

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**KURUTMADA ULTRASON KULLANIMININ
ÜRÜN KALİTESİ VE KURUMA DAVRANIŞINA
ETKİLERİ**

Burçin YILMAZ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şebnem TAVMAN

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 614.02.00

Sunuş Tarihi: 02.05.2014

Bornova-İZMİR

2014

Burçin YILMAZ tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan "Kurutmada ultrason kullanımının ürün kalitesi ve kuruma davranışına etkileri" başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 02.05.2014 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Selma Tayan
Raportör Üye: Yrd. Doç. Dr. Şahar Kumcuoğlu
Üye : Yrd. Doç. Dr. Melike Salın-
Jilmaze

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kurutmada ultrason kullanımının ürün kalitesi ve kuruma davranışına etkileri” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışım olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

07/ 05 / 2014

Burçin YILMAZ

ÖZET**KURUTMADA ULTRASON KULLANIMININ
ÜRÜN KALİTESİ VE KURUMA DAVRANIŞINA
ETKİLERİ**

YILMAZ, Burçin

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şebnem TAVMAN

Mayıs 2014, 114 sayfa

Bu tez çalışmasında konvektif kurutma öncesinde iki farklı ultrason kaynağı kullanılarak ön işlemden geçirilen havuç dilimlerinin kuruma davranışı ve kurutulmuş üründe β -karoten, renk ve rehidrasyon özellikleri ve ön işlem sırasında üründeki katı-sıvı kaybı incelenmiştir. Ultrasonik prob 3 farklı güçte (65, 75 ve 85 W), ultrasonik banyo ise 3 farklı sıcaklıkta (10, 20 ve 30°C) 3, 5 ve 10 dakika uygulanmıştır. Kontrol amacıyla, ultrasonik banyo koşullarında sadece saf suda bekletme yapılmıştır. 60°C'de 1.2 m/s hava hızında 3 tekerrür halinde kurutulmuştur.

Ön işlemler sırasında ürün ortamdan su alırken katı kaybettiği görülmüştür. Kurutmada sadece azalan akı kuruma bölgesi elde edilmiş ve iki aşamadan oluştuğu gözlenmiştir. Her iki ultrason kaynağı ile yapılan ön işlemlerde kuruma hızı kontrole göre daha yüksek bulunmuştur. %10 nem değerine (yaş esas) düşmek için gereken süre ultrason kaynağına bağlı olarak değişmekle en yüksek etki prob 65W 10 dakika ön işlemi ile elde edilmiştir. Kuruma davranışını en iyi açıklayan modelin ise Midilli et al. (2002) olduğu belirlenmiştir. Ön işlem uygulanmış ve kontrol örneklerinin kırmızılık değeri, toplam renk değişimi (TCD) ve Chroma değerinin istatistiksel açıdan farklı olmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Ultrasonik banyo ile ön işlem uygulanmış örneklerin β -karoten içerikleri, ultrasonik prob uygulanmış örneklerden daha yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Suda bekletme yapılan örneklerin rehidrasyon oranlarının ise ultrasonik ön işlem uygulanmış ürünlerden daha düşük olduğu görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Ultrasonik prob, ultrasonik banyo, suda bekletme, sonikasyon, kurutma, β -karoten, renk, rehidrasyon, matematiksel model

ABSTRACT**EFFECT OF ULTRASOUND PRE-TREATMENT
ON FOOD PRODUCT QUALITY AND DRYING BEHAVIOUR**

YILMAZ, Burçin

MSc in Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Şebnem TAVMAN

May 2014, 114 pages

In this thesis, the effects of direct and indirect ultrasonic pretreatments on drying behaviour, β -carotene content, colour and rehydration abilities and solid loss-water loss of carrot slices were investigated. Direct sonication was applied with ultrasonic probe at power of 65, 75 and 85 W and an ultrasonic water bath was used at temperatures 10, 20 and 30°C. To evaluate the effect of distilled water soaking also investigated at same temperatures which were used in ultrasonic bath pretreatment. All pretreatments were carried out for 3, 5 and 10 min times and drying was applied in triplicate at 60°C with an air velocity of 1.2 m/s.

During pre-treatments solid loss and water gain were occurred. Only two falling-rate periods were observed for each sample. Drying rate of ultrasound pre-treated samples were found greater than those of control samples. Drying time to reach 10% moisture content (wet basis) was significantly different depending on the ultrasound source. Important effect of ultrasound was observed applied with ultrasonic probe at 65W for 10 min. Midilli et al. (2002) model was the most appropriate model to explain drying behaviour of carrot slices. Redness values, total colour difference (TCD) and Chroma values of pre-treated and control samples were found statistically in the same group ($p>0.05$). β -carotene content of the samples pre-treated with ultrasonic bath was found significantly higher than the samples pre-treated with ultrasonic probe ($p<0.05$). Rehydration ratios of samples soaked in water (control) were lower than ultrasonically pretreated samples.

Keywords: Ultrasonic probe, ultrasonic bath, sonication, soaking, drying, β -carotene, colour, rehydration, mathematical modelling

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması sırasında fikir ve önerileriyle bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Şebnem TAVMAN'a yardımlarından dolayı teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarım ve tezimin yazım aşamasında yardımlarını benden esirgemeyen Araş. Gör. Hülya ÇAKMAK'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında bana karşı göstermiş oldukları sabır ve hoşgöründen dolayı hocam Yrd. Doç. Dr. Seher KUMCUOĞLU'na ve yüksek lisans arkadaşlarım Şeyma ERGENÇ, Zahide MEMELİ ve Melike ÖNER'e teşekkür ederim.

Bugüne kadar aldığım kararlar doğrultusunda maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Merkezi (Proje No: 13-MÜH-019) tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1 Kurutma	3
2.2 Kuruma Mekanizması	4
2.3 Kuruma Kinetiği	8
2.4 Kurutma ve Kalite	10
2.5 Ultrason Teknolojisi	12
2.6 Gıdaların Kurutulmasında Ultrason Kullanımı	15
3. MATERYAL-YÖNTEM	19
3.1 Materyal	19
3.2 Yöntem	19

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.1 Ön işlemler	19
3.2.2 Kurutma işlemi	20
3.2.3 Katı kaybı - sıvı kazanımı (%).....	21
3.2.4 Kuruma davranışlarının belirlenmesi	21
3.2.5 Kuruma kinetiğinin model uyumu	22
3.2.6 Renk tayini	24
3.2.7 β -karoten tayini	25
3.2.8 Rehidrasyon oranı	25
3.2.9 İstatistiksel analiz	26
4. BULGULAR	27
4.1 Katı kaybı - sıvı kazanımı (%).....	27
4.2 Kuruma Mekanizması	29
4.3 Ön İşlemlerin Renk Üzerine Etkisi	45
4.4 β -Karoten İçeriği	47
4.5 Rehidrasyon Oranı	48
5. GENEL SONUÇ ve ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR DİZİNİ	53

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ63

EKLER

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 2012 yılında ülkesel bazda üretilen havuç miktarları	1
2.1 Tipik bir kuruma hızı eğrisi	6
2.2 Ses dalgalarının frekans aralığına göre isimlendirilmesi	12
2.3 Kavitasyon oluşumu.....	13
2.4 Serbest radikal oluşumu	14
2.5 Kurutma işleminde ultrasonun kullanılabileceği sistemler	15
3.1 Deneme planı	20
4.1. 65 W ultrasonik prob için kuruma hızı eğrileri	29
4.2 75 W ultrasonik prob için kuruma hızı eğrileri	30
4.3 85 W ultrasonik prob için kuruma hızı eğrileri	30
4.4 Ultrasonik banyo 10°C için kuruma hızı eğrileri	31
4.5 Ultrasonik banyo 20°C için kuruma hızı eğrileri	31
4.6 Ultrasonik banyo 30°C için kuruma hızı eğrileri	32
4.7 Suda bekletme 10°C için kuruma hızı eğrileri	32
4.8 Suda bekletme 20°C için kuruma hızı eğrileri	33
4.9 Suda bekletme 30°C için kuruma hızı eğrileri	33
4.10 Ultrasonik prob ile 3 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi.....	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.11 Ultrasonik prob ile 5 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi	34
4.12 Ultrasonik prob ile 10 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi	35
4.13 Ultrasonik banyo ile 3 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi	35
4.14 Ultrasonik banyo ile 5 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi	36
4.15 Ultrasonik banyo ile 10 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi	36
4.16 Suda bekletmede 3 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi	37
4.17 Suda bekletmede 5 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi	37
4.18 Suda bekletmede 10 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi	38
4.19 Ultrasonik prob için deneysel ve Midilli et al. (2002) modelinden tahminlenen MR değerleri	44
4.20 Ultrasonik banyo için deneysel ve Midilli et al. (2002) modelinden tahminlenen MR değerleri	44
4.21 Suda bekletme için deneysel ve Midilli et al. (2002) modelinden tahminlenen MR değerleri	45
4.22 Kurutma sonrası, β -karoten yapıda tutulma oranı	48
4.23 Zamana bağlı rehidrasyon oranları	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Havucun içerisinde bulunan bazı bileşenler.....	2
4.1 Ön işlem sırasında meydana gelen sıvı ve katı kayıpları.....	28
4.2 Kütle difüzyon katsayıları ve %10 nem değerine ulaşmak için gereken süre..	40
4.3 Test edilen modellere ait regresyon katsayıları.....	41
4.4 Midilli et al. modeline ait katsayılar.....	43
4.5 Tüm örneklere ait renk değerleri.....	46
4.6 Örneklere ait β -karoten miktarı ve rehidrasyon oranı	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

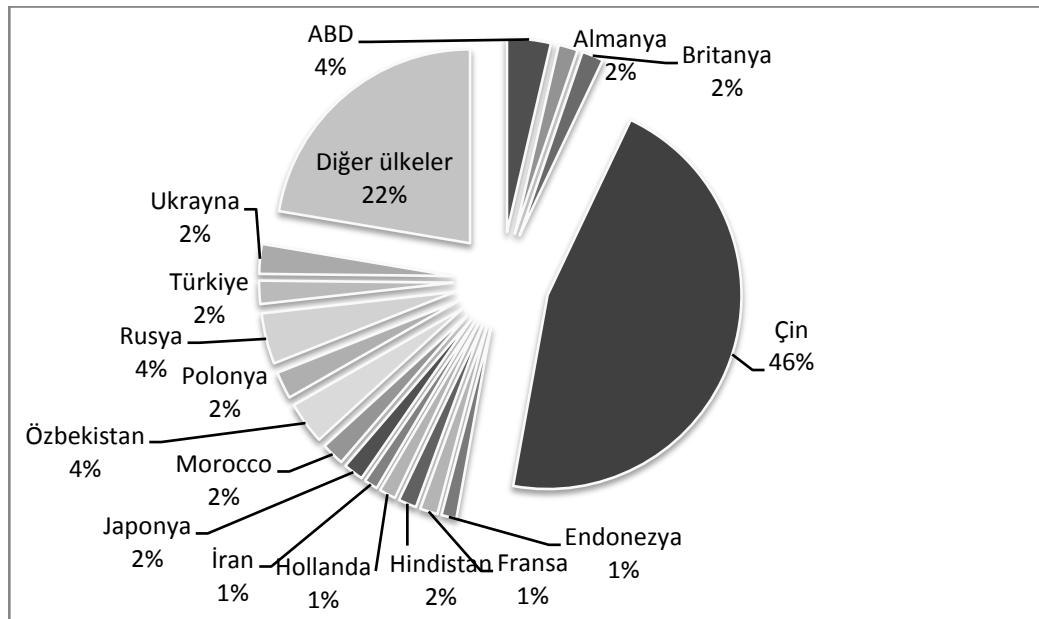
<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
UNIDO	Birleşmiş Milletler Endüstriyel Gelişme Örgütü
TYMSİB	Türkiye Yaş Meyve Sebze İhracatçı Birlikleri
P	Ultrasonik prob
B	Ultrasonik banyo
S	Suda bekletme
W	Watt
m/s	metre/saniye
cm	santimetre
m	metre
g	gram
km	kuru madde
kg	kilogram
dk	dakika

1. GİRİŞ

Havuç (*Daucus carota* L.) içerdiği yüksek vitamin ve mineral miktarı nedeniyle en çok tüketilen kışlık kök sebzelerden birisidir (Li et al., 2010). Ülkemizde Doğu Anadolu bölgesi haricinde önemli miktarlarda üretilmektedir ve TÜİK verilerine göre 2013 yılında hasat edilen havuç miktarı 569.855 ton olmuştur. Ülkemizde üretilen havucun büyük bir kısmı turuncu renkte olup, sarı ve mor renkli çeşitleri de bulunmaktadır; üretimin yoğun olarak yapıldığı iller ise sırasıyla Ankara, Burdur, Konya ve Karaman'dır.

Turuncu havuç iklim ve yöreye göre erkenci ve geççi olarak yetiştirilen, ortalama 15-22 cm uzunluğunda, 2-3 cm çapında olan düzgün bir silindirik şekle ve pürüzsüz sayılabilecek bir yüzeye sahip, küt uçlu standart bir çeşittir. Genellikle taze şekilde sofralık olarak tüketilmektedir (TYMSİB, 2007).

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre 2012 yılında dünya'da üretilen havuç miktarı 36.917.246 ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'deki üretim ise 714.280 ton olarak belirtilmiştir.



Şekil 1.1 2012 yılında ülkesel bazda üretilen havuç miktarları

Havuçta bulunan yüksek miktardaki β -karoten, insan vücudunda A vitaminine dönüşürebilir olmasının yanı sıra antioksidan özellik göstermesi sayesinde kanser oluşum riskini de azaltmaktadır. Oksijenin düşük kısmi basınçlarında serbest peroksit radikallerinin dokularda yakalanmasında rol

oyunarak, daha yüksek oksijen konsantrasyonlarında etkili olan E vitamininin antioksidan özelliklerini tamamlayabildiği bildirilmektedir (Kennedy and Liebler, 1992; Altınışık, 1989). β -karoten değişik sebze ve meyvelerde bulunmakla birlikte havucun dışında en yüksek kayısı ve ıspanakta olup, miktarı ancak havuçtaki miktarın yarısı kadardır (Ayaşan ve Karakozak, 2010). Ayrıca havuç, yapısında bulunan C vitamini, B6 vitamini, tiamin, folik asit ve magnezyum gibi bileşenler nedeniyle günlük diyetle alınması önerilen bir sebze olarak kabul edilmektedir (Gamboa-Santos et al., 2013). Havucun içerisinde bulunan bazı bileşenlerin miktarı Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Sezonluk üretiminin olması ve oldukça kolay bozulabilen bir yapıya sahip olması nedeniyle depolamadan önce kurutulması, konserve edilmesi ya da salamuraya konulması önerilmektedir. Endüstride, kullanılmadan önce genellikle işlenmesi gereklidir ve bu amaçla kurutma yapılması özellikle kolay hazırlanabilir gıdaların üretilmesinde en yaygın kullanılan yöntemdir (Devahastin et al., 2011).

Çizelge 1.1 Havucun içerisinde bulunan bazı bileşenler

Bileşen	Miktar (mg/100 g)
β -karoten	9.79
C vitamini	7.01
B1 vitamin	0.04
B2 vitamini	0.033
B6 vitamini	0.119
Folik asit	0.063
Potasyum	286
Magnezyum	9.6
Fosfor	33.1

Kaynak: Ulusal Gıda Enstitüsü, Danimarka

Bu çalışmada çeşitli sıcaklık, güç ve süre değerlerinde ultrasonik prob ve ultrasonik banyo ile ön işlem uygulanmış havuç dilimlerinin kuruma davranışı belirlenmiş ve ön işlemlerin son ürünün renk değerleri, rehidrasyon oranı, β -karoten içeriği üzerine etkileri incelenmiş ve ön işlem sırasında meydana gelen katı kaybı- sıvı kaybı miktarları belirlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Kurutma

Meyve ve sebzeler, yüksek nem içerikleri nedeniyle bozulmaya çok yatkın gıdalardır. Bu tip ürünlerin raf ömrünü uzatmak amacıyla dondurma, modifiye atmosferde ambalajlama, konserve haline getirme ya da kurutma gibi işlemler uygulanmaktadır. Kurutma ya da dehidrasyon, gıdaların korunması amacıyla tarih öncesi dönemlerden beri kullanılmaktadır. İlerleyen zaman ve artan nüfus ile birlikte, gıdaya olan talebin artması kurutmanın gıda sektörü içerisinde önemli bir noktaya gelmesine yol açmıştır (Barbaso-Canovas and Ibarz, 2003).

Kurutma ve dehidrasyon eş anlamlı olarak kullanılsa da gerçekte farklı anlamları bulunmaktadır. Dehidre gıdalar %2.5'ten daha fazla su içermiyorken; kurutulmuş gıdaların nem değeri %2.5'in üzerindedir (Barbaso-Canovas and Ibarz, 2003).

Katı gıdalardan nemin uzaklaştırılması amacıyla kullanılan mekanik ve termal olmak üzere iki farklı temel yöntem bulunmaktadır. Mekanik kurutma santrifügal kuvvetler ve basınç uygulamalarına dayanırken; termal kurutma, suyu buharlaştırmak amacıyla ısı kullanımına dayanmaktadır. Mekanik kurutma ürünün başlangıç nemine bağlı olarak etki göstermesine rağmen, termal kurutma üründe daha etkili bir kuruma sağlamaktadır (Sun, 2005). Bir ürünü kurutmak için gereken termal enerji: başlangıç nem değeri, hedeflenen son nem değeri, kullanılan havanın sıcaklık ve bağıl nemiyle birlikte, uygulanan hava hızına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Karim and Hawlader, 2005).

Kurutma terimsel olarak katı ya da katı hale yakın özellik gösteren bir materyalden suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması işlemidir. Böylece üründe düşük su aktivitesine bağlı olarak mikrobiyal stabilite sağlanırken, artan bir raf ömrü elde edilir (Serenio et al., 2004; Aghbashlo et al., 2009).

Ancak kurutma işlemi sadece gıdanın su içeriğini düşürmekle kalmaz, besleyici bileşenlerde bozulma, enzimatik olan ya da olmayan reaksiyonların oluşumuna neden olma gibi fiziksel ya da kimsayasal etkileri de söz konusudur (Barbaso-Canovas and Ibarz, 2003).

Gelişmekte olan ülkelerde hasat sonrası meyve ve sebzelerde %30'a varan kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıpları azaltmak için kurutma yapılması, ticari açıdan bu işlemin önemli bir sektör olmasının yolunu açmıştır (Karim and Hawlader, 2005).

Kurutma sayesinde üründe meydana gelen kütle ve hacimsel azalma; taşıma ve depolama maliyetlerini düşürmekle birlikte taze ürünlerin depolanması için gerekli olan pahalı soğutma sistemlerinin kullanılmasını da gereksiz kılmaktadır (Guiné, 2006).

Endüstride yapılan kurutma sıcak hava kullanımına dayalıdır. Bu sistemde yoğun enerji kullanımı vardır ve günümüzde artan enerji maliyetleri bu yöntemi gün geçtikçe daha da pahalı bir hale getirmektedir. Bu nedenle de kurutma süresini kısaltmak amacıyla ürünün başlangıç nemini düşüren ya da dokusal yapıda bir takım değişiklikler meydana getiren yöntemler önerilmektedir. Kısa süreli haşlama, vurgulu elektrik alan kullanımı, yüksek ya da düşük basınç uygulamaları ve ozmotik kurutma gibi işlemler başlangıç nemini düşürmek ya da dokuda değişiklik meydana getirmek amacıyla kullanılabilen yöntemler olarak verilebilir. Ancak her birinin ürün üzerinde farklı olumsuz etkileri vardır bu nedenle uygulanma alanları sınırlıdır.

Farklı bir yöntem olarak ses dalgalarının kullanılması fikri ortaya atılmış ve son yıllarda özellikle kurutmada kullanımı giderek önemi artan bir araştırma konusu haline gelmiştir.

2.2 Kuruma Mekanizması

Kurutma işleminde, ürünün içinde ve dışında suyun hareket mekanizmasını bilmek önemlidir. Bu hareket, kapiler kuvvetler, konsantrasyon farkı nedeniyle suyun difüzyonu, yüzeyde meydana gelen difüzyon, hava ile dolan gözeneklerde su buharının difüzyonu, basınç farkı nedeniyle meydana gelen akış ya da suyun buharlaşması ve yoğuşması sayesinde olabilmektedir (Barbaso-Canovas and Ibarz, 2003).

Kurutmanın erken safhalarında, nemin hareketi merkezden yüzeye doğru kapiler kuvvetler sayesinde oluşmaktadır. Bu mekanizma difüzyondan daha hızlıdır ve yüzeyden meydana gelen buharlaşma hızı kuruma hızını kontrol etmektedir (Perry et al., 1999). İlerleyen kurutma aşamalarında ise katının

içerisindeki difüzyon, kuruma hızını kontrol etmektedir ve ortamdaki hücrelerde büzüşme olmaz ise difüzyon sabit hızda devam edebilir. Tahıllar gibi sert yapılı ürünlerde sabit difüzyon hızı görülebilirken; meyve ve sebzelerde nem içeriğindeki değişim ile birlikte fiziksel değişimler sonucu değişken bir difüzyon gözlenir (Toledo, 2007).

Bütün kurutma işlemlerinde, meydana gelebilecek olası değişimler üzerinde: materyalin türü, sahip olduğu kimsayasal ve fiziksel özellikleri önem taşımaktadır. Şeker molekülleri etrafında bulunan hidroksil grupları ile su moleküllerinin hidrojen bağı yapması sonucu karbonhidrat içeriği yüksek olan ürünler hidrofilik davranış göstermektedir. Bağlı su içeren hidrofilik özellikteki materyaller, aynı sıcaklıktaki sıvı suyun buhar basıncına göre daha düşük buhar basıncına sahiptirler. (Barbaso-Canovas and Ibarz, 2003). Bu nedenle bu tür ürünlerin kuruması daha uzun sürer.

Kurutma işleminde veriler, genellikle süre ile birlikte ürünün kütlesinde meydana gelen azalma şeklinde takip edilir. Elde edilen bu veriler, kuruma hızı şeklinde açıklanabilir.

Ürünün nem içeriği, gıdada bulunan nem miktarı ile kuru madde miktarı arasındaki ilişkiden belirlenir.

$$X_t = \frac{W_t - W_s}{W_s} \quad (1)$$

Bu denklemde, W_t materyalin t anındaki kütlesini, W_s kuru madde kütlesini ve X_t ise kg nem/kg kuru maddeyi ifade etmektedir. En önemli değişken ise serbest nem değeridir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır. Burada X serbest nemi, X_e ise denge nemine ulaşıldığı andaki değeri göstermektedir.

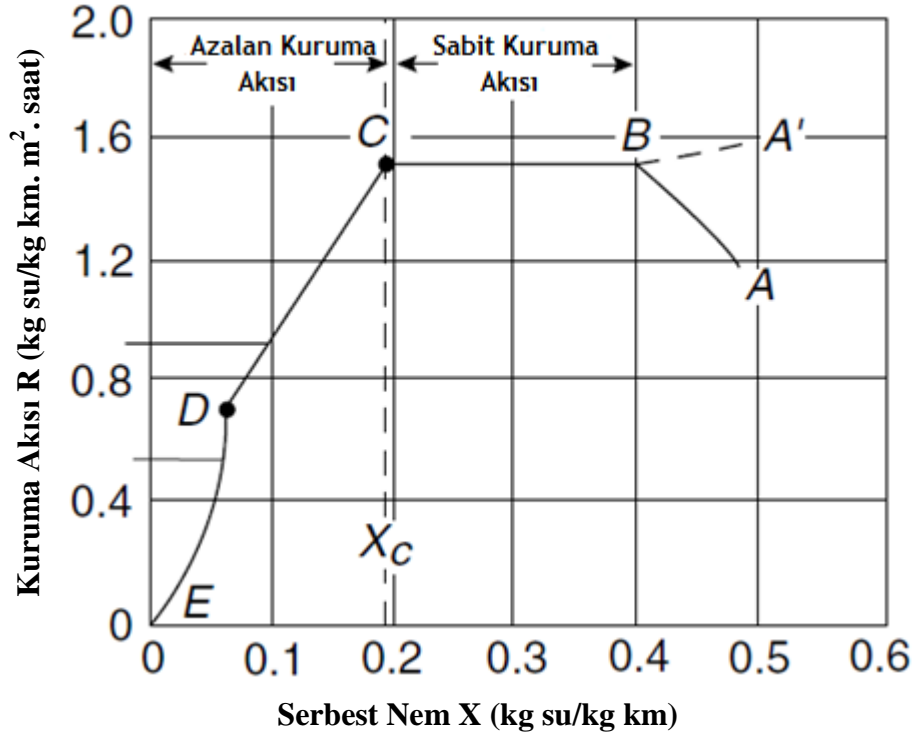
$$X = X_t - X_e \quad (2)$$

Serbest neme karşılık zaman grafiği çizildiğinde tipik bir kuruma eğrisi elde edilir. Ancak asıl önemli olan değer kuruma hızıdır ve zamana bağlı olarak nem değerinde meydana gelen değişimi ifade eder. Burada A : kurutma yüzey alanını, i ise herhangi bir zamanı ifade eder (Geankoplis, 2011).

$$\text{Kuruma akısı (R)} = -\frac{1}{A} \frac{dX}{dt} = -\frac{1}{A} \frac{(X_i - X_{i-2})}{(t_i - t_{i-2})} \quad (3)$$

Bir ürünün kuruma işlemi bir dizi aşama ile tanımlanır. Şekil 1.2.'de tipik bir kuruma hızı eğrisi gösterilmiştir (Geankoplis, 2011). Burada (A) ve (A') noktaları ürünün başlangıç nemini ve kurutma sıcaklığına göre sırasıyla ürünün soğuk ya da sıcak olduğu durumu işaret etmektedir. B noktası ürün yüzeyi ortam ile aynı sıcaklığa ulaştığındaki değeri gösterir ve (A') ya da (A)'dan bu noktaya ulaşıncaya dek geçen zaman oldukça kısa olduğundan hesaplamalarda genellikle ihmal edilmektedir. Eğri üzerinde (B) noktasından (C)'ye kadar olan kısım sabit kuruma akı periyodu olarak bilinir ve üründeki bağlı olmayan suyun uzaklaştırıldığı süreyi göstermektedir. Ayrıca bu nokta (C noktası) kritik nem içeriğini işaret eder (Toledo, 2007; Geankoplis, 2011). Bu süreçte su, ortamda katı yokmuş gibi davranır. Başlangıçta ürünün yüzeyi oldukça yaşlı ve su aktivitesi bire çok yakındır. Gözenekli katılarda kuruma sırasında yüzeyden uzaklaşan su, katının içerisinden suyun yüzeye doğru akışıyla karşılanır ve bu periyod uzaklaşan nem ürünün içerisinden karşılanamayacak duruma gelene dek devam eder (Barbaso-Canovas and Ibarz, 2003).

(C) noktasına ulaşıldığında yüzeydeki sıcaklık yaklaşık olarak yaş termometre sıcaklığına eşittir. Serbest nem artık yüzeyde mevcut değildir ve kuruma hızı katının içerisinden yüzeye doğru olan suyun difüzyonu ile kontrol edilir. Ancak üründe hala yüksek miktarda serbest su bulunmaktadır (Toledo, 2007).



Şekil 2.1 Tipik bir kuruma hızı eğrisi

Eğer bir noktadan (D noktası) sonra eğrinin eğimi değişiyorsa ikinci bir azalan kuruma hızı periyodu başlamış demektir. Bu nokta ürünlerdeki bağıl su değerini işaret eder. Higroskopik olmayan gıdalar tek bir azalan kuruma hızı periyodu sergilerken; higroskopik gıdalarda ikinci bir azalan kuruma hızı periyodu oluşur (Fellows, 2000).

Birinci periyotta ürün içerisindeki su multi-moleküler adsorpsiyon ve kapiler kondensasyon ile tutulmaktadır ve uzaklaştırmak için gereken ısı saf suyu uzaklaştırmak için gereken ısıdan daha fazladır. Buharlaştırma, ürünün yüzeyinden çok içerisinde meydana gelmektedir, fakat havaya geçmeden önce ürünün yüzeyine kadar su buharının difüze olması gerekmektedir (Toledo, 2007).

Daha sonra kuruma başka bir azalan kuruma hızı periyoduna girer. Bu bölge suyun mono ya da multi-moleküler tabakalarda tutulduğu kısımdır. Yüzey sıcaklığı uygulanan kurutma havasının sıcaklığına ulaşmıştır. Bu nedenle gıdalarda ısı nedeniyle oluşabilecek zararların büyük bir kısmı bu evrede gerçekleşmektedir. Kurutma işlemi bu eğri boyunca herhangi bir yerde sona ermelidir. Eğrinin son noktası ise denge nem değerine ulaşıldığını gösterir. Kuruma sona erer çünkü yüzeydeki su aktivitesi hava ile aynı değere eşit duruma gelir (Fellows, 2000; Toledo, 2007).

Tarımsal ürünlerin kurutulması amacıyla kullanılan güneş ışınlarının işletme maliyeti çok düşüktür. Ancak ürünün kalitesinde meydana gelen kayıplar, kurutma işleminin kontrol edilememesi, uzun kurutma süresine ihtiyaç duyulması ve kontaminasyon riskinin olması önemli dezavantajlarıdır (Aghbashlo et al., 2009). Kaliteyi artırmak amacıyla geleneksel güneşte kurutma yerine güneş enerjili kurutma, konvektif kurutma, dondurarak kurutma, püskürtmeli kurutma, vakum impregnasyon, mikrodalga, radyo frekans, kızılötesi gibi yöntemlerin kullanıldığı endüstriyel sistemlere geçiş yapılmalıdır (Vega et al., 2007).

Mikrodalga kurutma son yıllarda kullanılan alternatif bir kurutma yöntemidir. Vakumla birlikte uygulandığında ise enerji etkinliğini artırmasının yanı sıra kurutulmuş ürünlerde yüksek gözeneklilik, uçucu aromada ve renkte daha az kayıp sağlar. Kalite üzerine olumlu etki ozmotik kurutma ile de elde edilebilmektedir ve sonraki kurutma aşamasında besin öğelerinin yapıda tutulmasında artış sağlar. Dondurarak kurutma en iyi kurutma yöntemi olarak bilinmektedir. Kurutulmuş örnekte diğer yöntemlere göre çok az ya da hiç büzüşmeye neden olmadan yüksek gözeneklilik, çok daha iyi lezzet ve aroma

tutulmasını sağlar ve ürün daha iyi rehidrasyon yeteneği sergiler. Ancak oldukça maliyetli bir yöntemdir. Konvansiyonel kurutma ise üründe büzüşme ve olumsuz renk değişimlerini neden olsa da gıda sanayinde en çok kullanılan kurutma yöntemidir (UNIDO, 2004). Ancak yoğun enerji kullanımı vardır ve günümüzde artan enerji maliyetleri bu yöntemi gün geçtikçe pahalı bir hale getirmektedir. Bu nedenle de kurutma süresini kısaltmak amacıyla ürünün başlangıç nemini düşüren ya da ürün dokusunda bir takım değişiklikler meydana getiren yöntemler önerilmektedir. Nowacka et al. (2012)'a göre ultrason bu yöntemlerden birisidir ve ön işlem olarak ya da kurutma sırasında uygulanabilmektedir.

