

**BALKABAĞININ OZMOTİK KURUTULMASI VE
OZMOTİK KURUTMANIN KURUMA HIZINA VE TEKRAR
SU ALMA ÖZELLİĞİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kimyager Dilek GÜRBÜZ
(506021425)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Ocak 2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Özgül Evranuz
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nuran Deveci
Yrd. Doç. Dr. Meral Kılıç**

OCAK 2006

ÖNSÖZ

Balkabağı karotenoidler, kalsiyum ve potasyum gibi mineraller açısından oldukça zengin olup sodyum içeriği çok düşük olan bir sebzedir. Bu özellikleri ile iyi bir besin ve/veya katkı maddesi olarak tüketilebilme potansiyeline sahiptir. Balkabağı genelde Ekim ayında hasat edilip sonbahar ve kış aylarında tüketime sunulmaktadır. Balkabağının yararlı besin elemanlarından yararlanabilmek için kaliteli bir şekilde muhafazası gerçekleştirilmeli ve yeni tüketim alternatifleri geliştirilmelidir. Dayanma süresi kısa olan ürünlerin kurutulması, kuru ürünün normal atmosfer koşullarında muhafaza edilebilmesi nedeniyle, yaygın olarak uygulanan bir muhafaza yöntemidir. Bu çalışmada balkabağının kurutulmasında ozmotik ön kurutma işleminin en iyileştirilmesi ve bu işlemlerin ürünün kuruma hızına ve kuru ürünün tekrar su alma özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma, besin değeri yüksek olan bir ürüne alternatif kullanım alanlarının sağlanabilmesi için dayanıklı bir hale getirilmesi açısından önemlidir.

Tez çalışmamda bana önder olmayı kabul edip, çalışmamı yöneterek şekillenmesinde ve oluşmasında çok kıymetli bilgi ve tavsiyelerini kullanan ve benden zamanını esirgemeyen, değerli akademisyen, sayın hocam Prof. Dr. Özgül Evranuz'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca eğitim sürecim boyunca her şekilde yanımda olup, benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem, babam ve ablama sonsuz teşekkür ederim.

OCAK 2006

Dilek GÜRBÜZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. BALKABAĞININ ÖZELLİKLERİ	3
3. OZMOTİK KURUTMA	6
3.1. Ozmotik Kurutmanın Mekanizması	8
3.2. Ozmotik Kurutmayı Etkileyen Faktörler	9
3.3. Gıdalarda Ozmotik Kurutma Çalışmaları	11
3.4. Kurutmanın Gıdaların Tekrar Su Alma Özelliklerine Etkileri	15
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	18
4.1. Materyal	18
4.2. Ozmotik Kurutma	18
4.3. İstatistiksel Analiz	19
4.4. Sıcak Hava ile Kurutma	19
4.5. Tekrar Su Alma	20
4.6. Ozmotik Kurutma Parametrelerinin Hesaplanması	20
4.7. Matematiksel Modelleme	22
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	24
6. SONUÇ	40
KAYNAKLAR	41
EKLER	46
ÖZGEÇMİŞ	52

TABLO LİSTESİ

Sayfa no

Tablo 2.1: Çiğ balkabağının bileşimi	4
Tablo 2.2: Balkabağının ve bazı meyve ve sebzelerin bileşimleri	4
Tablo 5.1: Balkabağı örneklerinin 7 saatlik ozmotik kurutma sonunda sahip oldukları katı madde ve nem oranla.....	24
Tablo 5.2: Balkabağı örneklerinde 4 saatlik ozmotik kurutma sonunda gözlenen ağırlık kaybı, su kaybı ve katı madde artışı	26
Tablo 5.3: Ozmotik olarak kurutulan balkabağı örneklerinde ilk 30 dakika sonunda ve 60-120 dakikaları arasında su miktarlarındaki değişim oranı	27
Tablo 5.4: Henderson ve Pabis, Lewis ve Page Model sabitleri ve R^2 değerleri	33
Tablo 5.5: Henderson ve Pabis, Lewis ve Page Modeli istatistik parametreleri	33
Tablo 5.6: Farklı ozmotik çözeltilerde kurutulan balkabağı için hesaplanan etkin difüzyon katsayısı değerleri	34
Tablo A.1: Balkabağı örneklerinin farklı ozmotik çözeltiler içinde zamana karşı değişen ağırlık kaybı değerleri	46
Tablo A.2: Balkabağı örneklerinin farklı ozmotik çözeltiler içinde zamana karşı değişen su miktarı değerleri	46
Tablo A.3: Balkabağı örneklerinin farklı ozmotik çözeltiler içinde zamana karşı değişen su kaybı değerleri	47
Tablo A.4: Balkabağı örneklerinin farklı ozmotik çözeltiler içinde zamana karşı değişen katı madde artışı değerleri	47
Tablo A.5: Balkabağı örneklerinin farklı ozmotik çözeltiler içinde zamana karşı değişen su kaybı hızı değerleri	48
Tablo A.6: Balkabağı örneklerinin farklı ozmotik çözeltiler içinde zamana karşı değişen katı madde artışı hızı değerleri	48

Tablo B.1: Ozmotik çözeltiler içinde kurutulan balkabağı için hesaplanan deneysel MR değerleri	49
Tablo B.2: Page modeline göre hesaplanmış MR değerleri	49
Tablo B.3: Henderson ve Pabis modeline göre hesaplanmış MR değerleri	50
Tablo B.4: Lewis modeline göre hesaplanmış MR değerleri	50
Tablo C.1: Sıcak hava ile kurutmada nem miktarı değişimi	51
Tablo C.2: Sıcak hava ile kurutmada kuruma hızı değerleri	51
Tablo C.3: Tekrar su alma sırasında değişen su miktarı değerleri.....	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa no

- Şekil 3.1:** Ozmotik kurutma sırasında oluşan kütle aktarımının şematik gösterimi ...7
- Şekil 5.1:** Balkabağı örneklerinin farklı şeker ve tuz konsantrasyonlarındaki katı madde artışı ve su kaybı grafikleri29
- Şekil 5.2:** Page modelinden hesaplanan ve deneysel MR (boyutsuz nem içeriği) değerlerinin karşılaştırılması35
- Şekil 5.3:** Ozmotik işlem görmüş balkabağı örneklerinin sıcak hava ile kurutulması sırasında oluşan kuruma hızı grafikleri36
- Şekil 5.4:** Ozmotik işlem görmüş balkabağı örneklerinin tekrar su alma sırasındaki su miktarı değişim grafikleri38

SEMBOL LİSTESİ

M	: örneğin kuru bazda nem miktarı
M_t	: t zamanında örnek ağırlığı
M_o	: örneğin başlangıç ağırlığı
X_k	: örneğin katı madde oranı
WR	: ağırlık kaybı
WC	: Su miktarı (g/g kuru madde)
X_{su}^t	: örneğin t zamanında su oranı
X_k^t	: örneğin t zamanında katı madde oranı
WL	: Su kaybı (g/g ilk kuru madde)
X_{su}^o	: örneğin başlangıçtaki su oranı
X_k^o	: örneğin başlangıçtaki katı madde oranı
SG	: katı madde kazancı (g/g ilk kuru madde)
MR	: Boyutsuz nem içeriği
X_t	: t zamanındaki nem içeriği, g su/ g kuru madde : Başlangıç anındaki nem içeriği, g su/ g kuru madde
X_o	: Denge nem içeriği, g su/ g kuru madde
L	: Balkabağının dilim kalınlığı, m
D	: Difüzyon katsayısı, m ² /s
π	: 3,1416
x	: x yönündeki uzaklık, m
y	: y yönündeki uzaklık, m
z	: z yönündeki uzaklık, m

BALKABAĞININ OZMOTİK KURUTULMASI VE OZMOTİK KURUTMANIN KURUMA HIZINA VE TEKRAR SU ALMA ÖZELLİĞİNE ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada farklı konsantrasyonlardaki şeker ve tuz ilaveli şeker çözeltileri kullanılarak, 1x1x1 cm'lik küpler halinde hazırlanan balkabağı örnekleri ozmotik kurutma yöntemi ile kurutulmuş ve daha sonra ozmotik kurutmanın kuruma hızına ve tekrar su alma özelliğine etkisi incelenmiştir.

