

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

OZMOTİK İŞLEMLE KISMİ KURUTULMUŞ KAVUN
DİLİMLERİNİN DONDUNDURULMASININ
DENEYSEL VE KURAMSAL OLARAK
İNCELENMESİ, ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

Tuba EVGİN

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Filiz İÇİER

Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 614.02.00

Sunuş Tarihi: 21.03.2012

Bornova-İZMİR

2012

Tuba EVGİN tarafından YÜKSEK LİSANS tezi olarak sunulan “**Ozmotik İşleme Kısmi Kurutulmuş Kavun Dilimlerinin Dondurulmasının Deneysel ve Kuramsal Olarak İncelenmesi, Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği il E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 21.03.2012 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Şebnem TAVMAN

Raportör Üye : Doç. Dr. Filiz İÇİER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan YILDIZ

ÖZET

OZMOTİK İŞLEMLE KISMİ KURUTULMUŞ KAVUN DİLİMLERİNİN DONDURULMASININ DENEYSEL VE KURAMSAL OLARAK İNCELENMESİ, ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVGİN, Tuba

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Filiz İÇİER

Mart 2012

Gıdaların su içerikleri kurutularak düşürüldükten sonra dondurulması işlemine kurutularak-dondurma (dehydrofreezing) ismi verilmektedir. Kısmi kurutulmuş gıdaların dondurulması, enerji kazanımı ile ağırlık ve boyut azalması nedeniyle paketlenme ve taşıma maliyetinde azalma sağlamaktadır. Bu çalışmada kavun dilimlerine (5 cm×10 cm×1 cm) donma öncesi ön işlem olarak karıştırılmalı ve ultrason destekli ozmotik kurutma işlemi uygulanmıştır. Kavun dilimlerinin 3 farklı su içeriğine (%85, %80 ve %75) ozmotik olarak kısmi kurutma işlemi sırasındaki kütle aktarımı deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir. Yarı kurutulan kavun dilimlerinin su içeriğinin donma işlemi üzerine etkisi deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir. Yarı kurutma işleminin donma işleminin enerji verimliliği üzerine etkisi belirlenmiştir.

Ozmotik ortam olarak 55 °Briks yüksek maltoz içerikli glikoz şurubu kullanılmıştır. Ozmotik kurutma işlemi 38 °C’de, donma işlemi -22 °C ortam sıcaklığında derin dondurucuda gerçekleştirilmiştir.

Ozmotik kurutma işlemi sırasında gerçekleşen su kaybı için efektif difüzyon katsayısının $1,11 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, katı kazanımı için efektif difüzyon katsayısının ise $9,55 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$

¹¹ m²/s olduğu tepit edilmiştir. Başlangıç su içeriği %92 olan kavun dilimlerinin %85, %80 ve %75 su içeriklerine yarı kurutulması için gerekli ozmotik kurutma süreleri sırasıyla 1 saat 30 dak., 5 saat 15 dak. ve 9 saat 45 dak. olarak belirlenmiştir. Ozmotik kurutma işlemi kuramsal olarak Azuara modeli, Hawkes/Flink modeli ve nümerik model ile incelenmiştir. Model ngrleri ile deneysel veriler arasındaki uyumun yüksek oranda bulunduğu tespit edilmiştir. Yarı kurutma sonrası ulaşılan su içeriği azaldıkça su aktivitesi değerlerinin azaldığı, toplam şeker içeriklerinin arttığı, ancak bu değerler üzerine ozmotik uygulama yönteminin etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Renk zelliklerindeki değişim açısından bakıldığında özellikle %75 su içeriğine sahip örneklerin “a” değerinin artığı belirlenmiştir.

Kavun dilimlerinin su içeriği azaldıkça donma sürelerinin kısaldığı, donma başlangıç sıcaklıklarının ise düştüğü belirlenmiştir. Nümerik model donma zamanı öngörüleri ile deneysel veriler arasında iyi uyum elde edilmiştir. Donma süresi sonrası sıcaklık dağılımları nümerik model ile öngörülmüştür. Dondurulmuş kavun dilimlerinin su içeriği azaldıkça çözünme kayıplarının ve su aktivitesinin azaldığı, uygulanan ozmotik n işlemin uygulanma yönteminin bu kalite özellikleri üzerine etkisinin de istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Ultrason ozmotik kurutma işlemi ile kurutulan kavun dilimlerinin dondurulması işleminin enerji verimliliğinin karıştırma ozmotik kurutma işleminin daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Anahtar sözcükler: ozmotik kurutma, dondurma, modelleme, ısı ve ktle transferi

ABSTRACT

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF FREEZING OF PARTIALLY OSMOTIC DRIED MELON SLICES, EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY

EVGİN, Tuba

MSc in Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Filiz İÇİER

March, 2012,

The process of food freezing after decreasing the water content of food is called dehydrofreezing. Freezing of partially dried food reduces the cost of packaging and transportation of food due to the fact that it enables energy saving and preparation of lighter and smaller packages. In this study, the melon slices having the dimensions of 5 cm x 10 cm x 1 cm were partially dried by the application of ultrasonically assisted osmotic drying or osmotic drying via mixing. The mass transfer during the process of osmotically partial drying of melon slices to three different water contents (75% , 80 % and 85%) was examined both theoretically and experimentally. The effect of initial water content of partially dried melon slices on the freezing process was also examined both experimentally and theoretically. The effect of partially drying process on the energy efficiency of the freezing process was evaluated.

As an osmotic medium, a 55 ° brix glucose syrup having high level of maltose was used. The process of osmotic drying was performed at 38 °C while freezing was achieved in a deep-freeze having an ambient temperature of -22°C.

The effective diffusivity for the water loss during osmotic drying process was specified to be $1,11 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ where as for solid gain it was $9,55 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. The osmotic drying process times needed to get the melon slices partially dried

from initial water content of 92% to the final water content of %85, %80 and %75, were determined to be 1 h 30 min, 5 h 15 min and 9 h 45 min respectively. The theoretical investigation of the osmotic drying process was done via Azuara model, Hawkes/Flink model and numerical models. Good agreement was obtained between the experimental and model predictions. It was found that, as the water content of partially dried melon slices decreased the water activity reduced and the sugar content increased, however the application method of osmotic drying (ultrasonically assisted or combined with mixing) was not effective on these values. When the comparison made due to the differences in color features, the “a” value, especially for the samples having 75 % water content was determined to be increased.

It was determined that as the water content of the melon slices decrease, the freezing time reduced and the initial freezing temperature decreased. Good agreement was obtained between experimental freezing times determined and numerical model predictions. The temperature distributions in melon slices at the final of the freezing process was foresighted by numerical models. It was concluded that as the water content of melon slices decreased the drip losses and the water activity decreased. In the addition to this, the application method applied for osmotic drying pre-treatment was determined to be statistically important on these quality attributes ($p < 0,05$). Higher energy efficiencies for freezing of ultrasonically assisted osmotic dried melon slices was obtained.

Key words : osmotic dehydration, freezing, modeling, heat and mass transfer

TEŞEKKÜR

Bilimsel gelişimime yön veren, özveri ile katkıda bulunan danışman hocam Doç. Dr. Filiz İÇİER'e, huzurlu bir laboratuvar ortamı sağlayan çalışma arkadaşlarıma, Yüksek lisansımın ders döneminden itibaren burs desteği sağlayan (BİDEB 2210 Yurt İçi Yüksek Lisans Bursu) Türkiye Araştırma Kurumu'na (Tübitak)

Tez denemeleri boyunca kullanılan karıştırma ünitesinin karıştırıcısı için Yrd. Doç. Dr. Hasan YILDIZ hocama,

Nerede olursam olayım, maddi ve manevi destekleri hep benimle olan aileme, her durumda yanımda olan arkadaşlarıma ve başarımda katkısı bulunan herkese teşekkür ederim.

Gıda Mühendisi

Tuba EVGİN

İzmir-2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
2.1. Ozmotik Kurutma	4
2.1. 1. Ozmotik kurutma sırasında kütle transferi	9
2.1. 2. Ozmotik kurutmada kütle transfer hızını etkileyen faktörler	11
2.1.3. Ultrason uygulamasının ozmotik kurutma üzerine etkisi	16
2.2. Dondurma İşlemi	20
2.3. Kısmi kurutulmuş gıdaların dondurulması	25
2.4. Kuramsal Analiz	32
2.4.1. Kütle transferi modelleri	32
2.4.2. Isı transferi modelleri	43
3. MATERYAL VE YÖNTEM	49

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.1. Materyal	49
3.2. Yöntem.....	50
3.2.1. Ozmotik çözeltilerin hazırlanması	50
3.2.2. Deneysel çalışma.....	50
3.2.3. Analizler	56
3.2.4. Kuramsal analiz.....	63
3.2.5. Enerji verimliliğinin incelenmesi.....	73
3.2.6. İstatistiksel değerlendirme.....	74
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	75
4.1. Ozmotik Kurutma	75
4.1.1. Ozmotik kurutma aşamasında fiziksel değişimler	76
4.1.2. Kavun dilimlerinin su içeriği değişimi	83
4.1.3. Ozmotik kurutma kütle aktarım hızının incelenmesi	86
4.1.4. Su aktivitesi değerlerindeki değişim	91
4.1.5. Toplam şeker miktarındaki değişim	93
4.1.6. D-Glikoz ve D-Fruktoz içeriğindeki değişim.....	94
4.1.7. Renk özelliklerindeki değişim	96
4.2. Donma İşlemi	99

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2.1. Donma süresi ve donma başlangıç sıcaklığı	99
4.2.2. Su aktivitesi değerlerindeki değişim	104
4.2.3. Çözünme kaybı değerlerindeki değişim	105
4.2.4. Renk özelliklerindeki değişim.....	106
4.3. Matematiksel Modelleme	108
4.3.1. Kütle aktarım modelleri.....	108
4.3.2. Isı aktarım modeli	125
4.4. Enerji Verimliliği.....	130
5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	133
KAYNAKLAR DİZİNİ	141
ÖZGEÇMİŞ	153
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Ozmotik kurutmada kütle transfer mekanizmasının şematik gösterimi ..9	
Şekil 2.2 2 cm çapında çileğin donması sırasında yüzey ve merkezde tahmini sıcaklık dağılımı 46	
Şekil 3.1 Ozmotik kurutma kullanılan a) ultrason ozmotik kurutma sistemi b) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi 51	
Şekil 3.2 Ozmotik kurutma işlemi sırasında örneklerin koyulduğu metal kafes ..52	
Şekil 3.3 Toplam kurutma tayini için ozmotik kurutma sonrasında örneklerin 3 farklı noktasından yapılan örnekleme 57	
Şekil 4.1 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma işlemlerinde zamana bağlı kavun dilimlerinde meydana gelen % kütle kaybı 77	
Şekil 4.2. Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde zamana bağlı kavun dilimlerinde meydana gelen % hacim değişimleri..... 79	
Şekil 4.3 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde zamana bağlı % kalınlık değişimi..... 80	
Şekil 4.4 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde zamana bağlı ozmotik çözelti % kütle kaybının değişimi 82	
Şekil 4.5 Karıştırmalı ve ultrason kurutma sistemlerinde zamana bağlı ozmotik çözeltideki % hacim azalmasının değişimi..... 82	
Şekil 4.6. Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde zamana ve konuma bağlı ürünün nem içeriği değişimi 84	
Şekil 4.7 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde zamana bağlı ürünündeki su içeriği değişimi 85	
Şekil 4.8 Karıştırmalı ve ultrason kurutma sistemlerinde uygulanan ozmotik kurutma işlemleri sırasında süreye zamana bağlı su kaybı (% WL) değişimi 87	
Şekil 4.9 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik sistemler için zamana bağlı katı kazanımı (%SG)..... 89	
Şekil 4.10 Bazı gıda örnekleri için deneysel donma başlangıç sıcaklıkları; Kivi, elma, kavun, çilek, armut, şeftali..... 102	

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11 % 92 su içeriğine sahip hammadde kavun dilimleri ile karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminde %85, %80, %75 su içeriğine kurutulmuş kavun dilimlerinin deneysel donma eğrileri	102
Şekil 4.12 % 92 su içeriğine sahip hammadde kavun dilimleri ile ultrason ozmotik kurutma sisteminde %85, %80, %75 su içeriğine kurutulmuş kavun dilimlerinin deneysel donma eğrileri	103
Şekil 4.13 Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma işlemleri için t/WL 'nin süreye bağlı değişimi	109
Şekil 4.14 Ultrason ozmotik kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi için % WL değerinin zamana bağlı değişiminin deneysel verileri ile Azuara modeli öngörülerinin karşılaştırılması	109
Şekil 4.15 Karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi için % WL değerinin zamana bağlı değişiminin deneysel verileri ile Azuara modeli öngörülerinin karşılaştırılması	110
Şekil 4.16 Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma işlemleri için t/SG 'nin süreye bağlı değişimi	111
Şekil 4.17 Ultrason ozmotik kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi için % SG değerinin zamana bağlı değişiminin deneysel verileri ile Azuara modeli öngörülerinin karşılaştırılması	112
Şekil 4.18 Karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi için % SG değerinin zamana bağlı değişiminin deneysel verileri ile Azuara modeli öngörülerinin karşılaştırılması	112
Şekil 4.19 Ultrason ozmotik kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi için NSC'nin $t^{1/2}$ ile değişimi	114
Şekil 4.20 Karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi için NSC'nin $t^{1/2}$ ile değişimi	115

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil	Sayfa
Şekil 4.21 Ultrason kurutma sisteminde gerçekleştirilen ozmotik kurutma işlemi sırasında zamana bağlı gıdadaki su içeriği değişimi; a) üst, orta ve merkez noktalarında su içeriği dağılımı	119
Şekil 4.22 Karıştırmalı kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi sırasında zamana bağlı su içeriği değişimi; a) üst, orta ve merkez noktalarında su içeriği dağılımı).....	119
Şekil 4.23 Ultrason ozmotik kurutma işlemi için nümerik yöntem öngörülleri ile deneysel verilerin karşılaştırılması: a)WR, b) WL ve C) SG	122
Şekil 4.24 Karıştırmalı ozmotik kurutma işlemi için nümerik yöntem öngörülleri ile deneysel verilerin karşılaştırılması: a)WR, b) WL ve C) SG	123
Şekil 4.25 Ortalama %75 su içeriğine kurutulmuş kavun dilimlerindeki pozisyona bağlı su içeriği dağılımı a) karıştırmalı sistem b)ultrason sistem.....	124
Şekil 4.26 Ortalama %80 su içeriğine kurutulmuş kavun dilimlerindeki pozisyona bağlı su içeriği dağılımı a) karıştırmalı sistem b)ultrason sistem.....	124
Şekil 4.27 Ortalama %85 su içeriğine kurutulmuş kavun dilimlerindeki pozisyona bağlı su içeriği dağılımı a) karıştırmalı sistem b)ultrason sistem.....	124
Şekil 4.28. Ultrason ozmotik kurutma yöntemi ile farklı su içeriğine kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin ve hammaddenin donma sonrası konuma bağlı nümerik sıcaklık öngörülleri dağılımı a)hammadde, b) %85, c) %80, d) %75.....	128
Şekil 4.29 Karıştırmalı ozmotik kurutma yöntemi ile farklı su içeriğine kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin ve hammaddenin donma sonrası konuma bağlı nümerik sıcaklık öngörülleri dağılımı a)hammadde, b) %85, c) %80, d) %75.....	129

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Kısmi kurtulmuş gıdaların dondurulması konusunda son yıllarda yapılan bazı çalışmalar.....	29
Çizelge 2.2 Ozmotik kurutmanın modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar	37
Çizelge 2.3 Kısmi kurutulmuş gıdaların dondurulması konusunda yapılan ısı transferi modelleme ile ilgili bazı çalışmalar.....	48
Çizelge 4.1 Kırkağaç kavunun bazı özelliklerin tespit edilmesi.....	75
Çizelge 4.2 Kavun örneklerinin karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutulmaları sırasında su aktivitesi (a_w) değişimi.....	92
Çizelge 4.3 Kavun örneklerinin karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutulmaları sırasında toplam şeker ve indirgen şeker değişimi	94
Çizelge 4.4 Kavun örneklerinin karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutulmaları sırasında D-glikoz ve D-fruktoz değişimi.....	95
Çizelge 4.5 Kavun örneklerinin ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutulmaları sırasında renk özelliklerindeki değişim.....	97
Çizelge 4.6 Kavun örneklerinin karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutulmaları sırasında renk özelliklerindeki değişimi.....	97
Çizelge 4.7 Farklı su içeriğine sahip kavun örneklerinin donma zamanı ve donma başlangıç sıcaklıkları.....	100
Çizelge 4.8 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine Farklı su içeriğine sahip kavun örneklerinin donma zamanı ve donma başlangıç sıcaklıkları.....	104

ÇİZELGELER DİZİNİ (devamı)

Çizelge

Sayfa

Çizelge 4.9 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutularak dondurulan kavun örneklerinin çözünme sonrası çözünme kayıpları.....	105
Çizelge 4.10 Ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutularak dondurulan kavun örneklerinin çözünme sonrası renk özelliklerindeki değişim.....	107
Çizelge 4.11 Karıştırılmalı ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutularak dondurulan kavun örneklerinin çözünme sonrası renk özelliklerindeki değişim.....	107
Çizelge 4.12 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma işlemi için Azuara yöntemine göre hesaplanan WLe , S_1 değerleri.....	110
Çizelge 4.13 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde kurutma işlemleri için Azuara yöntemine göre hesaplanan SG_e ve S_2 değerleri.....	113
Çizelge 4.14 Ultrasonik ve karıştırılmalı ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma işlemi için k ve b değerleri, r^2 , RSME ve χ^2 değerleri, % hata oranı	115
Çizelge 4.15 Karıştırılmalı ve ultrason sistemlerinde ozmotik kurutma işlemi kütle aktarım parametrelerinin deneysel ve nümerik model öngörülleri arasındaki % hata oranı ve RMSE değerleri.....	117
Çizelge 4.16 Kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulmasıyla elde edilen deneysel donma süreleri ve nümerik çözümden elde edilen teorik donma sürelerinin karşılaştırılması, RMSE değerleri.....	126
Çizelge 4.17 Ultrason ve karıştırılmalı sistemlerde ozmotik ve dondurma sırasında harcanan güç değerleri	130
Çizelge 4.18 Karıştırılmalı ozmotik sistem için enerji verimliliği sonuçları	130
Çizelge 4.19 Ultrason ozmotik sistem için enerji verimliliği sonuçları.....	131

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
ΔH	donma sırasında gıdadan uzaklaşan toplam güç (W)
a	renk boyutsuzu (kırımızı-yeşillik)
A	ısı transfer alanı (m^2)
b	renk boyutsuzu (sarılık-mavilik)
b	$t=0$ iken NSC değerinin 1'e eşit olduğu durum için elde edilen doğru denklemine ait kesim değeridir(Denklem 47)
Bi	Biot sayısı
C	katıdaki bileşen konsantrasyonu (kg/ 100 kg çözelti)
CE	Cleland ve Earle (1984) metodu (Denklem 9)
Co	ortam konsantrasyonu (kg/100 kg çözelti)
Cp	katının özgül ısısı (kJ/kg.K)
D	difüzyon katsayısı (m^2/s) (Denklem 1)
D	karakteristik uzunluk (m)
D_s	katı kazanımı için difüzyon katsayısı (m^2/s)
D_w	su kaybı için difüzyon katsayısı (m^2/s)
H	entalpi (J/kg)
HT	Hung ve Thompson metodu (Denklem 14)
h	ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
k	ısı iletkenlik katsayısı (w/mK)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ(devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
k	hız parametresi değeri($h^{-1/2}$)
K	sabit katsayı (birimsiz)
kc	kütle transfer katsayısı(m/s)
L	suyun gizli ısısı (J/kg)
L	renk boyutsuzu (parlaklık)
$M_{\text{ço}}$	başlangıç çözelti ağırlığı (kg)
$M_{\text{çt}}$	t anındaki çözelti ağırlığı (kg)
M_o	başlangıç meyve ağırlığı (kg)
M_t	t anındaki meyve ağırlığı (kg)
MW	kurutmada uzaklaştırılan su miktarı(kg)
MW_e	dengeye ulaştığında katıdan ayrılan su miktarı (kg)
MW_t	t süre sonunda katıdan ayrılan su miktarı (kg)
NSC	t süre sonundaki toplam kuru madde içeriğinin başlangıçtaki kuru madde içeriğine oranı
Q	ozmotik kurutma için gerekli enerji ve karıştırma için gerekli güç toplamı (W)
QD	donma için gerekli güç (W)
qn	$\tan qn = -\alpha \times n$ eşitliğinin 0'dan farklı pozitif kökleridir
P	Plank denklemindeki şekil faktörü
Pk	Plank sayısı, $Pk = C_p(T_i - T_f)/\Delta H$

SİMGELER VE KISALTMALAR (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
R	Plank denklemindeki şekil faktörü
S_1	zamanla su kaybını göstere parametre (K) arasındaki ilişkiyi su kaybı için veren sabit (h^{-1})
S_2	zamanla su kaybını gösteren parametre (K) arasındaki ilişkiyi kuru madde kazanımı için veren sabit (h^{-1})
SG	kuru madde kazanımı (kg KM/100 kg taze meyve)
SG_e	dengede $t=\infty$ 'da kazanılan katı oranı (kg KM/100 kg taze meyve)
Ste	Stefan sayısı ($C_{pf}(T_f-T_a)/\Delta H$)
t	süre (s)
T	sıcaklık ($^{\circ}C$)
T_a	ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_o	katı başlangıç sıcaklığı ($^{\circ}C$)
U	Denklem 20'da tanımlanıyor
$V_{\phi o}$	Başlangıç çözelti hacmi (m^3)
$V_{\phi t}$	t anındaki çözelti hacmi (m^3)
V_o	başlangıç kavun hacmi (m^3)
V_t	t anındaki kavun hacmi (m^3)
WL	su kaybı (kg su/100 kg taze meyve)
WL_e	dengede ($t=\infty$)'da kaybedilen su oranı (kg su/100 kg taze meyve)

SİMGELER VE KISALTMALAR (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
WR	ağırlık kaybı (kg/100 kg taze meyve)
x	katının kalınlığı (m)
XKM ₀	başlangıçtaki (t=0) toplam kuru madde içeriği (%)
XKM _t	t=t anındaki toplam kuru madde içeriği (%)
X _w	ürünün su içeriği (kg su/kg ürün)
X _{w0}	ürünün başlangıç nem içeriği (g su/100 g ürün)
X _{wt}	ürünün t anındaki nem içeriği (g su/100 g ürün)
y	katının boyu (m)
z	katının eni (m)
α	efektif ısı difüzivite, m ² /s
α	ozmotik çözelti hacmini gıda hacmine oranı (Denklem 2,3,4)
ρ	yoğunluk (kg/m ³)
ϕ	su fraksiyonu
ω	buz fraksiyonu
Δ	fark
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
-10	donma başlangıç sıcaklığı ile -10 °C arası
-18	donma başlangıç sıcaklığı ile -18 °C arası
a	ortam
c	merkez

SİMGELER VE KISALTMALAR (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
D	deneysel
d	katı
f	donmuş
f	donma başlangıç sıcaklığı
i	buz
i	başlangıç
K	karıştırma
l	donmamış
M	model
o	başlangıç
O	orta
PV	pulsed vakum
U	ultrason
Ü	üst
w	su

1. GİRİŞ

Dondurma işlemi en önemli gıda koruma yöntemlerinden biridir. Optimum koşullarda çalışıldığında gıdanın rengi, aroması ve dokusu korunur. Fakat bazı gıdalarda donma sırasında dokusal kayıp, renk kaybı ve çözünme sonrası kalite kayıpları meydana gelmektedir. Özellikle yüksek su içeriğine sahip meyve ve sebzelerde donma sırasında oluşan düzensiz buz kristalleri dokuya zarar verebilmektedir. Bu nedenle gıdanın su içeriği ön işlemlerle düşürülerek gıdanın donma sırasında daha az zarar görmesi sağlanmaktadır. Gıdaların su içerikleri kurutularak düşürüldükten sonra dondurulması işlemine kurutularak-dondurma (dehydrofreezing) ismi verilmektedir (Ilıcalı ve İçier, 2010). Bir başka deyişle gıdanın serbest su içeriğinin bir kısmı uzaklaştırdıktan sonra dondurulması işlemidir. Bu amaçla gıdaların başlangıç su içeriğinin düşürülmesi için mikrodalga, ozmotik kurutma, hava ile kurutma gibi farklı kurutma yöntemlerinden yararlanılmaktadır (Müftügil, 1988).

Ozmotik kurutma, meyve sebze örneklerine uygulanan kurutma ve dondurma gibi işlemler öncesinde yeni ürün formülasyonu ve enerji maliyetini düşürmek gibi amaçlara yönelik önerilen bir ön işlemdir. Ozmotik kurutma, gıdaların ozmotik çözeltiye daldırılmasıyla dokulardaki suyun kısmen uzaklaştırılması, ozmotik çözeltideki katıların da gıda içine difüze olması işlemidir. Gıdalardan çözelti içine suyun aktarımı, gıda ve ozmotik çözelti arasındaki ozmotik basınç farkı nedeniyle gerçekleşmektedir. Ozmotik kütle taşınımında rol oynayan hücre zarı yarı seçici geçirgen olduğundan gıdada bulunan bazı katılar da ozmotik çözelti içine geçmektedir (Rastogi et al., 2000).

Ozmotik kurutma yöntemiyle uzun raf ömrü için gerekli olan düşük nem içerikli ürünler elde edilemediği için genellikle hava ile kurutma, dondurma gibi işlemlerden önce ön işlem olarak kullanılır (Rahman et al., 1996). Ozmotik kurutma işleminde gerçekleştirilen kütle aktarımının hızının yavaş olması

nedeniyle ozmotik kurutma öncesi veya sırasında kütle aktarımını hızlandırıcı başka yöntemlerle de kombine edilebilmektedir.

Kısmi kurutulmuş gıdaların dondurulması ile bilinen dondurma teknolojisinin üretim akışı içine bir kurutma işlemi girmesiyle ek bir ekonomik yük getiriyor olmasına rağmen, üründe su miktarının azalmasıyla diğer işlem kademelerinde önemli ekonomik avantajlar sağlayabilmektedir (Müftügil, 1988; Agnelli et al., 2005; Tocci and Mascheroni, 2008). Bu avantajlardan bazıları şu şekilde özetlenebilir;

- ✓ Serbest su içeriğinin bir kısmı uzaklaştırılmış meyve sebzelerin dondurulması sırasında ürün içinde kristalleşecek su miktarı azaldığından dondurma işlemi daha kısa sürmektedir.
- ✓ Özellikle düzensiz kristallenmenin meydana getireceği dokusal zararlanmalar önlenmektedir. Daha düşük sıcaklıklarda donma başladığı için kristal yapının oluşumu ve hücre yapısında zararlanmalar gecikmektedir.
- ✓ Dondurulacak ürünlerin ağırlık ve hacimleri azaldığından dondurucu cihazın kapasitesi artmaktadır.
- ✓ Ağırlık ve hacmi azaltılmış ürünlerin depolanması ve taşınması sırasında kaplamış oldukları hacim ve birim ağırlıkları azalmaktadır.
- ✓ Dondurma işlemi için gerekli enerji azalmaktadır.
- ✓ Kurutma sırasında meydana gelebilecek kalite kayıpları azalır.
- ✓ Çözünme sonrası kalite kayıpları daha azdır.

Son yıllarda kurutulduktan sonra dondurma işlemi konusunda yapılan çalışmaların arttığı dikkati çekmektedir (Agnelli et al. 2005; Wu et al. 2009; Blanda et al. 2009; Ilıcalı et al. 2010; Ramallo and Mascheroni, 2010). Ancak deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırıldığı detaylı çalışma sayısı oldukça azdır.

Bu çalışmada kavun dilimlerine donma öncesi uygulanacak ozmotik kurutma işleminin daha verimli gerçekleşmesi için karıştırma ve ultrason uygulamasının etkisi incelenmiştir. Kavun dilimlerinin karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde 3 farklı su içeriğine (%75, % 80 ve %85) yarı kurutulması sırasında kütle aktarımı özellikleri deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir. Su kaybı ve katı kazanımı için efektif difüzivite katsayıları hesaplanmıştır. Farklı su içeriklerine yarı kurutulmuş kavun dilimlerinin bazı kalite özelliklerindeki (katı madde dağılımı, su aktivitesi, büzüşme, renk özellikleri, toplam şeker ve indirgen şeker içerikleri, D-Glikoz / D-fruktoz içerikleri) değişimler belirlenmiştir. Yarı kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulması sırasında su içeriğinin donma zamanı ve başlangıç donma sıcaklığı üzerine etkisi deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir. Farklı su içeriklerine yarı kurutulmuş örneklerin donma-çözünme sonrası bazı kalite özelliklerindeki (znme kaybı, su aktivitesi, renk özellikleri) değişimler de saptanmıştır. Farklı su içeriklerine yarı kurutmanın ozmotik kurutma ve donma işlemlerinin enerji verimliliği üzerine etkileri tespit edilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Ozmotik Kurutma

Kurutma, ürünlerdeki suyun belirli bir miktara kadar uzaklaştırılması işlemidir (Geankoplis, 2003). Kurutma yöntemi genellikle iki gruba ayrılmaktadır. İlk grup kurutma yöntemlerinde gıda maddesinden suyun uzaklaştırılması için kullanılan ısı transfer mekanizmasına göre sınıflandırılır:

- 1) Kurutulacak gıda maddesine ısıнын taşıınım yoluyla iletildiği taşıınım la kurutma,
- 2) Kurutulacak gıda maddesine ısıнын iletim yoluyla iletildiği iletim le kurutma,
- 3) Işınım la ısıнын iletildiği radyasyon kurutma dır.

Isıtma işleminin güneş enerjisi şekline göre kurutma işleminin sınıflandırılması ikinci grubu oluşturmaktadır. Sınıflandırma şu şekildedir:

- 1) Meyve ve sebzelerin direk güneş altına serilerek kurutulduğu doğal sistemler,
- 2) Sistemde ek enerji olmadan kurutan pasif sistemler,
- 3) Sisteme ek enerji verilerek kurutma yapılan aktif sistemlerdir (İsaeva, 2007).

Kurutma yöntemleri kurutulacak gıda maddelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre değişmektedir. Bazı kurutma yöntemleri aşağıda açıklanmıştır:

- 1) Dondurarak kurutma: gıda maddeleri dondurulduktan sonra kurutulur. İletim ya da ışıınım la dondurulan gıda maddesine ısı verilmektedir. -10

°C ile +40 °C arasındaki sıcaklık aralıklarında kurutma işlemi yapılmaktadır.

- 2) Mikrodalga kurutma; elektriksel güç kaynağı kullanılan kurutma yöntemidir. Genellikle kalınlığı düşük gıdalar kurutulur.
- 3) Vakum kurutma; gıdalardan suyun düşük basınçta ve düşük sıcaklıkta buharlaştırılması ile kurutma gerçekleştirilir. Genellikle ısıya duyarlı içeriğe sahip gıda örneklerinde kaliteyi ve besin içeriğini korumak için kullanılır.
- 4) Ozmotik Kurutma; meyve sebze gibi hücresel materyallerin yüksek ozmotik basınca ve düşük su aktivitesine sahip ozmotik çözeltilere maruz bırakılmasıyla ürün ve çözelti arasındaki konsantrasyon farkı nedeniyle oluşan sürüklenme kuvveti ile su uzaklaştırma işlemidir (Kaymak ve Kıncal, 1989).

Gıdaların kurutulmasının ana nedenlerinden biride soğuk taşıma ve depolama gerekmeksizin taze gıdalara yakın kalite özelliklerinde ve daha fazla raf ömrüne sahip gıdalar elde etmektir (Breennan, 2006).

Ozmotik kurutmada ürün içindeki su, üründen faz değişikliğine uğramadan ayrıldığı için geleneksel yöntemlere oranla daha avantajlıdır. Çünkü diğer kurutma yöntemlerinin pek çoğunda olduğu gibi ürünlerdeki nemin buharlaştırılması için sıcak havada kurutma işlemine gerek duyulmamaktadır. Dolayısıyla elde edilen ürünün dokusu, rengi, besin değerleri daha fazla korunabilmektedir (Us, 2006). Ozmotik kurutma işleminin diğer kurutma yöntemlerine göre avantajları şu şekilde sıralanabilir;

1. Kurutma işleminin düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi nedeniyle aroma ve lezzet maddeleri kaybı minimum düzeyde gerçekleşmektedir. Ozmotik kurutmanın ortam sıcaklığında bile gerçekleşmesi, ısı nedeniyle gıdanın yapısında ve lezzetinde meydana gelebilecek kayıplarını minimize etmektedir. Bu özelliği nedeniyle ozmotik kurutma ısıya duyarlı gıdalarda da kullanılabilmektedir.

2. Enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının önlenmesine bağlı olarak renkteki kayıp minimum düzeyde olmaktadır.
3. Kurutma işlemi düşük sıcaklıkta gerçekleştiği için hücre zarlarının yarı geçirgen özelliği zarar görmemektedir.
4. Sıcak havayla kurutma, dondurarak kurutma gibi kurutma proseslerine göre daha az enerji gerekmektedir.
5. Ozmotik kurutma sonunda konsantrasyonu düşen ozmotik çözeltinin tekrar konsantre edilerek veya katı (çözünen madde) eklenerek çözeltinin tekrar kullanılması işlemin daha ekonomik olmasını sağlamaktadır. Filtrasyon ile çözünebilir katı uzaklaştırılabilir ve vakum kurutma ile çözelti konsantrasyonu orjinal çözünebilir katı içeriğine dönüştürülebilir (Khin et al. 2005; Brennan, 2006; Erünal, 2010).

Ozmotik kurutmanın avantajlarını yanında, ozmotik kurutma ürünlerine büyük miktarda katı geçişi istenmemesi nedeniyle ozmotik kurutma uygulamaları sınırlanmaktadır (Khin et al., 2005). Ozmotik kurutmanın diğer dezavantajları; uzun işlem süreleri, meyvelerdeki doğal asit ve şeker konsantrasyonunun özütlenmesi nedeniyle tadın ve ürün kabul edilebilirliğinin değişmesidir. Aynı sıcaklıkta konveksiyonel yöntemle kurutma ile ozmotik kurutma yöntemiyle kurutmaya göre su içeriği azalması daha fazla olmaktadır (Robbers et al., 1997). Pektin bozulması ve hücre dokularının kırılması nedeniyle ozmotik kurutmanın uzun işlem süresinde uygulanması meyve tekstüründe bozulmalara neden olmaktadır (Fernandes et al, 2009).

Fernandes et al. (2007), kavun dilimlerine hava ile kurutmadan önce ön işlem olarak ozmotik kurutma ve ultrason yöntem uygulamıştır. Katı kazanım ve su kaybı parametrelerin sonuçlarını incelenmiş ve iki yöntem arasında önemli fark olduğunu ifade etmişlerdir. Ön işlem olarak ozmotik kurutma kullanıldığında ozmotik kurutma süresince meyvede su kaybı ve katı kazanımı olduğu fakat ultrason ön işlem uygulanan meyvelerde su kazanımı ve şeker kaybı olduğunu ifade etmiştir. İki ön işlem prosesinde de hava ile kurutma aşamasında su

diffüzivite değeri arttığı sonucuna varmışlardır. Ultrason dalgalar meyveler içinde mikroskopik kanallara neden olmaktadır, meyvelerin bu mikroskopik kanallardan kolayca meyve yüzeyine difüze olması nedeniyle efektif su efektif difüzivite değeri arttığını ifade etmişlerdir. Bunun yanı sıra ozmotik kurutma hücre duvarlarını kısmi parçalayarak hücrelerden suyun difüzyonuna direnci azaltarak, efektif su difüzivite değerini azalttığı sonucuna varmışlardır. Ozmotik kurutma hücre yapılarında önemli değişime neden olmaktadır. 30 dakika ozmotik kurutma uygulanmasından sonra, hücre duvarının şeklinin değişmesiyle birlikte hücre kademeli olarak bozulmaktadır. 1 saat sonunda dokularda önemli kırılmalar meydana gelmektedir. Hücre yapısının değişmesi ve su efektif difüzivitesi arasında ilişki olduğu ifade edilmektedir. Ozmotik kurutma 30 dakikadan daha az süre uygulandığı zaman katı kazanımından dolayı su efektif difüzivite değeri düştüğü fakat 1 saatten fazla uygulandığı zaman hücrelerin bozulması nedeniyle su difüzyonuna direnç düşeceği için su diffüzivite değeri arttığı belirtilmektedir.

Ozmotik çözeltilerin diğer kurutma yöntemlerle kombine edilmesiyle, tek başına ozmotik kurutmaya göre daha az şeker kazanımı ve daha hızlı kurutma sağlanabilmektedir (Robbers et al, 1997) .

Ozmotik kurutma, meyve ve sebzelerin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin olumsuz yönde değişmesini diğer kurutma yöntemlerine göre minimum düzeyde tutmaktadır (Rastogi et al, 2005).

Ozmotik kurutma özellikle meyve ve sebze gibi materyallerin, ozmo-aktif maddelerin konsantre çözeltileri içine konması ve üründen su uzaklaştırılması işlemi olarak tanımlanmaktadır (Us, 2006). Bu işlemde, suyun hücre zarından osmoz yoluyla doğal ve tahribatsız şekilde uzaklaştırılması sağlanır. Dokulardan çözeltiye suyun difüzyonunu sağlayan itici güç ise ürüne oranla daha yüksek ozmotik basınca sahip hipertonic çözeltidir (sakkaroz ve glikoz ve/veya tuz çözeltileri). Suyun difüzyonu ozmotik çözeltide çözünen maddelerin ürüne difüzyonu ile aynı anda gerçekleşmektedir. Taze meyve ve sebzelerin selülozik ve

pektik maddelerden meydana gelen hücre duvarının iç yüzeyini çevreleyen stoplazmik zar seçici geçirgenlik özellik göstermektedir. Ancak hücre zarı ozmotik taşımada mükemmel bir seçiciliğe sahip olmadığından, hücrede çözünmüş halde bulunan maddeler (organik asitler, indirgen şekerler, mineraller, aroma ve renk bileşenleri vb.) ozmotik çözeltiye geçerek ürünün besleyici ve duyuşsal özelliklerini etkileyebilmektedir.

Materyalden suyun difüzyon oranı; ozmotik çözeltinin sıcaklığı ve konsantrasyonu, materyalin boyutu ve geometrisi, materyal/çözelti oranı ve çözeltinin çalkalanma hareketine bağlıdır. Literatürde yer alan birçok yayında ozmotik kurutma boyunca kütle transferi oranında bu değişkenlerin etkisi tanımlanmıştır. Ozmotik kurutma boyunca yarı geçirgen zardan kütle transferine direnç gösteren biyolojik maddelerin geçmesiyle zar yapısında bozulmalar meydana gelmektedir. Aynı zamanda hücre zarı ve hücre duvarı arasında temas azalırken, hücre boyutlarında azalma görölmektedir (Rastogi et al.;2005; İspir, 2006; Lenz et al, 2006; Çınar, 2009).

Ozmotik kurutma işleminde meydana gelen su kaybı ve şeker alınımı hücre çökmesi, hücre duvarlarındaki deformasyon hücre bağlarında kopma gibi bitki dokusunun mikro yapılarından etkilenmektedir. Meyve ve sebzelerin tekstürel davranışları ölçüldüğünde hücre duvarı bütünlüğü ve doku basıncı kombinasyonu sıklığı vermektedir. Kurutma boyunca, meyve sıklığının baskın faktörü olan hücre duvarı yapısı su kaybı veya ozmotik çözgen ile orta katman petkin etkileşmesi nedeniyle kısmi değişmektedir. Ozmotik basınç nedeniyle hücre duvarlarının kısmi geçirgenliği tam geçirgenliğe doğru değişmek ve doku yapılarında önemli değişikliğe neden olmaktadır. Hücre duvar yapısının yanında, turgor basıncı doku sertliği ve makroskopik meyve sıklığı üzerine büyük etkiye sahiptir (Deng and Zhao, 2008).

2.1. 1. Ozmotik kurutma sırasında kütle transferi

Ozmotik kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle transferi meydana gelmektedir. İşlem sırasında sıcaklığın sabit olması ve kararlı hal ısı transferi olduğu için yapılan çalışmalarda ısı transfer mekanizması göz ardı edilmektedir.

Ozmotik kurutmada aynı anda oluşan üç farklı kütle aktarımı mevcuttur (Şekil 2.1). Bunlardan ilki, üründen çözeltiye doğru olan su akışıdır. Ozmotik kurutma yoluyla gıda maddeleri 30-50°C arasındaki sıcaklıklarda ilk üç saat içinde su içeriklerinin %70 kadarını kaybederler. İkinci kütle aktarımı çözülden ürüne çözünen aktarımıdır. Böylece ozmotik çözelti içindeki ajanın (sakaroz, glikoz, fruktoz, vb.), çözeltiye ilave edilecek herhangi bir besin ögesinin veya duyusal kalite geliştiricinin ürüne aktarımı mümkün olmaktadır. Üçüncü kütle aktarımı ise ürüne ait çözünenlerin (şekerler, organik asitler, mineraller, vitaminler, vb.) çözeltiye özütlenmesidir. Bu üçüncü aktarım mekanizması ilk iki mekanizmaya (su kaybı ve çözülden gıdaya çözünen aktarımı) yanında nicelik bakımından ihmal edilebilirse de son ürünün bileşimi açısından önemli kabul edilmektedir. Ozmotik kurutmada meydana gelen bu kütle transferi nedeniyle üründe kütle kaybı ve büzülme meydana gelmektedir (Kaymak ve Kıncal, 1989; Agnelli et al., 2005; Us, 2006; İspir, 2006; Blanda et al.; 2009).



Şekil 2.1 Ozmotik kurutmada kütle transfer mekanizmasının şematik gösterimi (Eren, 2004)

Ozmotik kurutma işleminde kullanılan ozmotik çözelti yüksek ozmotik basınca ve düşük su aktivitesine sahip olduğundan çözelti ile gıda maddesi arasında meydana gelen konsantrasyon farkı nedeniyle su uzaklaşma işlemi için sürüklenme kuvveti oluşmaktadır. Eğer hücre zarı mükemmel yarı geçirgenlik özelliği gösterirse çözünen maddeler hücre içine transfer olamaz, sadece su ve düşük molekül ağırlıklı maddelerin geçişine izin verir. Ancak gıda maddelerin hücre membranlarının kompleks yapıya sahip olmaları ve gıda ürünlerin çeşitli ön işlemler sırasında zarar görmelerinden dolayı tuz, şeker vb. çözünür maddeler çözeltiden gıdaya taşınmaktadır. Dolayısıyla ozmotik kurutmada kütle transferi eş zamanlı su ve çözünen madde transferidir (Kaymak ve Kıncal, 1989; Rahman et al., 1996; Sultanoğlu, 2000; Eren, 2004; İspir, 2006).

Ozmotik kurutma işlemini etkileyen başlıca etmenler bitki dokusunun özellikleri, çözeltinin çeşidi ve konsantrasyonu, sıcaklık, süre ve çalkalamadır. Bitki dokusunun özellikleri ozmotik kurutmada kütle transferini etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Doku yoğunluğu, doku sıklığı, suda çözünen ve çözünmeyen kuru madde içeriği, hücreler arası boşluklar ve gazın varlığı, olgunlaşma derecesi, başlangıç nem içeriği, ürünün başlangıç çözünür madde içeriği etki eden faktörlerden bazılarıdır. İşlemin başlangıcındaki su kaybı, denge nem miktarı ve dengeye ulaşmak için geçen süre çözünen maddenin özelliklerinden etkilenmektedir. Ozmotik kurutma sırasında sıcaklıkta meydana gelen artış kuruma hızını artırarak kuruma süresini kısaltmaktadır (Us, 2006).

Farklı taşınım mekanizmaları ozmotik kurutma sırasında meydana gelmektedir. Toplam taşınıma bu mekanizmaların katkısı, madde içindeki konuma bağlı olarak değişmektedir. Gıda maddesinin yapısına, su tutma şekline, su içeriğine, kapiler gözeneklerdeki basınca ve sıcaklığa bağlı olarak çeşitli taşınım mekanizmalarıyla gıda maddesinden çözeltiye su transferi tanımlanmaktadır. Kapiler hareket gözenekli gıdalarda meydana gelirken sıvı difüzyonu gözenekli olmayan gıdalarda meydana gelmektedir. Sıvı çözeltilerde ve jellerde ise su transferi sadece moleküller difüzyonla olmaktadır. Su eş zamanlı olarak

moleküller difüzyon, sıvı difüzyonu, buhar difüzyonu, hidrodinamik akış, kapiler taşınım ve yüzey difüzyonu mekanizmasıyla gerçekleşebilir.

Gıda maddelerinden çözeltiye su ve çözünen madde transferi ve çözeltiden gıda maddelerine ozmotik çözelti transferi genellikle şu şekilde gerçekleşmektedir:

- 1) Konsantrasyon sürüklenme kuvveti nedeniyle ozmotik kurutmada difüzyon mekanizmasıyla su ve çözünen madde transferi,
- 2) Dış basınç, büzülme ve kapileritenin fonksiyonu olarak meydana gelen toplam sistemdeki basınç farklılıkları nedeniyle oluşan kapiler akış yoluyla su ve çözünen madde transferi,
- 3) Gözeneklerde meydana gelen hidrodinamik akış,
- 4) Kapiler-kondenzasyon mekanizması nedeniyle kısmen dolu gözeneklerde su buharı difüzyonu,
- 5) Yüzeyde olan gradyan farkı nedeniyle gözenek yüzeylerinde su difüzyonu (İspir, 2006).

2.1. 2. Ozmotik kurutmada kütle transfer hızını etkileyen faktörler

Ozmotik kurutma işleminde kütle transferini etkileyen değişkenler;

1. Ozmotik maddenin tipi,
2. Ozmotik çözelti konsantrasyonu ve bileşimi,
3. Osmotik işlem süresi ve sıcaklığı,
4. Çözelti/katı oranı
5. Katının geometrisi ve boyutları
6. Uygulanan ön işlemler
7. Çözeltinin karıştırılması

olarak özetlenebilir (Rahman and Lamb, 1990; Sultanoğlu, 2000; Corzo and Gomez, 2003; İspir, 2006;). Bu değişkenlerin etkisi aşağıda alt başlıklar halinde daha detaylı verilmiştir.

2.1.2.1. Ozmotik maddenin tipi ve konsantrasyonu

Ozmotik çözelti seçimi ve konsantrasyonu ozmotik kurutmada önemli faktörlerden biridir. Çünkü su gıdadan çözeltiye difüze olurken ozmotik çözeltideki çözünen maddeler de gıdaya nüfuz etmektedir. Bu nedenle ozmotik çözelti seçilirken bazı noktalara dikkat edilmelidir: Ozmotik çözeltinin gıdanın duyuşal özelliklerine etkisi, çözünebilirliği, fiyatı, düşük su aktivitesine sahip olması, dayanıklılığı, toksik özellik içermemesi, yenilebilir nitelikte olması, hücre membranından geçişinin az olması gibi özelliklerdir (Erüal, 2010; İspir,2006).

Ozmotik kurutmada kullanılan çözeltinin çeşidi ozmotik kurutmanın etki hızına ve gıdaya katı alımına önemli etkisi vardır (Marani et al., 2007). En yaygın kullanılan ozmotik maddeler meyveler için sakaroz, sebze, et, balık ve peynir gibi ürünler için sodyum klorürdür. Laktoz, maltodekstrinler, glikoz, gliserin ve mısır şurubu gibi diğer ozmotik maddeler de kullanılmaktadır. Ozmotik kurutma etkinliğini artırmak hem de maliyeti düşürmek için çeşitli ozmotik maddeler birarada kullanılmaktadır (Kaymak ve Kıncal, 1989; İspir, 2006).

Ozmotik çözeltinin %0.5-2 oranında tuz içermesi ozmotik kurutma hızını artırmaktadır. Malik asit ve laktik asid gibi diğer düşük komponentlerde benzer etkiyi göstermektedir. Genellikle şeker çözeltilerin başlangıç konsantrasyonu %40-70 arasında olmaktadır. Yüksek çözelti konsantrasyonları daha hızlı ve daha yüksek kuruma derecelerine neden olmaktadır. Fakat daha yüksek çözelti konsantrasyonunda gıday daha çok şeker girmektedir, bunun sonucu olarak gıda da kabul edilmeyen tatlılık olabilmektedir. Sebzelerde genellikle %5-20 tuz

Rahman et al. (1996)'da ananas ozmotik kurutması üzerine yapılan çalışmada ağırlık kaybı, katı kazanımı ve su kaybının işlem süresi artmasıyla arttığı ifade edilmektedir. Sabit sıcaklıkta çözelti konsantrasyonu artıkça su ve katı kütle aktarım hızları arttığı ifade edilmiştir. Sabit çözelti konsantrasyonunda sıcaklığın artmasıyla suyun difüzyon hızının arttığı, fakat katı difüzyon hızının azaldığı sonucuna varılmıştır. Sıcaklığın düşük çözelti konsantrasyonuna göre yüksek çözelti konsantrasyonunda daha etkili olduğu ifade edilmiştir. Bunun nedeni dış kütle transfer hızını etkileyen şurup viskozitesinin yüksek sıcaklarda düşmesi olarak gösterilmektedir.

2.1.2.2. Ozmotik işlem süresi ve sıcaklığın etkisi

Kütle transferi en hızlı kurutma işleminin ilk saatlerinde gerçekleşmektedir. Daha sonra ürün ve çözelti arasında su bakımından dengeye ulaşıldığı belirtilmektedir. Ozmotik kurutmada denge durumuna uzun işlem sürelerinde ulaşılmaktadır ve bu süre zarfında yüksek oranda kurumadde kazanımı nedeniyle çözelti ve ürün arasındaki sürüklenme kuvveti azalmaktadır ve buna bağlı olarak da su uzaklaştırma hızı yavaşlamaktadır. Optimum kurutma süresi gıdanın yapısına, boyutlarına ve işlem koşullarına göre değişmektedir (Erüenal, 2010).

Sıcaklık ozmotik kurutma hızını etkileyen diğer bir değişkendir. Araştırmalara göre sıcaklığın artması ozmotik kurutma hızını artırmaktadır. Sıcaklık arttıkça hücre membranlarında meydana gelen şişme ve plastikleşme geçirgenliği arttırarak hem katı kazanımını hem de su kaybını arttırmaktadır (Eren, 2004; Özbek,2009; Erüenal, 2010).

Genellikle yüksek işlem sıcaklıklarında gıdalardan daha hızlı su ayrılmaktadır. Ozmotik kurutma işlemi sırasında 20-70 °C arasındaki sıcaklıklar kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklar hücre duvarları için tehlikelidir, zarar görebilmektedir. Bunun sonucu olarak, gıdadan vitamin gibi çözülebilir maddeler

uzaklaşmaktadır. Yüksek işlem sıcaklıklarında gıdalarda renk kaybı meydana gelebilmektedir (Brennan, 2007).

2.1.2.3. Çözelti/örnek oranı

Örnek/çözelti oranı azaldıkça su kaybı artmakta, kuru madde kazanımı ise önemli oranda etkilenmemektedir (Erünel, 2010). Düşük çözelti/katı oranlarında sistem hızlı bir şekilde dengeye ulaştığı için istenilen düzeyde kurutma sağlanmamaktadır. Yüksek çözelti/katı oranlarında ise çözelti maliyeti artmakta ve çözeltinin karıştırılması zorlaşmaktadır (Sultanoğlu, 2000).

Düşük örnek/çözelti oranında daha fazla su kaybı ve katı kazanımı olmaktadır. Genellikle ozmotik kurutmada 1:4 ile 1:5 oranları uygundur. Küçük gıda dilimlerinde büyük yüzey alanı nedeniyle işlem daha hızlı gerçekleşmektedir. Buna rağmen, örneklerin kesilerek hazırlanması sırasında daha fazla hücre zarar görür, bu nedenle gıdadan daha büyük miktarda çözünebilir katı kaybı olmaktadır (Brennan, 2007)

2.1.2.4. Çözeltinin karıştırılması

Ozmotik kurutma karıştırma uygulanması ile daha etkin bir hale gelmektedir, karıştırma ile örnekten düfize olan suyun çözeltide homojen dağılması sağlanır. Düşük konsantrasyonlu çözeltinin etkisi çok az olmasına karşın yüksek konsantrasyonlu çözeltiye artan çözelti viskozitesi nedeniyle kütle transferinde ek bir direnç meydana gelmektedir. Karıştırma ile bu direnç azaltılmakta sürüklenme kuvveti artmaktadır. Karıştırma ile birlikte sıcaklık artışı olması durumunda ozmotik kurutma işlemi daha etkin olmaktadır. Karıştırma işlemi su kaybı ile birlikte katı kazanımını da artırmaktadır. Karıştırma hızı artmasıyla su kaybı artmaktadır fakat katı kazanımı karıştırma hızından etkilenmemektedir. Büyük miktarda hammadde ve çözelti ile çalışırken yüksek viskoziteli çözeltiyle çalışılırken karıştırma problem yaratmaktadır. Karıştırma

ekipmanın pahalı olması diğer dezavantajdır (Kaymak ve Kıncal, 1989, Sultanoğlu, 2000, İspir, 2006; Erüenal, 2010).

2.1.3. Ultrason uygulamasının ozmotik kurutma üzerine etkisi

Geleneksel ısı işlem uygulamaları sırasında gıdanın maruz kaldığı yüksek sıcaklık üründe meydana getirdiği yapısal değişikliklerin yanı sıra besin değeri gibi bazı kalite özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Son zamanlarda geleneksel gıdalara alternatif olabilecek ısı olmayan tekniklere araştırma artmaktadır. Bu tekniklerden biri de ultrason uygulamasıdır.

Ultrason mekaniksel nitelikte olan insanların işitebildiği 20 kHz'nin üzerindeki frekanslara sahip bir enerji biçimidir ve ısısal olmayan, emniyetli, etkili, ekstrakt üretimi ve hücre parçalanması için kullanılabilen bir gıda işleme metodudur (Piyasena et al., 2003; Dolatowski et al., 2007). Gıda materyalinden veya ortamdan geçerken ultrason dalgaların hızı, frekansı, spektrumu gibi özellikleri değişmektedir (Carcel et al., 2012).

Ultrason biyolojik yapılardan geçtiğinde normal partiküllerde sıkıştırma ve çökmeye neden olmakta ve yüksek miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Kullanılan frekans ve ses dalgasının genliğine bağlı olarak fiziksel, kimyasal, biokimyasal etkilere neden olmaktadır (Dolatowski et al., 2007).

Ultrason uygulamalarını sınıflandırmak için oluşan ses alanlarındaki enerji miktarları en önemli kriterdir. Ultrason uygulamaları ses gücü (W), ses yoğunluğu (w/m^2) veya ses enerji yoğunluğu (Ws/m^3) ile karakterize edilmektedir. Ultrason sınıflandırması için, yüksek ve düşük enerji veya eş anlamlı düşük frekans düşük titreşim genliği, yüksek frekans düşük titreşim genliği veya düşük frekans yüksek titreşim genliği ifadeleri kullanılmaktadır. Düşük enerji ultrason uygulamalarında ses yoğunluğu $1 W/cm^2$ 'den daha az ve frekans 100 kHz'den daha fazladır. Düşük

enerji ultrason uygulamaları başarılı olarak proses kontrol işlemlerinde ve gıda materyallerin fizikokimyasal karakteristikleri için kullanılmaktadır. Düşük enerjili ultrason uygulamaları hücre yaşamı aktivite simülasyonu, gıda yüzey temizliği, enzim üzerine etkilerde ultrasonla birleştirilmiş ekstrasyon, kristalizasyon, emülsiyon, filtrasyon, kurutma ve dondurma proseslerinde kullanılmaktadır. Yüksek enerji ultrason uygulamaları ses yoğunluğu 1 W/cm^2 den daha büyük ve frekansı 18 ve 100 kHz arasındadır. Yüksek enerji ultrason uygulamaları sıvı gıdalardan gaz uzaklaştırılması, oksidasyon/redüksiyon reaksiyonlarının kristalizasyonu için çekirdek oluşumunu başlatmak için kullanılmaktadır (Knorr et al., 2004).

Düşük yoğunlukta kullanılan ultrason dalgaları geçtikleri materyalin özelliklerinde fiziksel veya kimyasal değişimlere neden olmamaktadır. Bu ultrason dalgaları yıkıcı değildir. Genellikle kompozisyon, yapı ve fiziksel durum gibi fiziko kimyasal yapılar hakkında bilgi sağlanması için analitik tekniklerde kullanılmaktadır. Geleneksel analitik teknolojilerden farkı; hızlı, yıkıcı olmayan, tam otomatik ve laboratuvarında uygulanabilmesidir. En çok kompozisyon ölçümlerinde yararlanılmaktadır. Yüksek yoğunlukta ultrason dalgalarının fiziksel, kimyasal veya mekanik etkileri materyalin özelliklerini değiştirebilecek özelliktedir. Örneğin; fiziksel parçalanma, kimyasal reaksiyonların hızlanması. Yüksek yoğunluklu ultrason uygulamaları uzun yıllardan beri emülsiyon oluşumu, hücrelerin parçalanması ve materyallerde çökelmenin giderilmesinde kullanılmaktadır (Dolatowski, 2007)

Ultrason dalgaları, çok hızlı alternatif basınç ve genleşmeye neden olarak “sünger etkisi” denen etkiyi yaratır. Sünger etkisi; süngerin defalarca sıkılıp bırakılması gibi ultrason dalgalarının da basınç ve genleşme ile benzer etkiyi yaratmasıdır. Bu mekanizma ile elde edilen güç, yüzey geriliminden daha büyük olabilir. Böylece gıdanın içinde bulunan mikroskobik kanallardaki nem kolaylıkla uzaklaştırılabilir (Fernandes et al., 2008).

Meyve sebze işleme alanında enzim ve mikroorganizma inaktivasyonu, renk maddelerinin ekstraksiyonu, karıştırma, homojenizasyon, partikül küçültme, köpük kırma, temizleme yüzey dekontaminasyonu, şeker kristalizasyonu ve kabuk soyma amacıyla kullanılabilir (Betts et al., 1999). Ultrason tekniğinin geleneksel tekniklerle kombinasyonlarının uygulama etkinliğini arttırdığı bilinmektedir (Mizrach, 2007). Ozmotik kurutma ile kombine metot olarak uygulandığında ise kurutma süresini kısaltıp zamandan tasarruf sağlayabileceği gibi işlem etkinliğini arttırdığı da literatürden edinilen bilgiler ışığında söylenebilir (Stojanovic and Silva, 2007; Simal et al., 1998; Fernandes et al., 2008).

Yüzey temizlenmesinde ultrason kullanımının faydaları; kimyasal kullanımı azalmaktadır, tehlikeli kimyasal kullanımı veya maddelerde işçilerin direk teması azalmaktadır, temizleme hızı artmaktadır, temizlik tutarlılığı artmaktadır, enerji tüketimi kontrol edilmektedir, otomasyon sağlanmaktadır. Emülsiyon işlemlerinde ultrasonun faydası geleneksel yöntemlerle elde edilen ürüne göre daha stabil ve daha az sürfaktan kullanımıdır. Ultrason bitkilerden organik maddelerin ekstraksiyonunda önemli ölçüde kullanılmaktadır. Mekanik etkilerle gıda hücrelerin içine daha fazla çözgen penetrasyonu sağlamak ve kütle transferini geliştirmektedir. Ultrason güçleri kristallizasyon işleminde kristal yapıların oluşumu ve gelişiminde etkilidir. Ultrason filtrasyon uygulamalarında da uygulanmaktadır. Diğer önemli uygulaması da akustik kurutma uygulamalarıdır. Daha düşük sıcaklıklarda kuruma işleminin gerçeklermesini sağlar, üründe oksidasyonu veya indirgenmeyi azaltmaktadır. Gıdaların dondurulmasında da ultrason kullanılabilir. Geleneksel yöntemle ek olarak buz çekirdek oluşum hızını arttırmaktadır, donan gıdalarda kristal boyutun kontrol edilmesinde önemli rol oynar. Taze gıdaların dondurulmasında uygulanırsa, donma hızını arttırmamakta ancak donmuş gıdanın kalitesini geliştirmektedir (Dolatowski et al., 2007).

Ultrasonun bir ön işlem olarak kullanıldığı kavunlarla yapılmış bir çalışmada ultrasonun kavunun mikroskobik kanallarının yapısı üzerine etkileri incelenmiştir

(Fernandes et al., 2008). Çalışmada 30°C sıcaklıkta su:meyve oranı 4:1 olacak şekilde 30 dak ultrason uygulaması yapılmıştır. Ultrason frekansı 25 kHz ve güç 4870 W/m²'dir. Bu çalışmanın sonucunda 30 dak. süreyle ultrasona maruz bırakılan kavunların mikroskopik kanallarının genişlediği ve yeni mikroskopik kanalların meydana geldiği gözlenmiştir. Bu durumun suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştırıcı etki yaptığı belirtilmiştir (Fernandes et al., 2008). Ultrasonun bir ön işlem olarak kullanıldığı muzlarda yapılan başka bir çalışmada, ortam sıcaklığı 30°C, su:meyve oranı 4:1, frekans 25 kHz, ultrason gücü 4870 W/ m² ve ultrason uygulama süreleri 10, 20, 30 dak. olacak şekilde çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda, ultrasonun ön işlem olarak kullanılması ile belirgin bir oranda su kaybının yaşandığı, artan zaman ile su kaybının arttığı gözlenmiştir. 20 dak. sonunda su kazancı 11.1% iken 30 dak. sonunda bu oran 7.2%' ye düşmüştür (Fernandes and Rodrigues, 2007). Kurutma öncesi gerçekleştirilen ultrason uygulamasının ananas hücre doku yapısı üzerine etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada ise 25 kHz frekansta 10, 20 ve 30 dak. boyunca ultrason uygulaması yapılmıştır. Sonuçta 30 dak. ultrason işlemi ile hücre yapısının bozulduğu saptanmıştır. Meyvenin su kaybı oranında küçük bir değişim (3.1%) olduğu, bunun sebebinin ise sünger etkisi olabileceği rapor edilmiştir (Fernandes et al., 2009).

Ultrasonun ozmotik kurutma ile kombine kullanıldığı elma ile yapılmış bir çalışmada, elmalar 1 cm. boyutlarında küpler halinde kesilerek 70°Brix sakkaroz çözeltisine konmuştur. Örnekler çözelti:meyve oranı 6:1 olacak şekilde, ultrason frekansı 50 kHz ve gücü 150 W olan ultrason banyoya yerleştirilmiştir. 40, 50, 60 ve 70°C'de yapılan uygulamalar sonucunda, sıcaklığın artmasıyla meyvenin su kaybetme oranının (%14-27) ve katı kazanımının artırdığı görülmüştür. Çalışmada ultrason elde edilen diğer çarpıcı bir sonuç ise 40°C'de ultrason kullanılarak elde edilen katı kazanımı 70 °C'de sadece çalkalama yapılarak elde edilen katı kazanımından daha fazla olmasıdır (Simal et al., 1998).