2.3 Kuruma Kinetiği

Kuruma işleminin en önemli aşamalarından birisi matematiksel modellenmesidir. Bu aşama istenilen kalitede kurutma sağlayabilmek için en uygun işlem koşullarının ve kurutma ortamının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır ve modellenmenin temelleri sistemi karakterize eden matematiksel denklemlerin oluşturulmasına bağlıdır (Gunhan et al., 2005). İşlem sırasında gıdanın nem içeriğinin matematiksel olarak değerlendirilmesi kuruma kinetiği olarak tanımlanmaktadır. İlgili modeller detaylı ve basitleştirilmiş olmak üzere genellikle iki eğilim içerisindedir. Detaylı modeller gıdanın özellikleri ve büzüşmesini dikkate alan eş zamanlı ısı ve kütle transferi denklemlerini kullanır ve bu denklemler lineer olmayan, kısmi diferansiyel denklem sistemlerinden oluşmaktadır. Bu denklemleri çözenin tek yolu sonlu farklar ya da sonlu elemanlar gibi nümerik yöntemleri kullanmaktır. Detaylandırılmış modeller gıda kurutma çalışmalarında oldukça önemli olmakla birlikte, pratikte tasarım ya da simülasyonu uygulanabilir olmamaktadır. Basitleştirilmiş modeller ise detaylı modellerin analitik çözülmesiyle elde edilmektedir.

En yaygın basitleştirmeler aşağıdaki varsayımlara dayanmaktadır.

1. Ürünün sıcaklığı sabittir ve ısı transferi ihmal edilir.
2. Ürün hacminde azalma yoktur.
3. Ürün yüzeyine doğru suyun difüzyonu sabittir.

Bu varsayımlar kütle transferini basitleştirmektedir ancak deneysel kuruma kinetiğini tam olarak tanımlama yeteneğine sahip olmamasına rağmen, gıda kurutma işlemlerinin tasarım ya da simülasyonunda en uygun modeller

olduğundan birçok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır (Hernandez et al., 2000).

Materyalin kuruma kinetiğini, materyalin ve kurutma ortamının transfer özelliklerini (termal iletkenlik, termal difüzyon hızı, nem difüzyonu, arafazda ısı ve kütle transfer katsayıları) kullanarak tanımlamanın daha doğru olduğu aktarılmaktadır. Gıdaların kurutulmasında kuruma sabiti olan “k” genellikle transfer özellikleri yerine kullanılmaktadır. Bu kuruma sabiti bütün transfer özelliklerini içerir ve ince tabaka denklemlerinde tanımlanır (Togrul and Pehlivan, 2004). İnce tabaka denklemleri bazı ürünlerin kuruma sürelerinin tahmin edilmesinde ve kuruma eğrilerinin genelleştirilmesinde kullanılmaktadır. Tarımsal ürünler için bu modellerin geliştirilmesi, genellikle sabit bağıl nem ve sıcaklığa maruz bırakılan bir üründe, herhangi bir süre sonra nem değeri ölçülmesi ve kurutma parametrelerine göre düzenlenmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir (Midilli et al., 2002).

Literatürde farklı kurutma modelleri yer almaktadır ve birçok araştırmacı tarafından gıda ürünlerinin kurumasını açıklamak amacıyla başarılı bir şekilde kullanıldığı yapılan çalışmalarda görülmektedir. Son yıllarda kuruma davranışını belirlemek amacıyla yapılan modelleme çalışmalarına örnek olarak: armut (Guiné, 2005; Bonazzi et al., 2012), ayva (Aydın et al., 2007), bezelye (Zielinska et al., 2013), havuç (Doymaz, 2004; Roberst and Srikiatden, 2006; Erentürk and Erentürk, 2007; Devahastin et al., 2011), çekirdeksiz üzüm (Kassem et al., 2011;) sardalya (Darvishi et al., 2013), elma (Li et al., 2010; Zarein et al., 2013) balkabağı (Alibas, 2007) soğan (Arslan and Özcan, 2010), muz (Pereira et al., 2007; Langrish and Bains, 2008; Swasdisevi et al., 2009; Amer et al., 2010; Silva et al., 2013) domates küspesi (Harahsheh, 2009), soya fasülyesi (Zhang et al., 2006), mantar (Prasad and Giri, 2007; Lambrana et al., 2010), ıspanak (Özkan et al., 2007; Karaaslan and Tunçer, 2008), nane (Özbek and Dadali, 2007; Therdtai and Zhou, 2009), sarımsak (Figiel, 2009; Sharma et al., 2009) pirinç (Jin et al., 2013), maydanoz (Soysal et al., 2006) patates (Devahastin et al., 2006; Peczalski et al., 2007; Vorobiev et al., 2007; Fernando et al., 2011; Bancelos and Almeida, 2011) verilebilir

İnce tabaka kuruma modelleri: teorik, yarı-teorik ve empirik olmak üzere üç farklı kategoriye ayrılmıştır. Yarı-teorik modeller genellikle Fick'in 2. kanunun basitleştirilmesiyle elde edilmiş, empirik modeller ise ürünün nem değeri ve kuruma süresi ile arasındaki ilişkiden türetilmiştir.

Teorik modeller sadece dış ortamla olan nem alışverişini değil, ürünün içerisindeki nemin hareket mekanizmasını ve sonuçlarını da dikkate almaktadır. Yarı-teorik modeller, teori ve kullanım kolaylığı arasındaki uyum ile önem kazanmıştır. Empirik yöntemler ise, deneysel verilere ve ürünün boyut analizlerine dayanmaktadır. Kurutma çalışmalarında genel olarak sistematik bir yaklaşım sergilemese de, tasarımcılar bu yöntemi detaylı projelerde pratik bilgiler sağlamasından dolayı tercih etmektedir (Correa et al., 1999). Ayrıca deneysel verilere dayandığı için kurutmaya uygulanması oldukça kolaydır (Midilli and Kucuk, 2003).

2.4 Kurutma ve Kalite

İşlenmiş ürünlerde, ürünün doğal özelliklerinin korunması gerektiği yönündeki tüketici talepleri artış göstermektedir. Bunun endüstriyel açıklaması ise, ürün üzerindeki işlemin kötü etkilerini en aza indirgeyecek yöntemin geliştirilmesidir. Gıda işleminin son ürün kalitesi üzerindeki etkisi, o işlem için kullanılabilirlik ve ticari açıdan sürdürülebilirliğini belirlemektedir. Gıdaların kurutulmasında uçucu madde ve lezzet kaybı, renk ve dokuda meydana gelen değişimler ve besin değerinde meydana gelen azalmalar önem arz etmektedir. Üstelik kalıntı enzim aktivitesi ve mikrobiyal aktivite de ürün kalitesini etkileyen temel faktörlerdir (UNIDO, 2004).

Besin değerlerinin hangi ölçüde korunduğunu işlem koşulları belirlemektedir. Kurutmada amaç, ısının ürün kalitesi üzerindeki etkisini en düşük seviyede tutmaktır. Eğer sıcaklık başlangıçta çok düşük olursa, mikroorganizmalar yaşamlarını sürdürebilmekte ve hatta kuruma yeterli düzeye gelinceye dek gelişebilmektedir. Sıcaklığın çok yüksek ve nemin çok düşük olması ise ürünün yüzeyinde kabuk oluşumuna neden olabilmektedir. Bu ise nemin ortamdan uzaklaşmasını zorlaştırır ve gıdanın yeteri kadar kurummasını engeller. Kurutma, gıdaların korunması amacıyla kullanılan ve basit olduğu düşünülen bir yöntem olmasına rağmen, prosedür kesin değildir. Bu nedenle de en iyi yöntemin belirlenmesi amacıyla deneysel çalışmaların yapılması gereklidir.

Mikro düzeyde yapılan çalışmalar, kuruma sırasında meydana gelen değişimlerin ölçülmesinde ve gıda dokusu başta olmak üzere diğer kalite faktörlerinde meydana gelen değişim mekanizmalarının anlaşılmasında yardımcı olabilmektedir (Ramos et al., 2005). Meyve ve sebzelerdeki mineral içeriği, kurutma sırasında sabit kalmasına rağmen, vitaminler oldukça kararsızdırlar ve

enzimler tarafından zarar görebilmektedirler. Ürün kalitesiyle birlikte rehidrasyon özellikleri ve depolama stabilitesi kurutulmuş ürünler için dikkate alınan diğer parametrelerdir.

Kurutma için en yaygın değerlendirilen özellikler mühendislik ve kalitedir. Mühendislik özelliği, kurutulmuş ürün için nem difüzyonu, ısı iletkenlik, özgül ısı ve denge nem değeri iken; ürün kalitesi ile ilgili olanlar yapısal, tekstürel, optik, duyuşsal, besinsel ve rehidrasyon özellikleri olarak verilebilmektedir (UNIDO, 2004).

Mikroorganizmaların üründe bulunması çeşitli sorunlara neden olabilmektedir. Bakteriyel gelişim genellikle su aktivitesinin 0.9'dan düşük olduğu durumlarda sona ermekte iken, mayalar için bu değeri 0.8, küfler için ise 0.7 olarak kabul edilir. Bu nedenle kseroofilik (kuru şartları seven) küf ya da maya olmadığı durumda su aktivitesi 0.7'nin altında mikrobiyolojik bozulmanın olmadığı kabul edilir. Üstelik, sıcak hava ile yapılan bir çok kurutma işleminde vejetatif mikroorganizmalar inaktif hale gelmektedir (Brennan, 2006).

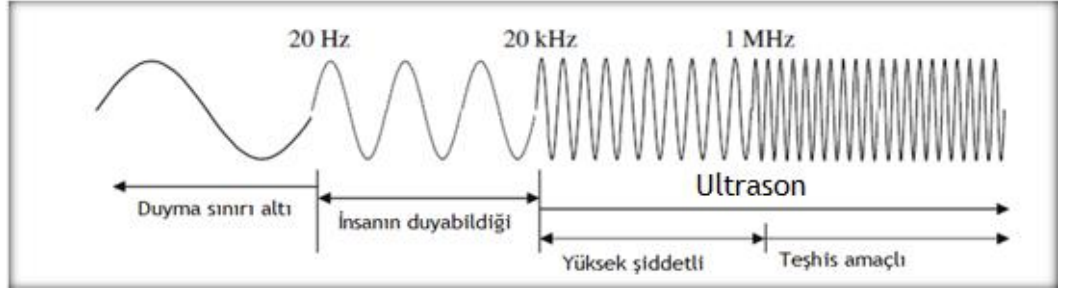
Esmerleşme reaksiyonları, ürünün rengini değıştirmesinin yanı sıra çözünebilirliği ve besinsel değeri azaltmakta, lezzette bozulmalara ve tekstürel değışimlere yol açmaktadır. Enzimatik ve enzimatik olmayan (Maillard reaksiyonları, karamelizasyon) olmak üzere önemli iki tip esmerleşme bulunmaktadır. Bu renk değışimleri genellikle arzu edilmez ancak bunları kontrol etmek için gerekli önlemler alınabilmektedir. Esmerleşme reaksiyonlarının hızı, kurutmada uygulanan sıcaklığa, ürünün nem ve pH değerine, ısı işlemin süresi ve tepkimeye girecek maddelerin konsantrasyonuna bağı olarak değışkenlik göstermektedir. Enzimatik esmerleşmede, "fenolaz" olarak adlandırılan enzim grubu patates, elma, muz, patlıcan gibi bazı meyve ve sebzelerde esmerleşmeden sorumludur. Doku çürüdüğünde, kesildiğinde, soyulduğunda, hastalık ya da normal olmayan herhangi bir şeye maruz bırakıldığında ürünün rengi değışmekte, zarar gören doku havaya maruz kaldığında fenolik bileşenlerin esmer melaninlere dönüşmesinden dolayı da hızlıca koyulaşmaktadır (UNIDO, 2004).

Enzimlerin çalışması için suyun tamamının serbest su olması gerekli değildir, gevşek bağı su bulunması durumunda da aktif haldedirler. Meyve-sebze endüstrisi için enzimatik esmerleşme en büyük sorunlardan birisi olmuştur. Bu oluşumu önlemek amacıyla kısa süreli haşlama ya da kükürdioksit, sitrik ve

askorbik asit gibi ön işlemler uygulanabilir ya da ultrason gibi yeni teknolojiler kullanılabilir.

2.5 Ultrason Teknolojisi

İnsan kulağının duyabileceğinden daha yüksek frekanstaki ses dalgaları ultrason olarak adlandırılmaktadır. 20 kHz ile 1 MHz frekans aralığında olanlar yüksek şiddetli ultrason olarak adlandırılıp, genellikle sanayide fiziksel ve kimyasal etkisi için kullanılırken; 1 MHz ile 10 MHz aralığında olanlar diagnostik (teşhis) amaçlı ultrason olarak adlandırılır ve tıpta ya da endüstriyel görüntüleme için kullanılır (Chin et al., 2013).



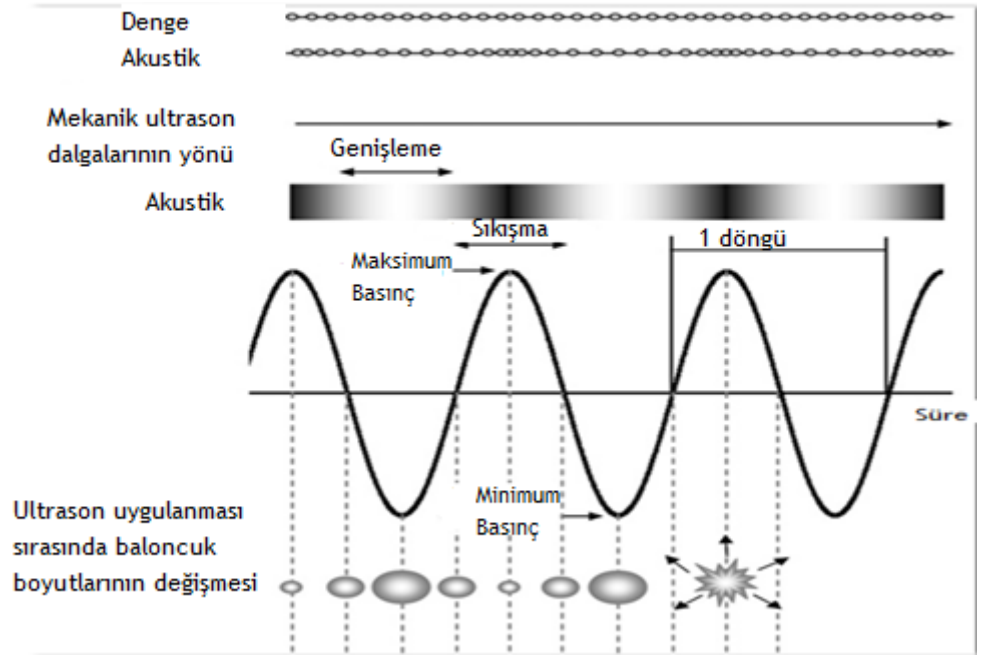
Şekil 2.2 Ses dalgalarının frekans aralığına göre isimlendirilmesi (Barbaso-Canovas and Ibarz, 2003)

Yüksek şiddetli ultrasonun ilk kullanımı Richard and Loomis tarafından 1927 yılında yayımlanan “Yüksek frekanslı ses dalgalarının kimyasal etkisi: ön çalışma” adlı makaleye dayanmaktadır. Böylece yüksek şiddetli ultrasonun emülsifikasyon ya da yüzey temizleme gibi geniş bir alanda kullanılabilmesi fikri ortaya atılmıştır. 1960'lara gelindiğinde endüstri bu teknolojiyi bünyesine katmış ve ultrasona olan ilgi giderek önem kazanmıştır (Sun, 2005).

Ultrason dalgaları ürün üzerinde sıkışma ve genişleme şeklinde basınç değişimlerine neden olur. Bu etki süngerin sıkılıp bırakılmasına benzetildiğinden “sünger etkisi” olarak da kabul edilmektedir (Fernandes et al., 2009). Dalgaların yarattığı bu gerilim, üründe mikro kanalların oluşmasını sağlar ve hücre içindeki suyun ortama çıkmasını kolaylaştırır (Garcia-Pérez et al., 2010).

Sıvı içerisinde ultrason uygulaması kavitasyona neden olmaktadır. Bu olay sırasında sıvı ya da ürün içerisinde bulunan gaz baloncukları sürekli olarak

büyüyüp küçülmektedir. Baloncuk hacmi kritik bir noktaya ulaştınca, sıkışma evresinde sönererek büyük bir enerji yaymaktadır (Villamiel and Soria, 2010).

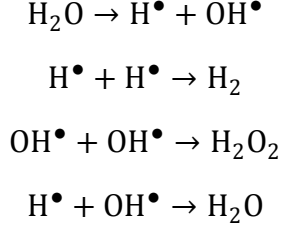


Şekil 2.3 Kaviteasyon oluşumu (Villamiel and Soria, 2010)

Kaviteasyon oluşumu için, sıvının içerisinde bulunan moleküllerin kenara çekilerek boşluk yaratılması gereklidir. Saf sıvılar, kaviteasyonun başlaması için normal ultrasonik ekipmanlarla karşılanamayacak kadar yüksek şiddette güce ihtiyaç duyarlar. Ancak birçok sıvı, gaz baloncukları ya da toz zerrecikleri gibi ana yapıdan farklı bileşenler içermektedir. Böylece zayıf noktalar oluşmakta ve kaviteasyon baloncuklarının oluşumuna zemin hazırlamaktadır (Sun, 2005).

Kaviteasyon nedeniyle bölgesel olarak sıcaklıkta 5000 K'e, basınçta ise 1000 atm'ye varan yükseliş meydana gelir. Sıcaklık artışı ve şiddetli basınç, patlama sonucu yayılan su buharında ve çevreleyen ortamda bir takım kimyasal değişikliklere yol açar. H ile OH radikalleri meydana gelir ve yeni moleküllerin oluşumuna katkıda bulunur (Barbaso-Canovas et al., 2010).

Serbest radikal oluşumu (Şekil 2.4), uygulanan frekansa göre değişkenlik göstermektedir. Düşük frekanslarda az sayıda baloncuk (kaviteasyon) oluşup, baloncuk başına daha çok radikal meydana gelirken; yüksek frekanslarda daha çok baloncuk oluşup, baloncuk başına daha az radikal oluştuğu bildirilmektedir. Bu nedenle de kimyasal etki en çok 200-500 kHz frekans aralığında gözlenir (Barbaso-Canovas et al., 2010).



Şekil 2.4 Serbest radikal oluşumu (Barbaso-Canovas and Ibarz, 2003)

Ultrason dalgalarının neden olduğu kavitasyon baloncuklarının, sıvı içerisinde bulunan katı fazın yüzeyine doğru asimetrik hareketi yüzey doğrultusunda mikrojetlerin oluşumunu sağlar. Bu oluşum ortamda mikro ölçekte karıştırma ve katıdan madde uzaklaşmasını sağladığı gibi, ortamdaki katı maddeye sıvı enjeksiyonu da sağlayabilir. Bu etki ile ozmotik kurutmada kütle aktarımına katkı sağladığı düşünülmektedir (Carcel et al., 2007).

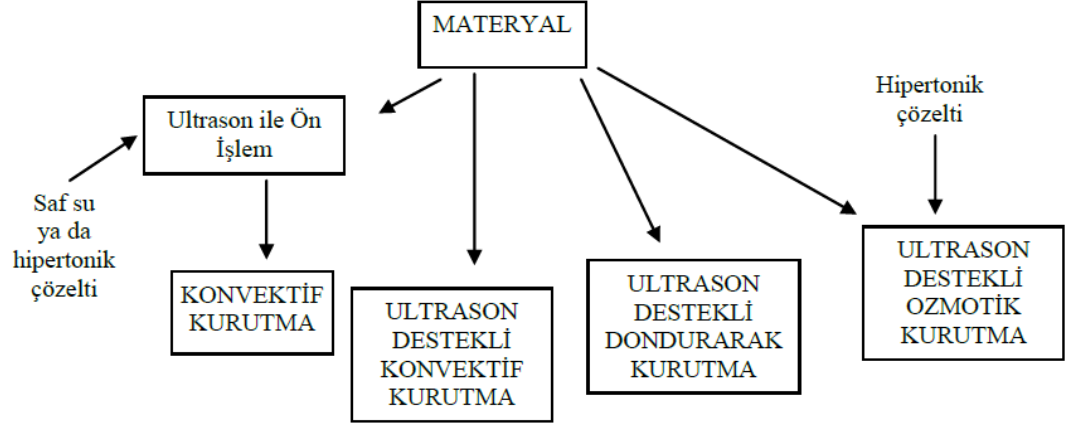
Ultrason teknolojisi gıdaların filtrasyonunda (Kyllönen et al., 2005), üretim sırasında oluşan köpüklerin giderilmesi amacıyla (Mason et al., 2005), depolimerizasyonda (Grönroos et al., 2004), ürünlerin kesilmesinde (Arnold et al., 2009) ve gıdaların emülsifiye edilmesinde kullanılabilir.

Bunların haricinde ultrasonun kullanıldığı başka alanlarda bulunmaktadır:

1. Homojen ısı dağılımı sağlayarak, pişirme ve dondurmaya daha kısa sürede sonuç verecek hale getirebilir.
2. Salamura-marinasyon işlemlerinde kütle transferini hızlandırabilir.
3. Sıkışma-genişleme etkisiyle ortamdaki çözünmüş gazların uzaklaşmasını sağlayabilir.
4. Alkollü içecek üretiminde oksidasyonu artırabilir.
5. Bölgesel sıcaklık artışı ve serbest radikaller ile mikroorganizmaların ve enzimlerin inaktivasyonunda kullanılabilir.
6. Sönümlenme sonucu meydana gelen kavitasyon etkisiyle katı üzerinde mikrojetler yaratarak ekstraksiyon işlemini kolaylaştırır.
7. Kurutmada ise, mikrokanallar ile kütle transferinde artış sağlar (Chemat et al., 2011).

2.6 Gıdaların Kurutulmasında Ultrason Kullanımı

Ultrason teknolojisi kurutmada ön işlem olarak saf su ya da hipertonic çözeltilerle birlikte kullanılabilirdi gibi, kurutucuya entegre edilmiş şekilde kullanılan çeşitleri de bulunmaktadır. Bunların dışında ozmotik kurutma ve dondurarak kurutma sırasında difüzyonu artırmak amaçlı da kullanılabilir.



Şekil 2.5 Kurutma işleminde ultrasonun kullanılabileceği sistemler

0.5 cm kalınlığındaki muz dilimlerine, 10-20-30 dakika ultrason banyosu (25 kHz) ile saf su içerisinde 30°C'ta ön işlem uygulanmış, 50°C'ta 3.0 m/s hava hızı ile kurutulmuştur. Ön işlem sırasında artan süreyle birlikte, üründe suda çözünür kuru madde kaybı ve nem değerinde artış görülmüştür. Kuruma süreleri, ön işlem süreleri ile karşılaştırıldığında artan ön işlem süresinin kuruma süresini azalttığı belirlenmiş, ancak 30 dakikalık ön işlemin 20 dakikalık ön işleme göre istatistiksel açıdan önemli bir fark yaratmadığı gözlenmiştir (Azoubel et al., 2010).

Kübik (2x2x2 cm) kesilmiş papaya dilimleri 10-20-30-45 ve 90 dakika hipertonic çözelti (35°Bx) kullanılarak ultrason banyosu (25 kHz) ve ozmotik kurutma ile ön işleme tabi tutulmuştur. 60°C'ta kurularak ön işlemin kuruma üzerine etkisi incelenmiştir. Ultrason etkisi, karıştırma yapılmayan hipertonic çözeltiye karşı incelendiğinde 10-20 ve 30 dakika için ultrasonun daha etkili olduğu, 45 ve 90 dakika için ise ultrason kullanılmayan ön işlemin (ozmotik) daha etkili olduğu belirlenmiştir (Fernandes et al., 2008b).

Ultrason destekli konvektif kurutmada iki farklı ultrason cihazı kullanılmaktadır. Bunlar: Hava kaynaklı ve materyal ile temas halinde olanıdır.

Hava kaynaklı ultrason, ses dalgalarının cihazdan materyale hava ile taşınması esasına dayanır. Havanın yoğunluğu düşük olduğundan aktarılan akustik enerjide kayıp meydana gelir. Hava kaynaklı ultrason dalgalarının etkisi düşük hava sıcaklıklarında önemliyken, artan sıcaklık etkiyi önemsiz hale getirdiği bildirilmektedir. Bu nedenle de sıcaklığa karşı hassas ürünlerde ya da düşük sıcaklıklarda hızlı kurumanın istendiği durumlarda kullanılması önerilmektedir (Gallego-Juarez, 2010).

Materyal ile temas halinde olan ultrason kullanımı, akustik enerji aktarımını daha etkin hale getirir. Ürünün içerisine nüfuz edebilen dalgalar, hızlı seriler şeklinde oluşturduğu sıkışma ve genişleme etkisiyle; ürünün içerisinde, var olan ya da oluşan kanallar vasıtasıyla nemin hareketine yol açar (Gallego-Juarez, 2010).

Mulet et al. (2007) tarafından yapılan çalışmada kübik (18x18x18mm) kesilmiş havuç örneklerinin 40°C'de farklı hava hızları (0.6 m/s - 10 m/s) kullanılarak ultrason destekli kurutulmasında ultrason (75W, 21.8 kHz) kullanımının etkisi incelenmiştir. Ultrason kullanımının, artan hava hızı ile birlikte kuruma süresini azaltmada çok etkili olmadığı, düşük hava hızlarında daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bir başka çalışmada, portakal kabuğu pulptan ayrılarak 6 mm kalınlığında dilimler halinde kesilmiştir. 40°C'ta 1m/s hava hızı ile ultrason (90W, 21.7kHz) kullanılarak kurutulmuştur. Kontrol örneği ile karşılaştırıldığında kuruma süresinde belirgin bir azalma ve enerji tüketiminde %30'a yakın bir tasarruf elde edilmiştir (Garcia-Perez et al., 2010). Soyularak dilimler (2 cm kalınlık, 2.4 cm çap) haline getirilen patlıcan, hava kaynaklı ultrason (21.7 kHz, 0-45-90W) destekli kurutucu ile 40°C'ta 1 m/s hava hızında başlangıç ağırlığının %80'i uzaklaşınca dek kurutulmuştur. Kuruma süresinde meydana gelen azalma kontrole göre 45 ve 90W ultrason kullanıldığı durumda sırasıyla %50 ve %75 olarak bulunmuştur (Puig et al., 2012).

Ultrason (76W) destekli vakumlu liyofilizatörde yapılan bir çalışmada kırmızı dolmalık biber (1x1 cm) kullanılmıştır. Ultrasonun kuruma süresine olan etkisi incelendiğinde kontrol ile aynı nem değerine (%10, kuru esas) düşmeleri için gereken süre ultrason kullanıldığında 16.16 saat kontrolde ise 18.25 saat olarak bulunmuştur. Renk, askorbik asit miktarı ve rehidrasyon özellikleri

karşılaştırıldığında bir fark bulunmamıştır (Schössler et al., 2012). Atmosferik basınç altında çalışan ultrason destekli liyofilizatör kullanılarak, kübik kesilmiş havuç (1x1x1 cm) örneklerinin kuruma süresinin incelendiği başka bir çalışmada; -10°C sıcaklık, 2 m/s hava hızı ve %10 RH koşullarında ultrasonun (20.5 kW/m³) etkisi incelenmiştir. Başlangıç ağırlığının %82'sini kaybetmesi için gereken süre, ultrason kullanıldığı durumda kontrole göre %60 azalmış, rehidrasyon değerinde belirgin bir artış elde edilmiştir. Sertlik açısından incelendiğinde ise yöntemin istatistiksel bir fark yaratmadığı görülmüştür (Garcia-Perez et al., 2012). Yüzey yanıt yöntemi kullanılarak, elma dilimlerine (8mm kalınlık) 0, 9, 22.5, 45 ve 54 dakika ultrasonik banyo (35 kHz) ile ön işlem sonrasında 71.5°C'de 360, 540 ve 720 dakika kurutulmuştur. Toplam fenolik, antioksidan kapasitesi ve dokusal açıdan incelendiğinde 24.5 dk ultrasonik ön işlemi takiben 467.51 dk kurutmanın en iyi yöntem olduğuna karar verilmiştir (Opalic et al., 2009).

Sükroz çözeltisi (30°Bx) kullanılarak, ultrason ve karıştırmanın ayrı ayrı elma dilimlerinin (3x3x0.5 cm) nem kaybı üzerine etkisi incelenmiştir. 45 dakika süreyle 30°C'ta sükroz çözeltisinde yapılan çalışmalarda 850 ve 1200 rpmde karıştırma; 42.5, 52.5, 57 ve 61W ultrason kullanımı ve kontrol olarak sadece çözelti içerisinde bekletme uygulanmıştır. Karıştırma hızının artması kurutma işlemini yavaşlatmış, bunun nedeni olarak yüksek hızda, oluşan köpüğün olumsuz etki yarattığı belirtilmiştir. Artan ultrason gücünün işlemi olumlu yönde etkilediği gözlenmiş, incelenen değerlere göre 57 (su kaybı 1.39 ± 0.08 kg su/kg başlangıç k.m) ve 61W (su kaybı 1.38±0.11 kg su/kg başlangıç k.m.) arasında istatistiksel bir fark bulunmamıştır (Carcel et al., 2007). Kırmızı dolmalık biber (7x20x80 mm) kullanılan bir çalışmada tuz ve diğer bileşenleri içeren (%13.51 NaCl, %0.84 sitrik asit, %0.14 sodyum metabisülfat, %0.17 sodyum benzoat ve %85.14 su) çözelti hazırlanarak ultrason (47 kHz) yardımıyla ve farklı sıcaklıklarda (25, 35, 45, 55°C) ozmotik kurutma yapılmıştır. İşlem, ultrason kullanıldığı durumda 3 saat, kullanılmadığı durumda 8 saat sürmüştür. İşlem sırasında, Na ve Ca kazanımının ultrason ile artmadığı, ancak salamura sıcaklığına bağlı olarak artış gösterdiği saptanmıştır. Üründen çözeltiliye su kaybı incelendiğinde ise ultrasonun artan sıcaklıkla birlikte daha etkili olduğu görülmüştür (Quintero-Ramos et al., 2007).

Materyal olarak kivi kullanılan başka bir çalışmada ise ultrason ile ön işlem sonrasında ozmotik kurutma yapılmıştır. Soyularak dilimler haline getirilen kivi (1 cm) ultrason banyosu (35 kHz) kullanılarak saf su içerisinde (meyve-su oranı=1:4 (a/a)) 25°C'ta 10-20-30 dakikalık ön işleme tabi tutulmuştur. Daha

sonra sükröz çözeltisi (%61.5 (a/a)) içerisinde 10-20-30-60 ve 120 dakika 25°C'ta 88 rpm'de çalkalama yapılarak ozmotik kurutma uygulanmıştır. Ön işlem olarak 20 ve 30 dakikalık ultrason uygulamasının ozmotik kurutma işleminin sadece ilk 30 dakikasında etkili olduğu sonucuna varılmıştır. 120 dakikalık ozmotik kurutma öncesinde ultrason kullanımının su kaybı üzerinde çok az bir etkisi olduğu; 10 dakikalık ultrason ile yapılan ön işlemin ise önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. 20 dakikalık ultrason ön işlemini takiben 30 dakikalık ozmotik kurutmada, ultrason uygulanmadan ozmotik kurutma yapılmış örneğe göre %45 daha fazla katı kazanımı elde edilmiştir (Nowacka et al., 2014).