Ozmotik kurutma işlemi, %40, %50 ve %60 şeker çözeltileri ile bu şeker çözeltilerine %0,5, %1 ve %2 tuz ilavelerinin yapıldığı ozmotik çözeltiler kullanılarak oda sıcaklığında yapılmıştır. Ozmotik olarak kurutulan ürünler $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulmuş ve tekrar su alma işlemi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Ozmotik kurutma sonunda ağırlık kaybı ölçümleri, katı madde artışları, su kayıpları, katı madde artışı hızları ve su kaybı hızları hesaplanmış, en büyük değişimlerin ozmotik kurutma işleminin ilk 30 dakikası içinde olduğu gözlenmiştir, farklı konsantrasyonlardaki çözeltiler farklı sonuçlar vermiştir. Artan tuz miktarı ile su kaybı artmıştır. Bu çalışmada balkabağının ticari şeker kullanılarak ozmotik ön kurutma yöntemi ile kurutulmasında şeker çözeltilerine az miktarlarda tuz ilavesi yapılmasının etkili olduğu ve şeker konsantrasyonlarındaki artış ile sağlanan etkilerin düşük konsantrasyondaki şeker çözeltilerine %0.5 veya %1 oranında tuz ilave edilerekte sağlanabileceği gözlenmiştir.

Ozmotik kurutma işleminin modellenmesinde, Henderson ve Pabis, Lewis, Page modelleri uygulanmış, en uygun korelasyonu Page modeli göstermiş, difüzyon katsayıları $5,29-9,28 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında hesaplanmıştır.

Ozmotik çözeltinin konsantrasyonunun artması sıcak hava ile kurutmada kurutma hızını azaltmıştır. En hızlı kuruma ozmotik işlem görmemiş ürünlerde gözlenmiştir. Ozmotik çözelti konsantrasyonu arttıkça tekrar su alma kapasitesi düşük bir ürün elde edilmiş, ozmotik işlem görmemiş örneklerin su alma kapasitesi en fazla olmuştur.

OSMOTIC DEHYDRATION OF PUMPKIN AND INFLUENCE OF OSMOTIC PRETREATMENTS ON HOT AIR DRYING AND REHYDRATION CHARACTERISTICS

SUMMARY

In this study, osmotic dehydration of 1x1x1cm pumpkin cubes in sugar solutions of different concentration and those solutions with added salt in small quantities was evaluated and then the effect of osmotic drying both on drying rate and rehydration characteristics were studied.

Osmotic drying process was done at room temperature with 40%, 50%, 60% sugar syrups and those syrups containing 0; 0,5; 1,0; 2,0% of salt. Hot-air drying process was done at $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ under constant air velocity. Rehydration process was carried out at room temperature. Osmotic dehydration process was evaluated by calculating weight loss, water content, water loss, solids gain, rate of water loss and rate of solids gain and it was found that the most significant changes of these parameters take place during the first 30 min of dewatering. It was shown that osmotic dehydration kinetics was dependent on the type of osmotic solution and increasing NaCl concentration generally produced an increasing water loss.

Mathematical modeling of osmotic dehydration process was done based on Henderson and Pabis, Page and Lewis equations and the most suitable correlation coefficient (R^2) was obtained by Page model. The diffusion coefficient was within the range of $5,29\text{-}9,28 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

During hot-air drying, increasing the concentration of solutions caused a decrease in the drying rate, thus the drying time is increased. Non-treated pumpkin samples have the highest drying rate. During rehydration a decrease in the osmotic solution concentration resulted an increase in moisture absorption. Maximum moisture absorption is noted for samples without any osmotic pretreatments.

1. GİRİŞ

Balkabağı, ülkemizde etli kısmı tatlı, çekirdeği çerez olarak tüketilen bir kış sebzesidir. Orta Anadolu'da yaygın bir şekilde yetiştirilmektedir. Balkabağı ile yapılan çalışmalarda, balkabağının etli kısmının karotenoidler, kalsiyum ve potasyum gibi mineraller açısından oldukça zengin, sodyum içeriğinin çok düşük olduğu belirtilmektedir. Balkabağının özellikle β -karoten açısından zengin (>%80) olduğu gösterilmiştir. Karotenlerin sarı ve turuncu renkli sebze ve meyvelerden emiliminin yeşil yapraklı sebzelere kıyasla daha iyi olduğu ve bu nedenle balkabağının faydalı bir A-vitamini kaynağı olabileceği belirtilmektedir (Seo ve diğ., 2005, Murkovic ve diğ., 2002, Ben-Amotz ve Fishier, 1998).

Balkabağı genelde Ekim ayında hasat edilip sonbahar ve kış aylarında tüketime sunulmaktadır. Balkabağının yararlı besin elemanlarından yararlanabilmek için kaliteli bir şekilde muhafazası gerçekleştirilmeli ve yeni tüketim alternatifleri geliştirilmelidir. Kaynaklarda balkabağının tatlıdan başka ekmek katkı maddesi olarak kullanıldığı veya çorbasının yapıldığı belirtilmektedir (Ptitchkina ve diğ., 1998, Krokida ve diğ., 2003).

Kurutma meyve ve sebzelerin atmosfer koşullarında uzun süreli muhafazaları için uygun bir yöntemdir. Dondurma, pastörizasyon, kurutma ve konserveleme gibi işlemlerden önce bir ön kurutma olarak uygulanan ozmotik kurutma işleminin, ürünün besin kalitesini geliştirmesi, koruması, raf ömrünü arttırması ve sağladığı enerji tasarrufu nedeniyle önemi bilinmektedir (Saurel ve diğ., 1994, Torreggiani, 1993).

Balkabağının kurutulmasıyla ilgili olarak yapılan çalışmalarda, sıcak hava özelliklerinin (sıcaklık, hız ve nem) kuruma hızına etkisi (Krokida ve diğ., 2003), %61.5 şeker çözeltisi ile ozmotik olarak kurutulması (Kowalska ve Lenart, 2001) ve sıcak hava, dondurarak kurutma ve bunların beraberce uygulandığı kurutma işlemleri (Kumar ve diğ., 2001) incelenmiştir. Ozmotik kurutma işlemi sırasında kullanılan çözeltinin türü ve bileşimi ozmotik dehidrasyonu etkileyen önemli bir faktördür

(Saurel ve diğ., 1994, Gündüz ve Şahbaz, 1998, Torreggiani, 1993 ve 1994). Ozmotik kurutmada iki veya daha fazla çözünenin birlikte kullanılması sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Böylece her iki çözünenin de avantajlarından yararlanılmaktadır. Birçok araştırmacı farklı ozmotik dehidrasyon yöntemleri denemektedir. Ozmotik dehidrasyon için kullanılan maddeler veya bunların kombinasyonları, elde edilen ürünün kurutma özellikleri ve son ürün kalitesi gibi önemli özellikleri etkilemektedir (Lerici ve diğ., 1985).

Bu çalışmanın amacı, (1) balkabağının ozmotik olarak kurutulmasında, çözeltideki şeker ve tuz miktarının kuruma kinetiğine etkisini belirlemek, (2) ozmotik olarak kurutulmuş örneklerin sıcak hava ile kurutulmasında, uygulanan ön işlemlerin kuruma hızına etkisini ve kurutulmuş örneklerin tekrar su alma özelliklerine etkisini belirlemektir. Kurutma işleminin etkisi ve kuru örneklerin tekrar su alma özellikleri, ozmotik kurutma işlemi uygulanmamış kontrol örneklerinin özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Ozmotik çözeltiler olarak %40, %50, %60 şeker çözeltileri ve bu çözeltilerin her birine %0.5, %1 ve %2 oranlarında tuz ilave edilerek hazırlanan tuzlu şeker çözeltileri kullanılmıştır. Ozmotik olarak kurutulan örnekler $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de sıcak hava ile kurutulmuştur.

2. BALKABAĞININ ÖZELLİKLERİ

Balkabağının dünya çapında yaygın olarak bilinen üç farklı çeşidi bulunmaktadır. Bunlar *Curcubita pepo*, *Curcubita maxima* ve *C. moschata*'dır. Bu üç farklı tür arasında irilik, şekil ve renk açısından büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Minyatür balkabakları *C. pepo*, çok büyük olan türleri ise *C. maxima* olarak sınıflandırılmaktadır. *C. moschata* ise Asya ve Amerikada en fazla yenilen balkabağı çeşididir (Murkovic ve diğ., 2002). Balkabağının etli kısmı karotenoidler, kalsiyum ve potasyum gibi mineraller açısından oldukça zengin olup sodyum içeriği çok düşüktür. Tablo 2.1.'de çiğ balkabağının bileşimi verilmiştir (Anon., 2005).