2.2. Dondurma İşlemi

Donma en popüler gıda koruma yöntemlerinden biridir. Gıdanın su içeriğinin büyük bir kısmı buz forma dönmekte, mikroorganizma gelişimi gibi gıdalarda bozulmaya neden olan fiziksel ve biyokimyasal değişimleri yavaşlatmaktadır. Hücrelerin metabolik reaksiyonları gecikmektedir. Genellikle gıdanın tad, teksture ve besin içeriği değerleri diğer koruma yöntemlerine göre daha çok korunur. Ürün koruma yöntemi olarak iyi sonuç sağlaması için donma prosesi donma, donmuş gıdanın depolanması ve çözülmesi bir arada düşünülmelidir (Delgado and Sun, 2001; Wu et al., 2009).

Donma işlemi gıdalara zarar vermesinin 4 nedeni vardır: çözünür madde konsantrasyonu zararı, ozmotik kurutma kuvveti nedeniyle kuruma, buz kristalleri nedeniyle fiziksel bozulma ve soğutma zararlarıdır. Donma mikroorganizmaların öldürüldüğü ve enzimlerin inaktif edildiği pahalı bir yöntemdir. İyi kalitede hammadde seçilmesi önemlidir. Gıda örnekleri hijyenik koşullarda hazırlanmalıdır ve donma öncesinde bulaşma ve kontaminasyondan sakınılması gerekmektedir. Gıdalar donma için hazırlanırken mekanik ve ısıl zararlardan sakınılması gerekmektedir. Çünkü ısı ve mekanik zararlar nedeniyle değerli gıda maddeleri kaybolmaktadır, çapraz kontaminasyon tehlikesi artmaktadır ve son ürün kalitesinde kayıplara neden olmaktadır. Başlangıç ürün kalitesine zarar vermeden yapılan haşlama gibi ısısal ön işler donma üzerine etkili olmaktadır. Paketleme gıdaları çapraz kontaminasyondan korumaktadır, donma ve depolama sırasında kütle kaybını azaltmaktadır. Paketleme son ürün kalitesine katkı sağlamasına rağmen donma hızını açısından dezavantaja sahiptir (Saravacos and Kostaropoulos, 2002).

Donma hızına bağlı olarak donma işleminin sınıflandırılması aşağıda verilmektedir:

1. Yavaş donma: Donma hızı 0.1-0.2 cm/h arasındadır. Soğuk hava depolarında ambalajsız dondurma
2. Hızlı dondurma: Donma hızı 0.5-3 cm/h arasındadır. Hava üfleli dondurma veya plakalı dondurma
3. Ani dondurma: Donma hızı 5-10 cm/h arasındadır. Akışkan yataklarda küçük gıda parçacıkların bireysel dondurulması
4. Ultra ani dondurma: Donma hızı 10-100 cm/h arasındadır. Sıvı ile püskürtmeli dondurma (Heldman and Lund, 2007).

Donma sırasında oluşan buz kristalleri hücre bütünlüğüne zarar vermektedir. Hücre membranları ozmotik statülerini ve yarı geçirgenliklerini kaybeder. Bitkisel dokuların metabolik sistemleri kesilir, enzimatik sistemler bozulur ve hücre turgorunu kaybeder. Doku tekstürlerinde değişim meydana gelir, biyokimyasal bozulmalar olur. Dondurma ve çözünme sırasında enzimatik reaksiyonlar sonucu renk değişimi ve çözünme sırasında organik asit gibi bileşimlerin kaybolması nedeniyle duyu özelliklerinde değişim, büyük buz kristalleri nedeniyle tekstür bozulması meydana gelmektedir (Dermesonloulou et al, 2007). Büyük kristallerin sayısını azaltmak için kristallerin olduğu kritik sıcaklık zon bölgesinde fazla kalmaması gerekmektedir. Kristal formlarının büyüklüğü ve sayısı ısı transferini etkileyen çeşitli faktörlere bağlı olmaktadır: Donan gıdanın kütle fraksiyonu, donma metodu, donma şartları ve paketlenmedir (Saravacos and Kostaropoulos, 2002).

Yavaş donma proseslerinde genellikle buz kristalleri sadece hücreler arası alanda oluşur, yüksek donma hızlı proseslerde hücrenin her yerine dağılmış küçük buz kristalleri oluşmaktadır. Hücre içinde oluşan buz kristalleri istenmez, yarı geçirgenliğin kaybolması dolayısıyla su kayıpları ve şişmeler olmaktadır. Büyük kristaller iğne şeklindedir ve hücre yapısına zarar vermektedir. Kristal boyutu donan kütlenin konumuna göre değişmektedir. Çeperde oluşan buz kristalleri çabuk oluştuğu için daha küçüktür, iç kısma ısı transferi daha zor olduğu için oluşan buz kristalleri daha büyüktür. Kristallizasyon aynı donma sıcaklığında

dokudan dokuya değişmektedir. Bu değişik dokularda su hareketinin farklı olmasına bağlanmaktadır (Delgado and Sun, 2001).

Genellikle gıdaların dondurma işlemi hızlı yapılmalıdır. Bunun sonucu, hücreler içinde küçük buz kristalleri oluşur ve gıdaların hücrelerine fazla zarar vermemektedir. Büyük buz kristalleri gıdaların hücre duvarlarına zarar vermektedir ve çözünme sırasında değerli maddelerin kaybına neden olmaktadır. Gıdaların dondurulması sırasında gıda oluşan büyük kristallerin sayısını azaltmak için, donma işleminde buz kristallerin olduğu bölge olan ürün kritik sıcaklık zonunu kısa sürede tamamlanan donma yöntemlerinin seçilmelidir. Kristal yapıların sayısı ve boyutu ısı transferini etkileyen değişik faktörlerden de etkilenmektedir. Bu faktörler: donan gıdanın kütlesi, donma methodu, donma koşulları ve donan gıdanın paketli olup olmamasıdır. Fakat, her zaman ürün kalitesi yüksek donma hızına bağlı olmaktadır. Örneğin, sığır etinde 0.03 ve 200 cm/h donma hızlarında önemli bir fark olamamaktadır (Heldman ve Lund, 2007).

Et, sebze ve meyve gibi katı gıdaların donma hızları kontrol edilebilir fakat donma sırasında ve sonrasında katı içeriklerinin dağılımını düzenlemek zordur.

Yüksek su içerikli meyve ve sebzelerin dondurulmasında, donma sırasında hücrelerde büyük kristaller oluşması nedeniyle hücre yapıları zarar görmektedir, daha fazla çözünme kaybı meydana gelmektedir, çözünme sonrasında ürün kalitesinde bozulma olmaktadır; renk değişimleri, tad değişimleri, yapının yumuşaması gibi değişimlerdir (Wu et al., 2009).

Genellikle donmuş gıdaların kalite özellikleri donma ve çözünme şartları ile ilgilidir. Donma sırasında buz kristallerin gelişimi ve çekirdekleşme arasındaki ilişki donma hızıyla hesaplanır, donma hızının buz kristallerinin boyutuna ve donmuş ürünün kalitesi üzerine etkisi vardır (Li and Sun, 2002; Wu et al., 2009).

Kaliteli donmuş ürün eldesi şu faktörlere bağlıdır: 1) kaliteli başlangıç ürünü, 2) uygun ek işlem yapılması, 3) doğru donma hızı, 4) hijyenik proses şartları, 5) uygun çözünme (Saravacos and Kostaropulos, 2002).

Dondurma işleminin etkin olması ve çözüldüğü zaman istenilen kalitede ürün elde edilmesi için dondurma işleminin hepsinin mümkün olan en kısa zamanda gerçekleşmesi gerekmektedir. Başka bir deyişle, gıdanın en zor soğuyan noktasının (ısıl merkez) en kısa zamanda istenilen sıcaklığa düşmesi anlamına gelmektedir. Yüksek donma hızının avantajları şunlardır; hücre içinde küçük kristaller oluştuğu için hücre fazla zarar görmez ve böylece hücre sıvısının birbirine aşırı derecede karışması önlenir, su bulunduğu yerde buz kristalleri oluşturduğu için hücreler arası boşluğa geçmesi sınırlandırılır, hücreler arası boşlukta küçük buz kristalleri oluştuğu için hücrenin fiziksel bütünlüğünün bozulması engellenir, birçok gıda maddesi için kritik bölge olan 0°C ile -4°C arası hızla aşılar, donma sırasında mikroorganizmalar nedeniyle bozulma olasılığı mikroorganizmaların faaliyetlerinin tamamen durduğu sıcaklığa hızla ulaşıldığı için ortadan kalkar, ekipman uzun süre kullanılmadığı için kapasite artar (Engez,1988).

Donma süresine gıdaya ve soğutma ortamına ait bazı faktörler etkilemektedir. Bunlar: ürün boyutları, dondurucu ortam sıcaklığı, ürünün ilk sıcaklığı, ısı aktarım katsayısı, donma başlangıç sıcaklığı, ürünün su içeriği, donmamış ürün yoğunluğu, donmayan su yüzdesidir (Engez,1988).

Dondurma işlemi hesaplamalarında; donma noktası, donan su fraksiyonu ve ürünün donma zamanı önemlidir. Donma noktası çözünme öngörülerinde önemlidir ve donma noktası yakınlarında donma zararlanmalarını geçirmede önemlidir. Donan su fraksiyonu en ekonomik ve uygun donma sıcaklığı tahmininde önemlidir. Bir ürünün donmuş su içeriğinde önemli bir artış meydana

gelmediğinde donma tamamlanmaktadır. Bu fraksiyon üründen ürüne değişmektedir. Donma zamanı ekonomik ve teknik analizler ile öngörülerde önemlidir (Heldman and Lund, 2007).

Çözünme donmadan daha yavaş meydana gelmektedir. Çözünme sırasında gıdalar kimyasal ve fiziksel değişimlere, mikroorganizmalara maruz kalmaktadır. Bu nedenle donmuş gıdaların çözünme işlemi optimum koşullarda gerçekleştirilmelidir.

Donma prosesi sırasında ürün içindeki sıcaklık değişimi oldukça değişmektedir. Bu nedenden dolayı donma zamanı bir konuma göre tanımlanmalıdır. Genellikle sıcaklık değişimin en yavaş gerçekleştiği ısı merkez referans alınmaktadır. Donma süresi için nominal ve efektif olmak üzere iki tanımlama kullanılmaktadır. Nominal donma süresi, belirli bir boyuta sahip, başlangıç sıcaklığı homojen ve 0°C olan bir ürünün ısı merkezinin donma başlangıç sıcaklığının 10°C altına gelmesi için gereken süredir. Efektif veya standart donma süresi olarak bilinen tanım ise bir ürünün ilk sıcaklık değerinden istenen son sıcaklık değerine düşmesi için gerekli toplam süredir. İlk tanım buz kristallerinin oluşumu için geçerli süreyi dikkate aldığı için ürünün kalitesi ile ilgilidir, ikinci tanım ürünün ekipman içerisinde kaldığı toplam süreyi içermektedir. Çoğu yöntemde genellikle efektif donma süresi kullanarak donma süresi tahmini yapılmaktadır. Donma işleminin tamamlanması için merkez sıcaklığının -5°C, -10°C veya -18°C olması gerekmektedir. Son istenilen merkez sıcaklığı belirlenirken tüm gizli ısıнын o sıcaklık üstünde uzaklaştırıldığından emin olunması gerekmektedir. Birçok çalışmada -10°C sıcaklık, bu sıcaklık değerinde yapılmış veri çokluğu göz önüne alınarak, son merkez sıcaklığı olarak seçilmektedir (Delgado and Sun, 2001).

Gıdaların donma işlemi saf suyun donmasına göre karmaşık bir işlemdir. Bu işlemin karmaşık olmasının nedeni, gıda içerisindeki suyun bir anda değil bir sıcaklık aralığında donmasıdır (Pham, 2002). Gıda örneklerinin ilk sıcaklık

değerinden donma başlangıç sıcaklığına düşürülmeleri için görünür ısıнын uzaklaştırılması gerekmektedir. Gıdada çözünmemiş maddelerin bulunmasından dolayı donmaya başladığı ilk sıcaklık saf suyun donma sıcaklığından farklı bir sıcaklıktır (Umut, 2007).

Son ürün kalitesi üzerine çözünme işlemi önemli rol oynamaktadır. Bir parça gıdanın sıcak hava, ılık su veya buhar gibi geleneksel yöntemle dondurulması gıdanın donmasından daha çok zaman almaktadır. Bunun nedeni; buzun ısı iletkenliğinin suyun ısı iletkenliğinde 4 kat daha fazla olmasıdır. Çözünme proseslerinde gıdanın dış yüzeyindeki su donmuş ürünün çekirdeğine doğru ısı transferinde geçikmeye neden olmaktadır (Heldman and Lund, 2007).

Donma işleminin avantajları yanında pahalı işlem olması, donma zincirinin son tüketiciye kadar bozulmamasının gerekmesi, yüksek kalitede hammadde gerekmesi gibi dezavantajları vardır (Heldman and Lund, 2007).

2.3. Kısmi kurutulmuş gıdaların dondurulması

Kurutulmuş gıdalarda tam mikrobiyal stabilite sağlanamaması durumunda gıda örneklerinin uzun süre korunması için ek koruma yöntemlere başvurulmaktadır. Bu yöntemlerden biri de kurutulmuş gıdaların dondurulmasıdır.

Ozmotik kurutma ile kısmi kurutulmuş gıda örneklerinin dondurulmasının (osmo-dehydrofreezing) avantajları ve bazı dezavantajları vardır. Kısmi kurutulmuş gıdaların dondurulmasının avantajları: Bilinen dondurma teknolojisinin üretim akışı içine bir kurutma işlemi girmesiyle ek bir ekonomik yük getiriyor gibi görünmesi ile beraber üründe su miktarının azalmasıyla diğer kademelerinde önemli ekonomik avantajlar sağlamaktadır. Sebze, meyve gibi gıda örnekleri hücresel yapıya sahiptirler. Donma sırasında buz kristalleri hücrelerin

ayrılmasına ve fiziksel parçalanmasına neden olmaktadır. Serbest su içeriğinin bir kısmı uzaklaştırılmış meyve sebzelerin dondurulması sırasında, ürün içinde kristalleşecek su miktarı azaldığından, dondurulma işlemi daha kısa sürmektedir. Kristalleşmenin hücre yapısında meydana getireceği zararlanmalar bir ölçüde önlenmektedir. Daha düşük sıcaklıklarda donma başladığı için kristal yapının oluşumu gecikmektedir, hücre yapısında zararlanmalar gecikmektedir. Dondurulacak ürünlerin ağırlık ve hacimleri azaldığından dondurucu cihazın kapasitesi artmaktadır. Ağırlık ve hacmi azaltılmış ürünlerin depolanması ve taşınması sırasında kaplanmış oldukları hacim ve birim ağırlıkları normal olarak dondurucu ürünlere kıyasla daha az olmaktadır. Kurutulmuş gıdalar taze gıdalara göre daha küçük olduğu için donma sırasında enerji gereksimi daha azdır. Gıda maddelerin belli miktarda su içeriği uzaklaştırıldığı için tam bir kurutma prosesine göre kalite kayıpları daha azdır. Dondurma sırasında meydana gelebilecek kalite kayıpları daha azdır. Gıdalar çözündürdükleri zaman meydana gelen kayıplar daha azdır (Müftügil, 1988; Rebbers et al., 1997; Li and Sun, 2002; Agnelli et al., 2005; Blanda et al., 2009; Ilicali ve Icier, 2010; Ramallo and Mascheroni, 2010).

Kurutma sadece donma için gıdada bulunan su içeriğini azaltmamaktadır, hücre yapısının hücre turgor basıncı değişimi nedeniyle bozulmalara daha az duyarlı olmasını sağlamaktadır (Li and Sun, 2002).

Kısmi kurutarak dondurulan kayısılardaki askorbik asit miktarı geleneksel dondurma yöntemleri ile dondurulanlara göre daha fazladır (Forni et al., 1997; Ramallo and Mascheroni, 2010).

Spiazzi et al. (1998)'e göre daha düşük nem içeren kısmi kurutulmuş gıdaların donma başlangıç sıcaklıkları her zaman daha düşük ve donma süresi daha kısa olduğunu ifade etmiştir. Bunun nedeni gıdalarda daha az suyun donması ve daha az ısı uzaklaştırılmasıdır.

Kısmi kurutulmuş gıda örneklerinin termofiziksel özelliklerine sadece su içeriği değil, çözünür madde içeriği, çözünür maddelerin çeşidi ve moleküler ağırlıkları da etkilidir. Çünkü çözünür madde içeriği başlangıç donma sıcaklığı değeri üzerine ve donma başlangıç sıcaklığı altındaki buz içeriğine etkilidir. Buz içeriği ısı kapasitesi, entalpi ve yoğunluk hesaplarında kullanılmaktadır (Tocci and Mascheroni, 2008). Gıda maddelerinin başlangıç nem içeriğinin azalması ile donma başlangıç sıcaklığı düşmektedir. Aynı su içerikli gıdaların donma başlangıç sıcaklıklarındaki farklılıklar ısıleşlerin ± 0.5 °C ölçüm farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Papayanın başlangıç nem içeriği yaklaşık olarak % 52 civarına düşürüldüğünde donma başlangıç sıcaklığı -11.6 °C'e düşmektedir. %87, %75 ve % 61 su içeriğine sahip papayaların donma başlangıç sıcaklıkları sırasıyla -1.38 °C, -3.19 °C, -6.98 °C'dir. Gıdaların donma özellikleri, donmuş meyvelerin ısı iletkenlikleri ve bunların sıcaklıkla değişimi donma süresi üzerine etkilidir (Ilıcalı ve İcier, 2010).

Gıdalar donmaya başladığı zaman su içerikleri buz forma dönüşmeye başlar, buzun ısı iletim katsayısı suyun ısı iletim katsayısından daha büyük olduğundan donma sırasında ısı iletim katsayısı artmaktadır. Kısmi dondurulmuş papayalarda buz içeriği taze papaya göre daha düşük olduğu için ısı iletim katsayıları daha düşüktür. Kısmi kurutulmuş papayanın gizli ısı taze papaya örneklerine göre daha düşüktür. Gizli ısıdaki değişim ısı iletimindeki değişimle karşılaştırıldığında daha düşüktür (Ilıcalı vd., 2007).

Su içeriğinin azaltılmasıyla donma işleminin süresi kısalmaktadır, aynı su içeriğine sahip gıdalarda daldırma yöntemi ile dondurma, hava ile dondurma sistemlerine göre daha hızlıdır (Wu et al., 2009).

Ramallo and Mascheroni (2010), ananası dondurma öncesi ozmotik kurutma veya havalı kurutucular kullanarak kısmi olarak kurutmuştur. Ananas örneklerinin merkez sıcaklığı 0 °C'den -18 °C'e düşmesi için gerekli olan süreye donma süresi olarak tanımlamış ve taze ürün, farklı sürelerde ozmotik kurutulmuş ürünleri ve

farklı sıcaklık ve sürekli hava kurutucularda kurutulmuş ürünlerin donma sürelerini karşılaştırmıştır. Kısmi kurutulmuş gıdaların donma süreleri taze gıdaların donma sürelerinden daha kısadır. Bir saat ozmotik kurutmaya maruz kalan örneklerin çözünme kayıpları önemli oranda artmıştır. Bunun şekerin kroyo koruma özelliğinden kaynaklandığı sonucuna varmıştır. Çözünme sırasında, gıda örnekleri yüzeyindeki yüksek şeker konsantrasyonu nedeniyle gıdanın içinden su migrasyonu meydana gelmiştir, çözünen katı konsantrasyonu sabittir. Ozmotik kurutma zamanının artırılmasıyla çözünme kayıpları azalmıştır. Ama bitki dokularındaki emdirilmiş şekerlerin kroyo koruma etkileri ile ilgi pozitif sonuçlar oluşturmak için 240 dakikadan daha uzun ozmotik kurutma zamanına ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı su içeriğinde sahip örnekler karşılaştırıldığında, çözünme kaybı üzerine kuruma işleminin sıcaklığının etkisinin olmadığı gibi gözükmemektedir (Ramallo and Mascheroni, 2010).

Kısmi kurutulmuş gıdaların dondurulması (dehyrofreezing) işlemi sırasında kütle ve ısı transferi olmak üzere iki transfer mekanizması meydana gelmektedir. Ozmotik kurutma aşamasında ürün ve çözelti arasında su ve katı kütle transferi ve donma işlemi sırasında ısı transferi meydana gelmektedir (Agnelli et al., 2005)

Kısmi kurutulmuş gıdaların dondurulması konusunda son yıllarda yapılan bazı çalışmalar Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1 Kısmi kurtulmuş gıdaların dondurulması konusunda son yıllarda yapılan bazı çalışmalar

Gıda Örneği	Ön Kurutma Yöntemi	Ön Kurutma Şartları	Dondurma Koşulları	İncelenen Özellikler	Kaynak
Patates	Kurutucu kabinde kurutma	55 °C Su içeriğinin %30'u uzaklaşana kadar	Hava sirkülasyonlu dondurucu -31.5 °C	Kuru madde Titre edilebilir asitlik Parlaklık Askorbik asit Doku Duyusal analizler	Müftügil, 1988
Kivi	Hava kurutma Ozmotik kurutma İki yönte min kombi nasyon	30 °C 60° ve 72° Briks 5 m/s hava hızında %40, 50, 60 nem içeriklerine	Hava sirkülasyonlu dondurucu -40°C	Şeker içeriği Askorbik asit kaybı Tekstür değişimi	Robbers et al.,1997
Elma ve armut	Ozmotik Kurutma	30 °C Sakaroz ve glikoz	Taşınilma hava sirkülasyonlu dondurucu -40°C	Isı ve kütle transferinin matematiksel modeli	Agnelli et al., 2005
Patlıcan	Vakum Kurutma	30 °C 25 kPa %80 ve 60 nem içeriği	Hava veya daldırma kurutma -40°C	Fiziksel özellikler: Yüzey rengi, Tekstür Elektriksel öz direnç karakteristikleri	Wu et al, 2009
Çilek	Ozmotik kurutma Vakum osmotik kurutma Kurutma yöntemleri uygulanmamış	30 °C 4 saat 5°C 24 saat -19°C 24 saat sakkaroz	Konveksiyonel dondurucu -18°C	Kuru madde Çözünebilir katı Ph Titre edilen asitlik Kütle transferleri Fenolik içerikler Uçucu bileşikler Tüketici tercihi	Blanda et al., 2008

Çizelge 2.1 devamı Kısmi kurtulmuş gıdaların dondurulması konusunda son yıllarda yapılan bazı çalışmalar

Papaya	Mikrodalga Kurutma	%70 ve 50 nem içeriği	Hava püskürtmeli dondurucu Merkez sıcaklığı -18 ve -10 °C	Donma süresi tahmini için kullanılan empirik modellerle nümerik modelleri karşılaştırılması	Ilıcalı ve İçier, 2010
Ananas	Ozmotik Kurutma	40 °C 60 ° Briks sakaroz Sabit hızda akışkan yatak	Hava sirkülasyonlu dondurucu -31.5 °C	Doku özellikleri Damlama kaybı Askorbik asit miktarı	Rammallo and Mascheroni, 2010
Kavun	Ozmotik Kurutma	% 50 şeker çözeltisi %10 NaCl çözeltisi %10 NaCl ve % 50 şeker çözeltisi		Kayıplar Tekstür Renk Aroma içeriği Duyusal karakteristikler	Maestrelli et al., 2001
Armut, kivi, çilek, elma	Ozmotik kurutma	Sakaroz Glikoz Mısır şurubu	Taşıyıcıyla hava sirkülasyonlu dondurucular -40 °C	Renk, çözünme kaybı, tekstür	Marani et al., 2007
Kayısı	Ozmotik kurutma Hava ile kurutma	Sakaroz Maltoz Sorbitol Ozmotik kurutma 25 °C Havalı kurutma 65 °C ve 1,5 m/s hava hızı	Hava sirkülasyonlu dondurucular -40 °C Hava hızı 4 m/s	Renk Kurumadde pH Toplam titre edilebilir asitlik Glikoz Fruktoz Sakaroz Sorbitol Askorbik asit Su aktivitesi	Forni et al., 1997

Çizelge 2.1 devamı Kısmi kurtulmuş gıdaların dondurulması konusunda son yıllarda yapılan bazı çalışmalar

Havuç	Ozmotik Kurutma	% 50 sakaroz	-18 °C dondurucu	Tekstür Su içeriği Hücre yapısı	Ando et al., 2012
Domates	Ozmotik Kurutma	Glikoz Maltodekstrin	-40 °C dondurucu	Renk Vitamin C tekstür	Dermesonlouoglou et al., 2007
Mango	Ozmotik kurutma	40° veya 50° Briks sakaroz çözeltisi 40 °C	-18 °C statik hava dondurucu	Kütle ve ısı modeli	Floury et al., 2008

2.4. Kuramsal Analiz

Kısmi kurutulmuş gıdaların dondurulması (dehydrofreezing) işlemi boyunca ısı ve kütle transferi olmak üzere iki transfer meydana gelmektedir. Ozmotik kurutma aşamasında ürün ve çözelti arasında su ve çözünür madde taşınımı nedeniyle kütle transferi, donma aşamasında ise ısı transferi meydana gelmektedir.

2.4.1. Kütle transferi modelleri

Kurutma işlemi gibi kütle aktarımını içeren uygulamalarda farklı işlem koşullarının neden olacağı konsantrasyon dağılımlarının ve su kaybının simülasyonu amacıyla matematiksel modelleme oldukça önem taşımaktadır. Bu amaçla son yıllarda hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve genel transport işlemleri çözümünün yapılabileceği paket programlar, farklı işlemlerin hem matematiksel modellenmesi hem de simülasyonu amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Davies et al, 1999; Fu and Hsieh, 1999; Tanaka et al., 2006; Salengke and Sastry, 2007; Marra et al, 2009).

Ozmotik kurutma kütle transferi kararsız hal Fick difüzyon denklemi (Fick'in 2. Kanunu) ile hesaplanır.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

Burada;

C: katıdaki bileşen konsantrasyonu (kg/ 100 kg çözelti)

D: difüzyon katsayısı (m²/s)

t: süre (s)

x: difüzyon mesafesi (m)

Çözelti konsantrasyonu homojen olduğu, sabit kaldığı ve iç difüzyon direnci ile karşılaştırıldığında yüksek ozmotik çözelti hacimlerinde yüzey direncinin ihmal olduğu durumlarda kararsız hal Fick difüzyon modeli kullanılır. Düşük sıcaklık, yüksek çözünen konsantrasyonunda ve yüksek viskozitede dış direncin ihmal edilmesi varsayımı yeterli değildir (Hawkes and Flink, 1978; Ertekin ve Sultanoğlu, 2000). Farklı gıda maddelerinin ozmotik kurutulması işleminin kuramsal incelendiği çalışmalarda, gıda örneğinin boyutlarının sonsuz geometride seçilerek örnek/çözelti oranının 1/5'in üzerinde seçilmesi, modelin çözümünde bazı basitleştirmelerin yapılabilmesine olanak sağlar (Seren et al., 2001; Rastogi and Raghavarao, 2004).

Matematiksel modelin kurulmasında ve çözümünde deneysel verilerden de yararlanıldığı için, deneysel ozmotik kurutma koşulları ve örnek boyutları da oldukça önem taşımaktadır. Çizelge 2.2'de de görüldüğü üzere, literatürde çoğu modelleme çalışmasında ozmotik kurutma işlem koşulları olarak farklı sıcaklık ve farklı çözelti konsantrasyonlarının etkilerinin incelendiği, ancak örnek/çözelti oranının, kurutma süresinin ve çalkalama/karıştırma hızının genellikle sabit tutulduğu dikkati çekmektedir (Rastogi et al., 1997; Ertekin ve Sultanoğlu, 2000; Sereno et al., 2001; Rastogi and Raghavarao, 2003; 2004; Amami et al., 2006; Khin et al., 2006).

Crank (1975) bu başlangıç koşullarını dikkate alarak sonsuz plakalar için Denklem (1) analitik olarak çözmüştür. Sadece ilk terim dikkate alınarak denklemin düzenlenmiş hali aşağıda verilmektedir:

$$\frac{MW_t}{MW_e} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \times \alpha \times (1 + \alpha)}{1 + \alpha + \alpha^2 \times q_n^2} e^{-q_n^2 \times D \times t / x^2} \quad (2)$$

Burada;

MW_t : t süre sonunda katıdan ayrılan su miktarı (kg)

MW_e : dengeye ulaştığında katıdan ayrılan su miktarı (kg)

x : gıdanın yarı kalınlığı (m)

α : ozmotik çözelti hacmini gıda hacmine oranı

q_n : $\tan q_n = -\alpha \times n$ eşitliğinin 0'dan farklı pozitif kökleri

D : efektif difüzyon hızı değeri (m^2/s)

t : zaman (s)

Sonsuz plakalar için Fick'in ikinci kanunun analitik çözümünün su kaybı ve katı kazanımı uyarlaması aşağıdaki denklemler (3) ve (4) ile gösterilmiştir (Crank, 1975):

$$1 - \frac{WL}{WL_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \times \alpha \times (1 + \alpha)}{1 + \alpha + \alpha^2 \times q_n^2} \exp \left[-q_n^2 \frac{D_{ew} \times t}{x^2} \right] \quad (3)$$

$$1 - \frac{SG}{SG_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \times \alpha \times (1 + \alpha)}{1 + \alpha + \alpha^2 \times q_n^2} \exp \left[-q_n^2 \frac{D_{SG} \times t}{x^2} \right] \quad (4)$$

Burada;

WL : t=t anında su kaybı (kg su/100 kg ürün)

SG : t=t anında katı kazanımı (kg KM/100 kg ürün)

WL_e : dengede t= ∞ 'da kaybedilen su oranı (kg su/100 kg taze meyve)

SG_e : dengede t= ∞ 'da kazanılan katı oranı (kg KM/100 kg taze meyve)

x : gıdanın yarı kalınlığı (m)

α : ozmotik çözelti hacminin gıda hacmine oranı

q_n : $\tan q_n = -\alpha \times n$ eşitliğinin 0'dan farklı pozitif kökleri

D_{ew} : efektif su difüzyon katsayısı

ifade etmektedir.

Azura et al. (1992) ozmotik dehidrasyon kinetiğini ve sonuç denge noktasını belirlemek için kütle denkliklerinden yararlanarak iki parametrelili bir model geliştirmiştir. Buzulmenin dikkate alınması, dış direncin ihmal edilmesi nedeniyle Fick kanununda oluşan olumsuzlukları içermeyen uzun işlem süresi içinde deneysel verilere gereksinim olmaksızın, denge koşullarında geçerli kurumadde kazanımı ve su kaybının belirlemek ve kütle transfer katsayılarını saptamak için bu model geçerlidir.

Azura et al. (1992)'nin geliştirdikleri modele bağlı su kaybı ve kuru madde kazanımını belirlemede kullanılan eşitlikler Denklem (5) ve (6) da verilmektedir.

$$WL = \frac{S_1 \times t \times (WL_e)}{1 + S_1 \times t} \quad (5)$$

$$SG = \frac{S_2 \times t \times (SG_e)}{1 + t \times S_2} \quad (6)$$

Burada;

WL : $t = t$ anında su kaybı (kg su/100 kg ürün)

SG : $t = t$ anında katı kazanımı (kg KM/100 kg ürün)

WL_e : dengede $t = \infty$ 'da kaybedilen su oranı (kg su/100 kg taze meyve)

SG_e : dengede $t = \infty$ 'da kazanılan katı oranı (kg KM/100 kg taze meyve)

S_1 : zamanla K arasındaki ilişkiyi su kaybı için veren sabit (h^{-1})

S_2 : zamanla K arasındaki ilişkiyi kuru madde kazanımı için veren sabit (h^{-1})

ifade etmektedir.

Hawkes and Flink (1978)'de 100 g başlangıç elma örneklerindeki su kaybının çözelti alımına etkisi ihmal edilmiş ve değişik elma dilimlerinde başlangıç su içeriği farklılıkları hesaba katılmamıştır. Bu durum büyük ihtimalle suyun efektif difüzivitesi ile ilgilidir fakat çözelti alımına göre katı içeriğindeki değişim su kayıpları için sürükleyici kuvvet olmaktadır. Elma örneklerinin başlangıç su içeriğindeki farklılıklar, kaybedilen başlangıç su fraksiyonunu oluşturur, fakat çözünen madde kazanımındaki katı değişimi ile ilgili değildir. Toplam katı içeriğindeki yüzde ağırlık değişimi kullanılarak çözültiden katıya geçen çözünür madde ve gıdadan çözeltiye geçen suyun difüzyon hızlarını birlikte ifade eden bir kütle transfer katsayısı (k) tanımlamıştır. Kütle transfer hızı ozmotik kurutma sonundaki toplam kuru madde içeriğinin başlangıç kuru madde içeriğine oranı (NSC) olarak ifade edilen bir değişken ile zamanın karekökü arasındaki doğrunun eğiminden hesaplanmaktadır. NSC ile zaman arasındaki bağıntı Denklem (7) verilmiştir.

$$NSC = \frac{XKM_t}{XKM_0} = k \times \sqrt{t} \quad (7)$$

XKM_t : t=t anındaki toplam kuru madde içeriği (%)

XKM_0 : t=0 başlangıçtaki toplam kuru madde içeriği (%)

k : kütle transfer katsayısı ($h^{-1/2}$)

t : süre (h)

t=0 anındaki k değeri k' değeri olarak adlandırılır, öncelikle su aktivitesi üzerine etkilidir, başlangıç hızlı çözünür madde geçişinden sonra katı kazanıma daha az etki etmektedir. Kesim noktası hızlı katı kazanımının ölçüsüdür.

k değeri çözelti konsantrasyonu, sıcaklık ve karıştırma gibi faktörlerden etkilenmektedir.

Çizelge 2.2 Ozmotik kurutmanın modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar

Gıda Örneği	Örnek Boyutları	Ön İşlem	Ozmotik Kurutma Şartları	Kütle Transferi Modeli	İncelen Özellikler	Sonuç	Kaynak
Muz	25 mm çap, 40 mm kalınlık		25-45°C Sakkaroz çözeltisi=40-70° Briks Örnek/çözelti=1/20(v/v) 5 saat	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Sonlu silindir	Nem içeriği Denge nem içeriği D_{eff}	Efektif katsayı bulunarak, zamana göre nem içeriği bulunmuştur. Sıcaklığın efektif difüzyon katsayısı üzerine etkileri belirlenmiştir.	Rastogi et al., 1997
Elma	70 mm çap 5±0.2 mm kalınlık	%1 sodyum metasülfid, 3 dak bekletme	30±1°C Sakkaroz=%40, 50, 60, 66 Dekstroz=%30, 40, 50 Dekstroz+Sakkaroz=%60,70 Örnek/çözelti=1/5(w/w) 130 çalkalama/dakika 8 saat	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Sonsuz Plaka	WL SG D_{ew} D_{es}	Eş zamanlı su ve çözünen difüzyonu incelenmiştir. Su ve çözünen madde için efektif efektif difüzyon katsayıları 10^{-10} - 10^{-11} m ² /s aralığında bulunmuştur. Katı kazanımı ve su kaybı için deneysel verilerle nümerik model sonuçları karşılaştırılmıştır.	Ertekin ve Sultanoğlu, 2000

Çizelge 2.2 devamı Ozmotik kurutmanın modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar

Elma	8 mm çap 24 mm yükseklik		5, 20, 40 ,60 °C Sakkaroz: % 40, 50, 60 w/w ve Sodyum klorür: % 15, 22, 26.5 w/w çözeltileri kullanılarak Sakkaroz/sodyum klorür= 30/10, 40/10, 50/10 ve 20/15, 30/15, 40/15 %wt oranlarında çözeltiler Örnek/çözelti=1/40(w/w) 4 saat	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Sonsuz Plaka -Magee et al (1983) model	WL SG k_{es} k_{ew}	Katı kazanımı ve su kaybı için kütle transfer katsayısının konsantrasyon ve sıcaklıkla ilişkileri elde edilip, katsayılar bulunmuştur.	Sereno et al., 2001
Ananas	15×15×15 mm		30-50 °C Sakkaroz çözeltisi 40-70 °Briks Örnek/çözelti=1/25(w/w)	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Küp	Mr Sr D_{ew} D_{es}	Deneysel olarak bulunan efektif kütle transferi katsayısının sıcaklık ve konsantrasyon ile ilişkisini veren denklem bulunmuştur. Süreye bağlı Mr ve Sr değişimi incelenmiş ve denge durumları bulunmuştur.	Rastogi and Raghavarao, 2003

Çizelge 2.2 devamı Ozmotik kurutmanın modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar

Patates	3.5 cm çapında 1 cm kalınlığında		25°C Sakkaroz=50 °Briks Örnek/çözelti=1/25(w/w) 5 saat	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemleri- Sonsuz Plaka	Sr Mr	Nem ve çözünen madde içeriği dağılımı göz önüne alınarak ortalama efektif kütle transfer katsayısı bulunmuştur.	Rastogi and Raghavarao, 2004
Elma	2.8 cm çap 0.85 cm kalınlık	PEF(0.90 kV/cm, t _{PEF} =0.75s)	Oda sıcaklığı Sakkaroz=%44.5, 55, 65° Briks Örnek/çözelti=1/3(w/w) 250 rpm karıştırma 4 saat	-Fick'in kararsız hal difüzyon denklemleri- Sonsuz Plaka -iki üstel kinetik model	WL SG D _{ew} D _{es} k _{ew} k _{es}	PEF uygulamasından sonra toplam su kaybı ve katı kazanımı artmıştır. PEF uygulamaları su kaybı üzerine katı kazanımından daha etkilidir . D _{es} ve D _{ew} değerleri PEF uygulamaları ve ozmotik çözeltinin konsantrasyonunun artmasıyla artar.	Amami et al., 2006

Çizelge 2.2 devamı Ozmotik kurutmanın modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar

Patates	1×1×1 cm	%1 sodyum aljinat veya %2 LMP(Low methoxyl pectinate) 5 dakika bekletme. Ardından %1 CaCl ₂ (sodium aljinatla kaplanmışlar için) veya %2 CaCl ₂ (LMP kaplanmışlar için) 30 dak bekletme.	25, 40, 45°C Tuz çözeltisi=%10, 14,18 (w/w) Örnek/çözelti=1/20(v/v) 300 rpm 3 saat	-Peleg denklemi ile su ve tuz kütle transfer kinetiği - Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Sonlu Plaka	Tuz konsantrasyonu k _{eT} k _{ew} WL SG D _{ew} /D _{es}	Sıcaklık ve çözelti konsantrasyonun tuz ve su kütle transferini artırmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda suyun difüzyonu hızlanmaktadır.	Khin et al., 2006
Kestane	10g		25, 35, 45 °C Tuz çözeltisi=%17, 22, 26.5 (w/w) 8 saat	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi-	WL SG M WR NMC	Çözelti konsantrasyonu artmasıyla WL/SG oranında önemli bir azalma olmaktadır.	Chenlo et al., 2006

Çizelge 2.2 devamı Ozmotik kurutmanın modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar

Kestane	9 g		25, 35, 45 °C Sakkaroz çözeltisi= % 40, 50, 60 (w/w) 8 saat	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi-	WL SG M WR NMC	Sıcaklık ve çözelti konsantrasyonunun artmasıyla kütle transferi artmaktadır. Bu çalışmada efektif difüzyon katsayısı sabit tutularak hesaplamalar yapılmıştır.	Chenlo et al., 2007
Elma	3×3×0.5 cm	%0.2(w/v) askorbik asit ve %1(w/v) sitrik asit çözeltisinde 10 dak bekletme	30±0.5°C Sakkaroz çözeltisi=30° briks Ozmotik kurutma ile birlikte • 850ve 1200 rpm karıştırma • 20 kHz ve 20, 40,60,80,100 W ultrason	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Sonlu levha	Kurutma süresi Nem içeriği	Ultrason uygulamaların yoğunluğunun ozmotik kurutmaya etkisini araştırılır.	Carcel et al., 2007
Elma	15 mm çapında 20 mm uzunluk		25°C sakkaroz çözeltisi=2.5 M Örnek/çözelti=1/20(w/w) 400 rpm karıştırma	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Sonlu silindir	WL SG Mr D _{ew} D _{es}	D _{ew} değeri 4.10×10 ⁻¹⁰ m ² /s D _{es} değeri 4.10×10 ⁻¹⁰ m ² /s	Derossi et al., 2008

Çizelge 2.2 devamı Ozmotik kurutmanın modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar

Guava	110 g		30, 40, 50 °C Sakaroza=65 °Briks(880g) Örnek/çözelti=1/8 100 rpm 3 saat Atmosfer basıncı ve pulsed vakum Pulsed vakum; 5 dak; -30°C -4.3 kPa -40°C -5.2 kPa -50°C -10.7 kPa	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi-	D_e M_w M_s	$D_e=0.69 \times 10^{-10}$ - $1.47 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$	Panades et al., 2008
-------	-------	--	--	---	-------------------------	---	-------------------------

*WL: su kaybı, SG: katı kazanımı, D_{ew} : efektif difüzyon katsayısı (su için), D_{es} : efektif difüzyon katsayısı (çözünen için), k_{es} : taşıyıcıla kütle aktarım katsayısı (çözünen için), k_{ew} : taşıyıcıla kütle aktarım katsayısı (sıvı için);

Mr : nem oranı, Sr: çözünen oranı, M:kütle, WR: kütle azalımı, NMC:normalize nem içeriği

2.4.2. Isı transferi modelleri

Gıdaların donma sürelerinin hesaplanmasında eş zamanlı faz değişimi, değişen ısı özellikler ve daha bir çok nedenlerden dolayı karışık bir ısı aktarım modelidir (Engez, 1988). Gıdaların donma işlemini tanımlayan yöntemler analitik, sayısal ve deneysel olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır. Deneysel yaklaşım genellikle gerçek durumlara benzetilmiş laboratuvar ortamında veya pilot ölçekli olarak kurulur. Bu yaklaşımda işlemin performansı ile ilgili önemli bilgi elde edilirken elde edilen katsayılar, işlem şartlarına ve deney materyalına bağlı olduğu için genelleme yapılmaya yetersiz kalmaktadır. Ancak analitik ve nümerik yöntemin kontrollü için olmazsa olmazdır (Delgado and Sun, 2001).

Analitik yöntemlerin çoğunda Plank denklemleri veya modifiye edilmiş Plank denklemleri kullanılmaktadır. Analitik yöntemlerin çözümünde karışıklıkları gidermek için bazı kabuller yapılmıştır. Dondurulan gıda örneklerinin homojen ilk sıcaklığa sahip olduğu ve ortam sıcaklığının sabit olduğu varsayılır. Isı aktarımı, gıda maddesinin içinde iletimle olmaktadır. Yüzey ısı aktarım katsayısı homojen ve sabittir. Materyalin özellikleri donmuş ve donmamış durum için değişmemektedir. Gıda maddesi donma ısısını bıraktığı tekdüze bir sıcaklığa sahiptir (Engez, 1988).

Aşağıdaki denklemlerde Plank denklemi ve bazı modifiye Plank eşitlikleri verilmektedir:

Plank Denklemi;

$$t_f = \frac{\rho \Delta H_f}{(T_f - T_a)} \left(P \frac{D}{h} + R \frac{D^2}{k_f} \right) \quad (8)$$

Cleland ve Earle(1977, 1979, 1984)(CE) P ve R değerlerini *Bi*, *Ste* ve *Pk* sayıların fonksiyonu olarak yeni değer alır.

$$t_f = \frac{\Delta H_{-10}}{(T_f - T_a)} \left(P \frac{D}{h} + R \frac{D^2}{k_f} \right) \left[1 - \frac{1.655 Ste}{k_f} \ln \left(\frac{T_s - T_a}{-10 - T_a} \right) \right] \quad (9)$$

Burada;

$$P = 0.5[1.026 + 0.5808 Pk + Ste(0.2296 Pk + 0.1050)] \quad (10)$$

$$R = 0.125[1.202 + Ste(3.41 Pk + 0.7336)] \quad (11)$$

$$Pk = C_L \frac{(T_i - T_f)}{\Delta H_{10}} \quad (12)$$

$$Ste = C_f \frac{(T_f - T_a)}{\Delta H_{10}} \quad (13)$$

Hung and Thompson(1983)(HT) -18 °C merkez sıcaklığına sahip sonsuz plakalar için aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$t_f = \frac{\Delta H_{-18}}{U(T_f - T_a)} \left(P \frac{D}{h} + R \frac{D^2}{k_f} \right) \quad (14)$$

$$P = 0.7306 - 1.083 Pk + Ste \left(15.40 U - 15.43 + 0.01329 \frac{Ste}{Bi} \right) \quad (15)$$

$$R = 0.2079 - 0.2656 U Ste \quad (16)$$

$$Pk = C_L \frac{(T_i - T_f)}{\Delta H_{18}} \quad (17)$$

$$Ste = C_f \frac{(T_f - T_a)}{\Delta H_{18}} \quad (18)$$

$$U = 1 + \frac{0.5C_L(T_i - T_f)^2 - 0.5C_f(T_f + 18)^2}{\Delta H_{18}(T_f - T_a)} \quad (19)$$

-10 °C merkez sıcaklığı için Cleland and Earle (1984) Denklem(14) modifiye etmiştir. Modifiye denklem aşağıda Denklem(20) ile gösterilmiştir.

$$t_f = \frac{\Delta H_{-18}}{U(T_f - T_a)} \left(P \frac{D}{h} + R \frac{D^2}{k_f} \right) \left[1 - \frac{1.65Ste}{k_f} \ln \left(\frac{-10 - T_a}{-18 - T_a} \right) \right]^{-1} \quad (20)$$

Gıdaların donma süreleri için nümerik tahminler bilgisayar programı yardımıyla sonlu elemanlar, sonlu hacim veya sonlu farklar yöntemleri ile hesaplanmaktadır. Nümerik model donma sırasında ısı transferinin modellenmesinde sıkça kullanılmaktadır. Nümerik metodunun avantajı sıcaklık aralığında faz değişiminin, ısısal özelliklerin değişiminin ve gıdanın heterojenliğinin basit denklemlerle analiz edilmesidir.

Donma sırasında faz değişimi içeren kararsız hal ısı transferi meydana gelmektedir. Denklem (21)'de tek boyutlu plaka şeklinde cisimler için kararsız hal Fourier'ın ısı iletim denklemi gösterilmektedir.

$$\rho(T)C_p(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (21)$$

Kararsız hal ısı iletim denkleminin çözümünde Ilıcalı ve İçier (2010)'da kullanılan başlangıç ve sınır koşulları dikkate alınmaktadır.

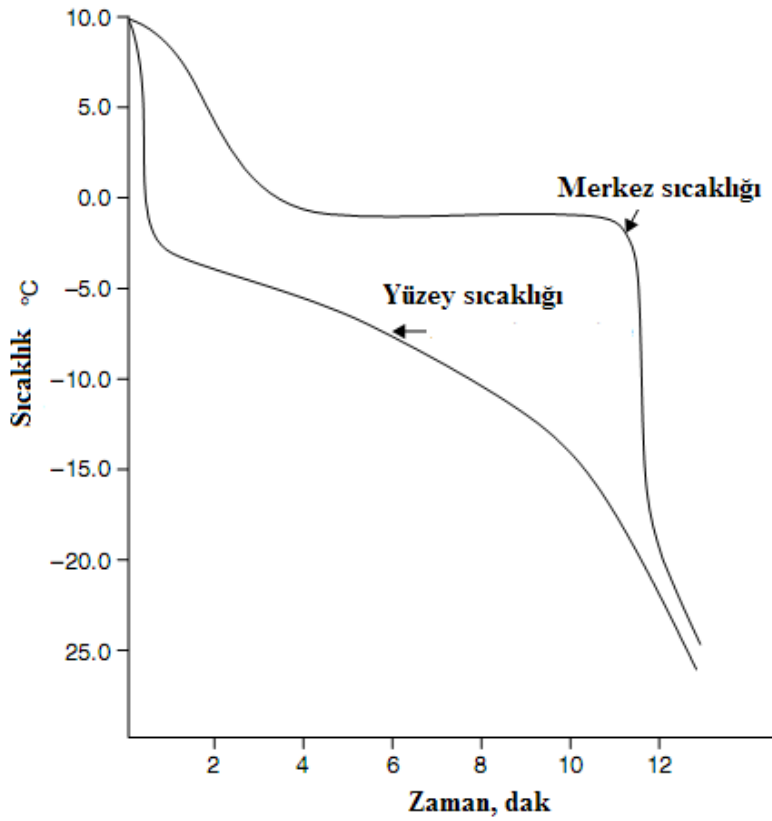
Başlangıç ve Sınır koşulları Denklem (22), (23) ve (24)'de verilmektedir.

$$t \leq 0 \quad T = T_{in} \quad 0 \leq x \leq l \quad (22)$$

$$t \geq 0 \quad -k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=l} = h(T - T_a) \quad x = l \quad (23)$$

$$t \geq 0 \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad x = 0 \quad (24)$$

Bu nümerik çözüm ürünün donma sırasındaki tahmini sıcaklık dağılımını vermektedir, Şekil 2.2'deki örnek gösterim verilmektedir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi ürün merkez sıcaklığı ürünün başlangıç donma sıcaklığından daha düşük sıcaklıkları düşmeden önce plato azalmaktadır. Yüzeye yakın tüm noktalarda, donma prosesinin daha önceki basamakları boyunca daha fazla gizli ısı uzaklaşmaktadır, sıcaklık daha kademeli azalmaktadır (Heldman and Lund, 2007).



Şekil 2.2 2 cm çapında çileğin donması sırasında yüzey ve merkezde tahmini sıcaklık dağılımı($T_{in}=10^{\circ}\text{C}$; $T_{ort}=-35^{\circ}\text{C}$; $h=70 \text{ W/m}^2\text{K}$; $a=2 \text{ cm}$).(Heldman and Lund, 2007)

Gıdaların donma noktasının altında ve üstünde termo-fiziksel özellikleri değişmektedir (Fikiin ve Fikiin, 1999). Saf komponentlerin termo-fiziksel

özellikleri Choi ve Okos (1986)'dan alınmıştır. Donmamış ürünler için yoğunluk, ısı iletkenlik, özgül ısı değeri su içeriğine göre değişmektedir. Donmuş ürünler için ısı iletkenlik, yoğunluk değeri oluşan buz kristallerin miktarı ve sıcaklıkla değişmektedir.

Analitik yöntemde kullanılan denklemler deneysel verilerin bir eğriye uydurulmasıyla çıkarılmıştır. Donma süresi öngörme yönteminin kullanıldığı yerlerde belirsizlikler kaçınılmazdır. Bu belirsizlikler materyalin donmaya başladığı zamana içinde ısı özelliklerindeki belirsizlikler, kesin olarak bilinmeyen donma koşulları özellikle yüzey aktarım katsayısı (h), öngörme yöntemlerin çıkartışında yapılan kabuller gibi nedenlerden kaynaklanabilmektedir (Engez, 1988).

Nümerik yönteminde dezavantajı iki veya üç boyutlu hazırlanan simülasyonlarla veri elde etmesi ve kompleks bilgisayar programları gerektirmesidir. Ayrıca gıda materyalinin ısı özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak ölçümünün doğru olarak yapılmasının güç olması, ısı transfer katsayısının bölgesel olarak doğruluğundaki şüpheler ve bilgisayar kaynaklı hesaplamalar için gerekli maliyet dikkate alındığında çoğu araştırmacı basitleştirilmiş eşitlikler elde etmek için analitik/amprik tahmin etme yöntemleri üzerine yoğunlaşmıştır (Umut, 2007).

Yukarıda bahsedildiği analitik yöntemlerin hata kaynakları nedeniyle nümerik yöntemler amprik yöntemlerden daha doğru sonuç vermektedir.

Kısmi kurutularak dondurulmuş gıdaların donma sürelerin tahmini hakkında az sayıda çalışma bulunmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar Çizelge 2.3'de verilmektedir.

Çizelge 2.3 Kısmi kurutulmuş gıdaların dondurulması konusunda yapılan ısı transferi modelleme ile ilgili bazı çalışmalar

Gıda Örneği	Örnek Boyutları	Ön İşlem	Donma Şartları	ısı transferi Modeli	İncelenen Özellikler	Sonuç	Kaynak
Armut ve elma	Armut; 2 cm çap, 1 cm yükseklik Elma; 1.5 cm ve 2 cm küpler	30 °C'de sakaroz ve glikoz çözeltilerinde ozmotik kurutma	Konveksiyonel hava tünelli dondurucular	Sonlu hacim entalpi formülasyonu	Deneyisel ve modelle donma zamanları ve grafiklerin uyumu	Model ve deneyisel arasındaki uyumun olduğunu, donma sırasında sıcaklık profiline ve donma süresi tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.	Agnelli et al., 2005
Papaya	8 cm×8cm×2cm	Mikrodalga ile kurutma	Hava püskürtmeli kurutucu	Kararsız hal ısı iletimi, Kapalı sonlu farklar yöntemi	Deneyisel ve modelle donma zamanları ve grafiklerin uyumu	Nümerik çözümün deneyisel verilerle uyumlu olduğu	İlıcılı et al., 2007
Mango	Ozmotik kurutma	40° veya 50° Briks sakaroz çözeltisi 40 °C	-18 °C statik hava dondurucu	Kütle ve ısı modeli	Donmuş gıdaların çözünmede nümerik sıcaklık dağılımı ve kütle transferinde membran geçirgenliği, deneyisel ve nümerik uyumluluğu	Taze ve donmuş gıdaların ozmotik kurutma boyunca su ve şeker kaybı verileri uyum içindedir,	Floury et al., 2008

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Denemelerde “Kırkağaç” çeşidi kavun (*Cucumis Melo* L, Cucurbitaceae) kullanılmıştır. Kavun örnekleri İzmir’ deki yerel bir hipermarketten haftalık olarak alınmış, +4°C’de soğuk hava deposunda depolanmıştır. Ozmotik yarı kurutma öncesi deneylerde kullanılan kavunların baş kısmı kesildikten sonra dört eşit parçaya bölünmüştür. Çekirdekleri çıkarıldıktan sonra 5 cm genişliğinde 10 cm kalınlığında şekil verme plakasına yerleştirilmiş 1 cm yüksekliğinde kesilmiştir. Daha sonra plaka alınıp kabukları uzaklaştırılmıştır. 5 cm x 10 cm x 1 cm boyutunda şekil verilmiş kavun dilimleri öncelikle ozmotik kurutma yöntemi ile farklı kuru madde içeriklerine kadar kurutulmuş, ardından dondurulmuştur.

Kavunun kimyasal bileşimi kavun çeşidi, toprak özellikleri, iklim şartları, olgunluk gibi birçok faktöre bağlıdır. Kavunun kimyasal bileşiminde suda çözünen kurumaddeyi oluşturan şekerler, asitler, mineral maddeler, vitaminler, enzimler ve aroma maddeleri olduğu gibi pektik maddeler ve selüloz gibi alkolde çözünmeyen maddeler vardır (Yaman,1992). Kavunun ortalama olarak 100 g yenebilen kısmında 90.6 g su, 0.8 g protein, 0.3 g yağ, 7.7 g karbonhidrat, 0.6 g posa, 0.6 g kül, 14 mg kalsiyum, 0.4 mg demir, 16 mg fosfor, 251 mg potasyum, 12 mg sodyum, 280 UI vitamin A ve Karoten, 0.04 mg Tiamin, 0.03 mg Riboflavin, 0.6 mg Niasin, 23 mg Vitamin C vardır. 100 g kavun 33 kcal’dir (Baysal vd., 1991).

Ozmotik ortamın hazırlanması için %5 dekstroza (maksimum), %50 maltoz ve %45 diğer yüksek şekerlerden oluşan yüksek maltozlu glikoz şurubu (83-84° Briks) (Tat Nişasta, Türkiye) kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Ozmotik çözeltilerin hazırlanması

Ozmotik çözeltilerin hazırlanmasında ozmotik madde olarak tüm çalışmalarda yüksek maltozlu glikoz şurubu, 55° Briks olacak şekilde seyreltilmiştir. Çözeltinin hazırlanması için yeterli miktarda glikoz şurubu tartılmış, istenilen brikse ulaşmak için gereken miktarda destile su ilave edilmiştir. Karışım karıştırılarak çözünme işlemi kolaylaştırılmıştır.

3.2.2. Deneysel çalışma

3.2.2.1. Ozmotik kurutma

Kavun dilimleri ozmotik kurutma öncesi tartılarak ozmotik kurutma sistemlerine yerleştirilmiştir. Hazırlanan ozmotik çözeltinin Briksi ayarlandıktan sonra ağırlık ve hacim değerleri kaydedilmiştir.

Ozmotik kurutma işlemi 2 farklı sistemde uygulanmıştır. 1) Karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi: mekanik karıştırıcı (RW20, Janke&Kunkel, Almanya), su banyosu (Selecta, Precistern Modeli, Spain), paslanmaz çelik ozmotik çözelti haznesi (15×25×15 cm) ve örneği su banyosuna asılı halde yerleştirilmek üzere özel desteğe sahip paslanmaz çelik metal kafesten (delik aralığı 5,30 mm, 11×18×10 cm) oluşmaktadır. 2) Ultrason ozmotik kurutma işlemi: termostatlı sıcaklık ayarına sahip ultrason su banyosunda (Selecta Ultrasons H-D Model, Spain) gerçekleştirilmiştir. Ultrason su banyosunda da paslanmaz çelik ozmotik çözelti haznesi (15×24×14 cm) örneği su banyosuna asılı halde yerleştirilmek üzere özel desteğe sahip paslanmaz çelik metal kafes (delik aralığı 1,4m, 11×20×9 cm) bulunmaktadır.

Her iki sisteme eklenen briksi ayarlanmış homojen çözeltilerin başlangıç ağırlık ve hacim değerleri kaydedilmiştir. Metal kafeslere konan kavun dilimleri ozmotik çözeltilere yerleştirilmiştir. Deney sırasında ortam şartları sabit tutulmaya çalışılmıştır. Ozmotik kurutma işlemi Corzo and Gomez (2004) tarafından kavun örneklerinde ozmotik kurutma için tespit edilen optimum sıcaklık olan 38 °C de (sabit sıcaklıkta) gerçekleştirilmiştir. Buharlaşma sırasında buharlaşmadan dolayı kaybı azaltmak için sistemlerin kapakları kapatılmıştır. Denemelerde çözelti/meyve oranı yaklaşık olarak 25/1 (hacim/hacim) olarak ayarlanmıştır. Karıştırılmalı sistemlerde ise karıştırma hızı ikinci kademeye (88 rpm) ayarlanmıştır ve bu değerler deneme sırasında sabit tutulmuştur. Şekil 3.1’de karıştırılmalı ve ultrason sistemler gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Ozmotik kurutma kullanılan a) ultrason ozmotik kurutma sistemi b) karıştırılmalı ozmotik kurutma sistemi



Şekil 3.2 Ozmotik kurutma işlemi sırasında örneklerin koyulduğu metal kafes

Ozmotik kurutma işlemi farklı işlem süreleri için gerçekleştirilmiştir; 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat, 4 saat 45 dak., 5 saat 15 dak., 5 saat 45 dak., 6 saat 15 dak., 6 saat 45 dak., 7 saat 15 dak., 7 saat 45 dak., 8 saat 15 dak., 8 saat 45 dak., 9 saat 15 dak., 9 saat 45 dak .

Her işlem süresi için en az 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilen ozmotik kurutma işlemleri her 2 sistemde de eşzamanlı olarak uygulanmıştır. Ozmotik işlem süresi bittikten sonra örnekler ozmotik ortamlardan çıkarılmış ve süzildükten sonra saf suyla yıkanmış, filtre kağıdı ile yüzeyindeki fazla çözelti ve su kalıntıları uzaklaştırılmıştır. Örneklerin ağırlıkları ve boyutları ölçülmüştür.

Ozmotik kurutma sırasında gıda ürünü ve ozmotik çözelti arasında meydana gelen kütle transferi mekanizması, ağırlık kaybı (WR), su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) gibi parametrelerle takip edilmiştir. Her örnek için ağırlık ölçümleri ve nem tayini ile hesaplanan bu değerler sırasıyla Denklem (25), (26) ve (27)'de verilmiştir.

$$WR = \frac{(M_o - M_t)}{M_o} \times 100 \text{ (g/100 g taze örnek)} \quad (25)$$

$$WL = \frac{(M_o \times X_{wo} - M_t \times X_{wt})}{M_o} \times 100 \text{ (g/100 g taze örnek)} \quad (26)$$

$$SG = \frac{(M_t \times X_{KMt} - M_o \times X_{KM_o})}{M_o} \times 100 \text{ (g/100 g taze örnek)} \quad (27)$$

Denklemlerde;

M_o : Başlangıç meyve ağırlığı(g)

M_t : t anındaki meyve ağırlığı(g)

X_{wo} :ürünün başlangıç nem içeriği (g su/100 g ürün)

X_{wt} :ürünün t anındaki nem içeriği (g su/100 g ürün)

X_{KM_o} :ürünün başlangıç kuru madde içeriği (g KM/100 g ürün)

X_{KM_t} :ürünün t anındaki kuru madde içeriği (g KM/100 g ürün)

ifade etmektedir.

Kavun dilimlerinin %75, %80 ve %85 ortalama su içeriklerine ozmotik olarak kurutulması amacıyla gerekli ozmotik kurutma süreleri belirlenmiştir. Belirlenen sürelerde ozmotik olarak yarı kurutulan kavun dilimlerinin kalite özelliklerindeki değişim, su aktivitesi, toplam kuru madde, suda çözünmeyen kuru madde, D-Glikoz/D-Fruktoz, toplam şeker ve renk analizleri yapılarak kalite özelliklerindeki değişim belirlenmiştir. Kurutma işlemleri en az 3 tekkerrürlü, analizler en az 3 paralelli gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.2. Donma işlemi

%92(taze), %75, %80 ve %85 ortalama su içeriğine sahip ozmotik kurutmayla kısmi kurutulmuş kavun örneklerine donma işlemi uygulanmıştır.

Örneklerin donma süresi ve donma başlangıç sıcaklık değerleri deneysel olarak tespit edilmiştir.

Donma işlemi derin dondurucuda(Beko FSE 27323, Türkiye) -22 °C ortalama ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Donma sırasında sıcaklık ölçümü almak amacıyla T tipi Kapton ısıleş (Cole Parmer, UK) ürünün merkez noktasına yerleştirilmiştir. Merkez noktasının sıcaklığı değişimi ölçülerek 5 saniye aralıklarla veri kaydedici (9200-05 Model Digi-Sense Scanning data logger, Singapore) ile kaydedilmiştir. Kavun dilimlerinin merkez sıcaklığı -10 °C gelene kadar donma işlemine devam edilmiştir. Tüm denemeler 3 tekerrürlü gerçekleştirilmiştir.

