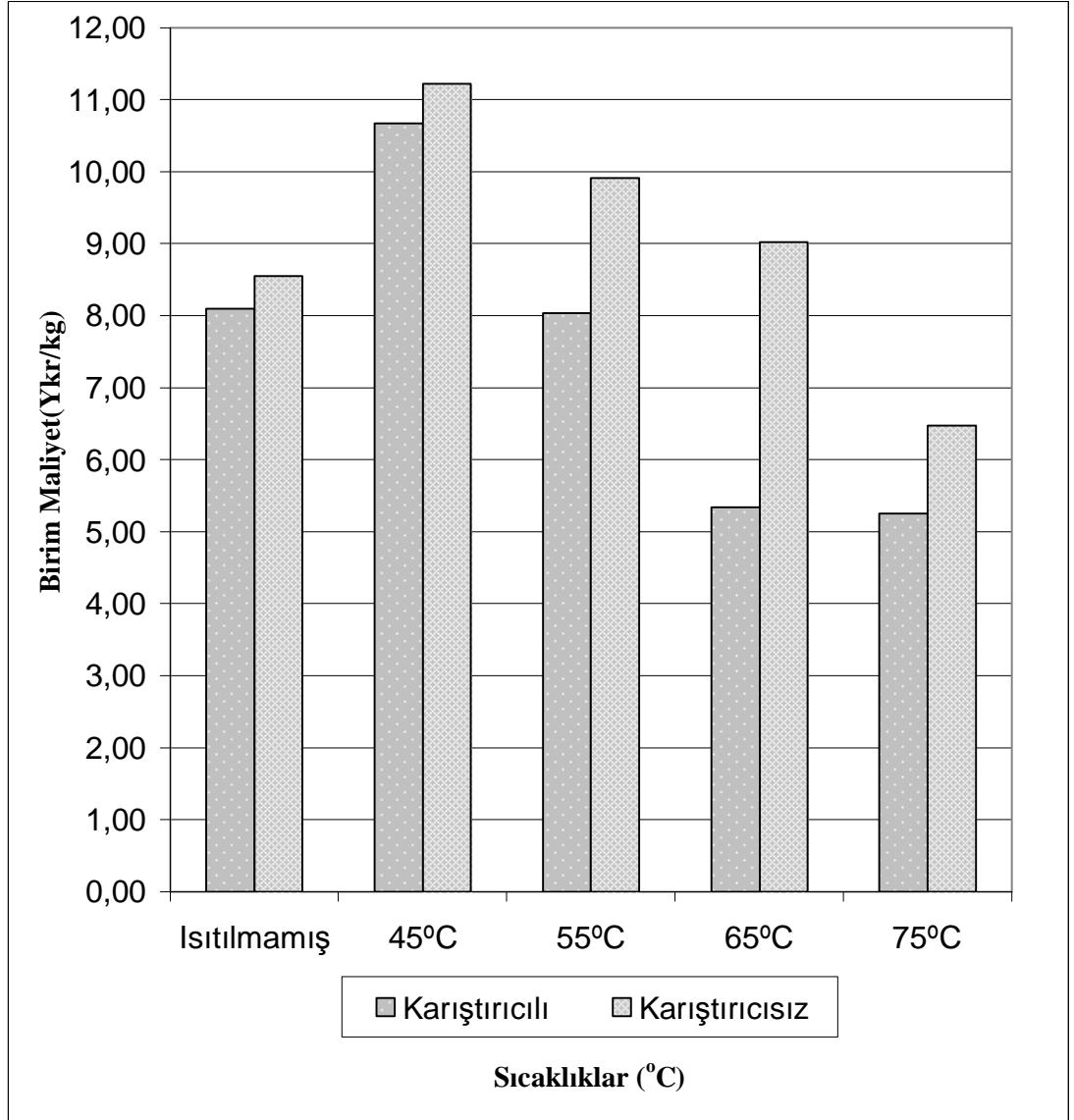
Şekil 29. Karıştırıcısız ve Karıştırıcılı Kurutmalarda Toplam Maliyet

Çizelge 10’da karıştırıcısız kurutmada toplam maliyete ait varyans analiz sonuçları gösterilmektedir. Yapılan varyans analizine göre %1 düzeyinde gruplar arasında fark bulunmuştur.