Karotenoidler Vitamin A'nın en büyük kaynağı olup özellikle görme duyusu, büyüme ve embriyo gelişimi için gereklidir. Vitamin A yetersizliği, körlük ve bebek ölümlerinin en önemli sebebi olup güneydoğu Asya, Afrika ve Güney Amerika'nın bazı yerlerinde önemli sağlık problemlerinin de (kanser, erken yaşlanma, katarakt vb.) baş sebebini oluşturmaktadır. Rengi sarı-turuncu olan meyve ve sebzeler arasında depolanması ve ulaşımı kolay olan, sonbahar ve kış ayları boyunca temin edilebilen karotenoidler açısından zengin olan balkabağı, A vitamini yetersizliğine karşı mükemmel bir kaynak oluşturmaktadır. Balkabağı Kore'de de geleneksel bir yemek olarak tüketilen bir sebze çeşididir. Kore'de özellikle doğum sonrası kadınların yemesi tavsiye edilen bir gıda ürünüdür. Sağlık yararlarına inanılıp, karotenoid emilimi için yağlı gıdalarla beraber tüketilmektedir. Yapılan araştırmalar balkabağının özellikle β -karoten açısından zengin (>%80) olduğunu göstermektedir. Ayrıca daha az miktarlarda lutein, lycopene, α -karoten, β -cryptoxanthin, cis- β -karoten içermektedir (Seo ve diğ., 2005, Murkovic ve diğ., 2002).

Tablo 2.2'de balkabağı besinsel değerleri açısından kayısı, havuç, elma, kabak ve domates ile kıyaslanmaktadır. Tablo 2.2'de görüldüğü gibi balkabağı α -karoten ve β -karoten açısından kayısıdan ve potasyum miktarı açısından da kayısı ve havuçtan daha zengin bir içeriğe sahiptir. Kalsiyum miktarı da kayısıdan daha yüksek olup, IU birimine göre özellikle vitamin A değeri ise kayısıdan hemen hemen dört kat daha

fazladır. Ayrıca dikkat çeken önemli bir başka özelliği de sodyum değerinin oldukça düşük olmasıdır ki havuçla kıyaslanacak olursa, havuçta 69 mg/100g iken bu değer balkabağında sadece 1mg/100 g olarak verilmiştir (Anon., 2005).

Tablo 2.1: Çiğ balkabağının bileşimi

100 g yenilebilir ürün içinde	
Yaklaşık bileşimi	
Su	91,60 g
protein	1,00 g
toplam yağ	0,10 g
karbonhidrat	6,50 g
kül	0,80 g
lif	0,5 g
toplam şeker	1,36 g
Enerji	26 kcal
Mineraller	
Kalsiyum	21 mg
Demir	0,80 mg
Magnezyum	12 mg
Fosfor	44 mg
Potasyum	340 mg
Sodyum	1 g
Manganez	0,125 mg
Vitaminler	
Vit C	9,0 mg
Tiyamin	0,050 mg
Riboflavin	0,110 mg
Niasin	0,600 mg
Vitamin B-6	0,061 mg
Folate	16 mcg
Folik asid	0 mcg
Vit A	7384 IU
Vit E	1,06 mg
Vit K	1,1 mcg
Diğerleri	
β -karoten	3100 mcg
α -karoten	515 mcg
Cryptoxanthin, beta	2145 mcg
lutein+zeaxanthin	1500 mcg

Tablo 2.2: Balkabağının ve bazı meyve ve sebzelerin bileşimleri

100 gr'da	Kalsiyum (mg)	Potasyum (mg)	Sodyum (mg)	α -karoten (mcg)	β -karoten (mcg)	Vitamin A (IU)	Vitamin C (mg)	Vitamin E (mg)
Balkabağı	21	340	1	515	3100	7384	9	1,06
Kayısı	13	259	1	19	1094	1926	10	0,89
Havuç	33	320	69	3477	8285	16811	5,9	0,66
Elma	6	107	1	0	27	54	4,6	0,18
Kabak	15	262	2	0	120	200	17	0,12
Domates	10	237	5	101	449	833	12,7	0,54

Ptitchkina ve diğ., (1998) balkabağının karoten, pektin, mineral tuzları ve vitaminlerce zengin olduğundan bahisle, balkabağını kurutup öğütterek elde ettikleri tozu, iyi bir ekmek yapımına uygun olmayan buğday ununa katarak elde ettikleri ekmeklerin, hacim artışı ve organoleptik özellikleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışma sonunda balkabağı tozunun ekmeğin besinsel ve duyuşal değerlerini önemli miktarlarda arttırdığını, hamurun oluşmasında kararlı bir yapı sağlanmasına yardımcı olduğunu, elde edilen ekmeğin kalitesinin daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Balkabağı ile yapılan çalışmalarda, balkabağından pektin ekstraksiyonunun da incelenmiş olduğu görülmüştür (Kamnew ve diğ., 1998, Bogatyrev ve diğ., 1998, Shkodina ve diğ.,1998).

Balkabağının çekirdeğı ile yapılan çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmalar çekirdek ununun kimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin saptanması ve yağının karakterizasyonu ile ilgilidir (El-Adawy ve Taha, 2001, Murkovic ve diğ., 1996, Akwaowo ve diğ., 2000, Wenzl ve diğ., 2002, Siegmund ve Murkovic, 2004). El-Adawy ve Taha (2001) balkabağı çekirdeğı, kırmızı biber çekirdeğı ve karpuz çekirdeğinin yağı ve ununun besinsel ve fonksiyonel özelliklerinin üzerine araştırma yapmışlar, tüketilebilir yağ ve protein açısından iyi kaynaklar olduğunu tespit etmişlerdir. Yüksek seviyede doymamış yağ asidi içerikleri, yüksek oranda doymamış yağ üretimi için de uygun olmaktadır. Ayrıca un olarakta gıdalara katılması uygun olmaktadır. Böylece çekirdeklerin protein ve yağ kaynağı olarak kullanımı kazanç sağlayıp, atık problemini de minimuma indirmeye yardım etmektedir.

3. OZMOTİK KURUTMA

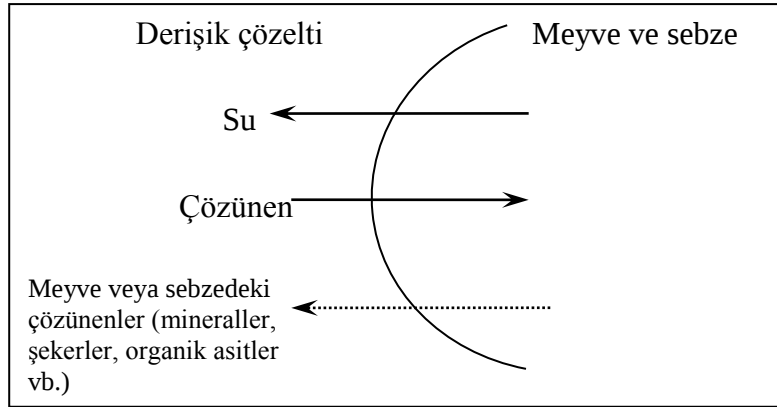
Gıda maddelerinden suyun uzaklaştırılması sıcak hava veya ozmotik çözeltilerle kurutma, santrifüjleme, filtrasyon ya da buharlaştırma gibi yöntemlerle olabilmektedir. Ozmotik kurutma, derişim farkından yararlanılarak gıda maddelerinden suyun uzaklaştırılmasını esas alan bir yöntemdir. Bu yöntemde, gıda maddeleri (meyve, sebze, et, peynir ve balık) bütün veya parçalar halinde yüksek derişimli çözeltilerin içinde bekletilerek üründeki suyun çözeltiliye difüzyonu sağlanır. Yarı geçirgen bir zarla derişik çözeltiden ayrılmış seyreltik bir çözelti ozmoz mekanizması ile su kaybına uğrar. Dengeye ulaşılan kadar su, seyreltik çözeltiden konsantre çözeltiliye membrandan geçerek difüze eder. Sonuç olarak proses, konsantre ortama geçen su transferi olarak tanımlanabilir (Torreggiani, 1993, Rastogi ve Raghavarao, 1995, Gündüz ve Şahbaz, 1998).