Ozmotik kurutma işlemi sırasında ürünün boyutları zamanla değişmektedir. Bu nedenle ısı transfer katsayısının belirlenmesinde dört farklı boyuta sahip saf Aliminyum kalıp bloklar kullanılmıştır. Kullanılan alüminyum blokların boyutları sırasıyla en×boy×kalınlık olarak; 1) 21.92×44.16×14.96 mm, 2) 24.85×44.04×12.19 mm, 3)30.09×50.19×19.76 mm, 4) 40.17×149.60×20.62 mm tespit edilmiştir. Donma deneyleri ile aynı koşullarda alüminyum blok için soğuma verileri kaydedilmiştir. Isı transfer katsayısını bulmak için iç direncin ihmal edilme metodu (Lumped system method) kullanılmıştır. Bu metot, katı materyalin çok yüksek ısıl iletkenliğe sahip olduğu veya iç yüzey iletim direncinin dış yüzeydeki konveksiyon direncinden çok küçük olduğu sistemlerdir. İç iletim direnci çok düşük olduğu için tüm işlem sürelerinde katı homojen sıcaklık dağılımı vermektedir. Isı transfer katsayısının sabit olduğu varsayılır. Gıda içindeki sıcaklık değişimi yüzeyde konveksiyon nedeniyle oluşan sıcaklık değişimine eşittir (Denklemler(28)) (Geankoplis, 2003).

$$hA(T_a - T)dt = C_p \rho V dT \quad (28)$$

$$\int_{T=T_o}^{T=T} \frac{dT}{T_a - T} = \frac{hA}{c_p \rho V} \int_{t=0}^{t=t} dt \quad (29)$$

Denklem (29) integral sınır şartları için çözülerek Denklem (30) formu elde edilmektedir;

$$\frac{T-T_a}{T_o-T_a} = e^{-(hA/c_p\rho V)t} \quad (30)$$

Denklemden

- A : Katının ısı aktarım yüzey alanı (m²)
- h : Taşınım ile ısı aktarım katsayısı (W/m²K)
- T_a : Ortam sıcaklığı (°C)
- T_o : Katının başlangıç sıcaklığı (°C)
- ρ : Katının yoğunluğu (kg/m³)
- c_p : Katının özgül ısısı (J/kg.K)
- T : t=t anındaki sıcaklık (°C)
- t : Süre (s)

ifade etmektedir.

Denklem (30)'in her iki tarafının doğal logaritması alınarak doğrusallaştırılan zamana(t) karşı $\ln((T-T_a)/(T_o-T_a))$ çizilen doğrusunun eğimi $hA/c_p\rho V$ değerine eşitlenerek dondurucu içindeki soğuk hava-katı yüzey film ısı taşınım katsayısı değeri h (W/m²K) bulunmuştur.

3.2.2.3. Çözündürme işlemi

Dondurulmuş örneklerin kalite özelliklerindeki değişimin belirlenmesi amacıyla örnekler +4°C sabit sıcaklıkta soğutucu (Arçelik, Türkiye) içerisinde 18

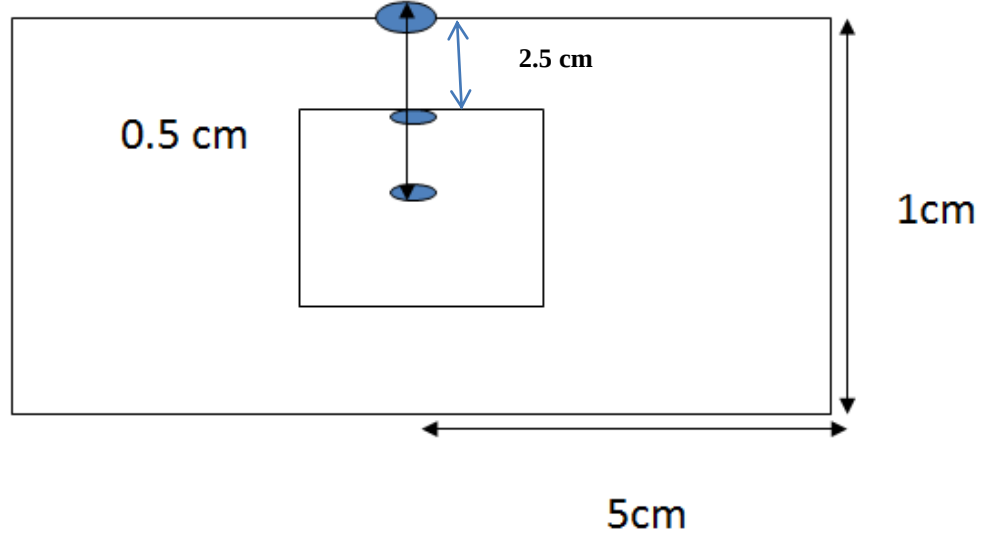
saat bekletilerek çözündürülmüştür. Çözündürme sırasında buharlaşma kayıplarının olmaması amacıyla, örnekler beher-huni düzeneğinin içerisine yerleştirilmiş filtre kağıtlarının üzerinde Al-folyo ile sarılarak muhafaza edilmiştir. Çözündürme işlemi her örnek grubu için 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır.

3.2.3. Analizler

%92 (taze) ortalama su içeriğine sahip hammadde kavun örnekleri, %85, %80 ve %75 ortalama su içeriğine sahip ozmotik kurutulmuş ve ozmotik kurutularak dondurulmuş kavun dilimlerinin işlemler sırasında bazı özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi amacıyla yapılan analizler bu bölümde verilmiştir. Tüm analizler en az 3 paralelli gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.1. Toplam kuru madde tayini

Ozmotik kurutma denemeleri sırasında örnek içi kompozisyon değişiminin belirlenmesi amacıyla en az 3 tekerrürlü olarak 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat, 4 saat 45 dak, 5 saat15 dak, 5 saat 45 dak, 6 saat 15 dak, 6 saat 45 dak, 7 saat15 dak, 7 saat 45 dak, 8 saat 15 dak, 8 saat 45 dak, 9 saat 15 dak, 9 saat 45 dak sürelerinde örneklerin üst, orta ve merkez noktası (üst nokta olarak örneğin üst yüzeyi, merkez noktası örneğin yarı kalınlığı, orta nokta olarak üst yüzey ile merkez arasındaki noktadır) olmak üzere üç farklı noktasından 3 er paralel alınan örnekler Nüve E18 Model vakumlu etüvde (Nüve E18, Türkiye) , 65°C’de 0.5 atm vakumda sabit tartıma getirilmiştir. Sonuçlar % nem ve % toplam kuru madde olarak hesaplanmıştır (Cemeroğlu,2010).



Şekil 3.3 Toplam kurutma tayini için ozmotik kurutma sonrasında örneklerin 3 farklı noktasından yapılan örnekleme

3.2.3.2. Suda çözünen kuru madde tayini

Ozmotik çözeltinin çözünür kuru madde içeriğindeki değişim dijital refraktometre (RfM 330, Bellingham+Stanley, England) ile belirlenmiştir. Ölçüm sıcaklığı olarak 20°C esas alınmış ve gerekli sıcaklık düzeltmeleri yapılmıştır. Ozmotik kurutma işlemi sırasında ozmotik çözeltinin çözünür kuru madde içeriği periyodik olarak ölçülerek, sabit kalması sağlanmıştır.

3.2.3.3. Suda çözünmeyen kuru madde tayini

%92 (taze) ortalama su içeriğine sahip hammadde kavun örnekleri, %85, %80 ve %75 su içeriğine sahip ozmotik kurutulmuş ve ozmotik kurutularak dondurulmuş kavun dilimlerinin suda çözünmeyen kuru madde değerlerinin tespit edilmesi amacıyla, suda çözünen kuru maddenin yıkanıp uzaklaştırılması ve geriye kalan suyun kurutma uygulaması ile uzaklaştırılması sağlanmıştır. Örnek bir blenderden geçirilerek homojen hale getirilmiş üzerine 200 ml ölçü çizgisine kadar sıcak su eklenip, cam bagetle iyice karıştırılmıştır. Beher ısıtıcı üzerine yerleştirilmiş ve 15-20 dakika süreyle karıştırılarak yavaş bir tempoda

kaynatılmıştır. Buharlaşan kısım sıcak su ile tamamlanmıştır. Filtre kağıdı yerleştirilmiş metal kaplar 105 °C etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuş, desikatörde soğutulmuş ve tartılmıştır. Daha sonra, filtre kağıdı Buncher hunisine yerleştirilmiştir. Kaynama süresi sonunda beher içeriği Buncher hunisinden filtre edilmiştir. Filtre kağıdı üzerinde kalan suda çözünmeyen kuru madde ile birlikte metal kapa yerleştirilmiş ve 105 °C etüvde sabit tartıma gelene kadar tutulmuştur, desikatörde soğutulduktan sonra tartılmıştır. Sonuç, suda çözünmeyen kuru madde olarak Denklem (31) ile hesaplanmıştır (Cemeroğlu, 2010).

$$\text{Suda çözünmeyen kuru madde, \%} = \frac{\text{çözünmeyen kısmın ağırlığı, g}}{\text{Yaş örnek ağırlığı, g}} 100 \quad (31)$$

Analizler en az 3 paralelli gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.4. Su Aktivitesi Tayini

%92(taze) su içeriğine sahip hammadde kavun örnekleri, %85, %80 ve %75 su içeriğine sahip ozmotik kurutulmuş ve ozmotik kurutularak dondurulmuş kavun dilimlerinin su aktivitesi değerleri su aktivitesi ölçüm cihazıyla (Testo, Almanya) belirlenmiştir. Bu amaçla örnekler küçük parçalara bölündükten sonra su aktivitesi örnek kabına yerleştirilip aletin paslanmaz çelikten yapılmış sızdırmaz haznesine yerleştirilmiştir. Hazne içindeki denge bağıl nemine ulaşıldığı değer okunmuştur. Dondurulmuş örnekler için çözündürme sonrası ölçüm alınmıştır.

3.2.3.5. Renk analizi

%92(taze) su içeriğine sahip hammadde kavun örnekleri, %85, %80 ve %75 su içeriğine sahip ozmotik kurutulmuş ve ozmotik kurutularak dondurulmuş

kavun dilimlerinin renk değerlerindeki değişim, renk ölçüm cihazı(HunterLab Colorflex CFLX 45-2, Reston, VA) kullanımı ile belirlenmiştir. Ekipman her ölçüm öncesi siyah ve beyaz levhaların kullanımı ile kalibre edilmiştir (X: 79.09, Y: 83.98, Z: 88.69 ve L: 93.44, a:-1.12, and b: 1.02). Örneklerin renk değerleri L, a, ve b değerleri cinsinden alınmıştır. Bu değerlerden “L ” parlaklığı (0’dan 100’e), “a” yeşillik/kırmızılığı (-60’dan +60’a) ve “b” ise mavilik/sarılığı (-60’dan +60’a) simgeler. Örneklerin renk değerleri Kroma (Denklem (32)), Hue açısı (Denklem (33)), ΔE (Denklem (34)), ΔC (Denklem (35)) değerleri hesaplanmıştır. Hue açısı ve Kroma değerleri hammaddeye oranlanmıştır (Heimdal et al., 1995).

$$\text{Kroma} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (32)$$

$$\text{Hue açısı} = \tan\left(\frac{b}{a}\right)^{-1} \quad (33)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (34)$$

$$\Delta C = \sqrt{(a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (35)$$

3.2.3.6. D-Glikoz/D-Fruktoz tayini

%92(taze) su içeriğine sahip hammadde kavun örnekleri, %85, %80 ve %75 su içeriğine sahip ozmotik kurutulmuş kavun dilimlerinin D-Glikoz/D-Fruktoz içerikleri spektrofotometrik yöntemle (Cemeroğlu,2007) göre tespit edilmiştir. Bir blenderda 10 g örnek homojenize edilmiştir. 100 ml balon jöjeye yaklaşık 0.5 g örnek tartılmıştır. Su eklenerek iyice karıştırıldıktan sonra balon çizgisine kadar tamamlanmış, karıştırılmış ve filtre edilmiştir. İlk yaklaşık 5 ml filtrat atılmıştır. İki spektrofometre küvetine, aşağıdaki tabloda gösterilen sıra ve miktarlarda çözelti eklenmiştir, biri kör diğeri örnek küveti olmak üzere iki küvet hazırlanıp bunların absorbans değeri okunmuştur.

Küvete sırası	eklenme	Küvete çözeltiler	eklenen	Kör (ml)	Örnek(ml)
1		Çözelti-1		1	1
2		Örnek çözelti		-	0.1
3		Çift damıtık su		2	1.9

Küvete eklenen çözeltiler iyice karıştırılmıştır. Yaklaşık 3 dak sonra küvetlerdeki çözeltilerin absorbanları (A1) okunmuştur. Daha sonra aşağıdaki gösterilen eklemeler yapılmış reaksiyon başlatılmıştır.

Küvete eklenen çözelti	Kör (ml)	Örnek(ml)
Süspansiyon-2	0.02	0.02

Küvetlerin ikisi de iyice karıştırılmıştır. Reaksiyonların sona ermesi beklenmiştir, yaklaşık 15 dak sonra küvetlerdeki çözeltilerin absorbanları (A2) okunmuştur. Daha sonra aşağıdaki ekleme yapılmıştır.

Küvete eklenen çözelti	Kör (ml)	Örnek(ml)
Süspansiyon-3	0.02	0.02

Küvetlerin içerikleri iyice karıştırılmıştır. Yaklaşık 15 dak sonra küvetlerdeki çözeltileri absorbanları (A3) okunmuştur.

Hem kör hemde örnek için A1, A2, A3 absorban değerleri olmak üzere 6 okuma yapılmıştır. Bu değerlerden yararlanılarak hem körün hem de örneğin absorban farkları ($A_2 - A_1$) hesaplanmıştır. Körün absorban farkı ($\Delta A_{\text{kör}}$) örneğin absorban farkından ($\Delta A_{\text{örnek}}$) çıkarılmış ve $\Delta A_{\text{D-glikoz}}$ (g/L) bulunmuştur.

$$\Delta A_{D-glukoz} = \Delta A_{\text{örnek}} - \Delta A_{\text{kör}} \quad (36)$$

Hem körün hem de örneğin absorbands farkları ($A_3 - A_2$) hesaplanmıştır. Körün absorbands farkı ($\Delta A_{\text{kör}}$) örneğin absorbands farkından ($\Delta A_{\text{örnek}}$) çıkarılmış ve $\Delta A_{D-fruktoz}$ (g/L) bulunmuştur.

$$\Delta A_{D-fruktoz} = \Delta A_{\text{örnek}} - \Delta A_{\text{kör}} \quad (37)$$

1 L örnek çözeltisinde g cinsinden D-glikoz değeri;

$$C = \frac{5.441}{\varepsilon} \times \Delta A_{D-glukoz, g/L} \quad (38)$$

1 L örnek çözeltisinde g cinsinden D-fruktoz değeri;

$$C = \frac{5.477}{\varepsilon} \times \Delta A_{D-fruktoz, g/L} \quad (39)$$

Kavun dilimleri için sonuç ağırlık cinsinden hesaplanarak verilmiştir

$$D - glukoz \text{ içeriği}, \frac{g}{100g} = \frac{D-glukoz, \frac{g}{L} \text{ örnek çözeltisi}}{\text{örnek ağırlığı}, \frac{g}{L} \text{ örnek çözeltisi}} 100 \quad (40)$$

$$D - fruktoz \text{ içeriği}, \frac{g}{100g} = \frac{D-fruktoz, \frac{g}{L} \text{ örnek çözeltisi}}{\text{örnek ağırlığı}, \frac{g}{L} \text{ örnek çözeltisi}} 100 \quad (41)$$

3.2.3.7. Toplam şeker tayini

%92 (taze) ortalama su içeriğine sahip hammadde kavun örnekleri, %85, %80 ve %75 ortalama su içeriğine sahip ozmotik kurutulmuş kavun dilimlerinin toplam şeker ve indirgen şeker içerikleri belirlenmiştir. Tayinin ilkesi alkali ortamda ve kaynama sıcaklığında, kompleks olarak bağlı Cu-II iyonunun, indirgen şekerler tarafından C-I-Okside indirgenmesine dayanmaktadır (Cemeroğlu, 2007). Buna göre bir alkali kompleks Cu çözeltisi, şeker içeren örnekten hazırlanmış çözeltiyle kaynama sıcaklığında titre edilmekte ve titrasyon son noktasını belirlemede redoks indikatörü olarak metilen mavisi kullanılmaktadır. Ortamdaki bakırın tümünün Cu-I-Okside indirgenmesi tamamlandıktan sonra metilen mavi indirgenerek renksiz formuna dönüşmektedir. Mavi rengin kaybolduğu an titrasyona son verilir.

Örnekler ilk önce homojenize edilmiştir. Homojenize örnek bir behere konulmuş ve tartılmıştır. Beherdeki homojenize örneğe yavaş yavaş su eklenmiş ve örnek kaybı olmayacak şekilde 250 ml'lik balon jojeye aktarılmıştır. Balon jojenin ölçü çizgisine kadar saf su ile tamamlanmıştır. İyice çalkalandıktan sonra 250 ml'lik erlene filtre edilmiştir. Daha sonra 50 ml örnek çözelti almış ve 100 ml balon jojeye aktarılmış ve ölçü çizgisine kadar saf su ile tamamlanmıştır. Örnek çözelti bürete doldurulmuştur. 5 ml Fehling A ve 5 ml Fehling B bir erlene koymuş ve karıştırılmıştır. Erlen ısıtıcının üzerine koymuştur. Kaynama başladığında 2 damla metilen mavisi eklenmiş ve titrasyona başlanmıştır. Erlenindeki çözelti mavi renkten kiremit kırmızısına döndüğünde titrasyona son verilmiştir ve sarfiyat kaydedilmiştir. Bu yapılan işlem ön titrasyondur. Ön titrasyonda yaklaşık olarak sarfiyat miktarı belirlendikten sonra esas titrasyon işlemine geçilmiştir. Esas titrasyonda ön titrasyonda belirlenen sarfiyat miktarının birkaç ml eksiği başlangıçtaki Fehling çözelti karışımına eklenmiştir ve aynı titrasyon işlemi uygulanmıştır.

Örnekteki toplam indirgen şeker miktarını bulmak için örnek çözeltisine inversiyon işlemi uygulanmıştır. Örnek çözeltiden 50 ml alınmıştır, 30 ml 1N

HCL çözeltisi eklenmiş ve karıştırılmıştır. Karışım ısıtıcının üstüne konmuş ve 2 dakika kaynatılmıştır, hızla suyun altında soğutulmuştur. 2-3 damla fenolfitaleyn eklenmiştir ve %10'luk NaOH ile pembe renk oluşana kadar titre edilmiştir. Daha sonra 100 ml balon jojeye alınmıştır, ölçü çizgisine kadar saf su ile tamamlanmıştır ve hazırlanan bu çözelti bürete konmuştur. Yukarıda anlatılan titrasyon işlemleri uygulanmıştır.

3.2.3.8. Çözünme kaybı

%92 (taze) su içeriğine sahip dondurulmuş hammadde kavun örnekleri ile %85, %80 ve %75 su içeriğine sahip ozmotik kurutularak dondurulmuş kavun dilimleri Bölüm 3.2.3.3'de anlatıldığı şekilde çözündürülmüştür. Örneklerin çözünme öncesi ve sonrası ağırlık değişimleri ve sıvı kayıpları gravimetrik olarak tespit edilmiştir. Çözünme öncesi ağırlığa göre örnekteki sıvı kaybı % çözünme kaybı olarak verilmiştir (İçier, 2005).

3.2.3.9. Kıvam ölçümü

55° Briks glikoz çözeltisi için viskozite değeri 38°C sıcaklıkta viskometre (Brookfield DV-II+Pro, USA) ile ölçülmüştür. Ölçümlerde spindle S31 kullanılmış, 60-200 rpm hız ve %10-100 Tork aralığında çalışılmıştır.

3.2.4. Kuramsal analiz

Bu bölümde ozmotik kurutma aşamasında meydana gelen kütle aktarım transferi, donma sırasında meydana gelen ısı transferinin kuramsal olarak incelenmesi amacıyla uygulanan matematiksel model prosedürü anlatılmıştır.

3.2.4.1. Kütle aktarım modeli

Bu çalışmada kavun dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında meydana gelen kütle transferinin modellenmesi için Azuara modeli, Hawkes/ Flink modeli ve Fick'in 2. Kanununun nümerik olarak çözümünün gerçekleştirildiği matematiksel model kullanılmıştır. Model öngörülleri ile deneysel veriler karşılaştırılmıştır.

3.2.4.1.1. Azura modeli

Azura et al. (1972) gıda içindeki su hareketinin kütleli denklemini Denklem (42) ile belirtmiştir.

$$WL = WLe - WS \quad (42)$$

Burada;

WL : t=t anında gıdadan ayrılan su oranı

WLe: t=∞ anında gıdadan ayrılan su oranı

WS: difüze olabilecek ama t anında gıdada kalan su oranı

Sabit çözelti konsantrasyonunda ve sıcaklıkta su kaybı sadece zaman bağlı olduğundan WL ve WS arasında Denklem (43) verilen bağıntı vardır.

$$WS = \frac{WL}{K} = \frac{WL}{S_1} \quad (43)$$

Burada ;

K : Su kaybını gösteren parametre ($K=f(\text{süre, çözelti başlangıç konsantrasyonu})$)

S_1 : Su kaybı ile ilgili sabit parametre (h^{-1})

t : süre(h)

K, S_1 ve t arasında arasındaki ilişkinin 0. dereceden bir reaksiyon olduğu düşünülerek doğrusal olduğu varsayılmaktadır. Denklem (42) ve (43) birlikte yazılıp düzenlenerek Denklem (5) elde edilmektedir.

$$WL = \frac{S_1 \times t \times (WL_e)}{1 + S_1 \times t} \quad (5)$$

Denklem(5) doğrusallaştırılırsa;

$$\frac{t}{WL} = \frac{1}{S_1 WL_e} + \frac{t}{WL_e} \quad (44)$$

t 'ye karşı t/WL çiziminin elde edilen doğrunun eğimi ve kesim noktasından sırasıyla denge su kaybı, WL_e ve model parametre sabiti, S_1 değeri bulunabilir.

Aynı şekilde, kuru madde kazanımı için denklem şu şekilde yazılabilir.

$$SG = \frac{S_2 \times t \times (SG_e)}{1 + t \times S_2} \quad (6)$$

$$\frac{t}{SG} = \frac{1}{S_2 SG_e} + \frac{t}{SG_e} \quad (45)$$

t' 'ye karşı t/SG çiziminin elde edilen doğrunun eğimi ve kesim noktasından sırasıyla denge su kaybı, SG_e ve model parametre sabiti, S_2 değeri bulunabilir.

3.2.4.1.2. Hawkes/ Flink modeli

Hawkes and Flink (1978), kütle transfer hızını ozmotik kurutma sonundaki toplam kuru madde içeriğinin başlangıç kuru madde içeriğine oranı (NSC) olarak ifade ettikleri bir değişken ile zamanın karekökü arasındaki doğrunun eğiminden hesaplamışlardır. Bu modele göre,

$$NSC = \frac{XKM_t}{XKM_o} = k \times (t)^{1/2} + b \quad (46)$$

k : Hız parametresi değeri($h^{-1/2}$)

b : $t=0$ iken NSC değerinin 1'e eşit olmasından kaynaklanan, elde edilen doğru denkleminde ait kesim değeridir..

3.2.4.1.3. Nümerik model

Ozmotik kurutma sırasındaki kütle transferi kararsız hal Fick difüzyon denklemi ile incelenebilir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

Burada;

C: katıdaki bileşen konsantrasyonu (kg/ 100 kg çözelti)

D: difüzyon katsayısı(m²/s)

t:süre(s)

x: difüzyon uzaklığı(m)

Fick denkleminin çözümünde kullanılan sınır koşulları şunlardır:

$$C(x, t) = C_i \quad t = 0 \quad (47)$$

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial x} = 0 \quad x = 0 \quad (48)$$

$$-D \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} = k_c (C(x, t) - C_o) \quad x = x \quad (49)$$

Burada ;

C_o : ortamdaki bileşen konsantrasyonu

k_c : taşınım ile kütle transfer katsayısı(m/s)

Karasız hal Fick difüzyon denklemi meyveden ayrılan su miktarı ve meyveye difüze olan çözünür madde miktarlarının zamanın fonksiyonu olarak hesaplanmasından geliştirilmiştir. Model geliştirilmesinde aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

1. Kavun dilimleri kalınlığı 2x olan sonsuz levhadır.
2. Kavun dilimlerindeki başlangıç su içeriği ve çözünür katı içeriği homojendir.

3. Görünür difüzyon katsayısı sabittir (konsantrasyona bağlı değişmemektedir).
4. Sistem izotermaldir.
5. Kavun dilimlerinden ozmotik çözeltiye su difüzyonu ve ozmotik çözeltiden kavun dilimlerine çözünür madde difüzyonu olan karşıt akım kütle transferidir. Diğer kütle transferleri ihmal edilmektedir.
6. Kavun dilimlerindeki büzülme ihmal edilmektedir.
7. Sistemde kimyasal reaksiyon olmamaktadır.

Bu durumda karasız hal 2. Fick denklemi su için:

$$\frac{\partial C^W}{\partial t} = D^W \frac{\partial^2 C^W}{\partial x^2} \quad (50)$$

Çözünür madde için:

$$\frac{\partial C^S}{\partial t} = D^S \frac{\partial^2 C^S}{\partial x^2} \quad (51)$$

şeklinde yazılabilir. s ve w üst indisleri sırasıyla çözünür maddeyi ve suyu ifade eder. C ise konsantrasyonu temsil edip kg su/kg çözelti ve kg çözünür kuru madde/ kg çözelti olarak verilmiştir. Denklem (50) ve Denklem (51) kapalı örtülü işlev (İmplicit) sonlu farklar yöntemi ile nümerik olarak çözülmüştür. Nümerik kod Matlab paket programında (MATLAB, vers. 7.12.0, 2011) yazılmıştır.

Sonsuz plakalar için Fick'in 2. kanunun analitik çözümünün su kaybı ve katı kazanımı uyarlaması aşağıdaki denklemler (3) ve (4) ile gösterilmiştir (Crank, 1975):

$$1 - \frac{WL}{WL_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \times \alpha \times (1 + \alpha)}{1 + \alpha + \alpha^2 \times q_n^2} \exp \left[-q_n^2 \frac{D_{ew} \times t}{x^2} \right] \quad (3)$$

$$1 - \frac{SG}{SG_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \times \alpha \times (1 + \alpha)}{1 + \alpha + \alpha^2 \times q_n^2} \exp \left[-q_n^2 \frac{D_{ew} \times t}{x^2} \right] \quad (4)$$

Denklem (3) ve (4) doğrusallaştırılabilir;

$$\ln \left(1 - \frac{WL}{WL_e} \right) = \ln \left(\frac{2 \times \alpha \times (1 + \alpha)}{1 + \alpha + \alpha^2 \times q_n^2} \right) - q_n^2 \frac{D_{ew} \times t}{x^2} \quad (52)$$

$$\ln \left(1 - \frac{SG}{SG_e} \right) = \ln \left(\frac{2 \times \alpha \times (1 + \alpha)}{1 + \alpha + \alpha^2 \times q_n^2} \right) - q_n^2 \frac{D_{es} \times t}{x^2} \quad (53)$$

Denklem (52) için $\ln(1-WL/WL_e)$ 'e karşılık t grafiği çizilmiş eğiminden D_{ew} değeri hesaplanmıştır. Denklem (53) için $\ln(1-SG/SG_e)$ 'e karşılık t grafiği çizilmiş eğiminden D_{es} değeri hesaplanmıştır.

k_c değeri yatay plaka üzerinden kütle aktarımı denklemleri ile hesaplanmıştır (Geankoplis, 2003).

$$Re = \frac{L v \rho}{\mu} \quad (54)$$

Reynold sayısı hesaplandıktan sonra uygun denklem seçilir.

$$J_D = 0.99 Re^{-0.5} \quad (55)$$

$$J_D = \frac{k'_c}{v} Sc^{2/3} \quad (56)$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} \quad (57)$$

Denklem (54) ve (57)'de kullanılan viskozite değeri 55 °Briks glikoz çöeltisi için 38 °C sıcaklıkta viskometre (Brookfield DV-II+Pro, USA) ile tespit edilmiştir (Bkz. 3.2.3.9).

3.2.4.2. Isı aktarım modeli

Donma sırasında faz değişimi içeren kararsız hal ısı transferi meydana gelmektedir. Denklem (21)'de tek boyutlu plaka şeklinde gıdalar için kararsız hal Fourier'ın ısı iletim denklemi gösterilmektedir.

$$\rho(T)C_p(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (21)$$

Kararsız hal Fourier denklemi kapalı örtülü işlev (İmplicit) sonlu farklar yöntemi ile nümerik olarak çözülmüştür. Nümerik kod Matlab paket programında (MATLAB 7.12.0, 2011) yazılmıştır. Kararsız hal ısı iletim denkleminin çözümünde Ilıcalı ve İçier (2010)'da kullanılan başlangıç ve sınır koşulları dikkate alınmaktadır.

Başlangıç ve Sınır koşulları Denklem (22), (23) ve (24)'de verilmektedir.

$$t \leq 0 \quad T = T_{in} \quad 0 \leq x \leq l \quad (22)$$

$$t \geq 0 \quad -k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=l} = h(T - T_a) \quad x = l \quad (23)$$

$$t \geq 0 \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad x = 0 \quad (24)$$

Gıdaların donma noktasının altında ve üstünde termo-fiziksel özelliklerin değişmektedir. (Fikiin ve Fikiin, 1999). Saf komponentlerin termo-fiziksel özellikleri Choi ve Okos(1986) dan alınmıştır.

Gıdaların termo-fiziksel özelliklerin hesaplanması

Donmamış gıda için yoğunluk;

$$\frac{1}{\rho_{un}} = \frac{1-X_w}{\rho_d} + \frac{X_w}{\rho_w} \quad (58)$$

Başlangıç donma noktası altında yoğunluk sıcaklıkla değişmektedir. ρ_d ve ρ_w sabit ve sırasıyla karbonhidrat ve suyun yoğunluğunun 20 °C’de 1424.6 ve 997.6 kg/m³ eşit olduğu varsayılmıştır.

$$\rho(T) = \left(\frac{1-\phi}{\rho_d} + \frac{\phi(1-\omega(T))}{\rho_w} + \frac{\phi\omega(T)}{\rho_i} \right)^{-1} \quad (59)$$

ρ_i 0 °C’de buzun yoğunluğu 921 kg/m³.

$$\omega(T) = \frac{1.105}{1+0.7318/\ln(T_f-T+1)} \quad (60)$$

$\omega(T)$ donmuş buz fraksiyonudur.

Donmamış gıdanın ısı iletkenliği;

$$k_{un} = \rho_{un} \left((1 - \phi) \frac{k_d}{\rho_d} + \phi \frac{k_w}{\rho_w} \right) \quad (61)$$

k_d ve k_w sabit ve sırasıyla karbonhidrat ve suyun yoğunluğunun 20 °C’de 0.2039 ve 0.6012 kg/m³ eşit olduğu varsayılmıştır.

Donma noktası altında;

$$k_f(T) = (k_{un} + 0.7\phi\omega(T)(k_i - k_w)) \quad (62)$$

k_i 0°C’de buzun ısı iletkenliği 2.25 W/mK dir

Donmamış gıdanın ısı kapasitesi;

$$C_{p_{un}} = 2.805\phi + 1.382 \quad (63)$$

Donma noktası altında görünür ısı kapasite,

$$C_{p_f} = 1.382 - \phi \left[\frac{2.286}{1 + (0.7318)^{\frac{1}{\ln(T_f - T + 1)}}} - 2.805 \right] - \phi L \frac{d\omega(T)}{dT} \quad (64)$$

$$L \frac{d\omega(T)}{dT} = -264.231(T_f - T + 1)^{-1} [\ln(T_f - T + 1) + 0.7138]^{-2} \quad (65)$$

denklemleri ile hesaplatılmıştır.

3.2.5. Enerji verimliliğinin incelenmesi

Karıştırmalı ozmotik kurutma işlemi, ultrason ozmotik kurutma işlemi ve farklı sistemle kurutulmuş kavun dilimlerinin donma işlemlerinin enerji verimlilikleri belirlenmiştir. Bu amaçla aşağıdaki veriler kullanılmıştır;

1. Ozmotik işlem için gerekli güç (W)
2. Ozmotik sistemdeki karıştırıcı için gerekli güç (W)
3. Ozmotik işlem sırasında uzaklaşan su miktarı (g)
4. Donma sırasındaki gerekli güç (W)
5. Donma sırasında gıdadan uzaklaşan toplam güç (ΔH) (W)

$$\text{Özgöl nem çekme oranı} = \frac{MW}{Q_o} \quad (66)$$

$$n_1(\text{Donma Verimliliği}) = \frac{\Delta H}{Q_D} \quad (67)$$

$$n_2(\text{Genel Verimlilik}) = \frac{\Delta H}{Q_D + Q_o} \quad (68)$$

Bu denklemlerde

Q_o = Ozmotik kurutma için gerekli enerji ve karıştırma için gerekli güç toplamı (W)

MW = Kurutmada uzaklaştırılan su miktarı (g)

Q_D = Donma için gerekli güç (W)

ΔH = Donma sırasında gıdadan uzaklaşan toplam güç (W)

ifade etmektedir.

3.2.6. İstatistiksel değerlendirme

Bulgular, SPSS 16.0 istatistik paket programı (SPSS, 2007) kullanılarak varyans analizi (ANOVA) ve t testine tabi tutulmuş ve elde edilen veriler Duncan ve Tukey çoklu karşılaştırma testine göre %95 güven aralığında değerlendirilmiştir. Model öngörülerinin deneysel verilere uyumluluğu regresyon katsayısı (r^2), % hata karelerin ortalama karekökü (RMSE) ve indirgenmiş ki-kare (χ^2 , reduced ki-square) değerlerine göre belirlenmiştir (Erbay ve İçier, 2008).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_c - V_e)^2} \quad (69)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum (V_c - V_e)^2}{N - n} \quad (70)$$

$$\% \text{ Hata} = 100 \frac{(V_c - V_e)}{V_c} \quad (71)$$

denklemlerde;

V_e : deneysel değer,

V_c : hesaplanan değer'dir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Materyal olarak kullanılan Kırkağaç kavunun bazı özellikleri Çizelge 4.1. verilmektedir.

Çizelge 4.1 Kırkağaç kavunun bazı özelliklerin tespit edilmesi

Yapılan analizler	Sonuçlar
Su içeriği (%)	92.04±2.35
Suda çözünmeyen kurumadde (%)	1.11±0.11
Su aktivitesi	0.943±0.012
D Glikoz (g/100g)	1.56±0.54
D Fruktöz (g/100g)	2.21±0.52
Toplam şeker içeriği (g/100g)	7.58±0.18
Renk parametreleri	
L değeri	53.82±4.27
a değeri	-2.45±0.85
b değeri	9.11±2.09
Hue açısı	9.38±2.07
Kroma değeri	-74.42±5.14

4.1. Ozmotik Kurutma

Ozmotik kurutma aşamasında öncelikle karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminde ve ultrason ozmotik kurutma sisteminde 1 saat ile 9 saat 45 dak işlem süresi aralığında yarı kurutulan kavun dilimlerinin periyodik zaman dilimlerinde belirlenen ağırlık kaybı, su kaybı, katı kazanımı ve pozisyona bağlı su içeriğindeki değişimler değerlendirilerek %85, %80 ve %75 su içeriklerine yarı kurutma süreleri belirlenmiştir. Bu aşamanın ikinci kısmında ise belirlenen yarı kurutma sürelerinde istenilen su içeriklerine yarı kurutulan kavun dilimlerinin bazı kalite özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Bulgular alt başlıklar halinde tartışılmıştır.

4.1.1. Ozmotik kurutma aşamasında fiziksel değişimler

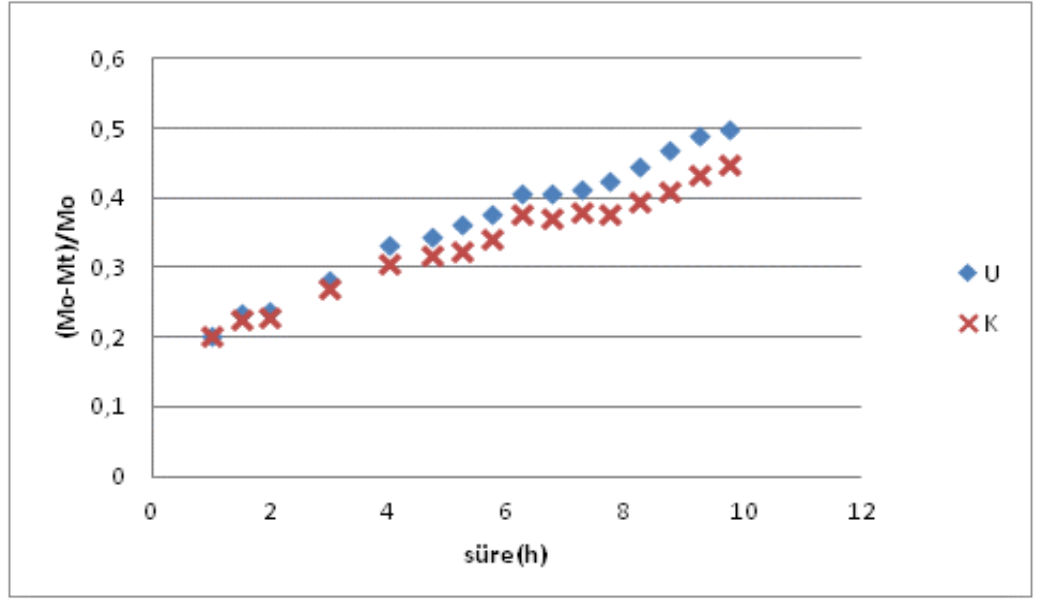
Ozmotik kurutma aşamasında oluşan fiziksel değişimler üründe oluşan değişimler ve çözeltide oluşan değişimler olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.

4.1.1.1. Üründe oluşan değişimler

Ozmotik kurutma işlemi süresince ürünün kütlesinde, hacminde, boyutlarında değişimler meydana gelmiştir.

4.1.1.1.1. Kütlesel değişim

Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde yarı kurutulan kavun dilimlerinin kütlesinin ozmotik işlem süresine değişimi Şekil 4.1.'de verilmiştir. Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi ozmotik kurutma işlemi uygulanan karıştırmalı ve ultrason sistemlerde ozmotik kurutma uygulama süresinin artmasıyla kavun dilimlerindeki kütle kaybı artmaktadır. Ozmotik kurutmanın başlangıç periyotlarında ultrason ve karıştırma sistemlerindeki kütle kaybının birbirine benzer olduğu, ancak kurutma işlem süresi artıkça ultrason sistemdeki kütle kaybının karıştırma sistemine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ozmotik kurutma sırasında her iki sistemde de kütle kaybındaki artış hızının ilk 4 saatte daha yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.1 Karıştırma ve ultrason ozmotik kurutma işlemlerinde zamana bağlı kavun dilimlerinde meydana gelen % kütle kaybı(U: ultrason sistem, K: karıştırma sistem)

Uzun süre uygulanan ultrason ozmotik kurutma işleminde sıcaklık artışı olmakta, sabit sıcaklıkta ozmotik kurutma işlemi gerçekleştirilmesi zorlaşmaktadır. Kontrol edilmeyen sıcaklık artışı (maksimum 5 °C) karıştırma sistemlere göre daha fazla ağırlık kaybı meydana gelmesine neden olduğu düşünülmektedir. Ultrason ozmotik kurutma sisteminde 9 saat 45 dak sonunda ağırlık kaybı yaklaşık %50 olarak tespit edilmiştir.

Ozmotik kurutma işlemlerinde başlangıç gıda kuruma hızı yüksektir. Fakat 1-2 saat sonar hız önemli oranda azalmaktadır. Ozmotik kurutma işleminin dengeye ulaşması günler almaktadır. Başlangıç ağırlığının %50 azalması işlem zamanı yaklaşık 4-6 saattir (Brennan, 2006).

Literatürde de benzer şekilde ozmotik işlem süresinin artmasıyla kütle kaybının arttırıldığı belirtilmektedir (Sultanoğlu, 2000). Gürbüz ve Evranuz'un (2006) balkabağının ozmotik çözeltide kurutulması üzerine yaptıkları çalışmaya göre kütle kaybındaki en yüksek artış ilk 30 dakikada olmaktadır. Topdaş vd. (2011)'de ozmotik çözelti olarak sakaroz kullanarak gerçekleştirilen elma dilimlerinin normal ozmotik kurutma ve ultrason yardımıyla ozmotik kurutulması

işlemlerinin her ikisinde de zamana bağlı olarak kütle kaybının arttığı belirlenmiştir.

İspir (2006) kayısıların ozmotik kurutulmasında durgun ve karıştırmalı sistemleri fruktoz, glikoz ve sakkaroz çözeltileri için karşılaştırmıştır. Ağırlık kaybındaki artışın sadece sakkaroz çözeltisi için önemli oranda olduğu, diğer çözeltiler için önemli bir fark oluşturmadığı rapor edilmiştir.

Topdaş vd (2011) elma örneklerine 35 °Briks ve 70 °Briks sakaroz çözeltilerinde sadece ozmotik kurutma ve ultrason işlemi ile ozmotik kurutmayı kombinasyonu eş zamanlı olarak uygulamıştır. Ağırlık kaybının tüm ozmotik kurutma işlemlerinde zamana bağlı olarak arttığını gözlemlemiştir. Elde edilen sonuçlara göre 40 dak sonra tüm süre ve briks değerlerinde ultrason uygulamasının ağırlık azalmasını önemli derecede hızlandığını belirlemiştir. 70 °Briks'lik sakaroz çözeltisi kullanılarak 20 dak uygulanan ultrason destekli ozmotik kurutma işleminin, normal ozmotik kurutma işlemine göre daha az ağırlık kaybına neden olduğunu gözlemlemiştir. Ancak ilerleyen ozmotik kurutma sürelerinde ultrasonun etkisinin ortaya çıktığı belirtilmiştir.

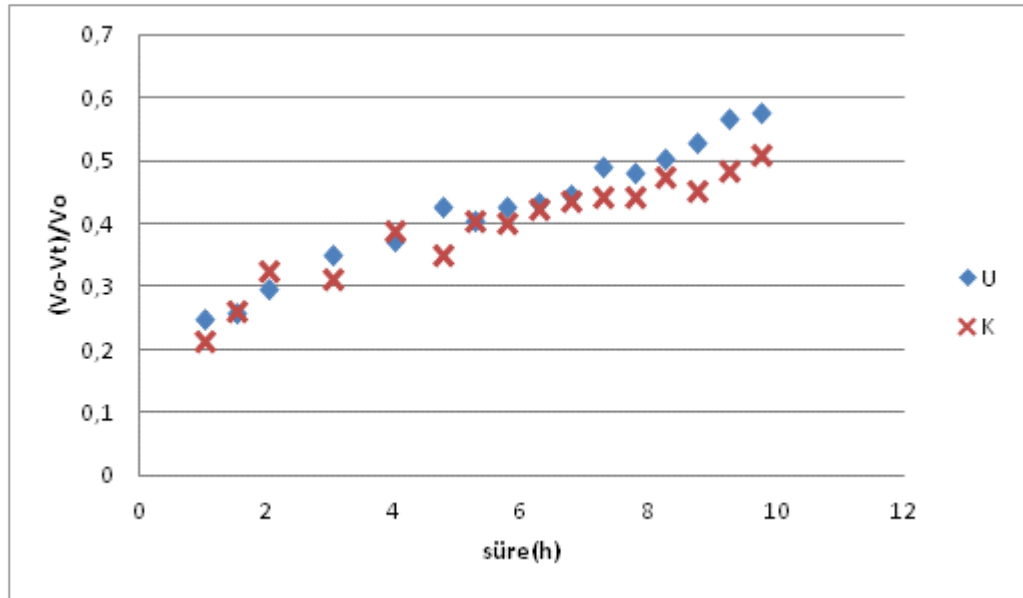
Elma dilimlerinin ozmotik kurutulmasıyla ilgili yapılan bir başka çalışmada kütle kaybının sıcaklık ve çözelti konsantrasyonu ile arttığı sonucuna varılmıştır. Sıcaklıktaki her 10 °C artışın veya şeker çözeltisi konsantrasyonundaki her 10 Briks artışın %5 ağırlık kaybı artışına neden olduğu rapor edilmiştir (Conway et al., 1983)

Ek-1'de kavun dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında kütle oran değişimi grafiğinden de görüldüğü gibi karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma işlemlerinde ilk 4 saat periyodunda hızla kütle oranı azalmakta devam eden yaklaşık 3 saat süresince sabit kalmakta 7 saat 15 dak işlem süresinden sonra ise ultrason ozmotik kurutma sisteminde kurutulan örnekler için kütle oranı hızla

azalmaktadır. Başka bir deyişle, ultrason ozmotik kurutma işlemi ile daha düşük kütleli ürün elde edilmektedir

4.1.1.1.2. Hacimsel değişim

Kavun dilimlerinin ozmotik kurutma işlemi sırasında ozmotik işlem süresinin artmasıyla ürünlerde meydana gelen hacim kaybı da artmaktadır. Özellikle uzun işlem sürelerinde ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde hacim kaybı daha fazladır.



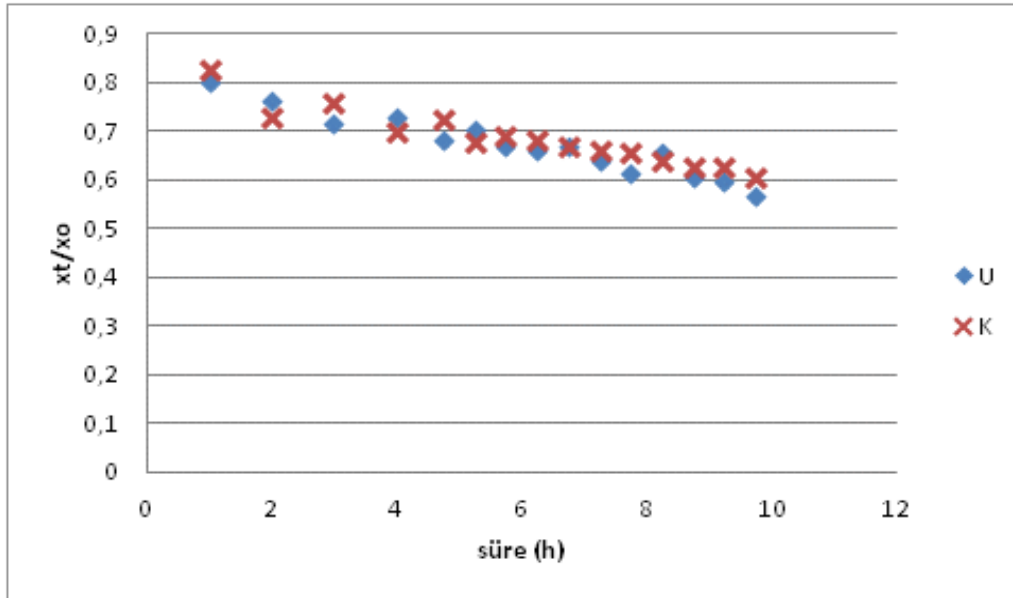
Şekil 4.2. Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde zamana bağlı kavun dilimlerinde meydana gelen % hacim değişimleri(U: ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem)

Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde 9 saat 45 dak işlem süresi sonunda yaklaşık olarak % 60 oranında hacimsel azalma meydana gelmektedir. 7 saat 45 dak ozmotik kurutma zamanına kadar ultrasonik ve karıştırmalı sistemlerde yaklaşık olarak benzer hacimsel azalmanın olduğu, ancak bu süreden sonra devam eden kurutma işlemi sırasında ultrason ozmotik kurutma sistemlerindeki hacimsel azalmanın karıştırmalı sistemlere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Ek 2’de hacimsel oran grafiğinde görüldüğü gibi ultrason ozmotik kurutma sisteminde herhangi t zamanındaki kavun dilimlerin hacminin başlangıç kavun dilimlerinin hacmine oranının yaklaşık 0,42’ye düştüğü, bu değerin karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde yaklaşık 0,48 olduğu belirlenmiştir. Başka bir deyişle ultrason kurutma sisteminde yarı kurutulan örneğin hacminin daha düşük olduğu söylenebilir.

4.1.1.1.3 En, boy, kalınlık değişimleri

Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde kurutma sırasında örneklerin boyutları ölçülerek kurutma işlemi öncesi boyutlarına oranlanmıştır. Ultrason ve karıştırmalı sistemlerde en, boy kalınlık değerleri değişimi yaklaşık olarak homojen meydana gelmektedir. Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde zamanı bağlı kalınlık değişim Şekil 4.3’de, boy ve en oranlarındaki değişim ise sırasıyla Ek-3 ve Ek-4’de verilmiştir.



Şekil 4.3 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde zamana bağlı % kalınlık değişimi (U: ultrason sistemi, K: karıştırmalı sistem)

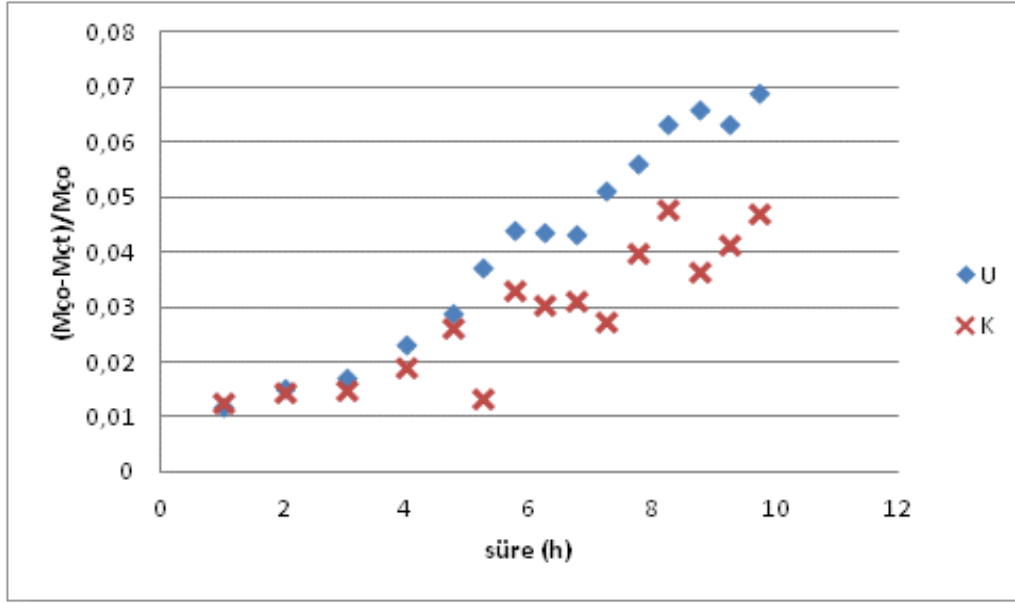
Her iki sistemde de en belirgin boyut değişiminin kalınlık oranlarında olduğu görülmektedir. Her iki sistemde de en ve boy oranlarının en düşük

değerinin 0,90'a ulaştığı görülmektedir. Sistemlerde kalınlık oranının ise 9 saat 45 dak işlem süresiyle yaklaşık olarak 0,50'e ulaştığı saptanmıştır. Ultrason ve karıştırmalı sistemlerde boyut değişim hızlarının birbirine benzer olduğu tespit edilmiştir. İlk 4 saat işlem süresi periyodunda en, boy ve kalınlık oranlarındaki azalmanın devam eden işlem süresi periyotlarına kıyasla daha fazla olduğu belirlenmiştir.

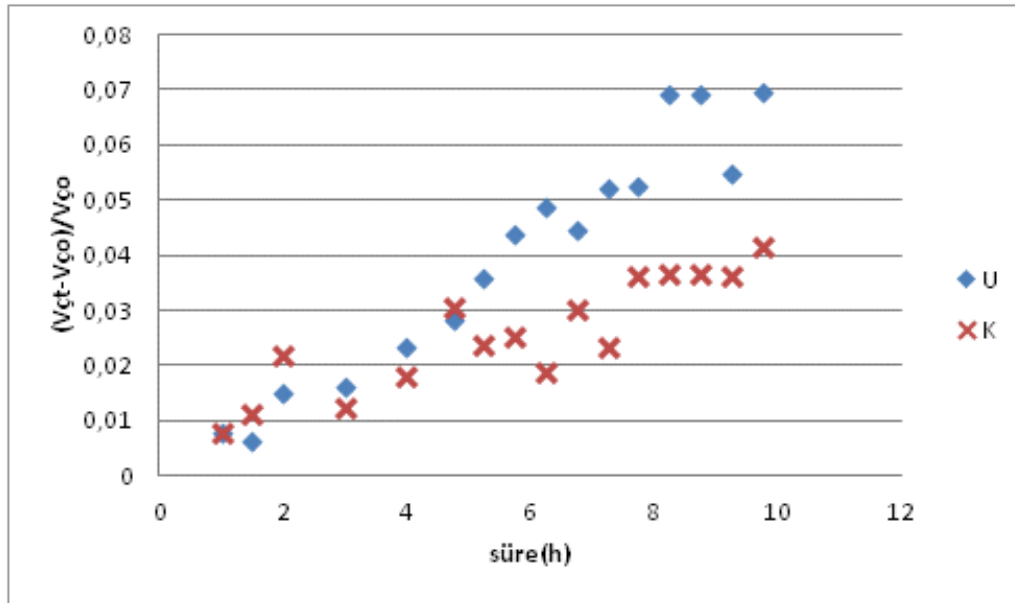
Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemleri için Ek-5, Ek-6 ve Ek-7 de gösterilen ozmotik kurutma sırasındaki ürünlerde en, boy, kalınlık azalmaları grafiklerinde görüldüğü gibi kurutma sırasında en fazla azalma ürünün kalınlığında meydana gelmektedir. Ürün kalınlığındaki azalma yüzdeleri açısından incelendiğinde, ultrason ve karıştırmalı sistemler için kalınlıktaki azalma değerlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Ürün kalınlığındaki azalma değeri ultrason sistem için 9 saat 45 dakika sonunda yaklaşık % 45 karıştırmalı sistem için ise yaklaşık % 40 olarak saptanmıştır.

4.1.1.2. Çözeltide oluşan değişimler

Eğer ozmotik kurutma işlem süresince çözelti kütle ve hacmi sabit tutulmasaydı çözeltide meydana gelen % kütle ve hacim kayıpları sırasıyla Şekil 4.4'de ve Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde zamana bağlı ozmotik çözelti % kütle kaybının değişimi(U: ultrason sistemi, K: karıştırılmalı sistemi)



Şekil 4.5 Karıştırılmalı ve ultrason kurutma sistemlerinde zamana bağlı ozmotik çözeltideki % hacim azalmasının değişimi(U: ultrason sistemi, K: karıştırılmalı sistemi)

Ozmotik kurutma sırasında karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerin ikisinde de çözelti kütle ve hacim kayıpları ilk 4 saat birbirine yakın değerler göstermektedir. İlerleyen kurutma sürelerinde ise ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde çözelti kütle ve hacminde daha fazla azalma meydana

gelmiştir. Bunun nedeni olarak ozmotik kurutma sırasında sıcaklığın 38 °C’de sabit kalmasının sağlanması amacıyla sistemin kapağının açık bırakılması ve sistemdeki sıcaklık artışı nedeniyle buharlaşmanın gerçekleşme ihtimali gösterilebilir. Ek olarak ölçüm sırasındaki kayıplar ve ölçüm hataları da sonuçları etkilemiş olabilir.

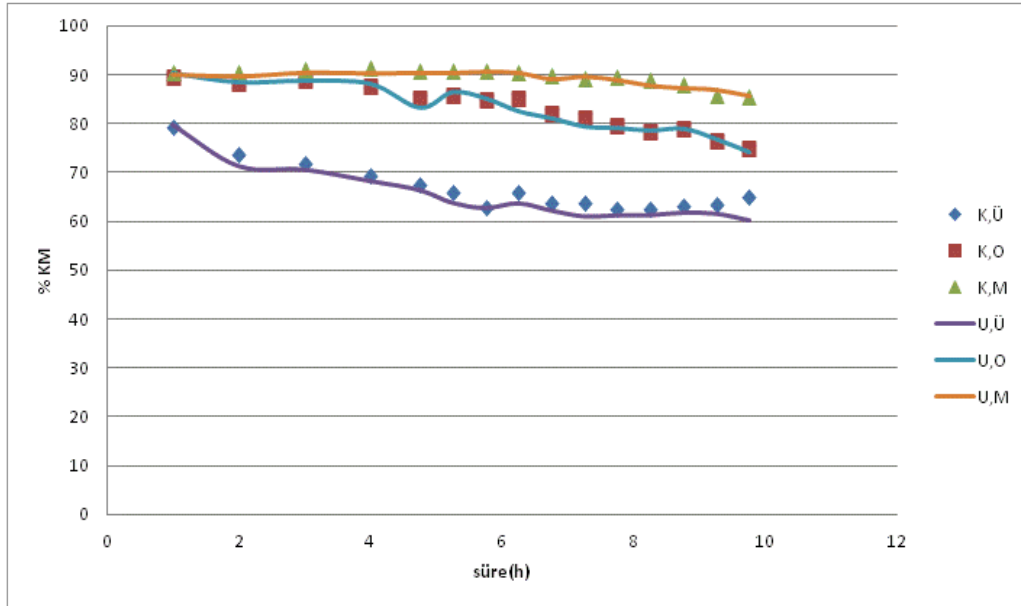
Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde işlem süresince çözelti % kütle ve hacim değişimleri birbirine benzerlik göstermektedir. Başka bir deyişle çözelti kütlesi ve hacmindeki değişimler birbirine benzer olduğu için çözelti konsantrasyonunda önemli bir değişim olmamaktadır.

4.1.2. Kavun dilimlerinin su içeriği değişimi

Hücresel yapıdaki katı madde ozmotik bir çözelti içine daldırıldığında, maddenin ilk tabakasında bulunan hücreler ozmotik çözeltiyle temas eder ve ozmotik çözelti ve hücreler arasındaki konsantrasyon farkı nedeniyle oluşan sürüklenme kuvveti nedeniyle su kaybeder ve hücreler büzülmeye başlar. İlk tabakadaki hücrelerin su kaybetmesinden sonra hücrenin ilk tabakası ve ikinci tabakası arasında suyun kimyasal potansiyel farkı meydana gelir. İkinci tabakadaki hücrelerden ilk tabakadaki hücrelere su geçişi olur ve hücreler büzülür. Kütle transferi olayı ve dokudaki büzülme olayı, ozmotik kurutma işlemi boyunca maddenin yüzeyinden merkezine doğru ilerler. Başka bir deyişle, ozmotik kurutma denge durumuna ulaşana kadar ürünün yüzeyinden merkeze doğru su içeriği farklılık göstermektedir (İspir, 2006).

Ozmotik kurutma işlemi sırasında ürünündeki su içeriği zamana ve konuma göre değişmektedir. Ürünün su içeriği ozmotik kurutma süresi artmasıyla azalmaktadır. Ürünün yüzeyinden merkez noktasına doğru gidildikçe ürünün su içeriği artmaktadır (Rastogi and Raghavarao, 2004).

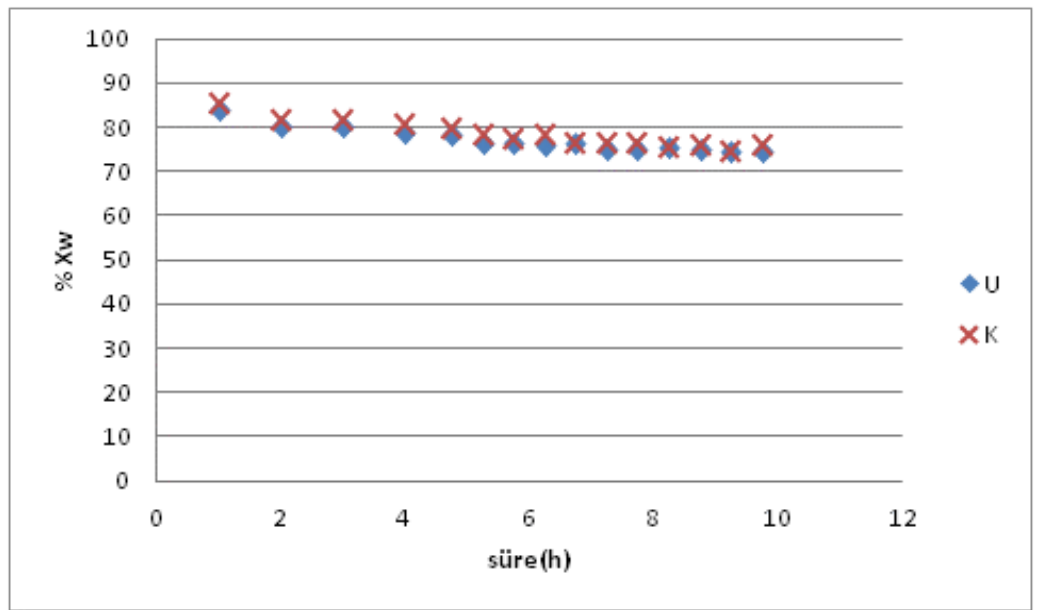
Bu çalışmada farklı sürelerde uygulanan ozmotik kurutma işlemi sonrasında elde edilen ürünün üst, orta ve merkez olmak üzere üç farklı noktasından örnek alınıp, bu noktalardaki % su içeriği belirlenmiştir. Üst nokta olarak bahsedilen ürünün yüzeyi, orta nokta ürün yüzeyi ile yarı kalınlığının ortası, merkez noktası ise ürünün yarı kalınlığındaki noktadır. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi ürünün su içeriği ilk 4 saat işlem süresi boyunca orta nokta ve merkez noktaları için yaklaşık olarak aynı değerde olmasına karşın üst yüzey için ürünün su içeriği değeri farklıdır. Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemleri için üst, orta ve merkez noktalarına ait su içeriklerinin dağılımının benzer olduğu elde edilmiştir. İlk 4 saat orta ve merkez noktaların su içeriğindeki değişim hızının daha düşük olmasına karşın üst noktanın su içeriği azalma hızının yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni ozmotik çözelti ile temas halinde olan yüzey kısmında kütle aktarımının taşınım ile kütle aktarımı nedeniyle hızla gerçekleşmesidir. 4 saat işlem süresinden sonra ise ozmotik çözelti ile yüzey arasındaki aktarım sürüklenme kuvvetinin azalması nedeniyle üst noktanın su içeriğinde ise önemli bir değişim olmamaktadır.



Şekil 4.6. Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde zamana ve konuma bağlı ürünün nem içeriği değişimi (- Ultrason sistem üst nokta, -ultrason sistem orta nokta, - ultrason sistem merkez nokta, ♦ karıştırmalı sistem üst nokta, ■ karıştırmalı sistem orta nokta, ▲ karıştırmalı sistem merkez nokta)

9saat 45 dak sonrasında örneğin orta noktasının su içeriği %70'e düşürülebilmektedir. Ancak ürünün merkez noktasının su içeriği yaklaşık olarak %85'e düşürülebilmektedir (Şekil 4.6).

Benzer şekilde, Rastogi and Raghavarao (2004) patates dilimlerinin ozmotik kurutulmasında ozmotik kurutma zamanının artması sonucu gıdanın merkezden yüzeye doğru su içeriğinin azaldığını, katı içeriğinin arttığını belirtmiştir.



Şekil 4.7 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde zamana bağlı ürünlerdeki su içeriği değişimi (U: ultrason sistemi, K: karıştırmalı sistem)

Yapılan kurumadde analizleri sonuçlarına göre kavun hammaddelerin ortalama su içeriği ise yaklaşık olarak %89-94 arasında değişmektedir.