Çizelge 10. Toplam Maliyete Ait Varyans Analiz Sonuçları

Sıcaklıklar	Maliyet
45°C	29.170±(1.11) ^a
65°C	22.753±(0.491) ^b
55°C	24.790±(0,351) ^b
Isıtılmamış	21.460±(0.741) ^b
75°C	16.990±(0.523) ^c

Karıştırıcısız ve karıştırıcılı kurutmalarda beş farklı sıcaklıktaki birim enerji maliyetleri Şekil 30' da verilmiştir.



Şekil 30. Karıştırıcısız ve Karıştırıcılı Kurutmalarda Birim Maliyet

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Denemelerde kullanılan mısırın başlangıç (%16.4) ve son nemine (%10) göre fiziksel ve mekaniksel özellikleri belirlenmiştir. Mısırların başlangıç ve son nemlerine göre boyutları en 8.76 – 8.17 mm, boy 11.62–10.85 mm ve kalınlık 4.94–4.48 mm olarak belirlenmiştir. Yüzey alanı 186.955–169.742 mm², küresellik 0.685–0.675, aritmetik ortalama çap 8.22–7.84 mm, geometrik ortalama çap 7.72–7.35 mm, 1000 Tane ağırlığı 526.2–430 g, kırılma direnci 83.68–100.76 N, kritik hız 5.5-6.2 m/s yığın ağırlığı 636.91–700.5 kg/m³, özgül ağırlık 1075.05–995.09 kg/m³ ve boşluk oranı %40.74–29.6 olarak saptanmıştır. Statik sürtünme katsayısı incelendiğinde başlangıç ve son neme göre kauçuk malzemede 0.48–0.42, çelik malzemede 0.33–0.31, alüminyum malzemede 0.45–0.41, cam malzemede 0.31–0.27 mm, mdf malzemede 0.33–0.28 ve galvanizli sac malzemede 0.35–0.31 olarak saptanmıştır. Statik sürtünme katsayısı sonuçları incelendiğinde başlangıç ve son neme göre en büyük fark kauçuk malzemede görülürken en az fark çelik malzemede görülmektedir. Işık ve İzli 2007 yılında yaptıkları çalışmalarında ise %24–14 neme sahip mısırdaki çalışmışlardır. Başlangıç ve son nem değerlere göre en, boy ve kalınlık için sırasıyla 8.96–8.17 mm, 11.53–10.89 mm ve 4.85–4.46 mm sonuçlarını elde etmişlerdir. Aritmetik ve geometrik ortalama çapların başlangıç ve son nemlere göre sırasıyla 8.45–7.84 mm, 7.94–7.35 mm arasında olduğunu 1000 tane ağırlığının 542–430 g, küreselliğin 0.689–0.675, kırılma direncinin 80.44–116.13 N, yığın ağırlığının 610.50–700.50 kg/m³ ve özgül ağırlığın 1100.10–995.09 kg/m³ olduğunu tespit etmişlerdir. Statik sürtünme katsayısının kauçuk malzemede 0.51–0.42, çelik malzemede 0.36–0.31, alüminyum malzemede 0.49–0.41, cam malzemede 0.33–0.27, mdf malzemede 0.35–0.28 ve galvanizli sac malzemede 0.39-0.31 olarak saptamışlardır. İki çalışma arasında benzer sonuçlar tespit edilmiştir. Aradaki farklılıklar başlangıç ve son nemlerin her iki çalışmada da farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Yapılan denemelerde kurutma sıcaklığı olarak 45–75°C arasındaki sıcaklıklar kullanılmıştır. Çalışmalarda ürün yüksekliği yaklaşık 0.03 m olarak tespit edilmiştir. Denemelerde karıştırıcının kullanılmadığı ve kullanıldığı beş farklı sıcaklıktaki toplam kurutma sürelerine göre en kısa sürenin karıştırıcısız kurutmada 375 dakika ve karıştırıcılı kurutmada 300 dakika ile 75 °C sıcaklıkta yapılan kurutmanın olduğu belirlenmiştir. En uzun kurutma süresinin ise karıştırıcısız kurutmada 3120 dakika ve