35 kHz'de çalışan ultrasonik prob 10-20-30 dakika saf su içerisindeki kübik elmalara (1:4 (a/a) oranında) uygulanmış ve 70°C'ta 1.5 m/s hava hızı ile kurutulmuştur. Kurutma sırasında aynı nem değerine (0.11 kg su / kg kuru madde) düşmeleri için gereken süre: işlem görmemiş için 165 ± 2 , 10 dk ultrason uygulanmış için 108 ± 1 dakika, 20 dk ultrason uygulanmış için 114 ± 1 dk ve 30 dakika ultrason uygulanmış örnek için 99 ± 1 dk olarak bulunmuştur (Nowacka et al., 2012). Mantar (bütün), Brüksel lahanası (yarım) ve karnabahar (1.5x1.5 cm) kurutulan bir çalışmada ultrasonik banyo (40 kHz) ve ultrasonik prob (20 kHz) ile 3 ve 10 dakika saf su içerisinde ön işlem uygulanmıştır. Kuruma süreleri incelendiğinde en kısa sürenin mantar için 3 dakikalık banyo, Brüksel lahanası ve karnabahar için ise 3 dakikalık prob kullanımı sonrasında sağlandığını gözlemlenmiştir (Jambrak et al., 2007).

Küpler (2 cm) halinde kesilen kavun meyvesi, 30°C'de 20 ve 30 dakika karıştırma yapılmadan ultrasonik banyo ile ön işlem uygulandıktan sonra 60°C'ta kurutulmuşlardır. Ön işlem süresinin artmasıyla birlikte kuruma süresinde azalma elde edilmiştir (Fernandes et al., 2008c).

3. MATERYAL-YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışmada hasadı Türkiye’de yapılan turuncu renkli havuç (*Daucus carota* L.) materyal olarak seçilmiştir. İzmir ilinde bulunan süpermarketlerden satın alınmış ve buzdolabı (4°C) sıcaklığında, işlem görene dek en çok 1 hafta bütün halde muhafaza edilmiştir. Kullanılmadan önce yıkanıp soyularak, elektrikli dilimleyici (Fresh Express, Moulinex, Fransa) ile 3mm kalınlığında dilimlenmiştir. β -karoten analizlerinde kullanılmak üzere, HPLC derecesinde aseton (Sigma-Aldrich, ABD), petrol eteri (Merck, Almanya), β -karoten standardı (Sigma-Aldrich, ABD) ve sodyum sülfat (Merck, Almanya) satın alınmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Ön işlemler

Kurutma üzerine olumlu etkileri, örnek verilen çalışmalarla ortaya konulan ultrason işlemi, 2 farklı cihaz kullanılarak ön işlem olarak uygulanmıştır. Bu amaçla ultrasonik banyo (Sonorex Digitech DT 103, Bandelin, Almanya) ve ultrasonik prob (Model UP 400S, Dr. Hielscher, Almanya, prob çapı 14 mm) kullanılmış, çözelti olarak ise saf su seçilmiştir.

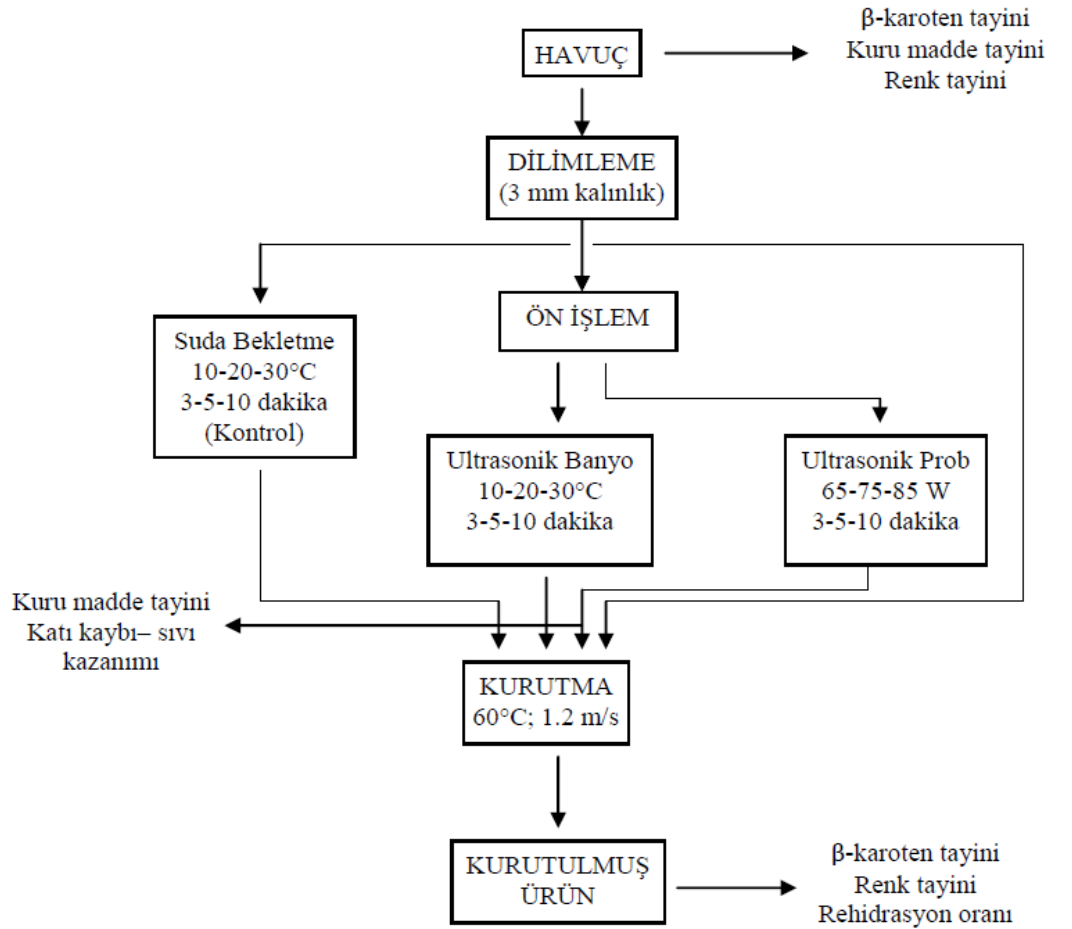
Yaklaşık 65 gram örnek 4 katı ağırlıktaki (260 g) saf suyun içerisine daldırılarak muamele edilmiştir. Ultrasonik banyo için 3 farklı ön işlem sıcaklığı kullanılırken (10, 20 ve 30°C), ultrasonik prob için 3 farklı tüketim gücü (65, 75 ve 85W) değişken olarak belirlenmiştir. Bunların dışında sadece saf suda bekletmenin etkisinin olup olmadığını anlamak amacıyla ultrason uygulanmadan suda bekletme yapılmış ve değişken olarak ultrasonik banyo için verilen sıcaklık değerleri seçilmiştir.

Ultrason uygulanan ve uygulanmayan tüm ön işlemler için süre 3, 5 ve 10 dakika kesintisiz olarak devam edecek şekilde yürütülmüştür. Ultrasonik prob ve soğutma amacıyla kullanılan su banyosuna ait resim EKLER’de verilmiştir.

3.2.2 Kurutma işlemi

Örnekler tepsili kurutucuda (Uop8-A, Armfield Ltd., İngiltere) 60°C'ta 1.2 m/s hava hızı ile 300 dakika, 3 tekerrür olarak kurutulmuş ve analizler için derin dondurucuda (-18°C'taki) cam kavanozda saklanmıştır. Kuru madde tayinleri vakumlu etüvde 70°C'ta (160 mmHg) 24 saat tutularak gerçekleştirilmiştir (AOAC, 1990).

Ön işlemler sırasında üründe katı ve sıvı miktarında meydana gelen ağırlık değişimleri belirlenmiştir. Kurutulmuş üründe ise renk ve β -karoten analizleri yapılmış, rehidrasyon özellikleri incelenmiştir. Şekil 3.1'de deneme planı verilmiştir.



Şekil 3.1 Deneme planı

3.2.3 Katı kaybı - sıvı kazanımı (%)

Belirtilen koşullarda saf su içerisinde ön işlem uygulanmış örnekler, işlem sonunda sıvıdan uzaklaştırılarak fazlalık suyu filtre kağıdı ile giderilmiştir. (Örnek resim EKLER’de verilmiştir) Yaklaşık 60 g örnek delikli alüminyum kurutma tepsi üzerine (22x17 cm) tek tabaka olacak şekilde yayılmıştır. Kuruma hızı hesaplamalarında alan değeri olarak tepsi alanının %80’i alınmıştır.

Ön işlem sırasında ürünün nem ve ağırlık değişimleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır (Fernandes et al., 2008b):

$$SK(\%) = \frac{W_f X_f - W_i X_i}{W_i} \cdot 100 \quad (3.1)$$

$$KK(\%) = \frac{W_i(1-X_i) - W_f(1-X_f)}{W_i(1-X_i)} \cdot 100 \quad (3.2)$$

burada SK işlem sonrası ürünün kazandığı % nem değerini, KK ürünün kaybettiği % katı değerini, W değerleri örnek ağırlığını, X değerleri ise ürüne ait nem içeriklerini betimlemektedir. “i ve f” indisleri ise sırasıyla başlangıç ve son durumları göstermektedir.

3.2.4 Kuruma davranışlarının belirlenmesi

Kurutma sırasında yapılan periyodik ağırlık ölçümleri sonucunda hesaplamalarda kullanılmak üzere ürünlerin nem değerleri belirlenmiştir.

Ürün içindeki suyun difüzyonunu hesaplamak amacıyla Fick’in 2. kanunu kullanılmıştır.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \quad (3.3)$$

Burada, D_{eff} , suyun kütle difüzyon katsayısını (m^2/s), X ürünün nem değerini (kg H_2O/kg kuru madde), t zamanı (s), z ise ürünün kalınlığını (m) göstermektedir.

Ürün içerisinde nemin tekdüze ve simetrik dağılım gösterdiği, kuruma boyunca ürünün sabit hacimde kaldığı kabul edilirse; Fick denkleminin ince tabaka kuruma için analitik çözümü elde edilir.

$$MR = \frac{X-X_e}{X_0-X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left[-(2i+1)^2 \pi^2 D_{eff} \frac{t}{4L^2}\right] \quad (3.4)$$

Uzun kuruma süreleri için ($D_{eff} t/L^2 > 0.1$) eşitliğin sağındaki ilk terim dikkate alınarak, diğer terimlerin önemsiz olduğu kabul edilmektedir, bu durumda aşağıdaki basitleştirilmiş denklem elde edilir (Perry et al., 1999).

$$MR = \frac{X-X_e}{X_0-X_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right] \quad (3.5)$$

Burada: MR: üründeki nem oranını (birimsiz), X_0 : başlangıç nem değerini (kg H₂O/ kg kuru madde), X_e : denge nem değerini (kg H₂O/ kg kuru madde), D_{eff} : su difüzyon katsayısını (m²/s), t: süreyi (s), L: örnek kalınlığını (m) ifade etmektedir.

Suyun kütle difüzyon katsayısı, ln (MR)'ye karşılık süre grafiğinin çizilmesi ile bulunan eğrinin eğiminden hesaplanır. Burada K, eğrinin eğimini ifade eder.

$$D_{eff} = \frac{K4L^2}{\pi^2} \quad (3.6)$$

3.2.5 Kuruma kinetiğinin model uyumu

3.2.5.1 Page modeli

Kuruma kinetiğinin belirlenmesi amacıyla yaygın kullanılan modellerden birisidir (Page, 1949).

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (3.7)$$

Burada, k, kuruma sabiti (dk⁻¹), n, modele ait parametre, t, kuruma süresidir (dk).

3.2.5.2 Lewis modeli

Tarımsal ürünlerin ince tabaka kurutulmasında kullanılan bir modeldir (Lewis, 1921).

$$MR = \exp(-kt) \quad (3.8)$$

Burada, k, kuruma sabiti (dk⁻¹), t, kuruma süresidir (dk).

3.2.5.3 Henderson and Pabis modeli

Mısırların kurumasını oldukça iyi açıklayan bir model olarak literatürde yer edinmiştir (Henderson and Pabis, 1961; Erbay and İçier, 2010).

$$MR = a \exp(-kt) \quad (3.9)$$

Burada, a, modele ait katsayı (birimsiz), k, kuruma sabiti (dk^{-1}), t, kuruma süresidir (dk).

3.2.5.4 Logaritmik model

Henderson and Pabis modeline bir empirik sabit ekleyerek elde edilmiştir ve defne yapraklarının kuruma davranışını oldukça iyi açıkladığı belirtilmiştir (Yaldiz et al., 2001; Erbay and İçier, 2010).

$$MR = a \exp(-kt) + b \quad (3.10)$$

Burada, a, modele ait katsayı (birimsiz), k, kuruma sabiti (dk^{-1}), t, kuruma süresi (dk), b, modele ait empirik sabittir (birimsiz).

3.2.5.5 Midilli et al. modeli

Midilli et al. (2002) tarafından önerilen bu denklem, nem oranını zamanın bir fonksiyonu olarak kabul etmektedir.

$$MR = a \exp(-kt^n) + bt \quad (3.11)$$

Burada, a, modele ait katsayı (birimsiz), k, kuruma sabiti (dk^{-1}), n, modele ait parametre, t, kuruma süresi (dk), b: modele ait katsayıdır (dk^{-1}).

3.2.5.6 Modifiye Midilli et al. modeli

Midilli modelindeki a terimi bire eşit olduğu durum için geçerlidir ve çabuk kuruyan ürünler için kullanılmaktadır (Ghazanfari et al., 2006).

$$MR = \exp(-kt^n) + bt \quad (3.12)$$

Burada, k , kuruma sabiti (dk^{-1}), n , modele ait parametre, t , kuruma süresi (dk), b : modele ait katsayıdır (dk^{-1}).

Belirtilen modellerin katsayıları Matlab (2012a, The MathWorks, Inc., US) programı kullanılarak tespit edilmiştir. Matematiksel modellerin, deneysel verilerle uygunluğu R^2 , χ^2 ve $RMSE$ değerleri hesaplanarak belirlenmiştir. En uygun modelin seçilmesinde ise en yüksek R^2 değeri, en düşük χ^2 ve $RMSE$ değeri veren model tercih edilmiştir. χ^2 ve $RMSE$ değerleri aşağıdaki formüller ile Matlab kullanılarak hesaplanmıştır. Burada $MR_{i,p}$ - modelden elde edilen nem oranını, $MR_{i,e}$ -deneysel olarak elde edilen nem oranını, N - veri sayısını, n - modeldeki sabit katsayı sayısını göstermektedir.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{i,e} - MR_{i,p})^2}{N-n} \quad (3.13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{i,p} - MR_{i,e})^2}{N}} \quad (3.14)$$

3.2.6 Renk tayini

Taze ve kurutulmuş örneklerin renk değerleri MinoltaChromaMeter CR400 (Konica Minolta Sensing Inc, Japan) ile CIE $L^*a^*b^*$ renk uzayı kullanılarak ölçülmüştür. Bu skalanın kullanılma nedeni Hunter LAB'a göre sarılık değerlerinin daha iyi ölçülebilir olmasıdır. Örnekler arasından rastgele seçim yapılmış ve 9 ölçüm kaydedilmiştir.

Skalada L^* parlaklık değerini göstermektedir ve bu değer 0-100 aralığında değişmektedir. a^* değerinde pozitif değerler kırmızılık derecesini, negatif değerler ise yeşillik derecesini göstermektedir. b^* değerinde ise pozitif değerler ürünün sarılık derecesini gösterirken; negatif değerler mavilik derecesini göstermektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda ürünlere ait Chroma ve toplam renk değişim (TCD) değerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır. Burada L_0^* , a_0^* ve b_0^* taze ürüne ait değerler olarak alınmıştır.

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (3.15)$$

$$\text{TCD} = [(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2]^{1/2} \quad (3.16)$$

3.2.7 β -karoten tayini

Taze ve kurutulmuş ürünlere ait β -karoten değerleri Ranganna (1986) ve Kowalski (2013)'ye göre kuru madde üzerinden belirlenmiştir. 0.4 gram taze ya da 0.05 gram kurutulmuş havuç rnemleri analitik terazi (GR-200, AND, ABD, 0.1 mg hassasiyet) ile tartılarak deney tüpleri içerisine yerleştirilmiştir. Ardından uzerlerine 15 ml HPLC saflığında aseton eklenerek 24 saat karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Ekstraksiyonu hızlandırmak amacıyla laboratuvar tipi homojenizatör kullanılarak 12000 rpmde bir dakika karıştırma uygulanmıştır. Daha sonra tüpteki sıvı kısım, katı partiküllerinden ayrılarak bir şişeye alınmış ve uzerine 10 ml petrol eteri ilave edilmiştir. Ardından 20 ml saf su ve yarım spatül sodyum sülfat ilavesi yapılmış, kısa bir çalkalama sonrası faz ayırımı için bekletilmiştir.

Renkli kısmı içeren petrol eteri alınarak spektrofotometrede (Varian, Cary 50, UV-VB, ABD) 452 nm'de absorbansı okunmuş ve standart eğri ile konsantrasyonu belirlenmiştir. Kr olarak petrol eteri kullanılmış ve analizler 2 paralel olacak şekilde yrtlmştir.

Standart eğrinin hazırlanması amacıyla β -karoten standardından 10 mg tartılarak 1 ml kloroform içerisinde zndrlmştir. Ardından petrol eteri kullanılarak 100 ml'ye tamamlanmıştır (1ml= 0.1 mg). Bu zeltiden 10 ml alınarak petrol eteri ile tekrar 100 ml'ye tamamlanmıştır (1ml= 10 μ g). Daha sonra bu çözeltiden 5, 10, 15, 20, 25 ve 30'ar ml alınarak 100 ml'lik balonjojede petrol eteri kullanılarak seyreltilmiştir. Son durumda elde edilen konsantrasyonlar 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 ve 3.0 μ g/ml haline gelmiştir. Petrol eteri kr olarak kullanılmış ve 452 nm dalga boyunda spektrofotometre kullanılarak ölçüm yapılmış, elde edilen absorbanslara karşılık konsantrasyon grafiği çizilerek standart eğri oluşturulmuştur. Bu eğri Ek 1.'de verilmiştir.

3.2.8 Rehidrasyon oranı

Rehidrasyon denemeleri oda sıcaklığında ve 20°C'de saf su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kurutulmuş havuç dilimlerinden 2'şer gram alınarak uzerlerine 100 ml su ilavesi yapılmıştır. İşlem 4 saat boyunca, 1'er saat aralıklarla rnemlerin ağırlık değişimleri kaydedilerek gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla, örnekler sudan çıkarılarak filtre kağıdı ile fazlalık suyu giderilip tartıldıktan sonra tekrar çıkarıldıkları su içerisine bırakılmışlardır. Örnekler için rehidrasyon oranı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{Rehidrasyon Oranı} = \frac{\text{Rehidrasyon sonrası toplam ağırlık}}{\text{İlk örnek ağırlığı}} \quad (3.17)$$

3.2.9 İstatistiksel analiz

İstatistiksel analiz amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve Duncan çoklu karşılaştırma testi ile %95 güvenirlilik seviyesinde örnekler arasında bir fark olup olmadığı SPSS (version 20.0.0, IBM) paket programı kullanılarak belirlenmiştir.

4. BULGULAR

4.1 Katı kaybı- Sıvı Kazanımı (%)

Ön işlemler sırasında ultrason kullanıldığında ya da kullanılmadığında ürünün nem ve katı madde miktarında değişimler olmuştur. Uygulanan yöntemle bağlı olarak nem kazanımında ve katı kaybında artış meydana gelmiştir ve bu değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ultrasonik prob kullanılması, bu açıdan daha etkili olmuş ve kayıp miktarlarında ultrasonik banyoya göre daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Ultrason kullanılmayan durumda yani sadece suda bekletme yapıldığında katı kaybı ve sıvı kaybı değerleri en düşük seviyede kalmıştır. Benzer sonuçlar ultrasonik ön işleme guava meyvesinin kurutulmasında gözlenmiştir. Chin et al. (2013) sıvı olarak distile su, 35 ve 70 °Brix şeker çözeltisi kullanarak ultrasonik banyo ve ultrasonik prob ile guava dilimlerine ön işlem uygulamışlardır. Banyo kullanıldığı durumda artan gücün ve prob kullanıldığı durumda artan genliğin artan süre ile birlikte ürünün nem miktarında artış, katı miktarında ise kayıp yarattığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ultrason uygulamasında kullanılan ses dalgalarının ürün üzerinde yarattığı sıkışma ve genişleme etkisini göstermektedir (Jambrak et al., 2007; Nowacka et al., 2012).

Bu tez çalışmasında ultrasonik banyo ve suda bekletme uygulandığında artan sıcaklık ve süre, havuç dilimlerinin bekletildikleri sıvıdan su kazanımına neden olurken; üründen sıvıya katı kaybının arttığı görülmüştür. Ancak benzer etki ultrasonik prob kullanıldığında katı kaybı için görülmemiş olup; 75W kullanıldığı durumda meydana gelen katı kaybı, 85W kullanılan duruma göre daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.1 Ön işlem sırasında meydana gelen sıvı ve katı kayıpları.

Ön İşlem Türü	Su kazanımı (%)	Katı kaybı (%)
P65-3	4.04 ± 0.02 ^e	4.10 ± 0.17 ^j
P65-5	4.54 ± 0.01 ^{e, f, g}	4.15 ± 0.15 ^j
P65-10	5.57 ± 0.02 ^{h, i}	5.19 ± 0.18 ^l
P75-3	5.05 ± 0.02 ^{g, h}	4.13 ± 0.17 ^j
P75-5	5.56 ± 0.04 ^{h, i}	5.15 ± 0.33 ^l
P75-10	6.03 ± 0.01 ^{i, j}	6.40 ± 0.09 ⁿ
P85-3	7.86 ± 1.00 ^l	3.72 ± 0.08 ⁱ
P85-5	8.14 ± 0.07 ^l	4.92 ± 0.55 ^k
P85-10	8.93 ± 1.08 ^m	5.64 ± 0.21 ^m
B10-3	4.33 ± 0.02 ^{e, f}	1.66 ± 0.06 ^{d, e}
B10-5	4.87 ± 0.02 ^{f, g}	1.79 ± 0.09 ^{e, f}
B10-10	3.35 ± 0.03 ^d	3.50 ± 0.23 ⁱ
B20-3	5.92 ± 0.04 ^{i, j}	2.06 ± 0.08 ^{f, g}
B20-5	4.59 ± 0.02 ^{e, f, g}	2.31 ± 0.18 ^{g, h}
B20-10	6.45 ± 0.04 ^{j, k}	3.57 ± 0.16 ⁱ
B30-3	6.98 ± 0.04 ^k	2.56 ± 0.02 ^h
B30-5	6.31 ± 0.05 ^j	3.56 ± 0.09 ⁱ
B30-10	8.78 ± 0.09 ^m	4.45 ± 0.11 ^k
S10-3	1.20 ± 0.03 ^a	0.65 ± 0.17 ^a
S10-5	1.97 ± 0.03 ^b	0.98 ± 0.11 ^b
S10-10	2.25 ± 0.07 ^b	1.39 ± 0.11 ^{c, d}
S20-3	1.31 ± 0.01 ^a	0.96 ± 0.07 ^b
S20-5	2.51 ± 0.03 ^{b, c}	1.24 ± 0.11 ^b
S20-10	2.95 ± 0.05 ^{c, d}	2.06 ± 0.15 ^{f, g}
S30-3	2.27 ± 0.02 ^b	1.32 ± 0.02 ^c
S30-5	2.58 ± 0.02 ^b	1.41 ± 0.06 ^{c, d}
S30-10	4.28 ± 0.03 ^f	2.04 ± 0.03 ^{f, g}

^{a-k} Aynı sütundaki aynı harfler istatistiksel açıdan bir fark olmadığını göstermektedir ($p>0.05$).

P65-3: Ultrasonik prob 65W güçte 3 dakikalık ön işlemi ifade eder.

B10-5: Ultrasonik banyo 10°C'de 5 dakikalık ön işlemi ifade eder.

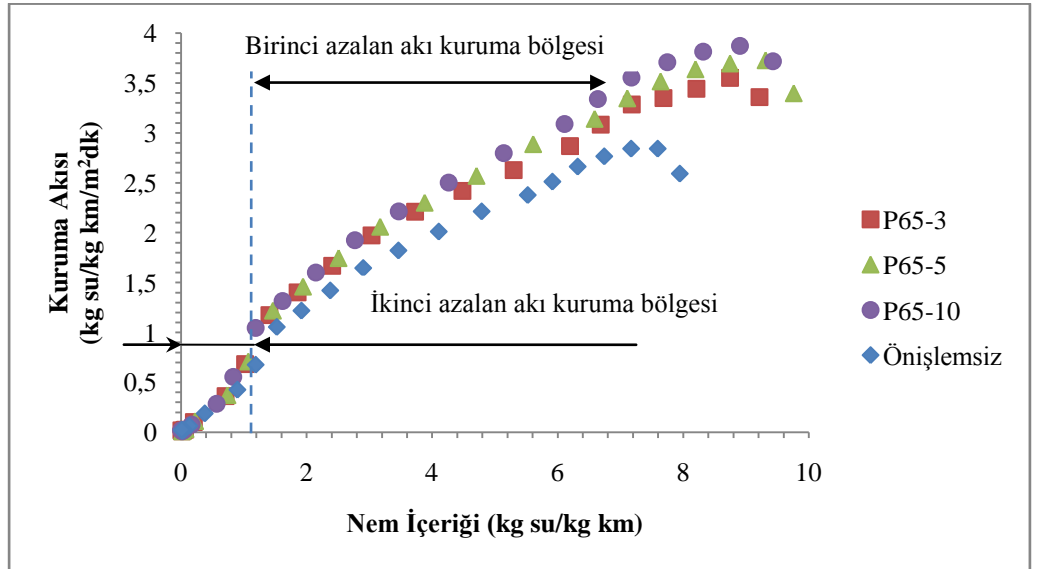
S30-10: Suda bekletme 30°C'de 10 dakikalık ön işlemi ifade eder.

4.2 Kuruma Mekanizması

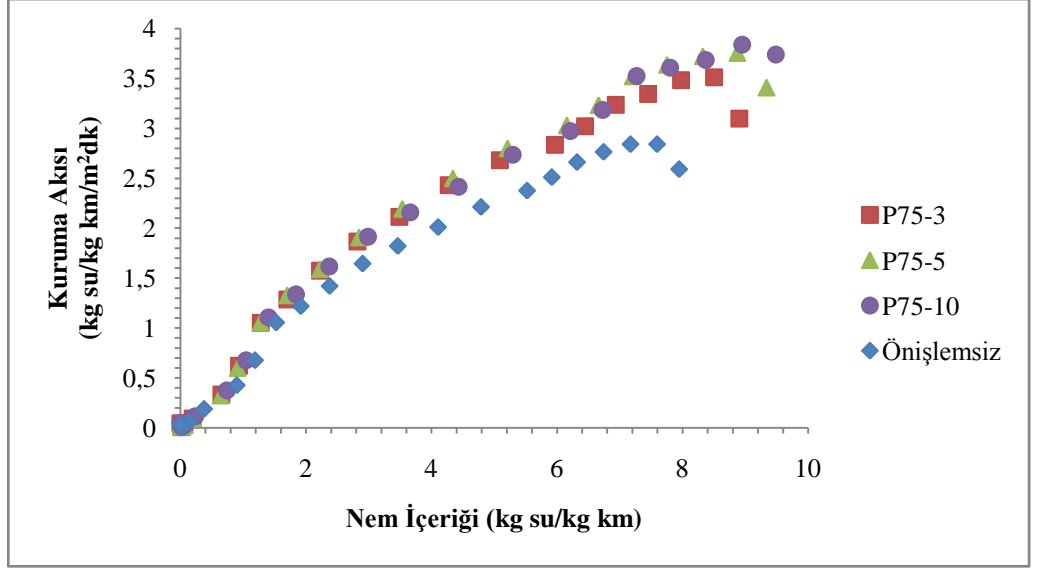
Kurutma işlemi tüm örnekler için 300 dakika sürdürülmüştür. Bu sürenin ön işlem görmeden kurutulan ürünün, kurutulmuş ürünler için önerilen %10 nem değerinin altına (Bobic et al., 2002), düşürülmesi için yeterli olduğu ön denemelerde bulunmuştur. Kurutma sonunda ürünlerin nem değerleri, ön işlem türüne göre %6.5 ile 8.5 aralığında değişkenlik göstermiştir. Kurutmada uygulanan sıcak havanın ürün üzerinde olumsuz etkileri olabileceği düşünülerek kurutulmuş üründe (Örnek resim EKLER’de verilmiştir) gerçek bir karşılaştırma yapılması amacıyla diğer çalışmalar (ön işlem uygulanmış) için değiştirilmemiştir.

Ultrason kullanılarak ya da kullanılmadan uygulanan ön işlemlerin tümü kuruma hızında artış sağlamıştır. Ultrasonik prob ile ön işlem kendi içinde süre açısından kıyaslanabilir şekilde Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3’te gösterilmiştir.

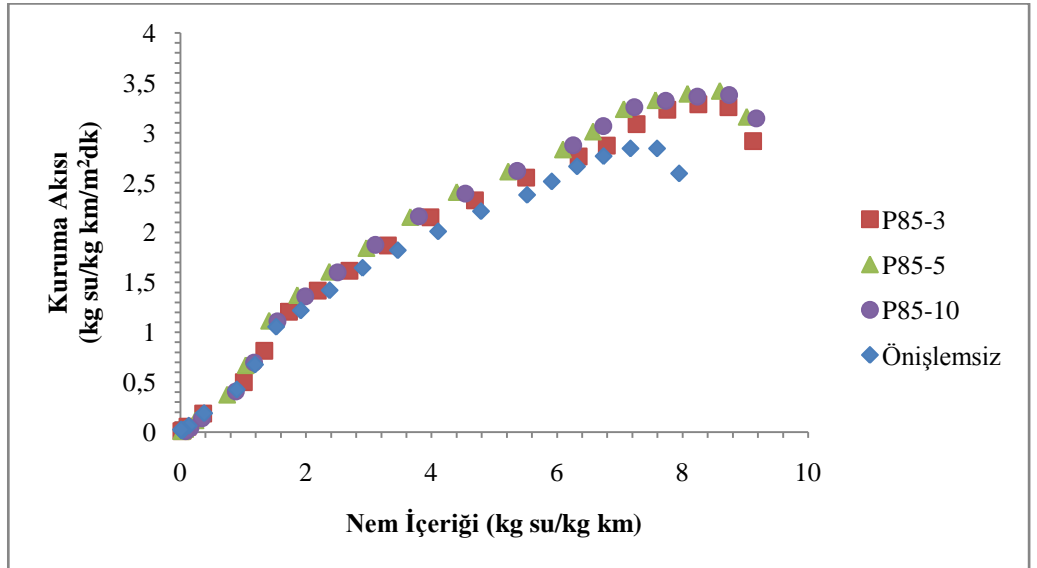
Ultrasonik prob 65W güçte kullanıldığı durumda artan işlem süresinin kuruma hızında artış sağladığı görülmüştür. 75W güçte çalışılan durumda ise kurumunun erken safhalarında 5 ve 10 dakikalık işlem ile daha yüksek kuruma hızı elde edilmiş olsa da, ilerleyen zamanla birlikte bu fark ortadan kalkmış ve neredeyse aynı kabul edilebilecek bir duruma gelmiştir. 85W ile yapılan denemelerde ise ön işlem sürelerinin kuruma hızı üzerinde farklı bir etkisi olmamış buna ek olarak ön işlem görmemiş üründen de belirgin bir farklılık elde edilmemiştir.