Başlangıç su içeriği ortalama %92 olan hammaddenin nem içeriği 9 saat 45 dakika uygulanan ozmotik kurutma işlemi sonucunda yaklaşık olarak %75 su içeriği değerine düşürülebilmektedir. Şekil 4.7' de ürünün üç farklı noktasından örnekleme yapılarak tespit edilen su içeriklerin aritmetik ortalaması verilmiştir. Örneklerin alınması esnasında kullanılan kavun dilimlerinin kalınlığının ince

olması nedeniyle, orta noktadan örnek alınırken merkeze yada yüzeye yakın örnek alınmasından kaynaklanan hatalar olduğu düşünülmektedir. Bu amaçla sonuçların orta noktadan alınan değerleri dikkate almadan değerlendirilmesi açısından Ek-8’de orta noktadaki su içeriği katılmadan üst ve merkez noktaların aritmetik ortalamasıyla hesaplanan ürünün su içeriğinin, Ek-9 da hacimsel ortalama ile hesaplanan ürünün su içeriğinin işlem süresine göre değişimi de incelenmiştir.

4.1.3. Ozmotik kurutma kütle aktarım hızının incelenmesi

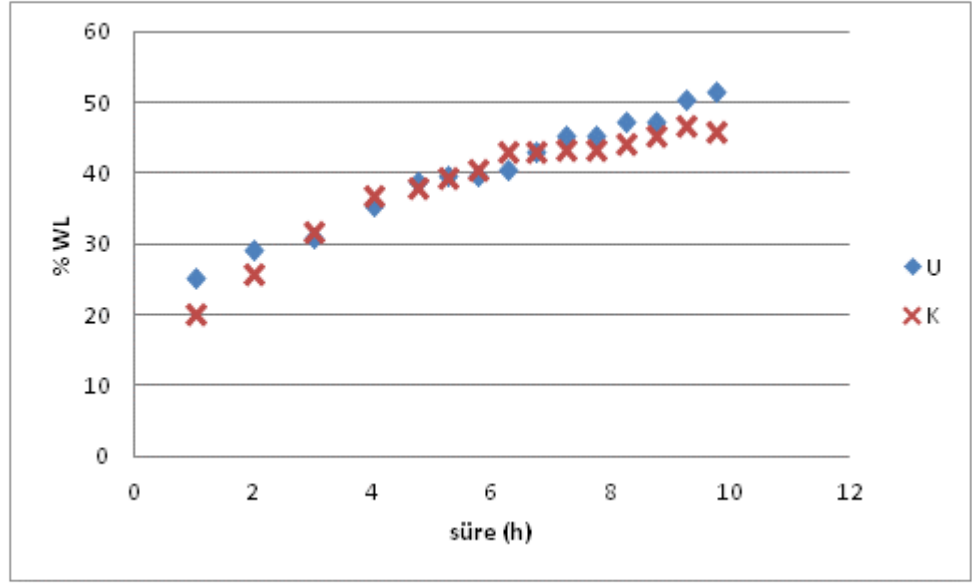
Kütle transferi kinetiği, genellikle su kaybı, katı ya da çözünen katı kazanımı ve ağırlık azalması terimleri ile tanımlanmaktadır. Ozmotik kurutma esnasında işlem süresince su kaybı, kuru madde kazanımı ve ağırlık kaybı değişimleri alt başlıklar halinde tartışılmıştır.

4.1.3.1. Ağırlık kaybı

Ozmotik kurutma işlem süresi boyunca ürünlerde meydana gelen ağırlık kayıpları kütsel değişimler (Bkz. 4.1.1.1) bölümünde anlatılmıştır.

4.1.3.2. Su kaybı

Ultrason ve karıştırmalı ozmotik sistemlerde uygulanan ozmotik kurutma işlemleri sırasında kavun dilimlerinde meydana gelen su kayıpları Şekil 4.8’da verilmiştir.



Şekil 4.8 Karıştırılmalı ve ultrason kurutma sistemlerinde uygulanan ozmotik kurutma işlemleri sırasında süreye zamana bağlı su kaybı (% WL) değişimi (U: ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem)

Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde ürünün su kaybı ozmotik kurutma işlem süresi arttıkça benzer şekilde artmıştır. 9 saat 45 dak sonrasında ultrason kurutma sisteminde gerçekleştirilen ozmotik kurutma işlemi için su kaybı değerinin %51, karıştırılmalı ozmotik sisteminde ise %45 olduğu saptanmıştır. Su kaybındaki en hızlı artış ilk 4 saat işlem süresi içinde meydana geldiği belirlenmiştir. Benzer şekilde Conway et al (1983) elma dilimlerin ozmotik kurutulmasında çalışılan tüm kurutma koşullarında, yaklaşık olarak ilk 1 saatte hızlı su kaybı olduğu, bu süreden sonra suyun elma dilimlerinden daha yavaş difüze olduğu sonucuna varmıştır. Sultanoğlu (2000)'da ozmotik kurutulan elmaların su kaybındaki en önemli artışın ilk 2 saat içinde meydana geldiği, 8 saat işlem süresi sonrasında su kaybının 4. saate göre çok az arttığı rapor edilmiştir.

Lo Scalzo et al. (2001) Mirado çeşidi kavunların su kaybının Rony çeşidi kavunlardan daha fazla olduğunu kavun örneklerin 6 saat ozmotik kurutulma işlem süresi boyunca su kaybının arttığını belirtmiştir.

Deng and Zhao (2008) 15 mm yükseklik ve çapa sahip elma dilimleri 3/1 çözelti/meyve oranına % 60 (w/w) yüksek fruktoz mısır şurubu kullanılarak oda sıcaklığında 3 saat süreli PV(pulsed vakum,15 Mpa 5 dak vakum, 5 dak atmosfer basıncı, 5 dak tekrar vakum, 165 dak oda sıcaklığında), karıştırma (55 rpm) ve ultrason(50/60 Hz, 185 W) ozmotik kurutma uygulanmıştır. 3 saat için karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminde su kaybı yaklaşık %45.7 olarak tespit edilmiştir. Sırasıyla ultrason ve PV ozmotik kurutma sistemlerinde su kaybı karıştırmalı sisteme göre % 11.6 v3 % 6.9 daha fazla bulunduğunu belirtmiştir. Deng and Zhao (2008) bahsedildiği gibi Tawio et al. (2003)'nın ileklerle 2h saat ultrasonic sistemlerle ozmotik kurutulması sonucu su kayıplarında % 10-43 arasında artış meydana geldiğini tespit etmiştir. Deng and Zhao (2008) bahsedildiği gibi Simal et al. (1998) 70 °briks sakaroz çözeltilinde 40-70 °C arasında elma dilimlerin 3 saat işlem süresinde karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemleri üzerinde çalışması sonucu uştrason sistemlerinde karıştırmalı sisteme göre %14-27 artış olduğunu elde etmiştir.

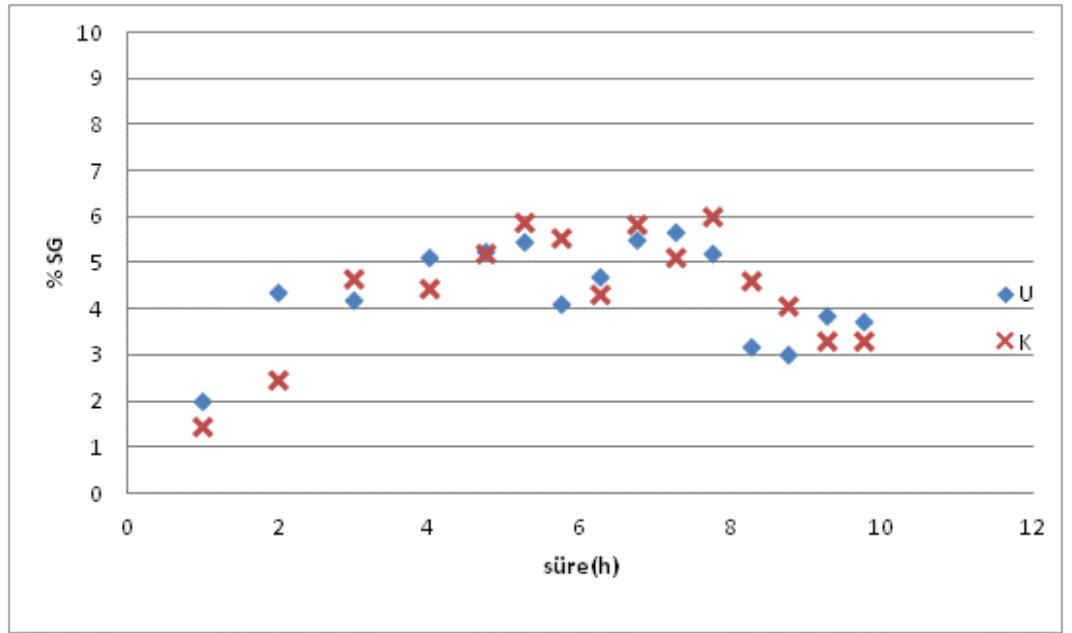
Fernandes et al. (2009) ananas örneklerinin havayla kurutulması işlemi öncesinde uyguladıkları ultrason ozmotik kurutma kombinasyonu kurtma ön işlem sırasında, ozmotik çözeltinin çözülebilir katı içeriğinin ve ozmotik işlem süresinin (10, 20, 30 dak) artması ile su kaybının arttığını ifade etmişlerdir.

Topdaş vd. (2011) elma dilimlerinin ultrason destekli ozmotik kurutulması işlemi sırasında işlem süresindeki artışın (20, 40, 60, 80 ve 100 dak) ultrason su kaybını önemli derecede artırdığını gözlemlemişlerdir. Ozmotik kurutma ile birlikte su kaybının artmasını meyvede ultrason sonucu oluşan mikroskobik kanallardaki artıştan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ultrason hücrelerin birbirine tutunmasını zayıflatmakta, geniş hücre boşlukları oluşturmakta ve hücre duvarında çatlaklar gibi değişikliklere neden olarak su kaybını artırmaktadır.

Ek-10'da karıştırmalı ve ultrason kurutma sistemleri için orta nokta değeri kullanılmadan belirlenen su içeriği değeri kullanılarak elde edilen su kaybı

değişimi verilmektedir. Uygulanan her iki ozmotik kurutma sistemi için ilk 3 saat yaklaşık olarak aynı değerler elde edilmektedir. Bu süre sonrasında ultrason sistemde gerçekleştirilen ozmotik kurutma işlemi ile daha fazla su kaybı meydana gelmektedir.

4.1.3.3. Katı kazanımı



Şekil 4.9 Karıştırma ve ultrason ozmotik sistemler için zamana bağlı katı kazanımı (%SG) (U: ultrason sistem, K: karıştırma sistem)

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi karıştırma ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma işlemi ile ilk 4 saat işlem periyodunda katı kazanımında belirgin bir artış meydana gelmektedir. İlerleyen işlem süresince, 5 saat 15 dak ve 6 saat 45 dak arasında katı kazanım aynı düzeyde kalmaktadır, 7 saat 45 dak sonrasında katı kazanım değerleri düşerek kurutma işleminin başlangıç periyodundaki değerlere kadar gerilemektedir. Katı kazanım değişimi artışının ultrason sistem ve karıştırma sistemde benzer karakter gösterdiği belirlenmiştir.

Katı kazanım değerleri arasındaki değişim işlem süresince hücre zarlarının yarı geçirgen özelliğinin değişmesinden, işlem süresinin uzun olması nedeniyle difüzyona doygunluk, gıdadan çözeltiye suyun transferi ve çözeltiden gıdaya çözünür madde transferinin eş molar kütle difüzyonu olmamasından kaynaklanabilir. Ayrıca ultrason ozmotik kurutma sisteminde karıştırılmalı ozmotik kurutma sistemine göre daha fazla sapma olmasının nedeni işlem sırasında ultrason sistemin ısınması nedeniyle işlem sıcaklığının sabit tutulmasının daha az kontrollü olmasından kaynaklanabilir.

Ozmotik kurutma işlemi süresince çözünür katı difüzyonu başlıca su içinde çözünen maddenin çözünebilirliğine, iyonik durumuna ve moleküler boyutuna bağlıdır (Rahman and Lamb, 1990).

Lo Scalzo et al. (2001) kavun örneklerin ozmotik kurutulması ile ilgili çalışmalarında tüm kavun çeşitlerinde 6 saatte kadar katı kazanımının arttığı sonucuna varmıştır. Bu davranışın rapor edilen diğer meyve örneklerinden farklı olduğu, ozmotik kurutmada genel olarak 4 saatten sonra katı kazanımının sabit olduğu ifade edilmiştir.

Deng and Zhao (2008) elmalarda yaptıkları çalışmalarda PV ozmotik kurutma(% 3.02) ultrason ozmotik kurutmadan(%2.70), ultrason ozmotik kurutma karıştırma ozmotik kurutmadan (% 2.49) daha fazla katı kazanımı vardır.

Fernandes et al. (2009) örneklerin havayla kurutulması işlemi öncesinde uyguladıkları ozmotik kombinasyonu kurutma ön işlemi sırasında katı kazanımının ozmotik çözeltinin katı içeriğinin artmasıyla arttığı ifade edilmiştir. 35 °Briks ozmotik çözelti kullanıldığında şeker kazanımının işlem süresi ile artmadığı, 70 °Briks ozmotik çözelti kullanıldığında ise 10 dak ve 20 dak ozmotik kurutma süreleri arasında katı kazanımının yaklaşık olarak 3 kat arttığı rapor edilmiştir.

Topdaş vd (2011) elma dilimlerinin ultrason destekli ozmotik kurutulması işlemi sırasında (35° ve 70° Briks sakkaroz çözeltileri) şeker kazanımının işlem süresi arttıkça artış gösterdiğini ifade etmiştir.

Ek-11’de karıştırmalı ve ultrason kurutma sistemleri için orta nokta değeri kullanılmadan belirlenen su içeriği değeri kullanılarak elde edilen katı kazanımı grafiği verilmektedir. Uygulanan her iki ozmotik kurutma sistemi ilk 6 saat yaklaşık aynı değerler elde edilmesine karşın bu süreden sonra karıştırmalı sistemler için katı kazanım değerleri daha fazladır.

4.1.4. Su aktivitesi değerlerindeki değişim

Gıdanın buharlaşma basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranına o gıdanın su aktivitesi denir. Su aktivitesi gıdanın kimyasal, mikrobiyolojik ya da biyokimyasal bozulmalarla kalitesini kaybetmesi üzerine etkili olan önemli bir faktördür. Su; reaksiyona giren bileşikler ve reaksiyon sonucu oluşan ürünler için bir çözücü olarak, hidroliz reaksiyonlarında reaktan olarak, enzimatik esmerleşme reaksiyonlarında bir reaksiyon ürünü olarak ve bazı bileşiklerin katalitik etkisini engelleyici bir unsur olarak önemli fonksiyonlara sahip bir maddedir. Bu nedenle su aktivitesinin gıdalarda oluşan reaksiyonlar üzerine etkisi oldukça karmaşıktır (Cemeroğlu ve Özkan, 2009).

Ozmotik kurutma sırasında çözeltilerden gıdaya geçen bazı çözünen maddeler gıdaların su aktivitesininin düşmesinde etkili olurken son ürünün tadı üzerine ters etkiye sahiptir (Brennan, 2006).

Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde kavun örneklerinin ozmotik kurutma sonrası farklı su içerikleri için su aktivitesindeki değişim Çizelge 4.2’de verilmiştir. Başlangıçta ortalama 0,965 olan su aktivitesi değerlerinin ozmotik kurutma işlemi sonrası en düşük 0,931 değerine düştüğü belirlenmiştir

Çizelge 4.2 Kavun örneklerinin karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutulmaları sırasında su aktivitesi (a_w) değişimi

Su içeriği(%)	a_w	
	Ultrason ozmotik kurutma	Karıştırmalı ozmotik kurutma
92	0,965±0,001 ^c	0,964±0,001 ^c
85	0,947±0,002 ^b	0,950±0,008 ^b
80	0,938±0,007 ^a	0,941±0,001 ^a
75	0,946±0,003 ^{a,b}	0,943±0,000 ^{a,b}

a,b,c satırlarsaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı ifade etmektedir.

Ozmotik kurutma sistemleri için su içeriğinin su aktivitesi (a_w) üzerine etkisine bakıldığında genel olarak uygulanan yöntemden bağımsız olarak su içeriği değişiminin istatistiksel olarak etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Tukey karşılaştırma testi sonucunda %92 (hammadde) su içeriğine sahip örneklerin diğer örneklerden farklı olduğu ($p<0,05$) belirlenmiştir. Ayrıca %80 su içeriğine sahip örneklerin su aktivitesi %85 su içeriğine sahip örneklerinkinden farklı olduğu bulgulanmıştır ($p<0,05$). Her bir farklı su içeriğine sahip örnek için ultrason ve karıştırmalı sistemlerinin su aktivitesi üzerine etkisinin olup olmadığının test edilmesi için yapılan t testi sonuçlarına göre, ozmotik sırasında uygulama yönteminin istatistiksel olarak önemli düzeyde farklı olmadığı ($p>0,05$) saptanmıştır. ANOVA, t test sonuçları Ek-12’de verilmektedir.

Stajanovic and Silva (2007) yaban mersinin karıştırmalı ozmotik sistemde 12 saat işlem süresi, ultrason ozmotik kurutma sisteminde 2h işlem süresi, durgun sistemde 3 saat işlem süresinde 55 °Briks sakaroz çözeltisi ile çalışmıştır. Hammaddenin su aktivitesi değeri 0.97, 12 saat işlem görmüş karıştırmalı ozmotik kurutma sistemin işlem gören ürünün su aktivitesi değeri 0.93, 3h işlem görmüş ultrason ozmotik kurutma işlemine maruz kalmış ürünün su aktivite değeri 0.94 ve 3 saat ozmotik kurutma işlemine maruz kalmış ürünün su aktivitesi değerini 0.95 olarak tespit etmiştir.

Deng ve Zhao (2008) elma dilimlerin su aktivitesi değerlerini hammaddeninkini 0.981 ± 0.003 , karıştırmalı ozmotik kurutmalı sistemde 0.957 ± 0.002 , PV ozmotik kurutma sisteminde 0.952 ± 0.002 , ultrasonik ozmotik kurutma sisteminde 0.948 ± 0.001 olarak tespit etmiştir.

Kıroğlu (2010)'da hurmaların ozmotik kurutması konusunda yaptığı çalışmasında hurmaların su aktivitesi değerlerinin ozmotik kurutma boyunca azalma gösterdiğini tespit etmiştir. 270 ile 360 dakika ozmotik kurutma işlem sürelerinde su aktivitesi değerleri aralarındaki farklılığın önemsiz olduğunu belirtmiştir. Başlangıçta 0,977 su aktivitesine sahip hurma örneklerinin su aktivitesi değerlerinin 360 dakika sonunda durgun ortamda 0,958-0,974, çalkalamalı ortamda ise 0,947-0,973 arasında değiştiğini belirtmiştir. Ozmotik çözeltinin konsantrasyonun artmasının ve sistemin çalkalanmasının su aktivitesi düşürdüğünü belirtmiştir.

Ozmotik kurutma sonrası meyve sebzelerin su aktivitesi 0.90-0.95 aralığında olduğu için ek bir işlem gerektirmektedir.

Silva et al. (2012) 12 saat işlem süresinde 27 °C'de, 65 °Brikste 1:4, 1:10, 1:15 meyve/çözelti oranlarında ozmotik kurutmada çalışmışlardır. Kirazın başlangıç su içeriğini 0.989 ± 0.001 , 1:4 meyve/çözelti oranlı ozmotik kurutma sonrası ürün 0.980 ± 0.001 , 1:10 meyve/çözelti oranlı ozmotik kurutma sonrası ürün 0.979 ± 0.001 , 1:15 meyve/çözelti oranlı ozmotik kurutma sonrası ürün 0.974 ± 0.001 olarak tespit edilmişlerdir.

4.1.5. Toplam şeker miktarındaki değişim

Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma işlemleri sırasında su içeriği değerinin azalmasıyla toplam şeker ve indirgen şeker miktarının da istatistiksel olarak önemli düzeyde artışı belirlenmiştir ($p < 0.05$). Çizelge 4.3'e göre hammadde kavun dilimlerinin toplam

şeker içeriği ortalama 7,55 g/100g olmasına rağmen, % 75 su içeriğine sahip yarı kurutulmuş kavun dilimlerinde ortalama 25 g/ 100 g ulaştığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, kavun dilimlerinin ilgili su içeriklerinde kuru madde kısmının büyük bir oranının şekerlerden oluştuğunu teyit etmektedir.

Karıştırmalı ozmotik kurutma işleminde genel olarak toplam şeker içeriğinin daha yüksek değerlere ulaşabildiği dikkati çekmektedir. Ancak ultrason ve karıştırmalı sistemlerinin her bir su içeriğinde yarı kurutulmuş kavun dilimlerinin toplam şeker ve indirgen şeker miktarı üzerine etkisinin olup olmadığı amacıyla yapılan t testi sonuçlarına göre, ozmotik işlem uygulama yönteminin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olmadığı ($p>0,05$) bulunmuştur. ANOVA ve t test sonuçları Ek-13’de verilmektedir.

Çizelge 4.3 Kavun örneklerinin karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutulmaları sırasında toplam şeker ve indirgen şeker değişimi

% Su İçeriği	U		K	
	Toplam Şeker(g/100g)	İndirgen Şeker(g/100 g)	Toplam Şeker (g/100 g)	İndirgen Şeker(g/100 g)
92	7,55±0,19 ^a	4,11±0,10 ^a	7,55±0,19 ^a	4,11±0,10 ^a
85	14,92±0,41 ^b	11,64±0,26 ^b	15,73±0,46 ^b	11,96±0,52 ^b
80	19,72±0,52 ^c	16,05±0,20 ^c	20,05±0,18 ^c	16,35±0,52 ^c
75	24,38±0,43 ^d	20,70±0,47 ^d	25,44±0,55 ^d	21,66±0,75 ^d

a,b,c satırlarsaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı ifade etmektedir.

(U: ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem)

4.1.6. D-Glikoz ve D-Fruktoz içeriğindeki değişim

Ozmotik kurutma işlemi sırasında kullanılan glikoz şurubunun yüksek maltozlu içeriğe sahip olması ve karışık şeker bileşiminden oluşması nedeniyle ozmotik işlem sırasında kütle aktarımı karakterinin belirlenmesi açısından örnek içine geçen D-Glikoz ve D-Fruktoz dağılımının incelenmesini amaçlanmıştır. Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinin ikisinde de su içeriği

azalmasıyla D-Glikoz ve D- Fruktoz değerlerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde artış olduğu saptanmıştır ($p<0,05$).

Tukey karşılaştırma testi sonuçlarına göre ultrason ozmotik sisteminde farklı su içeriğine yarı kurutulmuş örneklerdeki D-Glikoz ve D-Fruktoz değerlerin birbirinden istatistiksel olarak farklı olduğu ($p<0,05$) belirlenmiştir. Ancak karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminde %85 ve %80 su içeriğine yarı kurutulmuş örneklerdeki D-Glikoz değerlerinin ve %80 ve %75 su içeriğine yarı kurutulmuş örneklerdeki D-Fruktoz değerlerine istatistiksel olarak benzer ($p>0,05$) olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.4 Kavun örneklerinin karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutulmaları sırasında D-glikoz ve D-fruktoz değişimi

% Su İçeriği	U		K	
	D-Glikoz (g/100g)	D-Fruktoz (g/100g)	D-Glikoz (g/100g)	D-Fruktoz (g/100g)
92	2,08±0,56 ^a	2,02±0,531 ^a	2,08±0,56 ^a	2,02±0,53 ^a
85	6,17±0,06 ^b	5,89±1,76 ^b	6,24±1,86 ^b	5,93±2,01 ^b
80	9,11±1,78 ^c	8,28±0,10 ^c	8,00±1,82 ^b	9,12±1,56 ^c
75	11,37±0,64 ^d	11,76±0,70 ^d	12,49±1,60 ^c	11,22±0,59 ^c

a,b,c satırlarsaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı ifade etmektedir.

(U: ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem)

Ozmotik kurutma sırasında ultrason ve karıştırmalı uygulama çeşidinin D-Glikoz ve D-Fruktoz aktarımı üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde farklı olmadığı ($p>0,05$) bulunmuştur.

Genel olarak bakıldığında, ozmotik kurutma sırasında çözeltiden kavun dilimlerine D-Glikoz ve D-Fruktoz kütle aktarım karakterinin benzer olduğu sonucuna varılmıştır. ANOVA ve t-testi sonuçları Ek-14'de verilmiştir.

4.1.7. Renk özelliklerindeki değişim

Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma işlemleri sırasında kavun dilimlerinin L, a, b, Kroma, ΔC , ΔE ve Hue açısı gibi renk özelliklerindeki değişimler Çizelge 4.5 ve 4.6’de verilmiştir. Hammadde kavun örneklerinin L, a, b, Kroma ve Hue açısı değerlerinde de farklılık olabildiği saptandığı için, her bir su içeriğine sahip kavun diliminin renk özelliği ilgili hammaddesinin renk değerlerine oranlanarak verilmiştir.

Çizelge 4.5 Kavun örneklerinin ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutulmaları sırasında renk özelliklerindeki değişim

U							
Su içeriği (%)	L/L ₀	a/a ₀	b/b ₀	Kroma/Kroma _H	ΔC	ΔE	Hue/Hue _H
75	0,799±0,084 ^a	1,387±0,389 ^b	1,100±0,058 ^c	1,111±0,071 ^c	1,159±0,800 ^a	12,098±4,867 ^a	0,974±,0366 ^b
80	0,841±0,001 ^a	0,807±0,020 ^a	0,746±0,003 ^a	0,750±0,000 ^a	2,350±0,034 ^b	9,005±0,077 ^a	0,985±0,006 ^b
85	0,884±0,002 ^a	1,537±0,018 ^b	0,961±0,013 ^b	0,983±0,010 ^b	1,053±0,033 ^a	6,556±0,143 ^a	0,928±0,005 ^a

a,b,c satırlarsaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı ifade etmektedir.

Çizelge 4.6 Kavun örneklerinin karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutulmaları sırasında renk özelliklerindeki değişimi

K							
Su içeriği (%)	L/L ₀	a/a ₀	b/b ₀	Kroma/Kroma _H	ΔC	ΔE	Hue/Hue _H
75	0,841±0,033 ^a	1,285±0,163 ^c	1,077±0,107 ^b	1,086±0,093 ^b	1,235±0,468 ^a	9,690±1,711 ^b	0,981±0,034 ^a
80	0,835±0,003 ^a	0,733±0,010 ^a	0,729±0,006 ^a	0,725±0,006 ^a	2,543±0,061 ^b	9,450±0,186 ^b	1,000±0,000 ^a
85	0,884±0,002 ^b	0,979±0,012 ^b	0,833±0,004 ^a	0,840±0,000 ^a	1,690±0,071 ^a	6,688±0,164 ^a	0,980±0,000 ^a

a,b,c satırlarsaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı ifade etmektedir.

Karıştırmalı ozmotik kurutma işlemi sırasında kavun dilimlerinin su içeriğindeki değişimin Hue açısı değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu ($p>0,05$) bulunmuştur. Ultrason ozmotik kurutma işlemi sırasında ise kavun dilimlerinin su içeriğindeki değişimin L ve ΔE değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı ($p>0,05$) bulunmuştur. ANOVA ve t testi sonuçları Ek-15’de verilmiştir.

Tukey testi sonucunda, karıştırmalı ozmotik kurutma işlemi ile elde edilen % 85 su içeriğine sahip örneklerin L, ΔE değerlerinin diğer su içeriklerine sahip örneklerinkinden farklı ($p<0,05$), % 75 su içeriğine sahip örneklerin b ve Kroma değerlerinin diğerlerinden farklı ($p<0,05$), a değerlerinin tüm örneklerde birbirlerinden farklı ($p<0,05$) tespit edilmiştir (Çizelge 4.6). Bir başka deyişle, karıştırmalı ozmotik kurutma sırasında yeşillik değerleri su içeriğine bağlı olarak değişmektedir. En düşük su içerikli kavun dilimlerinde sarılık değerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde değişim meydana geldiği sonucuna varılabilir.

Tukey testi sonucunda, ultrason ozmotik kurutma işlemi ile elde edilen %80 su içeriğine sahip örneklerin a ve ΔC değerinin diğerlerinden farklı ($p<0,05$), % 85 su içeriğine sahip örneklerin hue açısı değerlerinin diğerlerinden farklı ($p<0,05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.5). Bir başka deyişle, ultrason sistemde ozmotik kurutma işlemi sırasında özellikle sarılık renk değerinin istatistiksel olarak önemli düzeyde değişim gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Stojanovic and Silva (2007) yaban mersinin renk değişimi üzerine yüksek sıcaklık, yüksek şeker konsantrasyonun ve oksijen kullanılabilirliğinin büyük etki olduğunu tespit etmiştir. Ozmotik kurutmanın L, a, Hue açısı, kroma ve ΔE değerine önemli etkisi olmadığını tespit etmişlerdir.

Deng and Zhao (2008) elma dilimleri ile yaptıkları çalışmada su içeriğinin ve ozmotik kurutma yönteminin kroma ve hue açısı üzerine etkisinin olmadığını tespit etmiştir. Fakat ozmotik kurutulmuş örneklerin L değeri 77,55'den 80,01'e kadar arttığını tespit etmişlerdir. Büyük L değerlerinde esmerleşme renk bozulama derecelerinin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni; ozmotik kurutmanın esmerleşme reaksiyonları için polifenol aktivitesini azaltması, bazı pigmentlerin kaybolması, eklenen maddeler olmaktadır.

Kıroğlu (2010), hurmaların ozmotik kurutulması üzerine yaptığı çalışmada ozmoz süresi, çözelti konsantrasyonu ve bileşimi ile sistemin durgun veya hareketli olmasının L değerinin düşmesinde etkili bulunduğunu belirtmiştir. Ozmotik kurutmanın gerçekleştirildiği sıcaklık değerinin L değeri üzerine etkili olmadığı ifade edilmiştir. Çözelti konsantrasyonu, bileşimi ve ozmotik kurutma sıcaklığının a ve b değerleri üzerine etkili olduğunu açıklanmıştır. Sakkaroz çözeltisi ile kurutulan hurmanın en düşük Hue açısı değerine sahip olduğunu onu glikoz ve maltozun takip ettiğini belirtmiştir.

4.2. Donma İşlemi

4.2.1. Donma süresi ve donma başlangıç sıcaklığı

%92(taze), %85, %80 ve %75 su içeriğine sahip kavun örneklerinin dondurulması sırasında elde edilen donma başlangıç sıcaklığı ve donma süreleri Çizelge 4.7'da verilmiştir.

Çizelge 4.7 Farklı su içeriğine sahip kavun örneklerinin donma zamanı ve donma başlangıç sıcaklıkları

% Su içeriği		U		K	
		T _f (°C)	t _f (s)	T _f (°C)	t _f (s)
92	1. Paralel	-1,1	5370	-1,1	5370
92	2. Paralel	-1,1	5020	-1,1	5020
92	3. Paralel	-1	4940	-1	4940
	Ort±Std	-1,07±0,06 ^b	5110±228,7 ^b	-1,07±0,06 ^b	5110±228,7 ^b
85	1. Paralel	-1,2	2605	-1,3	2370
85	2. Paralel	-1,2	2330	-1,3	2660
85	3. Paralel	-1,3	2980	-1,2	2700
	Ort±Std	-1,27±0,06 ^b	2576,7±180,1 ^a	-1,23±0,05774 ^b	2638,3±326,3 ^a
80	1. Paralel	-1,2	2665	-1,7	1465
80	2. Paralel	-1,5	1960	-1,1	1780
80	3. Paralel	-1,5	1980	-1,5	2480
	Ort±Std	-1,43±0,30 ^b	1908,3±519,5 ^a	-1,40±0,2 ^b	2201,7±401,4 ^a
75	1. Paralel	-2,5	1960	-2,2	2485
75	2. Paralel	-2,5	2700	-2	2075
75	3. Paralel	-3	2510	-2,8	1460
	Ort±Std	-2,33±0,42 ^a	2006,7±515,9 ^a	-2,67±0,3 ^a	2390±384,3 ^a

a,b,c satırlarsaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı ifade etmektedir.

(U: ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem)

Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma işlemleri ile yarı kurutulmuş kavun dilimlerinin su içeriğinin genel olarak donma zamanı ve başlangıç donma sıcaklığı üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu ($p<0,05$) sonucuna varılmıştır. Tukey testi sonucu, %75 su içeriğine sahip yarı kurutulmuş kavun dilimlerinin donma başlangıç sıcaklığının, % 92 su içeriğine sahip hammadde kavun dilimlerinin ise donma süresinin diğer su içeriğine sahip örneklerinkinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklı olduğu ($p<0,05$) bulgulanmıştır. Ancak ozmotik kurutma yönteminin donma süresi ve donma başlangıç sıcaklığı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı ($p>0,05$) tespit edilmiştir.

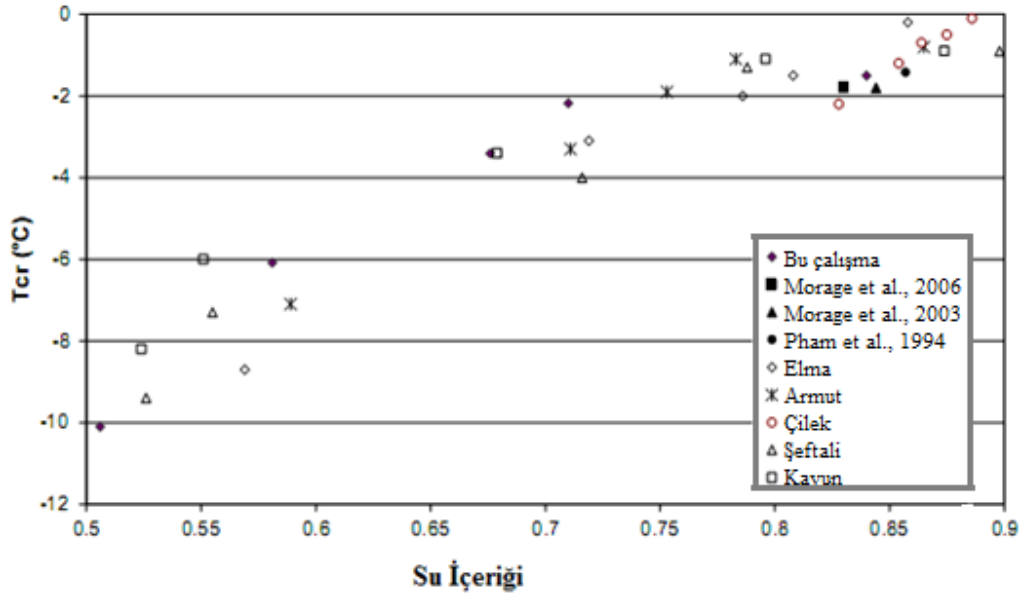
Ultrason ve karıştırılmalı ozmotik kurutma işlemi uygulanması sonucu %85, %80 ve %75 ortalama su içeren kısmi kurutulmuş kavun dilimleri ve %92 ortalama su içerikli taze kavun dilimlerin dondurulma sürelerinin ve donma başlangıç sıcaklıklarının farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Çizelge 4.7'den de görüldüğü gibi, ürünün su içeriğinin azalması ile donma başlangıç sıcaklıkları

düşmektedir. % 92 su içeriğine sahip hammaddenin donma başlangıç sıcaklık değeri -1°C ile -1.1°C arasında iken, % 85 ortalama su içeriğine sahip kısmi kurutulmuş kavun örneklerin donma başlangıç sıcaklığı -1.2°C ile -1.3°C arasında değişmektedir, % 80 su içeriğine sahip kısmi kurutulmuş kavun örneklerin donma başlangıç sıcaklığı -1.1°C ile -1.7°C arasında değişmektedir, son olarakta en düşük su içeriğine (%75) sahip kavunların donma başlangıç sıcaklığı ise -3°C 'e kadar düşmektedir. Donma başlangıç sıcaklıklarındaki değişim aralığı hammadde kavun örneklerinin su içeriğinin değişmesi, bunun sonucu aynı ozmotik kurutma işlem zamanı uygulanmasına karşın ozmotik kurutma sonucu elde edilen kısmi kurutulmuş kavun örneklerinin su içeriğinde ortaya çıkan farklılıklar ile açıklanabilir.

Benzer şekilde Ilıcalı ve İçier (2010) kısmi kurutulmuş papaya örneklerin dondurulması konusunda yaptıkları çalışmalarında papaya örneklerinin su içeriğinin azalması ile örneklerin başlangıç donma sıcaklıklarının azaldığını belirtmiştir. %52 ortalama olan papaya örneklerinin donma başlangıç sıcaklığının -11.6°C 'e düştüğünü rapor edilmiştir.

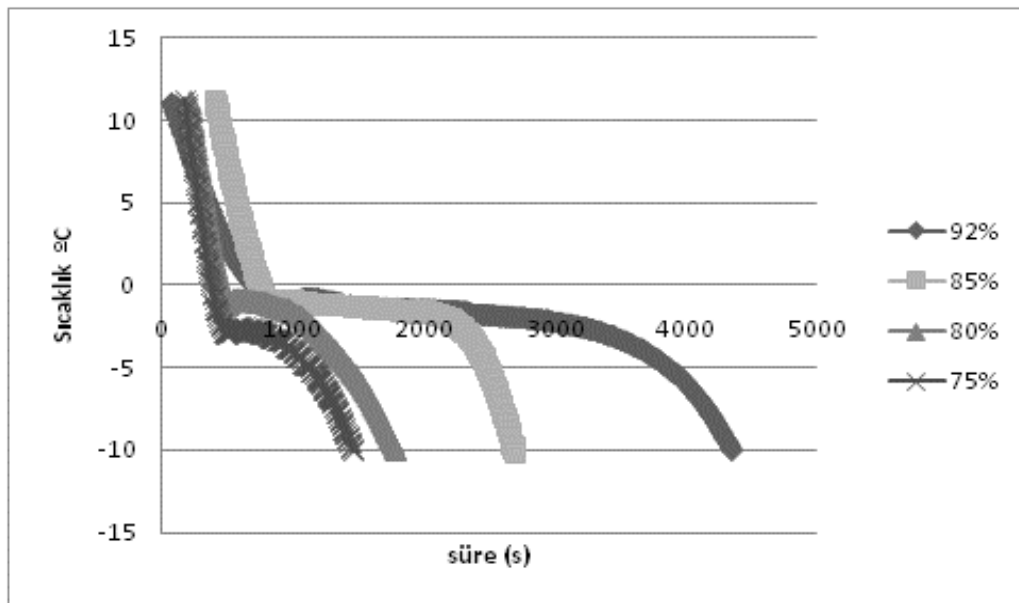
Düşük su içeriğine sahip gıdaların dondurulması sırasında daha az suyun donması ve daha az ısının uzaklaştırılması ve kurutulmuş gıdaların donma başlangıç sıcaklıklarının düşük olması nedeniyle daha kısa sürede dondurma mümkün olabilmektedir (Spiazzi et al., 1998; Li and Sun,2002).

Şekil 4.10'de görüldüğü gibi gıdaların su içeriğinin düşmesiyle donma başlangıç sıcaklıkları düşmektedir. Fakat aynı su içeriğine sahip gıdaların donma başlangıç sıcaklıkları farklı olabilmektedir. Gıda yapısında donma başlangıç sıcaklığını etkilemektedir (Tocci ang Masheeroni, 2008).

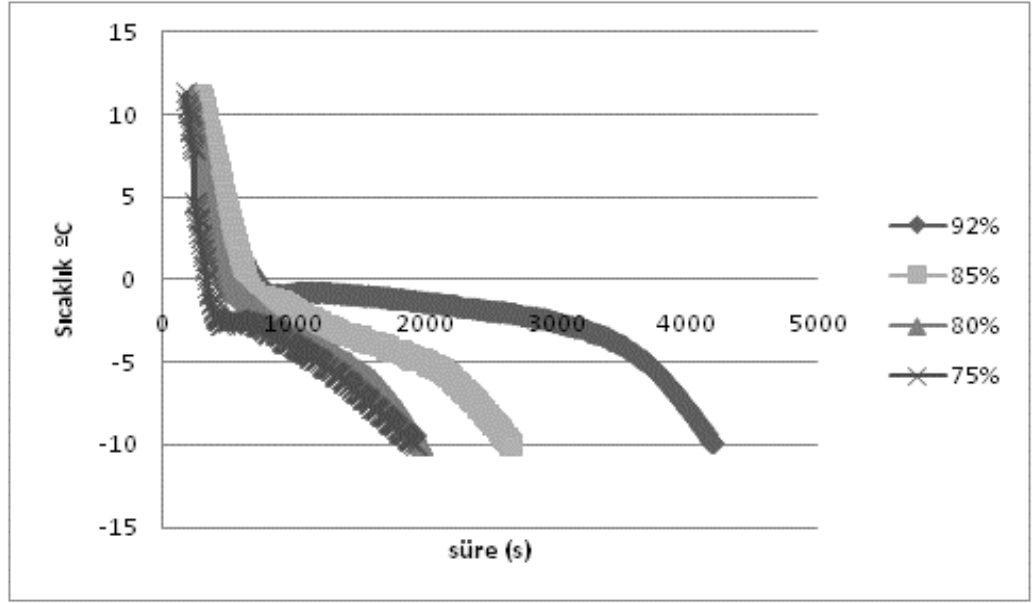


Şekil 4.10 Bazı gıda örnekleri için deneysel donma başlangıç sıcaklıkları; Kivi, elma, kavun, çilek, armut, şeftali (Tocci and Masheeroni, 2008)

Tocci ve Masheeroni (2008), kivi, elma, kavun, çilek, armut, şeftali ile yaptıkları çalışmada elde ettikleri su içeriğine göre donma başlangıç sıcaklığı değişimi (Şekil 4.10) ve bu tez çalışmasında kavun için elde edilen değişim birbirine benzemektedir.



Şekil 4.11 % 92 su içeriğine sahip hammadde kavun dilimleri ile karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminde %85, %80, %75 su içeriğine kurutulmuş kavun dilimlerinin deneysel donma eğrileri



Şekil 4.12 % 92 su içeriğine sahip hammadde kavun dilimleri ile ultrason ozmotik kurutma sisteminde %85, %80, %75 su içeriğine kurutulmuş kavun dilimlerinin deneysel donma eğrileri

Ürünlerin su içeriği azalmasıyla donma süreleri azalmaktadır. Kısmi kurutulmuş ürünlerin donma süreleri hammaddenin donma süreleriyle karşılaştırıldığında en yüksek süre azalmasının % 85 su içeriğine sahip örnekte olduğu görülmüştür. 1 saat 30 dak gibi oldukça kısa ozmotik işlem süresinde elde edilen yarı kurutma işleminin donma süresinde oluşturduğu bu düşüş, enerji açısından değerlendirildiğinde de en uygun yarı kurutma su içeriği olarak belirlenebilir. Daha düşük su içeriklerine yarı kurutma işlemlerinde elde edilen donma süresindeki azalışın donma enerji verimliliğindeki değişime etkisi ihtiyaç duyulan uzun ozmotik kurutma sürelerinde harcanan enerji artışını karşılayamamaktadır.

Ozmotik kurutma süresince ürünün kalınlığında azalma almaktadır (Bkz. Bölüm 4.1.1.1.3). Bu nedenle ozmotik kurutma ile elde edilen farklı su içeriğine sahip kısmi kurutulmuş kavun örneklerinin kalınlıkları aynı değildir. Örnek kalınlıklarındaki azalışın da donma sürelerinde azalışa neden olması beklenmektedir. Isılaşların örnek içine yerleştirilmesinden kaynaklanan ölçüm hataları da paraleller arasında farklılık oluşmasına neden olmuş olabilir. Ayrıca dondurucu ortamının sıcaklığının örnek yerleştirilmesi sonucu -18 °C'e kadar yükselmesi ve donma işleminin başlangıç periyodunda -24 °C'e kademeli olarak

düşmesi nedeniyle donma verileri arasında standart sapmanın yüksek olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Ultrason ve karıştırılmalı sistemler uygulanarak yarı kurutulmuş kavun dilimlerinin donma eğrileri Ek-16, 17 ve 18’de verilmiştir. ANOVA ve t testi sonuçları Ek-19’de verilmektedir.

4.2.2. Su aktivitesi değerlerindeki değişim

Ultrason ve karıştırılmalı ozmotik kurutma işlemi ile yarı kurutularak dondurulan kavun dilimlerinin çözünme sonrası su aktivitesine etkileri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

ANOVA ve Tukey testi sonuçlarına göre, örnek su içeriğinin çözünme sonrası su aktivitesi üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu ($p<0,05$) sonucuna varılmıştır. Genel olarak donma-çözünme sonrası su aktivitesi değerlerinin gerçekleşen çözünme kayıpları nedeniyle kurutma sonrası su aktivitesi değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.8 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine Farklı su içeriğine sahip kavun örneklerinin donma zamanı ve donma başlangıç sıcaklıkları

Su içeriği(%)	aw	
	Ultrason ozmotik kurutma	Karıştırılmalı ozmotik kurutma
92	0,948±0,001 ^c	0,948±0,001 ^c
85	0,935±0,003 ^b	0,930±0,005 ^{a,b}
80	0,939±0,001 ^b	0,932±0,008 ^b
75	0,923±0,004 ^a	0,921±0,004 ^a

a,b,c satırlarsaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı ifade etmektedir.

Ozmotik uygulama çeşidinin ise donma-çözünme sonrası su aktivitesindeki değişim etkisinin istatistiksel olarak önemli düzeyde olduğu ($p<0,05$) bulunmuştur. Karıştırmalı sistemde kısmi kurutulmuş kavun örneklerinin donma-çözünme sonrası daha düşük su aktivitesi değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

ANOVA ve t test sonuçları Ek-20’de verilmiştir.

4.2.3. Çözünme kaybı değerlerindeki değişim

Yarı kurutulmuş kavun örneklerin su içeriği değerinin azalmasıyla çözünme kayıplarının da azaldığı belirlenmiştir.

Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemiyle kısmi kurutulmuş örneklerin su içeriğinin genel olarak çözünme kaybı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli düzeyde olduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Duncan testine göre, ozmotik kurutma işlemi ile % 75 su içeriğine yarı kurutulmuş örneklerin donma-çözünme sonrası kayıplarının ise diğer su içeriklerine sahip örneklerinkinden istatistiksel olarak önemli düzeyde düşük olduğu bulgulanmıştır. Ancak ozmotik kurutma uygulama yönteminin donma-çözünme sonrası çözünme kaybı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz düzeyde olduğu belirlenmiştir ($p>0,05$).

Çizelge 4.9 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutularak dondurulan kavun örneklerinin çözünme sonrası çözünme kayıpları

Su içeriği(%)	Çözünme Kaybı (%)	
	U	K
92	52,46±4,85 ^c	52,46±4,85 ^c
85	46,97±4,34 ^{c,b}	42,25±7,21 ^{b,c}
80	42,95±8,47 ^b	39,05±9,81 ^b
75	31,12±1,66 ^a	32,15±4,13 ^a

a,b,c satırlarsaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı ifade etmektedir.

(U: ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem)

ANOVA ve t test sonuçları Ek-21’de verilmiştir.

4.2.4. Renk özelliklerindeki değişim

Hammaddenin renk özelliklerinde de farklılıklar olabileceği için yarı kurutularak dondurulmuş örneklerin çözünme sonrası L, a, b, Kroma, Hue değerleri hammadde değerlerine oranlanarak değerlendirilmiştir.

Kısmi kurutularak dondurulmuş kavun örneklerin çözünme sonrası renk değişimleri istatistiksel olarak incelendiğinde karıştırmalı sistemle kurutulmuş örnekler için ΔC ve Hue açısı üzerine su içeriği değişiminin etkisinin önemli düzeyde olmadığı belirlenmiştir ($p>0,05$). Ultrason sistemle kurutulmuş örnekler için ise Hue açısı ve ΔE değerleri üzerine su içeriğinin etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu bulgulanmıştır ($p<0,05$).

Ancak ozmotik kurutma uygulama yönteminin donma-çözünme sonrası Hue açısı dışındaki diğer renk parametreleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz düzeyde olduğu belirlenmiştir. Aynı su içeriğine sahip örnekler için donma- çözünme sonrası Hue açısı değerleri incelendiğinde, karıştırmalı ozmotik sisteminde yarı kurutulmuş örneklerin yeşillik değerlerindeki değişime göre sarılık değerlerindeki değişimin daha düşük olduğu söylenebilir.

Yüksek ΔE değerleri, renkler parametrelerindeki değişimin yüksek olduğunu ifade eder. Genellikle meyve ve sebze örneklerinde ΔE renk değişiminin yüksek olmasının karamayı ifade ettiği belirtilmektedir (Wu et al., 2009). Bu durumda özellikle ultrason ozmotik işleme yarı kurutulmuş kavun dilimlerinde donma-çözünme sonrası renk değişiminin, hammaddeye göre kararmanın, en fazla en düşük su içeriğine sahip örnekte olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni en düşük su içeriğine sahip örnekteki en yüksek renk değişiminin ultrason ozmotik işlemi sırasında gerçekleşmesidir (Bkz. Çizelge 4.10)

Çizelge 4.10 Ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutularak dondurulan kavun örneklerinin çözünme sonrası renk özelliklerindeki değişim

U							
Su içeriği (%)	L/L _o	a/a _o	b/b _o	Kroma/Kroma _H	ΔC	ΔE	Hue/Hue _H
75	0,91±0,17 ^a	0,95±0,41 ^{a,b}	1,28±0,44 ^a	1,24±0,41 ^a	3,52±1,91 ^a	9,76±2,50 ^b	1,07±0,08 ^b
80	0,95±0,07 ^a	0,85±0,13 ^a	1,40±0,41 ^a	1,37±0,39 ^a	3,51±2,38 ^a	5,65±3,94 ^a	1,08±0,04 ^b
85	0,97±0,02 ^a	1,18±0,34 ^b	1,15±0,45 ^a	1,15±0,45 ^a	3,05±1,89 ^a	3,85±1,91 ^a	1,01±0,20 ^a

a,b,c satırlarsaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı ifade etmektedir.

Çizelge 4.11 Karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutularak dondurulan kavun örneklerinin çözünme sonrası renk özelliklerindeki değişim

K							
Su içeriği (%)	L/L _o	a/a _o	b/b _o	Kroma/Kroma _H	ΔC	ΔE	Hue/Hue _H
75	1,10±0,07 ^c	-0,88±3,44 ^a	1,40±0,27 ^b	1,38±0,25 ^b	3,61±1,72 ^a	6,32±3,13 ^a	0,56±0,91 ^a
80	0,85±0,09 ^a	1,13±0,07 ^b	1,23±0,32 ^{a,b}	1,22±0,29 ^{a,b}	2,07±2,35 ^a	9,66±3,46 ^b	1,02±0,05 ^a
85	0,96±0,08 ^b	1,15±0,31 ^b	1,13±0,19 ^a	1,13±0,19 ^a	2,51±1,51 ^a	5,04±2,65 ^a	1,01±0,04 ^a

a,b,c satırlarsaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı ifade etmektedir.

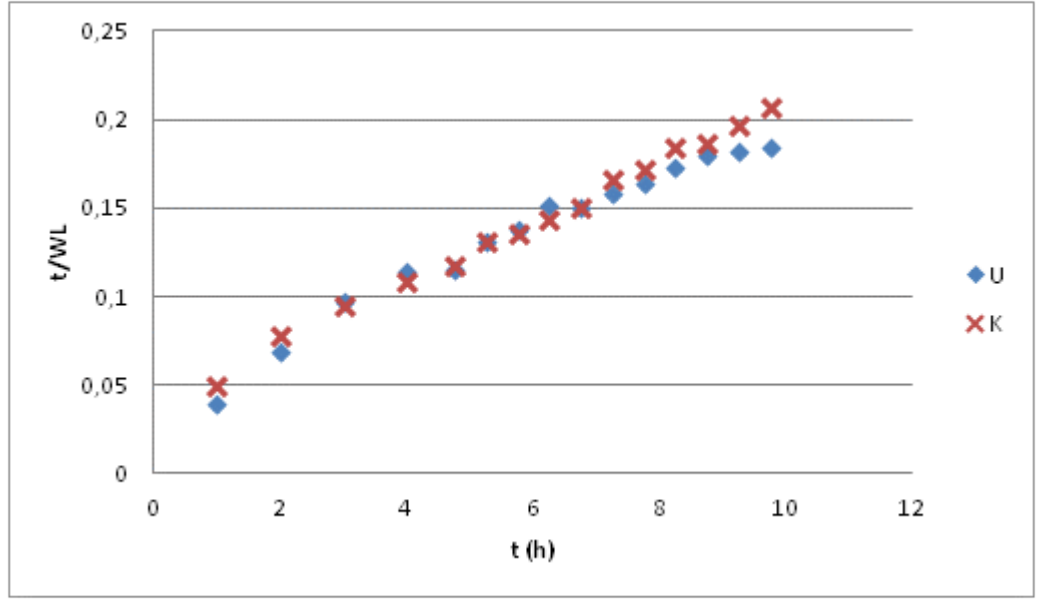
4.3. Matematiksel Modelleme

Modellerin deneysel verilere uygunluğunu belirlemede regresyon katsayısı (r^2) en yüksek, RMSE(hata ortalamasının karekökü), % hata oranı ve χ^2 değerlerinin ise en küçük olması kriter olarak seçilmiştir. % hata oranı değerlerinin %5'den düşük olması uyumun mükemmel olduğu gösterirken, bu değerlerin % 10'dan büyük olması deneysel ve teorik uyumun düşük olduğu anlamına gelmektedir (Kıroğlu, 2010).

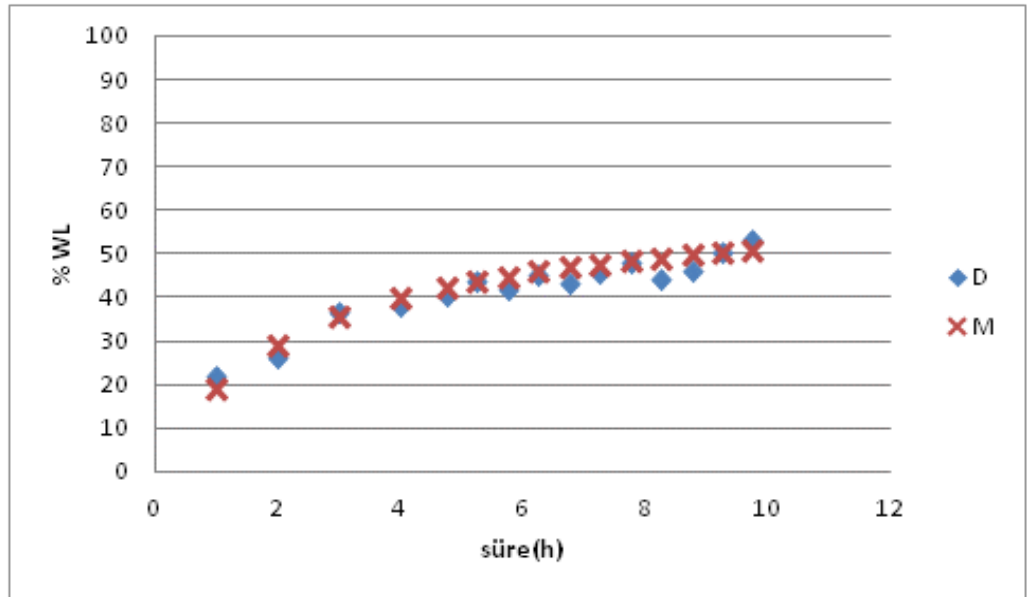
4.3.1. Kütle aktarım modelleri

4.3.1.1. Azuara modeli

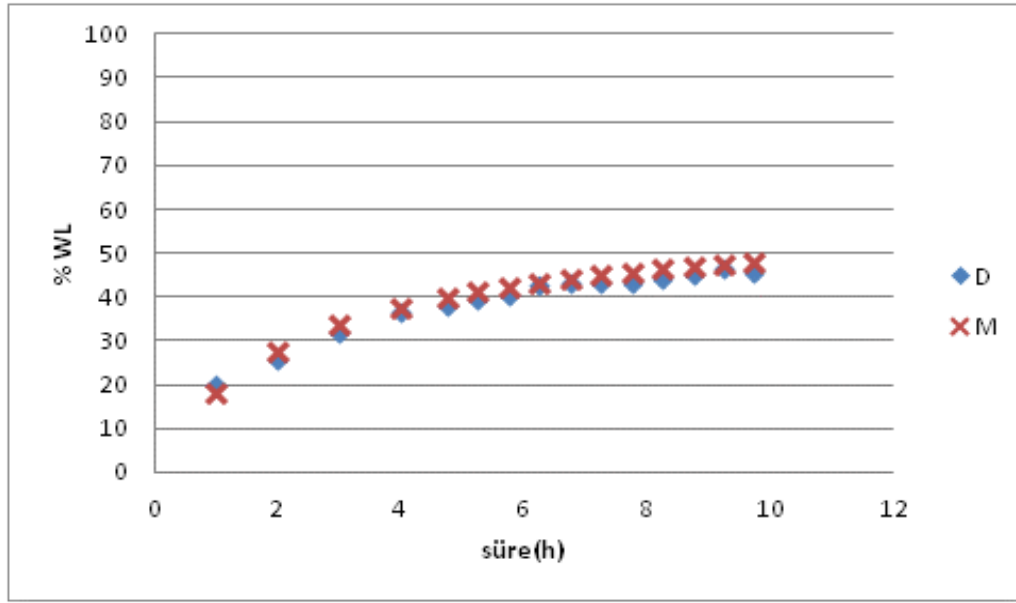
Azuara modeline göre Denklem (44) ve Denklem (45) kullanılarak deneysel verilerden denge değerleri olan WLe ve SGe ve S parametreleri hesaplanmıştır (Azuara et al., 1992). Şekil 4.13 'de t/WL 'nin t 'ye göre değişimini gösteren grafik verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'da model WL öngörülerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 4.13 Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma işlemleri için t/WL 'nin süreye bağlı değişimi (U: ultrasonik sistem; K: karıştırmalı sistem)



Şekil 4.14 Ultrason ozmotik kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi için % WL değerinin zamana bağlı değişiminin deneysel verileri ile Azuara modeli öngörülerinin karşılaştırılması (D: deneysel, M: Model)



Şekil 4.15 Karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi için % WL değerinin zamana bağlı değişiminin deneysel verileri ile Azuara modeli öngörülerinin karşılaştırılması (D: deneysel, M:Model)

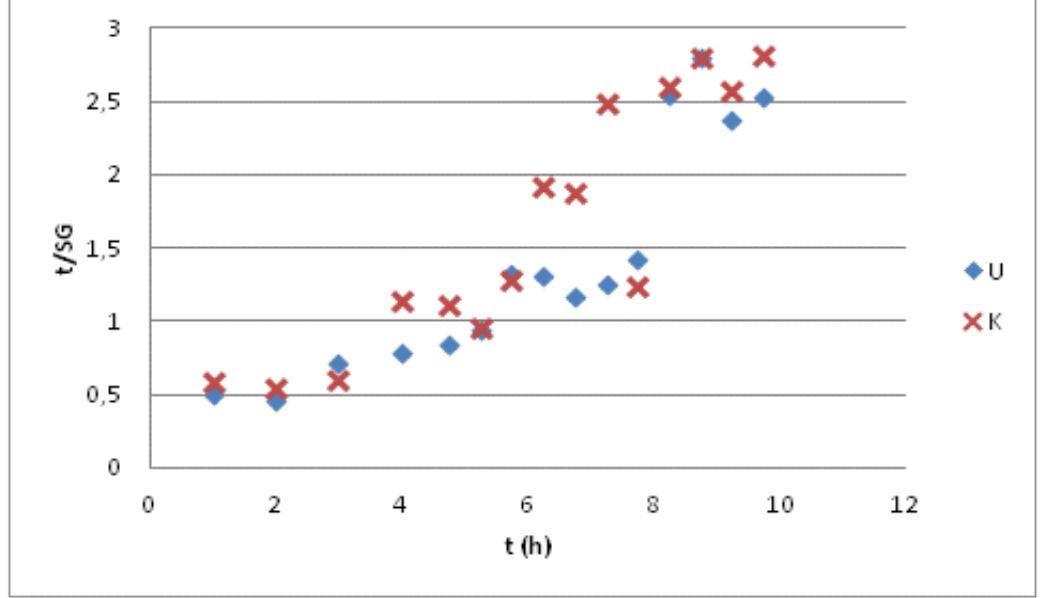
Çizelge 4.12 'de Şekil 4.13'deki doğruların regresyon analizi ile incelenmesi sonucu hesaplanan Azuara modeli parametreleri, regresyon katsayıları, Azura modeli % WL öngörülerini ile deneysel veriler arasındaki hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) ve Azura modeli % WL öngörülerini ile deneysel veriler arasındaki indirgenmiş ki-kare (χ^2) verilmiştir. Her iki ozmotik kurutma yöntemi içindede regresyon katsayılarının yüksek olması, % hata oranı, RMSE ve χ^2 değerinin düşük olması, modelin denge noktasındaki ozmotik kurutma işlemi parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir bir model olduğunu göstermektedir. Ozmotik kurutma denge su kaybı değeri (WL_e) ultrason sistem için % 62,5, karıştırmalı sistem için ise % 58,82 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma işlemi için Azuara yöntemine göre hesaplanan WL_e , S_1 değerleri

	WL_e (%)	$S_1(h^{-1})$	r^2	RMSE	χ^2	% hata oranı
U	62,5	0,432	0,970	2,5857	7,7144	2,567
K	58,82	0,474	0,994	1,7959	3,7214	3,147

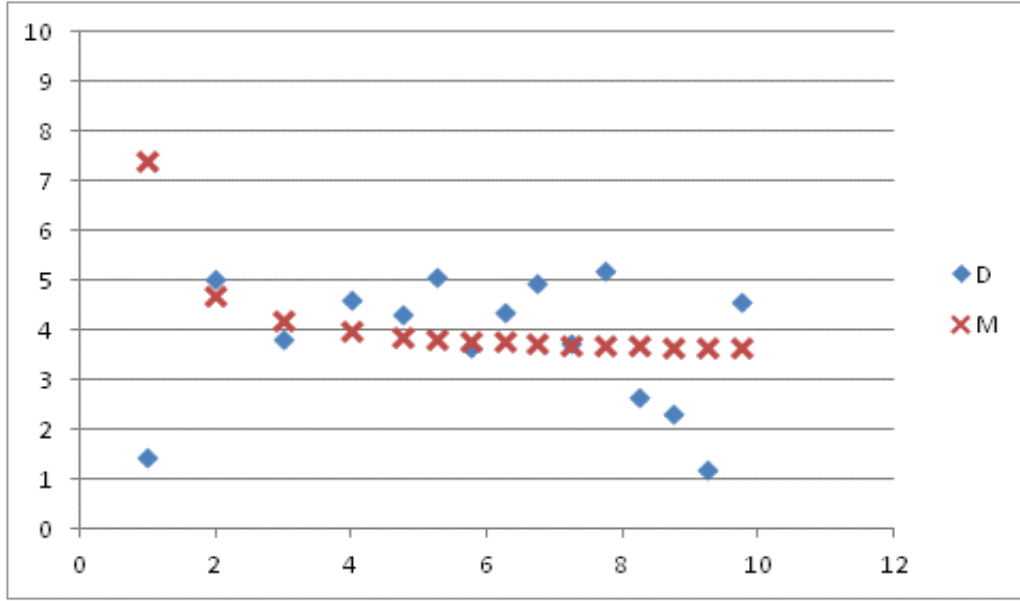
(U: ultrasonik sistem; K:karıştırmalı sistem)

Birim zamandaki su kaybı değişim hızını gösteren S_1 parametresinin değerinin ise ultrason sistemde daha düşük olduğu belirlenmiştir.