karıştırıcılı kurutmada 2520 dakika ile ısıtılmamış hava ile yapılan kurutmada olduğu belirlenmiştir. Karıştırıcı ve karıştırıcısız kurutma yöntemleri toplam kurutma sürelerine göre karşılaştırıldıklarında, karıştırıcı kurutma yönteminin karıştırıcısız kurutma yöntemine göre daha kısa sürede tamamlandığı görülmektedir. Doymaz ve Pala 2003 yılında yapmış oldukları çalışmalarında ise 55–75 °C sıcaklıklarda mısırları laboratuvar tipi kurutucuda kurutmuşlardır. Yaptıkları çalışmada kurutma sürelerini 55°C sıcaklıkta 135 dakika ve 75°C sıcaklıkta 70 dakika olarak belirlemişlerdir. İki çalışma arasındaki farklılıkların en büyük sebebi kurutma nem değerlerinin farklı olmasıdır. Doymaz ve Pala yaptıkları çalışmada mısırları %28 nemden %14 neme düşürmüşlerdir. Yapılan tez çalışmasında ise %16.4 neme sahip mısırlar %10 neme düşüncüye kadar kurutulmuştur. Ayrıca Doymaz ve Pala'nın yaptıkları çalışmada ürün miktarı olarak 100 g kullanırken, tez çalışmasında bir denemede 250 kg ürün kullanılmıştır.

Denemelerde, mısırların kurutulmasında harcanan enerji miktarlarına göre karıştırıcının kullanılmadığı kurutmada en fazla enerjinin 20.99 kWh ve karıştırıcının kullanıldığı kurutmada 186.49 kWh ile 45 °C sıcaklıkta, en az enerjinin karıştırıcının kullanılmadığı kurutmada 118.79 kWh ve karıştırıcının kullanıldığı kurutmada 91.76 kWh ile 75 °C sıcaklıkta harcandığı belirlenmiştir. Karıştırıcı ve karıştırıcısız kurutma karşılaştırıldığında en fazla harcanan enerjinin her iki yöntemde de 45 °C ile yapılan kurutmada olduğu en az harcanan enerjinin ise 75 °C sıcaklıkla yapılan kurutmada olduğu belirlenmiştir. Karıştırıcı kurutmada karıştırıcısız kurutmaya göre daha az enerji harcandığı görülmektedir. Mısırın kurutma maliyetleri incelendiğinde karıştırıcısız kurutmaya göre, toplam maliyetler göz önüne alındığı zaman en fazla 29.17 YTL ile 45 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olurken en az 16.99 YTL ile 75 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olmuştur. Karıştırıcı kurutmaya göre, toplam maliyetler incelendiğinde en fazla 26.67 YTL ile 45 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olurken en az 13.12 YTL ile 75 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olmuştur. Karıştırıcı ve karıştırıcısız kurutma karşılaştırıldığında en fazla maliyetin her iki yöntemde de 45 °C ile yapılan kurutmada olduğu en az maliyetin ise 75 °C sıcaklıkla yapılan kurutmada olduğu belirlenmiştir. Ayrıca karıştırıcı kurutmanın karıştırıcısız kurutmaya göre daha ekonomik olduğu görülmektedir. Jayas ve arkadaşları 2003 yılında yaptıkları çalışmalarında 28 ton kapasiteli bir yığın mısır kurutucusunda 30–80°C sıcaklıklarda mısırın %21 nemden %15 neme düşmesinde ton başına yaklaşık maliyeti 13 YTL

olarak hesaplamışlardır. Jayas ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarda mısırın % 21 nemden % 15 neme kurutulmasındaki maliyet ortaya konulmuştur. Tez çalışmasında ise % 16.4 nemden % 10 neme kadar kurutulan mısırın maliyeti ortaya konulmaktadır. Bu sebepten dolayı hem süre hem de maliyette farklılıklar görülmektedir.