Ozmotik kurutmada aynı anda oluşan üç farklı kütle aktarımı mevcuttur. Bunlardan ilki, üründen çözeltiliye doğru olan su akışıdır. Ozmotik kurutma yoluyla gıda maddeleri 30° ile 50°C arasındaki sıcaklıklarda ilk iki saat içerisinde su içeriklerinin %50 kadarını kaybederler (Torreggiani, 1993). Çözeltiden ürüne çözünen aktarımı ikinci kütle aktarımıdır. Böylece koruyucu ajanın, herhangi bir besin ögesinin veya duysal kalite geliştiricisinin istenilen miktarlarda ürüne katılımı mümkün olmaktadır. Üçüncü kütle aktarımı, ürüne ait çözünenlerin (şeker, organik asitler, mineraller, vitaminler, vb.) çözeltiliye özütlenmesidir. Bu, su kaybı ve çözünen aktarımının yanında nicelik bakımından ihmal edilebilirse de son ürünün bileşimi açısından önemlidir (Saurel ve diğ., 1994, Torreggiani, 1993). Ozmotik çözelti içindeki üründe gözlenen kütle aktarımı Şekil 3.1.'de verilmiştir (Gündüz ve Şahbaz, 1998).

Daha fazla çözünen kazancı ve sınırlı su kaybı içeren et ve balık kürlenmesi, peynir yapımında kullanılan tuzlama gibi geleneksel tekniklerin aksine, ozmotik kurutma ile genellikle önemli miktarlarda su kaybı (40-70 g su/100 g taze ürün) kontrollü ve

sınırlı çözünen kazancı (5-25 g çözünen/100 g taze ürün) sağlanmaktadır (Gündüz ve Şahbaz, 1998, Torreggiani, 1993 ve 1994).

Yaygın kurutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında, ozmotik kurutmanın iki önemli özelliğinin diğer yöntemlere göre farklılık oluşturduğu görülmektedir. Bunlardan ilki ozmotik kurutmayla üründen suyun hal değişimine uğramadan uzaklaştırılması, diğeri ise üründe formülasyon etkisinin sağlanmasıdır. Bu yöntemle ait en önemli sınırlama ise üründeki nem miktarının belirli bir değere kadar düşürülebilmesidir. Bu nedenle ozmotik kurutma dondurma, pastörizasyon, kurutma ve konserveleme gibi işlemlerden önce bir ön işlem olarak kullanılabilir (Torreggiani, 1993).



Şekil 3.1: Ozmotik kurutma sırasında oluşan kütle aktarımının şematik gösterimi

Ozmotik kurutma sırasında, üründen asit şeker oranının artmasını, yapının iyileştirilmesini, sülfite kullanılmadan doğal rengin muhafaza edilmesini, ozmotik kurutma sonrasında yapılan kurutma işleminde uçucu bileşiklerin ve doğal aromanın korunmasını, enzimatik esmerleşmenin inhibe edilmesini, kurutma ve depolama sırasında pigmentlerin kararlılığının artırılmasını sağlayan formülasyon değişiklikleri gerçekleştirilebilmektedir. Ürüne katılan çözünür, tekrar su alma işlemi sırasında ürünün kararlılığını arttırmakta ve kurutma veya dondurma sırasında, hücresel parçalanmaları ve çökmeleri engelleyerek doğal doku yapısını korumaktadır (Torreggiani, 1993, Beristain ve diğ., 1990).

Ozmotik kurutmada su, üründen bir faz değişimine uğramadan ayrılmaktadır. Bu nedenle klasik kurutma yöntemine göre ozmotik kurutmaya ait enerji gereksinimi düşük düzeydedir. Böylece, geleneksel yöntemlere göre ozmotik kurutmayla enerji tasarrufu da sağlanabilmektedir (Shi ve diğ., 1997).

Ozmotik kurutmanın diğ er kurutma yöntemlerine göre sağladığı avantajlardan birisi de sıcaklıktan dolayı üründe oluşabilecek renk ve tat bozukluğunun engellenmesi ve doğal kalitesinin korunmasıdır (Lerici ve diğ., 1985, Shi ve diğ., 1997).

3.1. Ozmotik Kurutmanın Mekanizması

Ozmotik kurutma, özellikle meyve ve sebze gibi gıda maddelerinin, ozmoaktif maddelerin konsantre c zeltilerinin içinde bekletilerek, derişim farkından dolayı içerdikleri suyun uzaklaştırılması temeline dayanan bir kurutma işlemidir. Ozmotik c zelti, yüksek ozmotik basın a ve dolayısıyla düşük su aktivitesine sahip olduğundan c zelti ile ürün arasında oluşan konsantrasyon farklılığı nedeniyle, su uzaklaşma işlemi için bir sürükleme kuvveti doğmaktadır. Taze  r nlerin hücre duvarı yarı geçirgen bir membran gibi davranmakta ve üründen yalnızca su ve düşük molek l ağırlıklı maddelerin geçişine izin vermektedir. Ancak hücre membranları tamamıyla yarı geçirgen olmadığından ve sebzeler küçük parçalara kesilirken hücrelerin bir kısmı zarar gördüğünden, c zeltideki tuz, şeker vb. c z n r maddeler de suyu uzaklaşan ürüne doğru karşıt akımda nüfuz ederler. Dolayısıyla ozmotik kurutma işlemini aynı anda oluşan su ve c z n r madde difüzyonu olarak tanımlamak mümkündür. Bu karşılıklı difüzyon işlemi c zelti ve hücre içindeki su aktivite değerleri eşit oluncaya kadar devam etmektedir. Işlemin başlangıcında ozmotik kurutma mekanizması, ozmotik maddelerin penetrasyonu ve suyun hücreden materyalin yüzeyine doğru uzaklaşması ile, daha sonra da bu maddelerin doku içindeki difüzyonu ile kontrol edilmektedir. Gıdanın olgunluğuna, depolama koşullarına, sıcaklık ve kimyasal maddelerle ön işlem görmesine bağlı olarak ozmotik c zelti, hücre içine geçemez, hücreler arası boşluklarda tutulur. Genellikle  r n yapısına ve işletme koşullarına bağlı olarak, üründe aynı anda birçok mekanizma etkilidir. Bunlar; ozmoz, difüzyon, karşılıklı akı etkileşimleri ve başlangıç hacminin % 40-50 oranında azalmasına neden olan b z lmedir (Gündüz ve şahbaz, 1998, Torreggiani, 1993).

Ozmoz, hücrelerin yarı-geçirgen membranları aracılığıyla olmaktadır. Bununla birlikte kütle aktarımında hücre membranının varlığının tek başına gerekli koşul olmadığı deneysel olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni, aynı etkilerinin membransız model olan gıda jellerinde de gözlenmiş olmasıdır. Bu da ozmotik kurutmanın,

hayvansal, bitkisel kökenli ya da jel tipindeki gıda modellerine rahatlıkla uygulanabileceğini göstermektedir (Gündüz ve Şahbaz, 1998; Saurel ve diğ., 1994).

Ozmotik kurutma uygulanan ürünlerin ortak özelliği, yüzeyde çözünen madde tabakasının oluşumu ve bu tabakanın korunmasıdır. Şeker çözeltisi içinde, model jel veya bitki dokusunun ozmotik kurutulması sırasında, çözünen madde ürüne girmekte ve 2-3 mm kalınlığında bir tabaka oluşturmaktadır. Böyle bir tabaka oluşumunun, ozmotik kurutma sırasında, kütle aktarımının kontrolünde, askorbik asit ve fruktoz gibi suda çözünen maddelerin kaybını azaltmada, çok önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmektedir. Üstelik konsantre tabakanın varlığı depolama ya da takibeden işlemler sırasında ürün davranışını da etkilemektedir (Gündüz ve Şahbaz, 1998).

3.2. Ozmotik Kurutmayı Etkileyen Faktörler

Ozmotik kurutma sırasında görülen su kaybı ve çözünen madde kazancı öncelikle bitki dokusunun özelliklerine bağlıdır. Ayrıca gıda maddesinin yüzey alanı, sıcaklık, işlem süresi, çözeltinin bileşimi ve derişimi, ürün ile çözeltinin temas şekli (karıştırma) gibi işletme değişkenlerinden de etkilenmektedir. Meyve ve sebzelerin fiziksel doğasındaki büyük farklılıklar, ozmotik olarak kurutulan ürünlere de yansımaktadır. Aşırı olgunlaşma, ısı, kimyasal ya da enzimatik ön işlemler ve dondurma gibi doku bütünlüğünü bozan tüm işlemler zarın geçirgenliğini artırırken seçiciliğini azalttığı için çözünen madde kazanımını arttırmaktadır. Karşılıklı su ve çözünen geçişini etkileyen doğal doku özellikleri olarak; doku sıklığı, üründeki çözünmeyen kütlenin başlangıçtaki miktarı, enzimatik aktivite ve çözünenlerin özellikleri, hücreler arasındaki boşluklar ve buradaki gazın varlığı, pekto-selülozik komplekslerin serbest pektinlere oranı ve pektik maddelerinin jelleşebilme miktarı sayılabilir (Gündüz ve Şahbaz, 1998, Torreggiani, 1993).