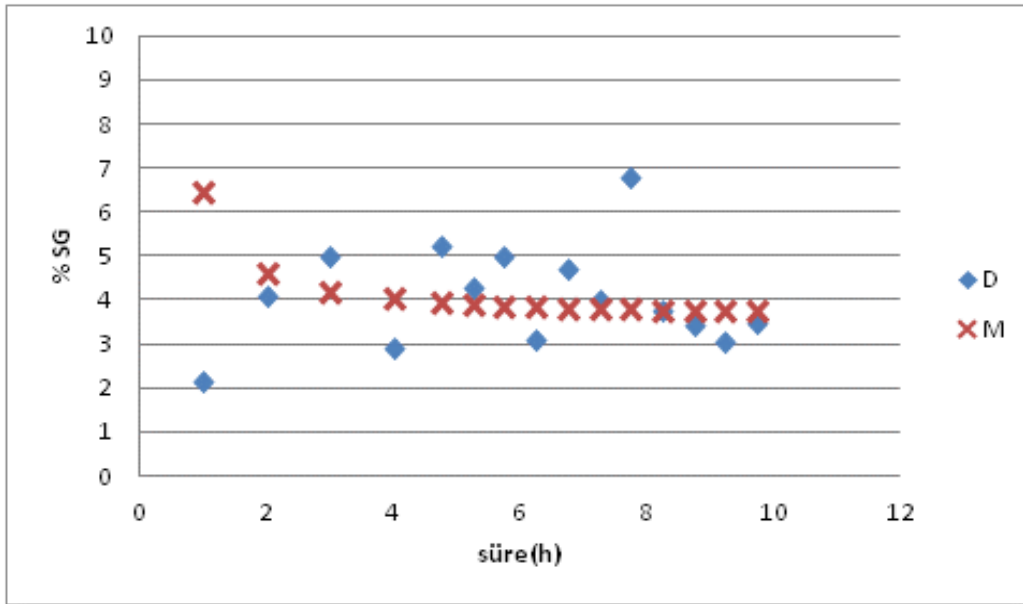


Şekil 4.16 Ultrason ve karıştırılmalı ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma işlemleri için t/SG 'nin süreye bağlı değişimi (U: ultrasonik sistem; K:karıştırılmalı sistem)

Ultrason ve karıştırılmalı ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma işlemleri sırasında katı kazanımının (SG) değişiminin Azuara modeli ile karakterize edilebilirliği de incelenmiştir (Şekil 4.16). Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'da model WL öngörülerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 4.17 Ultrason ozmotik kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi için % SG değerinin zamana bağlı değişiminin deneysel verileri ile Azuara modeli öngörülerinin karşılaştırılması(D: deneysel, M:model)



Şekil 4.18 Karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi için % SG değerinin zamana bağlı değişiminin deneysel verileri ile Azuara modeli öngörülerinin karşılaştırılması(D: deneysel, M:model)

Şekil 4.16'deki doğruların regresyon analizi ile incelenmesi sonucu hesaplanan Azuara modeli parametreleri (SG_e ve S_2), Azura modeli % SG öngörülerini ile deneysel veriler arasındaki hata kareleri ortalamasının

karekökü(RMSE) ve Azura modeli % SG öngörülleri ile deneysel veriler arasındaki indirgenmiş ki-kare (χ^2) verilmiştir. Her iki ozmotik kurutma yöntemi için elde edilen regresyon katsayısının kabul edilebilir düzeyde olması, modelin denge noktasındaki ozmotik kurutma işlemi katı kazanımı parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir bir model olduğunu göstermektedir. Ozmotik kurutma denge katı kazanımı değeri (SG_e) ultrason sistem için % 3,78, karıştırmalı sistem için ise % 3,56 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.13 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde kurutma işlemleri için Azuara yöntemine göre hesaplanan SG_e ve S_2 değeri

	SG_e (%)	$S_2(h^{-1})$	r^2	RMSE	χ^2	% hata oranı
U	3,78	-1,40	0,800	0,9425	1,0366	2,664
K	3,56	-2.23	0,779	1,0737	1,3434	-2,461

(U: ultrasonik sistem; K:karıştırmalı sistem)

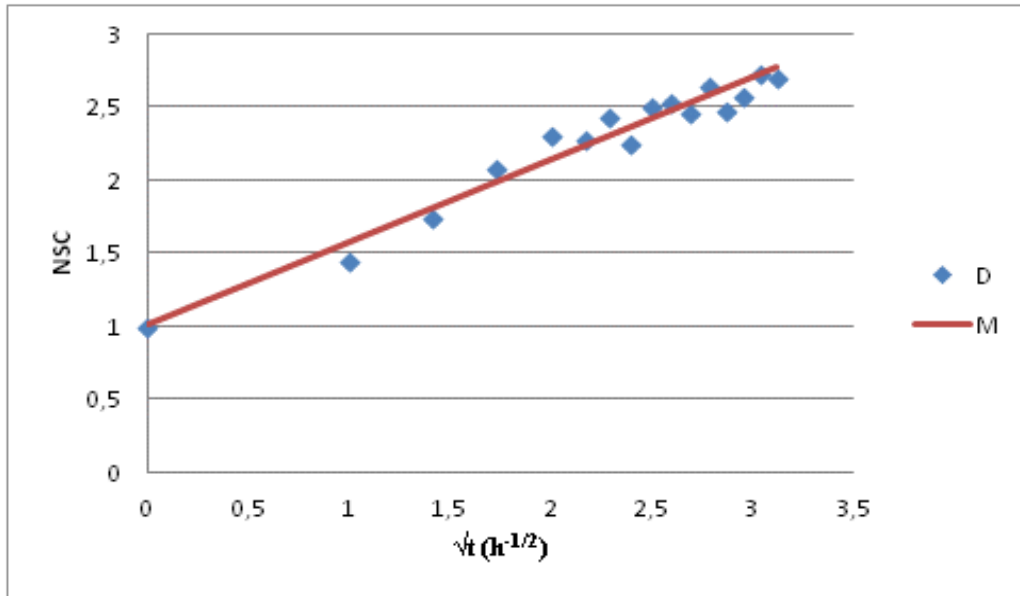
Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde % SG değışiminin belirlenmesi için Azura modeli öngörülleri ve deneysel verilerin uyumlu olmasına karşın (% hata oranı düşük), model regresyon katsayılarının düşük olduğu belirlenmiştir. Kavun dilimlerin özellikle uzun ozmotik kurutma sürelerinde dokusal tahribata uğraması nedeniyle kurutma süresince deneysel % SG değeriindeki azalış artışların Azuara modeli ile ifade edilebilmesinin zor olduğu sonucu elde edilmiştir.

Rahman et al. (1996)'a göre ananas örneklerinde ozmotik kurutmada sabit sıcaklıkta çözelti konsantrasyonun artmasıyla S_1 ve S_2 değeri artmaktadır. Bunun nedeni su ve katı arasında sürüklenme kuvvetinin artmasıdır. Sabit çözelti konsantrasyonunda ise sıcaklığın artmasıyla S_1 değeri artmakta, S_2 değeri ise azalmaktadır.

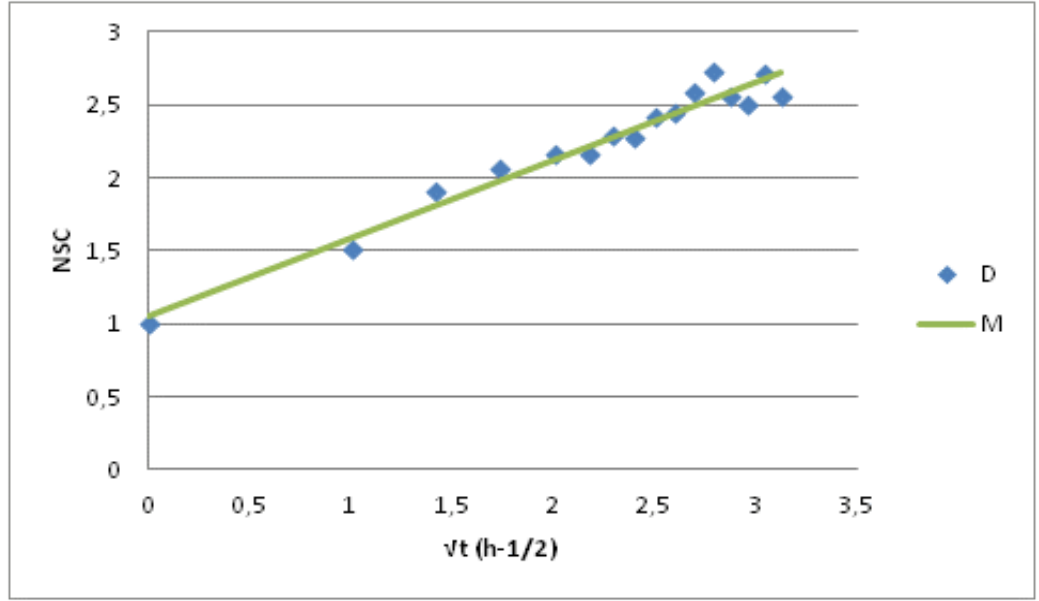
Bir başka çalışmada Sultanoğlu (2000) elmaların ozmotik kurutulması sırasında sıcaklıkla su kaybının arttığını belirtmiştir. S_1 değerinin su kaybına bağlı olarak değişmesi nedeniyle, sıcaklık arttıkça S_1 değerinde de artışın olduğunu vurgulamıştır. Sakaroz çözeltisiyle yapılan çalışmalarda sıcaklık ve konsantrasyon artmasıyla S_1 değerinin arttığı belirlenmiştir. Sabit konsantrasyon değerinde S_2 değeri sıcaklığın artmasıyla belirli bir değişim trendi göstermemiş ancak çözelti konsantrasyonu arttıkça atmıştır.

4.3.1.2. Hawkes/Flink modeli

Denklem (46)' de verilen Hawkes/Flink Modeline göre NSC değerinin zamanın kareköküne göre değişimi sırasıyla ultrason ve karıştırmalı sistemlerdeki ozmotik kurutma işlemleri için Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Hawkes ve Flink modeli ilişkilerinin her iki sistemde de doğrusal değiştiği dikkati çekmektedir. Deneysel ve model öngörülleri arasındaki uyumun oldukça iyi olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.19 ve 4.20)



Şekil 4.19 Ultrason ozmotik kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi için NSC'nin $t^{1/2}$ ile değişimi (D: deneysel, M: model)



Şekil 4.20 Karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi için NSC'nin $t^{1/2}$ ile değişimi (D: deneysel, M:model)

Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma işlemleri sırasında elde edilecek ürünün konsantrasyonundaki değişimi hesaplamaya olanak sağlayan hız parametre değerleri (k) Çizelge 4.14'da verilmiştir. Model regresyon değerlerinin oldukça yüksek tespit edilmesi, model öngörülerinin deneysel verilerle uyumunun iyi olduğunu teyid etmektedir.

Çizelge 4.14 Ultrasonik ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma işlemi için k ve b değerleri, r^2 , RSME ve χ^2 değerleri, % hata oranı

	U	K
k	0,569	0,544
b	1,011	1,046
r^2	0,958	0,963
RMSE	0,09756	0,08763
χ^2	0,0102	0,00823
% hata oranı	-0,0065	0,018

(U: ultrason sistem, K: Karıştırmalı sistem)

Deneyisel verilerle model öngörülleri iyi uyum göstermektedir, yüksek regresyon katsayısı ve düşük % hata oranı karşın, bulunan k değerleri tam olarak bir hız parametresi olmamakla birlikte, aynı çalışma şartlarında yapılacak deneylerin yorumlanmasında önemli bir parametredir. Bu model su kaybı ve katı kazanımının değişimlerinin her ikisini birden dikkate alarak konsantrasyonun hesaplanması amacıyla tercih edilen bir model olma niteliği taşımaktadır. Ancak ozmotik kurutma sırasında su kaybı ve katı kazanımının ayrı ayrı karakterize edilmesine olanak vermemektedir.

4.3.1.3. Nümerik model

Kararsız hal durumu için tanımlanan Fick'in 2. denklemi belirlenen sınır şartlarında kapalı, örtülü işlev yöntemi ile nümerik olarak çözülmüştür. Nümerik denklemlerin çözdürülmesinde ve model öngörülerinin işlenmesinde Matlab 7.12.0.635 paket programından (MATLAB,2011) yararlanılmıştır.

Ozmotik kurutma sırasında su kaybı ve kütle kazanımını ifade eden efektif kütle aktarımı difüzyon katsayıları belirlenmiştir. Denklem (52) kullanılarak çizilen $\ln(1-WL/WLe)$ 'e karşılık t doğrusunun eğiminden D_{ew} değeri hesaplanmıştır. Denklem (54) kullanarak çizilen $\ln(1-SG/SGe)$ 'e karşılık t doğrusunun eğiminden ise D_{es} değeri hesaplanmıştır. Ek-23 gösterildiği gibi ozmotik kurutma işlemi sırasında kavun dilimlerinin dokusunda tahribatın oluşması nedeniyle difüzyon hızları değişmiş, dolayısıyla D_{ew} ve D_{es} değerleri de değişim göstermiştir. Model hesaplamalarında ortalama $D_{ew}=1.1136 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $D_{es}=9.55 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ değerleri girdi olarak kullanılmıştır. Taşınım kütle aktarım katsayısı kc değeri ise Denklem (54), (55), (56) ve (57) takımı kullanılarak hesaplanmıştır. Ortalama kc değeri $5.09 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ olarak hesaplanmıştır. Çözeltinin viskozitesi 38°C'de 55° Brikste 0.00482 Pa.s olarak ölçülmüştür. Ortalama çözelti yoğunluğu 1233,1 kg/m³ olarak ölçülmüştür.

Nümerik çözümlerde $t=t$ anında kütle değerinin bulunmasında, deneysel olarak bulunan kütlenin zamana bağlı değişimini ifade eden ilişkiler kullanılmıştır;

ultrason ozmotik sistemdeki ozmotik kurutma işlemi için

$$M = M_0 - (-6 \times 10^{-9} \times t^2 + 0,0011 \times t + 16,758) \times \left(\frac{M_0}{100}\right) \quad (72)$$

karıştırmalı sistemdeki ozmotik kurutma işlemi için

$$M = M_0 - (-5 \times 10^{-9} \times t^2 + 0,009 \times t + 17,437) \times \left(\frac{M_0}{100}\right) \quad (73)$$

Nümerik modelin deneysel verilerle uyumunu incelenmesi için % hata oranı ve RMSE değerleri hesaplanmıştır. Karıştırmalı ve ultrason sistemleri için üst, orta ve merkez su içeriği, ağırlık kaybı, su kaybı ve katı kazanımının deneysel verileri ile nümerik model öngörülerinin uyumu incelenmiştir. Çizelge 4.15 ultrason ve karıştırma sistemleri için % hata ve RSME değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.15 Karıştırmalı ve ultrason sistemlerinde ozmotik kurutma işlemi kütle aktarım parametrelerinin deneysel ve nümerik model öngörülerindeki % hata oranı ve RMSE değerleri

	U		K	
	% hata oranı	RMSE	% hata oranı	RMSE
X_ü	2,64	2,27	0,29	1,94
X_o	1,64	1,94	1,23	1,72
X_m	0,06	1,16	-0,28	1,05
WR	-2,04	1,25	0,87	2,53
WL	-0,55	2,04	-0,58	2,16
SG	5,74	0,81	10,33	1,37

(U: ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem)

X_ü : Kavun diliminin üst yüzeyindeki su içeriği

X_o : Kavun diliminin orta yüzeyindeki su içeriği

X_m : Kavun diliminin merkez yüzeyindeki su içeriği

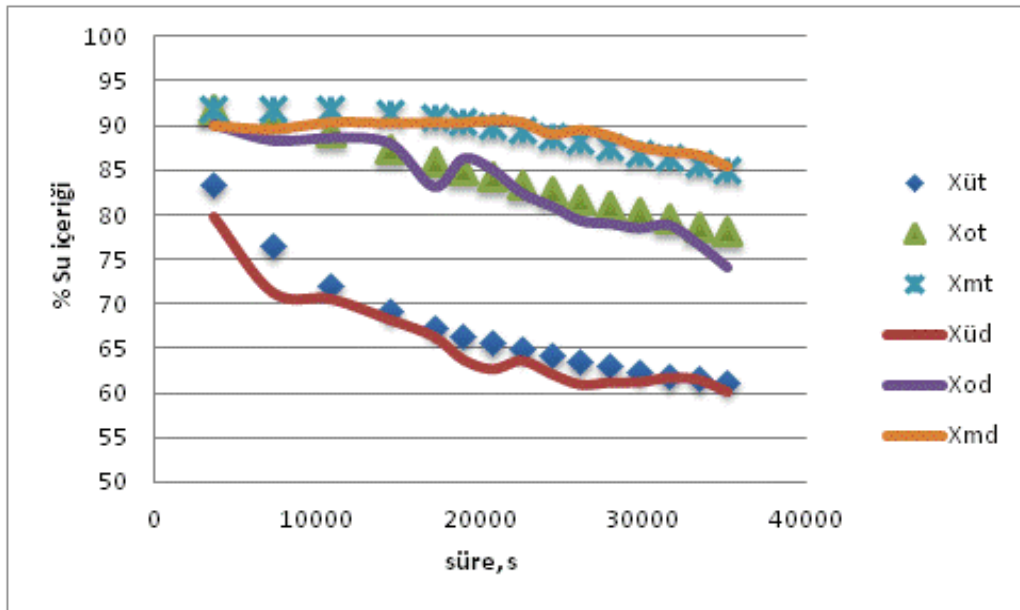
WR : Ağırlık kaybı

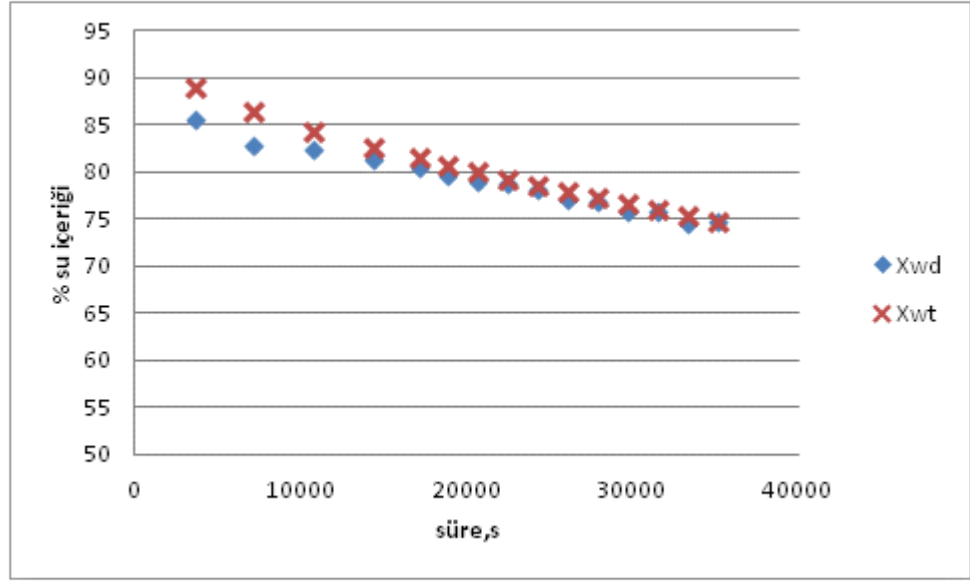
WL : Su kaybı

SG : Katı kazanımı

Çizelge 4.15’de görüldüğü gibi % hata oranına incelendiğinde modelle en zayıf ilişki katı kazanımında saptanmıştır. Bunun nedeni Şekil 4.9’da görüldüğü gibi ozmotik kurutma sırasında ultrason ve karıştırılmalı sistemlerde katı kazanımının hızının değişmesi olabilir. Diğer yandan modelle öngörülen değerlerde ozmotik kurutma süresi ilerledikçe artış yavaşlamıştır.

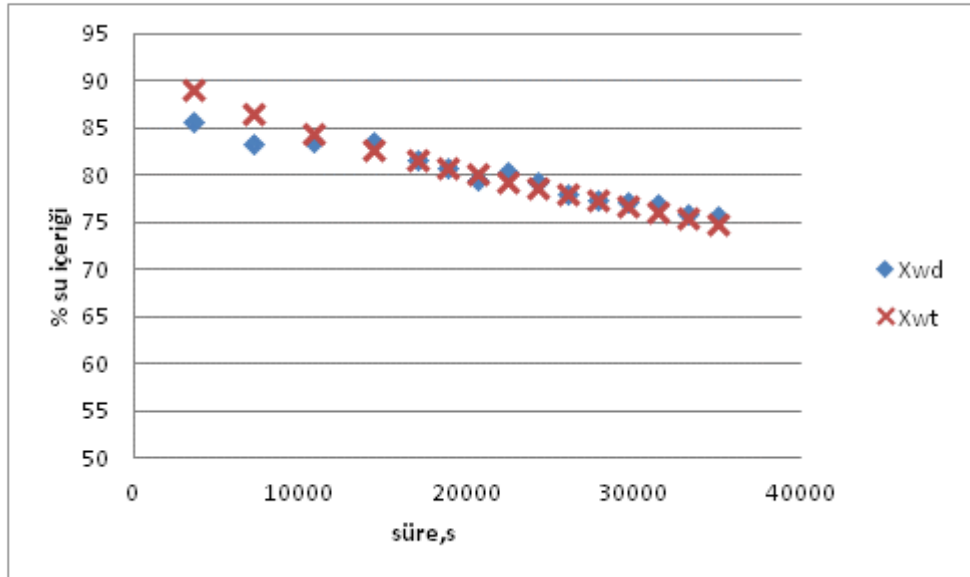
Şekil 4.21’de ultrason ozmotik kurutma sisteminde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında zamana bağlı su içeriği değişiminin deneysel verileri ile nümerik model öngörülerinin karşılaştırılması görülmektedir.





Şekil 4.21 Ultrason kurutma sisteminde gerçekleştirilen ozmotik kurutma işlemi sırasında zamana bağlı gıdadaki su içeriği değişimi; a) üst, orta ve merkez noktalarında su içeriği dağılımı ($\square$ deneysel üst noktası su içeriği ($X_{üd}$), $\diamond$ teorik üst noktası su içeriği ($X_{üt}$), $\times$ deneysel orta noktası su içeriği (X_{od}), $\blacktriangle$ teorik orta noktası su içeriği (X_{ot}), $\circ$ deneysel üst noktası su içeriği (X_{md}), $*$ teorik üst noktası su içeriği (X_{mt})), b) ortalama su içeriği ($\diamond$ deneysel (X_{wd}), $*$ teorik (X_{wt}))

Şekil 4.22’de karıştırılmalı ozmotik kurutma sistemindeki ozmotik kurutma işlemi sırasında zamana bağlı su içeriği değişiminin deneysel ve nümerik model öngörülerinin karşılaştırılması verilmiştir.



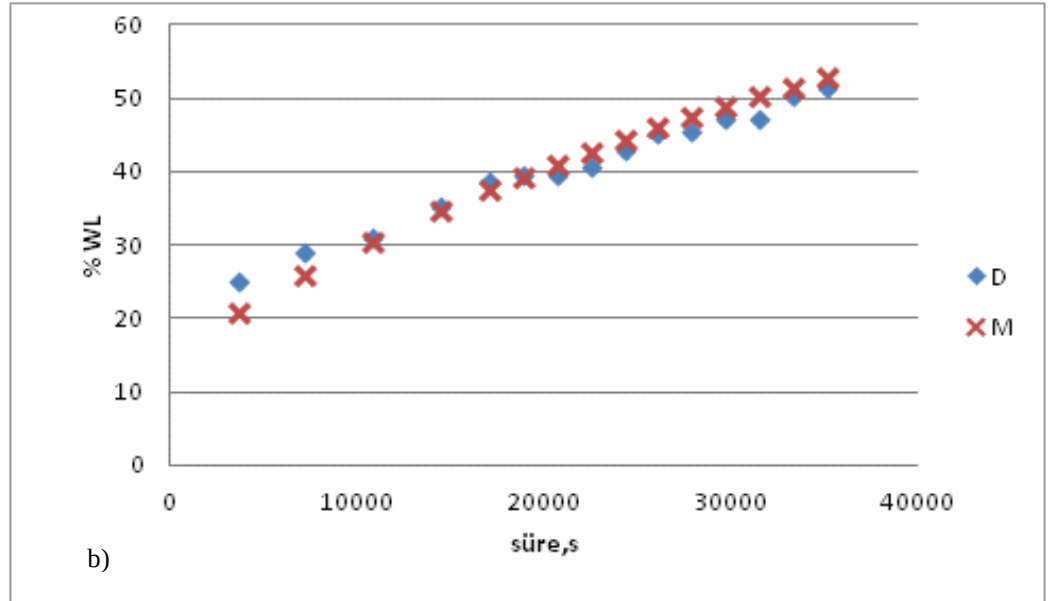
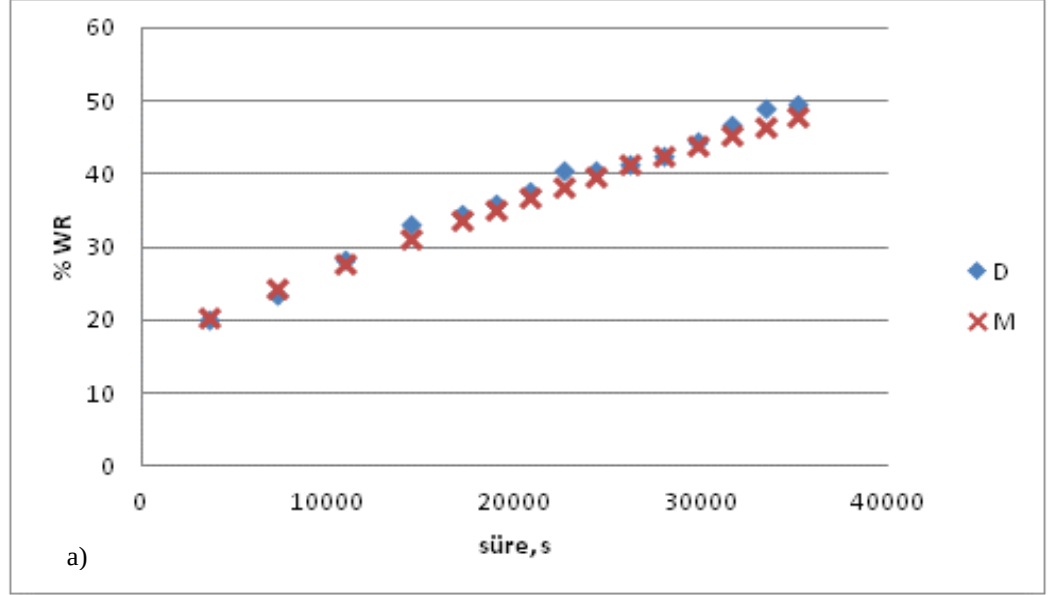
Şekil 4.22 Karıştırılmalı kurutma sisteminde ozmotik kurutma işlemi sırasında zamana bağlı su içeriği değişimi; a) üst, orta ve merkez noktalarında su içeriği dağılımı ($\diamond$ deneysel üst noktası su içeriği ($X_{üd}$), $\square$ teorik üst noktası su içeriği ($X_{üt}$), $\blacktriangle$ deneysel orta noktası su içeriği (X_{od}), $\triangle$ teorik orta noktası su içeriği (X_{ot}), $*$ deneysel merkez noktası su içeriği (X_{md}), $\circ$ teorik merkez noktası su içeriği (X_{mt})), b) ortalama su içeriği ($\diamond$ deneysel (X_{wd}), $*$ teorik (X_{wt}))

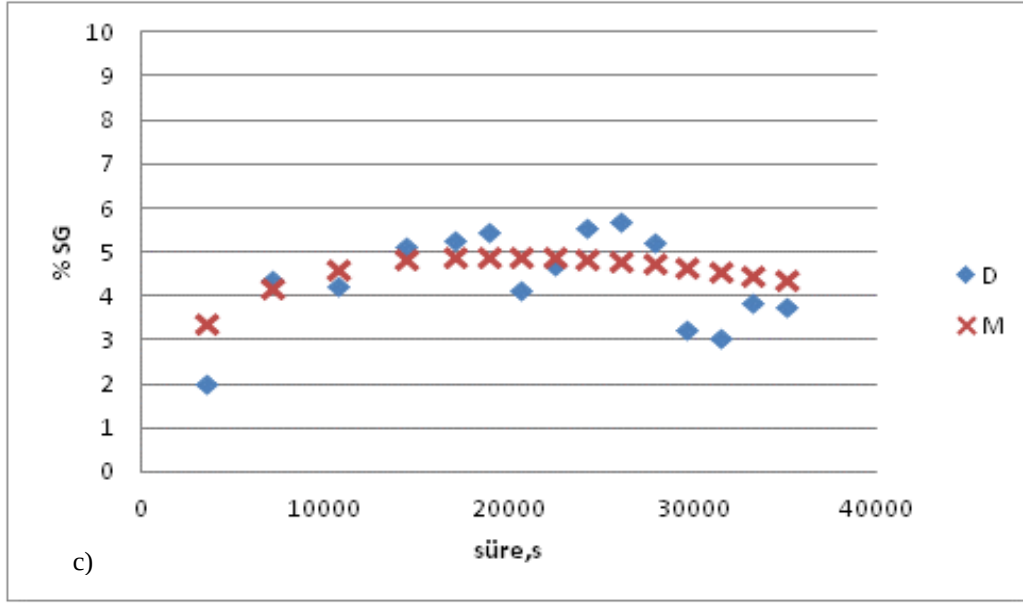
Ozmotik işlem süresince kavun dilimlerinin su içeriği yüzeyden merkeze doğru artmaktadır. Şekil 4.21a ve Şekil 4.22a’da ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemleri için kavun dilimlerinin üst, orta ve merkez yüzeyleri için zamanla su içeriklerindeki değişiminin deneysel verileri ile nümerik öngörülleri verilmiştir. Çizelge 4.14’de ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma yöntemleri için kavun dilimlerin üst, orta ve merkez noktası için nümerik öngörüler ile deneysel veriler arasındaki uyumu belirlemek için RMSE değeri ve % hata oranı verilmiştir.

Genel olarak ultrason ve karıştırmalı sistemlerde gerçekleştirilen ozmotik kurutma işlemleri için nümerik model öngörülleri ile deneysel su içeriği değişimleri arasında oldukça iyi uyum olduğu saptanmıştır (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22). Ozmotik kurutma işleminin ilerleyen sürelerinde nümerik model öngörülleri ile deneysel veriler arasında az da olsa farklılıkların meydana gelmesi, kavun dilimlerinin boyutlarında deneysel olarak tespit edilen büzüşmelerin nümerik modelde dikkate alınmaması ile açıklanabilir. Diğer yandan nümerik model çözümünde su kaybı ve katı kazanımı için ortalama efektif difüzyonite değerleri kullanılmıştır. Ancak efektif difüzyonite değerlerinin ozmotik kurutma süresince değiştiği deneysel olarak belirlenmiştir. Ancak bu değişim zamana bağlı olarak belirlenemediği için modelde dikkate alınamamıştır.

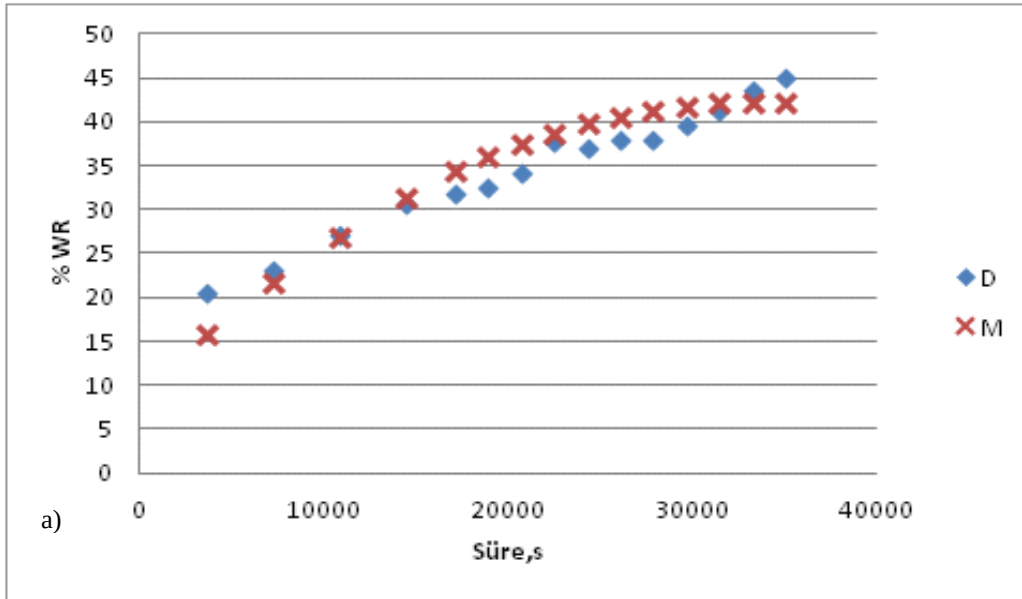
Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma işlemleri için nümerik model ve deneysel ağırlık azalması (WR), su kaybı (WL) ve katı kazanımı, (SG) değerleri Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’de karşılaştırılmıştır. Kavun dilimlerinin ozmotik kurutma işlemi sırasında doku tahribatına maruz kalması nedeniyle katı kazanımında dalgalanmaların olduğu deneysel olarak belirlenmiştir (Bkz. Şekil 4.10). Ozmotik kurutma işlemi sırasında hücre yapısının değişmesidir. Ozmotik kurutma işlemi boyunca hücre duvarının geçirgenliği değişmektedir. Bu durumda WR, WL, SG gibi parametreleri etkilenmektedir. Uzun ozmotik işlemler hücrelerin parçalanmasına neden olabilmektedir. Nümerik model öngörülerinde ise katı kazanımı ozmotik işlem süresince artmaktadır. Bu nedenle nümerik model

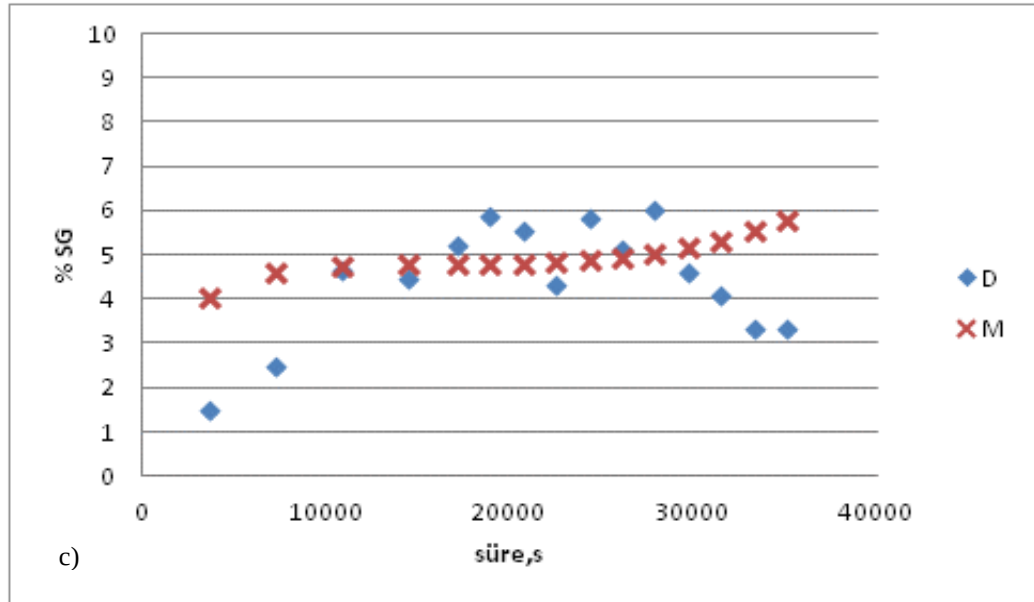
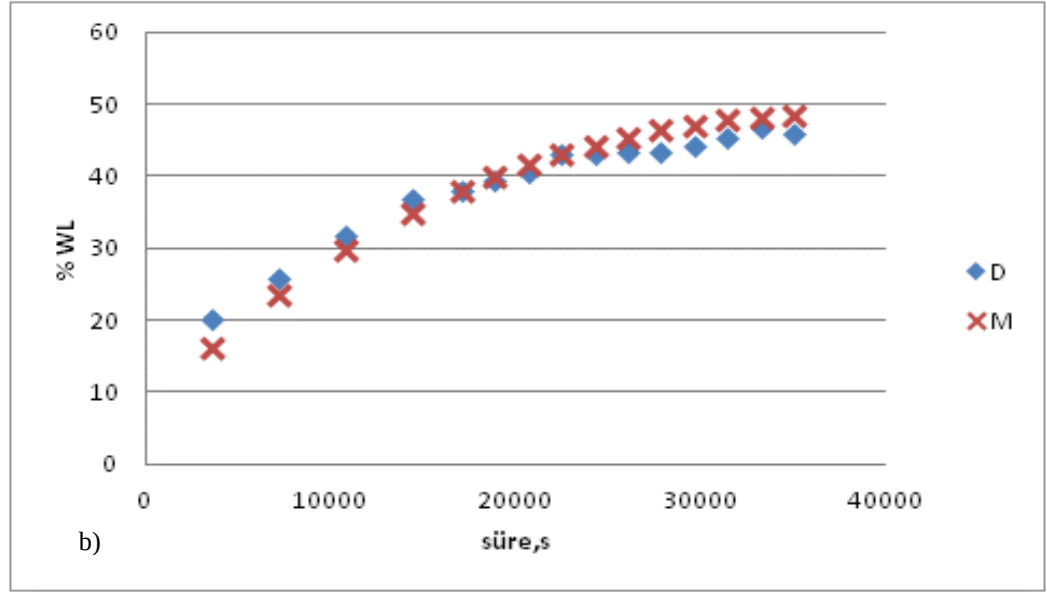
öngörüleri ve deneysel veriler arasında en yüksek sapma katı kazanımı verilerinde meydana gelmiştir.(Çizelge 4.14)





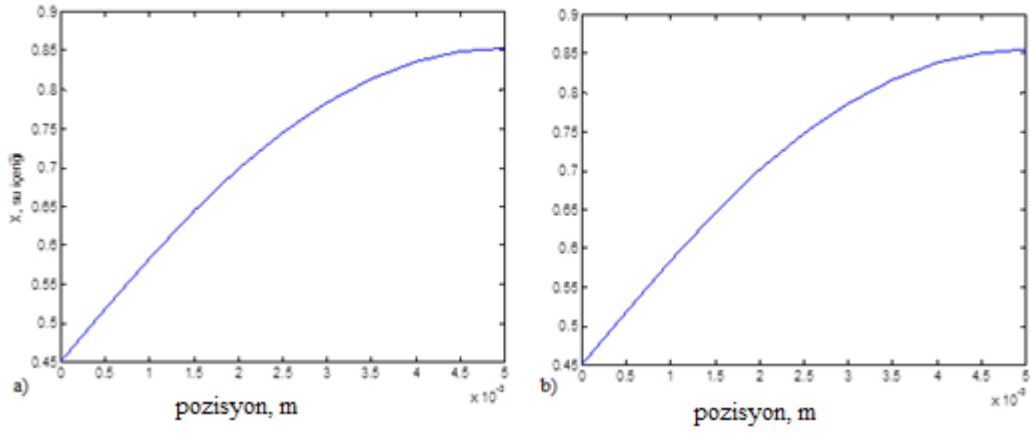
Şekil 4.23 Ultrason ozmotik kurutma işlemi için nümerik yöntem öngörülleri ile deneysel verilerin karşılaştırılması: a)WR, b) WL ve C) SG (♦deneysel, x model)



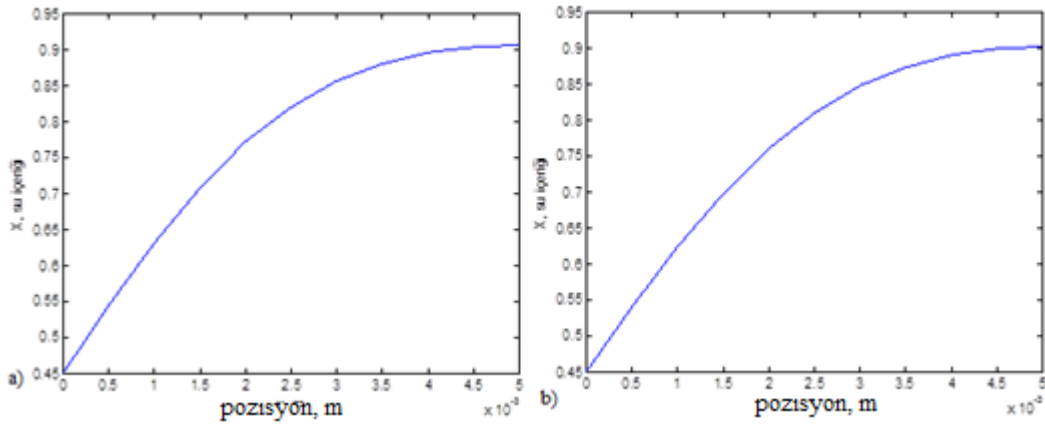


Şekil 4.24 Karıştırmalı ozmotik kurutma işlemi için nümerik yöntem öngörülleri ile deneysel verilerin karşılaştırılması: a)WR, b) WL ve C) SG (♦ deneysel, x teorik)

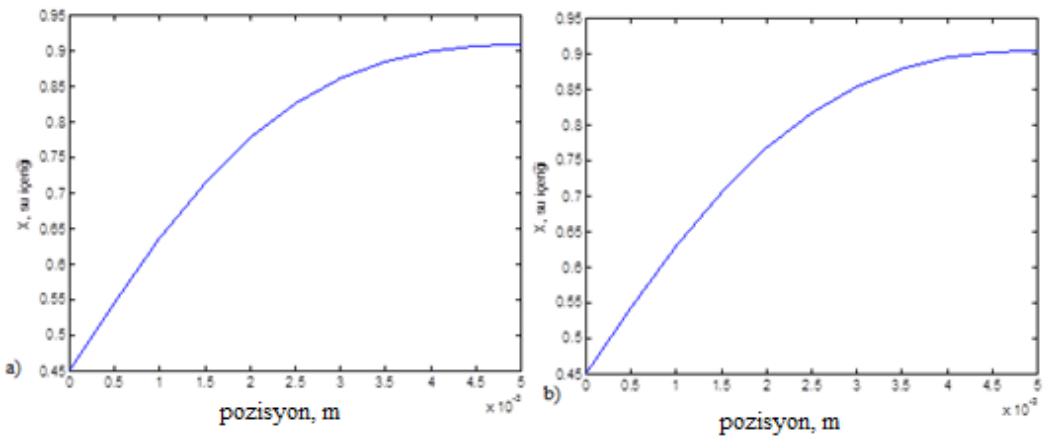
Kavun dilimlerini % 75, % 80, % 85 su içeriğine kısmi kurutmak için gereken ozmotik işlem süreleri sonunda, kavun dilimlerindeki yüzeyden merkeze doğru su içeriği dağılımı Şekil 4.25 4.26 ve 4.27’de verilmiştir. Nümerik modellerin çözümünde ozmotik kurutma işlemi sırasında kavun dilimleri ve ozmotik çözelti arasında yüzey direnci olmadığı varsayıldığı için kavun dilimlerin yüzey su içeriği hızla çözeltinin su içeriğine ulaşmıştır.



Şekil 4.25 Ortalama %75 su içeriğine kurutulmuş kavun dilimlerindeki pozisyona bağlı su içeriği dağılımı a) karıştırılmalı sistem b) ultrason sistem



Şekil 4.26 Ortalama %80 su içeriğine kurutulmuş kavun dilimlerindeki pozisyona bağlı su içeriği dağılımı a) karıştırılmalı sistem b) ultrason sistem



Şekil 4.27 Ortalama %85 su içeriğine kurutulmuş kavun dilimlerindeki pozisyona bağlı su içeriği dağılımı a) karıştırılmalı sistem b) ultrason sistem

4.3.2. Isı aktarım modeli

Karasız hal Fourier denklemi kapalı örtülü işlev yöntemi ile nümerik olarak çözülmüştür. Kararsız hal ısı iletim denkleminin çözümünde Ilıcalı ve İçier (2010)'da kullanılan başlangıç ve sınır koşulları dikkate alınmıştır. Nümerik denklemler MATLAB 7.12.0.635 paket programı (MATLAB, 2011) yardımıyla çözdürülmüştür. Modelde farklı su içeriğine sahip yarı kurutulmuş kavun dilimlerinin deneysel olarak saptanan ortalama donma başlangıç sıcaklıkları ve ürün kalınlıkları kullanılmıştır (Bkz Çizelge 4.6, Şekil 4.3). %85, %80 ve %75 su içeriğine kurutulmuş kavun dilimlerin deneysel donma zamanları ile nümerik model donma zamanı öngörülleri karşılaştırılmış ve hata oranları, RMSE değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16 Kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulmasıyla elde edilen deneysel donma süreleri ve nümerik çözümde elde edilen teorik donma sürelerinin karşılaştırılması, RMSE değerleri

% Su içeriği	U				K			
	t _{exp} (s)	t _{model} (s)	% hata oranı	RMSE	t _{exp} (s)	t _{model} (s)	% hata oranı	RMSE
92	4595	4675	1,71		4595	4675	1,71	
92	4355	4380	0,57		4355	4380	0,57	
92	4940	4995	1,10		4940	4995	1,10	
92	5370	5465	1,74		5370	5465	1,74	
				69,06				69,06
85	4180	4095	-2,08		2370	2310	-2,60	
85	2330	2300	-1,30		2660	2515	-5,77	
85	2980	3090	3,56		2700	2710	0,37	
85	2605	2635	1,14		3170	3265	2,91	
				72,67				91,86
80	2665	2430	-9,67		1465	1440	-1,74	
80	1960	1920	-2,08		2690	2370	-13,50	
80	1980	1945	-1,80		1780	1770	-0,56	
80	3735	3670	-1,77		2480	2215	-11,96	
				124,77				208,18
75	2800	2745	-2,00		3130	3105	-0,81	
75	2700	2640	-2,27		2485	2325	-6,88	
75	2510	2430	-3,29		1460	1520	3,95	
75	1960	1830	-7,10		2075	2385	13,00	
				86,49				177,43

(U: ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem)

Çizelge 4.16’de görüldüğü üzere hammadde için hata yüzdesi 0,57 ile 1,74 ve % 85 su içeriğine karıştırılmalı ozmotik sistem ile kurutulmuş kavun dilimleri için hata -5,77 ile 2,91, aynı su içeriğine ultrason ozmotik sistem ile kurutulmuş kavun dilimleri için -2,08 ile 3,56 arasında olduğu saptanmıştır. % 80 nem içeriğine sahip kısmi kurutulmuş kavun dilimleri için ise karıştırılmalı ozmotik sistem için -13,50 ile -1,74 arasında, ultrason ozmotik sistem için -9,67 ile -1,77 olmak üzere daha geniş % hata oranı değişimi elde edilmiştir. % 75 nem içeriğine sahip kısmi kurutulmuş kavun dilimleri için ise karıştırılmalı ozmotik sistem için % hata oranı -6,88 ile 13,00 % arasında, ultrason ozmotik sistem için -7,10 ile -2,00 arasındadır.

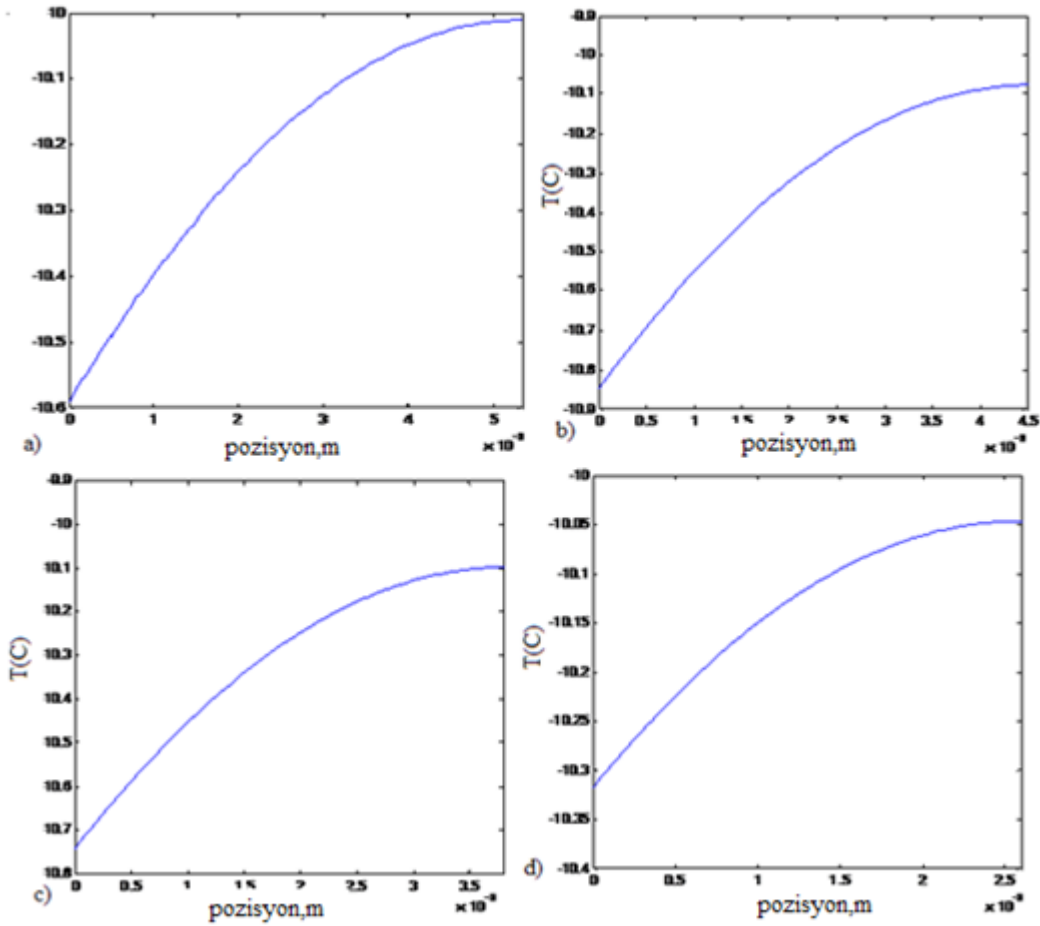
Deneyisel ve model donma süreleri arasındaki saptanan hataların nedenleri olarak: 1) Özellikle donma işleminin başlangıç periyodunda dondurucu içi ortam sıcaklığının -18°C ile -24°C arasında düşüşe sahip olması ancak sabit -24°C ortam sıcaklığının donmanın orta periyodunda sağlanabilmesi, 2) kavun dilimlerinin $+20$ ile -10°C aralığında termo fiziksel özelliklerinin değişiminin deneyisel olarak belirlenememesi ve literatürdeki uygun eşitliklerin (Fikiin and Fikiin (1999) kullanılması sonucu yaklaşık değerlerin modelde dikkate alınmış olması, 3) kavun dilimlerinin ozmotik kurutma sonrası farklı boyutlara büzülmesi nedeniyle dondurucu içinde taşınım ile ısı aktarım katsayısının boyuta bağlı değişiminin hassas ölçülebilmesi, modelde ortalama değer kullanılması, 4) ozmotik kurutma sırasında kavunda meydana gelen değişimler, hücre yapısının bozulması, 5) kavun hammaddesi içinde bileşim ve yapı farklılıklarının modelde dikkate alınamaması 6) ısı ileşimlerin ölçüm hassasiyeti, 7) ölçüm ve deneyisel hataların etkili olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.16’de görüldüğü gibi, deneyisel donma süreleri ile model öngörülleri arasındaki istatistiksel farkı ifade eden RMSE değeri en düşük hammadde örnekleri için saptanmıştır. Ultrason ozmotik kurutma sisteminde kısmi kurutulduktan sonra dondurulan kavun dilimlerinin donma sürelerindeki öngörü farklılığının, bir başka deyişle RMSE değerinin, karıştırmalı ozmotik sistemde kısmi kurutulduktan sonra dondurulan kavun dilimlerinin donma sürelerindeki öngörü farklılığından daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

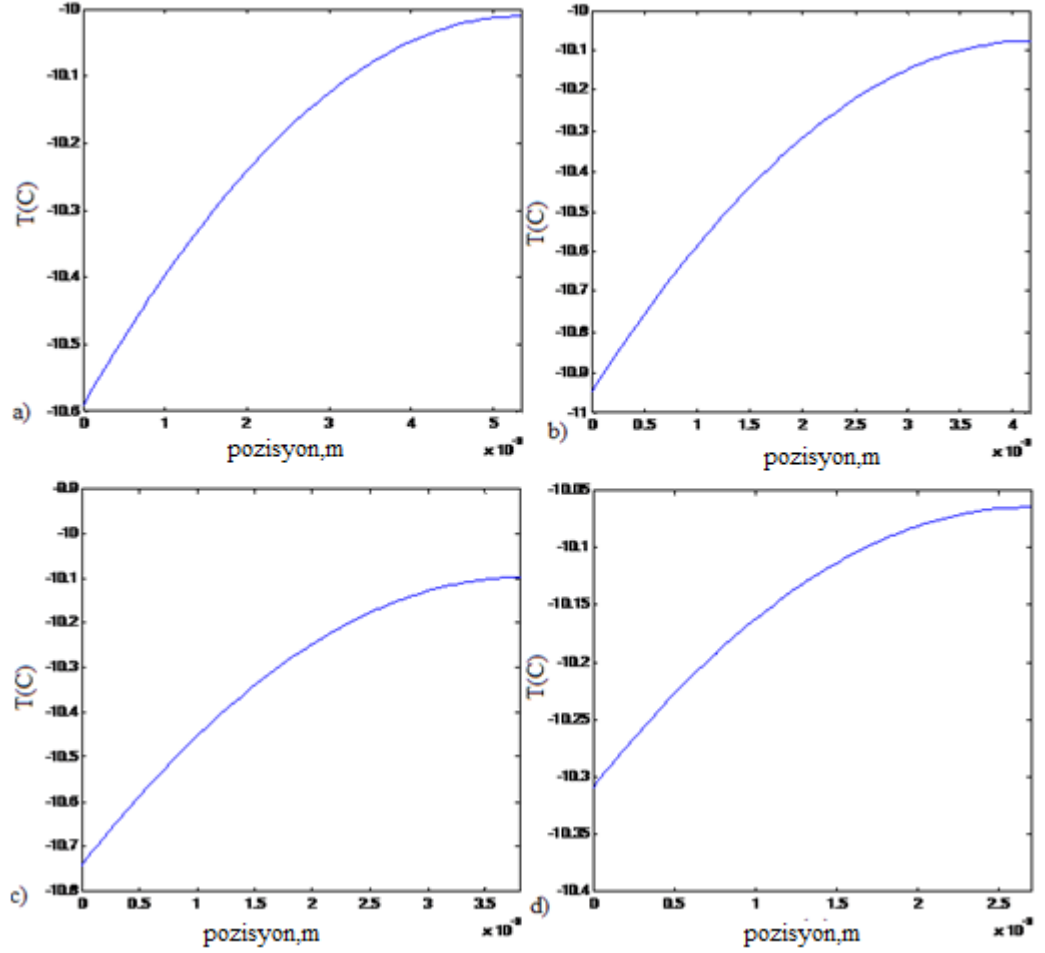
Ek-24 ve 25’de ultrason ozmotik kurutma sistemi ve karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminde kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulma deneyisel verileri ile nümerik model sıcaklık değişim öngörülleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Kavun dilimlerinin % 75, 80, 85 su içeriklerine ozmotik kurutulması sonucu elde edilen kalınlıkları farklılık göstermektedir. Ozmotik kurutma süresince kavun dilimlerin kalınlıkları zamana bağlı olarak azalmaktadır (Bkz. Şekil 4.3). Bu

farklılık ürünün donma süresini ve ürün içindeki sıcaklık dağılımını etkileyen faktörlerdendir. Bu nedenle kurutulmuş ürünlerin kalınlıkları donma işleminin matematiksel modellenmesi sırasında dikkate alınmıştır. Gıda ürünlerinin dondurulması işleminde ürün içinde sıcaklık dağılımı oldukça değişmektedir. Donma sırasında üründe homojen sıcaklık dağılımı meydana gelmediği için en zor soğuyan konum olan merkez noktasının sıcaklık değişimine göre donma süresi belirlenir. Farklı başlangıç su içeriklerine sahip kavun dilimlerinin donma süresi sonunda merkez ve yüzey arası pozisyona bağlı sıcaklık dağılımı öngörülleri Şekil 4.29 ve 4.30 'da verilmiştir.



Şekil 4.28. Ultrason ozmotik kurutma yöntemi ile farklı su içeriğine kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin ve hammaddenin donma sonrası konuma bağlı nümerik sıcaklık öngörülleri dağılımı
a)hammadde, b) %85, c) %80, d) %75.



Şekil 4.29 Karıştırmalı ozmotik kurutma yöntemi ile farklı su içeriğine kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin ve hammaddenin donma sonrası konuma bağlı nümerik sıcaklık öngörülerinin dağılımı a)hammadde, b) %85, c) %80, d) %75.

Şekil 4.28 ve Şekil 4.29 incelendiğinde, kavun dilimlerin merkez noktası ile yüzey sıcaklığı arasında en az fark %75 su içeriğine sahip örneklerde meydana gelmiştir. Bu örneklerde ozmotik kurutma sonrası kavun dilimlerinin kalınlığının diğer su içeriklerindeki kalınlıklara kıyasla daha az olması ve ısı iletiminin daha yüksek olması nedeniyle donma sırasında merkez ve yüzey arasında sıcaklık farkları daha az oluşmaktadır. Bunun yanı sıra, donma sırasında ortam sıcaklığının değişkenliği ve ısı aktarım katsayısındaki değişimler de yüzey sıcaklığının düşmesi açısından etkili olmuştur.

4.4.Enerji Verimliliği

Çizelge 4.17’da, örnekler için ozmotik kurutma ve dondurma aşamasında harcanan güç değerleri ve işlemlerde harcanan gücün toplam harcanan güç içerisindeki yüzde oranları verilmiştir. Çizelge 4.18 ve 19’de verimlilik değerleri ve özgül nem çekme oranı verilmiştir.

Ozmotik kurutma uygulanmayan kavun dilimlerinin donması sırasında harcanan güç ise 8,85 W’dır.

Çizelge 4.17 Ultrason ve karıştırmalı sistemlerde ozmotik ve dondurma sırasında harcanan güç değerleri

Su içeriği (%)	Yöntem	Ozmotik kurutma sırasında harcanan güç(W)	Donma işlemi sırasında harcanan güç (W)	Toplam Güç(W)	Toplam güçteki oran (%)	
					Ozmotik (%)	Dondurma (%)
85	U	292,50	4,61	297,11	98,45	1,55
	K	1755,00	5,61	1760,61	99,68	0,32
80	U	1023,75	4,71	1028,44	99,54	0,46
	K	6142,50	4,74	6147,24	99,92	0,08
75	U	1901,25	3,87	1905,10	99,80	0,20
	K	11407,50	4,40	11411,89	99,96	0,04

(U:ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem)

Çizelge 4.18 Karıştırmalı ozmotik sistem için enerji verimliliği sonuçları

Su içeriği(%)	Özgül nem çekme oranı(g su/W)	Donma verimliliği(%)	Genel verimlilik(%)
85	0,008	98,90	0,30
80	0,003	99,20	0,08
75	0,002	94,70	0,04

Çizelge 4.19 Ultrason ozmotik sistem için enerji verimliliği sonuçları

Su içeriği(%)	Özgül nem çekme oranı(g su/W)	Donma verimliliği	Genel verimlilik
85	0,047	100,00	1,60
80	0,018	99,60	0,50
75	0,013	99,40	0,20

Çizelge 4.17’da görüldüğü gibi kısmi kurutulmuş gıdaların dondurulması işleminde en fazla enerji kurutma aşamasında tüketilmektedir. Ozmotik kurutma işlemi uygulayarak örneklerin su içeriğinde düşüşü sağlamak ve bu sayede donma süresinde azalmaya neden olmak amaçlanmıştır. Başlangıç su içeriği %92’den %85 su içeriğine düşürüldüğünde donma işlemi için gerekli güç yaklaşık yarıya düşürülebilmesine rağmen ozmotik kurutma işlemi için ek olarak 292,5 W güç harcanması gerekmektedir. Kavun diliminin su içeriğinin %85’den %75’e düşürülmesi ile donma sırasında tüketilen güç en fazla 1,21 W azaltılabilmektedir. Bunun yanı sıra aynı su içeriği düşüşü için ozmotik kurutma işlemi sırasında 9252,5 W fazla güç tüketimi gerçekleşmiştir. Bu nedenle en yüksek enerji verimliliğine sahip kurutularak dondurulma işleminin % 85 su içeriğine sahip kavun dilimleri için uygulandığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.18 ve 4.19). Sadece enerji verimliliği dikkate alınması gerekirse, kavun dilimlerinin %85 nem içeriğine yarı kurutulmasının yeterli olacağı düşünülmektedir. Ancak kalite özelliklerindeki değişim de dikkate alınırsa, daha düşük su içerikleri de tercih edilebilir. Bu durumda kalitedeki artışa paralel olarak ürün maliyetine yansıtacak katma değer enerji verimliliği düşüşünden kaynaklanacak maliyeti karşılayıp karşılayamadığı sorgulanmalıdır.

Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma yöntemleri enerji açısından karşılaştırılması için Çizelge 4.17, 4.18, 4.19 incelendiğinde, ultrason ozmotik kurutma sisteminde enerji tüketimi daha az, özgül nem çekme oranı ve verimliliklerin daha fazla olduğu görülmektedir. İncelenen kalite özellikleri açısından iki sistem için birbirine yakın değerler elde edilmesi, su kaybı, ağırlık kaybı ve katı kazanım değerlerinin yakın olması ve hatta değerlerin ozmotik

kurutma süresi artıkça artması gibi faktörlerde göz önünde tutulduğunda ultrason sistem karıştırmalı sisteme alternatif bir sistem olarak kullanılabilir.

.