Şekil 4.1 65W ultrasonik prob için kuruma hızı eğrileri

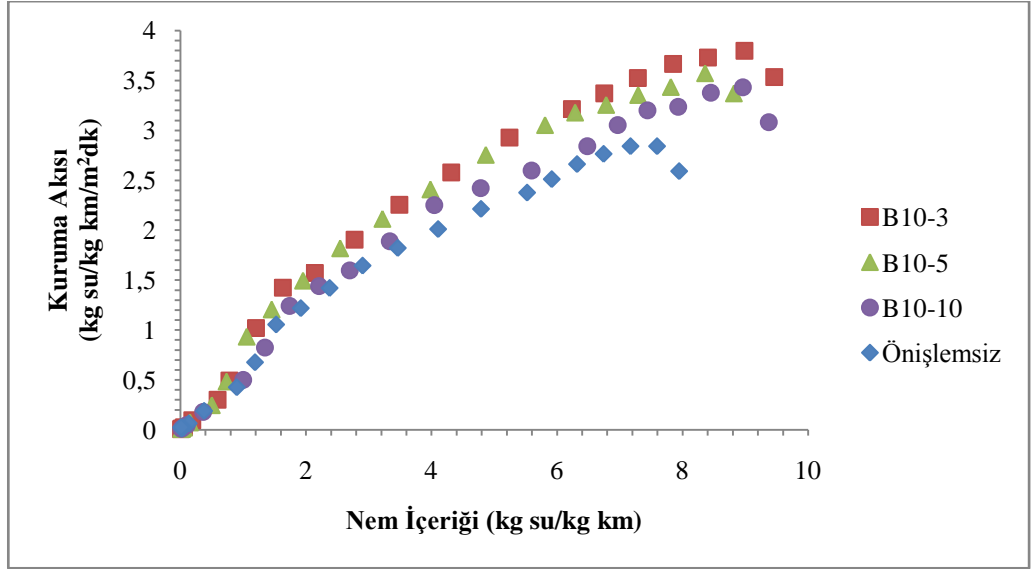


Şekil 4.2 75W ultrasonik prob için kuruma hızı eğrileri

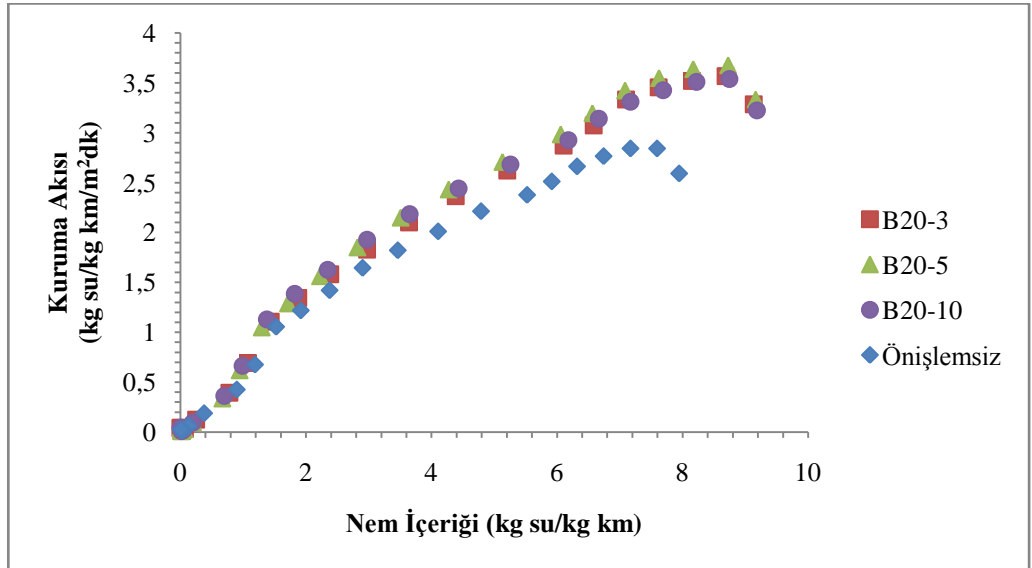


Şekil 4.3 85W ultrasonik prob için kuruma hızı eğrileri

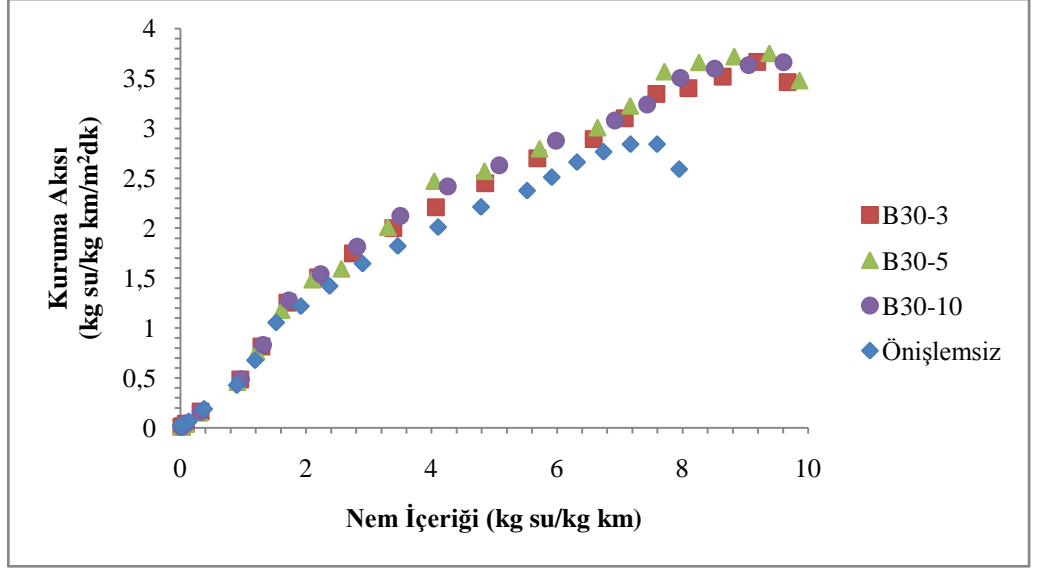
Ultrasonik banyo 10°C'ta kullanıldığı zaman, artan süreyle kuruma hızı arasında ters bir ilişki elde edilmiş, en yüksek kuruma hızı 3 dakikalık ön işlem sonrası yapılan kurutmada gözlenmiştir. Su sıcaklığı 20°C olarak çalışıldığı durumda ise işlem süresinin kuruma hızı üzerinde belirgin bir fark yaratmada etkili olmadığı görülmüştür. Sıcaklık 30°C'a çıkarıldığında ise 5 ve 10 dakikalık ön işlem ile birbirine yakın ve 3 dakikalık ön işleme göre yüksek değerler elde edilmiştir. Ultrasonik banyo kullanımında elde edilen kuruma hızları Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Ultrasonik banyo 10°C için kuruma hızı eğrileri

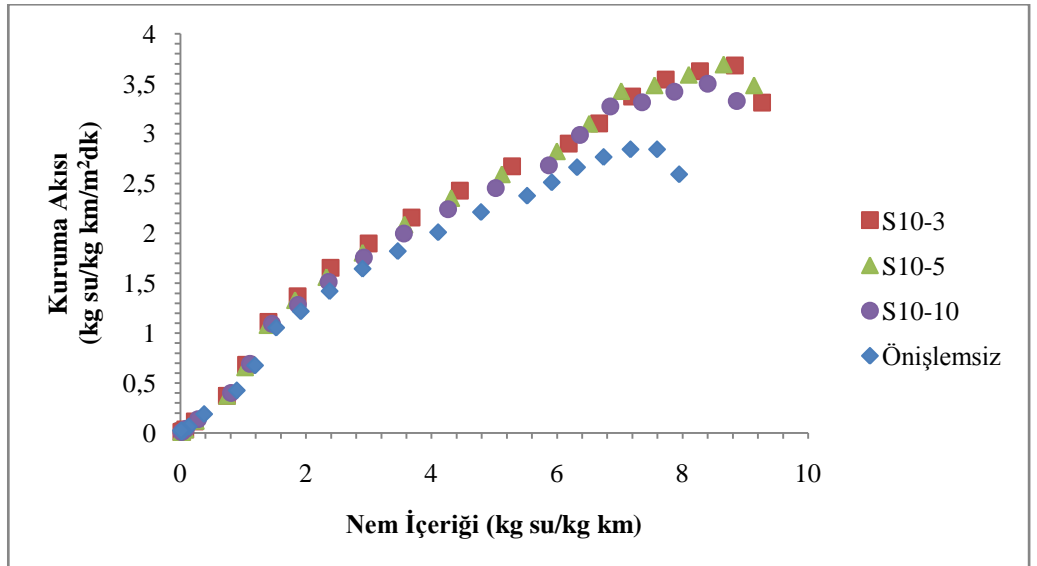


Şekil 4.5 Ultrasonik banyo 20°C için kuruma hızı eğrileri

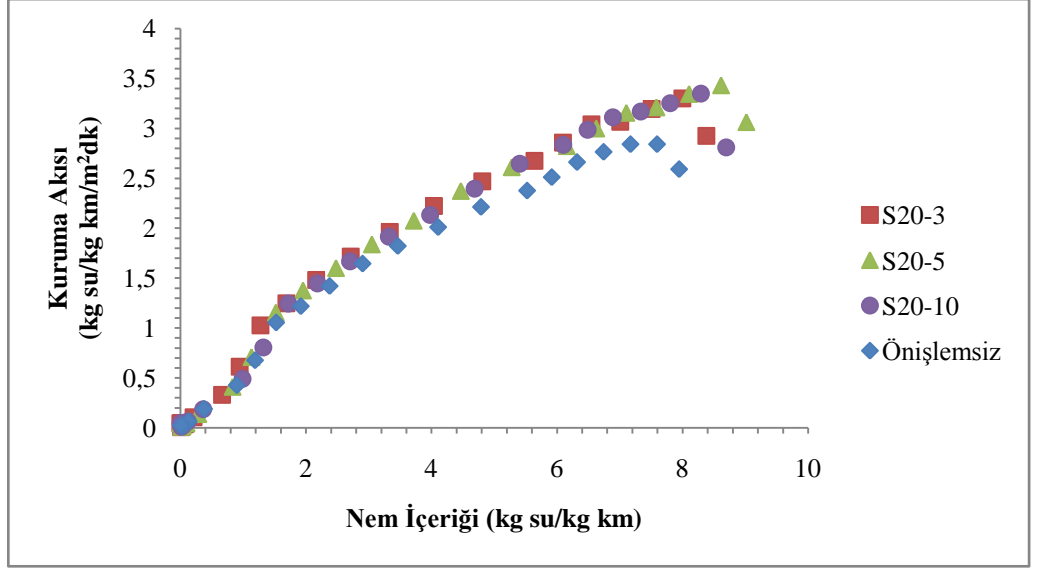


Şekil 4.6 Ultrasonik banyo 30°C için kuruma hızı eğrileri

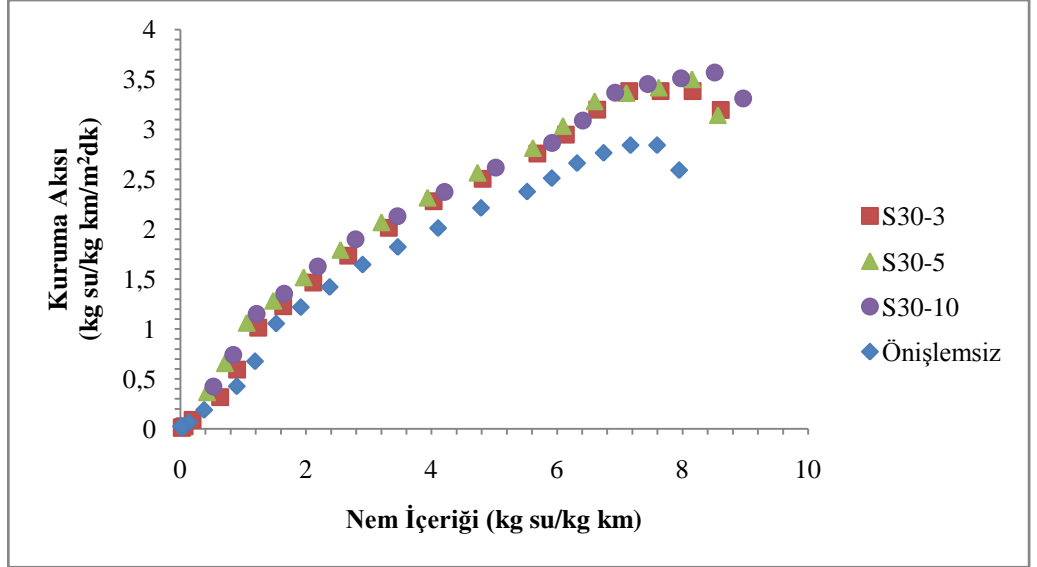
Ultrason kullanılmadan sadece suda bekletme yapılan durumda ise, 10°C (Şekil 4.7) sıcaklığında su kullanılması, artan ön işlem süresiyle kuruma hızında azalmaya neden olmuştur. 20°C'ta (Şekil 4.8) çok belirgin olmasa bile en yüksek hız 3 dakikalık uygulama ile elde edilmiş, bunu 10 dakika ve 5 dakikalık ön işlemler izlemiştir. 30°C (Şekil 4.9) ile çalışıldığı durumda ise 5 dakika ve 10 dakikalık ön işleme benzer sonuçlar elde edilmiş ve bunların 3 dakikalık ön işleminden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 4.7 Suda bekletme 10°C için kuruma hızı eğrileri

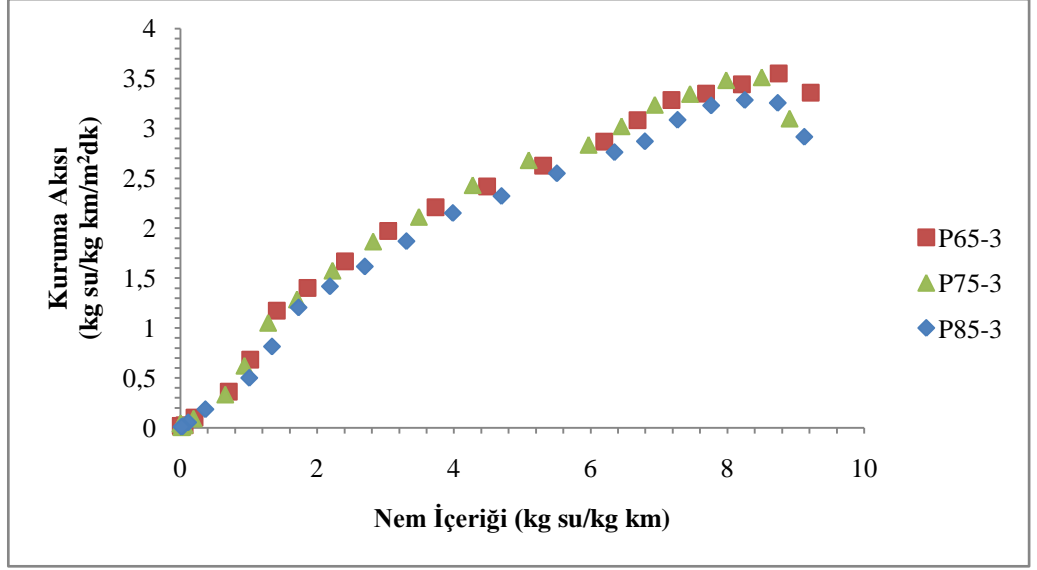


Şekil 4.8 Suda bekletme 20°C için kuruma hızı eğrileri

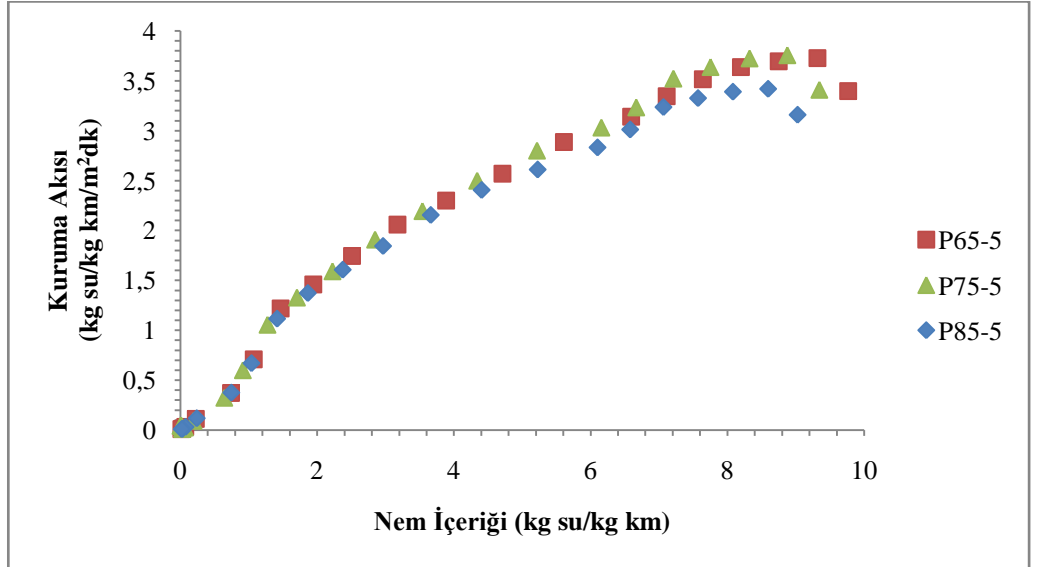


Şekil 4.9 Suda bekletme 30°C için kuruma hızı eğrileri

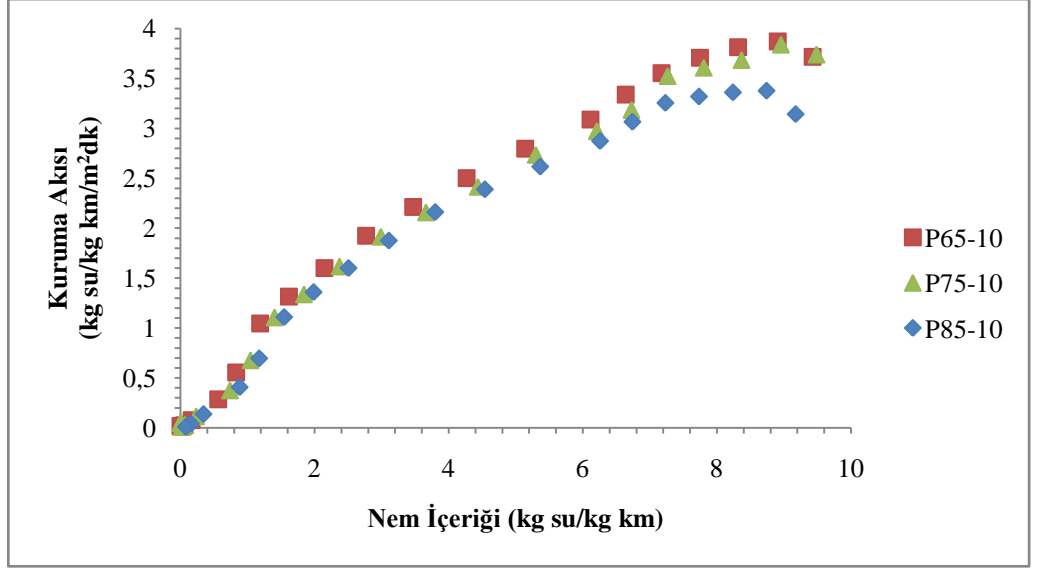
Ön işlem süresi dışında seçilen diğer koşullar bazında, her bir işlem türü kendi içerisinde karşılaştırılacak olursa; ultrasonik prob kullanılan durumlarda 3 (Şekil 4.10) ve 10 (Şekil 4.12) dakikalık ön işlem süresi için kuruma hızı açısından en etkili yöntemin 65W, 5 (Şekil 4.11) dakikalık işlem için ise 75W olduğu grafiklerden görülebilmektedir. Bununla birlikte üç ön işlem süresi için de 85W güçte ön işlem uygulamasının en az etkili olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.10 Ultrasonik prob ile 3 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi

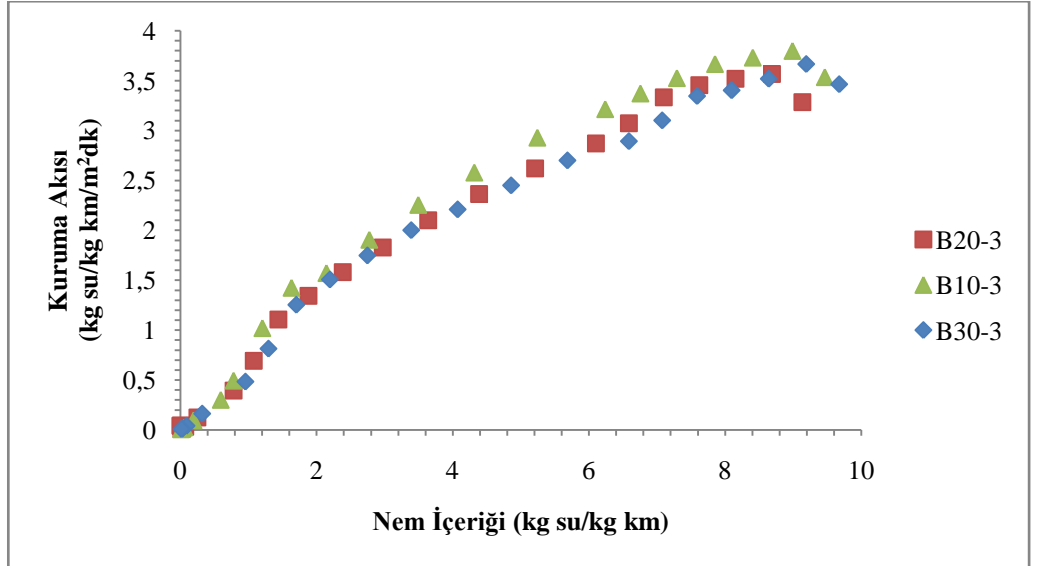


Şekil 4.11 Ultrasonik prob ile 5 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi

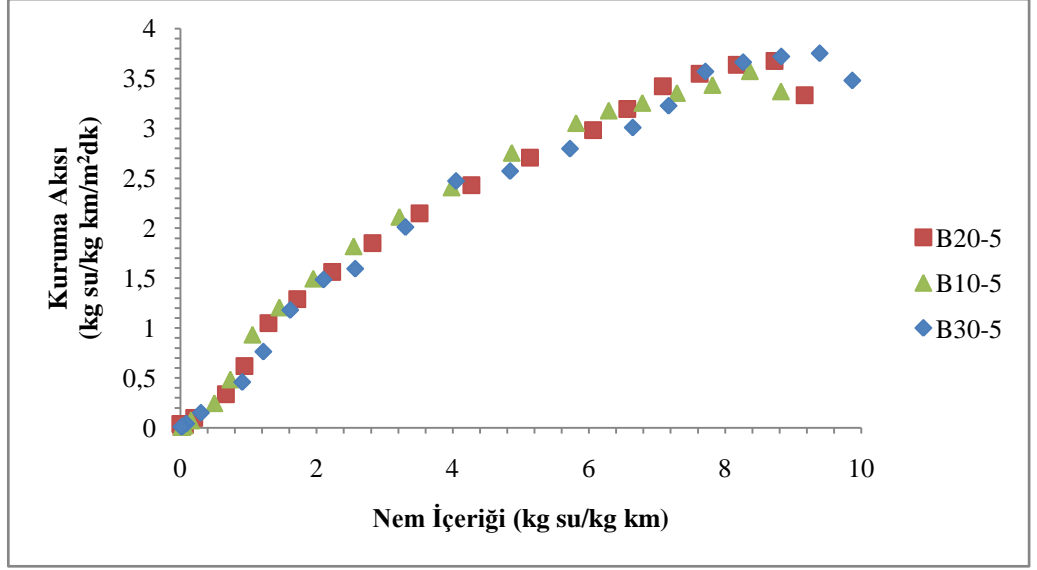


Şekil 4.12 Ultrasonik prob ile 10 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi

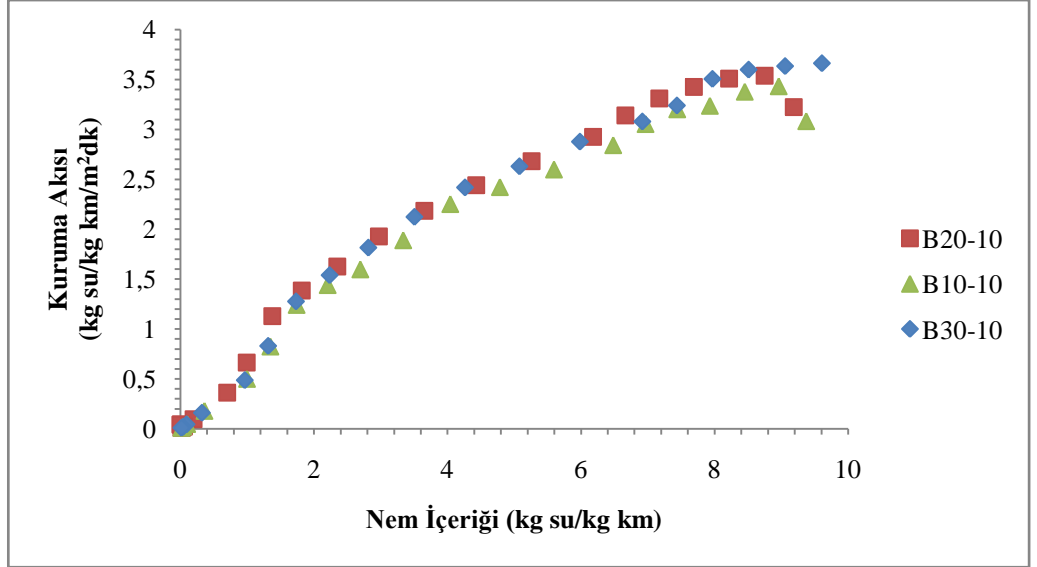
Ultrasonik banyo kullanıldığı durumlarda, 3 (Şekil 4.13) ve 5 (Şekil 4.14) dakikalık ön işlem için 10°C’ta çalışılması ile en yüksek kuruma hızı elde edilmiş, artan uygulama sıcaklığının kuruma hızı açısından olumsuz etkiye neden olduğu görülmüştür. 10 dakikalık (Şekil 4.15) ön işlem süresi için tam tersi bir durum gerçekleşmiş ve artan sıcaklığın kuruma hızını artırmada çok belirgin olmasa da daha etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 4.13 Ultrasonik banyo ile 3 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi

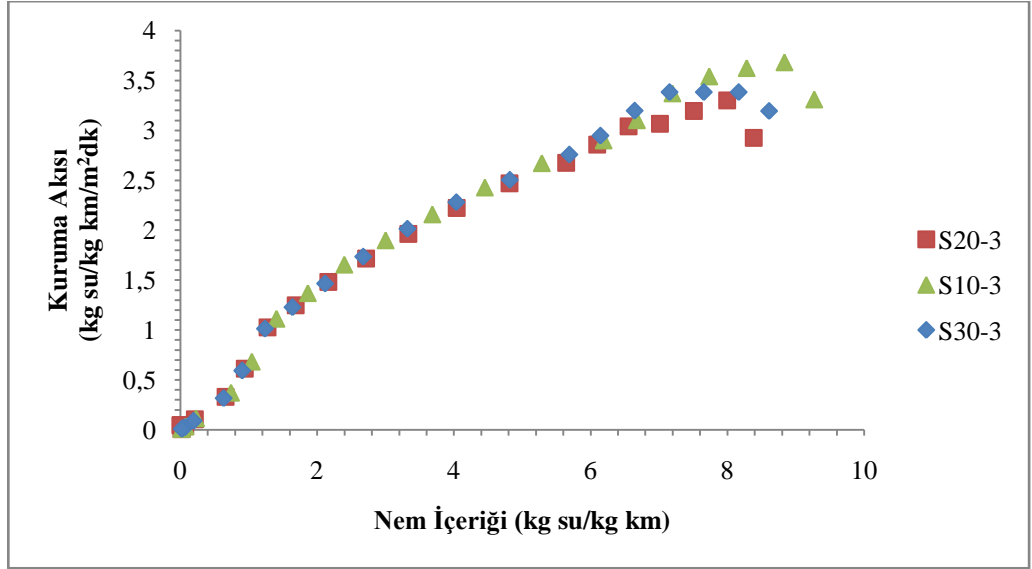


Şekil 4.14 Ultrasonik banyo ile 5 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi

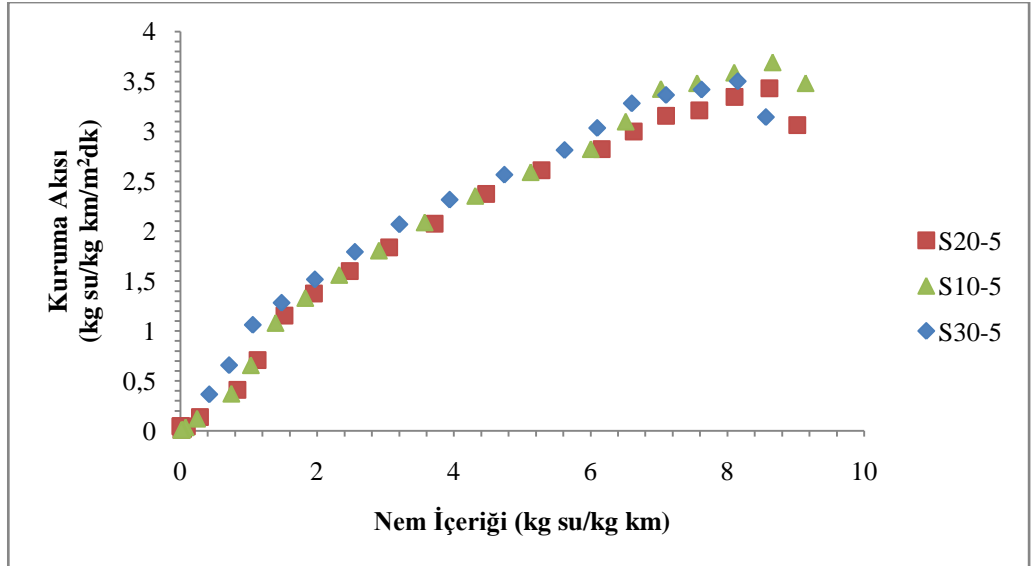


Şekil 4.15 Ultrasonik banyo ile 10 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi

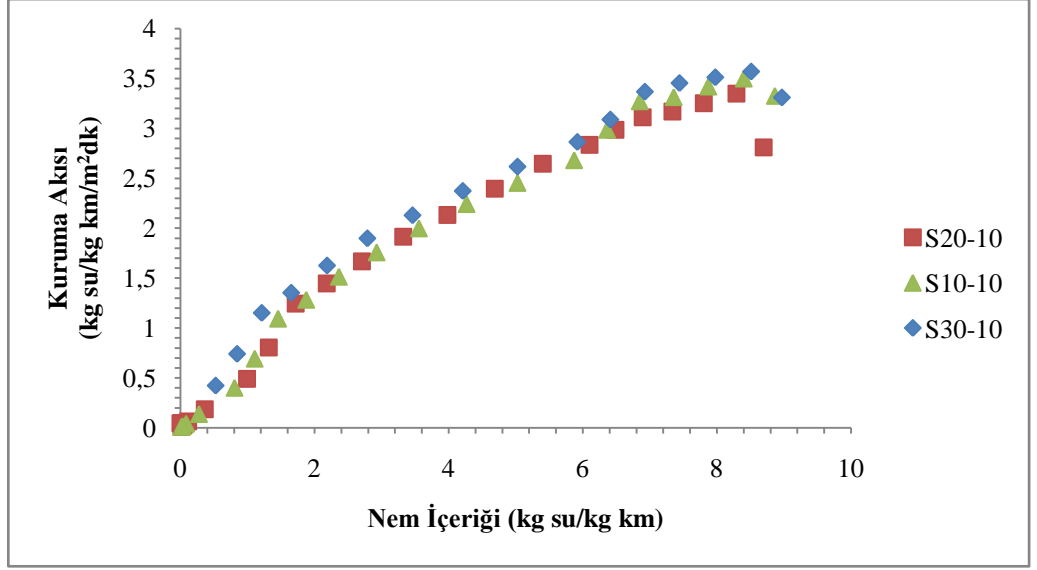
Sadece suda bekletme yapılan çalışmalarda 3 dakikalık (Şekil 4.16) işlem için sıcaklık farklılıklarının kuruma hızı üzerinde bir etki yaratmadığı; 5 (Şekil 4.17) ve 10 (Şekil 4.18) dakikalık işlemlerde 30°C'nin diğerlerine göre daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür. Ayrıca bu iki süre için 10°C'ta çalışılması, 20°C'a göre daha iyi sonuçlar alınmasını sağlamıştır.