Derişik çözeltinin türü ve bileşimi ozmotik dehidrasyonu etkileyen diğer bir faktördür. Sakkaroz veya sodyum klorür sıklıkla kullanılan bileşenlerdir. Ayrıca dekstroza, nişasta şurubu, laktoz, etanol, polioller gibi suyla karışabilen çözücü veya çözünen maddeler de kullanılabilir. Kullanılan çözünen maddeler toksik ve pahalı olmamalı ve derişik çözelti eldesi için yüksek çözünürlüğe sahip olmalıdır. Ayrıca çözünen maddelerin fizikokimyasal ve organoleptik özellikleri gıda maddesine uygun olmalıdır. Çözünen madde iki farklı amaçla kullanılabilir. Amaçlardan ilki üründen su kaybının sağlanması, diğeri ise ürüne çözünen madde katılımıdır.

Örneğin düşük moleköl ağırlıklı çözünen maddeler (sodyum klorür, glikoz, fruktoz, sorbitol gibi) aracılığıyla ürüne kuru madde katılımı sağlanırken, su kaybı, yüksek moleköl ağırlıklı çözünen maddelerle (sakkaroz gibi) arttırılır. Tuz ve şekerin ozmotik konsantrasyon davranışları arasındaki bu farklılık zaten moleköl ağırlığı küçük olan tuzların bir de iyonize olmalarından kaynaklanmaktadır. Tuz iyonları hücre membranlarından kolaylıkla difüzenmekte ve üründe yüksek kuru madde kazancı meydana gelmektedir. Şekerler ise daha büyük moleköl yapısına sahip olduğundan daha zor difüze olmakta ve ozmotik dengeye, esas itibariyle hücreden su kaybı sonucu ulaşılmaktadır. Yüksek moleküler ağırlıklı çözünen katı maddelerce zengin ve/veya yüksek konsantrasyona sahip çözelti kullanıldığında gıda yüzeyinde oluşan bariyer tabakası, gıdanın doğal yapısındaki çözünen katı madde kaybını azaltır (Saurel ve diğ., 1994, Torreggiani, 1993, Gündüz ve Şahbaz, 1998).

Ozmotik dehidrasyon işleminde şeker kullanımının ürün kalitesini yükseltmeye yönelik başlıca iki önemli yararı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi polifenoloksidaz için etkili bir inhibitör olması, diğer yararı ise uçucu bileşiklerin kurutma sırasında kaybının engellenmesidir (Prothon ve diğ., 2001).

Ozmotik kurutma işleminde karıştırmanın kütle aktarımı üzerine etkileri incelenmiştir. Düşük derişimli çözeltilerde karıştırmanın etkisinin çok az olmasına karşılık çözelti derişimi arttıkça vizkozite de arttığından kütle aktarımına karşı bir direnç oluşmaktadır. Karıştırma ile, ozmotik dehidrasyona uğrayan parçacık etrafındaki derişik çözeltinin yenilenmesi sağlanmakta ve böylece kütle aktarımına elverişli derişim farkı yeniden yaratılmaktadır. Türbülant akış rejiminde su kaybı laminere göre daha yüksektir, ancak katı kazancında bu iki akış rejimi arasında önemli farklılıklar gözlemlenmemiştir. Santrifüj kuvveti kullanılan sistemlerde katı kazancı daha düşüktür (Azuara ve diğ., 1996, Mavroudis ve diğ., 1998).

Çözelti:katı oranının ozmotik kurutma mekanizması üzerine etkisini inceleyen bir çalışma yapılmış ve 1-10 arasında değişen çeşitli çözelti:katı oranlarında, kuru madde kazancının hemen hiç etkilenmediği, su kaybı ve toplam kuru madde değerlerinin ise 1-4 arasındaki oranlarda etkilendiği belirtilmiştir. Çeşitli araştırmacılar tarafından en iyi ozmotik etkinin 4-6 oranlarında gözlemlendiği ve işlemin ekonomisi ve pratikliği gibi pek çok faktör de göz önüne alındığında en uygun oranın 4 olduğu belirtilmiştir (Singh ve diğ., 1999, Gündüz ve Şahbaz, 1998).

Kütle aktarım hızı sıcaklık ile artar. Ancak 45°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda enzimatik esmerleşmeler, tat ve aromada bozulmalar başlar. En uygun işlem sıcaklığı 20°C – 40°C' dir. Bu nedenle pek çok deney bu sıcaklık aralığında yapılmıştır. Yine de kritik çalışma sıcaklığının seçilmesi gıda maddesine bağlıdır. Örneğin yeşil fasulyenin ozmotik dehidrasyonu için 40°C çok yüksektir ve 20°C ile yapılan çalışma daha iyi sonuç vermektedir. Ayrıca kayısı, vişne, muz için önerilen çalışma sıcaklıkları sırasıyla 20°C, 40°C ve 60°C'dir. Balık ve et için ise tavsiye edilen sıcaklık 10°C'i aşmamaktadır (Torreggiani, 1993 ve 1994).

Ozmotik çözeltinin pH'sı ile su transferi hızı arasında ters bir orantı vardır. Optimum pH değeri gıdaya göre değişmektedir. Vakum altında ozmotik kurutma uygulandığında çözünen madde kazanımı olmaksızın su transfer hızı artmıştır (Torreggiani, 1994).

3.3. Gıdalarda Ozmotik Kurutma Çalışmaları

Mauro ve Menegalli (1995), muzun sakkaroz çözeltisi içindeki ozmotik olarak kurutulmasını, süre, çözelti konsantrasyonu ve sıcaklığa bağlı olarak incelemiştir. Isıl işlem görmesi muz membranının geçirgenliğini etkilemiştir.

Simal ve diğ. (1998), elmanın farklı sıcaklıklarda ozmotik kurutma üzerine ultrases işleminin etkisini incelemiştir. Ses dalgaları yerine karıştırma uygulanması, su ve çözünen madde transfer hızında düşüşe sebep olmuştur.

Farklı konsantrasyondaki sakkaroz çözeltisi ve sıcaklıkların ananas dilimleri üzerindeki kütle transferi, Beristain ve diğ. (1990) tarafından incelenmiştir. Ananas halkaları çözelti konsantrasyonu arttıkça daha çok şeker absorplamışlardır. Sıcaklık arttıkça reaksiyon hızı artmış ve daha erken dengeye ulaşılmıştır. Su kaybı, artan şeker konsantrasyonu ve sıcaklıkla artmıştır. Ama denge halinde net ağırlık kaybı bütün deneylerde aynı bulunmuştur.

Sablani ve Rahman (2003), mango parçalarının ozmotik dehidrasyonu sırasında, su ve katı maddelerin denge dağılım katsayıları üzerine bir araştırma yapmışlar, sıcaklık, şurup konsantrasyonu ve örneğin geometrisi ile değiştiğini belirlemiştir. Proses sırasında uygulanan sıcaklığın etkisinin maksimum, şekil faktöründe minimum olduğu tespit edilmiştir.

Hindistan cevizinin farklı konsantrasyon ve sıcaklıklardaki sakkaroz çözeltileri içinde ozmotik kurutma kinetiği incelenmiştir. Rastogi ve Raghavarao (1995)'nın yapmış olduğu bu çalışmada çözünen maddenin membrandan geçemediği veya uzun sürede geçtiği kabul edilmiş ve net ağırlık kaybı sadece su kaybına eşitlenmiştir. Hindistan cevizi için elde edilen D_e (etkin difüzyon katsayısı) değerleri ananas ve bifteğe göre daha düşüktür. Bunun sebebi hindistan cevizinin daha az gözenekli yapıya sahip olmasıdır.

Singh ve diğ. (1999), havucun ozmotik kurutulması sırasında, değişik konsantrasyonlardaki şeker çözeltilerinin ve madde:çözelti oranının, havucun fizikokimyasal ve duyusal özelliklerine etkisi üzerine çalışmışlardır. Haşlanmış havuçların 12 saat 40 Briks'lık daha sonra 12 saat 60 Briks'lık şeker şurubunda ön işleme tabi tutulması en iyi sonuçları vermiştir. Havuç:çözelti oranının optimum 1:4 olduğu gözlenmiştir.

Armut üzerinde farklı konsantrasyon ve farklı sıcaklıklarda ozmotik kurutma kinetiklerinin incelendiği çalışmada su kaybı ve katı madde artışının, çözelti konsantrasyonu ve sıcaklık artışı ile arttığı belirlenmiştir (Park ve diğ., 2002).