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kavun örneklerinin kısmi kurutuduktan sonra dondurulmasının deneysel ve kuramsal, enerji verimliliği bakımından incelenmesi konulu bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Genel sonuçlar;

- 1) Kavun dilimlerinin hacimleri ozmotik kurutma işlemi süresince zamana bağlı olarak azalmıştır. Özellikle ozmotik kurutma işlem süresinin artmasıyla ultrason ozmotik kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin hacimlerindeki azalma daha fazla artmaktadır.
- 2) Ozmotik kurutma işlemi süresince üründe meydana gelen boyutları belirtilen kavun dilimlerin en, boy, kalınlık değişimleri incelenmiştir. Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde en belirgin azalmanın ürün kalınlığında meydana geldiği belirlenmiştir.
- 3) Ozmotik kurutma işlem süresince kullanılan çözeltinin hacim ve kütle kayıpları değerleri birbirine yakın olduğundan dolayı çözelti konsantrasyonunda önemli bir değişim olmamıştır.
- 4) Ozmotik kurutma işleminde, işlem süresinin artmasıyla üründe meydana gelen kütle kaybı artmaktadır. Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma yöntemlerinde benzer kütle kayıpları meydana gelmesine karşın ozmotik kurutma işlem süresinin ilerlemesiyle ultrason ozmotik kurutma yönteminde daha fazla kütle kaybı meydana gelmektedir.
- 5) İlk 4 saat ozmotik kurutma işlem periyodunda ürünün kütlelerinde, hacminde, kalınlığında, boyunda ve eninde meydana gelen azalmanın devam eden işlem sürelerine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.
- 6) Kavun dilimlerine 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 4 h 45 dak, 5 h 15 dak, 5 h 45 dak, 6 h 15 dak, 6 h 45 dak, 7 h 15 dak, 7 h 45 dak, 8 h 15 dak, 8 h 45 dak, 9 h 15 dak, 9 h 45 dak ozmotik işlem süreleri uygulanmıştır. Bu işlem süreleri sonunda kavun dilimlerinin üst, orta ve merkez olmak üzere üç farklı noktasından örnek alınmış,

bu noktadaki su içeriği değeri belirlenmiştir (Üst nokta olarak bahsedilen ürünün yüzeyi, orta nokta ürün yüzeyi ile yarı kalınlığının ortası, merkez noktası ise ürünün yarı kalınlığındaki noktadır). Böylelikle ozmotik kurutma işlem süresi boyunca kavun dilimlerindeki konuma göre su içeriği dağılımı belirlenmiştir. Kavun dilimlerinin üst, orta ve merkez noktasındaki su içeriklerin aritmetik ortalaması alınarak kavunların ortalama su içeriği belirlenmiştir. Bulunan bu değer dilimin tanımından homojen örnek alınarak yapılan kuru madde analizi ile desteklenmiştir.

7) İlk 4 saat ozmotik işlem süresi periyodunda kavun dilimlerin merkez ve orta noktadaki su içerikleri birbirine benzer değerler vermiştir. Ozmotik kurutma işlemi sırasında yüzeyden başlayarak kademe kademe su uzaklaştığı için yüzey noktasında su içeriği daha düşük elde edilmiştir.

8) Başlangıç su içeriği ortalama % 92 olan kavun dilimlerinin su içeriği 9 saat 45 dak ozmotik kurutma işlem süresi sonuncunda ortalama %75 su içeriğine düşürülmüştür.

9) Uzun süre uygulanan ultrason ozmotik kurutma işleminde sıcaklık artışı olmakta, ozmotik işlem süresinin sabit tutulması zorlaşmaktadır. Kontrol edilmeyen sıcaklık artışının (maksimum 5 °C) karıştırmalı sistemlere göre daha fazla ağırlık kaybı meydana gelmesine neden olduğu düşünülmektedir.

10) Ozmotik kurutma işlem süresi artmasıyla su kaybı ve ağırlık azalması artmaktadır. Katı kazanımı ürünün yapısındaki değişimlerden etkilenmektedir.

11) En hızlı su ve ağırlık kaybı ilk 4 saatte meydana gelmektedir. 9 saat 45 dak ozmotik kurutma işlem süresi sonunda ultrason ozmotik kurutma yöntemiyle ortalama % 51 su kaybı, karıştırmalı ozmotik kurutma yöntemiyle ortalama %45 su kaybı meydana gelmiştir. Su kaybı değerindeki bu artış ultrason ses dalgalarından kaynaklanmaktadır.

12) Ozmotik kurutma işlem süresince artan ve azalan değerlerde katı kazanımı gözlenmiştir. Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma işlemi ile ilk 4 saat işlem periyodunda katı kazanımında belirgin bir artış meydana gelmektedir. İlerleyen işlem süresince, 5 saat 15 dak ve 6 saat 45 dak arasında katı kazanım aynı düzeyde kalmaktadır, 7

saat 45 dak sonrasında katı kazanım değerleri düşerek kurutma işleminin başlangıç periyodundaki değerlere kadar gerilemektedir. Katı kazanım değişimi artmakta ultrason sistem ve karıştırılmalı sistemde benzer karakter gösterdiği belirlenmiştir. Katı kazanım değerleri arasındaki değişim işlem süresince hücre zarlarının yarı geçirgen özelliğinin değişmesinden, işlem süresinin uzun olması nedeniyle difüzyona doygunluk, gıdadan çözeltiye suyun transferi ve çözültiden gıdaya çözünür madde transferinin eş molar kütle difüzyonu olmamasından kaynaklanabilir. Ayrıca ultrason ozmotik kurutma sisteminde karıştırılmalı ozmotik kurutma sistemine göre daha fazla sapma olmasının nedeni işlem sırasında ultrason sistemin ısınması nedeniyle işlem sıcaklığının sabit tutulmasının daha az kontrollü olmasından kaynaklanabilir.

13) Kavun çeşitleri arasında su içeriklerinin oldukça farklı olduğu saptanmıştır. Ön denemeler için ithal kavunda yapılan ön çalışmalarda ithal kavun başlangıç su içeriğinin % 81-90 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kırkağaç kavununda yapılan çalışmalarda ise başlangıç su içeriği % 89-94 arasında değişmektedir.

14) Kavun dilimlerin ozmotik kurutma ile su içeriği değerlerinin azalmasıyla su aktivite değerlerinde azalma olmuştur. Başlangıçta ortalama 0,965 olan su aktivitesi değerlerinin ozmotik kurutma işlemi sonrası en düşük 0,943 değerine düştüğü belirlenmiştir. Ozmotik kurutma sonunda su aktivitesi değerlerinin oldukça yüksek olması; ozmotik kurutulmuş kavun dilimlerine dondurma gibi ek muhafaza yöntemleriyle kombinasyonunun gerekli olduğunu göstermiştir.

15) Kavun dilimlerinin kuru madde kısmının büyük bir oranının şekerlerden oluştuğu tespit edilmiştir. Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik yöntemlerle kurutulan kavun dilimlerinde su içeriği azalmasıyla toplam şeker ve indirgen şeker miktarında artış olmuştur.

16) Genel olarak bakıldığında, ozmotik kurutma sırasında çözültiden kavun dilimlerine D-Glikoz ve D-Fruktoz kütle aktarım karakterinin benzer olduğu sonucuna varılmıştır.

17) Ozmotik kurutma yöntemlerinin a değeri ve hue açısı üzerine etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

- 18) Ozmotik kurutma ile kısmi kurutulan kavun dilimlerin su içeriğinin azalmasıyla donma başlangıç sıcaklığı düşmüştür. %92 su içeriğine sahip kavun dilimlerin donma başlangıç sıcaklığı yaklaşık -1°C iken % 75 su içeriğine kısmi kurutulmuş kavun dilimlerin su içeriği yaklaşık -3°C 'e kadar düşmektedir.
- 19) Kavun dilimlerin ozmotik kurutma işlemiyle kısmi kurutularak su içeriği değerinin azalmasıyla donma süreleri azalmıştır. Hammadde kavun dilimleri için donma zamanı yaklaşık 5000 s civarında bulunmasına karşın %75 su içeriğine kısmi kurutulmuş yaklaşık 2000 s'e kadar azalmıştır.
- 20) Yarı kurutulan kavun örneklerinin su içeriğinin azalmasıyla çözünme kayıplarının azaldığı belirlenmiştir.
- 21) Donma-çözünme sonrası su aktivitesi değerlerinin çözünme kayıpları nedeniyle, kurutma sonrası su aktivitesi değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
- 22) Ozmotik kurutma uygulama yönteminin donma-çözünme sonrası renk parametreleri içinden en fazla Hue açısı üzerine etkili olduğu tespit edilmiştir.
- 23) Azuara modeline göre, denge durumunda tahmin edilen su kaybı oranlarını belirten WL_e değerleri; ultrason sistem için % 62,5, karıştırmalı sistem için ise % 58,82 olarak tespit edilmiştir.

Azuara modeline göre, denge durumunda tahmin edilen katı kazanımı oranlarını belirten SG_e değerleri; ultrason sistem için % 3,78, karıştırmalı sistem için ise % 3,56 olarak tespit edilmiştir.

Azuara modeli ile öngörülen su kaybı ve katı kazanımı değerlerinin deneysel verilerle arasında uyumu belirlemek için regresyon katsayısı, RMSE, χ^2 değeri ve % hata oranı incelenmiştir. Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde % WL ve % SG değişiminin belirlenmesi için Azuara modeli öngörülleri ve deneysel verilerin uyumlu olmasına karşın % SG değişimini ifade eden model regresyon katsayılarının daha düşük olduğu belirlenmiştir.

- 24) Hawkes/Flink modeline göre ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma yöntemleri için su kaybı ve kütle kazanımını birlikte ifade eden kütle transfer katsayısı (k) hesaplanmıştır ve ultrason ozmotik kurutma sistemi ile karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için k değeri birbirine yakın bulunmasına karşın ultrason sistem için biraz yüksektir.

- 25) Ozmotik kurutma işlemi süresince su kaybı ve katı kazanımının efektif difüzivite değerlerinin zamana bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Ortalama efektif difüzivite değeri $D_{ew}=1.1136 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $D_{es}=9.55 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ bulunmuştur.
- 26) Çözeltilerin viskozitesi 38°C 'de 55° Brikste 0.0482 Pa.s olarak ölçülmüştür. Ortalama çözelti yoğunluğu $1233,1 \text{ kg/m}^3$ olarak ölçülmüştür.
- 27) Modelle öngörülen kavunun su içeriği değeriyle ultrason ve karıştırılmalı ozmotik kurutma yöntemleriyle deneysel elde edilen kavun örneklerinin su içeriği değerlerinin uyumu RMSE ve % hata oranları ile incelenmiştir. Genel olarak ultrason ve karıştırılmalı sistemlerde gerçekleştirilen ozmotik kurutma işlemleri için nümerik model öngörülleri ile deneysel su içeriği değişimleri arasında oldukça iyi uyum olduğu saptanmıştır. Model öngörülen değerlerin hesaplamalarında kavunun büzülme değerleri dikkate alınmamasından dolayı deneysel veriler ile nümerik öngörüler arasında bazı farklılıklar meydana gelmiştir.
- 28) Ozmotik kurutma işlemi süresince kavun dilimlerin yüzeyden merkeze doğru su içeriği değerlerin arttığı tespit edilmiştir. Deneysel verilerle nümerik öngörülen değerlerin uyum içinde olduğu saptanmıştır. Diğer yandan nümerik model çözümünde su kaybı ve katı kazanımı için ortalama efektif difüzivite değerleri kullanılmıştır. Ancak efektif difüzivite değerlerinin ozmotik kurutma süresince değiştiği deneysel olarak belirlenmiştir. Ancak bu değişim zamana bağlı olarak belirlenemediği için modelde dikkate alınamamıştır.
- 29) Model öngörülen değerler ile deneysel veriler arasında en zayıf uyum % SG değerlerinde olduğu belirlenmiştir.
- 30) Ozmotik kurutma işlem süresi boyunca kavun dilimlerin yüzeyinden merkezine doğru su içeriği değerinin arttığı tespit edilmiştir. Deneysel öngörülenler ve deneysel verilerin uyumlu olduğu saptanmıştır.
- 31) Kavun dilimlerin dondurulmasıyla deneysel elde edilen donma başlangıç sıcaklıkları kullanılarak nümerik denklemlerin çözümüyle donma süreleri ve donma sırasında meydana gelen sıcaklık dağılımları bulunmuştur. Nümerik öngörülerle deneysel verilerin uyumları RMSE değerleri ve % hata oranları hesaplanarak belirlenmiştir.
- 32) Deneysel donma süreleri ile model öngörülleri arasındaki istatistiksel farkı ifade eden RSME değeri en düşük hammadde örnekleri için bulunmuştur.

Ultrason ozmotik kurutma sisteminde kısmi kurutulduktan sonra dondurulan kavun dilimlerinin donma sürelerindeki öngörü farklılığının, bir başka deyişle RMSE değerinin, karıştırmalı ozmotik sistemde kısmi kurutulduktan sonra dondurulan kavun dilimlerinin donma sürelerindeki öngörü farklılığından daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

33) Kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulması işleminde en fazla enerji tüketimi kavun dilimlerin kurutulması aşamasında meydana gelmektedir. Genel olarak enerji tüketimine bakıldığında toplam enerjinin ~%99'nun kurutma işlemi süresince tüketildiği görülmektedir. Özellikle karıştırmalı ozmotik kurutma yönteminde ozmotik kurutma süresinin artmasıyla güç tüketimi ultrason ozmotik kurutma yöntemine göre 10 kat artmaktadır.

34) Donma süresinin azalması yanı sıra işlem süresince tüketilen enerji de oldukça önemlidir. % 75 su içeriğine kısmi kurutulmuş kavun örnekleri ile % 85 su içeriğine kısmi kurutulmuş kavun dilimlerin donma süreleri arasında maksimum 17 dak gibi farklılık olmasına ve donma sırasında harcanan güç tüketiminde 1 W fark olmasına karşın ozmotik kurutma sırasında güç tüketimi 5 kattan daha fazla artmaktadır. Tüm değerler karşılaştırıldığı zaman %85 su içeriğine kısmi kurutulmuş kavun dilimleri bu çalışmada en uygun su içeriği düzeyindeki örnek olarak bulunmuştur.

35) Ultrason ozmotik kurutma yöntemi ile karıştırmalı ozmotik kurutma yöntemi için su içeriği, su kaybı, katı kazanımı, ağırlık kaybı gibi kütsel aktarım özellikleri ile kalite özelliklerinden çözünme kaybı, su aktivitesi, renk gibi değerler birbirine yakındır. Enerji tüketimi açısından karşılaştırıldığında ultrason ozmotik kurutma yönteminde karıştırmalı ozmotik kurutma yöntemine göre daha düşük güç harcanmaktadır.

36) Yukarıda bahsedilen tüm sonuçlar incelendiğinde ultrason ozmotik kurutma yöntemi, karıştırmalı ozmotik kurutma yöntemi yerine alternatif olarak kullanılabilir.

Öneriler;

- 1) Ultrason ve karıştırılmalı ozmotik kurutma yöntemlerinde deneysel olarak denge su içeriği, su kaybı ve katı kazanımı değerleri saptanmalıdır.
- 2) Ultrason ve karıştırılmalı ozmotik kurutma sisteminde gerçekleştirilen kurutma işlemi süresince ve donma işlemi sonrasında kavun dilimlerinin yapısında meydana gelen değişiklikleri belirlemek için elektron mikroskobu ve NMR görüntüleri çekilmelidir.
- 3) Ozmotik kurutma işlemi sırasında daha stabil işlem koşulları ve ortam koşulları sağlanmalıdır.
- 4) Aynı anda en az üç paralel yapılabilecek cihaz kapasitelerinde çalışılmalıdır. Böylelikle paraleller arasında hammadde ve ortam koşullarının değişikliklerinden kaynaklanan hatalar önlenabilir.
- 5) Katı kazanımındaki azalma ve artışların daha net belirlenmesi için veri alınan işlem süresi aralığı daha da azaltılmalıdır.
- 6) Ozmotik kurutma işlem süresince kavun dilimlerinde meydana gelen sıcaklık değişimlerinin tespiti için ısıleş ile sıcaklık değerleri ölçülmelidir.
- 7) Kütle aktarım nümerik model çözümünde kavun dilimlerinde ozmotik kurutma süresince meydana gelen büzülmeler dikkate alınmalıdır.
- 8) Nümerik denklemlerin çözümünde ozmotik kurutma işlemi boyunca katı ve su efektif difüzivite değerleri ortalama değer alınmıştır. Fakat bu değerler zamanla değişmektedir, bu değişim göz önüne alınarak denklemler tekrar düzenlenmelidir.
- 9) Donma sırasında derin dondurucunun ortam sıcaklığının sabit tutulduğu koşullu ortam sağlanmalıdır.
- 10) Kavun dilimlerinin +20 ile -10°C aralığında termo fiziksel özelliklerinin değişimi deneysel olarak belirlenmelidir.
- 11) Isı aktarım katsayısını belirlenmekte kullanılan alüminyum bloklar kavun dilimlerinin büzüşme tespit edilen birçok boyutları ile aynı boyutta yaptırılmalı ve ısı aktarım katsayısı daha hassas belirlenmelidir.
- 12) Renk değişimlerinin görsel olarak belirlenmesi için profesyonel kameralar ile çekim yapılmalıdır.
- 13) Farklı çözelti bileşimi, konsantrasyonu ve işlem sıcaklığında ozmotik kurutma işlemi yapılarak ultrason ve karıştırılmalı yöntemlerin etkisi incelenebilir.

- 14) Kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulması işleminde ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma yöntemlerin tekstür üzerine etkisi belirlemek için doku analizi yapılmadı.
- 15) Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sisteminin etkisinin daha ayrıntılı anlaşılması için farklı gıda örnekleri ile çalışılmalıdır.
- 16) Bu konuda ileride yapılacak çalışmalarda boyut ve efektif difüzivite değerlerinin zamana bağlı değişimlerinin nümerik modelde dikkate alınması önerilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Agnelli, M., E., Marani, C.M. and Mascheroni, R.H.,** 2005. Modelling of heat and mass transfer during(osmo) dehydrofreezing of fruits. *Journal of Food Engineering*, 69: 415-424.
- Amami, E., Vorobiev, E. and Kechaou, N.,** 2006, Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apple tissue pre-treated by pulsed electric field. *LWT*, 39 : 1014–1021.
- Ando, H., Kajiware, K., Oshita, S. and Suzuki, T.,** 2012, The Effect of Osmotic Dehydrofreezing on the Role of the Cell Membrane in Carrot Texture Softening After Freeze-Thawing, *Journal of Food Engineering*, 108:473-479.
- Azuara E., Cortes, R., Garc,a, H.S. and Beristain, C.I.,** 1992, Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's Second Law, *International Journal of Food Science and Technology*, 27:409-418.
- Baysal A., Keçecioglu, S., Arslan, P., Yücecan, S., Pekcan, G., Güneyli, U., Birer, S., Sağlam, F. and Yuttagül, M.,** 1991, Besin Bileşimleri, Ankara.
- Betts, G.D., Williams, A. and Oakley, R.M.,** 1999, Ultrasonic standing waves, Inactivation of Food-borne Microorganisms Using Power Ultrasound, *Academic Pres.*, 2202-2208.
- Blanda, G., Cerretani, L., Cardinali, L., Barberi, S., Bendini, A. and Lercker, G.,** 2009, Osmotic dehydrofreezing of strawberries: Polyphenolic content, volatile profile and consumer acceptance. *Food Science and Technology*, 42:30-36.
- Brennan, J. G.,** 2006, Food Processing Handbook, Wiley-VGH Verlag GmbH&Co. KGOA, Weinbeim, Germany
- Carcel, J.A., Bedito, J., Rosselló and C., Mulet, A.,** 2007, Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution, *Journal of Food Engineering*, 78: 472–479.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cemeroğlu, B. ve Özkan, M.,** 2009, Kurutma Teknolojisi, Meyve ve Sebzelerin Bileşimi, Meyve Sebze İşleme Teknolojisi Cilt 1., Gıda Teknolojisi Dergi Yayını, 38, Ankara, 707 s.
- Cemeroğlu, B.,** 2010, Gıda analizler, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 655 s.
- Chenlo, F., Moreira, R., Fernandez-Herrero, C. and Vazquez, G.,** 2007, Osmotic dehydration of chestnut with sucrose: mass transfer processes and global kinetics modelling, *Journal of Food Engineering*, 78:765-774.
- Chenlo, F., Moreira, R., Fernandez-Herrero, C. and Vazquez, G.,**2006 ,Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions, *Journal of Food Engineering*, 73:164-173.
- Choi, Y. and Okos, M.R.,** 1986, Effect of temperature and composition on the thermal properties of foods. In: Le Maguer, M., Jelen, P. (Eds.), *Food Engineering and Process Applications*. Elsevier Publishers, London, 93–101 pp.
- Cleland, A.C. and Earle, R.L.,** 1977, A comparison of analytical and numerical methods for predicting the freezing times of foods, *Journal of Food Science*, 42:1390–1395.
- Cleland, A.C. and Earle, R.L.,** 1979. A comparison of methods for predicting the freezing times of cylindrical and spherical foodstuffs. *Journal of Food Science* 44:958–963.
- Conway, J., Castaigne, F., Picard, G., and Vovan, X.,** 1983, Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples, *Food Science Technology*, 16(1):25-29 .
- Corzo, O. and Gomez, E.,** 2004, Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. *Journal of Food Engineering*,64:213- 220.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Crank, J., 1975**, The Mathematics of Diffusion, Clarendon Press, Oxford.
- Çınar, İ., 2009**. Ozmotik dehidrasyon, mekanizması ve uygulamaları, *Gıda* 34(5):325-329.
- Davies, L.J., Kemp, M.R. and Fryer, P.J., 1999**, The geometry of Shadows: effects of inhomogeneties in electrical field processing, *Journal of Food Engineering*, 40:245-258.
- Delgado, A. E. and Sun D.W., 2001**, Heat and mass transfer models for predicting freezing processes- a review, *Journal of Food Engineering*, 47: 157-174.
- Deng, Y. and Zhao, Y., 2008**, Effects of pulseed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji), *Journal of Food Engineering*, 85:84-93.
- Dermesonlougou, E.K., Giannakourou, M.C. and Taoukis, P., 2007**, Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes, *Journal of Food Engineering*, 78: 272-280.
- Derossi, A., Pilli, T.D., Severini, C. and McCarthy, M.J., 2008**, Mass transfer during osmotic dehydration of apples, *Journal of Food Engineering*, 86:519–528.
- Dolatowski, Z. J., Stadnik, J. and Stosiak, D., 2007**, Applications of ultrasound in food technology, *Acto. Sci. Pol., Technol. Aliment*, 6:89-99.
- Engez, S. T., 1988**, Gıdaların Donmasının Sayısal Yöntemle İncelenmesi ve Donma Sürelerinin Öngörülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri, 75 s.
- Erbay, Z., İçier, F., 2010**, Thin layer drying behaviors of olive leaves (*Olea europaea* L.). *Journal of Food Process Engineering*, 33:287-308.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Eren, İ.**, 2004. Patateslerin Osmotik Dehidrasyonunun ‘Response Surface’ Metodu Kullanılarak Optimizasyonu, Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 120s .
- Ertekin, F. and Sultanoğlu, M.**, 2000, Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples, *Journal of Food Engineering* 46: 243-250.
- Erünel, S.**, 2010, Eriğin (Prunus Domestica) Ozmotik Dehidrayon Parametrelerinin ve Kurumaya Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Fernandes F., Gallao, M. and Rodrigues, S.**, 2007, Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration, *Journal of Food Engineering* 90: 86–190 .
- Fernandes F., Gallao, M. and Rodrigues, S.**, 2008, Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration, *LWT* ,41:604–610.
- Fernandes, F., Gallao, M. and Rodrigues, S.**, 2009, Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration, *Journal of Food Engineering*, 90: 86–190.
- Fikiin, K.A. and Fikiin, A.G.**, 1999, Predictive equations for thermo-physical properties and enthalpy during cooling and freezing of food materials, *Journal of Food Engineering* ,40: 1–6.
- Floury, J., Bail, A. L. And Pham, Q.T.**, 2008, A three-dimensional numerical simulation of the osmotic dehydration of mango and effect of freezing on the mass transfer rates, *Journal of Food Engineering*, 85:1-11.
- Forni, E., Sormani, A., Scalise, S. and Torreggiani, D.**, 1997, The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots, *Food Research International*, 30(2):87-94.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fu, W.R. and Hsieh, C.C.**, 1999, Simulation and Verification of Two-Dimensional Ohmic Heating in Static System, *Journal of Food Science*, 64:946-949.
- Geankoplis, C. J.**, 2003, Transport Processes and Separation Process Principles, Pearson Education Inc., New Jersey, 1025.
- Gürbüz, D. ve Evranuz, E. Ö.**, 2006, Balkabağının Ozmotik Kurutulmasında Şeker Çözeltilisine Tuz İlavesinin Kuruma Kinetiğine Etkisi, Türkiye 9. Gıda Kongresi: 24-26 Mayıs, Bolu.
- Hawkes, J. and Flink, J. M.**, 1978, Osmotic Concentration of Fruit Slices Prior to Freeze Dehydration, *Journal of Food Processing and Preservation*, 2:265-284
- Heimdal, H., Kuhn, B.F., Poll, L., and Larsen, L. M.**, 1995, Biochemical changes and sensory quality of shredded and MA packaged iceberg lettuce, *Journal of Food Science*, 60 (6):1265-1268,1276.
- Heldman, D. R. and Lund, D. B.**, 2007, Handbook of Food Engineering, CRC Press, New York, 1038 p.
- Ilıcalı, C. and İcier, F.**,2010. freezing time prediction for partially dried papaya puree with infinite cylinder geometry, *Journal of Food Engineering*, 100: 696-704.
- Ilıcalı, C., İcier, F. and Teng, L. S.**, 2007, A Numerical model for the Freezing Time Prediction of Partially Dried Papaya Slabs, World Engineering Congress, Penang, Malaysia, 5-9 August .
- Isaeva, J.**, 2007, Kayısı Kurutmasının Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,110s.
- Islam, M. N. and Flink J. M.**, 1982, Dehydration of potato II. Osmotic dehydration of apples, *Lebens.-Wiss.u.-Technol.*, 26:151-156.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- İspir, A.**, 2006, Kayısının Ozmotik Dehidrasyonu Ve Kurutmaya Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 104s.
- Kaymak, F. ve Kıncal, S.**, 1989, Gıdalarda ozmotik dehidrayon işleminin modellenmesi ve kuruma üzerine etkileri, *E.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Gıda Mühendisliği Bölümü, 7(2):107.
- Khin, M.M., Zhou, W., and Perera, C.O.**, 2005, A Study of the Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Coated Potato Cubes, *Journal of food Engineering*, 77:84-95.
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V. and Lee, D.U.**, 2004, Applications and potential of ultraonics in food Processig, *Trends in Food Science&Technology*, 15:261-264.
- Lenz, D.U., Arık, E.A. ve Us, F.**, 2006, Elmanın Glikoz, Fruktöz, Sakaroz Çözeltilerinde Ozmotik Kurutulması, Türkiye 9. Gıda Kongresi; 24-26 Mayıs , Bolu.
- Li, B. and Sun, D. W.**, 2002, Novel methoda for rapid freezing and thawing of foods-a review, *Journal of Food Engineering*, 54:175-182.
- Lo Scalzo, R., Papadimitriu, C., Bertolo, G., Maestrelli, A. and Torreggiani, D.**, 2001, I nfluence of Cultivar and Osmotic Dehydration Time on Aroma Profiles of Muskmelon Spheres, *Journal of Food Engineering*, 49: 261-264.
- Maestrelli, A., Lo Scalzo, R., Lupi, D., Bertolo, G. and Torreggiani, D.**, 2001, Partial removal of water before freezing: cultivar and pre-treatments as quality factors of frozen muskmelon(Cucumis melo, cv reticulatus Naud.), *Journal of Food Engineering*, 49:255-260.
- Marani, C.M., Agnelli M.E. and Mascheroni, R.H.**, 2007. Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation, *Journal of Food Engineering* 79: 1122-1130.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Marani, C.M., Agnelli, M.E. and Mascheroni, R.H.**, 2007, Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation, *Journal of Food Engineering*, 79: 255-260.
- Marra, F., Zell, M., Lyng, J. G., Morgan, D. J. and Cronin, D. A.**, 2009, Analysis of heat transfer during ohmic processing, *Journal of Food Engineering*, 91: 56-63.
- MATLAB**, 2011, Release 7.12.0.635(R2011a) , The Mathwork Inc., U.S.
- Mizrach, A.**, 2007, Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes, *Postharvest Biology and Technology*, 48, 315–330.
- Müftügil, N.**, 1988. Patatesin kurutulduktan sonra dondurulması, Gıda yıl:13, sayı:1 Ocak-Şubat.
- Özbek, İ.**, 2009, Balıklarda Ozmotik Dehidrasyon Tekniği ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı.
- Panades, G., Castro, D., Chiralt, A., Fito, P., Nunez and M., Jimenez, R.**, 2008, Mass transfer mechanisms occurring in osmotic dehydration of guava, *Journal of Food Engineering*, 87:386-390.
- Pham, .T.**, 2002, Calculation of Processing Time and Heat Load During food Refrigeration, Food for Thought-Cool AIRAH Conference Sydney, Australia, May 2002.
- Piyasena, P., Mohareb E. and McKellar R.C.**, 2003, Inactivation of microbes using ultrasound: a review, *International Journal of Food Microbiology*, 87, 207–216.
- Rahman, M. S. and Lamb, J.**, 1990, Osmotic Dehydration of Pineapple, *Journal Food Science Technology*, 27(3): 150-152.

KAYNAK DİZİNİ(devam)

- Rahman, P. M. S., Buckle, K. A. and Perera, C. O.,** 1996, Osmotic dehydration kinetics of pineapple wedges using palm sugar, *Lebensm.-Wiss. U. Technology*, 29:452-459.
- Ramallo, L.A. and Mascheroni, R.H.,**2010. Dehydrofreezing of pineapple, *Journal of Engineering* 99, 269-275.
- Rastogi, N., K., Raghavarao K.S.M.S.,** 2004, Mass transfer during osmotic dehydration, determination of moisture and solute diffusion coefficients from concentration profiles. *Food and Bioproducts Processing*, 82(C1):44-48.
- Rastogi, N., K., Raghavarao K.S.M.S., Niranjana, K., Knorr, D.,** 2002, Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer, *Trends in Food Science & Technology*, 13:48-59.
- Rastogi, N., K., Raghavarao K.S.M.S., Niranjana, K.,** 1997, Mass transfer during osmotic dehydration of banana: Fickian diffusion in cylindrical configuration, *Journal of Food Engineering*, 31: 423-432.
- Rastogi, N.K., Angersbach, A. and Knorr, D.,** 2000, Evaluation of mass transfer mechanisms during osmotic treatment of plant materials, *Journal of Food Science*, 65(6):1016-1019.
- Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Niranjana, K.,** 2005, Developments in Osmotic Dehydration, *Emerging Technologies for Food Processing*, ed: Sun, D.W., 1, Elsevier- Academic Press, Italy.
- Robbers, M., Singh, R., P. And Cunha, L., S.,** 1997, Osmotic-convective dehydrofreezing process for drying kiwifruit. *Journal of Food Science*, 62(5):1039-1047.
- Salengke, S. and Sastry, S.K.,** 2007, Models for ohmic heating of solid-liquid mixtures under worst-case heating scenarios, *Journal of Food Engineering*, 83, 337-355.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Saravacos, G. D. and Kostaropoulos, A. E.,** 2002, Handbook of Food Processing Equipment, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 698.
- Sereno, A.M., Moreira, R. and Martinez, E.,** 2001, Mass Transfer Coefficients During Osmotic Dehydration Of Apple In Single And Combined Aqueous Solutions of Sugar And Salt, *Journal of Food Engineering*, 47:43-49.
- Silva, M. A. C., Silva Z. E., Mariani V. C. and Darche, S.,** 2012, Mass transfer during the osmotic dehydration of west Indian cherry, *LWT-Food Science and Technology*, 45:45:246-252.
- Simal, S., Benedito, J., Sanchez, E. and Rossello, C.,** 1998, Use of Ultrasound to Increase Mass Transport Rates During Osmotic Dehydration. *Journal of Food Engineering* 36:323-336.
- Spiazzi, E. A., Raggio, Z. I., Bignone, K. A. and Mascheroni, R. H.,** 1998, Experiments on dehyrofreezing of fruits and vegetables: mass transfer and quality factors, Advances in the refrigeration systems, *Food Techonology and Cold Chain*, IIF/IIR,6,401-408.
- SPSS,** 2007, Release 16.0.0 Version statistical package, SPSS Inc.
- Stojanovic, J. and Silva, J.L.,** 2007, Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chemistry*, 101, 898–906.
- Sultanoğlu, M.,** 2000, Elmaların Osmotik Dehidrasyonunda Kütle Transferinin Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,66.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Stojanovic, J., and Silva, J. L., 2007**, Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries, *Food Chemistry*, 101:898-906.
- Tanaka, F., Morita, K., Iwasaki, K., Verboven, P., Scheerlinck, N., and Nicolai, B., 2006**, Monte Carlo, simulation of far infrared radiation heat transfer: theoretical approach, *Journal of Food Process Engineering*, 29:349-361.
- Tocci, A. M. and Mascheroni, R.H., 2008**, Some Thermal Properties of Fresh and Osmotically Dehydrated Kiwifruit Above and Below the Initial Freezing Temperature, *Journal of Food Engineering*, 88: 20—27.
- Topdaş, E.F., Başlar, M. and Ertugay, M. F., 2011** Elmaların ozmotik kurutulması üzerine ultrason işleminin etkisi, *Akademik Gıda*, 9(5):6-10.
- Umut, S., 2007**, Gıdaların Donma Zamanları ile İlgili Modellerin Matematiksel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri, 231s.
- Us, F., 2006**. Ozmotik kurutma. Türkiye 9. Gıda Kongresi: 24-26 Mayıs, Bolu.
- Wu, L., Orikasa, T., Tokuyasu, K., Shiina, T. and Tagawa, A., 2009**. Applicability of vacuum-dehyrofreezing technique for long-term preservation of fresh-cut eggplant: Effects of process conditions on quality attributes of samples. *Journal of Food Engineering*, 91:560-565.
- Yaman, Ü. R., 1992**, Türkiye’de Üretilen Bazı Kavunların Teknolojik Olarak Değerlendirilebilmesi Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri, 224s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zorlugenç-Kiroğlu, F., 2010, Ozmotik Dehidrasyon Uygulmasının Trabzon Hurması Meyvelerinin Kuruma Davranışı ve Ürün Kalitesi Üzerine Etkileri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 249 s.

ÖZGEÇMİŞ

Tuba EVGİN

Tel: 0 (544) 342 51 16

Adres: Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü
35100 İzmir/TÜRKİYE

E-mail : tubaevgin@gmail.com

Doğum Tarihi : 30.12.1986

Doğum Yeri : Bandırma/TÜRKİYE

Uyruğu : T.C.

Medeni Hali : Bekar

Eğitim Durumu :

2009 – 2010 **Yüksek Lisans Eğitimi**

Ege Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Gıda Müh. A.B.D.

2004 – 2008 **Lisans Eğitimi**

Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü

GNO : 3.77/4.00 (Bölüm Üçüncülüğü)

Ege Üniversitesi Makina Bölümü (Çift Anadal)

GNO : 3.47/4.00

Yabancı Dil

İngilizce (Orta Seviyede)

Bilgisayar

Ansys, Matlab, Solidworks, Microsoft Office (Word, Excell, Power Point)

Yüksek lisans Tezi : Ozmotik işlemle kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulmasının deneysel ve kuramsal olarak incelenmesi, enerji verimliliğinin değerlendirilmesi.

Ödüller:

- Gıda Mühendisliği 2009 yılı, Bölüm 3.ligi
- Makine Mühendisliği Çift Anadal Mezuniyet belgesi
- BİDEB 2210, Yurtiçi Yüksek Lisans Bursu

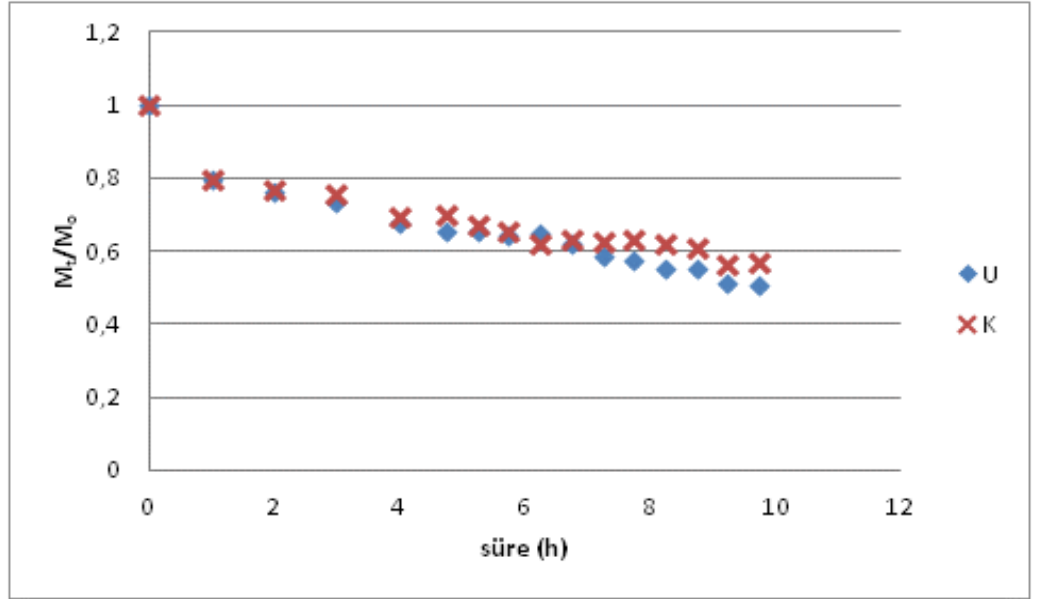
EKLER

- Ek -1 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında kavun dilimlerinin hammaddeye göre kütle oranı
- Ek -2 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında kavun dilimlerinin hammaddeye göre hacim oranları
- Ek-3 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında kavun dilimlerinin hammaddeye göre boy oranları
- Ek-4 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında kavun dilimlerinin hammaddeye göre en oranları
- Ek -5 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında ürün kalınlığındaki azalma
- Ek -6 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında ürün boyundaki azalma
- Ek-7 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında ürünün enindeki azalma
- Ek -8 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında orta nokta (yüzey ile merkez arasındaki nokta) değeri alınmadan su içeriğindeki değişim
- Ek -9 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında ürünün hacimsel ortalama su içeriğindeki değişim
- Ek -10 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında orta nokta (yüzey ile merkez arasındaki nokta) değeri alınmadan hesaplanan %WL değerindeki değişim
- Ek -11 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma sırasında orta nokta (merkez ile yüzey arasındaki nokta) değeri alınmadan hesaplanan KM değerine göre zamana göre katı kazanımı(%SG)
- Ek -12 Ozmotik sonrası su içeriğinin su aktivitesi üzerine etkisini gösteren istatistiksel değerlendirme (SPSS) sonuçları
- Ek-13 Ozmotik sonrası su içeriğinin toplam şeker ve indirgen üzerine etkisini gösteren istatistiksel değerlendirme (SPSS) sonuçları
- Ek -14 Ozmotik sonrası su içeriğinin D-Glikoz/D-Fruktoz üzerine etkisini gösteren istatistiksel değerlendirme (SPSS) sonuçları
- Ek -15 Ozmotik sonrası su içeriğinin renk özellikleri üzerine etkisini gösteren istatistiksel değerlendirme (SPSS) sonuçları
- Ek -16 %85 su içeriğine sahip kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulması (a,b,c,d paraleller)
- Ek-17 %80 su içeriğine sahip kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulması(a, b,c,d paraleller)
- Ek -18 . %75 nem içeriğine sahip kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulması (a,b,c,d,e,f paraleller)
- Ek-19 Su içeriğinin donma zamanı ve donma başlangıç noktasına etkisini belirlenmesi için yapılam istatistiksel testler
- Ek-20 Donma-Çözünme sonrası su içeriğinin su aktivitesini etkisini bekirlemek için yapılan istatistiksel testler
- Ek-21 Donma-Çözünme sonrası su içeriğinin çözünme kayıplarına etkisinin belirlenmesi için yapılan istatistiksel test sonuçları

EKLER (devam)

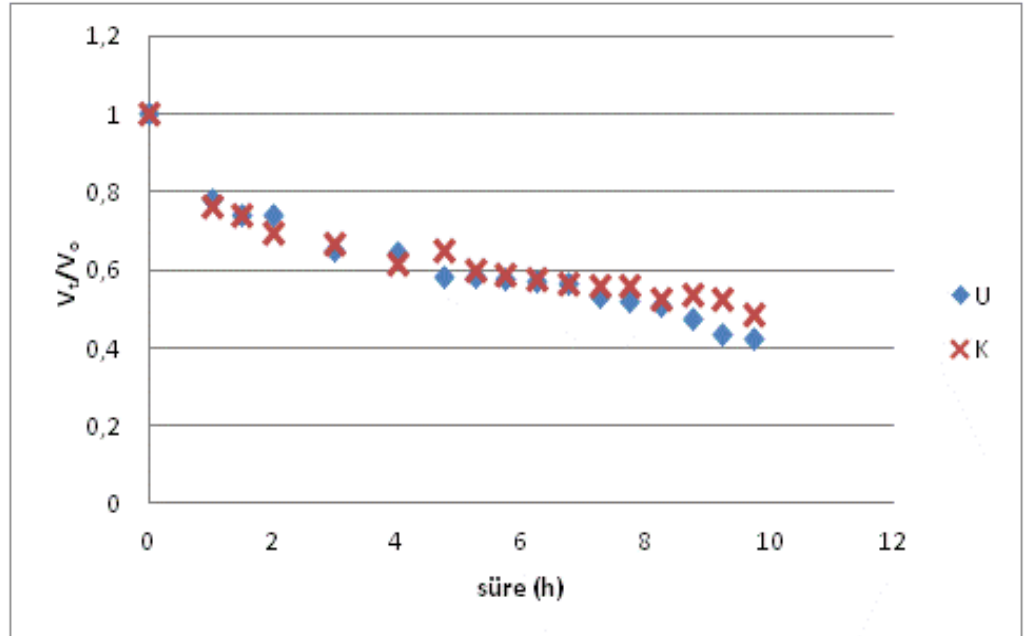
- Ek-22 Donma-Çözünme sonrası su içeriğın renk değışimine etksinin belirlenmesi için yapılan istatistiksel değerdendirme (SPSS) sonuçları
- Ek-23 Ozmotik kurutma işlem süresince zamana bağılı difüzivitelerdeki değışim a) su difüzivitesi (D_w) b) çözünür madde düffizivitesi (D_s)
- Ek-24 Ultrason sistemde yarı kurutulmuş örneklerin dondurulması eğrileri (deneysel ve nümerik model sonuçlarının karşılaştırılması a)hammadde b)%85 c)%80d)%75 su içerikli ürün(- model, -- deneysel)
- Ek-25 Karıştırmalı sistemde yarı kurutulmuş örneklerin dondurulması eğrileri (deneysel ve nümerik model sonuçlarının karşılaştırılması a)hammadde b)%85 c)%80d)%75 su içerikli ürün(- model, -- deneysel)

Ek -1 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında kavun dilimlerinin hammaddeye göre kütle oranı



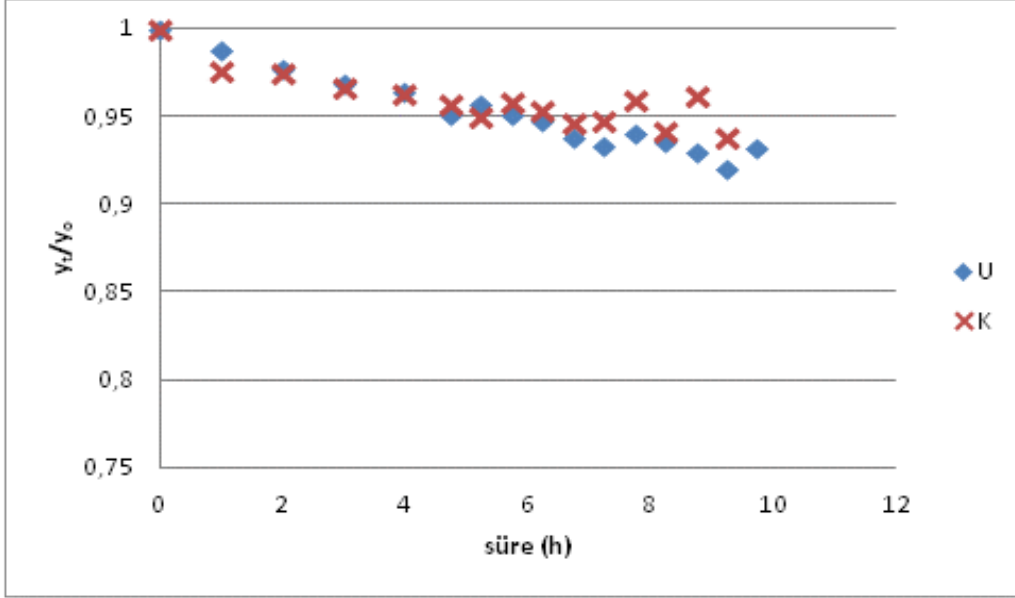
(U: ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem)

Ek -2 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında kavun dilimlerinin hammaddeye göre hacim oranları



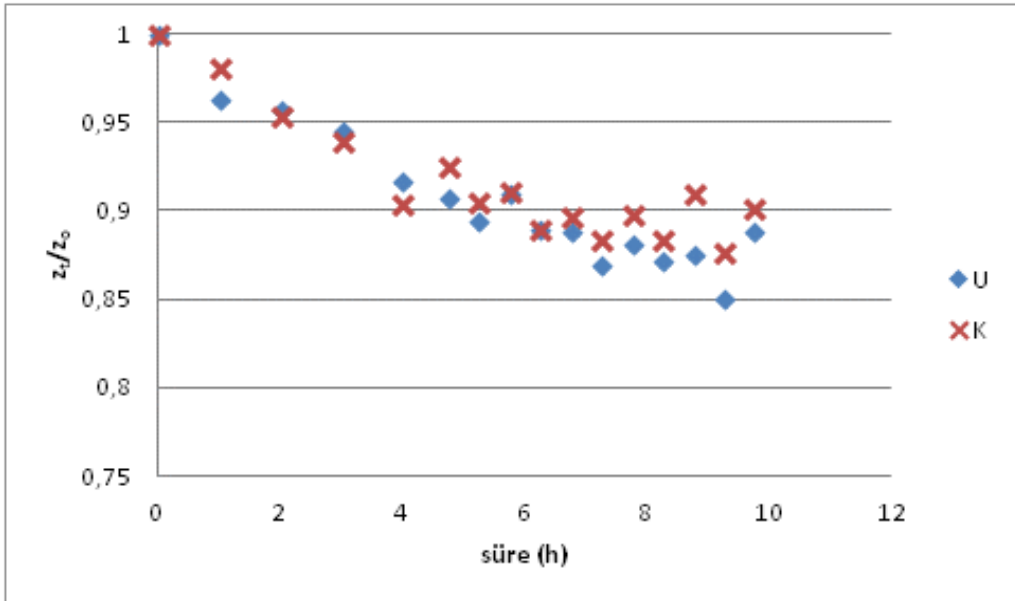
(U: ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem)

Ek-3 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında kavun dilimlerinin hammaddeye göre boy oranları



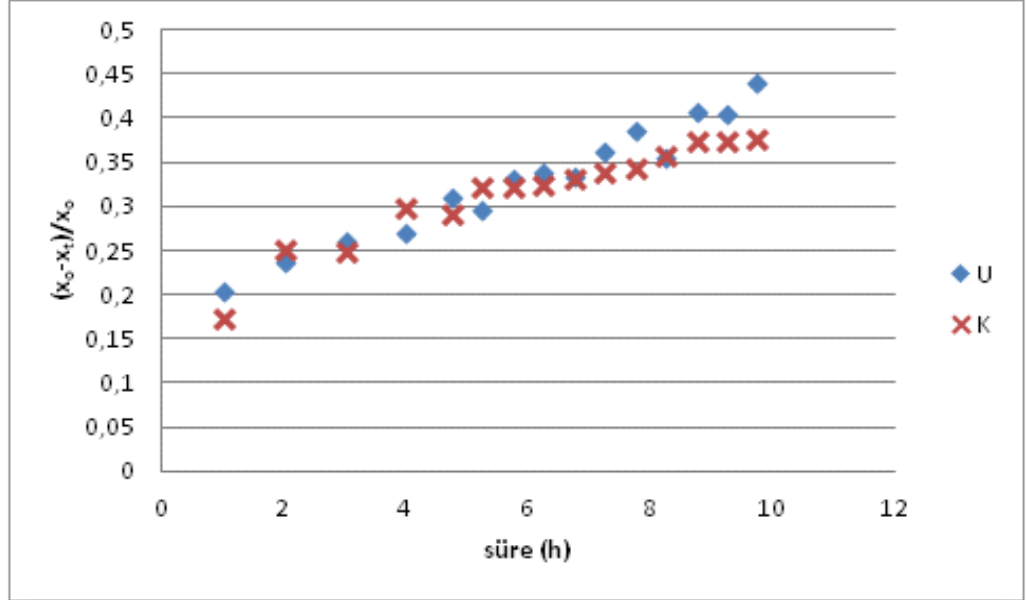
(U: ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem)

Ek-4 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında kavun dilimlerinin hammaddeye göre en oranları



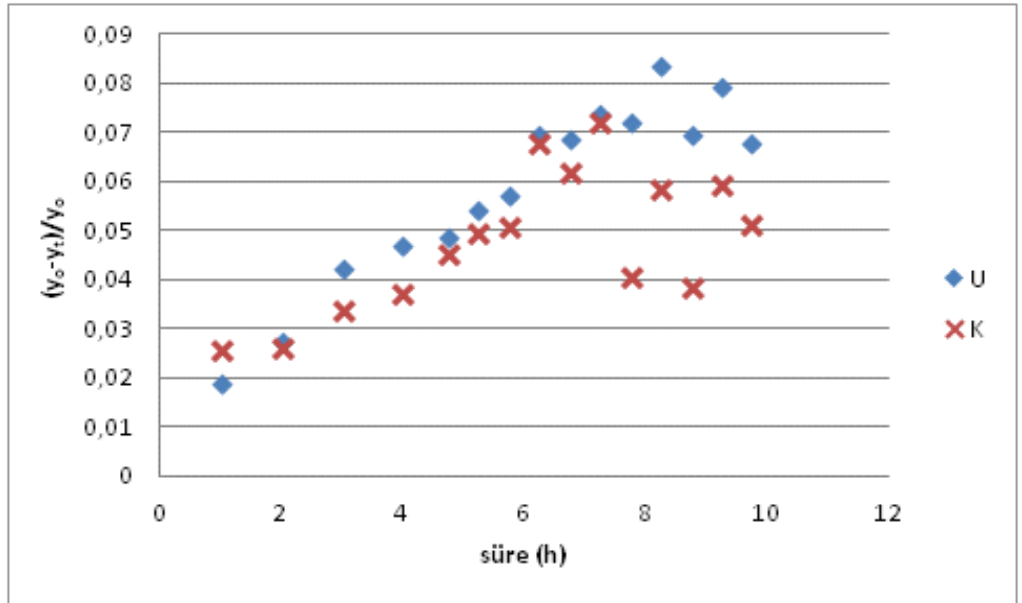
(U: ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem)

Ek -5 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında ürün kalınlığındaki azalma



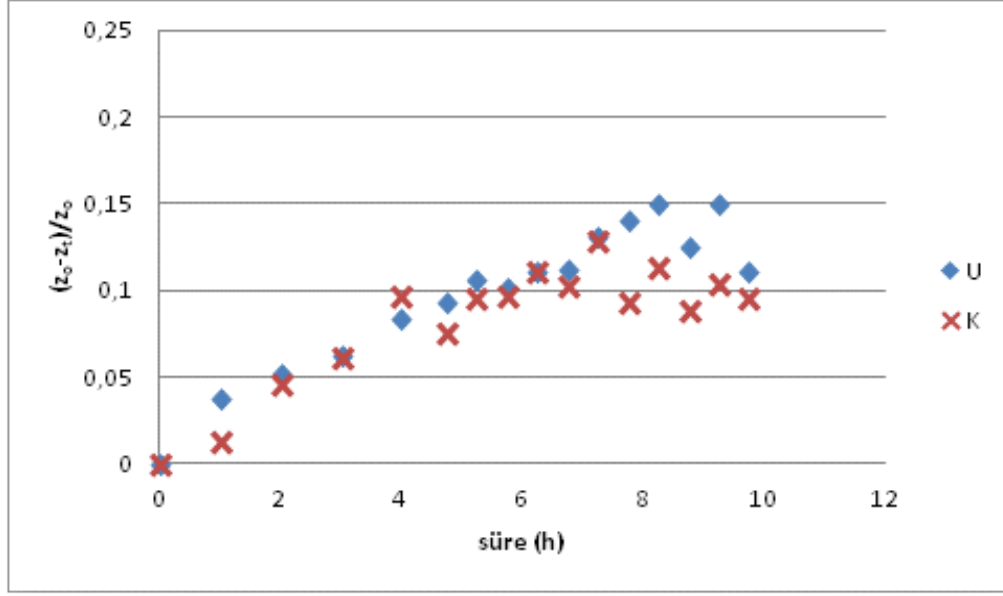
(U: ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem)

Ek -6 Karıştırmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında ürün boyundaki azalma



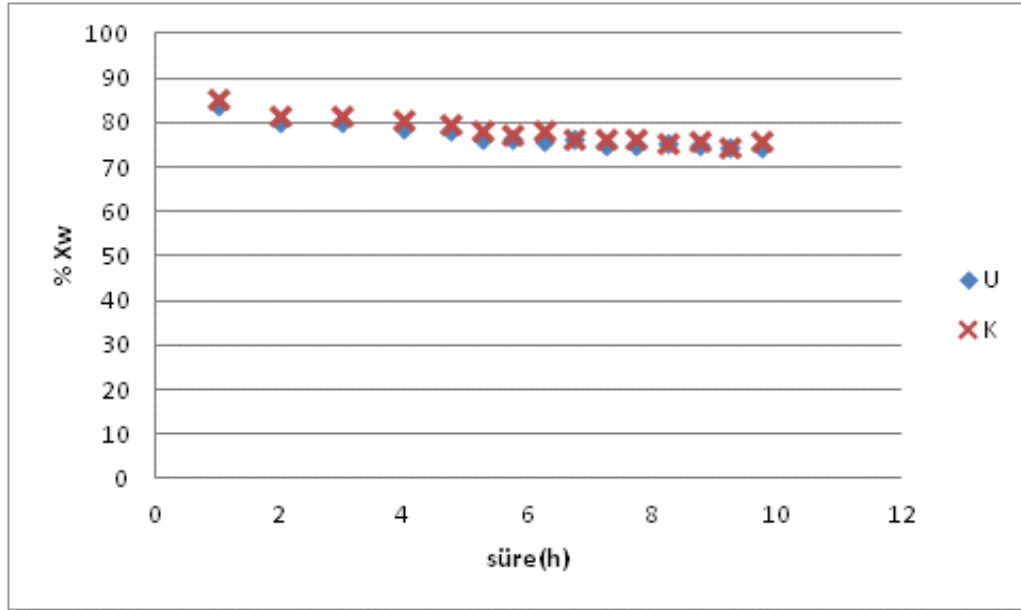
(U: ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem)

Ek-7 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında ürünün enindeki azalma



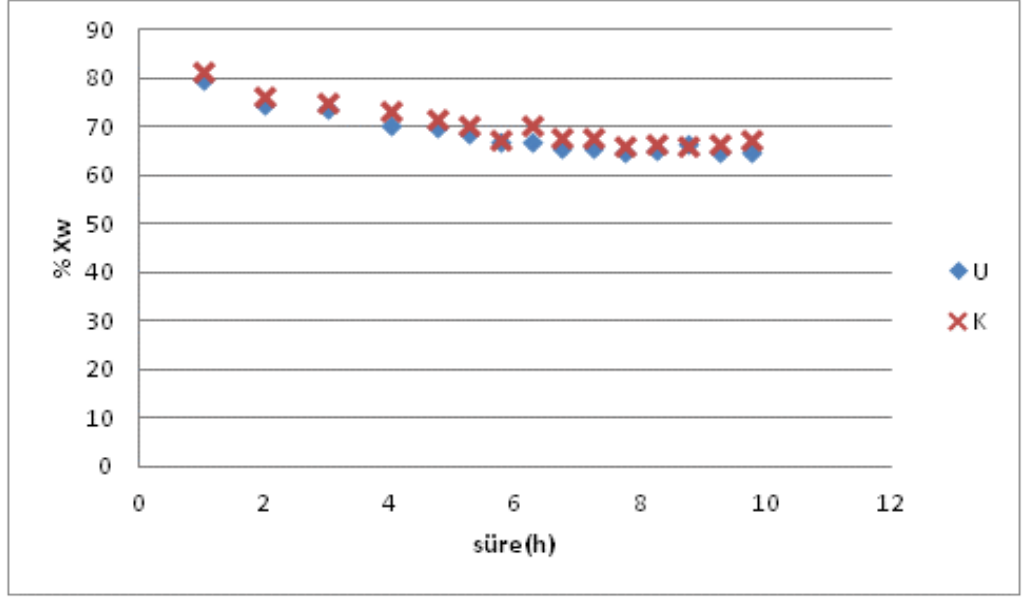
(U: ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem)

Ek -8 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında orta nokta(yüzey ile merkez arasındaki nokta) değeri alınmadan su içeriğindeki değişim



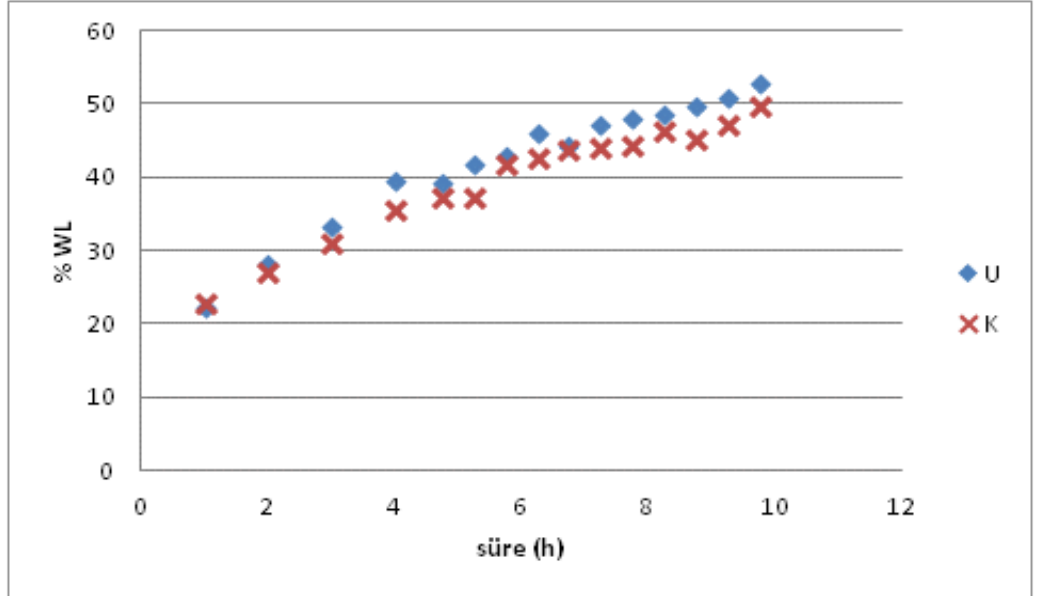
(U: ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem)

Ek -9 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında ürünün hacimsel ortalama su içeriğindeki değişim

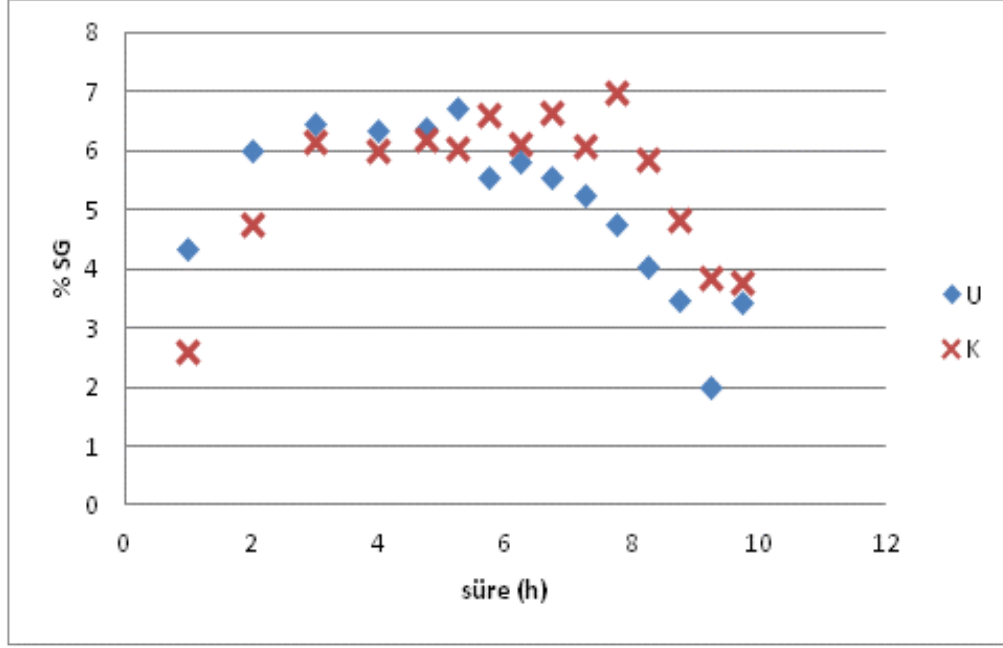


(U: ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem)

Ek -10 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde gerçekleştirilen ozmotik kurutma sırasında orta nokta (yüzey ile merkez arasındaki nokta) değeri alınmadan hesaplanan %WL değerindeki değişim



Ek -11 Karıştırılmalı ve ultrason ozmotik kurutma sistemlerinde ozmotik kurutma sırasında orta nokta (merkez ile yüzey arasındaki nokta) değeri alınmadan hesaplanan KM değerine göre zamana göre katı kazanımı(%SG)



Ek -12 Ozmotik sonrası su içeriğinin su aktivitesi üzerine etkisini gösteren istatistiksel değerlendirme (SPSS) sonuçları

- a) Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde su içeriğinin su aktivitesi üzerine etkisi belirlemek için yapılan Tanımlama testi

Tanımlama

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Ksuaktivitesi 0.75	3	,9430	,00000	,00000	,9430	,9430	,94	,94
0.8	3	,9407	,00058	,00033	,9392	,9421	,94	,94
0.85	3	,9503	,00808	,00467	,9303	,9704	,94	,96
0.92	4	,9645	,00129	,00065	,9624	,9666	,96	,97
Total	13	,9508	,01072	,00297	,9443	,9572	,94	,97
Usuaktivitesi 0.75	3	,9457	,00252	,00145	,9394	,9519	,94	,95
0.8	3	,9380	,00557	,00321	,9242	,9518	,93	,94
0.85	3	,9467	,00289	,00167	,9395	,9538	,94	,95
0.92	4	,9645	,00129	,00065	,9624	,9666	,96	,97
Total	13	,9499	,01103	,00306	,9433	,9566	,93	,97

- b) Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemleri için Varyans homojenlik testi testi

Varyans homojenlik testi

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Ksuaktivitesi	14,706	3	9	,001
Usuaktivitesi	2,394	3	9	,136

c) Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemleri için ANOVA testi

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Ksuaktivitesi	Between Groups	,001	3	,000	27,330	,000
	Within Groups	,000	9	,000		
	Total	,001	12			
Usuaktivitesi	Between Groups	,001	3	,000	42,434	,000
	Within Groups	,000	9	,000		
	Total	,001	12			

- d) Ultrason ve karıştırılmalı ozmotik kurutma sistemlerinde su içeriğinin su aktivitesi üzerine etkisini belirlemek için Çoklu karşılaştırma testi