Şekil 4.16 Suda bekletmede 3 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi



Şekil 4.17 Suda bekletmede 5 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi



Şekil 4.18 Suda bekletmede 10 dakikalık ön işlemin kuruma hızına etkisi

Kurutma işlemi sırasında suyun difüzyon katsayısı hesaplanırken, kuruma hızı eğrilerinden de görüldüğü üzere iki farklı eğimde azalan akı kuruma bölgesi elde edilmiştir. İki azalan akı kuruma bölgesi örnek olarak Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Tüm örnekler için genellikle birinci azalan akı kuruma periyodu 110. dakikada sona ermiş, bu süreden sonra ikinci azalan akı kuruma periyodu başlamış ancak bu süredeki kuruma birinci periyoda göre daha hızlı gerçekleşmiştir. Bunun nedeni olarak kuruma ile birlikte havucun büzüşerek kalınlığında meydana gelen azalma ve su miktarının azalmasıyla birlikte difüzyon sınır tabakasının ürünün içerisine doğru hareketinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, çalışılan durumlar için örneğin sabit akı kuruma periyodu görülmeden azalan akı kuruma periyoduna başladığı kabul edilerek bununla ilgili hesaplamalar yapılmamıştır. Her iki periyod için de kalınlık aynı ve ürünün başlangıç kalınlığı alınmış (kalınlık 3 ± 0.28 mm, çap 3 ± 0.18 cm), suya ait kütle difüzyon katsayıları basitleştirilmiş Fick’in 2. kanunu kullanılarak hesaplanmıştır ve Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Sonuçların, basitleştirme şartını sağladığı görülmüştür.

Her iki periyod için de en yüksek difüzyon katsayısı 65W güçte 10 dakikalık ultrasonik prob kullanımı ile edilmiştir. Bununla birlikte birinci azalan akı kuruma periyodunda sadece bu koşul için süre artışının katsayı üzerinde olumlu yönde etkisi olduğu söylenebilirken; ultrasonun kullanıldığı diğer durumlarda en yüksek değerler aynı koşul altında 5 dakikalık ön işlem elde edilmiştir. Benzer sonuçlar 10°C ve 30°C ’ta yapılan suda bekletmeler için de elde edilmiş, 20°C ’ta yapılan suda bekletmede ise en düşük katsayının 5 dakikalık ön işlem sonucu oluştuğu hesaplanmıştır.

İkinci azalan akı kuruma periyodu değerlendirildiğinde zamana bağlı herhangi bir genelleme yapılamamış, B20 ve S30 haricinde oldukça değişken sonuçlar elde edilmiştir. Ön işlem süresi ve kütle difüzyon katsayısı arasındaki doğrusal olmayan ilişki, Fernandes et al. (2008a) tarafından ananaslarda, Jambrak et al. (2007) tarafından mantar, Brüksel lahanası ve karnabaharlarda, Nowacka et al. (2012) tarafından ise elmalarda elde edilmiştir. Azoubel et al. (2010) tarafından yapılan çalışmada ultrasonik banyo ve saf su kullanarak 30°C'ta muza uyguladıkları 10, 20 ve 30 dakikalık ön işlem ile kuruma sırasında, bizim çalışmamızda B20 ve P65 ile elde ettiğimiz sonuçlara paralel olarak, artan ön işlem süresinin difüzyon katsayısını artırdığı gözlemlenmiştir.

Kuruma sırasında %10 nem (yaş esas) değerine ulaşmak için gereken süre Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu değere ulaşmak için geçen süre ultrasonik prob 65W'ta kullanılarak 10 dakika ön işlem sonucunda 195 dakika bulunmuşken, işlem görmemiş ürünün aynı nem değerine düşmesi için 51 dakika daha kurutulması gerektiği görülmektedir. Böylece kuruma için harcanan sürenin yaklaşık %20 kısaldığı söylenebilir. Ayrıca uygulanan ultrasonik ön işlemin, kuruma süresini kısaltmasıyla enerji giderinin düşürülmesinde önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte ön işlem olarak sadece suda bekletme yapılması da kuruma süresini kısaltmada etkili olmuştur. 10°C'ta suda bekletme ile elde edilen sonuçlar, aynı sıcaklıkta 5 ve 10 dakika ultrasonik banyo kullanımıyla da benzer ve istatistiksel bir fark olmadan elde edilmiştir ($p>0.05$). Her bir ön işlemin kuruma süresini kısaltmada olumlu etkisi görülmekle birlikte, genellikle aynı nem değerine düşmeleri için gereken süre benzerlik göstermektedir. Kuruma sırasında ağırlık azalması ve boyutsuz nem oranı değerleri EKLER'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Kütle difüzyon katsayıları ve %10 nem değerine ulaşmak için gereken süre

Ön İşlem	D x 10 ¹⁰ (m ² /s)		%10 Nem değerine ulaşmak için gereken süre (dk)
	Birinci Aşama	İkinci Aşama	
P65-3	2.93 ^{a, b, c}	5.92 ^{b, c}	198 ± 0 ^{a, b}
P65-5	2.97 ^{a, b, c}	5.69 ^{a, b, c}	200 ± 2.8 ^{a, b}
P65-10	3.27 ^c	6.17 ^c	195 ± 0 ^a
P75-3	3.04 ^{a, b, c}	5.59 ^{a, b, c}	196 ± 8.4 ^a
P75-5	3.12 ^{b, c}	5.38 ^{a, b, c}	203 ± 3.5 ^{a, b, c}
P75-10	2.98 ^{a, b, c}	5.55 ^{a, b, c}	210 ± 0 ^{a, b, c, d, e, f, g, h}
P85-3	2.60 ^{a, b}	5.65 ^{a, b, c}	209 ± 1.4 ^{a, b, c, d, e, f, g}
P85-5	2.91 ^{a, b, c}	5.61 ^{a, b, c}	217 ± 11.3 ^{c, d, e, f, g, h, i}
P85-10	2.86 ^{a, b, c}	5.57 ^{a, b, c}	203 ± 0.7 ^{a, b, c}
B10-3	2.66 ^{a, b}	5.42 ^{a, b, c}	200 ± 2.8 ^{a, b}
B10-5	2.82 ^{a, b, c}	5.04 ^a	213 ± 9.8 ^{b, c, d, e, f, g, h, i}
B10-10	2.63 ^{a, b}	5.45 ^{a, b, c}	226 ± 0 ⁱ
B20-3	2.90 ^{a, b, c}	5.64 ^{a, b, c}	203 ± 0 ^{a, b, c, d}
B20-5	3.09 ^{a, b, c}	5.68 ^{a, b, c}	204 ± 5.6 ^{a, b, c, d, e}
B20-10	2.99 ^{a, b, c}	5.71 ^{a, b, c}	207 ± 3.5 ^{a, b, c, d, e, f}
B30-3	2.70 ^{a, b}	6.04 ^c	205 ± 4.2 ^{a, b, c, d, e}
B30-5	2.83 ^{a, b, c}	5.66 ^{a, b, c}	205 ± 0.7 ^{a, b, c, d, e}
B30-10	2.75 ^{a, b, c}	5.56 ^{a, b, c}	213 ± 7.1 ^{b, c, d, e, f, g, h, i}
S10-3	2.94 ^{a, b, c}	5.95 ^{b, c}	217 ± 1.4 ^{c, d, e, f, g, h, i}
S10-5	2.95 ^{a, b, c}	5.61 ^{a, b, c}	219 ± 5.6 ^{e, f, g, h, i}
S10-10	2.81 ^{a, b, c}	5.46 ^{a, b, c}	218 ± 10.6 ^{c, d, e, f, g, h, i}
S20-3	2.94 ^{a, b, c}	5.64 ^{a, b, c}	213 ± 10.6 ^{b, c, d, e, f, g, h, i}
S20-5	2.74 ^{a, b}	5.40 ^{a, b, c}	218 ± 2.8 ^{d, e, f, g, h, i}
S20-10	2.76 ^{a, b, c}	5.50 ^{a, b, c}	225 ± 1.4 ^{h, i}
S30-3	2.87 ^{a, b, c}	5.30 ^{a, b, c}	224 ± 5.6 ^{g, h, i}
S30-5	2.91 ^{a, b, c}	5.49 ^{a, b, c}	221 ± 6.3 ^{f, g, h, i}
S30-10	2.81 ^{a, b, c}	5.65 ^{a, b, c}	221 ± 4.9 ^{f, g, h, i}
Önişlemsiz	2.57 ^a	5.10 ^{a, b}	246 ± 17.6 ^j

^{a-j} Aynı sütundaki aynı harfler istatistiksel açıdan bir fark olmadığını göstermektedir ($p > 0.05$)

Daha önce bahsedilen yarı-empirik modellerle, deneysel olarak elde edilen verilerin modele uyumu Matlab’da “eğri uydurma (curve fitting toolbox) komutu” ile değerlendirilirken, örneklere ait nem değerleri boyutsuz bir nem değeri olan MR’ye dönüştürülmüştür. Test edilen bütün modellere ait R^2 , χ^2 ve $RMSE$ değerleri Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Test edilen modellere ait regresyon katsayıları

Ön İşlem Türü	Page			Lewis			Henderson and Pabis		
	R^2	$RMSE$	χ^2	R^2	$RMSE$	χ^2	R^2	$RMSE$	χ^2
P65-3	0.9988	0.012182	0.000151	0.9863	0.041820	0.001752	0.9909	0.034756	0.001212
P65-5	0.9989	0.011943	0.000144	0.9853	0.043306	0.001882	0.9905	0.035753	0.001282
P65-10	0.9990	0.011223	0.000127	0.9863	0.041776	0.001747	0.9911	0.034426	0.001185
P75-3	0.9989	0.011953	0.000144	0.9871	0.040180	0.001655	0.9915	0.033493	0.001139
P75-5	0.9943	0.028146	0.000130	0.9873	0.040113	0.001617	0.9916	0.033310	0.001112
P75-10	0.9990	0.011476	0.000131	0.9870	0.040223	0.001662	0.9915	0.033370	0.001135
P85-3	0.9990	0.011373	0.000130	0.9862	0.042040	0.001768	0.9910	0.034586	0.001197
P85-5	0.9990	0.011186	0.000126	0.9861	0.042150	0.001781	0.9911	0.034576	0.001200
P85-10	0.9991	0.010933	0.000120	0.9862	0.041960	0.001767	0.9912	0.034386	0.001185
B10-3	0.9989	0.011521	0.000139	0.9855	0.042980	0.001864	0.9905	0.035536	0.001278
B10-5	0.9991	0.010339	0.000111	0.9849	0.043833	0.001947	0.9904	0.035833	0.001310
B10-10	0.9990	0.011210	0.000125	0.9851	0.043673	0.001916	0.9904	0.035903	0.001298
B20-3	0.9990	0.011120	0.000124	0.9866	0.041236	0.001704	0.9913	0.033946	0.001155
B20-5	0.9992	0.010018	0.000100	0.9857	0.042920	0.001844	0.9910	0.034876	0.001217
B20-10	0.9989	0.012320	0.000152	0.9849	0.043986	0.001951	0.9902	0.036376	0.001379
B30-3	0.9989	0.012053	0.000146	0.9877	0.039336	0.001549	0.9918	0.032840	0.001080
B30-5	0.9989	0.011873	0.000142	0.9870	0.040556	0.001644	0.9915	0.033576	0.001127
B30-10	0.9989	0.012023	0.000144	0.9863	0.041770	0.001750	0.9910	0.034583	0.001198
S10-3	0.9990	0.011306	0.000128	0.9876	0.039506	0.001579	0.9919	0.032640	0.001077
S10-5	0.9990	0.011196	0.000125	0.9877	0.039423	0.001560	0.9919	0.032680	0.001071
S10-10	0.9990	0.011103	0.000123	0.9888	0.037313	0.001411	0.9926	0.031000	0.000972
S20-3	0.9985	0.013452	0.000196	0.9852	0.043496	0.001895	0.9904	0.035893	0.001290
S20-5	0.9980	0.014879	0.000257	0.9861	0.042076	0.001770	0.9904	0.035740	0.001280
S20-10	0.9982	0.014230	0.000236	0.9838	0.045590	0.002095	0.9892	0.038033	0.001460
S30-3	0.9991	0.010590	0.000112	0.9872	0.040323	0.001627	0.9918	0.033023	0.001092
S30-5	0.9991	0.010495	0.000111	0.9909	0.040293	0.001623	0.9918	0.032903	0.001082
S30-10	0.9990	0.011440	0.000131	0.9864	0.041523	0.001730	0.9913	0.034133	0.001169
Önişlemsiz	0.9992	0.010386	0.000073	0.9871	0.040475	0.001092	0.9918	0.033015	0.001092

Çizelge 4.3 (devam) Test edilen modellere ait regresyon katsayıları

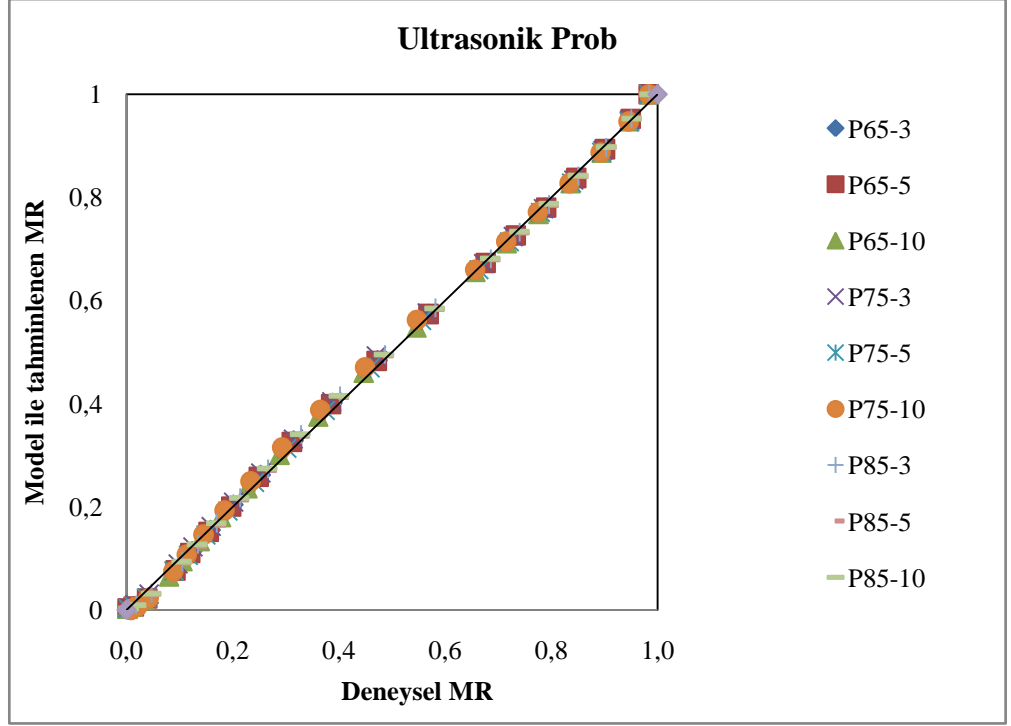
Ön İşlem Türü	Logaritmik			Midilli et al. (2002)			Modifiye Midilli		
	R^2	$RMSE$	χ^2	R^2	$RMSE$	χ^2	R^2	$RMSE$	χ^2
P65-3	0.9939	0.029116	0.000851	0.9992	0.010771	0.000118	0.9990	0.011784	0.000143
P65-5	0.9936	0.030173	0.000915	0.9992	0.044366	0.000114	0.9990	0.011586	0.000136
P65-10	0.9939	0.029433	0.000866	0.9993	0.010145	0.000104	0.9991	0.010971	0.000122
P75-3	0.9944	0.027760	0.000793	0.9965	0.010497	0.000110	0.9990	0.011443	0.000136
P75-5	0.9943	0.028146	0.000796	0.9993	0.010045	0.000101	0.9991	0.011010	0.000123
P75-10	0.9943	0.028116	0.000808	0.9992	0.010229	0.000160	0.9991	0.011136	0.000124
P85-3	0.9942	0.028470	0.000812	0.9993	0.009895	0.000098	0.9991	0.010813	0.000120
P85-5	0.9941	0.028700	0.000831	0.9993	0.009854	0.000098	0.9992	0.010717	0.000117
P85-10	0.9943	0.028386	0.000807	0.9994	0.009536	0.000091	0.9992	0.010418	0.000110
B10-3	0.9935	0.029870	0.000917	0.9993	0.010059	0.000107	0.9979	0.011060	0.000132
B10-5	0.9932	0.030770	0.000975	0.9980	0.014570	0.000303	0.9992	0.010149	0.000109
B10-10	0.9937	0.029806	0.000900	0.9993	0.009597	0.000092	0.9991	0.010716	0.000140
B20-3	0.9941	0.028670	0.000827	0.9993	0.010056	0.000099	0.9991	0.010752	0.000116
B20-5	0.9937	0.029793	0.000889	0.9994	0.009006	0.000081	0.9993	0.009773	0.000103
B20-10	0.9934	0.030343	0.000933	0.9992	0.007757	0.000118	0.9990	0.011856	0.000154
B30-3	0.9948	0.026983	0.000725	0.9992	0.010537	0.000111	0.9990	0.011536	0.000135
B30-5	0.9944	0.027916	0.000779	0.9992	0.010626	0.000114	0.9990	0.011440	0.000132
B30-10	0.9941	0.028690	0.000825	0.9992	0.010633	0.000113	0.9990	0.011550	0.000134
S10-3	0.9945	0.027600	0.000773	0.9992	0.010301	0.000123	0.9991	0.010970	0.000122
S10-5	0.9945	0.027536	0.000763	0.9993	0.009994	0.000099	0.9991	0.010840	0.000119
S10-10	0.9951	0.025793	0.000680	0.9993	0.009921	0.000098	0.9991	0.010627	0.000115
S20-3	0.9938	0.029466	0.000869	0.9988	0.012416	0.000170	0.9987	0.012978	0.000192
S20-5	0.9936	0.029910	0.000898	0.9985	0.013389	0.000212	0.9982	0.014494	0.000253
S20-10	0.9930	0.031250	0.000995	0.9987	0.012533	0.000182	0.9984	0.013661	0.000231
S30-3	0.9945	0.027746	0.000771	0.9994	0.009498	0.000090	0.9992	0.010240	0.000106
S30-5	0.9948	0.026900	0.000724	0.9994	0.009206	0.000085	0.9993	0.009923	0.000103
S30-10	0.9942	0.028526	0.000819	0.9992	0.010289	0.000106	0.9991	0.011038	0.000125
Önişlemsiz	0.9950	0.026415	0.000700	0.9994	0.0088565	0.000080	0.9993	0.009744	0.000099

Bütün istatistiksel veriler karşılaştırıldığında, deneysel veriye en iyi uyumun Midilli et al. (2002) modeli ile sağlandığı görülmektedir. Bu nedenle çalışılan koşullar için havucun kuruma davranışını tanımlayan en uygun model olarak Midilli et al. (2002) seçilmiş ve bu modele ait katsayılar ve sabitler Çizelge 4.4'te listelenmiştir.

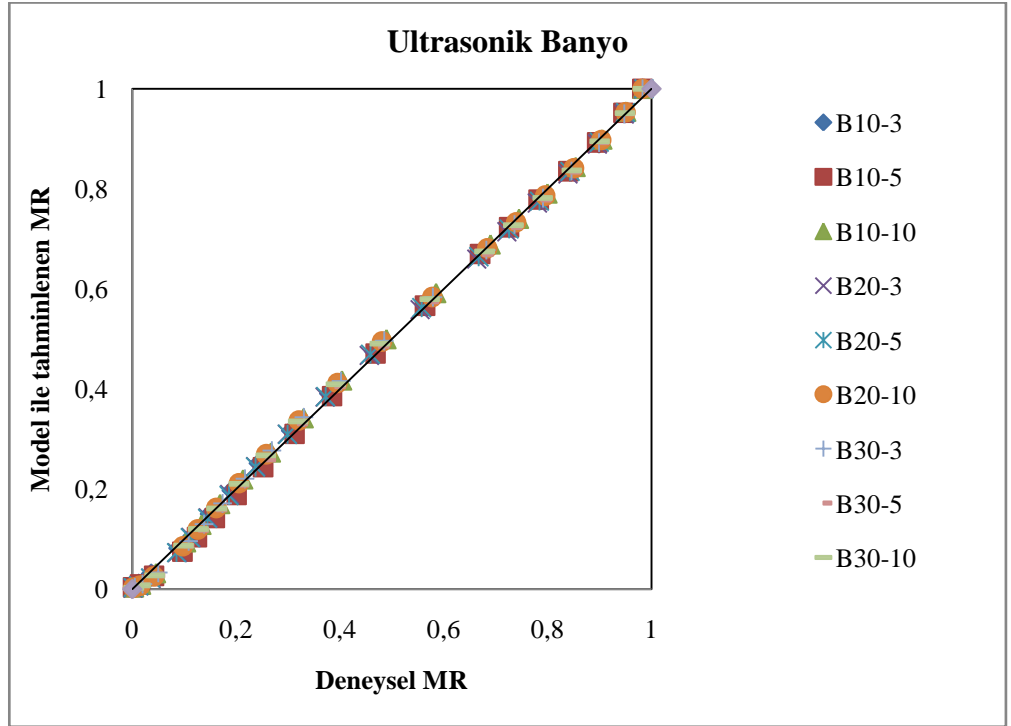
Çizelge 4.4 Midilli et al. (2002) modeline ait katsayılar

Midilli et al. modeli katsayıları				
Ön İşlem Türü	a	k	n	b
P65-3	0.9825	0.004328	1.3103	-2.75 x 10 ⁻⁵
P65-5	0.9832	0.004150	1.3226	-2.63 x 10 ⁻⁵
P65-10	0.9843	0.004699	1.3090	-2.29 x 10 ⁻⁵
P75-3	0.9831	0.004637	1.2946	-2.93 x 10 ⁻⁵
P75-5	0.9833	0.004765	1.2967	-2.42 x 10 ⁻⁵
P75-10	0.9836	0.004923	1.2970	-2.54 x 10 ⁻⁵
P85-3	0.9841	0.004208	1.3080	-2.95 x 10 ⁻⁵
P85-5	0.9846	0.004219	1.3093	-2.75 x 10 ⁻⁵
P85-10	0.9848	0.004253	1.3070	-2.82 x 10 ⁻⁵
B10-3	0.9832	0.004238	1.3213	-2.64 x 10 ⁻⁵
B10-5	0.9825	0.004763	1.2886	-3.56 x 10 ⁻⁵
B10-10	0.9833	0.003871	1.3266	-2.74 x 10 ⁻⁵
B20-3	0.9847	0.004680	1.3030	-2.55 x 10 ⁻⁵
B20-5	0.9860	0.004397	1.3180	-2.10 x 10 ⁻⁵
B20-10	0.9828	0.003949	1.3276	-2.92 x 10 ⁻⁵
B30-3	0.9828	0.004566	1.2873	-2.99 x 10 ⁻⁵
B30-5	0.9840	0.004569	1.2950	-3.17 x 10 ⁻⁵
B30-10	0.9834	0.004341	1.3066	-2.92 x 10 ⁻⁵
S10-3	0.9852	0.005246	1.2873	-8.94 x 10 ⁻⁵
S10-5	0.9842	0.005015	1.2890	-2.54 x 10 ⁻⁵
S10-10	0.9852	0.005511	1.2680	-2.77 x 10 ⁻⁵
S20-3	0.9854	0.004044	1.3083	-3.37 x 10 ⁻⁵
S20-5	0.9791	0.004133	1.3103	-3.05 x 10 ⁻⁵
S20-10	0.9806	0.003439	1.3400	-3.30 x 10 ⁻⁵
S30-3	0.9856	0.004762	1.2936	-2.45 x 10 ⁻⁵
S30-5	0.9862	0.004538	1.2896	-2.89 x 10 ⁻⁵
S30-10	0.9850	0.004475	1.3030	-2.65 x 10 ⁻⁵
Önişlemsiz	0.9859	0.004230	1.2905	-3.12 x 10 ⁻⁵

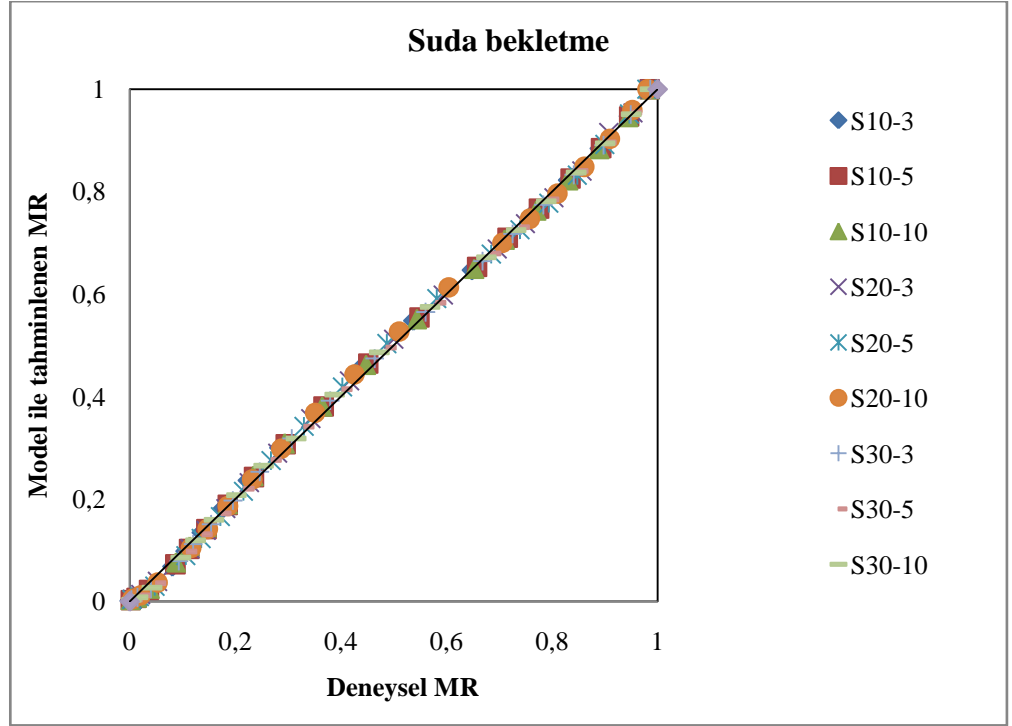
Midilli et al. (2002) modeli kullanılarak elde edilen tahminsel MR değerleri ve deneysel olarak elde edilen MR değerleri tüm kurutma örnekleri için Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde deneysel verilerin tahminsel veriler ile çok iyi bir uyum içerisinde olduğu görülebilmektedir.



Şekil 4.19 Ultrasonik prob için deneysel ve Midilli et al. modelinden tahminlenen MR değerleri



Şekil 4.20 Ultrasonik banyo için deneysel ve Midilli et al. modelinden tahminlenen MR değerleri



Şekil 4.21 Suda bekletme için deneysel ve Midilli et al. modelinden tahminlenen MR değerleri

4.3. Ön İşlemlerin Renk Üzerine Etkisi

Son ürünün rengi kalite açısından büyük önem taşır ve taze ürüne en yakın olan ürünler tercih sebebi olmaktadır (Li et al., 2010). Bütün örneklere ait renk değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir. Kurutma sırasında sıcaklıktan dolayı meydana gelen esmerleşme reaksiyonlarının ürünün rengini etkilediği bilinmektedir. Bu durum parlaklık değerinde azalma, kırmızılık değerinde ise artış olarak gözlenmektedir (Zhao and Deng, 2008). Devahastin et al. (2011) kübik kesilmiş havuç örneklerini suda bekletme ön işlemi uygulaması sonrasında farklı sıcaklıklarda kurutmuşlardır. Son ürünün renk değerleri incelendiğinde, artan kurutma sıcaklığının parlaklık ve kırmızılık değerini artırdığı gözlemlenmiştir. Çizelge 4.5 incelendiğinde uygulanan ultrasonik ön işlemlerin, ürünün L^* değerini artırırken, b^* değerini azalttığı; a^* değerinde ise herhangi bir değişikliğe neden olmadığı görülmektedir. Abano et al. (2012) tarafından yapılan çalışmada ultrasonik banyo ile ön işlem uygulayarak kuruttukları kübik kesilmiş havuçlarda, 24 kHz frekansta 10 ve 60 dakikalık ön işlemin son ürünün parlaklık ve a^*/b^* değerinde kontrole göre artış sağladığı gözlemlenmiştir. Arslan and Özcan (2008)'e göre yüksek parlaklık değeri kurutulmuş havuçta istenen bir olgudur. Bütün havuç örneklerinde L^* değeri, taze havuca göre yüksek bulunmuştur, en yüksek değerlerin ise aralarında istatistiksel bir fark olmadan S20-10 ve P85-5 ile elde edildiği görülmektedir ($p < 0.05$).