Shi ve diğ. (1997), ozmotik kurutmanın domates ve kabuğu üzerindeki etkilerini incelemişler. Kesilerek kurutmanın uygulandığı domatesin heterojen yapısı ve sıvı bileşenlerinin kaybına neden olmasından dolayı ozmotik kurutmaya çok uygun olmadığını tespit etmişlerdir. Bütün haldeki domatesin ozmotik kurutmasında kullanılan NaOH çözeltisinin HCl çözeltisinden daha büyük soyulma hasarı ve ağırlık kaybı oluşturduğunu, % 7-8 NaOH çözeltisi ile yapılan kimyasal muamelenin istenmeyen doku yumuşamasına sebep olduğunu, şekerli su ile yapılan ozmotik kurutmada, fiziksel muamele ile açılan deliklerin kimyasal muameleden daha fazla su kaybı sağlayabileceğini tespit etmişlerdir. Kabuğun geçirgenliği ve kütle aktarımı özellikleri üzerine kinetik çalışma sonucunda domates yüzeyine uygulanan küçük deliklerin su transferi için bir yol oluşturduğu, kısmen bozulmamış kabuğun katı madde alımında bir bariyer rolü oynadığı belirlenmiştir.

Giangiacomo ve diğ. (1987), ozmotik kurutma işlemine tabi tutulmuş vişne, kayısı ve şeftalide şeker transferini araştırmışlardır. Çözelti ile meyveler arasındaki çözünen madde transferinin meyvenin sahip olduğu orijinal şekerden etkilendiği gözlenmiştir.

Bu transferin ayrıca meyve türüne ve enzimatik aktivitesine de bağlı olduğu belirtilmiştir.

Mavroudis ve diğ. (1998) elmanın, %50'lik sakkaroz çözeltisi içinde, 20°C'de, ozmotik olarak kurutulmasını incelemişlerdir. Karıştırma işlemi yardımı ile laminar ve türbülant akışın kütle transferine etkisi karşılaştırılmıştır. Elmanın iç ve dış kısımları için çözünen madde kazanımı ve su kaybı miktarları incelenmiştir. Maddenin orijinal kütle yoğunluğu ve su miktarının, işleme etkisinin olabileceği önerilmiştir.

Salvatori ve diğ. (1999a) elmanın ozmotik kurutulması üzerine çalışmışlardır. Farklı kalınlıktaki örneklerle, farklı sıcaklıklarda (20°C, 30°C, 40°C, 50°C), %65'lik sakkaroz çözeltileriyle yaptıkları çalışmalar sonucunda, ozmotik kurutmanın sıcaklık ve örnek kalınlığına göre farklı zamanlarda tamamlandığı, 30°C'de 30 mm kalınlığında bir örnek için 34 saatten fazla zaman gerektiği tespit edilmiştir. Salvatori ve diğ. (1999b) devam eden çalışmalarında, ozmotik kurutma sırasında, kurutulan örnek için, su konsantrasyon değişim kinetiğini çalışmışlardır.

Mavroudis ve diğ. (1998), elmanın farklı sıcaklıklarda ozmotik kurutulması üzerine çalışmışlardır. Hacim ve su kaybı arasında doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Kütle yoğunluğu kurutulan maddenin orijinal yapı, tür ve kurutma koşullarına bağlıdır. Meydana gelen büzüşmenin asimetric olduğu gözlenmiştir.

Torreggiani ve diğ. (1987), işlem görmüş kiraz cinsleri üzerine ozmotik kurutma süresinin etkisini incelemişlerdir. Kiraz örnekleri, 2, 4 ve 6 saat olmak üzere üç farklı zaman süresince ozmotik kurutmaya tabi tutulmuşlar, daha sonra vakumda paketlenip pastörize edilmişlerdir. İşlem ve 6 aylık depolama süresince askorbik asit, glikoz, fruktoz ve maltoz içerikleri HPLC yöntemiyle belirlenip pH, toplam titrimetrik asitlik, kuru madde miktarı, renk ve diğer organoleptik karakteristikleri incelenmiştir. Sonuçta, 2 saat süre ile ozmotik kurutmaya tabi tutulmuş örneklerin, cinslerine de bağlı olmak kaydı ile, kabul edilebilir niteliklere sahip olduğu görülmüştür.

Bolin ve diğ. (1983), elma, şeftali ve kayısı numuneleri kullanarak sakkaroz, HFCS (yüksek fruktozlu mısır şurubu) ve sorbitol içeren çözelti içinde (örnek ağırlığı : ozmotik çözelti oranı 1:4 olan) ozmotik kurutma gerçekleştirmişlerdir. Çözeltiyi asitlendirmek için malik asit ilave etmişler ve homojenizasyonu sağlamak amacıyla

düzenli aralıklarla karıştırma uygulamışlardır. Çözeltinin hücrelere nüfuz edebilirliği ve ozmotik olarak kurutulmuş örneğin duysal kalitesi tespit edilmiştir. HFCS'nin gıdaya nüfuz edebilirliği sakkarozdan daha hızlı bulunmuştur. Ancak duysal panel sonuçlarına göre ise ozmotik kurutma ortamı olarak sakkaroz, HFCS'ye tercih edilmiştir. Numuneler tarafından birim zamanda absorplanan sakkaroz miktarı HFCS'a göre daha az olarak tespit edilmiştir.

Kowalska ve Lenart (2001), elma, balkabağı, ve havucun ozmotik olarak kurutulması (% 61.5'lik şeker çözeltisinde, 30°C'deki sabit sıcaklıkta 180 dakika) sırasındaki kütle değişimini incelemişlerdir. Su bileşimi, su kaybı ve katı madde artışıdaki en büyük değişimlerin ilk 30 dakika içerisinde gerçekleştiği, en yüksek su kaybı ve en düşük katı madde artışının balkabağında olduğu tespit edilmiştir. Elmada ilk 30 dakikada %48'lik bir su kaybı oluşurken bunu devam eden 60 dakika sonrasında %30'luk bir su kaybı oluşmuştur. Su kaybı oranı katı madde artışından 5-10 kat daha fazla olmuştur.

Ozmotik kurutmada iki veya daha fazla çözünenin birlikte kullanılması sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Böylece her iki çözünenin de avantajlarından yararlanılmaktadır. Ancak kullanılan karışımın, işlem ve ürün üzerine etkilerini önceden tahmin etmek mümkün değildir. Bu nedenle en uygun ürün çözünen madde karışımının belirlenmesi için deneysel yöntemlere başvurulmaktadır (Gündüz ve Şahbaz, 1998).

Patates küpleri ile yapılan bir çalışmada su aktivitesini oldukça düşük düzeylere indirmesi nedeniyle sakkaroz tuz karışımlarının en etkin ozmotik çözelti olduğu belirlenmiştir. Tuz ile şeker sinerjistik etki göstermektedirler. Üstelik sakkaroz-tuz etkileşimi sonucu ürüne tuz girişi de sınırlı kalmıştır. Ancak toplam çözünen katı madde kazanımı artmıştır. Ozmotik çözelti derişimi arttıkça kütle aktarım katsayılarının arttığı bildirilmiştir (Gündüz ve Şahbaz, 1998, Torreggiani, 1994, Azuara ve diğ., 1996).

Lerici ve diğ. (1985), farklı miktarlarda NaCl ilave edilmiş ozmotik çözeltilerin elma modeli üzerine etkisini incelemişlerdir. Su kaybı ve son ürünün su aktivitesi, kullanılan ozmotik ajan yanında katı madde artışına da bağlıdır. Aynı sürede yapılan işlemlerde katı madde artışının çözeltinin kimyasal kompozisyonuna ve şekle bağlı

olduğu gözlenmiştir. Ozmotik çözeltiye az miktarda katılan NaCl kurutma hızını arttırmıştır.

Azuara ve ark. (1996), %70'lik sakkaroz, %30'luk NaCl ve %15'lik NaCl + %45'lik sakkaroz çözeltilerinin patates ve elma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Santrifüj kuvveti uygulandığında gıdanın katı madde artışının düştüğü gözlenmiştir.

Haşlanmış karnabaharın sıcak hava ile kurutulmasından önce, ön-işlem olarak, tuz, şeker ve tuz-şeker karışımı çözeltilerle, ozmotik kurutmaya tabi tutulmuş, %3 tuz ve %6 sakkaroz karışımının kullanıldığı örnekte, daha sonra kabin kurutucuda kurutulan sırasında, büzülmenin azalmış, renk, doku, görünüş ve tekrar su alma özellikleri açısından en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca uygun depolama koşullarında, raf ömrü daha uzun olmuştur (Jayaraman ve diğ., 1990).