Çoklu karşılaştırma

Dependent Variable	(I) su içeriği	(J) su içeriği	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Ksuaktivitesi Tukey HSD	0.75	0.8	,00233	,00318	,881	-,0076	,0123
		0.85	-,00733	,00318	,167	-,0173	,0026
		0.92	-,02150*	,00297	,000	-,0308	-,0122
	0.8	0.75	-,00233	,00318	,881	-,0123	,0076
		0.85	-,00967	,00318	,056	-,0196	,0003
		0.92	-,02383*	,00297	,000	-,0331	-,0146
	0.85	0.75	,00733	,00318	,167	-,0026	,0173
		0.8	,00967	,00318	,056	-,0003	,0196
		0.92	-,01417*	,00297	,005	-,0234	-,0049
	0.92	0.75	,02150*	,00297	,000	,0122	,0308
		0.8	,02383*	,00297	,000	,0146	,0331
		0.85	,01417*	,00297	,005	,0049	,0234
Usuaktivitesi Tukey HSD	0.75	0.8	,00767	,00267	,073	-,0007	,0160
		0.85	-,00100	,00267	,981	-,0093	,0073
		0.92	-,01883*	,00250	,000	-,0266	-,0110
	0.8	0.75	-,00767	,00267	,073	-,0160	,0007
		0.85	-,00867*	,00267	,042	-,0170	-,0003
		0.92	-,02650*	,00250	,000	-,0343	-,0187
	0.85	0.75	,00100	,00267	,981	-,0073	,0093
		0.8	,00867*	,00267	,042	,0003	,0170
		0.92	-,01783*	,00250	,000	-,0256	-,0100
	0.92	0.75	,01883*	,00250	,000	,0110	,0266
		0.8	,02650*	,00250	,000	,0187	,0343
		0.85	,01783*	,00250	,000	,0100	,0256

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- e) Ozmotik kurutma sistemlerinde su içeriğinin su aktivitesi üzerine etkisini belirlemede Homojenlik testleri a) Karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi b) ultrason ozmotik kurutma sistemi

a) Ksuaktivitesi

		N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD ^a	0.8	3	,9407		
	0.75	3	,9430	,9430	
	0.85	3		,9503	
	0.92	4			,9645
	Sig.		,871	,150	1,000
Duncan ^a	0.8	3	,9407		
	0.75	3	,9430		
	0.85	3		,9503	
	0.92	4			,9645
	Sig.		,468	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,200.

b) Usuaktivitesi

		N	Subset for alpha = 0.05		
suiceriği			1	2	3
Tukey HSD ^a	0.8	3	,9380		
	0.75	3	,9457	,9457	
	0.85	3		,9467	
	0.92	4			,9645
	Sig.		,063	,979	1,000
Duncan ^a	0.8	3	,9380		
	0.75	3		,9457	
	0.85	3		,9467	
	0.92	4			,9645
	Sig.		1,000	,708	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,200.

f) Ozmotik kurutma sistemlerin su aktivitesi üzerine etkisi belirlemek için yapılan t testler

a) Çift örnek istatistiği b) Çift örnek kolerasyonu c) Çift örnek test

a) Çift örnek istatistiği

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Ksuaktivitesi	,9508	13	,01072	,00297
	Usuaktivitesi	,9499	13	,01103	,00306

b) Çift örnek kolerasyonu

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Ksuaktivitesi & Usuaktivitesi	13	,917	,000

c) Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1	Ksuaktivitesi - Usuaktivitesi	,00085	,00445	,00123	-,00184,00354	,685	12	,506

Ek-13 Ozmotik sonrası su içeriğinin toplam şeker ve indirgen üzerine etkisini gösteren istatistiksel değerlendirme (SPSS) sonuçları

- a) Ozmotik kurutma sonrası su içeriğinin toplam şeker ve indirgen şeker üzerine etkisini gösteren Oneway testi a) Tanımlama testi b) Varyans homojenlik testi

a) Tanımlama

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Kindirgen	0.75	3	21,6613	,75093	,43355	19,7959	23,5267	20,86	22,35
	0.8	3	16,3483	,12110	,06992	16,0474	16,6491	16,23	16,47
	0.85	3	11,9586	,52361	,30230	10,6579	13,2593	11,37	12,39
	0.92	6	4,1137	,10371	,04234	4,0048	4,2225	4,02	4,30
	Total	15	11,6391	7,12000	1,83838	7,6962	15,5820	4,02	22,35
Ktoplam	0.75	3	25,4415	,55167	,31850	24,0711	26,8119	24,83	25,89
	0.8	3	20,0533	,18254	,10539	19,5998	20,5067	19,87	20,24
	0.85	3	15,7340	,45785	,26434	14,5966	16,8713	15,28	16,19
	0.92	6	7,5483	,18542	,07570	7,3537	7,7429	7,30	7,76
	Total	15	15,2651	7,26379	1,87550	11,2425	19,2876	7,30	25,89
Uindirgrn	0.75	3	20,6997	,47198	,27250	19,5272	21,8721	20,16	21,04
	0.8	3	16,0486	,20293	,11716	15,5445	16,5527	15,83	16,23
	0.85	3	11,6390	,26214	,15135	10,9878	12,2902	11,43	11,93
	0.92	6	4,1137	,10371	,04234	4,0048	4,2225	4,02	4,30
	Total	15	11,3229	6,78036	1,75068	7,5681	15,0778	4,02	21,04
Utoplam	0.75	3	24,3836	,43117	,24894	23,3125	25,4546	24,02	24,86
	0.8	3	19,7233	,51943	,29990	18,4330	21,0136	19,14	20,12
	0.85	3	14,9177	,41100	,23729	13,8967	15,9387	14,51	15,33
	0.92	6	7,5483	,18542	,07570	7,3537	7,7429	7,30	7,76
	Total	15	14,8242	6,89320	1,77982	11,0069	18,6416	7,30	24,86

b) Varyans homojenlik testi

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kindirgen	5,148	3	11	,018
Ktoplam	2,272	3	11	,137
Uindirgrn	5,077	3	11	,019
Utoplam	1,751	3	11	,214

- b) Ozmotik kurutma sonrası su içeriğinin toplam şeker ve indirgen şeker üzerine etkisini inceleyen ANOVA testi

b)ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Kindirgen	Between Groups	707,963	3	235,988	1,476E3	,000
	Within Groups	1,759	11	,160		
	Total	709,722	14			
Ktoplam	Between Groups	737,411	3	245,804	2,135E3	,000
	Within Groups	1,266	11	,115		
	Total	738,678	14			
Uindirgrn	Between Groups	642,907	3	214,302	3,278E3	,000
	Within Groups	,719	11	,065		
	Total	643,626	14			
Utoplam	Between Groups	663,805	3	221,268	1,713E3	,000
	Within Groups	1,421	11	,129		
	Total	665,226	14			

- c) Ozmotik kurutma sonrası su içeriğinin toplam şeker ve indirgen şeker üzerine etkisini inceleyen Çoklu karşılaştırma testi

c)Çoklu Karşılaştırma

Dependent Variable	(I) suicerigi	(J) suicerigi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Kindirgen Tukey HSD	0.75	0.8	5,31305*	,32653	,000	4,3304	6,2957
		0.85	9,70276*	,32653	,000	8,7201	10,6855
		0.92	17,54766*	,28278	,000	16,6966	18,3987
	0.8	0.75	-5,31305*	,32653	,000	-6,2957	-4,3304
		0.85	4,38971*	,32653	,000	3,4070	5,3724
		0.92	12,23461*	,28278	,000	11,3836	13,0856
	0.85	0.75	-9,70276*	,32653	,000	-10,6855	-8,7201
		0.8	-4,38971*	,32653	,000	-5,3724	-3,4070
		0.92	7,84490*	,28278	,000	6,9939	8,6959
	0.92	0.75	-17,54766*	,28278	,000	-18,3987	-16,6966
		0.8	-12,23461*	,28278	,000	-13,0856	-11,3836
		0.85	-7,84490*	,28278	,000	-8,6959	-6,9939
Ktoplarn Tukey HSD	0.75	0.8	5,38828*	,27705	,000	4,5545	6,2221
		0.85	9,70758*	,27705	,000	8,8738	10,5414
		0.92	17,89322*	,23993	,000	17,1711	18,6153
	0.8	0.75	-5,38828*	,27705	,000	-6,2221	-4,5545
		0.85	4,31930*	,27705	,000	3,4855	5,1531
		0.92	12,50494*	,23993	,000	11,7829	13,2270
	0.85	0.75	-9,70758*	,27705	,000	-10,5414	-8,8738
		0.8	-4,31930*	,27705	,000	-5,1531	-3,4855
		0.92	8,18565*	,23993	,000	7,4636	8,9077
	0.92	0.75	-17,89322*	,23993	,000	-18,6153	-17,1711
		0.8	-12,50494*	,23993	,000	-13,2270	-11,7829
		0.85	-8,18565*	,23993	,000	-8,9077	-7,4636
Uindirgrn Tukey HSD	0.75	0.8	4,65109*	,20876	,000	4,0228	5,2794
		0.85	9,06071*	,20876	,000	8,4324	9,6890
		0.92	16,58602*	,18079	,000	16,0419	17,1301

		0.8	0.75	-4,65109*	,20876	,000	-5,2794	-4,0228
			0.85	4,40963*	,20876	,000	3,7813	5,0379
			0.92	11,93493*	,18079	,000	11,3908	12,4790
		0.85	0.75	-9,06071*	,20876	,000	-9,6890	-8,4324
			0.8	-4,40963*	,20876	,000	-5,0379	-3,7813
			0.92	7,52530*	,18079	,000	6,9812	8,0694
		0.92	0.75	-16,58602*	,18079	,000	-17,1301	-16,0419
			0.8	-11,93493*	,18079	,000	-12,4790	-11,3908
			0.85	-7,52530*	,18079	,000	-8,0694	-6,9812
	Utoplam Tukey HSD	0.75	0.8	4,66026*	,29348	,000	3,7770	5,5435
			0.85	9,46586*	,29348	,000	8,5826	10,3491
			0.92	16,83525*	,25416	,000	16,0703	17,6002
		0.8	0.75	-4,66026*	,29348	,000	-5,5435	-3,7770
			0.85	4,80560*	,29348	,000	3,9223	5,6889
			0.92	12,17498*	,25416	,000	11,4101	12,9399
		0.85	0.75	-9,46586*	,29348	,000	-10,3491	-8,5826
			0.8	-4,80560*	,29348	,000	-5,6889	-3,9223
			0.92	7,36938*	,25416	,000	6,6045	8,1343
		0.92	0.75	-16,83525*	,25416	,000	-17,6002	-16,0703
			0.8	-12,17498*	,25416	,000	-12,9399	-11,4101
			0.85	-7,36938*	,25416	,000	-8,1343	-6,6045

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

d) Ozmotik kurutma sistemlerinde su içeriğinin toplam şeker ve indirgen şeker üzerine etkisini belirlemede Homojenlik testleri a) Karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi indirgen şeker b) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemleri toplam şeker c) ultrason ozmotik kurutma sistemi indirgen şeker d) ultrasonik ozmotik kurutma sistemleri toplam şeker

a) Kindirgen

	suicerigi	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Tukey HSD ^a	0.92	6	4,1137			
	0.85	3		11,9586		
	0.8	3			16,3483	
	0.75	3				21,6613
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Duncan ^a	0.92	6	4,1137			
	0.85	3		11,9586		
	0.8	3			16,3483	
	0.75	3				21,6613
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,429.

b) Ktoplam

	suicerigi	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Tukey HSD ^a	0.92	6	7,5483			
	0.85	3		15,7340		
	0.8	3			20,0533	
	0.75	3				25,4415
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Duncan ^a	0.92	6	7,5483			
	0.85	3		15,7340		
	0.8	3			20,0533	
	0.75	3				25,4415
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,429.

c) Uindirgen

		N	Subset for alpha = 0.05			
suicerigi			1	2	3	4
Tukey HSD ^a	0.92	6	4,1137			
	0.85	3		11,6390		
	0.8	3			16,0486	
	0.75	3				20,6997
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Duncan ^a	0.92	6	4,1137			
	0.85	3		11,6390		
	0.8	3			16,0486	
	0.75	3				20,6997
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,429.

d) Utoplam

		N	Subset for alpha = 0.05			
suicerigi			1	2	3	4
Tukey HSD ^a	0.92	6	7,5483			
	0.85	3		14,9177		
	0.8	3			19,7233	
	0.75	3				24,3836
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Duncan ^a	0.92	6	7,5483			
	0.85	3		14,9177		
	0.8	3			19,7233	
	0.75	3				24,3836
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,429.

e) Ozmotik kurutma sistemlerin toplam şeker üzerine etkisi belirlemek için yapılan T testler

a) Çift örnek istatistiği b) Çift örnek kolerasyon c) Çift örnek test

a)Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 Ktoplam	15,2651	15	7,26379	1,87550
Utoplam	14,8242	15	6,89320	1,77982

b)Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 Ktoplam & Utoplam	15	,998	,000

c)Çift örne test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Ktoplam - Utoplam	,44084	,62063	,16025	,09715	,78453	2,751	14	,016

f) Ozmotik kurutma sistemlerin indirgen şeker üzerine etkisi belirlemek için

yapılan t testler a) Çift örnek istatistiği b) Çift örnek kolerasyonu c) çift

örnek testi

a) Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 Kindirgen	11,6391	15	7,12000	1,83838
Uindirgrn	11,3229	15	6,78036	1,75068

b) Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 Kindirgen & Uindirgrn	15	,998	,000

c) Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Kindirgen - Uindirgrn	,31618	,51175	,13213	,03278	,59958	2,393	14	,031

Ek -14 Ozmotik sonrası su içeriğinin D-Glikoz/D-Fruktoz üzerine etkisini gösteren istatistiksel değerlendirme (SPSS) sonuçları

a) Ozmotik sonrası su içeriğinin D-Glikoz/D-Fruktoz üzerine etkisini gösteren Tanımlama test sonuçları

Tanımlama

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Kdglikoz	0.75	3	12,4942	1,60238	,92513	8,5137	16,4747	11,55	14,34
	0.8	3	7,9994	1,81589	1,04841	3,4884	12,5103	6,11	9,73
	0.85	3	6,2405	1,85779	1,07260	1,6255	10,8555	4,19	7,81
	0.92	9	2,0772	,55823	,18608	1,6481	2,5063	1,54	2,99
	Total	18	5,4943	4,15656	,97971	3,4273	7,5613	1,54	14,34
Kdfrukroz	0.75	3	11,2232	,58640	,33856	9,7664	12,6799	10,82	11,90
	0.8	3	9,1231	1,55770	,89934	5,2535	12,9926	7,80	10,84
	0.85	3	5,9250	2,01010	1,16053	,9316	10,9184	4,22	8,14
	0.92	9	2,0193	,53118	,17706	1,6110	2,4276	1,14	2,53
	Total	18	5,3882	3,93232	,92686	3,4327	7,3437	1,14	11,90
Udglikoz	0.75	3	11,3728	,64150	,37037	9,7792	12,9664	10,96	12,11
	0.8	3	9,1102	1,78260	1,02918	4,6820	13,5384	7,32	10,89
	0.85	3	6,1729	,06012	,03471	6,0236	6,3222	6,10	6,21
	0.92	9	2,0772	,55823	,18608	1,6481	2,5063	1,54	2,99
	Total	18	5,4812	3,90355	,92008	3,5400	7,4224	1,54	12,11
Udfroktoz	0.75	3	11,7640	,70297	,40586	10,0177	13,5103	11,00	12,38
	0.8	3	8,2805	1,76323	1,01800	3,9004	12,6606	6,65	10,15
	0.85	3	5,8930	,09913	,05723	5,6468	6,1393	5,80	6,00
	0.92	9	2,0193	,53118	,17706	1,6110	2,4276	1,14	2,53
	Total	18	5,3326	3,90613	,92068	3,3901	7,2751	1,14	12,38

- b) Ozmotik sonrası su içeriğinin D-Glikoz/D-Fruktoz üzerine etkisini gösteren Varyans homojenlik testi sonuçları

Varyans homojenlik testi

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kdglikoz	3,390	3	14	,048
Kdfrukroz	4,778	3	14	,017
Udglikoz	3,488	3	14	,045
Udfroktoz	4,374	3	14	,023

- c) Ozmotik sonrası su içeriğinin D-Glikoz/D-Fruktoz üzerine etkisini gösteren ANOVA test sonuçları

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Kdglikoz	Between Groups	272,582	3	90,861	60,213	,000
	Within Groups	21,126	14	1,509		
	Total	293,708	17			
Kdfrukroz	Between Groups	246,995	3	82,332	72,590	,000
	Within Groups	15,879	14	1,134		
	Total	262,874	17			
Udglikoz	Between Groups	249,362	3	83,121	120,234	,000
	Within Groups	9,679	14	,691		
	Total	259,041	17			
Udfroktoz	Between Groups	249,900	3	83,300	122,976	,000
	Within Groups	9,483	14	,677		
	Total	259,384	17			

- d) Ozmotik sonrası su içeriğinin D-Glikoz/D-Fruktoz üzerine etkisini gösteren Çoklu karşılaştırma test sonuçları

Çoklu karşılaştırma

				Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I)		(J)					Lower Bound	Upper Bound
Dependent Variable suiceriği suiceriği								
Kdglikoz	Tukey	0.75	0.8	4,49484*	1,00299	,003	1,5796	7,4101
	HSD		0.85	6,25370*	1,00299	,000	3,3384	9,1690

	0.8	0.92	10,41702 [*]	,81894	,000	8,0367	12,7973		
		0.75	-4,49484 [*]	1,00299	,003	-7,4101	-1,5796		
		0.85	1,75886	1,00299	,335	-1,1564	4,6741		
	0.85	0.92	5,92218 [*]	,81894	,000	3,5419	8,3025		
		0.75	-6,25370 [*]	1,00299	,000	-9,1690	-3,3384		
		0.8	-1,75886	1,00299	,335	-4,6741	1,1564		
	0.92	0.92	4,16332 [*]	,81894	,001	1,7830	6,5436		
		0.75	-10,41702 [*]	,81894	,000	-12,7973	-8,0367		
		0.8	-5,92218 [*]	,81894	,000	-8,3025	-3,5419		
		0.85	-4,16332 [*]	,81894	,001	-6,5436	-1,7830		
		Kdfrukroz Tukey HSD	0.75	0.8	2,10009	,86956	,120	-,4273	4,6275
			0.85	5,29816 [*]	,86956	,000	2,7707	7,8256	
0.92	9,20381 [*]		,70999	,000	7,1402	11,2674			
	0.8	0.75	-2,10009	,86956	,120	-4,6275	-,4273		
		0.85	3,19807 [*]	,86956	,012	,6706	5,7255		
		0.92	7,10372 [*]	,70999	,000	5,0401	9,1674		
	0.85	0.75	-5,29816 [*]	,86956	,000	-7,8256	-2,7707		
		0.8	-3,19807 [*]	,86956	,012	-5,7255	-,6706		
		0.92	3,90566 [*]	,70999	,000	1,8420	5,9693		
	0.92	0.75	-9,20381 [*]	,70999	,000	-11,2674	-7,1402		
		0.8	-7,10372 [*]	,70999	,000	-9,1674	-5,0401		
		0.85	-3,90566 [*]	,70999	,000	-5,9693	-1,8420		
	Udglikoz Tukey HSD	0.75	0.8	2,26258 [*]	,67888	,023	,2894	4,2358	
			0.85	5,19988 [*]	,67888	,000	3,2267	7,1731	
			0.92	9,29559 [*]	,55431	,000	7,6845	10,9067	
0.8		0.75	-2,26258 [*]	,67888	,023	-4,2358	-,2894		
		0.85	2,93730 [*]	,67888	,003	,9641	4,9105		
		0.92	7,03302 [*]	,55431	,000	5,4219	8,6441		
0.85		0.75	-5,19988 [*]	,67888	,000	-7,1731	-3,2267		
		0.8	-2,93730 [*]	,67888	,003	-4,9105	-,9641		
		0.92	4,09572 [*]	,55431	,000	2,4846	5,7068		
0.92		0.75	-9,29559 [*]	,55431	,000	-10,9067	-7,6845		
		0.8	-7,03302 [*]	,55431	,000	-8,6441	-5,4219		
		0.85	-4,09572 [*]	,55431	,000	-5,7068	-2,4846		

Udfroktoz Tukey HSD	0.75	0.8	3,48355*	,67200	,001	1,5304	5,4368
		0.85	5,87099*	,67200	,000	3,9178	7,8242
		0.92	9,74468*	,54868	,000	8,1499	11,3395
	0.8	0.75	-3,48355*	,67200	,001	-5,4368	-1,5304
		0.85	2,38743*	,67200	,015	,4342	4,3406
		0.92	6,26112*	,54868	,000	4,6663	7,8559
	0.85	0.75	-5,87099*	,67200	,000	-7,8242	-3,9178
		0.8	-2,38743*	,67200	,015	-4,3406	-,4342
		0.92	3,87369*	,54868	,000	2,2789	5,4685
	0.92	0.75	-9,74468*	,54868	,000	-11,3395	-8,1499
		0.8	-6,26112*	,54868	,000	-7,8559	-4,6663
		0.85	-3,87369*	,54868	,000	-5,4685	-2,2789

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- e) Ozmotik sonrası su içeriğinin D-Glikoz/D-Fruktoz üzerine etkisini gösteren Homojenlik test sonuçları a) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için D-Glikoz b) Karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için D-Fruktoz c) Ultrason ozmotik kurutma sistemi için D-Glikoz d) Ultrason ozmotik kurutma sistemi için D-Fruktoz

a) Kdglikoz

su içeriği	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a	0.92	9	2,0772	
	0.85	3	6,2405	
	0.8	3	7,9994	
	0.75	3		12,4942
	Sig.	1,000	,264	1,000
Duncan ^a	0.92	9	2,0772	
	0.85	3	6,2405	
	0.8	3	7,9994	
	0.75	3		12,4942
	Sig.	1,000	,075	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,600.

b) Kdfrukroz

		N	Subset for alpha = 0.05			
suicerīgi			1	2	3	4
Tukey HSD ^a	0.92	9	2,0193			
	0.85	3		5,9250		
	0.8	3			9,1231	
	0.75	3			11,2232	
	Sig.		1,000	1,000	,080	
Duncan ^a	0.92	9	2,0193			
	0.85	3		5,9250		
	0.8	3			9,1231	
	0.75	3				11,2232
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,600.

c) Udglukoz

		N	Subset for alpha = 0.05			
suicerīgi			1	2	3	4
Tukey HSD ^a	0.92	9	2,0772			
	0.85	3		6,1729		
	0.8	3			9,1102	
	0.75	3				11,3728
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Duncan ^a	0.92	9	2,0772			
	0.85	3		6,1729		
	0.8	3			9,1102	
	0.75	3				11,3728
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,600.

d) Udfroktoz

		N	Subset for alpha = 0.05			
suiceriği			1	2	3	4
Tukey HSD ^a	0.92	9	2,0193			
	0.85	3		5,8930		
	0.8	3			8,2805	
	0.75	3				11,7640
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Duncan ^a	0.92	9	2,0193			
	0.85	3		5,8930		
	0.8	3			8,2805	
	0.75	3				11,7640
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,600.

- f) Ozmotik kurutma sistemlerin D Glikoz üzerine etkisi belirlemek için yapılan t testler a)
Çift örnek istatistiği b) Çift örnek kolerasyonu c) Çift örnek testi

a) Çift örnek istatistiği

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Kdglikoz	5,4943	18	4,15656	,97971
	Udglikoz	5,4812	18	3,90355	,92008

b) Çift örnek kolerasyonu

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Kdglikoz & Udglikoz	18	,952	,000

c) Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Kdglıkoƶ - Udgıkoƶ	,01303	1,27899	,30146	-,62299	,64906	,043	17	,966

g) Ozmotik kurutma sistemlerin D Fruktöz üzerine etkisi belirlemek için yapılan t testler a) Çift örnek istatistiği b) Çift örnek kolerasyon c) Çift örnek testi

a) Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 Kdfrukroz	5,3882	18	3,93232	,92686
Udfroktoz	5,3326	18	3,90613	,92068

b) Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 Kdfrukroz & Udfroktoz	18	,970	,000

c) Çift Örnek Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Kdfrukroz - Udfroktoz	,05562	,95529	,22516	-,41944	,53067	,247	17	,808

Ek -15 Ozmotik sonrası su içeriğinin renk özellikleri üzerine etkisini gösteren istatistiksel değerlendirme (SPSS) sonuçları

a) Ozmotik sonrası su içeriğinin renk parametreleri üzerine etkisini gösteren Tanımlama test sonuçları

Tanımlama

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
KL_Lo	0.75	8	,8405	,03275	,01158	,8132	,8679	,81	,87
	0.8	4	,8345	,00308	,00154	,8296	,8394	,83	,84
	0.85	4	,8843	,00237	,00119	,8805	,8881	,88	,89
	Total	16	,8500	,03048	,00762	,8337	,8662	,81	,89
Ka_ao	0.75	8	1,2848	,16265	,05751	1,1488	1,4207	1,12	1,45
	0.8	4	,7332	,00982	,00491	,7176	,7489	,72	,75
	0.85	4	,9794	,01203	,00601	,9602	,9985	,96	,99
	Total	16	1,0705	,26348	,06587	,9301	1,2109	,72	1,45
Kb_bo	0.75	8	1,0771	,10663	,03770	,9880	1,1663	,97	1,18
	0.8	4	,7287	,00607	,00303	,7191	,7384	,72	,73
	0.85	4	,8333	,00365	,00182	,8274	,8391	,83	,84
	Total	16	,9291	,17367	,04342	,8365	1,0216	,72	1,18
KChroma_chromah	0.75	8	1,0862	,09257	,03273	1,0089	1,1636	,99	1,18
	0.8	4	,7250	,00577	,00289	,7158	,7342	,72	,73
	0.85	4	,8400	,00000	,00000	,8400	,8400	,84	,84
	Total	16	,9344	,17428	,04357	,8415	1,0272	,72	1,18
kDeltaE	0.75	8	9,6900	1,71128	,60503	8,2593	11,1207	8,04	11,39
	0.8	4	9,4500	,18565	,09283	9,1546	9,7454	9,27	9,62
	0.85	4	6,6875	,16399	,08199	6,4266	6,9484	6,46	6,83
	Total	16	8,8794	1,75993	,43998	7,9416	9,8172	6,46	11,39
kDeltaC	0.75	8	1,2350	,46800	,16546	,8437	1,6263	,79	1,70
	0.8	4	2,5425	,06076	,03038	2,4458	2,6392	2,49	2,60
	0.85	4	1,6900	,07118	,03559	1,5767	1,8033	1,59	1,75
	Total	16	1,6756	,63872	,15968	1,3353	2,0160	,79	2,60
KHue_Hueh	0.75	8	,9812	,03441	,01217	,9525	1,0100	,94	1,01

	0.8	4	1,0000	,00000	,00000	1,0000	1,0000	1,00	1,00
	0.85	4	,9800	,00000	,00000	,9800	,9800	,98	,98
	Total	16	,9856	,02502	,00626	,9723	,9990	,94	1,01
UL_Lo	0.75	8	,7991	,08375	,02961	,7291	,8692	,72	,88
	0.8	4	,8419	,00178	,00089	,8391	,8447	,84	,84
	0.85	4	,8843	,00237	,00119	,8805	,8881	,88	,89
	Total	16	,8311	,06786	,01697	,7950	,8673	,72	,89
Ua_ao	0.75	8	1,3872	,38926	,13762	1,0618	1,7126	1,01	1,76
	0.8	4	,8072	,02001	,01000	,7754	,8390	,78	,83
	0.85	4	1,5367	,01789	,00895	1,5082	1,5651	1,51	1,56
	Total	16	1,2796	,39263	,09816	1,0703	1,4888	,78	1,76
Ub_bo	0.75	8	1,0978	,05797	,02049	1,0494	1,1463	1,04	1,16
	0.8	4	,7463	,00275	,00138	,7419	,7507	,74	,75
	0.85	4	,9610	,01265	,00632	,9409	,9811	,94	,97
	Total	16	,9757	,15379	,03845	,8938	1,0577	,74	1,16
UChroma_chromaH	0.75	8	1,1112	,07100	,02510	1,0519	1,1706	1,04	1,18
	0.8	4	,7500	,00000	,00000	,7500	,7500	,75	,75
	0.85	4	,9825	,00957	,00479	,9673	,9977	,97	,99
	Total	16	,9887	,15995	,03999	,9035	1,0740	,75	1,18
UDEltaE	0.75	8	12,0975	4,86971	1,72170	8,0263	16,1687	7,45	16,67
	0.8	4	9,0050	,07767	,03884	8,8814	9,1286	8,92	9,10
	0.85	4	6,5550	,14271	,07136	6,3279	6,7821	6,36	6,68
	Total	16	9,9388	4,10403	1,02601	7,7519	12,1256	6,36	16,67
UDEltaC	0.75	8	1,1588	,80099	,28319	,4891	1,8284	,37	1,94
	0.8	4	2,3500	,03367	,01683	2,2964	2,4036	2,31	2,39
	0.85	4	1,0525	,03304	,01652	,9999	1,1051	1,03	1,10
	Total	16	1,4300	,77640	,19410	1,0163	1,8437	,37	2,39
UHUe_Hu	0.75	8	,9737	,03662	,01295	,9431	1,0044	,93	1,01
	0.8	4	,9850	,00577	,00289	,9758	,9942	,98	,99
	0.85	4	,9275	,00500	,00250	,9195	,9355	,92	,93
	Total	16	,9650	,03406	,00851	,9469	,9831	,92	1,01

- b) Ozmotik sonrası su içeriğinin renk parametreleri üzerine etkisini gösteren Varyans homojenlik testi test sonuçları

Varyans homojenlik testi

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
KL_Lo	1243,356	2	13	,000
Ka_ao	200,654	2	13	,000
Kb_bo	720,917	2	13	,000
KChroma_chromah	384,612	2	13	,000
kDeltaE	1211,342	2	13	,000
kDeltaC	538,750	2	13	,000
KHue_Hueh	39,471	2	13	,000
UL_Lo	5411,245	2	13	,000
Ua_ao	2036,378	2	13	,000
Ub_bo	167,901	2	13	,000
UChroma_chromaH	454,639	2	13	,000
UDEltaE	14754,922	2	13	,000
UDEltaC	1706,673	2	13	,000
UHue_Hu	26,541	2	13	,000

- c) Ozmotik sonrası su içeriğinin renk parametreleri üzerine etkisini gösteren ANOVA test sonuçları

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
KL_Lo	Between Groups	,006	2	,003	5,493	,019
	Within Groups	,008	13	,001		
	Total	,014	15			
Ka_ao	Between Groups	,855	2	,428	29,908	,000
	Within Groups	,186	13	,014		
	Total	1,041	15			
Kb_bo	Between Groups	,373	2	,186	30,382	,000
	Within Groups	,080	13	,006		
	Total	,452	15			
KChroma_chromah	Between Groups	,396	2	,198	42,784	,000
	Within Groups	,060	13	,005		

	Total	,456	15			
kDeltaE	Between Groups	25,777	2	12,888	8,101	,005
	Within Groups	20,683	13	1,591		
	Total	46,460	15			
kDeltaC	Between Groups	4,560	2	2,280	19,006	,000
	Within Groups	1,559	13	,120		
	Total	6,119	15			
KHue_Hueh	Between Groups	,001	2	,001	,868	,443
	Within Groups	,008	13	,001		
	Total	,009	15			
UL_Lo	Between Groups	,020	2	,010	2,641	,109
	Within Groups	,049	13	,004		
	Total	,069	15			
Ua_ao	Between Groups	1,250	2	,625	7,642	,006
	Within Groups	1,063	13	,082		
	Total	2,312	15			
Ub_bo	Between Groups	,331	2	,165	89,484	,000
	Within Groups	,024	13	,002		
	Total	,355	15			
UChroma_chromaH	Between Groups	,348	2	,174	63,645	,000
	Within Groups	,036	13	,003		
	Total	,384	15			
UDEltaE	Between Groups	86,568	2	43,284	3,388	,065
	Within Groups	166,078	13	12,775		
	Total	252,646	15			
UDEltaC	Between Groups	4,544	2	2,272	6,567	,011
	Within Groups	4,498	13	,346		
	Total	9,042	15			
UHue_Hu	Between Groups	,008	2	,004	5,327	,020
	Within Groups	,010	13	,001		
	Total	,017	15			

- d) Ozmotik sonrası su içeriğinin renk parametreleri üzerine etkisini gösteren Çoklu karşılaştırma test sonuçları

Çoklu karşılaştırma

Dependent Variable		(I) suiceriği	(J) suiceriği	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
							Lower Bound	Upper Bound
KL_Lo	Tukey	0.75	0.8	,00605	,01476	,912	-,0329	,0450
			0.85	-,04375*	,01476	,028	-,0827	-,0048
	HSD	0.8	0.75	-,00605	,01476	,912	-,0450	,0329
			0.85	-,04980*	,01704	,030	-,0948	-,0048
		0.85	0.75	,04375*	,01476	,028	,0048	,0827
			0.8	,04980*	,01704	,030	,0048	,0948
		0.85	0.75	,04375*	,01476	,028	,0048	,0827
			0.8	,04980*	,01704	,030	,0048	,0948
Ka_ao	Tukey	0.75	0.8	,55151*	,07323	,000	,3582	,7449
			0.85	,30538*	,07323	,003	,1120	,4987
	HSD	0.8	0.75	-,55151*	,07323	,000	-,7449	-,3582
			0.85	-,24614*	,08456	,031	-,4694	-,0229
		0.85	0.75	-,30538*	,07323	,003	-,4987	-,1120
			0.8	,24614*	,08456	,031	,0229	,4694
		0.85	0.75	-,30538*	,07323	,003	-,4987	-,1120
			0.8	,24614*	,08456	,031	,0229	,4694
Kb_bo	Tukey	0.75	0.8	,34843*	,04796	,000	,2218	,4751
			0.85	,24389*	,04796	,001	,1173	,3705
	HSD	0.8	0.75	-,34843*	,04796	,000	-,4751	-,2218
			0.85	-,10454	,05538	,181	-,2508	,0417
		0.85	0.75	-,24389*	,04796	,001	-,3705	-,1173
			0.8	,10454	,05538	,181	-,0417	,2508
		0.85	0.75	-,24389*	,04796	,001	-,3705	-,1173
			0.8	,10454	,05538	,181	-,0417	,2508
KChroma_chromah	Tukey	0.75	0.8	,36125*	,04163	,000	,2513	,4712
			0.85	,24625*	,04163	,000	,1363	,3562
	HSD	0.8	0.75	-,36125*	,04163	,000	-,4712	-,2513
			0.85	-,11500	,04807	,078	-,2419	,0119
		0.85	0.75	-,24625*	,04163	,000	-,3562	-,1363
			0.8	,11500	,04807	,078	-,0119	,2419
		0.85	0.75	-,24625*	,04163	,000	-,3562	-,1363
			0.8	,11500	,04807	,078	-,0119	,2419
kDeltaE	Tukey	0.75	0.8	,24000	,77242	,948	-1,7995	2,2795
			0.85	3,00250*	,77242	,005	,9630	5,0420
	HSD	0.8	0.75	-,24000	,77242	,948	-2,2795	1,7995

kDeltaC	Tukey HSD	0.85	0.85	2,76250*	,89192	,022	,4074	5,1176
			0.75	-3,00250*	,77242	,005	-5,0420	-,9630
		0.8	0.8	-2,76250*	,89192	,022	-5,1176	-,4074
			0.75	-1,30750*	,21210	,000	-1,8675	-,7475
		0.8	0.85	-,45500	,21210	,119	-1,0150	,1050
			0.75	1,30750*	,21210	,000	,7475	1,8675
		0.85	0.8	,85250*	,24491	,011	,2058	1,4992
			0.75	,45500	,21210	,119	-,1050	1,0150
KHue_Hueh	Tukey HSD	0.85	0.8	-,85250*	,24491	,011	-1,4992	-,2058
			0.75	0.8	-,01875	,01546	,467	-,0596
		0.8	0.85	,00125	,01546	,996	-,0396	,0421
			0.75	,01875	,01546	,467	-,0221	,0596
		0.85	0.8	,02000	,01785	,519	-,0271	,0671
			0.75	-,00125	,01546	,996	-,0421	,0396
		0.8	0.85	-,02000	,01785	,519	-,0671	,0271
			0.75	0.8	-,04276	,03764	,510	-,1421
UL_Lo	Tukey HSD	0.85	0.8	-,08515	,03764	,098	-,1845	,0142
			0.75	,04276	,03764	,510	-,0566	,1421
		0.8	0.85	-,04239	,04347	,604	-,1572	,0724
			0.75	,08515	,03764	,098	-,0142	,1845
		0.85	0.8	,04239	,04347	,604	-,0724	,1572
			0.75	0.8	,57999*	,17509	,014	,1177
		0.8	0.85	-,14948	,17509	,678	-,6118	,3128
			0.75	-,57999*	,17509	,014	-1,0423	-,1177
Ua_ao	Tukey HSD	0.85	0.8	-,72947*	,20218	,008	-1,2633	-,1956
			0.75	,14948	,17509	,678	-,3128	,6118
		0.8	0.85	,72947*	,20218	,008	,1956	1,2633
			0.75	0.8	,35155*	,02632	,000	,2820
		0.85	0.8	,13686*	,02632	,000	,0674	,2064
			0.75	-,35155*	,02632	,000	-,4211	-,2820
		0.8	0.85	-,21469*	,03040	,000	-,2949	-,1344
			0.75	-,13686*	,02632	,000	-,2064	-,0674
Ub_bo	Tukey HSD	0.85	0.8	,21469*	,03040	,000	,1344	,2949
			0.75	0.8	,36125*	,03203	,000	,2767
		0.8	0.85	UChroma_chromaH				
			0.75	0.8				
		0.85	0.8					
			0.75					
		0.8	0.85					
			0.75					

	HSD		0.85	,12875*	,03203	,004	,0442	,2133
		0.8	0.75	-,36125*	,03203	,000	-,4458	-,2767
			0.85	-,23250*	,03698	,000	-,3302	-,1348
		0.85	0.75	-,12875*	,03203	,004	-,2133	-,0442
			0.8	,23250*	,03698	,000	,1348	,3302
UDEltaE	Tukey	0.75	0.8	3,09250	2,18877	,363	-2,6868	8,8718
	HSD		0.85	5,54250	2,18877	,061	-,2368	11,3218
		0.8	0.75	-3,09250	2,18877	,363	-8,8718	2,6868
			0.85	2,45000	2,52737	,608	-4,2234	9,1234
		0.85	0.75	-5,54250	2,18877	,061	-11,3218	,2368
			0.8	-2,45000	2,52737	,608	-9,1234	4,2234
UDEltaC	Tukey	0.75	0.8	-1,19125*	,36020	,015	-2,1423	-,2402
	HSD		0.85	,10625	,36020	,953	-,8448	1,0573
		0.8	0.75	1,19125*	,36020	,015	,2402	2,1423
			0.85	1,29750*	,41592	,021	,1993	2,3957
		0.85	0.75	-,10625	,36020	,953	-1,0573	,8448
			0.8	-1,29750*	,41592	,021	-2,3957	-,1993
UHUe_Hu	Tukey	0.75	0.8	-,01125	,01661	,780	-,0551	,0326
	HSD		0.85	,04625*	,01661	,038	,0024	,0901
		0.8	0.75	,01125	,01661	,780	-,0326	,0551
			0.85	,05750*	,01918	,026	,0069	,1081
		0.85	0.75	-,04625*	,01661	,038	-,0901	-,0024
			0.8	-,05750*	,01918	,026	-,1081	-,0069

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- e) Ozmotik sonrası su içeriğinin renk parametreleri üzerine etkisini gösteren Homojenlik test sonuçları a) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için L/L_o b) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için a/a_o c) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için b/b_o d) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için kroma/kroma_h e) karıştırmalı ozmotik kurutma için ΔE f) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için ΔC g) karıştırmalı ozmotik sistem için Hue/Hue_h h) ultrasonik ozmotik kurutma sistemi için L/L_o i) ultrasonik ozmotik kurutma sistemi için a/a_o j) ultrasonik ozmotik kurutma sistemi için b/b_o k) ultrasonik ozmotik kurutma sistemi için kroma/kroma_h l) ultrasonik ozmotik kurutma için ΔE m) ultrasonik ozmotik kurutma n) ultrasonik ozmotik sistem için Hue/Hue_h

a) KL_L_o

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	0.8	4,8345	
	0.75	8,8405	
	0.85	4	,8843
	Sig.	,920	1,000
Duncan ^a	0.8	4,8345	
	0.75	8,8405	
	0.85	4	,8843
	Sig.	,704	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

b) Ka_a_o

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a	0.8	4,7332		
	0.85	4	,9794	
	0.75	8		1,2848
	Sig.	1,000	1,000	1,000
Duncan ^a	0.8	4,7332		
	0.85	4	,9794	
	0.75	8		1,2848
	Sig.	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

c) Kb_bo

suicerig I		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	0.8	4	,7287	
	0.85	4	,8333	
	0.75	8		1,0771
	Sig.		,135	1,000
Duncan ^a	0.8	4	,7287	
	0.85	4	,8333	
	0.75	8		1,0771
	Sig.		,059	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

d) Kkroma_kroma_h

suicerig I		N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD ^a	0.8	4	,7250		
	0.85	4	,8400		
	0.75	8		1,0862	
	Sig.		,052	1,000	
Duncan ^a	0.8	4	,7250		
	0.85	4		,8400	
	0.75	8			1,0862
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

e) K ΔE

suicergig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	0.85	4	6,6875
	0.8	4	9,4500
	0.75	8	9,6900
	Sig.	1,000	,953
Duncan ^a	0.85	4	6,6875
	0.8	4	9,4500
	0.75	8	9,6900
	Sig.	1,000	,773

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

f) K ΔC

suicergig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	0.75	8	1,2350
	0.85	4	1,6900
	0.8	4	2,5425
	Sig.	,143	1,000
Duncan ^a	0.75	8	1,2350
	0.85	4	1,6900
	0.8	4	2,5425
	Sig.	,063	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

g) K Hue_Hue_h

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
Tukey HSD ^a	0.85	4	,9800
	0.75	8	,9812
	0.8	4	1,0000
	Sig.		,459
Duncan ^a	0.85	4	,9800
	0.75	8	,9812
	0.8	4	1,0000
	Sig.		,264

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

h) U L/L_o

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
Tukey HSD ^a	0.75	8	,7991
	0.8	4	,8419
	0.85	4	,8843
	Sig.		,119
Duncan ^a	0.75	8	,7991
	0.8	4	,8419
	0.85	4	,8843
	Sig.		,061

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

i) Ua/ao

suicerg i	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	0.8	4,8072	
	0.75	8	1,3872
	0.85	4	1,5367
	Sig.	1,000	,704
Duncan ^a	0.8	4,8072	
	0.75	8	1,3872
	0.85	4	1,5367
	Sig.	1,000	,433

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

j) U b/bo

suicerg i	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a	0.8	4,7463		
	0.85	4	,9610	
	0.75	8		1,0978
	Sig.	1,000	1,000	1,000
Duncan ^a	0.8	4,7463		
	0.85	4	,9610	
	0.75	8		1,0978
	Sig.	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

k)U kroma/kroma_H

suicrig I	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a	0.8	4,7500		
	0.85		,9825	
	0.75			1,1112
	Sig.	1,000	1,000	1,000
Duncan ^a	0.8	4,7500		
	0.85		,9825	
	0.75			1,1112
	Sig.	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

l) U ΔE

suicrig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	0.85	4,65550	
	0.8	4,90050	
	0.75	8,12,0975	
	Sig.	,076	
Duncan ^a	0.85	4,65550	
	0.8	4,90050	9,0050
	0.75	8,12,0975	
	Sig.	,308	,203

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

m) U ΔC

suicergig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	0.85	4	1,0525
	0.75	8	1,1588
	0.8	4	2,3500
	Sig.	,958	1,000
Duncan ^a	0.85	4	1,0525
	0.75	8	1,1588
	0.8	4	2,3500
	Sig.	,784	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

n) U Hue/Hue_H

suicergig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	0.85	4,9275	
	0.75	8	,9737
	0.8	4	,9850
	Sig.	1,000	,800
Duncan ^a	0.85	4,9275	
	0.75	8	,9737
	0.8	4	,9850
	Sig.	1,000	,532

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,800.

- f) Ozmotik kurutma sistemlerin renk parametreleri üzerine etkisi belirlemek için yapılan t testler a) ozmotik kurutma sistemi için L/Lo b) ozmotik kurutma sistemi için a/ao c) ozmotik kurutma sistemi için b/bo d) ozmotik kurutma sistemi için kroma/kromah e) ozmotik kurutma için ΔE f) ozmotik kurutma sistemi için ΔC g) ozmotik sistem için Hue/Hue_h

1) Çift örnek istatistiği 2) Çift örnek kolerasyon 3) Çift örnek Test

a) 1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 KL_Lo	,8500	16	,03048	,00762
UL_Lo	,8311	16	,06786	,01697

a) 2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 KL_Lo & UL_Lo	40	,015	,928

a) 3. Çift örnek Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 KL_Lo - UL_Lo	,04287	,17565	,02777	-,01330	,09905	1,544	39	,131

b) 1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 Ka_ao	1,0705	16	,26348	,06587
Ua_ao	1,2796	16	,39263	,09816

b) 2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
--	---	-------------	------

b) 2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 Ka_ao & Ua_ao	16	,754	,001

b)3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Ka_ao - Ua_ao	-,20902	,25995	,06499	-,34754	-,07051	-3,216	15	,006

c) 1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 Kb_bo	,9291	16	,17367	,04342
Ub_bo	,9757	16	,15379	,03845

c)2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 Kb_bo & Ub_bo	16	,727	,001

c) 3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Kb_bo - Ub_bo	-,04667	,12232	,03058	-,11185	,01851	-1,526	15	,148

d) 1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 KChroma_chromah	,9344	16	,17428	,04357
UChroma_chromaH	,9888	16	,15995	,03999

d) 2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 KChroma_chromah & UChroma_chromaH	16	,731	,001

d)3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 KChroma_chromah - UChroma_chromaH	-,05437	,12334	,03084	-,12010	,01135	1,763	15	,098

e) 1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 kDeltaE	8,8794	16	1,75993	,43998
UDEltaE	9,9388	16	4,10403	1,02601

e) 2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 kDeltaE & UDEltaE	16	,923	,000

e)3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 kDeltaE - UDEltaE	-1,05937	2,57169	,64292	-2,42973	,31098	-1,648	15	,120

f) 1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 kDeltaC	1,6756	16	,63872	,15968
UDEltaC	1,4300	16	,77640	,19410

f) 2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 kDeltaC & UDEltaC	16	,202	,453

f)3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 kDeltaC - UDEltaC	,24562	,90027	,22507	-,23409	,72534	1,091	15	,292

g) 1.Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 UHUe_Hu	,9650	16	,03406	,00851
KHue_Hueh	,9856	16	,02502	,00626

g)2. Çift örnek kolerasyonu

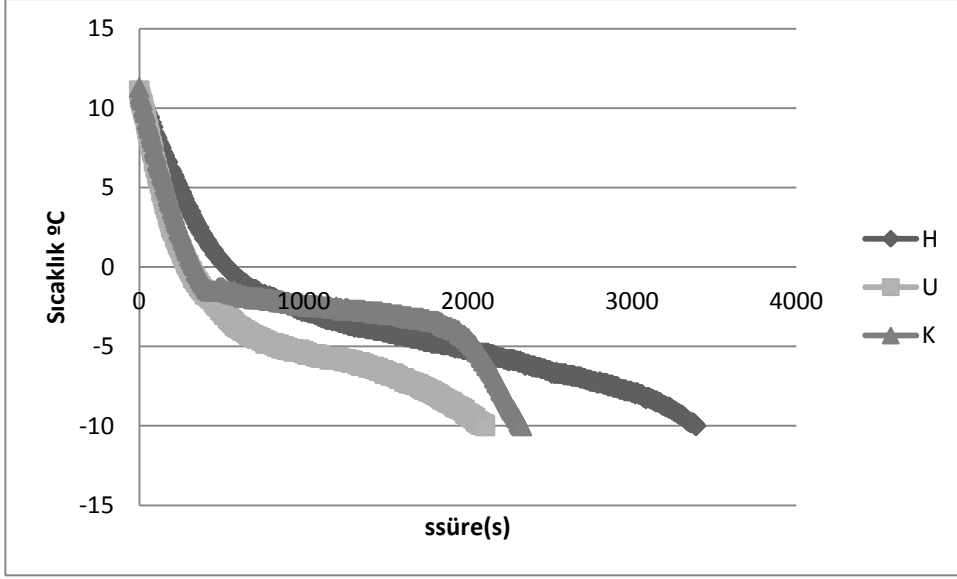
	N	Correlation	Sig.
Pair 1 UHUe_Hu & KHue_Hueh	16	,817	,000

g) 3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 UHUe_Hu - KHue_Hueh	-,02063	,01982	,00496	-,03119	-,01006	-4,162	15	,001

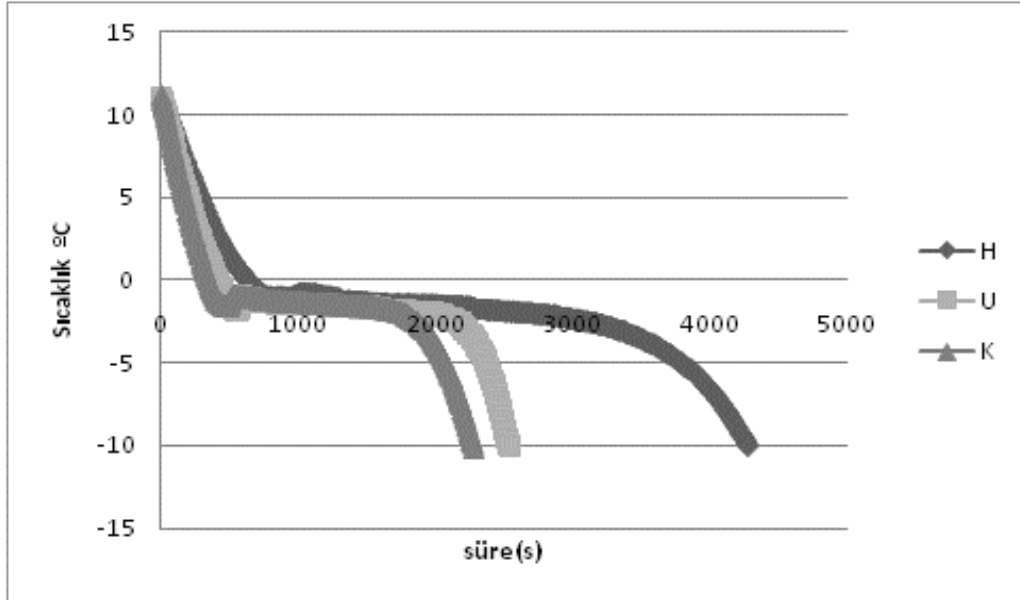
Ek -16 %85 su içeriğine sahip kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulması (a,b,c,d paraleller)

a)



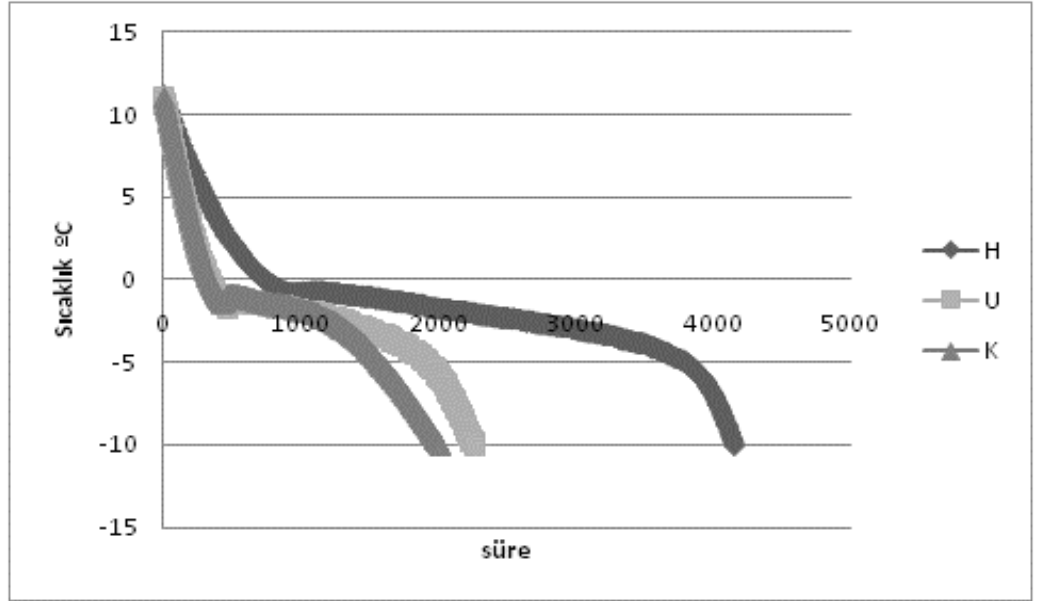
(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem, H:hammadde)

b)



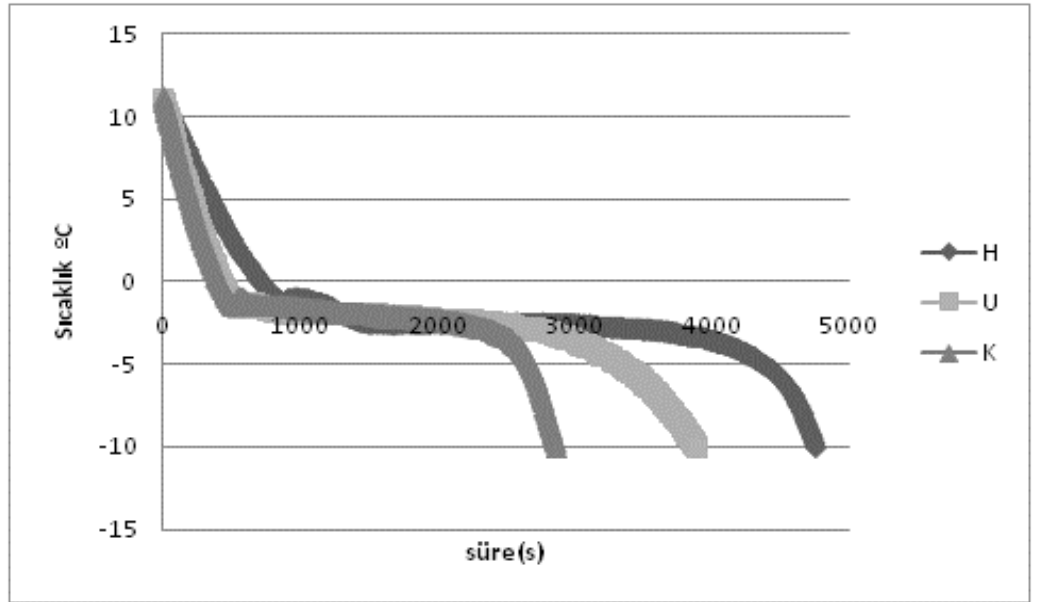
(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem, H:hammadde)

c)



(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem, H:hammadde)

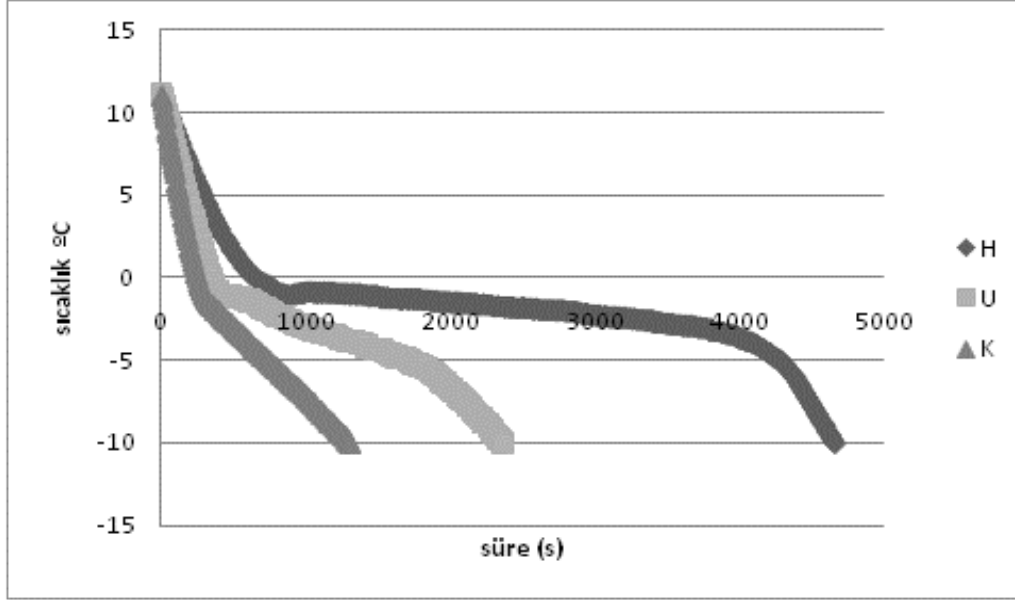
d)



(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem, H:hammadde)

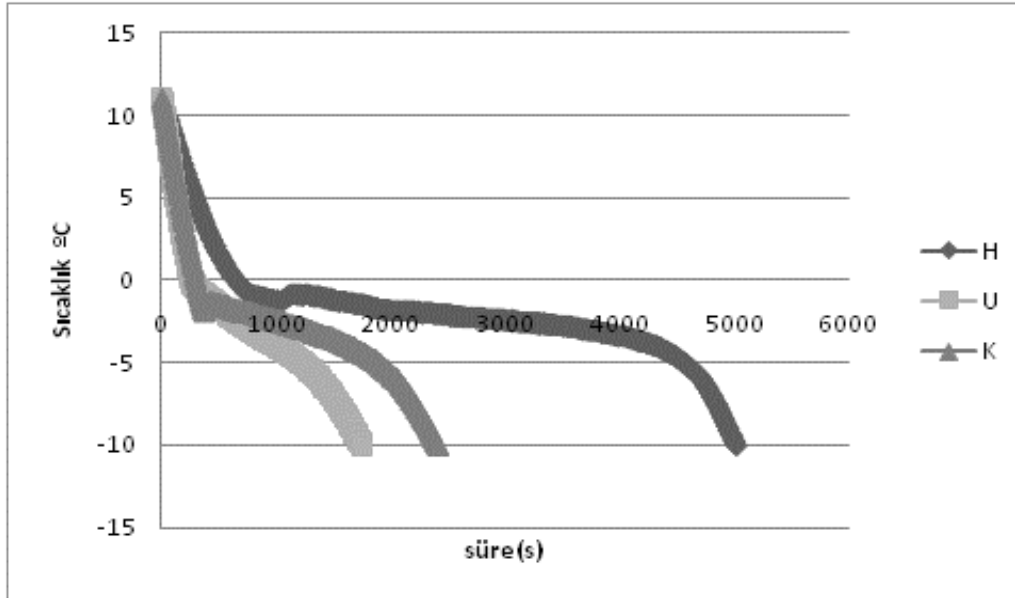
Ek-17 %80 su içeriğine sahip kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulması(a, b,c,d paraleller)

a)



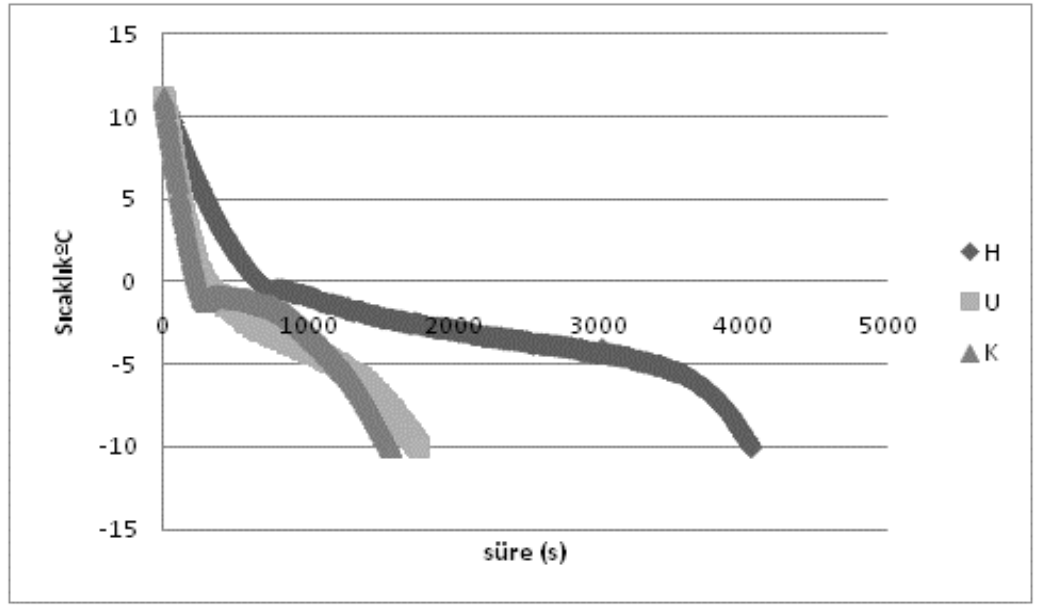
(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem, H:hammadde)

b)



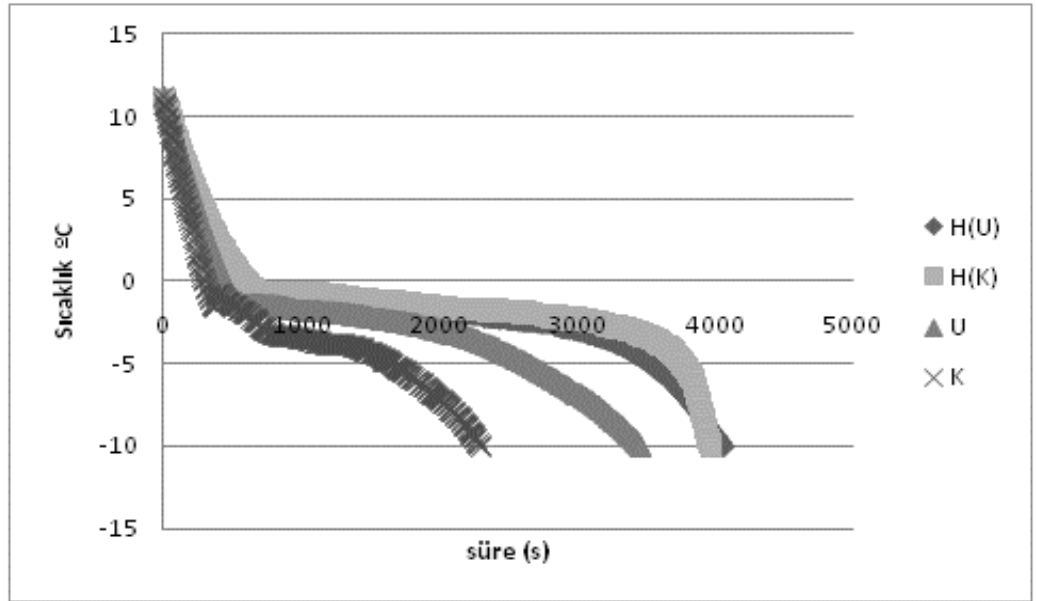
(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem, H:hammadde)

c)



(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem, H:hammadde)