Mısırların çimlenme hızları incelendiğinde, karıştırıcısız kurutulan mısırların çimlenme hızlarına göre en fazla % 74 ile ısıtılmamış hava ve 45 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olurken en az % 26 ile 75 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olduğu görülmüştür.

Karıştırıcılı kurutulan mısırların çimlenme hızı oranlarına göre en fazla % 78 ile 55 °C ve kontrol amacı yapılan kurutulmamış mısırlar olurken en az % 40 ile 75 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olduğu görülmüştür. Karıştırıcılı ve karıştırıcısız kurutma yöntemleri çimlenme hızı oranlarına göre karşılaştırıldığında karıştırıcılı kurutmanın karıştırıcısız kurutmaya göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Mısırların karıştırıcısız ve karıştırıcılı beş farklı sıcaklıktaki çimlenme gücü oranları incelendiğinde karıştırıcısız kurutmada, en fazla % 88 ile 45 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olurken en az % 40 ile 75 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olduğu belirlenmiştir. Karıştırıcılı kurutmada ise çimlenme gücü oranlarına göre en fazla % 98 ile 55 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olurken en az % 60 ile 75 °C sıcaklıkta kurutulan mısırlar olduğu belirlenmiştir. Karıştırıcılı ve karıştırıcısız kurutma yöntemleri çimlenme çıkış oranlarına göre karşılaştırıldığında karıştırıcılı kurutmanın karıştırıcısız kurutmaya göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Sıcak havayla kurutmada kurutma sıcaklığını doğru bir şekilde uygulamak gerekir. Yüksek sıcaklıklarda kurutma zaman kazandırır. Fakat mısır tohumluk olarak kullanılacaksa yüksek sıcaklıkta kurutma sakıncalıdır. Çünkü çimlenme oranlarından da görüleceği gibi uygulanan kurutma sıcaklıkları arttıkça çimlenme oranları da düşmektedir. Eğer mısır hayvan yemi olarak kullanılacaksa bu sakınca göz ardı edilebilir.

Denemelerde karıştırıcılı kurutmanın karıştırıcısız kurutmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Karıştırıcılı kurutmada kurutucu depo içerisindeki ürünler daha homojen bir şekilde kurutulduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- AKOSMAN, C. ve M. KALENDER. 2004. Soya fasulyesinin kuruma karakteristiğinin tepsili kurutucuda incelenmesi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16 (2):243–251.
- ANONİM. 2003. Türkiye Ziraat Odaları Birliği, Mısır Çalışma Grubu Raporu. Sayı 1.
- ARINZE, E.A., S. SOKHANSANJ, G. J. SCHOENAU, A.K. SUMMER. 2002a. Control Strategies for Low Temperature In-bin Drying of Barley for Feed and Malt. *Journal of Agricultural Engineering*, 58 (3):73-88.
- ARINZE, E.A., S. SOKHANSANJ, G. J. SCHOENAU, F. G. TRAUTTMANSDORFF. 2002b. Experimental Evaluation, Simulation and Optimization of a Commercial Heated-Air Batch Hay Drier: Part 1, Drier Functional Performance, Product Quality, and Economic Analysis of Drying. *Journal of Agricultural Engineering*, 63 (4):301-314.
- ARINZE, E.A., S. SOKHANSANJ, G. J. SCHOENAU, F. G. TRAUTTMANSDORFF. 2002c. Experimental Evaluation, Simulation and Optimization of a Commercial Heated-Air Batch Hay Drier: Part 2, Computer Simulation and Optimization of Hay Drier Performance. *Journal of Agricultural Engineering*, 63 (4):315-322.
- BOUDHRIOUA, N., C. MICHON, G.CUVELIER, C. BONAZZI. 2001. Influence of Ripeness and Air Temperature on Changes in Banana Texture During Drying. *Journal of Food Engineering*, 55:115-121.
- BRUCE, D.M. 2003. Exposed-layer barley drying: Three models fitted to new data up to 150°C. *Journal of Agricultural Engineering*, 32 (4):337-348.
- BRUSEWITZ G. H., 2003. Corn moisture variability during drying, mixing, and storage. *Journal of Food Engineering*, 38 (4):281-288.
- CHANDRA, R., M. S. SODHA. 2003. Drying characteristics of coarse agricultural grains. *Journal of Food Engineering*, 87:307-314.
- DEMİR, V., T. GÜNHAN, A.K. YAĞCIOĞLU, A. DEĞİRMENCİOĞLU. 2004. Mathematical Modelling and the Determination of Some Quality Parameters of Air-dried Bay Leaves. *Biosystems Engineering*, 88:325–335.
- DOYMAZ, İ. 2004a. Drying characteristics and kinetics of okra. *Journal of Food Engineering*, 62:150-156.
- DOYMAZ, İ. 2004b. Drying behaviour of green beans. *Journal of Food Engineering*, 56:101-107.
- DOYMAZ, İ., M. PALA. 2002. Hot-air drying characteristics of red paper. *Journal of Food Engineering*, 55:331-335.