Ozmotik kurutma işlemi tek başına gıda maddesini dayanıklı hale getirmek için yeterli bir işlem değildir. Genel olarak ozmotik kurutmadan sonra, gıda maddesi kurutma veya dondurma suretiyle dayanıklı hale getirilir. Ozmotik kurutmadan sonra sıcak hava ile kurutma yönteminin uygulanması elma, armut, muz, çilek, şeftali, kayısı gibi birçok ürün üzerinde çalışılmıştır (Prothon ve diğ., 2001, Ponting ve diğ., 1966, Dixon ve diğ., 1976, Hawkes ve Flink, 1978).

Torrington ve diğ. (2001) mikrodalga ile yapılan kurutmadan önce mantarlara ozmotik kurutmanın uygulanmasının yararlarını tespit etmişlerdir. Buna göre ozmotik kurutma ile mantarın bünyesindeki katı madde miktarının artması, dielektrik özelliklerini değiştirerek, kurutma zamanını azaltarak, büzülmeyi azaltarak, gözenekli yapıyı ve tekrar su alma özelliklerini geliştirerek mantarların homojen bir şekilde ısınmasını sağlamıştır.

Prothon ve diğ. (2001), elma parçalarına mikrodalga ile kurutma yapılmadan önce ozmotik kurutmanın uygulanması üzerine araştırma yapmışlar ve ozmotik müdahale, sonradan yapılan mikrodalga kurutmanın süresini azaltan yararlı bir müdahale olmuştur. Mikrodalga ile kurutmadan önce ozmotik kurutma uygulanmasının ürünün kalitesini yükselttiği tespit edilmiştir.

3.4. Kurutmanın Gıdaların Tekrar Su Alma Özelliklerine Etkileri

Taze gıdaların yerine kullanılan kurutulmuş ürünler hazır yiyecek olarak birçok yerde kullanılmakta, güvenli ulaşım, depolama, kolay hazırlanma ve kullanma gibi

birçok avantaja sahip olmaktadır. Gıda ürünlerinin kurutulmasında hedeflenen asıl amaç, suyun mikrobiyal bozulmayı minimuma indirecek seviyede azaltılmasıdır. Kurutulmuş ürünlerin birçoğu, kullanılmadan önce tekrar su aldırılarak tüketilir. Kurutma ve tekrar su alma yönteminden kaynaklanan problemlerin tespit edilmesi, tüketiciye kullanıma hazır olarak sunulan hazır çorba, kuru karışımlar, kurutulmuş meyve gibi ürünlerin kalitesini belirleyecek önemli etkenlerdir (Rastogi ve diğ., 2004, Krokida ve Marinos-Kouris, 2003).

Tekrar su alma sırasında suyun doku içine absorpsiyonu, ürünün kütle artışına sebep olmaktadır. Aynı zamanda üründen şeker, asit, vitamin, mineral gibi bileşenler ürünün içinde bulunduğu ortama geçebilmektedir. Ürünün tekrar su alma özelliği kurutma şartları ve ürünün kendi doğasından etkilenmektedir. Ürünün kimyasal bileşenleri, ön kurutma yöntemleri, ürünün formülasyonu, kurutma yöntemi ve koşulları, son kurutma prosedürü, rehidrasyon ortamının bileşenleri, sıcaklık, hidrodinamik koşullar tekrar su alma olayını etkileyen faktörlerdir. Bunlar ürünün yapısında ve bitki dokusunun bileşenlerinde değişikliklerin oluşmasına neden olmakta, böylece rehidrasyon derecesi de yapısal ve hücresel hasara bağlı olarak değişmektedir. Kurutma sırasında oluşan kalıcı hücre hasarları ve renk bozulmaları materyalin bütünlüğünün bozulmasına ve tekrar su alma kapasitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Literatürde, uygulanan gıda/su oranı, rehidrasyon sıcaklığı, çalkalama seviyesi ve nem miktarının belirlenmesi gibi rehidrasyon göstergeleri için belirlenmiş kesin ölçütler bulunmamaktadır. Kuru materyal ile su arasındaki oranın 1:5'den 1:50'ye kadar farklı oranlarda uygulanması, rehidrasyon suyunun sıcaklığının oda sıcaklığından kaynama sıcaklığına kadar farklı sıcaklıklarda kullanılması, tekrar su alma süresinin 2 dakikadan 24 saate kadar farklı sürelerde uygulanması, tekrar su alma sırasında karıştırma uygulaması, kuru maddenin sahip olması gereken ilk nem miktarı gibi farklı uygulamalar söz konusudur. Gıdaların tekrar su alma çalışmaları birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır (Rastogi ve diğ., 2004, Krokida ve Marinos-Kouris, 2003, Lewicki, 1998).

Kurutulmuş sebzelerin tekrar su alma özelliklerini geliştirmek için ön işlem olarak ozmotik kurutma yapılması uygulanan bir yöntemdir. Yapılan bir çalışmada kullanılan %3 tuz ve %6 şeker karışımından oluşan ozmotik çözelti ile tekrar su alma kapasitesinde önemli bir artış sağlanmıştır (Rastogi ve diğ., 2004). Kullanılan konsantrasyon aralığındaki katı maddeler, sıcak hava ile kurutmada oluşan şoka karşı

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Materyal

Bu çalışmada Adapazarı ilinde yetiştirilen ve İstanbul'da bir semt pazarından temin edilen balkabakları kullanılmıştır. Balkabağının dış yüzeyindeki kabukları bıçakla kesildikten ve içindeki çekirdekli kısım ayrıldıktan sonra dilimlenmiş ve sonra bu dilimlerin orta kısımları kullanılarak 1x1x1cm küpler halinde doğranmıştır. Serin ve karanlık yerde muhafaza edilen bütün balkabağı kesildikten sonra buzdolabında saklanmıştır.

4.2. Ozmotik Kurutma

Ozmotik çözeltiler ticari şeker ve yemek tuzu kullanılarak hazırlanmıştır. Ozmotik çözeltiler olarak %40, %50, %60 şeker çözeltileri ve bu çözeltilerin her birine %0.5, %1 ve %2 oranlarında tuz ilave edilerek hazırlanan tuzlu şeker çözeltileri kullanılmıştır. İşlem oda sıcaklığında yapılmış ve işlem süresi 7 saat olarak belirlenmiştir. İşlem süresince ilk iki saatte 30 dak. ara ile daha sonra 4., 6. ve 7. saatlerde olmak üzere örneklerin ağırlığındaki ve kuru maddesindeki değişim saptanmıştır. Bu amaçla 7 adet beherin her birine 3 adet kabak örneği tartılmış ve üstüne katı:sıvı oranı 1:25 olacak şekilde çözelti ilave edilmiş ve kabakların çözelti yüzeyine çıkmasını engellemek için sıvı çekmeyen delikli kumaş ve paslanmaz çelikten dizayn edilmiş özel tel süzgeçler kullanılmıştır. Belirlenen sürelerin sonunda bir beherin içindeki kabak örnekleri çözeltilerden çıkarılmış, yüzeydeki çözelti kalıntısını yıkamak amacıyla saf suya 3-4 san daldırılmış ve filtre kağıdı ile kurularak tartılmıştır. Daha sonra örnekler kuru madde tayini için 45°'de 24 saat kurutulmuştur. Böylece belirlenen her süre için bir beher kullanılmıştır. Örneklerin ağırlık kaybı, katı maddesindeki artış ve su kaybı hesaplanmıştır. Çalışma üç paralelli olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortalama değer olarak gösterilmiştir.

4.3. İstatistiksel Analiz

Ozmotik kurutmanın ilk 4 saatlik uygulaması sonunda elde edilen veriler tek yollu varyans analizi (ANOVA) ve Duncan testi kullanılarak SPSS programı ile analiz edilmiştir. Değerlendirmeler $P < 0,05$ önem düzeyindedir.

4.4. Sıcak Hava ile Kurutma

Ozmotik ön-kurutma işleminin etkisini görmek amacıyla ön işlem uygulanmış örnekler sıcak hava ile kurutulmuştur. Bu amaçla, sadece %40, %50, %60 şeker çözeltileri ve bunlara %2 oranında tuz ilave edilmiş olan tuzlu şeker çözeltileri ile ozmotik olarak kurutulan örnekler kullanılmıştır. Ozmotik kurutma işlemi uygulanmış balkabakları 60-62°C'de, 6 saat, tünel kurutucuda sıcak hava ile kurutulmuştur. Sıcak hava ile kurutma sırasında ilk 1 saat 15'er dakika ara ile daha sonra 1 saat ara ile ağırlık ölçümleri alınmıştır. Ozmotik kurutma işlemi uygulanmamış balkabakları kontrol örneği olarak kurutulmuş, işlemler 3 paralelli olarak yapılmış ve ortalama değerler hesaplanmıştır.