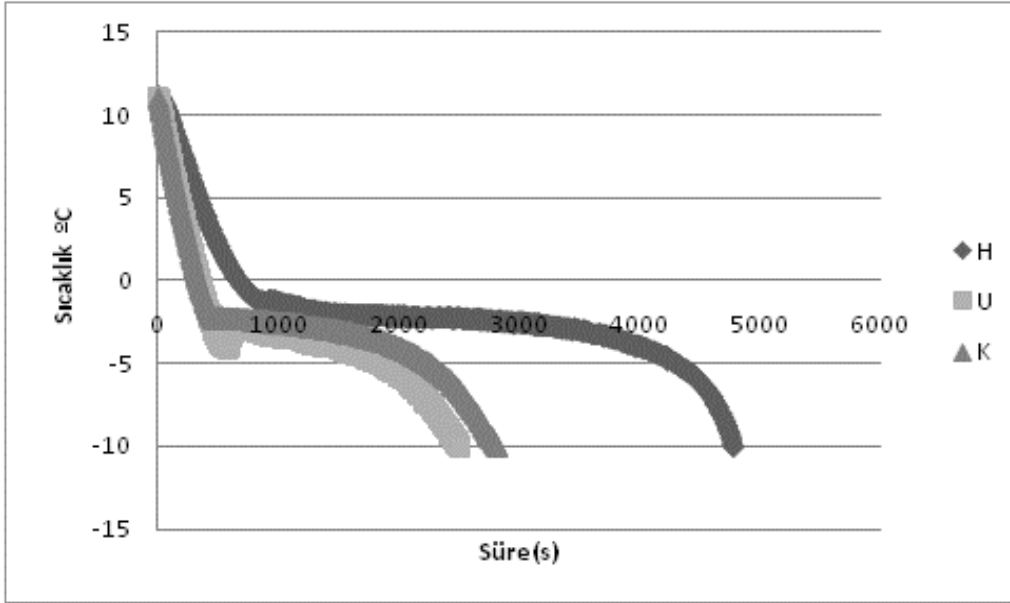
d)



(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem, H:hammadde)

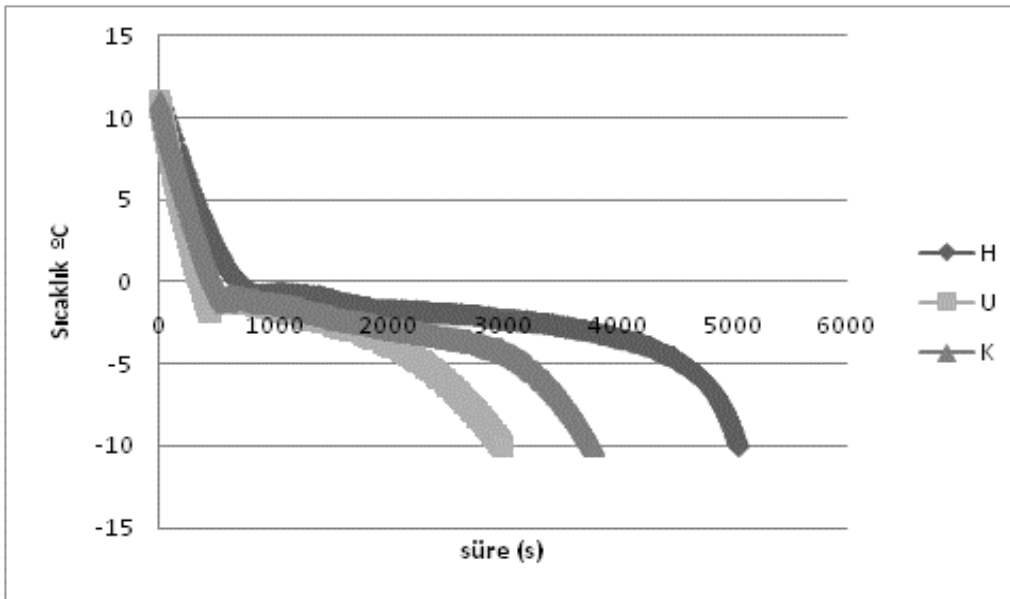
Ek -18 . %75 nem içeriğine sahip kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurulması (a,b,c,d,e,f paraleller)

a)



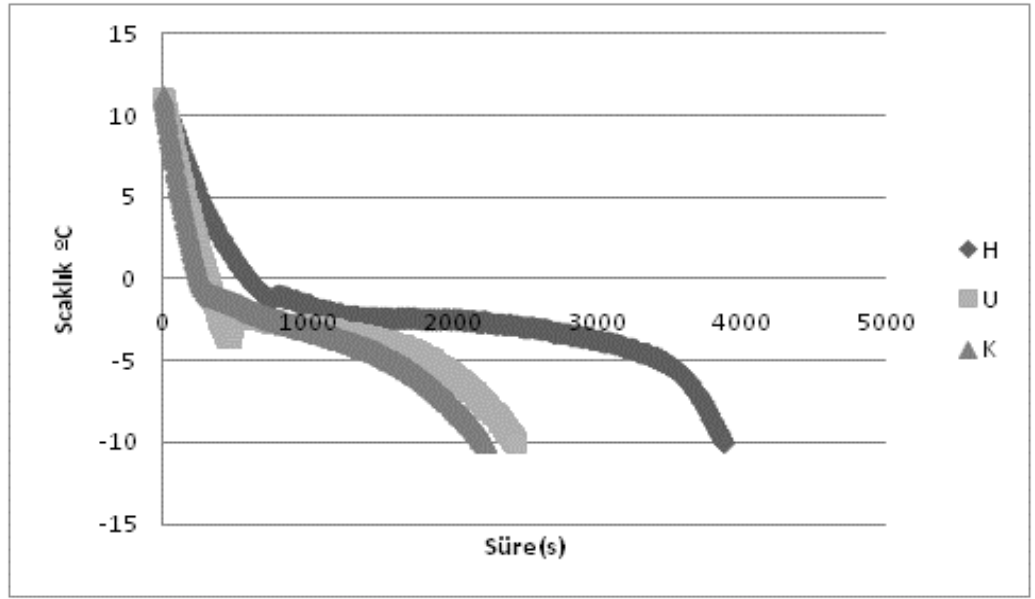
(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem, H:hammadde)

b)



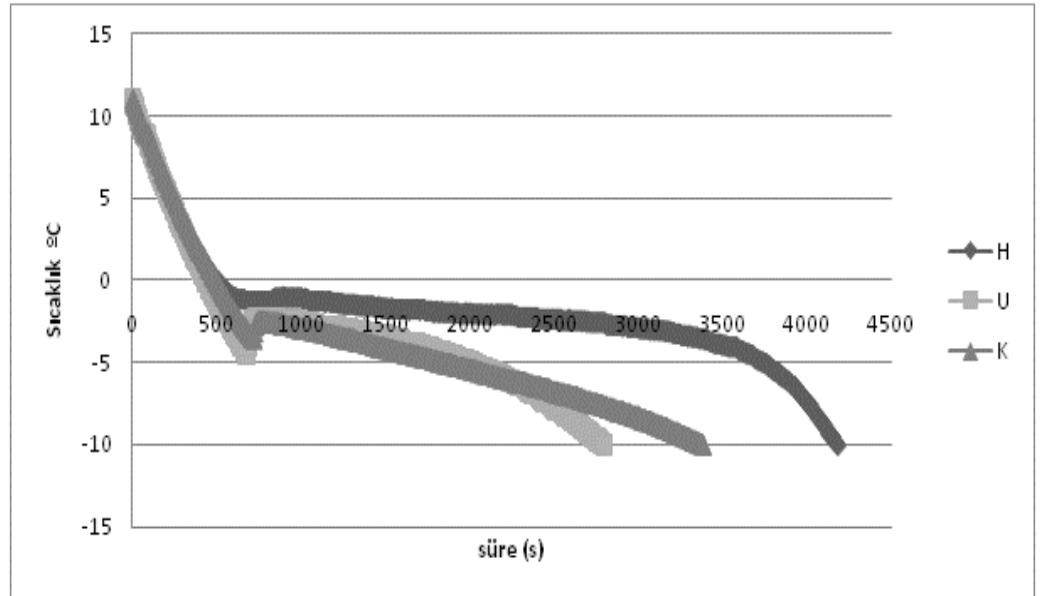
(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem, H:hammadde)

c)



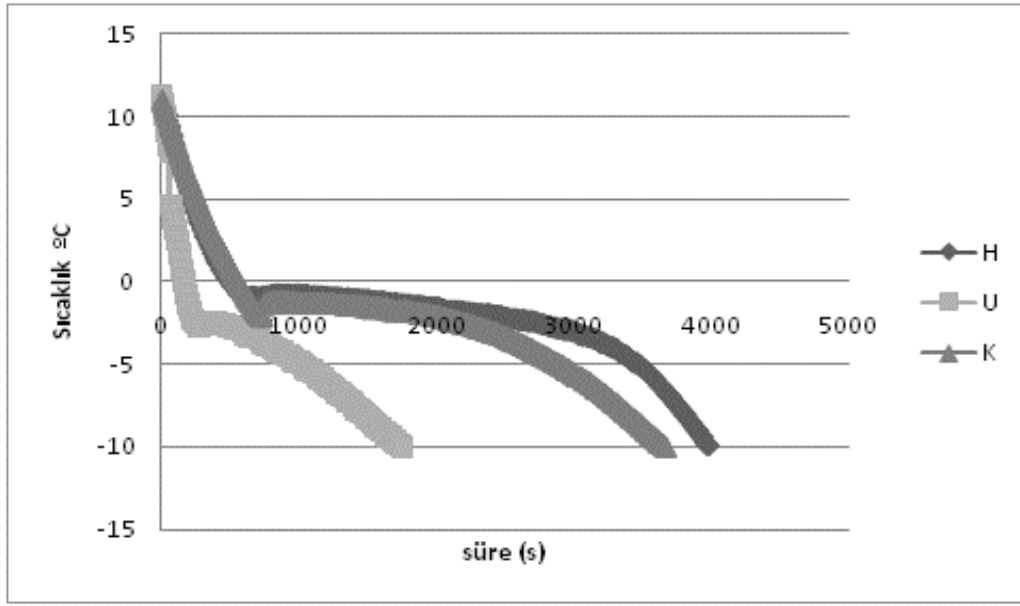
(U:ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem, H:hammadde)

d)



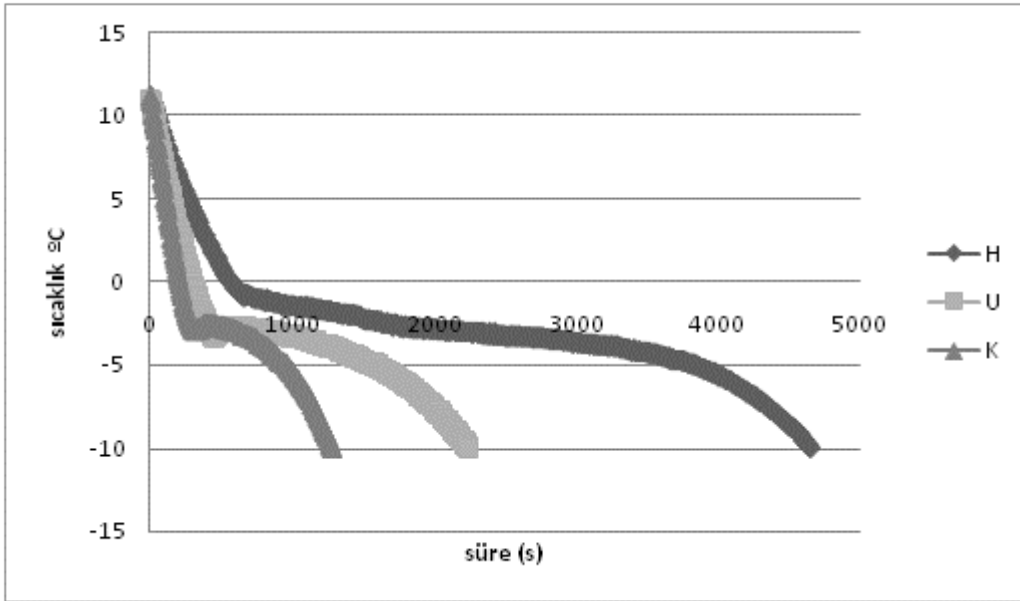
(U:ultrason sistem, K: karıştırmalı sistem, H:hammadde)

e)



(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem, H:hammadde)

f)



(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem, H:hammadde)

Ek-19 Su içeriğinin donma zamanı ve donma başlangıç noktasına etkisini belirlenmesi için yapılam istatistiksel testler

- a) Su içeriğinin donma zamanı ve donma başlangıç sıcaklığına etkisini belirlemek için Tanımlama test

Tanımlama

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
KTf 75	3	-2,3333	,41633	,24037	-3,3676	-1,2991	-2,80	-2,00
80	3	-1,4333	,30551	,17638	-2,1922	-,6744	-1,70	-1,10
85	3	-1,2667	,05774	,03333	-1,4101	-1,1232	-1,30	-1,20
92	3	-1,0667	,05774	,03333	-1,2101	-,9232	-1,10	-1,00
Total	12	-1,5250	,55288	,15960	-1,8763	-1,1737	-2,80	-1,00
UTf 75	3	-2,6667	,28868	,16667	-3,3838	-1,9496	-3,00	-2,50
80	3	-1,4000	,17321	,10000	-1,8303	-,9697	-1,50	-1,20
85	3	-1,2333	,05774	,03333	-1,3768	-1,0899	-1,30	-1,20
92	3	-1,0667	,05774	,03333	-1,2101	-,9232	-1,10	-1,00
Total	12	-1,5917	,67616	,19519	-2,0213	-1,1621	-3,00	-1,00
Kt 75	3	2,0067E3	515,90535	2,97858E2	725,0867	3288,2466	1460,00	2485,00
80	3	1,9083E3	519,52703	2,99949E2	617,7566	3198,9100	1465,00	2480,00
85	3	2,5767E3	180,09257	1,03976E2	2129,2919	3024,0414	2370,00	2700,00
92	3	5,1100E3	228,69193	1,32035E2	4541,8977	5678,1023	4940,00	5370,00
Total	12	2,9004E3	1399,73611	4,04069E2	2011,0668	3789,7666	1460,00	5370,00
Ut 75	3	2,3900E3	384,31758	2,21886E2	1435,3022	3344,6978	1960,00	2700,00
80	3	2,2017E3	401,38303	2,31739E2	1204,5760	3198,7574	1960,00	2665,00
85	3	2,6383E3	326,27953	1,88378E2	1827,8100	3448,8566	2330,00	2980,00
92	3	5,1100E3	228,69193	1,32035E2	4541,8977	5678,1023	4940,00	5370,00
Total	12	3,0850E3	1265,82528	3,65412E2	2280,7330	3889,2670	1960,00	5370,00

- b) Su içeriğinin donma zamanı ve donma başlangıç sıcaklığına etkisini belirlemek için Varyans homojenlik test

Varyans homojenlik testi

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
KTf	4,431	3	8	,041
UTf	6,519	3	8	,015
Kt	1,474	3	8	,293
Ut	,571	3	8	,650

- c) Su içeriğinin donma zamanı ve donma başlangıç sıcaklığına etkisini belirlemek için ANOVA test

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
KTf	Between Groups	2,816	3	,939	13,736	,002
	Within Groups	,547	8	,068		
	Total	3,363	11			
UTf	Between Groups	4,789	3	1,596	53,213	,000
	Within Groups	,240	8	,030		
	Total	5,029	11			
Kt	Between Groups	2,031E7	3	6770090,972	43,622	,000
	Within Groups	1241600,000	8	155200,000		
	Total	2,155E7	11			
Ut	Between Groups	1,669E7	3	5563438,889	47,595	,000
	Within Groups	935133,333	8	116891,667		
	Total	1,763E7	11			

- d) Su içeriğinin donma zamanı ve donma başlangıç sıcaklığına etkisini belirlemek için
Çoklu karşılaştırma test

Çoklu karşılaştırma

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
KTf Tukey HSD	75	80	-,90000*	,21344	,012	-1,5835	-,2165
		85	-1,06667*	,21344	,005	-1,7502	-,3832
		92	-1,26667*	,21344	,002	-1,9502	-,5832
	80	75	,90000*	,21344	,012	,2165	1,5835
		85	-,16667	,21344	,861	-,8502	,5168
		92	-,36667	,21344	,375	-1,0502	,3168
	85	75	1,06667*	,21344	,005	,3832	1,7502
		80	,16667	,21344	,861	-,5168	,8502
		92	-,20000	,21344	,787	-,8835	,4835
	92	75	1,26667*	,21344	,002	,5832	1,9502
		80	,36667	,21344	,375	-,3168	1,0502
		85	,20000	,21344	,787	-,4835	,8835
UTf Tukey HSD	75	80	-1,26667*	,14142	,000	-1,7195	-,8138
		85	-1,43333*	,14142	,000	-1,8862	-,9805
		92	-1,60000*	,14142	,000	-2,0529	-1,1471
	80	75	1,26667*	,14142	,000	,8138	1,7195
		85	-,16667	,14142	,656	-,6195	,2862
		92	-,33333	,14142	,164	-,7862	,1195
	85	75	1,43333*	,14142	,000	,9805	1,8862
		80	,16667	,14142	,656	-,2862	,6195
		92	-,16667	,14142	,656	-,6195	,2862
	92	75	1,60000*	,14142	,000	1,1471	2,0529
		80	,33333	,14142	,164	-,1195	,7862
		85	,16667	,14142	,656	-,2862	,6195
Kt Tukey HSD	75	80	98,33333	3,21662E2	,989	-931,7427	1128,4094
		85	-570,00000	3,21662E2	,351	-1600,0761	460,0761
		92	-3103,33333*	3,21662E2	,000	-4133,4094	-2073,2573
	80	75	-98,33333	3,21662E2	,989	-1128,4094	931,7427

				85	-668,33333	3,21662E2	,239	-1698,4094	361,7427	
				92	-3201,66667*	3,21662E2	,000	-4231,7427	-2171,5906	
				85	75	570,00000	3,21662E2	,351	-460,0761	1600,0761
					80	668,33333	3,21662E2	,239	-361,7427	1698,4094
					92	-2533,33333*	3,21662E2	,000	-3563,4094	-1503,2573
				92	75	3103,33333*	3,21662E2	,000	2073,2573	4133,4094
					80	3201,66667*	3,21662E2	,000	2171,5906	4231,7427
					85	2533,33333*	3,21662E2	,000	1503,2573	3563,4094
Ut	Tukey HSD	75	80	188,33333	2,79155E2	,904	-705,6208	1082,2874		
			85	-248,33333	2,79155E2	,811	-1142,2874	645,6208		
			92	-2720,00000*	2,79155E2	,000	-3613,9541	-1826,0459		
		80	75	-188,33333	2,79155E2	,904	-1082,2874	705,6208		
			85	-436,66667	2,79155E2	,448	-1330,6208	457,2874		
			92	-2908,33333*	2,79155E2	,000	-3802,2874	-2014,3792		
		85	75	248,33333	2,79155E2	,811	-645,6208	1142,2874		
			80	436,66667	2,79155E2	,448	-457,2874	1330,6208		
			92	-2471,66667*	2,79155E2	,000	-3365,6208	-1577,7126		
		92	75	2720,00000*	2,79155E2	,000	1826,0459	3613,9541		
			80	2908,33333*	2,79155E2	,000	2014,3792	3802,2874		
			85	2471,66667*	2,79155E2	,000	1577,7126	3365,6208		

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- e) Su içeriğinin donma zamanı ve donma başlangıç sıcaklığına etkisini belirlemek için Homojenlik test a) karıştırmalı ozmotik sistem için donma başlangıç sıcaklığı b) ultrason ozmotik kurutma sistemi için donma başlangıç sıcaklığı c) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için donma süresi d) ultrasonik ozmotik kurutma sistemi için donma süresi

a) KTf

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	75	3	-2,3333
	80	3	-1,4333
	85	3	-1,2667
	92	3	-1,0667
	Sig.	1,000	,375
Duncan ^a	75	3	-2,3333
	80	3	-1,4333
	85	3	-1,2667
	92	3	-1,0667
	Sig.	1,000	,138

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b) UTf

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	75	3	-2,6667
	80	3	-1,4000
	85	3	-1,2333
	92	3	-1,0667
	Sig.	1,000	,164
Duncan ^a	75	3	-2,6667
	80	3	-1,4000
	85	3	-1,2333
	92	3	-1,0667
	Sig.	1,000	,054

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

c) Kt

suicorig I		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	80	3	1,9083E3	5,1100E3
	75	3	2,0067E3	
	85	3	2,5767E3	
	92	3		
	Sig.		,239	1,000
Duncan ^a	80	3	1,9083E3	5,1100E3
	75	3	2,0067E3	
	85	3	2,5767E3	
	92	3		
	Sig.		,081	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

d) Ut

suicorig I		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	80	3	2,2017E3	5,1100E3
	75	3	2,3900E3	
	85	3	2,6383E3	
	92	3		
	Sig.		,448	1,000
Duncan ^a	80	3	2,2017E3	5,1100E3
	75	3	2,3900E3	
	85	3	2,6383E3	
	92	3		
	Sig.		,172	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

f)Ozmotik kurutma yöntemlerin donma başlangıç sıcaklığı üzerine istatistiksel etkisinin tTest ile incelenmesi a) Çift örnek istatistiği b) Çift örnek kolerasyonu c) Çift örnek test

a) Çift örnek istatistiği

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	KTf	-1,5250	12	,55288	,15960
	Utf	-1,5917	12	,67616	,19519

b)Çift örnek kolerasyonu

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	KTf & Utf	12	,927	,000

c)Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 KTf - Utf	,06667	,26400	,07621	-,10107	,23441	,875	11	,400

g)Ozmotik kurutma yöntemlerin donma süersi üzerine istatistiksel etkisinin t test ile incelenmesi a) Çift örnek istatistiği b) Çift örnek kolerasyonu c) Çift örnek test

a) Çift örnek istatistiği

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Kt	2,9004E3	12	1399,73611	404,06901
	Ut	3,0850E3	12	1265,82528	365,41228

b)Çift örnek kolerasyonu

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Kt & Ut	12	,920	,000

c)Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1	Kt - Ut	-1,84583E2	549,77871	158,70744	-533,89606	164,72939	-1,163	,269

Ek-20 Donma-Çözünme sonrası su içeriğın su aktivitesini etkisini bekirmek için yapılan istatistiksel testler

- a) Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde su içeriğının su aktivitesi üzerine etkisi belirlemek için yapılan Tanımlama testi

Tanımlama

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Usuaktivitesi 0.75	5	,9234	,00351	,00157	,9190	,9278	,92	,93
0.8	4	,9390	,00638	,00319	,9289	,9491	,93	,94
0.85	4	,9350	,00258	,00129	,9309	,9391	,93	,94
0.92	4	,9475	,00129	,00065	,9454	,9496	,95	,95
Total	17	,9355	,00986	,00239	,9304	,9405	,92	,95
Ksuaktivitesi 0.75	5	,9208	,00396	,00177	,9159	,9257	,92	,93
0.8	4	,9318	,00789	,00394	,9192	,9443	,92	,94
0.85	4	,9305	,00480	,00240	,9229	,9381	,93	,94
0.92	4	,9475	,00129	,00065	,9454	,9496	,95	,95
Total	17	,9319	,01096	,00266	,9263	,9376	,92	,95

- b) Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemleri için Varyans homojenlik testi

Varyans homojenlik testi

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Usuaktivitesi	7,995	3	13	,003
Ksuaktivitesi	2,679	3	13	,090

c) Ultrason ve karıştırılmalı ozmotik kurutma sistemleri için ANOVA testi

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Usuaktivitesi	Between Groups	,001	3	,000	29,994	,000
	Within Groups	,000	13	,000		
	Total	,002	16			
Ksuaktivitesi	Between Groups	,002	3	,001	21,394	,000
	Within Groups	,000	13	,000		
	Total	,002	16			

- d) Ultrason ve karıştırılmalı ozmotik kurutma sistemlerinde su içeriğinin su aktivitesi üzerine etkisini belirlemek için Çoklu karşılaştırma testi

Çoklu karşılaştırma

Dependent Variable	(I) su içeriği	(J) su içeriği	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Usuaktivitesi Tukey HSD	0.75	0.8	-,01560*	,00261	,000	-,0232	-,0080
		0.85	-,01160*	,00261	,003	-,0192	-,0040
		0.92	-,02410*	,00261	,000	-,0317	-,0165
	0.8	0.75	,01560*	,00261	,000	,0080	,0232
		0.85	,00400	,00275	,489	-,0041	,0121
		0.92	-,00850*	,00275	,038	-,0166	-,0004
	0.85	0.75	,01160*	,00261	,003	,0040	,0192
		0.8	-,00400	,00275	,489	-,0121	,0041
		0.92	-,01250*	,00275	,003	-,0206	-,0044
	0.92	0.75	,02410*	,00261	,000	,0165	,0317
		0.8	,00850*	,00275	,038	,0004	,0166
		0.85	,01250*	,00275	,003	,0044	,0206
Ksuaktivitesi Tukey HSD	0.75	0.8	-,01095*	,00335	,027	-,0208	-,0011
		0.85	-,00970	,00335	,053	-,0195	,0001
		0.92	-,02670*	,00335	,000	-,0365	-,0169
	0.8	0.75	,01095*	,00335	,027	,0011	,0208
		0.85	,00125	,00353	,984	-,0091	,0116
		0.92	-,01575*	,00353	,003	-,0261	-,0054
	0.85	0.75	,00970	,00335	,053	-,0001	,0195
		0.8	-,00125	,00353	,984	-,0116	,0091
		0.92	-,01700*	,00353	,002	-,0274	-,0066
	0.92	0.75	,02670*	,00335	,000	,0169	,0365
		0.8	,01575*	,00353	,003	,0054	,0261
		0.85	,01700*	,00353	,002	,0066	,0274

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- e) Ozmotik kurutma sistemlerinde su içeriğinin su aktivitesi üzerine etkisini belirlemede Homojenlik testleri a) Karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi b) ultrason ozmotik kurutma sistemi

a) Ksuaktivitesi

su içeriği	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a	0.75	5,9208		
	0.85	4,9305	,9305	
	0.8	4	,9318	
	0.92	4		,9475
	Sig.	,061	,983	1,000
Duncan ^a	0.75	5,9208		
	0.85	4	,9305	
	0.8	4	,9318	
	0.92	4		,9475
	Sig.	1,000	,722	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,211.

b) Usuaktivitesi

su içeriği	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a	0.75	5,9234		
	0.85	4	,9350	
	0.8	4	,9390	
	0.92	4		,9475
	Sig.	1,000	,468	1,000
Duncan ^a	0.75	5,9234		
	0.85	4	,9350	
	0.8	4	,9390	
	0.92	4		,9475
	Sig.	1,000	,159	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,211.

- f) Ozmotik kurutma sistemlerin su aktivitesi üzerine etkisi belirlemek için yapılan t testler a) Çift örnek istatistiği b) Çift örnek kolerasyonu c) Çift örnek test

a) Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 Ksuaktivitesi	,9319	17	,01096	,00266
Usuaktivitesi	,9355	17	,00986	,00239

b) Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 Ksuaktivitesi & Usuaktivitesi	17	,868	,000

c) Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Ksuaktivitesi - Usuaktivitesi	-,00353	,00544	,00132	-,00633	-,00073	-2,673	16	,017

Ek-21 Donma-Çözünme sonrası su içeriğin çözünme kayıplarına etkisinin belirlenmesi için yapılan istatistiksel test sonuçları

- a) Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemlerinde su içeriğinin çözünme kayıpları üzerine etkisi belirlemek için yapılan Tanımlama testi

Tanımlama

					95% Confidence Interval for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error			Minimum	Maximum
kcozunmekaybı 0.75	4	32,1529	4,13265	2,06633	25,5770	38,7289	28,98	37,99
0.8	3	39,0512	9,80864	5,66302	14,6852	63,4172	28,39	47,70
0.85	3	42,2488	7,20628	4,16055	24,3474	60,1502	35,75	50,00
0.92	11	52,4585	4,84528	1,46091	49,2034	55,7136	46,32	59,37
Total	21	45,2169	9,95558	2,17249	40,6852	49,7486	28,39	59,37
ucozunmekaybı 0.75	4	31,1222	1,66453	,83227	28,4735	33,7708	29,73	33,42
0.8	3	42,9490	8,47441	4,89270	21,8974	64,0006	33,22	48,76
0.85	3	46,9681	4,33727	2,50412	36,1937	57,7425	43,87	51,92
0.92	11	52,4585	4,84528	1,46091	49,2034	55,7136	46,32	59,37
Total	21	46,2516	9,48149	2,06903	41,9357	50,5675	29,73	59,37

- b) Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemleri için Varyans homojenlik testi

Varyans homojenlik testi

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
kcozunmekaybı	1,509	3	17	,248
ucozunmekaybı	4,376	3	17	,019

- c) Ultrason ve karıştırmalı ozmotik kurutma sistemleri için ANOVA testi

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
kcozunmekaybı	Between Groups	1399,987	3	466,662	13,624	,000
	Within Groups	582,284	17	34,252		
	Total	1982,271	20			
ucozunmekaybı	Between Groups	1373,637	3	457,879	18,344	,000
	Within Groups	424,335	17	24,961		
	Total	1797,972	20			

- d) Ultrason ve karıştırılmalı ozmotik kurutma sistemlerinde su içeriğinin su aktivitesi üzerine etkisini belirlemek için Çoklu karşılaştırma testi

Çoklu karşılaştırma

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
kcozunmekaybı Tukey HSD	0.75	0.8	-6,89828	4,46994	,435	-19,6043	5,8078
		0.85	-10,09590	4,46994	,147	-22,8020	2,6102
		0.92	-20,30553*	3,41714	,000	-30,0189	-10,5921
	0.8	0.75	6,89828	4,46994	,435	-5,8078	19,6043
		0.85	-3,19762	4,77856	,907	-16,7810	10,3857
		0.92	-13,40725*	3,81197	,013	-24,2430	-2,5715
	0.85	0.75	10,09590	4,46994	,147	-2,6102	22,8020
		0.8	3,19762	4,77856	,907	-10,3857	16,7810
		0.92	-10,20963	3,81197	,069	-21,0454	,6261
	0.92	0.75	20,30553*	3,41714	,000	10,5921	30,0189
		0.8	13,40725*	3,81197	,013	2,5715	24,2430
		0.85	10,20963	3,81197	,069	-,6261	21,0454
ucozunmekaybı Tukey HSD	0.75	0.8	-11,82682*	3,81582	,030	-22,6735	-,9801
		0.85	-15,84591*	3,81582	,003	-26,6926	-4,9992
		0.92	-21,33630*	2,91709	,000	-29,6283	-13,0443
	0.8	0.75	11,82682*	3,81582	,030	,9801	22,6735
		0.85	-4,01909	4,07929	,760	-15,6147	7,5765
		0.92	-9,50947*	3,25415	,043	-18,7596	-,2594
	0.85	0.75	15,84591*	3,81582	,003	4,9992	26,6926
		0.8	4,01909	4,07929	,760	-7,5765	15,6147
		0.92	-5,49038	3,25415	,360	-14,7405	3,7597
	0.92	0.75	21,33630*	2,91709	,000	13,0443	29,6283
		0.8	9,50947*	3,25415	,043	,2594	18,7596
		0.85	5,49038	3,25415	,360	-3,7597	14,7405

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- e) Ozmotik kurutma sistemlerinde su içeriğinin çözünme kaybı üzerine etkisini belirlemede Homojenlik testleri a) Karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi b) ultrason ozmotik kurutma sistemi

a) Kcozunmekaybı

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a	0.75	4	32,1529	
	0.8	3	39,0512	
	0.85	3	42,2488	42,2488
	0.92	11		52,4585
	Sig.		,109	,104
Duncan ^a	0.75	4	32,1529	
	0.8	3	39,0512	39,0512
	0.85	3		42,2488
	0.92	11		52,4585
	Sig.		,115	,452

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,970.

b) Ucozunmekaybı

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a	0.75	4	31,1222	
	0.8	3		42,9490
	0.85	3		46,9681
	0.92	11		52,4585
	Sig.		1,000	,068
Duncan ^a	0.75	4	31,1222	
	0.8	3		42,9490
	0.85	3		46,9681
	0.92	11		52,4585
	Sig.		1,000	,273

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,970.

f) Ozmotik kurutma sistemlerin çözünme kaybı üzerine etkisi belirlemek için yapılan T testler a) Çift örnek istatistiği b) Çift örnek kolerasyon testi c) Çift örnek test

a) Çift örnek istatistiği

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	kcozunmekaybı	45,2169	21	9,95558	2,17249
	ucozunmekaybı	46,2516	21	9,48149	2,06903

b) Çift örnek kolerasyonu

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	kcozunmekaybı & ucozunmekaybı	21	,951	,000

c) Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 kcozunmekaybı - ucozunmekaybı	-1,03467	3,08714	,67367	-2,43992	,37058	-1,536	20	,140

Ek-22 Donma-Çözünme sonrası su içeriğin renk değişimine etkisinin belirlenmesi için yapılan istatistiksel değerlendirme (SPSS) sonuçları

a) Donma-Çözünme sonrası su içeriğinin renk parametreleri üzerine etkisini gösteren Tanımlama test sonuçları

Tanımlama

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
KL_Lo	0.75	8	,8405	,03275	,01158	,8132	,8679	,81	,87
	0.8	4	,8345	,00308	,00154	,8296	,8394	,83	,84
	0.85	4	,8843	,00237	,00119	,8805	,8881	,88	,89
	Total	16	,8500	,03048	,00762	,8337	,8662	,81	,89
Ka_ao	0.75	8	1,2848	,16265	,05751	1,1488	1,4207	1,12	1,45
	0.8	4	,7332	,00982	,00491	,7176	,7489	,72	,75
	0.85	4	,9794	,01203	,00601	,9602	,9985	,96	,99
	Total	16	1,0705	,26348	,06587	,9301	1,2109	,72	1,45
Kb_bo	0.75	8	1,0771	,10663	,03770	,9880	1,1663	,97	1,18
	0.8	4	,7287	,00607	,00303	,7191	,7384	,72	,73
	0.85	4	,8333	,00365	,00182	,8274	,8391	,83	,84
	Total	16	,9291	,17367	,04342	,8365	1,0216	,72	1,18
KChroma_chromah	0.75	8	1,0862	,09257	,03273	1,0089	1,1636	,99	1,18
	0.8	4	,7250	,00577	,00289	,7158	,7342	,72	,73
	0.85	4	,8400	,00000	,00000	,8400	,8400	,84	,84
	Total	16	,9344	,17428	,04357	,8415	1,0272	,72	1,18
kDeltaE	0.75	8	9,6900	1,71128	,60503	8,2593	11,1207	8,04	11,39
	0.8	4	9,4500	,18565	,09283	9,1546	9,7454	9,27	9,62
	0.85	4	6,6875	,16399	,08199	6,4266	6,9484	6,46	6,83
	Total	16	8,8794	1,75993	,43998	7,9416	9,8172	6,46	11,39
kDeltaC	0.75	8	1,2350	,46800	,16546	,8437	1,6263	,79	1,70
	0.8	4	2,5425	,06076	,03038	2,4458	2,6392	2,49	2,60
	0.85	4	1,6900	,07118	,03559	1,5767	1,8033	1,59	1,75
	Total	16	1,6756	,63872	,15968	1,3353	2,0160	,79	2,60
KHue_Hueh	0.75	8	,9812	,03441	,01217	,9525	1,0100	,94	1,01
	0.8	4	1,0000	,00000	,00000	1,0000	1,0000	1,00	1,00

	0.85	4	,9800	,00000	,00000	,9800	,9800	,98	,98
	Total	16	,9856	,02502	,00626	,9723	,9990	,94	1,01
UL_Lo	0.75	8	,7991	,08375	,02961	,7291	,8692	,72	,88
	0.8	4	,8419	,00178	,00089	,8391	,8447	,84	,84
	0.85	4	,8843	,00237	,00119	,8805	,8881	,88	,89
	Total	16	,8311	,06786	,01697	,7950	,8673	,72	,89
Ua_ao	0.75	8	1,3872	,38926	,13762	1,0618	1,7126	1,01	1,76
	0.8	4	,8072	,02001	,01000	,7754	,8390	,78	,83
	0.85	4	1,5367	,01789	,00895	1,5082	1,5651	1,51	1,56
	Total	16	1,2796	,39263	,09816	1,0703	1,4888	,78	1,76
Ub_bo	0.75	8	1,0978	,05797	,02049	1,0494	1,1463	1,04	1,16
	0.8	4	,7463	,00275	,00138	,7419	,7507	,74	,75
	0.85	4	,9610	,01265	,00632	,9409	,9811	,94	,97
	Total	16	,9757	,15379	,03845	,8938	1,0577	,74	1,16
UChroma_chromaH	0.75	8	1,1112	,07100	,02510	1,0519	1,1706	1,04	1,18
	0.8	4	,7500	,00000	,00000	,7500	,7500	,75	,75
	0.85	4	,9825	,00957	,00479	,9673	,9977	,97	,99
	Total	16	,9887	,15995	,03999	,9035	1,0740	,75	1,18
UDEltaE	0.75	8	12,0975	4,86971	1,72170	8,0263	16,1687	7,45	16,67
	0.8	4	9,0050	,07767	,03884	8,8814	9,1286	8,92	9,10
	0.85	4	6,5550	,14271	,07136	6,3279	6,7821	6,36	6,68
	Total	16	9,9388	4,10403	1,02601	7,7519	12,1256	6,36	16,67
UDEltaC	0.75	8	1,1588	,80099	,28319	,4891	1,8284	,37	1,94
	0.8	4	2,3500	,03367	,01683	2,2964	2,4036	2,31	2,39
	0.85	4	1,0525	,03304	,01652	,9999	1,1051	1,03	1,10
	Total	16	1,4300	,77640	,19410	1,0163	1,8437	,37	2,39
UHUe_Hu	0.75	8	,9737	,03662	,01295	,9431	1,0044	,93	1,01
	0.8	4	,9850	,00577	,00289	,9758	,9942	,98	,99
	0.85	4	,9275	,00500	,00250	,9195	,9355	,92	,93
	Total	16	,9650	,03406	,00851	,9469	,9831	,92	1,01

- b) Donma-Çözünme sonrası su içeriğinin renk parametreleri üzerine etkisini gösteren Varyans homojenlik testi test sonuçları

Varyans homojenlik testi

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
KL_Lo	,671	2	37	,517
Ka_ao	26,245	2	37	,000
Kb_bo	3,120	2	37	,056
KChroma_chromah	2,152	2	37	,131
kDeltaC	3,472	2	37	,041
kDeltaE	,897	2	37	,417
KHue_Hueh	29,920	2	37	,000
UL_Lo	28,422	2	37	,000
Ub_bo	,714	2	37	,496
UChroma_chromaH	,501	2	37	,610
Ua_ao	7,517	2	37	,002
UDEltaC	2,030	2	37	,146
UHue_Hu	6,809	2	37	,003
UDEltaE	4,407	2	37	,019

- c) Donma-Çözünme sonrası su içeriğinin renk parametreleri üzerine etkisini gösteren ANOVA test sonuçları

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
KL_Lo	Between Groups	,467	2	,233	36,283	,000
	Within Groups	,238	37	,006		
	Total	,705	39			
Ka_ao	Between Groups	39,308	2	19,654	4,072	,025
	Within Groups	178,572	37	4,826		
	Total	217,880	39			
Kb_bo	Between Groups	,538	2	,269	3,825	,031
	Within Groups	2,604	37	,070		
	Total	3,143	39			

KChroma_chromah	Between Groups	,440	2	,220	3,647	,036
	Within Groups	2,231	37	,060		
	Total	2,670	39			
kDeltaC	Between Groups	17,788	2	8,894	2,525	,094
	Within Groups	130,318	37	3,522		
	Total	148,106	39			
kDeltaE	Between Groups	138,511	2	69,256	7,203	,002
	Within Groups	355,748	37	9,615		
	Total	494,259	39			
KHue_Hueh	Between Groups	1,973	2	,987	2,944	,065
	Within Groups	12,401	37	,335		
	Total	14,375	39			
UL_Lo	Between Groups	,022	2	,011	,823	,447
	Within Groups	,494	37	,013		
	Total	,516	39			
Ub_bo	Between Groups	,394	2	,197	1,047	,361
	Within Groups	6,968	37	,188		
	Total	7,362	39			
UChroma_chromaH	Between Groups	,292	2	,146	,853	,435
	Within Groups	6,341	37	,171		
	Total	6,633	39			
Ua_ao	Between Groups	,678	2	,339	3,143	,055
	Within Groups	3,990	37	,108		
	Total	4,667	39			
UDEltaC	Between Groups	1,843	2	,921	,247	,782
	Within Groups	137,780	37	3,724		
	Total	139,623	39			
UHUe_Hu	Between Groups	,034	2	,017	5,374	,009
	Within Groups	,117	37	,003		
	Total	,152	39			
UDEltaE	Between Groups	261,005	2	130,502	15,887	,000
	Within Groups	303,929	37	8,214		
	Total	564,933	39			

d) Donma-Çözünmesonrası su içeriğinin renk parametreleri üzerine etkisini gösteren Çoklu karşılaştırma test sonuçları

Çoklu karşılaştırma

Dependent Variable		(I) suicerığı	(J) suicerığı	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
							Lower Bound	Upper Bound
KL_Lo	Tukey	0.75	0.8	,25805*	,03063	,000	,1833	,3328
			0.85	,14541*	,03063	,000	,0706	,2202
	HSD	0.8	0.75	-,25805*	,03063	,000	-,3328	-,1833
			0.85	-,11264*	,03274	,004	-,1926	-,0327
		0.85	0.75	-,14541*	,03063	,000	-,2202	-,0706
			0.8	,11264*	,03274	,004	,0327	,1926
Ka_ao	Tukey	0.75	0.8	-2,01150	,83895	,055	-4,0598	,0368
			0.85	-2,03533	,83895	,052	-4,0836	,0129
	HSD	0.8	0.75	2,01150	,83895	,055	-,0368	4,0598
			0.85	-,02382	,89687	1,000	-2,2135	2,1659
		0.85	0.75	2,03533	,83895	,052	-,0129	4,0836
			0.8	,02382	,89687	1,000	-2,1659	2,2135
Kb_bo	Tukey	0.75	0.8	,16976	,10131	,228	-,0776	,4171
			0.85	,27419*	,10131	,027	,0268	,5215
	HSD	0.8	0.75	-,16976	,10131	,228	-,4171	,0776
			0.85	,10442	,10831	,604	-,1600	,3689
		0.85	0.75	-,27419*	,10131	,027	-,5215	-,0268
			0.8	-,10442	,10831	,604	-,3689	,1600
KChroma_chromah	Tukey	0.75	0.8	,15750	,09376	,226	-,0714	,3864
			0.85	,24667*	,09376	,032	,0177	,4756
	HSD	0.8	0.75	-,15750	,09376	,226	-,3864	,0714
			0.85	,08917	,10024	,650	-,1556	,3339
		0.85	0.75	-,24667*	,09376	,032	-,4756	-,0177
			0.8	-,08917	,10024	,650	-,3339	,1556
kDeltaC	Tukey	0.75	0.8	1,53333	,71669	,096	-,2164	3,2831
			0.85	1,10250	,71669	,285	-,6473	2,8523
	HSD	0.8	0.75	-1,53333	,71669	,096	-3,2831	,2164

				0.85	-,43083	,76617	,841	-2,3014	1,4398
				0.85 0.75	-1,10250	,71669	,285	-2,8523	,6473
				0.8	,43083	,76617	,841	-1,4398	2,3014
kDeltaE	Tukey	0.75	0.8		-3,34354*	1,18413	,020	-6,2346	-,4525
	HSD		0.85		1,28063	1,18413	,531	-1,6104	4,1717
		0.8	0.75		3,34354*	1,18413	,020	,4525	6,2346
			0.85		4,62417*	1,26589	,002	1,5335	7,7148
		0.85	0.75		-1,28063	1,18413	,531	-4,1717	1,6104
			0.8		-4,62417*	1,26589	,002	-7,7148	-1,5335
KHue_Hueh	Tukey	0.75	0.8		-,45602	,22108	,112	-,9958	,0837
	HSD		0.85		-,45073	,22108	,117	-,9905	,0890
		0.8	0.75		,45602	,22108	,112	-,0837	,9958
			0.85		,00529	,23635	1,000	-,5717	,5823
		0.85	0.75		,45073	,22108	,117	-,0890	,9905
			0.8		-,00529	,23635	1,000	-,5823	,5717
UL_Lo	Tukey	0.75	0.8		-,03609	,04413	,695	-,1438	,0717
	HSD		0.85		-,05488	,04413	,436	-,1626	,0529
		0.8	0.75		,03609	,04413	,695	-,0717	,1438
			0.85		-,01879	,04718	,916	-,1340	,0964
		0.85	0.75		,05488	,04413	,436	-,0529	,1626
			0.8		,01879	,04718	,916	-,0964	,1340
Ub_bo	Tukey	0.75	0.8		-,12419	,16572	,736	-,5288	,2804
	HSD		0.85		,13213	,16572	,707	-,2725	,5367
		0.8	0.75		,12419	,16572	,736	-,2804	,5288
			0.85		,25633	,17716	,328	-,1762	,6889
		0.85	0.75		-,13213	,16572	,707	-,5367	,2725
			0.8		-,25633	,17716	,328	-,6889	,1762
UChroma_chromaH	Tukey	0.75	0.8		-,12375	,15809	,716	-,5097	,2622
	HSD		0.85		,09625	,15809	,816	-,2897	,4822
		0.8	0.75		,12375	,15809	,716	-,2622	,5097
			0.85		,22000	,16901	,403	-,1926	,6326
		0.85	0.75		-,09625	,15809	,816	-,4822	,2897
			0.8		-,22000	,16901	,403	-,6326	,1926
Ua_ao	Tukey	0.75	0.8		,10727	,12540	,671	-,1989	,4134

	HSD		0.85	- ,22105	,12540	,196	- ,5272	,0851
		0.8	0.75	- ,10727	,12540	,671	- ,4134	,1989
			0.85	- ,32831*	,13406	,049	- ,6556	- ,0010
		0.85	0.75	,22105	,12540	,196	- ,0851	,5272
			0.8	,32831*	,13406	,049	,0010	,6556
UDEltaC	Tukey	0.75	0.8	,01292	,73692	1,000	-1,7863	1,8121
			0.85	,47375	,73692	,798	-1,3254	2,2729
	HSD	0.8	0.75	- ,01292	,73692	1,000	-1,8121	1,7863
			0.85	,46083	,78780	,829	-1,4626	2,3842
		0.85	0.75	- ,47375	,73692	,798	-2,2729	1,3254
			0.8	- ,46083	,78780	,829	-2,3842	1,4626
UHUe_Hu	Tukey	0.75	0.8	- ,00229	,02151	,994	- ,0548	,0502
			0.85	,06271*	,02151	,016	,0102	,1152
	HSD	0.8	0.75	,00229	,02151	,994	- ,0502	,0548
			0.85	,06500*	,02300	,020	,0088	,1212
		0.85	0.75	- ,06271*	,02151	,016	- ,1152	- ,0102
			0.8	- ,06500*	,02300	,020	- ,1212	- ,0088
UDEltaE	Tukey	0.75	0.8	4,11687*	1,09449	,002	1,4447	6,7891
			0.85	5,91604*	1,09449	,000	3,2439	8,5882
	HSD	0.8	0.75	-4,11687*	1,09449	,002	-6,7891	-1,4447
			0.85	1,79917	1,17006	,285	-1,0575	4,6559
		0.85	0.75	-5,91604*	1,09449	,000	-8,5882	-3,2439
			0.8	-1,79917	1,17006	,285	-4,6559	1,0575

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- e) Ozmotik sonrası su içeriğinin renk parametreleri üzerine etkisini gösteren Homojenlik test sonuçları a) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için L/L_o b) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için a/a_o c) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için b/b_o d) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için kroma/kroma_h e) karıştırmalı ozmotik kurutma için ΔE f) karıştırmalı ozmotik kurutma sistemi için ΔC g) karıştırmalı ozmotik sistem için Hue/Hue_h h) ultrasonik ozmotik kurutma sistemi için L/L_o i) ultrasonik ozmotik kurutma sistemi için a/a_o j) ultrasonik ozmotik kurutma sistemi için b/b_o k) ultrasonik ozmotik kurutma sistemi için kroma/kroma_h l) ultrasonik ozmotik kurutma için ΔE m) ultrasonik ozmotik kurutma ΔC n) ultrasonik ozmotik sistem için Hue/Hue_h

a) KL/L_o

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a	0.8	12,8465		
	0.85		,9592	
	0.75			1,1046
	Sig.	1,000	1,000	1,000
Duncan ^a	0.8	12,8465		
	0.85	12	,9592	
	0.75	16		1,1046
	Sig.	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

b) $K a/a_o$

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	0.75	16	-,8832
	0.8	12	1,1283
	0.85	12	1,1521
	Sig.	,059	
Duncan ^a	0.75	16	-,8832
	0.8	12	1,1283
	0.85	12	1,1521
	Sig.	1,000	,978

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

c) Kb/b_o

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	0.85	12	1,1282
	0.8	12	1,2326
	0.75	16	1,4024
	Sig.	,577	,243
Duncan ^a	0.85	12	1,1282
	0.8	12	1,2326
	0.75	16	1,4024
	Sig.	,320	,110

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

d) K Kroma/Kroma_H

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	0.85	12	1,1283
	0.8	12	1,2175
	0.75	16	1,3750
	Sig.	,626	,241
Duncan ^a	0.85	12	1,1283
	0.8	12	1,2175
	0.75	16	1,3750
	Sig.	,359	,109

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

e) $K \Delta E$

suicerig I		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	0.85	12	5,0375	
	0.75	16	6,3181	
	0.8	12		9,6617
	Sig.		,547	1,000
Duncan ^a	0.85	12	5,0375	
	0.75	16	6,3181	
	0.8	12		9,6617
	Sig.		,298	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

f) $K \Delta C$

suicerig I		N	Subset for alpha = 0.05
			1
Tukey HSD ^a	0.8	12	2,0742
	0.85	12	2,5050
	0.75	16	3,6075
	Sig.		,106
Duncan ^a	0.8	12	2,0742
	0.85	12	2,5050
	0.75	16	3,6075
	Sig.		,054

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

g) **K Hue/Hue_H**

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
Tukey HSD ^a	0.75	16	,5620
	0.85	12	1,0127
	0.8	12	1,0180
	Sig.		,123
Duncan ^a	0.75	16	,5620
	0.85	12	1,0127
	0.8	12	1,0180
	Sig.		,063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

h) **UL/L_o**

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
Tukey HSD ^a	0.75	16	,9134
	0.8	12	,9495
	0.85	12	,9683
	Sig.		,452
Duncan ^a	0.75	16	,9134
	0.8	12	,9495
	0.85	12	,9683
	Sig.		,260

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

i) Ua/a_o

suicerig I		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	0.8	12	,8469	
	0.75	16	,9541	,9541
	0.85	12		1,1752
	Sig.		,683	,210
Duncan ^a	0.8	12	,8469	
	0.75	16	,9541	,9541
	0.85	12		1,1752
	Sig.		,409	,093

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

j) Ub/b_o

suicerig I		N	Subset for alpha = 0.05
			1
Tukey HSD ^a	0.85	12	1,1465
	0.75	16	1,2786
	0.8	12	1,4028
	Sig.		,297
Duncan ^a	0.85	12	1,1465
	0.75	16	1,2786
	0.8	12	1,4028
	Sig.		,162

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

k) **U Kroma/Kroma_H**

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
Tukey HSD ^a	0.85	12	1,1475
	0.75	16	1,2438
	0.8	12	1,3675
	Sig.		,372
Duncan ^a	0.85	12	1,1475
	0.75	16	1,2438
	0.8	12	1,3675
	Sig.		,208

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

l) **U ΔE**

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	0.85	12	3,8458
	0.8	12	5,6450
	0.75	16	9,7619
	Sig.	,256	1,000
Duncan ^a	0.85	12	3,8458
	0.8	12	5,6450
	0.75	16	9,7619
	Sig.	,117	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

m) **U Δ C**

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
Tukey HSD ^a	0.85	12	3,0475
	0.8	12	3,5083
	0.75	16	3,5212
	Sig.		,806
Duncan ^a	0.85	12	3,0475
	0.8	12	3,5083
	0.75	16	3,5212
	Sig.		,559

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

n) **U Hue/Hue_H**

suicerig I	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	0.85	12	1,0117
	0.75	16	1,0744
	0.8	12	1,0767
	Sig.	1,000	,994
Duncan ^a	0.85	12	1,0117
	0.75	16	1,0744
	0.8	12	1,0767
	Sig.	1,000	,918

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,091.

f)Ozmotik kurutma sistemlerin renk parametreleri üzerine etkisi belirlemek için yapılan T testler a) ozmotik kurutma sistemi için L/Lo b) ozmotik kurutma sistemi için a/ao c) ozmotik kurutma sistemi için b/bo d) ozmotik kurutma sistemi için kroma/kromah e) ozmotik kurutma için ΔE f) ozmotik kurutma sistemi için ΔC g) ozmotik sistem için Hue/Hue_h

1) Çift örnek istatistiği 2) Çift örnek kolerasyonu 3) Çift örnek test

a) 1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 KL_Lo	,9835	40	,13443	,02126
UL_Lo	,9407	40	,11504	,01819

a) 2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 KL_Lo & UL_Lo	40	,015	,928

3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 KL_Lo - UL_Lo	,04287	,17565	,02777	-,01330	,09905	1,544	39	,131

a) 1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 Ka_ao	,3308	40	2,36361	,37372
Ua_ao	,9883	40	,34594	,05470

b) 2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 Ka_ao & Ua_ao	40	-,380	,016

b)3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Ka_ao - Ua_ao	- ,65742	2,51552	,39774	-1,46192	,14708	- 1,653	39	,106

c) 1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 Kb_bo	1,2692	40	,28387	,04488
Ub_bo	1,2762	40	,43448	,06870

b) 2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 Kb_bo & Ub_bo	40	,189	,243

c)3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Kb_bo - Ub_bo	-,00707	,47193	,07462	-,15801	,14386	-,095	39	,925

c) 1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 KChroma_chromah	1,2538	40	,26167	,04137
UChroma_chromaH	1,2520	40	,41242	,06521

d)2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 KChroma_chromah & UChroma_chromaH	40	,133	,414

d)3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 KChroma_chromah - UChroma_chromaH	,00175	,45815	,07244	-,14477	,14827	,024	39	,981

d) 1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 kDeltaE	6,9370	40	3,55996	,56288
UDEltaE	6,7520	40	3,80598	,60178

e)2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 kDeltaE & UDEltaE	40	,061	,708

e)3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 kDeltaE - UDEltaE	,18500	5,04990	,79846	-1,43004	1,80004	,232	39	,818

e) 1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 kDeltaC	2,8167	40	1,94874	,30812
UDEltaC	3,3752	40	1,89211	,29917

f)2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 kDeltaC & UDEltaC	40	-,253	,115

f)3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 kDeltaC - UDEltaC	-,55850	3,04087	,48080	-1,53102	,41402	1,162	39	,252

h)1. Çift örnek istatistiği

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 KHue_Hueh	,8340	40	,60711	,09599
UHue_Hu	1,0563	40	,06233	,00986

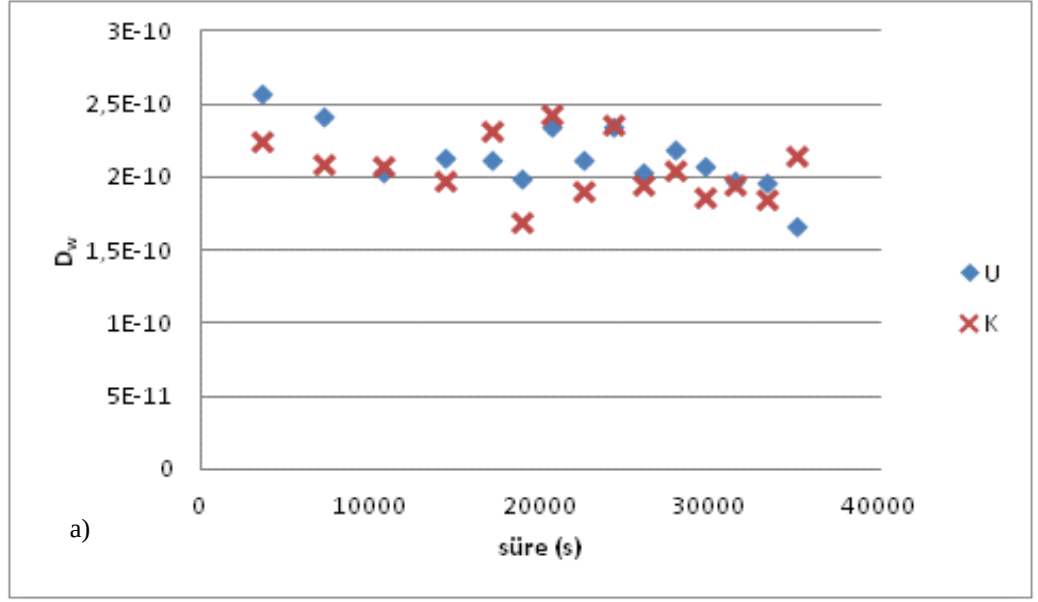
h)2. Çift örnek kolerasyonu

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 KHue_Hueh & UHue_Hu	40	,383	,015

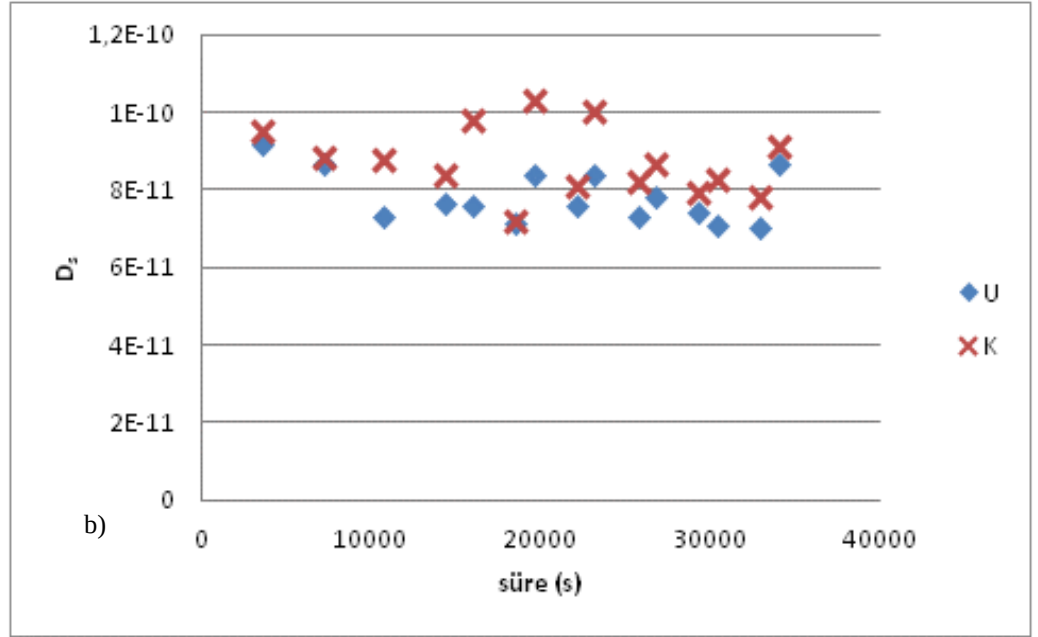
h)3. Çift örnek test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 KHue_Hueh - UHue_Hu	-,22226	,58606	,09266	-,40969	-,03483	2,399	39	,021

Ek-23 Ozmotik kurutma işlem süresince zamana bağlı difüzyivitelereki değişim a) su difüzyivitesi (D_w) b) çözünür madde difüzyivitesi (D_s)

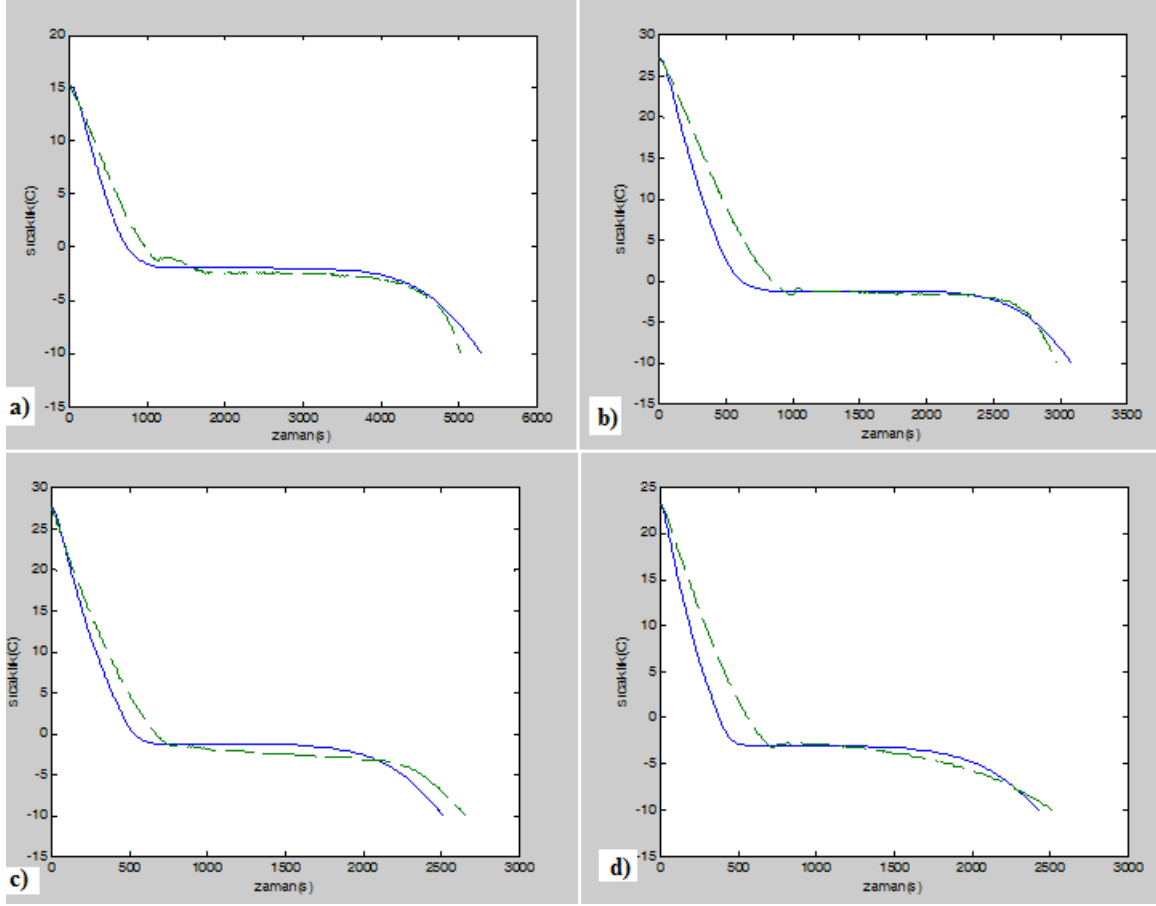


(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem)



(U:ultrason sistem, K: karıştırılmalı sistem)

Ek-24 Ultrason sistemde yarı kurutulmuş örneklerin dondurulması eğrileri (deneysel ve nümerik model sonuçlarının karşılaştırılması a)hammadde b)%85 c)%80d)%75 su içerikli ürün(- model, -- deneysel)



Ek-25 Karıştırılmalı sistemde yarı kurutulmuş örneklerin dondurulması eğrileri (deneysel ve nümerik model sonuçlarının karşılaştırılması a)hammadde b)%85 c)%80d)%75 su içerikli ürün(- model, -- deneysel)