DOYMAZ, İ., M. PALA. 2003. The thin-layer drying characteristics of corn. Journal of Food Engineering, 60:125-130.

GHALY, T. F., A. J. W. SUTHERLAND. 2003. Quality aspects of heated-air drying of soybeans. Journal of Stored Products Research, 19 (1):31-41.

GİNER, A. S., M. C. GELY. 2005. Sorptional Parameters of Sunflower Seeds of Use in Drying and Storage Stability Studies. Biosystems Engineering, 92 (2):217-227.

GUPTA, R.K and S.K. DAS. 1997. Physical properties of sunflower seeds. Journal of Agricultural Engineering Research, 66:1-8.

HAROZ, M., C. SUAREZ. 1997. Effect of Drying, Initial Moisture and Variety in Corn Wet Milling. Journal of Food Engineering, 34:473-481.

FAO 2004. <http://faostat.fao.org/site/336/DesktopDefault.aspx?PageID=336>, Erişim Tarihi: 25.03.2006 Konu: Yıllar Bazında Dünya ve Türkiye Mısır Ekim Alanı, Üretim, Verim ve İthalat Değerleri

TMO 2004. <http://www.tmo.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 21.03.2006 Konu: Türkiye ve Dünya Mısır Fiyatları

<http://www.ttae.gov.tr/makaleler/misirtarimi.htm>, Erişim Tarihi: 21.02.2006 Konu: Mısır Tarımı

ISIK, E., N. İZLİ. 2007. Moisture Dependent Physical and Mechanical Properties of Dent Corn (*Zea mays var. indentata Sturt.*) Seeds (Ada-523). American Journal of Food Technology, 2 (5): 342-353.

İŞİK E., T. GÜLER. 2003. Elma Yüzey Alanlarının Görüntü İşleme Tekniği Yöntemiyle Saptanması. U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 17 (2):59-64.

İŞİK, E., İ. ALİBAŞ. 2000. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan yöntemler ve kurutma sistemleri. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yardımcı ders notu No:3, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa. s.1-4.

JOHNSON, P-N. T., J. G. BRENNAN, F. Y. ADDO-YOBO. 1998. Air-drying Characteristics of Plantain (*Musa AAB*). Journal of Food Engineering, 37:233-242.

KAMIŞLI, F. 2002. Sert buğdaydan yapılmış bulgurun tepsili kurutucuda kurutulması. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (3):106-112.

LEWICKI, P., P., E. JAKUBCZYK. 2003. Effect of Hot Air Temperature on Mechanical Properties of Dried Apple. Journal of Food Engineering, 64:307-314.

MADAMBA, P. S., R.P. YABES. 2004. Determination of the optimum intermittent drying conditions for rough rice. Journal of Food Engineering, 38:157-165.