Sıcaklığın karotenoidler gibi renk bileşikleri üzerindeki olumsuz etkisinden dolayı kurutma sırasında a^* değerinde düşmenin kaçınılmaz olduğu belirtilmektedir (Silva and Stajonovic, 2007). Ön işlem görmüş ürünler için istatistiksel bir fark olmadan bu değerde azalma ya da artma söz konusu olmamıştır ($p>0.05$). Ancak işlem görmeden kurutulmuş havuca ait kırmızılık değeri 23.34'ten 28.37'ye yükselmiştir. Ön işlem görmüş ürünlerde elde edilmeyen bu artış, ön işlemlerin kurutma sırasında Maillard reaksiyonlarını önlediği ya da yavaşlattığı yönünde bir fikir oluşmasını sağlamıştır.

Çizelge 4.5 Tüm örneklere ait renk değerleri

Ön İşlem Türü	L^*	a^*	b^*	Chroma	TCD
P65-3	66.78 ± 1.10 ^{b, c, d}	25.58 ± 0.95 ^{d, e}	32.52 ± 0.75 ^{c, d}	41.38 ± 1.18 ^{c, d}	9.71 ± 0.97 ^{a, b, c, d}
P65-5	65.98 ± 1.68 ^{b, c, d}	24.79 ± 1.73 ^{b, c, d}	29.79 ± 1.67 ^{a, b, c}	38.75 ± 2.39 ^{a, b, c, d}	9.95 ± 0.87 ^{a, b, c, d}
P65-10	66.19 ± 0.93 ^{b, c, d}	21.73 ± 2.44 ^a	28.39 ± 2.10 ^a	35.75 ± 3.13 ^a	10.86 ± 1.88 ^{a, b, c, d}
P75-3	63.10 ± 1.79 ^b	22.82 ± 2.02 ^{a, b, c, d}	28.69 ± 2.23 ^{a, b}	36.66 ± 2.59 ^{a, b}	8.41 ± 1.14 ^{a, b, c}
P75-5	66.65 ± 2.01 ^{b, c, d}	23.86 ± 0.46 ^{a, b, c, d}	30.96 ± 1.07 ^{a, b, c, d}	39.09 ± 1.12 ^{a, b, c, d}	9.82 ± 1.48 ^{a, b, c, d}
P75-10	66.49 ± 1.63 ^{b, c, d}	24.40 ± 1.27 ^{a, b, c, d}	32.39 ± 1.39 ^{b, c, d}	40.55 ± 1.83 ^{b, c, d}	9.33 ± 1.50 ^{a, b, c, d}
P85-3	66.12 ± 1.97 ^{b, c, d}	23.60 ± 2.22 ^{a, b, c, d}	29.39 ± 2.78 ^{a, b, c}	37.69 ± 3.47 ^{a, b, c, d}	10.44 ± 0.51 ^{a, b, c, d}
P85-5	68.94 ± 1.37 ^d	21.87 ± 1.49 ^a	28.98 ± 2.20 ^{a, b, c}	36.31 ± 2.42 ^a	12.80 ± 1.95 ^d
P85-10	66.26 ± 1.19 ^{b, c, d}	22.06 ± 1.38 ^{a, b}	29.22 ± 1.12 ^{a, b, c}	36.61 ± 0.30 ^{a, b}	10.32 ± 0.71 ^{a, b, c, d}
B10-3	66.23 ± 2.41 ^{b, c, d}	24.21 ± 0.78 ^{a, b, c, d}	31.69 ± 0.84 ^{a, b, c, d}	39.88 ± 0.87 ^{a, b, c, d}	9.20 ± 2.10 ^{a, b, c, d}
B10-5	65.88 ± 3.34 ^{b, c, d}	23.19 ± 0.33 ^{a, b, c, d}	29.28 ± 1.01 ^{a, b, c}	37.35 ± 0.95 ^{a, b, c}	9.93 ± 2.64 ^{a, b, c, d}
B10-10	63.84 ± 1.04 ^b	23.74 ± 0.75 ^{a, b, c, d}	28.70 ± 1.29 ^{a, b}	37.25 ± 1.47 ^{a, b, c}	8.60 ± 0.47 ^{a, b, c}
B20-3	66.88 ± 2.02 ^{b, c, d}	23.65 ± 0.83 ^{a, b, c, d}	29.28 ± 1.12 ^{a, b, c}	37.64 ± 1.39 ^{a, b, c, d}	10.76 ± 1.16 ^{a, b, c, d}
B20-5	68.67 ± 1.03 ^{c, d}	22.95 ± 0.39 ^{a, b, c, d}	30.05 ± 1.7 ^{a, b, c}	37.82 ± 1.57 ^{a, b, c, d}	11.96 ± 1.46 ^{c, d}
B20-10	67.24 ± 3.04 ^{b, c, d}	23.48 ± 1.52 ^{a, b, c, d}	28.71 ± 2.42 ^{a, b}	37.09 ± 2.78 ^{a, b}	11.59 ± 2.10 ^{b, c, d}
B30-3	66.11 ± 0.71 ^{b, c, d}	23.15 ± 0.62 ^{a, b, c, d}	30.19 ± 1.90 ^{a, b, c}	38.05 ± 1.87 ^{a, b, c, d}	9.65 ± 0.76 ^{a, b, c, d}
B30-5	63.05 ± 0.44 ^b	22.65 ± 1.34 ^{a, b, c}	29.17 ± 0.08 ^{a, b, c}	36.93 ± 0.76 ^{a, b}	7.68 ± 0.32 ^a
B30-10	63.06 ± 2.49 ^b	22.60 ± 0.84 ^{a, b, c}	29.14 ± 1.18 ^{a, b, c}	36.88 ± 0.68 ^{a, b}	7.92 ± 1.21 ^a
S10-3	66.65 ± 1.99 ^{b, c, d}	24.20 ± 1.90 ^{a, b, c, d}	31.12 ± 0.80 ^{a, b, c, d}	39.42 ± 1.54 ^{a, b, c, d}	9.80 ± 2.13 ^{a, b, c, d}
S10-5	67.05 ± 3.02 ^{b, c, d}	22.96 ± 1.51 ^{a, b, c, d}	30.26 ± 3.75 ^{a, b, c}	37.98 ± 3.90 ^{a, b, c, d}	11.02 ± 1.91 ^{a, b, c, d}
S10-10	65.74 ± 1.04 ^{b, c, d}	22.43 ± 0.25 ^{a, b, c}	30.10 ± 0.66 ^{a, b, c}	37.54 ± 0.58 ^{a, b, c, d}	9.29 ± 0.87 ^{a, b, c, d}
S20-3	65.31 ± 1.84 ^{b, c, d}	24.85 ± 1.25 ^{c, d}	31.09 ± 2.21 ^{a, b, c, d}	39.80 ± 2.32 ^{a, b, c, d}	8.84 ± 1.36 ^{a, b, c}
S20-5	66.76 ± 4.61 ^{b, c, d}	23.72 ± 1.63 ^{a, b, c, d}	31.31 ± 0.64 ^{a, b, c, d}	39.28 ± 0.83 ^{a, b, c, d}	9.97 ± 4.00 ^{a, b, c, d}
S20-10	69.77 ± 2.65 ^d	21.72 ± 0.97 ^a	32.62 ± 3.66 ^{c, d}	39.19 ± 2.60 ^{a, b, c, d}	12.80 ± 2.58 ^d
S30-3	66.15 ± 4.32 ^{b, c, d}	24.25 ± 0.98 ^{a, b, c, d}	31.17 ± 2.11 ^{a, b, c, d}	39.50 ± 2.20 ^{a, b, c, d}	9.79 ± 2.68 ^{a, b, c, d}
S30-5	63.52 ± 1.64 ^b	23.70 ± 2.60 ^{a, b, c, d}	29.34 ± 1.34 ^{a, b, c}	37.72 ± 2.63 ^{a, b, c, d}	8.22 ± 1.19 ^{a, b}
S30-10	65.54 ± 2.70 ^{b, c, d}	23.08 ± 1.26 ^{a, b, c, d}	30.17 ± 1.15 ^{a, b, c}	37.99 ± 1.20 ^{a, b, c, d}	9.18 ± 2.37 ^{a, b, c, d}
İşlemsiz	66.22 ± 2.56 ^{b, c}	28.37 ± 1.12 ^e	38.06 ± 0.09 ^e	47.48 ± 0.59 ^e	10.69 ± 2.57 ^{a, b, c, d}
Taze	57.59 ± 0.79 ^a	23.34 ± 0.38 ^{a, b, c, d}	34.41 ± 0.53 ^e	41.58 ± 0.52 ^d	-

^{a-d} Aynı sütundaki aynı harfler istatistiksel açıdan bir fark olmadığını göstermektedir ($p>0.05$)

Ultrasonlu ya da ultrasonsuz ön işlem uygulanarak kurutulan örneklerde sarılık değerinin taze havuca göre önemli düzeyde azaldığı bulunmuştur ($p<0.05$). Ancak herhangi bir işlem uygulanmadan kurutulan havuçta bu değerde önemli bir

artış elde edilmiştir ($p<0.05$). Zhao and Deng (2008) tarafından yapılan ultrasonik ön işlemlerle elma kurtulmasında renk değerleri açısından benzer sonuçlar elde edilmiştir.

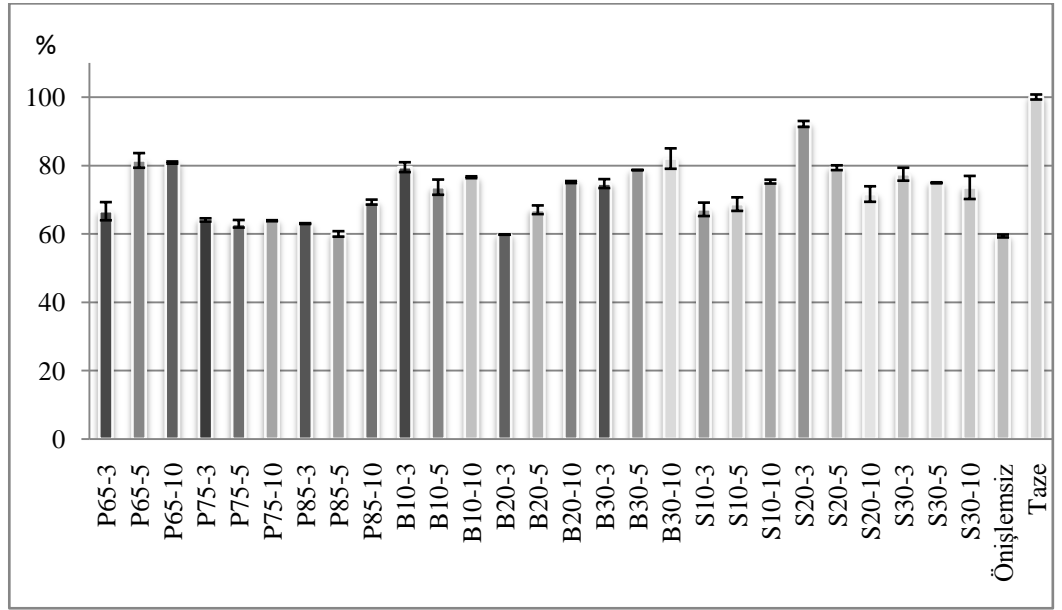
Ön işlem görmeden kurutulmuş ürün için, Chroma değeri diğer örneklerle göre istatistiksel açıdan farklıyken ($p<0.05$), TCD değerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir ($p>0.05$). Ön işlem görmüş ürünler arasında en yüksek TCD değeri 85W ultrasonik prob 5 dakika kullanıldığında elde edilmiş ancak diğerlerine göre önemli bir farklılık oluşturmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$).

4.4 β -Karoten İçeriği

β -karoten hidrokarbon karotenoidlerden birisidir ve insan vücudunda A vitaminine dönüştürülür (Hiranvarachat et al., 2008). Ayrıca havuca karakteristik rengini veren bir bileşen olduğu bilinmektedir. Ancak ısı, ışık, oksijen ve enzimlere karşı hassastır (Kowalski et al., 2013). Taze havuca ait β -karoten miktarı 99.8 mg/100 g havuç (km) olarak bulunmuş ve kurutulmuş örneklerle ait değerler yapıda tutulma açısından taze havuca göre yüzdesel olarak Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Beklenildiği gibi kurutma sonrasında β -karotenin yapıda tutulma seviyesinde azalma görülmüştür. Prakash et al. (2004) havuç dilimlerinin akışkan yataklı kurutucu, güneş enerjili kurutucu ve mikrodalga kullanarak yürüttükleri çalışmada β -karotenin en yüksek korunduğu kurutucu akışkan yataklı olmuş, en düşük ise uzun kuruma süresi ve ışığa maruz kalması nedeniyle artan oksidasyon sonucu güneş enerjili kurutucuda elde edilmiştir. Ancak ön işlemlerin işlem görmeden kurutulmuş örneğe göre yapıda tutulmayı artırdığı gözlenmiştir.

Lipoksigenaz ve peroksidaz karoten bozulmasında da etkili olan temel enzimlerdendir ve sıcaklığın 60°C civarında olması durumunda aktive olurlar (Suvarnakuta et al., 2005). Bu nedenle β -karoten içeriği bu sıcaklıktan itibaren düşmeye başlar. Kısa süreli haşlama sonrasında yapılan kurutma çalışmasında ön işlem sırasında havuç dilimlerindeki β -karoten miktarının azaldığı gözlemlenmiştir (Devahastin et al., 2011). Rawson et al. (2011) ultrasonun β -karotenin yapıda tutulması üzerine etkisini inceledikleri bir çalışmada artan ultrason gücünün ve işlem süresinin bileşen üzerinde olumsuz etki yarattığı gözlemlenmiştir. Bizim çalışmamızda her bir ön işlemde artan uygulama süresi son ürün içeriğinde farklı etki göstermiştir. Taze ürüne dayalı olarak hesaplanan yapıda tutulma değeri B20, B30 ve S10 için ön işlem süresinin artmasıyla artmış; S20 ve S30’da ise tam tersi bir etki gözlenmiştir.

Ultrasonik prob kullanıldığında 65W'ın dışındaki durumlar için zamanla ilgili olarak miktar açısından bir ilişki elde edilememiştir. En yüksek tutulma S20-3 ön işlemi ile elde edilmiş, en düşük değer ise B20-3 ön işlemi uygulanan örnekte görülmüştür. Kurutulmuş ürünlere ait β -karoten miktarları Çizelge 4.6'da verilmiştir. En düşük yapıda tutulma ön işlem uygulanmadan kurutulmuş üründe elde edilmiş olmasına rağmen, istatistiksel açıdan P75-5, P85-3, P85-5 ve B20-3 ile elde edilen değerlerden önemli farklılık göstermemiştir ($p>0.05$). Ayrıca işlem süresi açısından karşılaştırıldığında P75 için önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).



Şekil 4.22 Kurutma sonrası, β -karotenin yapıda tutulma oranı

4.5. Rehidrasyon Oranı

Rehidrasyon oranı çabuk hazırlanabilir gıdalar için önemli bir kalite kriteridir. İşlemin başlangıcında nem kazanımı süreye bağlı olarak artış gösterirken; doygunluk seviyesine yaklaşıldığında nem kazanımındaki bu hız artışı yerini azalmaya bırakır. Kurutulmuş mantar, Brüksel lahanası ve karnabahar (Jambrak et al., 2007) ile kurutulmuş elmaların (Nowacka et al., 2012) rehidre edilmesinde bu şekilde sonuçlar elde edilmiştir. Zamana bağlı olarak, kurutulmuş havuç dilimlerine ait rehidrasyon oranları Şekil 4.23'de, 4. saatin sonundaki rehidrasyon oranları ise Çizelge 4.6'da verilmiştir. Ön işlem uygulanmadan ve ultrasonik banyo ile 10°C'de 10 dakika ön işlem uygulanarak kurutulmuş örnekler, aralarında istatistiksel bir fark olmadan diğer denemelere göre 4. saatin sonunda en düşük rehidrasyon oranı sergilemiştir ($p>0.05$).

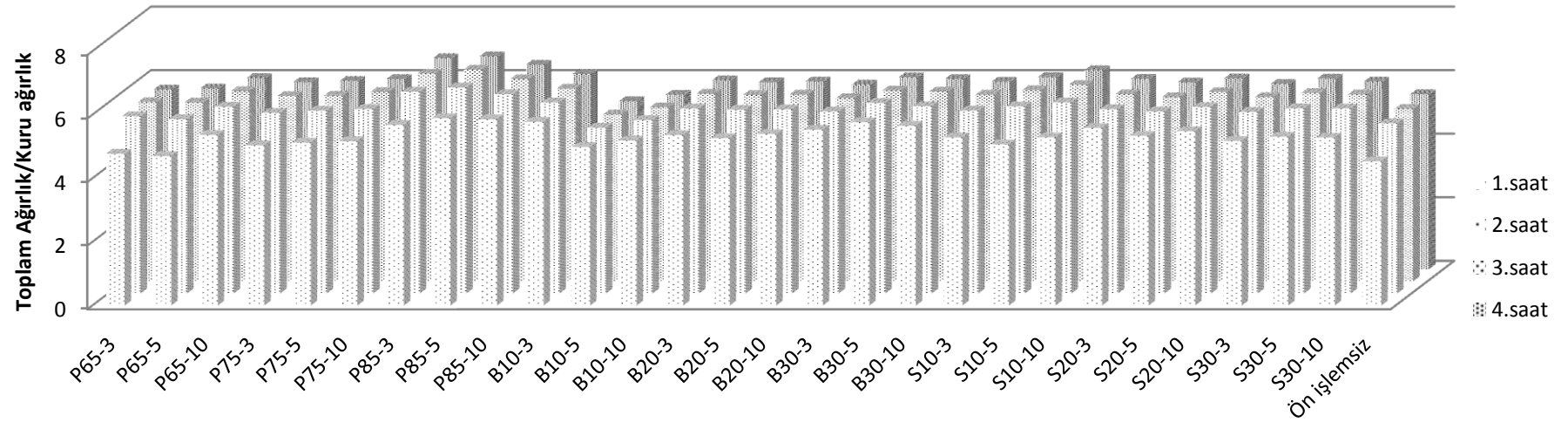
Çizelge 4.6 Örneklere ait β -karoten miktarı ve rehidrasyon oranı

Ön İşlem Türü	β -karoten miktarı	Rehidrasyon Oranı
P65-3	66.492 \pm 2.650 ^{c, d, e}	5.651 \pm 0.127 ^{a, b, c}
P65-5	81.316 \pm 2.141 ^{j, k}	5.687 \pm 0.123 ^{a, b, c, d}
P65-10	80.689 \pm 0.324 ^{j, k}	6.018 \pm 0.126 ^{c, d, e, f}
P75-3	63.941 \pm 0.474 ^{c, d}	5.888 \pm 0.081 ^{a, b, c, d, e,}
P75-5	62.817 \pm 1.102 ^{a, b, c}	5.927 \pm 0.104 ^{a, b, c, d, e}
P75-10	63.713 \pm 0.145 ^{b, c, d}	5.982 \pm 0.004 ^{c, d, e}
P85-3	62.872 \pm 0.123 ^{a, b, c}	6.637 \pm 0.101 ^{g, h}
P85-5	59.855 \pm 0.805 ^{a, b}	6.699 \pm 0.040 ^h
P85-10	69.145 \pm 0.729 ^{e, f}	6.436 \pm 0.137 ^{f, g, h}
B10-3	79.346 \pm 1.436 ^{j, k}	6.143 \pm 0.447 ^{d, e, f}
B10-5	73.507 \pm 2.223 ^{g, h}	6.251 \pm 0.275 ^{e, f, g}
B10-10	76.409 \pm 0.269 ^g	5.488 \pm 0.013 ^a
B20-3	59.642 \pm 0.028 ^a	5.947 \pm 0.171 ^{b, c, d, e}
B20-5	66.919 \pm 1.266 ^{d, e}	5.887 \pm 0.289 ^{a, b, c, d, e}
B20-10	75.009 \pm 0.294 ^{g, h, i}	5.908 \pm 0.079 ^{a, b, c, d, e}
B30-3	74.559 \pm 1.297 ^{g, h, i}	5.811 \pm 0.002 ^{a, b, c, d, e}
B30-5	78.507 \pm 0.014 ^{i, j, k}	6.035 \pm 0.184 ^{c, d, e, f}
B30-10	81.864 \pm 2.983 ^k	5.987 \pm 0.185 ^{c, d, e}
S10-3	67.037 \pm 1.960 ^{d, e}	5.897 \pm 0.001 ^{b, c, d, e}
S10-5	68.561 \pm 1.983 ^{e, f}	6.046 \pm 0.045 ^{c, d, e, f}
S10-10	75.129 \pm 0.558 ^{g, h, i}	6.261 \pm 0.025 ^{e, f, g}
S20-3	91.968 \pm 0.871 ^l	5.989 \pm 0.387 ^{c, d, e}
S20-5	79.188 \pm 0.701 ^{j, k}	5.881 \pm 0.248 ^{a, b, c, d, e}
S20-10	71.502 \pm 2.267 ^{f, g}	6.006 \pm 0.096 ^{c, d, e, f}
S30-3	77.290 \pm 1.889 ^{h, i, j}	5.831 \pm 0.261 ^{a, b, c, d, e}
S30-5	74.780 \pm 0.150 ^{g, h, i}	5.999 \pm 0.191 ^{c, d, e, f}
S30-10	73.424 \pm 3.367 ^{g, h}	5.904 \pm 0.202 ^{a, b, c, d, e}
Ön işlemsiz	59.251 \pm 0.424 ^a	5.508 \pm 0.156 ^{a, b}
Taze	99.837 \pm 0.736 ^m	-

^{a-m} Aynı sütundaki aynı harfler istatistiksel açıdan bir fark olmadığını göstermektedir ($p>0.05$).

Şekilden de görülebileceği gibi en yüksek rehidrasyon değerleri 85W ultrasonik prob ile ve özellikle 5 dakika ön işlem uygulandığında elde edilmiştir. Yüksek rehidrasyon oranlarının en yüksek güçte ultrason kullanımında elde edilmesinin nedeni, daha geniş gözenek oluşumundan kaynaklanabilir. Ancak kuruma süreleri incelendiğinde bu varsayımın kuruma üzerine bir etkisi olmadığı görülmektedir. Kurutulmuş ürünlerde rehidrasyon sonrası hiçbir deneme ile taze üründeki nem/kuru madde oranına erişilememiştir. Bu ise kuruma sırasında ısı uygulamasının ürün üzerinde bir takım geri dönüşümsüz yapısal değişikliklere neden olmasıyla açıklanabilir.

Rehidrasyon Oranı



Şekil 4.23 Zamana bağlı rehidrasyon oranları (derinlik zamanı belirtir)

5. GENEL SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada ultrason teknolojisinin kurutmaya ön işlem olarak uygulanmasının havuçların kuruma davranışı ve bazı kalite kriterleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

Ultrasonik prob ile çeşitli güçlerde, ultrasonik banyo ile ise çeşitli sıcaklıklarda çalışılmış, uygulama sıvısı olan distile suyun ultrason kullanılmadan bir etkisinin olup olmadığını belirlemek amacıyla da sadece suda bekletme yapılmış ve işlem süreleri olarak da 3, 5, 10 dakika olarak seçilmiştir.

Konvektif kurutma yapılan tüm ön işlem uygulanmış denemelerde, ön işlem uygulanmamış örneğe göre kuruma süresinde çeşitli oranlarda azalma elde edilmiş; en belirgin fark ise bu sürede yaklaşık olarak %20 azalma sağlayan 65W güçte 10 dakika prob ile yapılan ön işlem sonrası elde edilmiştir. Aynı nem değerine düşmeleri için gereken süre ultrasonik gücün artmasıyla belirgin olmamakla birlikte kuruma süresinde artışa neden olmuştur. En yüksek rehidrasyon oranı sergilemesine rağmen 85W güçte 5 dakika prob ile yapılan ön işlem kuruma süresi açısından benzer etkiyi gösterememiş ve 65W kullanılan duruma göre tüm sürelerden önemli derecede farklı sonuç vermiştir. Bununla birlikte kurutma sonrası β -karoten içeriği 85W prob uygulanmış örneklerde daha düşük bulunmuş ve ön işlem sırasında diğer denemelere göre yapıya daha fazla su alınmasına neden olmuştur.

Diğer parametreler genel olarak karşılaştırıldığında tüm ön işlemlerde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ultrasonik banyo kullanımı da ürünün kuruma süresini kısaltmasına rağmen, 30°C'ta yapılan suda bekletme işlemi hariç tutulduğunda, bu yöntemle elde edilmiş sonuçlar istatistik açısından farklı görünmemektedir ($p>0.05$). Bu nedenle havuç gibi sert dokulu ürünlerde ultrasonik banyo yerine ultrasonik prob kullanılması daha etkili sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

Kuruma süresi azaltmada etkisini daha çok gördüğümüz en düşük güçteki ultrasonik prob nedeniyle, daha düşük ultrasonik güçlerde daha uzun süre ile ön işlem yapılmasının kuruma süresini kısaltmada daha etkili sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Çünkü ön işlem sırasında meydana gelen katı kaybı, gücün artırılmasıyla birlikte doğrusal artış göstermeyip, 85W için katı kaybı değerlerinin 75W ön işlem ile elde edilenlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Bu ise güç

artışının belli bir değerden sonra ürün üzerinde etki göstermeyip, ortamın sıcaklığını artırmada etkili olduğunun düşünülmesine neden olmuştur.

Ön işlemden kullanılan distile su ya da hipertonic çözeltilerin yerine ürünün kendi suyu kullanılarak renkte istenmeyen değişimlerin önüne geçebileceği gibi, farklı meyve sebze ürünlerinin suyu kullanılarak ürünün lezzetinde farklılıklar yaratılabilir. Ayrıca yapıdan katı kaybını azaltarak su kazanımının da önüne geçebilir.

Kurutma işleminde ise farklı hava hızları ve daha düşük sıcaklıklar kullanılarak ürün üzerindeki etkilerinin araştırılması gereklidir.

Ayrıca ultrason kullanılması ile nişasta içeren ürünlerin jelleşme sürelerinde fark edilebilir derecede azalmalar, literatürde yer alan çeşitli çalışmalar ile elde edilmiştir. Havuç ve patates gibi yüksek oranda nişasta içeren ürünler haricinde selüloz içeriği yüksek ürünlerle yapılan çalışmalar sonucunda daha etkili sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda ultrason teknolojisinin kurutmada ön işlem olarak kullanılmasıyla kuruma süresinde elde edilen azalma, rehidrasyon oranı ve β -karotenin yapıda tutulmasında sağladığı artış, renkte ise kurutmada uygulanan sıcaklık nedeniyle oluşan kararmayı önlemesi sayesinde ticari açıdan kullanılabilirliği oldukça yüksek bir ön işlem olarak kabul edilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abano, E. E., Sam-Amoah, L. K. and Bart-Plange, A. B.**, 2013, Variation in ultrasonic frequency and time as pre-treatments to air-drying of carrot, *Journal of Agricultural Engineering*, XLIII:e23:149-158pp.
- AOAC**, 1990, Official methods of analysis. Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H. and Arabhosseini, A.**, 2009, Performance analysis of drying of carrot slices in a semi-industrial continuous band dryer, *Journal of Food Engineering*, 91:99–108pp.
- Alibas, I.**, 2007, Microwave, air and combined microwave-air drying parameters of pumpkin slices, *Food Science and Technology*, 40:1445-1451pp.
- Altınışik, M.**, 1989, Vitaminler, vitamin tanımı ve tarihçe, <http://www.mustafaaltinisik.org.uk/89-1-10.pdf> (Erişim Tarihi: 03.03.2014)
- Amer, B. M. A., Hossain, M. A. and Gottschalk, K.**, 2010, Design and performance evaluation of a new hybrid solar dryer for banana, *Energy Conversion and Management*, 51:813-820pp.
- Arnold, G., Leiteritz, L., Zahn, S. and Rohm, H.**, 2009, Ultrasonic cutting of cheese: composition affects cutting work reduction and energy demand, *International Dairy Journal*, 19:314–320pp.
- Arslan D., Özcan M.M.**, 2008, Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content, and colour characteristics of rosemary leaves, *Energy Conversion and Management*, 49:1258-1264pp.
- Arslan D. and Özcan, M. M.**, 2010, Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices, *Food Science and Technology*, 43:1121-1127pp.
- Ayaşan, T. and Karakozak, E.**, 2010, Hayven beslemede β -karoten kullanılması ve etkileri, *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 16(4):697-705s.
- Aydın, O., Kaya, A., Demirtaş, C. and Akgüb, M.**, 2007, An experimental study on the drying kinetics of quince, *Desalination*, 212:328-343pp.
- Azoubel, P. M., Baima, M. A. M., Amorim, M. R. and Oliveira, S. S. B.**, 2010, Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics, *Journal of Food Engineering*, 97:194-198pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bacelos, M. S. and Almeida, P. I. F.**, 2011, Modelling of drying kinetics of potatoes taking into account shrinkage, *Procedia Food Science*, 1:713-721pp.
- Barbaso-Canovas, G. V. and Ibarz, A.**, 2003, Unit operations in food engineering, Food Preservation Technology Series, Florida, 873p.
- Barbaso-Canovas, G. V., Feng, H. and Weiss, J.**, 2010, Ultrasound technologies for food and bioprocessing, Food Engineering Series, London, 665p.
- Bobic, Z., Bauman, I. and Curic, D.**, 2002, Rehydration ratio of fluid bed dried vegetables, *Sadhana*, 27(3):365-374pp.
- Bonazzi, C., Mrad, N. D., Boudhrioua, N., Kechaou, N. and Courtis, F.**, 2012, Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears, *Food and Bioprocess Processing*, 90:433-441pp.
- Brennan, J. G.**, 2006, Food Processing Handbook, WILEY-VCH, 582p.
- Carcel, J. A., Benedito, J., Rossello, C. and Mulet, A.**, 2007, Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution, *Journal of Food Engineering*, 78:472-479pp.
- Chemat, F., Huma, Z. and Khan, M. K.**, 2011, Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction, *Ultrasonics Sonochemistry*, 18:813–835pp.
- Chin, N.L., Yusof, Y.A. and Kek, S.P.**, 2013, Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices, *Food and Bioprocess Processing*, In press.
- Correa, P. C., Martins, J. H. and Christ, D.**, 1999, Thin layer drying rate and loss of viability modelling for rapeseed, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74:33-39pp.
- Darvishi, H., Azadbakht, M., Rezaeiasl, A. and Farhang, A.**, 2013, Drying characteristics of sardine fish dried with microwave heating, *Journal of The Saudi Society Agricultural Sciences*, 12:121-127pp.
- Devahastin, S., Leeratanarak, N. and Chiewchan, N.**, 2006, Drying kinetics and quality of potato chips undergoing different drying techniques, *Journal of Food Engineering*, 77:635-643pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Devahastin, S., Hiranvarachat, B. and Chiewchan, N.**, 2011, Effect of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoin hot air drying, *Food and Bioproducts Processing*, 89:116-127pp.
- Doymaz, I.**, 2004, Convective air drying characteristics of thin layer carrots, *Journal of Food Engineering*, 61:359-364pp.
- Erbay, Z. and Icier, F.**, 2010, A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results, *Critical Rewievs in Food Science and Nutrition*, 50: 441-464pp.
- Erentürk S. and Erentürk K.**, 2007, Comparision of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot, *Journal of Food Engineering*, 78:905-912pp.
- FAO**, 2014, <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor> (Erişim Tarihi: 03.03.2014)
- Fellows, P.**, 2000, Food processing technology: principles and practise, Woodhead Publishing Lim., Cambridge, 575p.
- Fernandes, F. A. N, Linhares Jr, F. E. and Rodrigues, S.**, 2008a, Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple, *Ultrasonics Sonochemistry*, 15:1049–1054pp.
- Fernandes, F. A. N. and Oliveira, F. I. P.**, 2008b, Use of ultrasound for dehydration of papayas, *Food Bioprocess Techology*, 1:339-345pp.
- Fernandes, F. A. N, Gallao, I. M. and Rodrigues, S.**, 2008c, Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration, *Food Science and Technology*, 41:604–610pp.
- Fernandes, F. A. N., Gallao, M. I. and Rodrigues, S.**, 2009, Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration, *Journal of Food Engineering*, 90:186-190pp.
- Fernando, W. J. N., Ahmad, A. L. and Othman, M. R.**, 2011, Convective drying rates of thermally blanched slices of potato: Prameters for estimation of drying rates, *Food and Bioproducts Processing*, 89:514-519pp.
- Figiel, A.**, 2009, Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices, *Journal of Food Engineering*, 94:98-104pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gamboa-Santos, J., Soria, A. C., Perez-Mateos, M., Carrasco, A., Montilla, A. and Villamiel, M.**, 2013, Vitamin C content and sensorial properties of dehydrated carrots blanched conventionally or by ultrasound, *Food Chemistry*, 136 :782–788pp.
- Gallego-Juarez, J. A.**, 2010, High-power ultrasonic processing: recent developments and prospective advances, *Physics Procedia*, 3:35–47pp.
- Garcia-Perez, J. V., Ortuno, C., Perez-Munuera, I., Puig, A. and Riera, E.**, 2010, Influence of power ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying, *Physics Procedia*, 3: 153-159pp.
- Garcia-Perez, J. V., Carcel, J. A., Benedito, J. and Mulet, A.**, 2012, Food process innovation through new technologies: use of ultrasoun, *Journal of Food Engineering*, 110:200-207pp.
- Geankoplis, C. H.**, 2011, Transport process and seperation process principles, Forth edition, Pearson Education Inc., Massachusetts, 1026p.
- Ghazanfari, A., Emami, S., Tabil, L. G. and Panigrahi, S.**, 2006, Thin-Layer Drying of Flax Fiber: II. Modeling Drying Process Using Semi-Theoretical and Empirical Models, *Drying Technology*, 24:1637-1642pp.
- Grönroos, A., Pirkonen, P. and Ruppert, O.**, 2004 Ultrasonic depolymerisation of aqueous carboxymethylcellulose, *Ultrasonics Sonochemistry*, 11:9–12pp.
- Guiné, R de p. F.**, 2005, Drying kinetics of some varieties of pears produced in Portugal, *Food and Bioproducts Processing*, 83:273-276pp.
- Guiné, R de p. F.**, 2006, Influence of drying method on density and porosity of pears, *Food and Bioproducts Processing*, 84(C3):179–185pp.
- Gunhan, T., Demir, V., Hancioğlu, E. and Hepbaşlı, A.**, 2005, Mathematical modelling of drying of bay leaves, *Energy Conversion and Management*, 46:1667-1679pp.
- Harahsheh, M., Muhtaseb, A. H. and Magee, T. R. A.**, 2009, Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effeect of osmotic dehydration, *Chemical Engineering and Processing*, 48:524-531pp.
- Henderson, S.M. and Pabis, S.** 1961, Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6: 169–174pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hernandez, J. A., Pavon, G. and Garcia, M. A.**, 2000, Analytical solution of mass transfer equation considering shrinkage for modeling food-drying kinetics, *Journal of Food Engineering*, 45:1-10pp.
- Hiranvarachat, B., Suvarnakuta, P. and Devahastin, S.**, 2008, Isomerisation kinetics and antioxidant activities of β -carotene in carrots undergoing different drying techniques and conditions, *Food Chemistry*, 107:1538-1546pp.
- Jambrak, A. R., Timothy, J. M., Paniwnyk, L. and Lelas, V.**, 2007, Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties, *Journal of Food Engineering*, 81:88-97pp.
- Jin, Z., Xu, X. and Jiao, A.**, 2013, Modelling of dehydration of instant rice in combined microwave-hot air drying, *Food and Bioproducts Processing*, In press.
- Karaaslan, S. N. and Tunçer, İ. K.**, 2008, Development of a drying model for combined microwave-fac assisted convection drying of spinach, *Biosystems Engineering*, 100:44-52pp.
- Karim, Md., A. and Hawlader, M. N. A.**, 2005, Drying characteristics of banana: theoretical modelling and experimental validation, *Journal of Food Engineering*, 70:35–45pp.
- Kassem, A. S., Shokr, A. Z., El-Mahdy, A. R., Aboukarima, A. M. and Hamed, E. Y.**, 2011, Comparison of drying characteristics of Thompson seedless grapes using combined microwave oven hot air drying, *Journal of The Saudi Society Agricultural Sciences*, 10:33-40pp.
- Kennedy, T. A. and Liebler, L. C.**, 1992, Peroxyl radical scavenging by beta-carotene in lipid bilayers, effect of oxygen partial pressure, *Journal of Biological Chemistry*, 267:4658-4663pp.
- Kyllönen, H. M., Pirkonen, P. and Nyström, M.**, 2005, Membrane filtration enhanced by ultrasound: a review, *Desalination*, 181:319–335pp.
- Kowalski, S. J., Szadzinska, J. and Lechtanska, J.**, 2013, Non-stationary drying of carrot: Effect on product quality, *Journal of Food Engineering*, 118:393-399pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Langrish, T. A. G. and Bains, R.**, 2008, An assessment of the mechanism for diffusion in the drying of bananas, *Journal of Food Engineering*, 85:201-214pp.
- Lewis, W. K.**, 1921, The rate of drying of solid materials, *The Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol 13 (5): 427-432pp.
- Li, Z., Raghavan, G. S. V. and Wang, N.**, 2010, Carrot volatiles monitoring and control in microwave drying, *Food Science and Technology*, 43:291-297pp.
- Lambrana, J. I., Rodriguez, R. and Ruiz, U.**, 2010, Microwave drying of sliced mushroom, analysis of temperature control and pressure, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11:652-660pp.
- Mason, T. J. et al.**, 2005, Applications of ultrasound, in: D.-W. Sun (Ed.), *Emerging Technologies for Food Processing*, Amsterdam, 323–352pp.
- Midilli, A., Kucuk, H. and Yapar, Z.**, 2002, A new model for single layer drying, *Drying Technology*, 20:1503-1513pp.
- Midilli A. and Kucuk, H.**, 2003, Mathematical modelling of thin layer drying of pistachio by using solar energy, *Energy Conversion and Management*, 44:1111-1122pp.
- Mulet, A., Garcia-Perez, J. V. , Carcel, J. A. and Benedito J.**, 2007, Power ultrasound mass transfer enhancement in food drying, *Food and Bioproducts Processing*, Vol 85 (C3):247–254pp.
- Nowacka, M., Wiktor, A., Sledz, M., Jurek, N. and Witrowa-Rajchert, D.**, 2012, Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties, *Journal of Food Engineering*, 113:427-433pp.
- Nowacka, M., Tylewicz, U., Laghi, L., Dalla Rosa M. and Witrowa-Rajchert, D.**, 2014, Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration, *Food Chemistry*, 144:18–25pp.
- Opalic, M., Domitran, Z., Komes, D., Belscak, A., Horzic, D. and Karlovic, D.**, 2009, The effect of ultrasound pretreatment and air drying on the quality of dried apples, *Czech Journal of Food Science*, Volume:27, Special Issue:297-300pp.
- Özbek, B. and Dadali, G.**, 2007, Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment, *Journal of Food Engineering*, 83:541-549pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özkan, I. A., Akbudak, B. and Akbudak, N.,** 2007, Microwave drying characteristics of spinach, *Journal of Food Engineering*, 78:577-583pp.
- Page, G.E.,** 1949, Factors influencing the maximum rate of air drying shelled corn in thin-layers, M.S.Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Peczalski, R., Hassini, L., Azzouz, S. and Belggith, A.,** 2007, Estimation of potato moisture diffusivity convective drying kinetics with correction for shrinkage, *Journal of Food Engineering*, 79:47-56pp.
- Pereira, N. R., Marsaioli, A. and Ahrne, L. M.,** 2007, Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas, *Journal of Food Engineering*, 81:79-87pp.
- Perry, R.H., Green, D.W. and Maloney O. J.,** 1999, Perry's Chemical Engineer's Handbook, McGraw Hill, New York, 2471p.
- Prakash, S., Jha, S. K. and Datta, N.,** 2004, Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers, *Journal of Food Engineering*, 62:305-313pp.
- Prasad, S. and Giri, S. K.,** 2007, Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot air dried mushrooms, *Journal of Food Engineering*, 78:512-521pp.
- Puig, A., Perez-Munuera, I., Carcel, J. A., Hernando, I. and Garcia-Perez, J.V.,** 2012, Moisture loss kinetics and microstructural changes in eggplant (*Solanum melongena* L.) during conventional and ultrasonically assisted convective drying, *Food and Bioprocess Processing*, 90:624-632pp.
- Quintero-Ramos, A., Gabaldo'n-Leyva, C. A., Barnard, J., Balandra'n-Quintana, R. R., Talama's-Abbud, R. and Jime'nez-Castro, J.,** 2007, Effect of ultrasound on the mass transfer and physical changes in brine bell pepper at different temperatures, *Journal of Food Engineering*, 81:374-379pp.
- Ramos, I. N., Brandao, T. R. S. and Silva, C. L.M.,** 2005, Integrated approach on solar drying, pilot convective drying and microstructural changes, *Journal of Food Engineering*, 67:195-203pp.
- Ranganna, S.,** 1986, Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products, Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1113p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rawson, A., Tiwari, B. K., Tuohy, M. G., O'Donnell, C. P. and Brunton, N.,** 2011, Effect of ultrasound and blanching pretreatments on polyacetylene and carotenoid content of hot air and freeze dried carrot discs, *Ultrasonics Sonochemistry*, 18:1172–1179pp.
- Roberst, J. S. and Srikiatden, J.,** 2006, Measuring moisture diffusivity of potato and carrot (core and cortex) during convective hot air and isothermal drying, *Journal of Food Engineering*, 74:143-152pp.
- Sereno, A. M., Mayor, L.,** 2004, Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review, *Journal of Food Engineering*, 61:373–386pp.
- Silva, J. L. and Stojanovic, J.,** 2007, Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries, *Food Chemistry*, 101:898-906pp.
- Silva, W.P., Silva, C. M. D. P. S, Gama, F. J. A. and Gomes, J. P.,** 2013, Mathematical models to describe thine layer drying and to determine drying rate of whole bananas, *Journal of The Saudi Society Agricultural Sciences*, In press.
- Schössler K., Jäger, H. and Knorr, D.,** 2012, Novel contact ultrasound system for the accelerated freeze-drying of vegetables, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16:113–120pp.
- Sharma, G. P., Prasad, S. and Chadar, V. K.,** 2009, Moisture transport in garlic cloves undergoing microwave-convective drying, *Food and Bioproducts Processing*, 87:11-16pp.
- Soysal, Y., Öztekin, S. and Eren, Ö.,** 2006, Microwave drying of parsley: Modelling, kinetics and energy aspects, *Biosystem Engineering*, 93(4):403-413pp.
- Sun, D.W.,** 2005, Emerging technologies for food processing, Elsevier Academic Press, London, 771p.
- Suvarnakuta, P., Devahastin, S. and Mujumdar, A.S.,** 2005, Drying kinetics and β -carotene degradation in carrot undergoing different drying processes, *Journal of Food Science*, 70: S520–S526pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Swasdisevi, T., Devahastin, S., Sa-Adchom, P. and Soponronnarit, S.**, 2009, Mathematical modelling of combined far-infrared and vacuum drying banana slice, *Journal of Food Engineering*, 92:100-106pp.
- Therdthai, N. and Zhou, W.**, 2009, Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves, *Journal of Food Engineering*, 91:482-489pp.
- Togrul, İ. and Pehlivan, D.**, 2004, Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process, *Journal of Food Engineering*, 65:413-425pp.
- Toledo, R. T.**, 2007, Fundamentals of food process engineering, Third edition, Springer Science+Business Media, New York, 579p.
- TÜİK**, 2014, <http://www.tuik.gov.tr> (Erişim Tarihi: 03.03.2014)
- TYMSİB**, 2007, <http://yms.org.tr/Urunler.aspx#> (Erişim Tarihi: 03.03.2014)
- UNIDO**, 2004, Quality of dried foods and deteriorative reactions during drying, http://www.unido.org/fileadmin/import/32142_31qualityofdriedfoods.14.pdf (Erişim Tarihi: 06.03.2014)
- Vega, A., Fitp, P., Andres, A. and Lemus, R.**, 2007, Mathematical modelling of hot air drying kinetics of red bell pepper, *Journal of Food Engineering*, 79:1460-1466pp.
- Villamiel, M. and Soria, A. C.**, 2010, Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review, *Trends in Food Science & Technology*, 21:323-331pp.
- Vorobiev, E., Lebovka, N. I. and Shynkaryk N. V.**, 2007, Pulsed electric field enhanced drying of potato tissue, *Journal of Food Engineering*, 78:606-613pp.
- Yaldiz, O., Ertekin, C. and Uzun, H. I.** 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes, *Energy*, 26:457–465pp.
- Zarein, M., Samadi, S. H. and Ghobadian, B.**, 2013, Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices, *Journal of The Saudi Society Agricultural Sciences*, In press.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Zielinska, M., Zapotoczny, P., Alves-Filho, O., Eikevik, T. M. and Blaszcak, W.**, 2013, A multi-stage combined heat pump and microwave vacuum drying of green peas, *Journal of Food Engineering*, 115:347-356pp.
- Zhang, M., Hu, Q., Mujumdar, A. S., Xiao, G. and Sun, J.**, 2006, Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination, *Journal of Food Engineering*, 77:977-982pp.
- Zhao, Y., and Deng, Y.**, 2008, Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples, *Food Science and Technology*, 41:1575-1585pp.

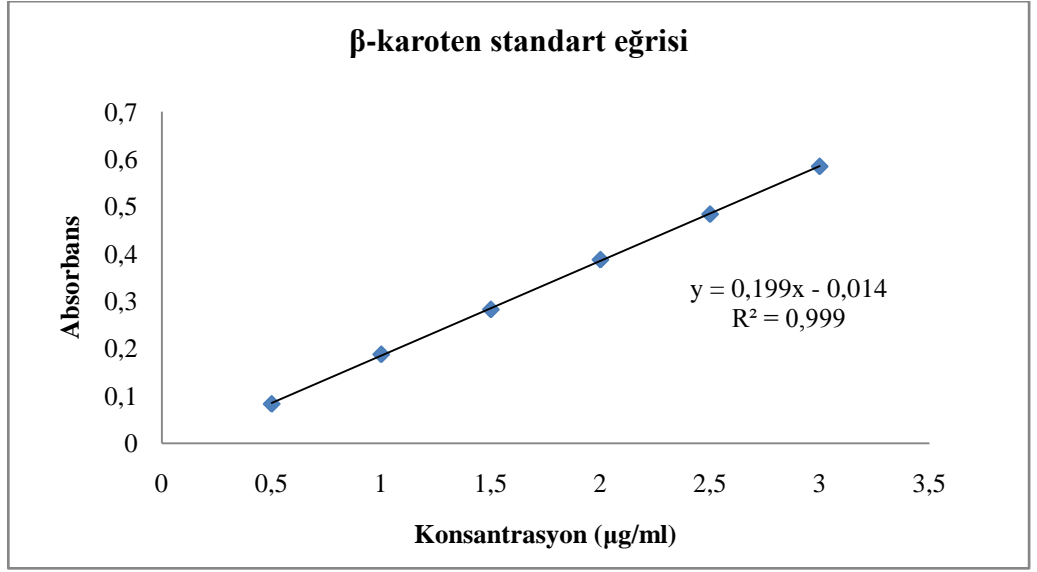
ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Batman'da doğmuştur. 2007 yılında Torbalı Anadolu Lisesi'nden mezun olmuş; 2012 yılında ise Pamukkale Üniversitesi Gıda mühendisliği bölümünden lisans derecesini almıştır. İlk meslek stajını 2010 yılında TUKAŞ Gıda San. ve Tic. AŞ'de kalite kontrol departmanında, ikinci stajını ise DrOetker Gıda San. ve Tic. AŞ'de üretim departmanında tamamlamıştır.

EKLER

- Ek 1 β -karoten standart eğrisi
- Ek 2 Ön işlemsiz kurutma için ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 3 P65-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 4 P65-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 5 P65-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 6 P75-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 7 P75-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 8 P75-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 9 P85-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 10 P85-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 11 P85-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 12 B10-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 13 B10-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 14 B10-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 15 B20-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 16 B20-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 17 B20-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 18 B30-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 19 B30-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 20 B30-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 21 S10-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 22 S10-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 23 S10-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 24 S20-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 25 S20-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 26 S20-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 27 S30-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 28 S30-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 29 S30-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları
- Ek 30 Ultrasonik prob ve soğutma amacıyla kullanılan su banyosu
- Ek 31 Ön işlem sonrası fazlalık suyu uzaklaştırılan havuç dilimleri
- Ek 32 Ultrasonik prob (65 W) ile 10 dakikalık ön işlem sonrası kurutulmuş havuç dilimleri

Ek 1. β -karoten standart eğrisi



Ek 2. Önişlemsiz kurutmaya ait ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.5	1.0000	59.7	1.0000	59.9	1.0000
5	58.3	0.9585	57.2	0.9527	56.9	0.9443
10	55.6	0.9075	54.3	0.8977	53.4	0.8794
15	52.8	0.8546	51.4	0.8428	49.9	0.8144
20	50.1	0.8037	48.5	0.7879	46.5	0.7513
25	47.4	0.7527	45.8	0.7367	43.3	0.6919
30	44.8	0.7036	43.2	0.6875	40.1	0.6325
40	39.9	0.6111	38.3	0.5947	34.4	0.5267
50	35.5	0.5280	33.6	0.5057	29.1	0.4284
60	31.3	0.4487	29.3	0.4242	24.4	0.3411
70	27.7	0.3808	25.4	0.3504	20.6	0.2706
80	24.2	0.3147	21.9	0.2841	17.3	0.2094
90	21.2	0.2581	18.8	0.2254	14.5	0.1574
100	18.6	0.2090	16.2	0.1761	12.2	0.1147
110	16.3	0.1656	14.0	0.1345	10.4	0.0813
120	14.3	0.1278	12.1	0.0985	9.0	0.0553
150	10.7	0.0598	8.8	0.0360	6.9	0.0163
180	8.7	0.0221	7.5	0.0114	6.3	0.0052
210	7.9	0.0070	7.1	0.0038	6.2	0.0033
240	7.7	0.0028	7.0	0.0019	6.0	0.0013
270	7.6	0.0013	7.0	0.0004	6.0	0.0007
300	7.6	0.0000	6.9	0.0000	6.0	0.0000

Ek 3. P65-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.7	1.0000	60.1	1.0000	60.2	1.0000
5	58.0	0.9488	57.4	0.9501	57.6	0.9521
10	54.8	0.8909	54.2	0.8910	54.3	0.8914
15	51.8	0.8347	51.1	0.8338	51.2	0.8343
20	48.9	0.7801	48.1	0.7784	48.2	0.7791
25	46.1	0.7284	45.1	0.7229	45.2	0.7239
30	43.2	0.6762	42.2	0.6694	42.2	0.6686
40	38.1	0.5817	36.8	0.5696	36.9	0.5711
50	33.3	0.4924	32.0	0.4810	31.9	0.4790
60	29.0	0.4125	27.5	0.3979	27.3	0.3943
70	24.9	0.3376	23.4	0.3221	23.5	0.3244
80	21.4	0.2716	19.6	0.2519	20.1	0.2618
90	18.2	0.2132	16.3	0.1910	17.2	0.2084
100	15.4	0.1620	13.8	0.1448	14.5	0.1587
110	13.1	0.1196	11.5	0.1023	12.4	0.1200
120	11.3	0.0854	9.7	0.0691	10.5	0.0851
150	8.0	0.0253	7.0	0.0192	7.5	0.0298
180	7.0	0.0065	6.3	0.0063	6.4	0.0096
210	6.8	0.0022	6.1	0.0026	6.1	0.0041
240	6.7	0.0007	6.0	0.0018	6.0	0.0015
270	6.7	0.0000	6.0	0.0007	5.9	0.0007
300	6.7	0.0000	5.9	0.0000	5.9	0.0000

Ek 4. P65-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	59.9	1.0000	60.2	1.0000	60.3	1.0000
5	57.2	0.9481	57.7	0.9539	57.8	0.9540
10	54.0	0.8883	54.6	0.8968	54.6	0.8951
15	51.0	0.8329	51.5	0.8396	51.6	0.8399
20	47.9	0.7746	48.4	0.7824	48.5	0.7829
25	45.1	0.7216	45.4	0.7271	45.6	0.7295
30	42.3	0.6685	42.5	0.6737	42.7	0.6762
40	37.2	0.5723	37.0	0.5723	37.3	0.5768
50	32.4	0.4834	32.0	0.4801	32.3	0.4848
60	28.1	0.4020	27.4	0.3953	27.7	0.4002
70	24.1	0.3269	23.3	0.3197	23.9	0.3303
80	20.6	0.2611	19.4	0.2478	20.4	0.2659
90	17.6	0.2034	16.1	0.1869	17.4	0.2107
100	14.9	0.1544	13.5	0.1390	14.7	0.1610
110	12.7	0.1122	11.3	0.0985	12.5	0.1205
120	10.9	0.0792	9.6	0.0671	10.5	0.0837
150	7.9	0.0216	6.9	0.0173	7.5	0.0285
180	7.1	0.0060	6.3	0.0063	6.4	0.0083
210	6.9	0.0028	6.1	0.0026	6.1	0.0028
240	6.8	0.0011	6.0	0.0020	5.9	0.0007
270	6.8	0.0004	6.0	0.0007	5.9	0.0004
300	6.7	0.0000	5.9	0.0000	5.9	0.0000

Ek 5. P65-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	59.9	1.0000	60.1	1.0000	60.0	1.0000
5	56.5	0.9368	57.5	0.9520	57.5	0.9537
10	52.9	0.8689	54.4	0.8947	54.4	0.8962
15	49.4	0.8053	51.3	0.8374	51.3	0.8388
20	46.0	0.7411	48.2	0.7801	48.2	0.7814
25	42.9	0.6826	45.2	0.7247	45.2	0.7258
30	39.7	0.6244	42.3	0.6711	42.2	0.6702
40	34.1	0.5200	36.8	0.5695	35.9	0.5535
50	29.0	0.4245	31.9	0.4789	31.7	0.4756
60	24.4	0.3387	27.4	0.3958	27.1	0.3904
70	20.4	0.2641	23.4	0.3219	23.1	0.3163
80	17.0	0.2003	19.7	0.2535	19.7	0.2533
90	14.1	0.1457	16.6	0.1962	16.7	0.1977
100	11.8	0.1029	14.0	0.1482	14.1	0.1495
110	9.9	0.0679	11.8	0.1075	11.9	0.1088
120	8.6	0.0427	10.1	0.0761	10.1	0.0754
150	6.8	0.0108	7.3	0.0244	7.3	0.0235
180	6.5	0.0037	6.4	0.0078	6.4	0.0069
210	6.4	0.0024	6.2	0.0041	6.1	0.0024
240	6.3	0.0007	6.1	0.0020	6.0	0.0011
270	6.3	0.0004	6.1	0.0009	6.0	0.0004
300	6.3	0.0000	6.0	0.0000	6.0	0.0000

Ek 6. P75-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.2	1.0000	60.1	1.0000	60.4	1.0000
5	57.0	0.9395	57.4	0.9499	58.2	0.9592
10	53.8	0.8815	54.1	0.8886	55.2	0.9035
15	50.9	0.8268	50.8	0.8273	52.1	0.8459
20	48.1	0.7760	47.6	0.7678	49.1	0.7902
25	45.3	0.7235	44.6	0.7121	46.2	0.7364
30	42.6	0.6734	41.6	0.6564	43.4	0.6844
40	37.8	0.5844	36.3	0.5579	38.1	0.5860
50	34.2	0.5182	31.3	0.4651	33.2	0.4951
60	29.4	0.4277	26.7	0.3796	28.3	0.4041
70	25.7	0.3605	22.6	0.3035	24.3	0.3299
80	22.4	0.2977	19.1	0.2385	20.6	0.2612
90	19.5	0.2444	16.1	0.1828	17.3	0.1999
100	17.0	0.1979	13.6	0.1363	14.7	0.1517
110	14.8	0.1567	11.5	0.0973	12.6	0.1127
120	12.8	0.1213	9.9	0.0676	10.8	0.0793
150	9.0	0.0495	7.2	0.0175	7.9	0.0254
180	7.3	0.0180	6.6	0.0063	6.9	0.0069
210	6.7	0.0069	6.4	0.0026	6.7	0.0032
240	6.5	0.0028	6.4	0.0013	6.6	0.0013
270	6.4	0.0009	6.3	0.0004	6.6	0.0009
300	6.3	0.0000	6.3	0.0000	6.6	0.0000

Ek 7. P75-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.5	1.0000	60.5	1.0000	59.9	1.0000
5	57.2	0.9399	57.8	0.9502	57.2	0.9499
10	54.0	0.8804	54.6	0.8913	54.0	0.8905
15	50.9	0.8237	51.3	0.8305	50.7	0.8292
20	48.0	0.7699	48.1	0.7715	47.6	0.7716
25	45.0	0.7149	44.9	0.7125	44.5	0.7141
30	42.1	0.6621	41.9	0.6573	41.6	0.6602
40	37.0	0.5683	36.4	0.5559	36.2	0.5600
50	32.2	0.4795	31.2	0.4601	31.3	0.4690
60	28.1	0.4028	26.7	0.3772	26.5	0.3799
70	24.1	0.3308	22.6	0.3016	22.6	0.3075
80	20.6	0.2652	19.0	0.2353	19.0	0.2406
90	17.6	0.2104	16.1	0.1819	15.9	0.1831
100	15.1	0.1633	13.6	0.1358	13.4	0.1367
110	12.8	0.1225	11.5	0.0971	11.3	0.0977
120	11.0	0.0886	9.9	0.0676	9.8	0.0698
150	7.7	0.0282	7.3	0.0197	7.2	0.0215
180	6.7	0.0087	6.6	0.0068	6.4	0.0067
210	6.4	0.0031	6.4	0.0031	6.2	0.0030
240	6.3	0.0015	6.3	0.0013	6.2	0.0030
270	6.2	0.0006	6.3	0.0004	6.1	0.0015
300	6.2	0.0000	6.3	0.0000	6.1	0.0000

Ek 8. P75-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.7	1.0000	60.5	1.0000	60.6	1.0000
5	56.8	0.9291	58.0	0.9540	58.3	0.9579
10	53.2	0.8623	54.9	0.8970	55.2	0.9011
15	49.8	0.8002	51.7	0.8381	52.1	0.8443
20	46.6	0.7416	48.7	0.7830	49.1	0.7893
25	43.3	0.6806	45.6	0.7260	46.2	0.7362
30	40.3	0.6254	42.6	0.6708	43.3	0.6830
40	35.0	0.5277	37.2	0.5715	38.1	0.5878
50	30.0	0.4354	32.1	0.4777	33.2	0.4980
60	25.8	0.3588	27.5	0.3930	28.5	0.4119
70	22.0	0.2885	23.3	0.3158	24.6	0.3404
80	18.6	0.2261	19.7	0.2496	20.9	0.2726
90	15.8	0.1755	16.5	0.1907	17.6	0.2122
100	13.5	0.1325	13.9	0.1429	14.9	0.1627
110	11.6	0.0969	11.7	0.1024	12.7	0.1224
120	10.0	0.0682	9.9	0.0693	10.8	0.0876
150	7.4	0.0200	7.1	0.0178	7.6	0.0289
180	6.6	0.0062	6.4	0.0050	6.5	0.0088
210	6.4	0.0028	6.3	0.0031	6.2	0.0033
240	6.4	0.0018	6.3	0.0015	6.1	0.0015
270	6.3	0.0004	6.2	0.0006	6.1	0.0009
300	6.3	0.0000	6.2	0.0000	6.1	0.0000

Ek 9. P85-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.2	1.0000	60.1	1.0000	60.2	1.0000
5	57.2	0.9429	57.8	0.9572	57.9	0.9573
10	53.9	0.8817	54.9	0.9033	55.1	0.9054
15	50.8	0.8238	52.0	0.8494	52.2	0.8516
20	47.6	0.7649	49.1	0.7955	49.3	0.7978
25	44.5	0.7074	46.3	0.7434	46.5	0.7458
30	41.5	0.6514	43.6	0.6933	43.9	0.6976
40	36.1	0.5502	38.6	0.6003	39.0	0.6067
50	31.1	0.4576	33.8	0.5111	34.2	0.5176
60	26.5	0.3730	29.6	0.4330	30.0	0.4397
70	22.4	0.2961	25.8	0.3623	25.8	0.3618
80	18.9	0.2301	22.2	0.2954	22.2	0.2950
90	15.8	0.1734	19.1	0.2378	19.3	0.2412
100	13.3	0.1265	16.5	0.1894	16.5	0.1892
110	11.3	0.0893	14.2	0.1467	14.2	0.1466
120	9.8	0.0612	12.3	0.1114	12.2	0.1095
150	7.4	0.0179	8.6	0.0426	8.3	0.0371
180	6.8	0.0054	7.0	0.0128	6.9	0.0111
210	6.6	0.0024	6.5	0.0035	6.5	0.0037
240	6.6	0.0013	6.5	0.0019	6.3	0.0009
270	6.5	0.0006	6.4	0.0006	6.3	0.0004
300	6.5	0.0000	6.4	0.0000	6.3	0.0000