- MASKAN, A., S. KAYA, M. MASKAN. 2001a. Effect of Concentration And Drying Processes on Color Change of Grape Juice and Leather (Pestil). *Journal of Food Engineering*, 54:75-80.
- MASKAN, A., S. KAYA, M. MASKAN. 2001b. Hot Air and Sun Drying of Grape Leather (Pestil). *Journal of Food Engineering*, 54:81-88.
- MOHAPATRA, D., P. S. RAO. 2005. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, 66:513-518.
- MOHSENİN, N.N., 1970. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. (2nd Ed.). Gordon and Breach Science Publishers, Newyork. Air-dried Bay Leaves. *Journal of Food Engineering*, 57:25–335.
- ÖZLER, S., G. ERGÜNEŞ ve S. TARHAN. 2005. Sert buğdaydan yapılmış bulgurun tepsili kurutucuda kurutulması. *Osmangazi Ü. Zir. Fak. Dergisi*, 21 (2):160–166.
- PINHEIRO, C. A., J.O. PEÇA. 2004. Forage drying models for oats and vetches under Mediterranean climate conditions. *Mathematics and Computers in Simulation*, 65:87-100.
- SİNGH, K.K and T.K., GOSWAMİ, 1996. Physical properties of cumin seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64:93–98.
- SUTHERLAND, A J. W., T. F. GHALY 2003. Heated-air drying of oilseeds . *Journal of Stored Products Research*, 18 (2):43–54.
- SZÖKE, Sz., E. Persoons 1999. A new conceptual model to compute the drying front in wheat. *Mathematics and Computers in Simulation*, 42 (3):221-232.
- TANG, J., S. SOKHANSANJ. 2002. Geometric Changes in Lentil Seeds Caused by Drying. *Journal of Agricultural Engineering*, 56(4):313–326.
- TOĞRUL, İ. T., D. PEHLİVAN. 2002. Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58:23-32.
- TRELEA, I.C., G. TRYSTRAM, F. COURTOSİS. 1996. Estimating Optimal Constrained Non-linear Control of Batch Processes: Application to Corn Drying. *Journal of Food Engineering*, 31:403-421.
- TURGUT, İ., 2001. Tahıllar II (Sıcak İklim Tahılları). Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları No:87, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa. 27 s.
- UNAL, H., E. İŞİK, H.C. ALPSOY. 2006. Some physical and mechanical properties of black-eyed pea (*Vigna Unguiculata L.*) grains. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9 (9):1799–1806.

YAĞCIOĞLU, A.,Ü. EVCİM. 1991. Mısırın kurutulması için gerekli parametrelerin bilgisayar destekli simülasyon yoluyla belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 13. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı. Konya, 25–27 Eylül 1991, sayfa.481–488.

YILDIZ, Y., İ.K. TUNCER, A. BAŞÇETİNÇELİK. 1989. Tane mısırın düşük sıcaklıkta kurutulmasında enerji tüketimi. Tarımsal Mekanizasyon 12. Ulusal Kongresi Bildiri kitabı. Tekirdağ,1–2 Haziran 1989, sayfa.44–52.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans'a başladığım günden itibaren, beni yönlendiren, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam, Yrd. Doç. Dr. Eşref IŞIK'a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca her zaman destek olan değerli hocalarım, Prof.Dr. Kamil ALİBAŞ, Prof.Dr. Rasim OKURSOY, Prof.Dr. İlhan TURGUT, Yrd.Doç.Dr. Ahmet DARGA, Yrd.Doç.Dr. Ali VARDAR, Öğr.Gör.Dr. Muharrem ZEYTİNOĞLU, Öğr.Gör.Dr. Halil ÜNAL'a yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşlarım, Araş.Gör. Ferhat KURTULMUŞ, Emre CAN, Ümit AĞBABA, Murat ÇAM ve Niyazi İZLİ'ye, ürünleri temin ettiğim Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Çiftliği yetkililerine ve ustamız Refai KURT'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Temmuz-2007 / BURSA

ÖZGEÇMİŞ

10 Haziran 1980 tarihinde Bursa-Karacabey’de doğdu.

1998 yılında Bursa Tophane Teknik Lisesi’ni bitirdi.

1999 yılında Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü’nde Lisans eğitimine başladı.

2003 yılında Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünü birincilikle bitirdi.

2004 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.

2005 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi kadrosuna atandı ve halen görevini sürdürmektedir.