Ek 10. P85-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.0	1.0000	60.4	1.0000	60.8	1.0000
5	57.3	0.9489	58.0	0.9557	58.4	0.9557
10	54.1	0.8904	55.0	0.9003	55.4	0.9004
15	51.0	0.8330	52.0	0.8450	52.4	0.8451
20	47.9	0.7746	49.0	0.7896	49.5	0.7916
25	44.9	0.7196	46.2	0.7379	46.6	0.7381
30	42.0	0.6652	43.4	0.6862	43.8	0.6865
40	36.5	0.5641	38.3	0.5921	38.8	0.5942
50	31.5	0.4708	33.5	0.5035	34.0	0.5057
60	27.0	0.3859	29.3	0.4260	29.7	0.4264
70	22.8	0.3088	25.4	0.3540	25.5	0.3489
80	19.1	0.2404	21.7	0.2857	22.1	0.2862
90	16.0	0.1825	18.6	0.2285	19.1	0.2309
100	13.3	0.1327	16.0	0.1805	16.4	0.1811
110	11.2	0.0927	13.8	0.1399	14.1	0.1387
120	9.5	0.0622	12.0	0.1067	12.2	0.1037
150	7.0	0.0160	8.4	0.0402	8.6	0.0373
180	6.5	0.0050	6.9	0.0126	7.2	0.0114
210	6.3	0.0022	6.5	0.0052	6.8	0.0041
240	6.3	0.0013	6.4	0.0018	6.7	0.0022
270	6.2	0.0006	6.3	0.0007	6.6	0.0009
300	6.2	0.0000	6.3	0.0000	6.5	0.0000

Ek 11. P85-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.1	1.0000	60.2	1.0000	60.8	1.0000
5	57.1	0.9448	57.7	0.9539	58.6	0.9596
10	53.9	0.8852	54.7	0.8985	55.8	0.9082
15	50.8	0.8276	51.7	0.8431	52.9	0.8550
20	47.6	0.7690	48.8	0.7896	50.1	0.8036
25	44.7	0.7141	45.9	0.7361	47.2	0.7503
30	41.8	0.6598	43.1	0.6844	44.4	0.6989
40	36.5	0.5608	38.0	0.5903	39.1	0.6016
50	31.4	0.4676	33.3	0.5035	34.3	0.5135
60	27.0	0.3858	29.1	0.4260	29.9	0.4327
70	23.1	0.3116	25.2	0.3540	25.7	0.3556
80	19.6	0.2468	21.6	0.2876	22.0	0.2877
90	16.5	0.1901	18.5	0.2303	18.9	0.2308
100	14.0	0.1432	15.8	0.1805	16.2	0.1812
110	12.0	0.1055	13.5	0.1381	13.8	0.1371
120	10.4	0.0766	11.5	0.1011	11.9	0.1023
150	7.7	0.0259	7.9	0.0347	8.2	0.0343
180	6.8	0.0087	6.5	0.0089	6.9	0.0105
210	6.5	0.0032	6.2	0.0033	6.5	0.0031
240	6.4	0.0015	6.1	0.0007	6.4	0.0015
270	6.3	0.0004	6.1	0.0007	6.3	0.0006
300	6.3	0.0000	6.0	0.0000	6.3	0.0000

Ek 12. B10-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.7	1.0000	60.3	1.0000	60.3	1.0000
5	57.5	0.9401	57.8	0.9534	58.0	0.9579
10	53.8	0.8710	54.8	0.8974	55.0	0.9030
15	50.4	0.8081	52.0	0.8452	52.0	0.8481
20	47.0	0.7458	49.3	0.7949	48.9	0.7914
25	43.8	0.6873	46.7	0.7464	45.9	0.7365
30	40.8	0.6303	44.0	0.6961	43.0	0.6834
40	34.7	0.5182	39.0	0.6028	37.6	0.5846
50	29.0	0.4124	34.6	0.5208	32.6	0.4930
60	24.1	0.3221	30.4	0.4425	28.0	0.4089
70	19.9	0.2451	26.6	0.3716	23.9	0.3338
80	16.4	0.1800	23.2	0.3082	20.2	0.2661
90	13.6	0.1271	20.2	0.2523	17.2	0.2112
100	11.3	0.0846	17.6	0.2038	14.6	0.1636
110	8.6	0.0346	15.3	0.1609	12.4	0.1234
120	8.4	0.0324	13.4	0.1255	10.5	0.0886
150	7.1	0.0083	9.6	0.0546	7.3	0.0300
180	6.9	0.0033	7.7	0.0192	6.1	0.0081
210	6.8	0.0019	7.0	0.0063	5.8	0.0026
240	6.7	0.0009	6.7	0.0021	5.8	0.0011
270	6.7	0.0002	6.7	0.0007	5.7	0.0004
300	6.7	0.0000	6.6	0.0000	5.7	0.0000

Ek 13. B10-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.6	1.0000	59.9	1.0000	60.6	1.0000
5	57.9	0.9485	57.1	0.9476	58.4	0.9597
10	54.4	0.8837	53.9	0.8877	55.5	0.9066
15	51.2	0.8259	50.7	0.8278	52.5	0.8516
20	48.0	0.7666	47.7	0.7717	49.5	0.7967
25	45.0	0.7106	44.7	0.7156	46.6	0.7436
30	42.1	0.6562	41.8	0.6613	43.8	0.6923
40	36.0	0.5443	36.3	0.5584	38.6	0.5971
50	30.2	0.4365	31.4	0.4667	33.8	0.5092
60	25.3	0.3446	27.0	0.3844	29.4	0.4286
70	21.0	0.2649	23.1	0.3114	25.4	0.3553
80	17.3	0.1962	19.6	0.2459	21.8	0.2894
90	14.2	0.1397	16.6	0.1897	18.9	0.2363
100	11.8	0.0945	14.2	0.1448	16.2	0.1868
110	9.9	0.0606	12.1	0.1055	14.0	0.1465
120	8.7	0.0372	10.5	0.0756	12.1	0.1117
150	7.2	0.0096	7.8	0.0251	8.5	0.0458
180	6.9	0.0043	6.98	0.0082	6.9	0.0165
210	6.8	0.0020	6.7	0.0030	6.4	0.0073
240	6.7	0.0015	6.6	0.0019	6.2	0.0040
270	6.7	0.0011	6.5	0.0006	6.1	0.0031
300	6.7	0.0000	6.5	0.0000	6.0	0.0000

Ek 14. B10-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.6	1.0000	60.8	1.0000	60.4	1.0000
5	57.9	0.9504	58.4	0.9557	58.0	0.9560
10	54.8	0.8923	55.4	0.9003	55.1	0.9028
15	51.9	0.8384	52.5	0.8468	52.0	0.8459
20	49.0	0.7848	49.7	0.7951	49.1	0.7927
25	46.2	0.7333	47.1	0.7470	46.2	0.7395
30	43.6	0.6839	44.2	0.6935	43.5	0.6900
40	38.0	0.5809	39.0	0.5975	38.4	0.5964
50	32.5	0.4787	34.4	0.5126	33.6	0.5083
60	27.7	0.3894	30.1	0.4332	29.3	0.4295
70	23.6	0.3129	26.0	0.3575	25.2	0.3542
80	19.9	0.2448	22.4	0.2910	21.4	0.2845
90	16.9	0.1879	19.4	0.2356	18.7	0.2350
100	14.3	0.1396	16.6	0.1839	16.1	0.1873
110	12.1	0.0994	14.3	0.1414	13.8	0.1451
120	10.4	0.0687	12.4	0.1064	11.7	0.1066
150	7.8	0.0191	8.8	0.0399	7.9	0.0369
180	7.1	0.0061	7.3	0.0122	6.4	0.0094
210	6.9	0.0024	6.9	0.0048	6.1	0.0039
240	6.8	0.0013	6.7	0.0020	5.9	0.0013
270	6.8	0.0006	6.6	0.0007	5.9	0.0002
300	6.7	0.0000	6.6	0.0000	5.8	0.0000

Ek 15. B20-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.3	1.0000	60.3	1.0000	60.6	1.0000
5	57.5	0.9479	57.4	0.9464	58.1	0.9540
10	54.3	0.8880	54.0	0.8835	55.0	0.8969
15	51.0	0.8285	50.6	0.8206	51.9	0.8398
20	47.9	0.7699	47.3	0.7596	48.9	0.7845
25	44.8	0.7128	44.1	0.7004	45.9	0.7293
30	41.9	0.6584	41.0	0.6431	43.1	0.6777
40	36.5	0.5583	35.2	0.5358	37.9	0.5820
50	31.5	0.4665	30.1	0.4415	33.1	0.4936
60	27.0	0.3825	25.4	0.3545	28.8	0.4144
70	23.0	0.3080	21.3	0.2787	24.9	0.3425
80	19.5	0.2438	17.8	0.2140	21.4	0.2781
90	16.5	0.1882	14.7	0.1566	18.4	0.2228
100	13.9	0.1400	12.3	0.1123	15.8	0.1750
110	11.8	0.1009	10.3	0.0753	13.6	0.1344
120	10.2	0.0706	8.9	0.0494	11.7	0.0994
150	7.4	0.0193	6.8	0.0105	8.2	0.0350
180	6.7	0.0061	6.5	0.0050	6.8	0.0092
210	6.5	0.0026	6.3	0.0013	6.5	0.0037
240	6.5	0.0017	6.3	0.0013	6.3	0.0017
270	6.4	0.0004	6.2	0.0006	6.3	0.0007
300	6.4	0.0000	6.2	0.0000	6.3	0.0000

Ek 16. B20-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.0	1.0000	60.7	1.0000	60.6	1.0000
5	57.2	0.9477	58.2	0.9540	58.2	0.9557
10	53.8	0.8840	55.1	0.8970	55.1	0.8986
15	50.5	0.8223	52.0	0.8400	52.0	0.8414
20	47.2	0.7610	48.8	0.7811	48.9	0.7843
25	44.0	0.7015	45.8	0.7260	46.0	0.7308
30	40.9	0.6447	42.8	0.6708	43.1	0.6773
40	35.3	0.5401	37.2	0.5678	37.8	0.5796
50	30.1	0.4436	32.2	0.4758	32.9	0.4892
60	25.5	0.3583	27.4	0.3875	28.5	0.4081
70	21.4	0.2831	23.3	0.3121	24.4	0.3325
80	17.9	0.2180	19.7	0.2459	20.9	0.2679
90	14.9	0.1633	16.5	0.1871	17.8	0.2108
100	12.5	0.1176	14.0	0.1411	15.3	0.1647
110	10.5	0.0816	11.9	0.1024	13.1	0.1241
120	9.1	0.0545	10.3	0.0730	11.3	0.0909
150	6.9	0.0137	7.6	0.0234	8.0	0.0301
180	6.4	0.0045	6.7	0.0068	6.9	0.0098
210	6.2	0.0015	6.5	0.0031	6.6	0.0042
240	6.2	0.0007	6.4	0.0013	6.4	0.0022
270	6.2	0.0004	6.3	0.0004	6.4	0.0006
300	6.1	0.0000	6.3	0.0000	6.3	0.0000

Ek 17. B20-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.3	1.0000	60.1	1.0000	60.1	1.0000
5	57.8	0.9541	57.7	0.9554	57.4	0.9498
10	55.0	0.9022	54.6	0.8978	54.3	0.8921
15	52.1	0.8491	51.5	0.8403	51.2	0.8345
20	49.4	0.7981	48.4	0.7827	48.2	0.7787
25	46.6	0.7474	45.4	0.7270	45.3	0.7248
30	44.0	0.6980	42.5	0.6731	42.5	0.6727
40	39.0	0.6061	36.9	0.5691	37.3	0.5760
50	34.3	0.5196	32.0	0.4781	32.5	0.4867
60	30.0	0.4401	27.2	0.3889	28.2	0.4067
70	25.9	0.3643	23.1	0.3128	24.3	0.3342
80	22.3	0.2977	19.3	0.2422	20.8	0.2691
90	19.2	0.2396	16.1	0.1828	17.8	0.2133
100	16.3	0.1875	13.4	0.1326	15.3	0.1668
110	13.9	0.1428	11.1	0.0899	13.1	0.1259
120	11.9	0.1056	9.4	0.0583	11.4	0.0943
150	8.1	0.0342	7.0	0.0137	7.9	0.0292
180	6.7	0.0094	6.5	0.0045	6.7	0.0069
210	6.4	0.0035	6.4	0.0026	6.5	0.0032
240	6.3	0.0017	6.3	0.0007	6.4	0.0024
270	6.2	0.0006	6.2	0.0006	6.3	0.0007
300	6.2	0.0000	6.2	0.0000	6.3	0.0000

Ek 18. B30-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.2	1.0000	60.4	1.0000	60.2	1.0000
5	57.6	0.9518	57.6	0.9483	57.4	0.9486
10	54.5	0.8943	54.5	0.8911	54.3	0.8916
15	51.3	0.8350	51.3	0.8321	51.4	0.8383
20	48.5	0.7831	48.2	0.7749	48.5	0.7850
25	45.7	0.7312	45.3	0.7214	45.6	0.7318
30	43.0	0.6812	42.5	0.6697	42.8	0.6803
40	37.9	0.5867	37.3	0.5738	37.8	0.5885
50	33.3	0.5014	32.4	0.4834	33.1	0.5021
60	29.0	0.4217	28.1	0.4041	28.6	0.4194
70	25.3	0.3531	23.9	0.3266	24.7	0.3478
80	21.8	0.2882	20.3	0.2601	21.0	0.2798
90	18.7	0.2308	17.3	0.2048	17.9	0.2229
100	16.0	0.1807	14.8	0.1587	15.1	0.1714
110	13.7	0.1381	12.7	0.1199	12.8	0.1292
120	11.8	0.1029	10.9	0.0867	10.9	0.0942
150	8.2	0.0361	7.8	0.0295	7.4	0.0299
180	6.8	0.0102	6.7	0.0092	6.2	0.0079
210	6.4	0.0028	6.4	0.0037	5.9	0.0024
240	6.3	0.0009	6.3	0.0018	5.8	0.0018
270	6.2	0.0004	6.2	0.0011	5.8	0.0007
300	6.2	0.0000	6.2	0.0000	5.7	0.0000

Ek 19. B30-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.4	1.0000	60.5	1.0000	60.4	1.0000
5	57.6	0.9484	57.9	0.9522	57.7	0.9506
10	54.4	0.8894	54.9	0.8970	54.5	0.8921
15	51.0	0.8267	51.8	0.8400	51.4	0.8354
20	48.0	0.7714	48.8	0.7848	48.3	0.7787
25	45.0	0.7161	45.9	0.7315	45.2	0.7220
30	42.1	0.6626	43.0	0.6781	42.3	0.6690
40	36.8	0.5649	38.0	0.5862	37.1	0.5739
50	32.0	0.4764	33.1	0.4960	32.3	0.4861
60	27.6	0.3953	28.8	0.4170	27.8	0.4038
70	23.7	0.3234	24.6	0.3397	23.8	0.3307
80	20.1	0.2570	20.0	0.2551	20.2	0.2648
90	17.0	0.1999	18.0	0.2183	17.1	0.2081
100	14.3	0.1501	15.4	0.1705	14.3	0.1569
110	12.0	0.1077	13.2	0.1300	12.1	0.1167
120	10.3	0.0763	11.5	0.0988	10.4	0.0856
150	7.3	0.0210	8.1	0.0362	7.1	0.0252
180	6.5	0.0063	6.7	0.0105	6.1	0.0069
210	6.3	0.0026	6.3	0.0031	5.9	0.0033
240	6.2	0.0007	6.2	0.0013	5.8	0.0016
270	6.2	0.0007	6.1	0.0002	5.7	0.0007
300	6.1	0.0000	6.1	0.0000	5.7	0.0000

Ek 20. B30-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.9	1.0000	60.5	1.0000	60.6	1.0000
5	57.9	0.9453	58.0	0.9544	58.1	0.9542
10	54.6	0.8852	55.0	0.8996	55.1	0.8993
15	51.0	0.8196	51.9	0.8430	52.3	0.8480
20	47.8	0.7613	48.9	0.7882	49.4	0.7949
25	44.7	0.7048	46.0	0.7353	46.5	0.7419
30	41.7	0.6501	43.2	0.6842	43.7	0.6906
40	36.2	0.5498	38.1	0.5911	38.6	0.5972
50	31.4	0.4624	33.0	0.4980	33.9	0.5112
60	27.0	0.3822	28.6	0.4177	29.4	0.4288
70	23.0	0.3093	24.3	0.3392	25.5	0.3574
80	19.4	0.2437	20.5	0.2698	21.8	0.2896
90	16.3	0.1872	17.3	0.2114	18.7	0.2329
100	13.7	0.1398	14.6	0.1621	15.9	0.1816
110	11.5	0.0997	12.4	0.1219	13.6	0.1395
120	9.8	0.0687	10.6	0.0891	11.6	0.1029
150	7.1	0.0195	7.3	0.0288	7.9	0.0352
180	6.3	0.0049	6.2	0.0088	6.5	0.0095
210	6.1	0.0013	5.9	0.0033	6.2	0.0040
240	6.1	0.0013	5.7	0.0013	6.0	0.0015
270	6.0	0.0004	5.7	0.0004	6.0	0.0005
300	6.0	0.0000	5.7	0.0000	5.9	0.0000

Ek 21. S10-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.7	1.0000	60.7	1.0000	60.4	1.0000
5	57.2	0.9364	58.2	0.9542	57.8	0.9519
10	53.4	0.8661	54.9	0.8937	54.6	0.8926
15	49.7	0.7988	51.7	0.8351	51.4	0.8334
20	46.1	0.7320	48.5	0.7764	48.3	0.7760
25	42.7	0.6700	45.3	0.7178	45.4	0.7223
30	39.2	0.6047	42.4	0.6647	42.6	0.6704
40	33.8	0.5052	37.0	0.5657	37.4	0.5742
50	28.6	0.4100	31.9	0.4722	32.8	0.4890
60	24.0	0.3255	27.3	0.3879	28.4	0.4075
70	20.0	0.2518	23.0	0.3091	24.7	0.3390
80	16.7	0.1913	19.3	0.2413	21.3	0.2761
90	13.9	0.1409	16.1	0.1827	18.3	0.2205
100	11.7	0.1002	13.4	0.1332	15.6	0.1705
110	10.0	0.0684	11.3	0.0947	13.5	0.1316
120	8.7	0.0451	9.6	0.0636	11.6	0.0965
150	7.0	0.0127	7.0	0.0159	8.2	0.0335
180	6.5	0.0042	6.4	0.0049	7.0	0.0113
210	6.4	0.0024	6.2	0.0013	6.6	0.0039
240	6.3	0.0009	6.2	0.0013	6.4	0.0017
270	6.3	0.0006	6.1	0.0004	6.4	0.0006
300	6.3	0.0000	6.1	0.0000	6.3	0.0000

Ek 22. S10-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.7	1.0000	60.8	1.0000	60.3	1.0000
5	57.6	0.9438	58.1	0.9504	57.4	0.9462
10	54.1	0.8801	54.9	0.8917	54.0	0.8831
15	50.8	0.8177	51.8	0.8348	50.8	0.8237
20	47.5	0.7571	48.8	0.7797	47.6	0.7644
25	44.4	0.6999	45.8	0.7247	44.4	0.7050
30	41.1	0.6393	43.0	0.6733	41.3	0.6475
40	35.8	0.5424	37.8	0.5778	35.7	0.5436
50	30.9	0.4517	33.1	0.4916	30.7	0.4508
60	26.5	0.3703	28.7	0.4108	25.9	0.3618
70	22.5	0.2976	24.7	0.3374	21.8	0.2857
80	19.1	0.2348	21.2	0.2731	18.3	0.2208
90	16.2	0.1806	18.2	0.2181	15.4	0.1670
100	13.7	0.1350	15.5	0.1685	12.9	0.1206
110	11.6	0.0967	13.3	0.1281	10.9	0.0835
120	10.0	0.0672	11.5	0.0951	9.4	0.0557
150	7.3	0.0184	8.2	0.0345	7.2	0.0148
180	6.7	0.0057	6.9	0.0106	6.7	0.0056
210	6.5	0.0026	6.5	0.0033	6.5	0.0019
240	6.4	0.0015	6.4	0.0017	6.4	0.0011
270	6.4	0.0009	6.3	0.0004	6.4	0.0002
300	6.3	0.0000	6.3	0.0000	6.4	0.0000

Ek 23. S10-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.7	1.0000	60.8	1.0000	60.5	1.0000
5	57.6	0.9438	57.6	0.9413	57.9	0.9518
10	54.3	0.8831	53.9	0.8734	54.7	0.8926
15	51.2	0.8243	50.3	0.8074	51.6	0.8351
20	48.1	0.7671	46.9	0.7450	48.5	0.7777
25	45.2	0.7137	43.5	0.6826	45.5	0.7221
30	42.0	0.6558	40.3	0.6239	42.6	0.6684
40	37.1	0.5651	34.6	0.5194	37.2	0.5684
50	32.5	0.4808	29.4	0.4240	32.5	0.4813
60	28.4	0.4045	24.8	0.3396	28.0	0.3979
70	24.7	0.3357	20.8	0.2662	24.0	0.3238
80	21.4	0.2754	17.3	0.2020	20.4	0.2571
90	18.5	0.2227	14.4	0.1488	17.3	0.1997
100	16.0	0.1770	12.1	0.1066	14.7	0.1515
110	13.9	0.1366	10.3	0.0736	12.6	0.1126
120	12.1	0.1038	8.9	0.0479	10.7	0.0774
150	8.59	0.0387	7.0	0.0130	7.8	0.0237
180	7.16	0.0124	6.5	0.0039	6.9	0.0070
210	6.7	0.0039	6.4	0.0020	6.7	0.0033
240	6.5	0.0017	6.3	0.0017	6.6	0.0015
270	6.5	0.0004	6.3	0.0007	6.5	0.0007
300	6.4	0.0000	6.2	0.0000	6.5	0.0000

Ek 24. S20-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.7	1.0000	60.8	1.0000	60.2	1.0000
5	58.0	0.9505	58.3	0.9536	57.9	0.9575
10	54.8	0.8909	55.5	0.9004	54.8	0.9002
15	51.6	0.8314	52.7	0.8485	51.6	0.8411
20	48.6	0.7755	50.1	0.8014	48.7	0.7875
25	45.6	0.7197	47.9	0.7593	45.8	0.7340
30	42.8	0.6676	45.7	0.7187	42.8	0.6786
40	37.6	0.5708	41.8	0.6471	37.3	0.5769
50	32.8	0.4815	37.7	0.5719	32.2	0.4827
60	28.3	0.3977	33.7	0.4973	27.6	0.3977
70	24.3	0.3233	29.8	0.4241	23.6	0.3238
80	20.8	0.2581	26.0	0.3534	20.0	0.2573
90	17.7	0.2004	22.8	0.2939	17.0	0.2019
100	15.1	0.1521	19.9	0.2401	14.3	0.1520
110	13.0	0.1130	17.3	0.1923	12.1	0.1114
120	11.2	0.0795	15.1	0.1513	10.3	0.0781
150	8.3	0.0255	10.6	0.0679	7.4	0.0246
180	7.4	0.0087	8.2	0.0245	6.5	0.0079
210	7.1	0.0032	7.3	0.0078	6.2	0.0024
240	7.0	0.0013	7.1	0.0032	6.2	0.0013
270	7.0	0.0006	7.0	0.0015	6.1	0.0002
300	7.0	0.0000	6.9	0.0000	6.1	0.0000

Ek 25. S20-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.8	1.0000	60.5	1.0000	60.3	1.0000
5	58.4	0.9558	57.5	0.9448	57.8	0.9540
10	55.4	0.9002	54.0	0.8794	54.7	0.8969
15	52.4	0.8445	50.5	0.8140	51.5	0.8380
20	49.5	0.7907	47.4	0.7567	48.6	0.7846
25	46.8	0.7406	44.7	0.7069	45.6	0.7293
30	44.1	0.6905	42.6	0.6678	42.7	0.6759
40	39.1	0.5978	39.1	0.6020	37.2	0.5747
50	34.4	0.5106	34.5	0.5172	32.2	0.4826
60	30.1	0.4308	29.8	0.4297	27.5	0.3961
70	26.1	0.3566	25.4	0.3475	23.5	0.3224
80	22.6	0.2917	21.5	0.2746	20.1	0.2598
90	19.4	0.2323	18.1	0.2100	17.0	0.2027
100	16.7	0.1822	15.3	0.1584	14.5	0.1567
110	14.3	0.1377	13.1	0.1168	12.2	0.1143
120	12.4	0.1024	11.3	0.0838	10.5	0.0830
150	8.8	0.0356	8.2	0.0261	7.5	0.0278
180	7.5	0.0115	7.2	0.0078	6.5	0.0094
210	7.1	0.0041	7.0	0.0037	6.2	0.0039
240	7.0	0.0022	6.9	0.0024	6.1	0.0011
270	7.0	0.0006	6.8	0.0009	6.0	0.0002
300	6.9	0.0000	6.8	0.0000	6.0	0.0000

Ek 26. S20-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	59.7	1.0000	60.1	1.0000	59.3	1.0000
5	57.4	0.9566	57.4	0.9506	57.7	0.9701
10	54.5	0.9031	54.3	0.8919	54.7	0.9141
15	51.8	0.8522	51.3	0.8351	51.7	0.8580
20	49.2	0.8031	48.4	0.7820	48.8	0.8038
25	46.7	0.7560	46.0	0.7360	45.9	0.7496
30	44.2	0.7088	43.7	0.6940	43.1	0.6973
40	39.5	0.6202	39.9	0.6225	37.7	0.5964
50	35.1	0.5372	35.5	0.5407	32.7	0.5030
60	31.0	0.4599	30.9	0.4552	28.0	0.4152
70	27.3	0.3902	26.6	0.3737	24.0	0.3404
80	23.9	0.3260	22.4	0.2961	20.4	0.2732
90	20.9	0.2695	19.0	0.2324	17.2	0.2134
100	18.2	0.2186	16.0	0.1765	14.6	0.1648
110	15.8	0.1733	13.6	0.1303	12.3	0.1218
120	13.8	0.1356	11.5	0.0924	10.4	0.0863
150	9.6	0.0564	8.0	0.0271	7.3	0.0284
180	7.6	0.0187	7.0	0.0079	6.3	0.0097
210	7.0	0.0074	6.8	0.0032	6.0	0.0041
240	6.7	0.0017	6.7	0.0015	5.9	0.0021
270	6.7	0.0011	6.6	0.0009	5.8	0.0002
300	6.6	0.0000	6.6	0.0000	5.8	0.0000

Ek 27. S30-3 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.5	1.0000	60.9	1.0000	60.2	1.0000
5	57.9	0.9518	57.9	0.9445	57.8	0.9556
10	54.8	0.8943	54.6	0.8835	54.5	0.8945
15	51.7	0.8368	51.4	0.8243	51.4	0.8371
20	48.6	0.7793	48.1	0.7633	48.3	0.7797
25	45.6	0.7236	44.8	0.7023	45.4	0.7260
30	42.8	0.6717	41.9	0.6487	42.5	0.6723
40	37.5	0.5734	36.3	0.5451	37.3	0.5761
50	32.7	0.4843	31.3	0.4527	32.4	0.4854
60	28.3	0.4027	26.7	0.3676	28.1	0.4058
70	24.2	0.3267	22.7	0.2936	24.2	0.3336
80	20.6	0.2599	19.3	0.2308	20.7	0.2688
90	17.5	0.2024	16.4	0.1771	17.6	0.2114
100	14.9	0.1541	14.0	0.1328	15.1	0.1651
110	12.7	0.1133	12.0	0.0958	13.0	0.1262
120	10.9	0.0799	10.4	0.0662	11.1	0.0911
150	7.9	0.0243	7.9	0.0200	7.8	0.0300
180	7.0	0.0076	7.2	0.0070	6.7	0.0096
210	6.8	0.0039	7.0	0.0033	6.4	0.0041
240	6.7	0.0020	6.9	0.0020	6.2	0.0015
270	6.6	0.0002	6.8	0.0006	6.2	0.0004
300	6.5	0.0000	6.8	0.0000	6.1	0.0000

Ek 28. S30-5 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.5	1.0000	60.1	1.0000	60.1	1.0000
5	57.8	0.9500	57.7	0.9550	57.8	0.9571
10	54.5	0.8889	54.8	0.9007	54.7	0.8993
15	51.3	0.8297	52.1	0.8502	51.6	0.8415
20	48.1	0.7705	49.3	0.7977	48.7	0.7874
25	45.0	0.7131	46.6	0.7471	45.7	0.7315
30	42.0	0.6575	44.1	0.7003	42.9	0.6793
40	36.5	0.5557	39.3	0.6104	37.7	0.5823
50	31.6	0.4650	35.0	0.5299	32.9	0.4928
60	27.1	0.3817	30.8	0.4512	28.5	0.4108
70	23.1	0.3077	26.9	0.3782	24.6	0.3381
80	19.5	0.2410	23.5	0.3145	21.1	0.2728
90	16.6	0.1873	20.4	0.2564	18.1	0.2169
100	14.1	0.1411	17.7	0.2058	15.5	0.1684
110	12.0	0.1022	15.4	0.1628	13.4	0.1292
120	10.4	0.0726	13.5	0.1272	11.5	0.0938
150	7.7	0.0226	9.5	0.0523	8.2	0.0323
180	6.9	0.0078	7.6	0.0167	7.1	0.0117
210	6.6	0.0022	7.0	0.0054	6.7	0.0043
240	6.6	0.0022	6.8	0.0024	6.5	0.0021
270	6.5	0.0004	6.7	0.0007	6.5	0.0006
300	6.4	0.0000	6.7	0.0000	6.4	0.0000

Ek 29. S30-10 için kurutma sırasında ağırlık kayıpları ve nem oranları.

Süre (dk)	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR	Ağırlık (g)	MR
0	60.1	1.0000	60.1	1.0000	60.3	1.0000
5	57.5	0.9517	57.5	0.9515	57.6	0.9501
10	54.7	0.8997	54.5	0.8956	54.2	0.8873
15	51.8	0.8458	51.5	0.8396	50.9	0.8263
20	49.0	0.7938	48.4	0.7818	47.7	0.7672
25	46.2	0.7418	45.3	0.7240	44.5	0.7081
30	43.5	0.6917	42.5	0.6718	41.5	0.6526
40	38.6	0.6007	37.2	0.5729	36.0	0.5510
50	34.0	0.5152	32.4	0.4834	31.1	0.4605
60	29.7	0.4354	27.8	0.3976	26.7	0.3792
70	25.8	0.3629	21.7	0.2838	22.8	0.3071
80	22.2	0.2961	20.1	0.2540	19.4	0.2443
90	19.1	0.2385	17.1	0.1981	16.3	0.1870
100	16.4	0.1883	14.4	0.1477	13.9	0.1426
110	14.1	0.1456	12.2	0.1067	11.9	0.1057
120	12.2	0.1103	10.5	0.0750	10.1	0.0724
150	8.4	0.0397	7.6	0.0209	7.3	0.0207
180	7.0	0.0137	6.8	0.0060	6.5	0.0059
210	6.5	0.0045	6.6	0.0022	6.4	0.0041
240	6.3	0.0007	6.5	0.0013	6.2	0.0020
270	6.3	0.0007	6.5	0.0004	6.1	0.0002
300	6.2	0.0000	6.4	0.0000	6.1	0.0000



Ek 30. Ultrasonik prob ve soğutma amacıyla kullanılan su banyosu



Ek 31. Ön işlem sonrası fazlalık suyu uzaklaştırılan havuç dilimleri



Ek 32. Ultrasonik prob ile 10 dakikalık ön işlem sonrası kurutulmuş havuç dilimleri