Sıcak hava ile kurutma sırasında 1x1x1 cm'lik örnekler tek tek toplu iğneye batırılarak bir askıda asılma suretiyle kurutma sağlanmıştır.

Ozmotik işlem görmüş ürünlerin sıcak hava ile kurutulması sırasındaki nem miktarlarının hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$M = \frac{M_t - M_0 X_k}{M_0 X_k} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte;

M : örneğin kuru bazda nem miktarı, g

M_t : t zamanındaki örnek ağırlığı, g

M_0 : örneğin başlangıç ağırlığı, g

X_k : örneğin katı madde oranı, g km/g örnek

Kurutma hızları birim zamanda birim katı maddeden uzaklaştırılan su miktarı (g su/g k.m. * dak) olarak hesaplanmıştır.

4.5. Tekrar Su Alma

Sıcak hava ile kurutulan balkabağı örnekleri, katı:su oranı 1:25 olmak üzere, oda sıcaklığında saf su içerisine daldırılmış, ilk bir saat 15'er dakika, daha sonra yarım saat arayla 5 saat boyunca ağırlık artışları ölçülmüştür. Ağırlıkları tartılmadan önce örneklerin yüzeyindeki fazla su filtre kağıdı ile kurulanmıştır. İşlemler 2 paralelli olarak yapılmış ve ortalama değerler hesaplanmıştır.

Ozmotik işlem görmüş, sıcak hava ile kurutulmuş balkabağı örneklerinin tekrar su alma oranı 1g kuru maddenin absorpladığı su miktarı olarak hesaplanmıştır (Lewicki, 1998).

4.6. Ozmotik Kurutma Parametrelerinin Hesaplanması

Ozmotik kurutma boyunca her bir balkabağı örneği için elde edilen verilerden, ağırlık kaybı, su miktarı, su kaybı, katı maddedeki artış hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalar için kullanılan eşitlikler aşağıda gösterilmiştir (Silveira ve diğ., 1996, Shi ve diğ., 1997):

Ağırlık kaybı için;

$$WR = \frac{(M_0 - M_t)}{M_0} \times 100 \quad (4.2)$$

WR: ağırlık kaybı (%),

M_0 : örneğin başlangıç ağırlığı, g

M_t : t zamanındaki örnek ağırlığı, g

Su miktarı için;

$$WC = \frac{M_t X_{su}^t}{M_t X_k^t} \quad (4.3)$$

WC: Su miktarı, g/g kuru madde,

M_t : t zamanındaki örnek ağırlığı, g

X_{su}^t : örneğin t zamanında su oranı, g su/g örnek

X_k^t : örneğin t zamanında katı madde oranı., g km/g örnek

Su kaybı için ;

$$WL = \frac{M_0 X_{su}^0 - M_t X_{su}^t}{M_0 X_k^0} \quad (4.4)$$

WL : Su kaybı, g/g ilk kuru madde,

M_0 : örneğin başlangıç ağırlığı, g

X_{su}^0 : örneğin başlangıçtaki su oranı, g su/g örnek

M_t : t zamanındaki örnek ağırlığı, g

X_{su}^t : örneğin t zamanında su oranı, g su/g örnek

X_k^0 : örneğin başlangıçtaki katı madde oranı, g km/g örnek

Katı maddedeki artış için ;

$$SG = \frac{M_t X_k^t - M_0 X_k^0}{M_0 X_k^0} \quad (4.5)$$

SG : katı maddedeki artış, g/g ilk kuru madde,

M_t : t zamanındaki örnek ağırlığı, g

X_k^t : örneğin t zamanında katı madde oranı, g km/g örnek

M_0 : örneğin başlangıç ağırlığı, g

X_k^0 : örneğin başlangıçtaki katı madde oranı, g km/g örnek

Ozmotik kurutma işlemlerinde, üründen suyun uzaklaştırılması işleminin su difüzyonu mekanizması ile gerçekleştiği varsayılarak, kuruma kinetiği Fick'in ikinci difüzyon kanunundan yararlanılarak tanımlanabilmektedir (Simal ve diğ., 1997, Mayor ve diğ., 2006).

Fick'in ikinci difüzyon kanununa göre, kuruma hızını nem difüzyonunun kontrol ettiği azalan debi sürecinde, kuruma hızı;

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \right) \quad (4.6)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada D (m²/s) etkin difüzyon katsayısıdır ve sabit olduğu varsayılmaktadır. Eşitlikte, X, kuru maddedeki su miktarı, 't' ise kütle transferinin gerçekleştiği zamandır. Eşitlik 4.6'nın, katı maddenin başlangıçtaki su konsantrasyonunun üniform olduğu ve su aktarımına karşı dıştaki direncin içteki dirence kıyasla ihmal edilebileceği, ürün hacminin değişmediği, kurumanın x

yönünde gerçekleştiği varsayılarak, farklı geometrik şekiller için (küp, küre, silindir, sonsuz tabaka) çözümleri yapılmıştır. Aşağıda 2L kalınlığında, küp şeklindeki üründe, kurumanın her iki yüzeyden gerçekleştiği durum için Fick eşitliğinin çözümü gösterilmektedir.

$$MR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D t}{4L^2}\right) \quad (4.7)$$

MR: boyutsuz nem oranı,

D : etkin difüzyon katsayısı, m²/s

L : Kurumanın her iki yüzeyden olduğu durumda dilim kalınlığı,

X_t : t zamanındaki nem içeriği (kuru bazda),

X₀ : başlangıç nem içeriği (kuru bazda),

X_e : denge nem içeriği (kuru bazda).

Uzun kurutma işlemleri için 4.7. nolu eşitliğin sadece 1. terimi önemlidir ve denklem;

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D t}{4L^2}\right) \quad (4.8)$$

şeklini almaktadır. Farklı konsantrasyonlardaki çözeltilerle ozmotik kurutma işlemleri sırasında, balkabağı örnekleri için hesaplanan boyutsuz nem miktarları değerlerinin zamana göre değişim grafikleri yarı logaritmik koordinatlarda çizildiğinde (4.8) numaralı eşitliğe göre, eğim (k), $\pi^2 D / 4L^2$ değerini verir ve bulunan eğimlerden yararlanılarak farklı uygulamalar için difüzyon katsayıları, D, hesaplanabilir.

4.7. Matematiksel Modelleme

Ozmotik kurutma işleminin modellenmesinde Handerson ve Pabis modeli, Lewis modeli ve Page modelleri uygulanmıştır. Uygulanan bu modeller Fick'in ikinci difüzyon kanunu kullanılarak türetilmiş, yarı teorik kurutma modelleridir (Doymaz, 2004b, Doymaz ve Pala, 2002). Henderson ve Pabis modeli;

$$MR = a \exp(-kt) \quad (4.9)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Lewis modeli;

$$MR = \exp(-kt) \quad (4.10)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Page modeli;

$$MR = \exp(-kt^y) \quad (4.11)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Modellerde k (dak^{-1}), y (sabit) ve a (sabit) model sabitleri olup MR boyutsuz nem oranı olarak ifade edilmektedir.

Henderson ve Pabis modeli, Lewis modeli ve Page modellerinin istatistiksel analizi 4.12. ve 4.13. numaralı eşitlikler kullanılarak yapılmıştır.

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{den,i} - MR_{hes,i})^2}{N - z} \quad (4.12)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{hes,i} - MR_{den,i})^2 \right]^{1/2} \quad (4.13)$$

Bu eşitliklerde;

$MR_{den,i}$: deneysel boyutsuz nem oranı,

$MR_{hes,i}$: hesaplanan boyutsuz nem oranı,

N : gözlem sayısı,

Z : modelde bulunan sabit sayısı.

5. BULGULAR VE TARTISMA

Balkabağı örneklerinin yedi saatlik ozmotik kurutma işleminden sonra sahip oldukları yüzde nem ve yüzde katı miktarları tablo 5.1’de verilmektedir. Buna göre ozmotik işlem görmüş balkabağı örneklerinin, çözelti konsantrasyonu arttıkça katı madde miktarı içeriklerinin arttığı, nem miktarlarında azaldığı görülmektedir. Şeker konsantrasyonu %40 olan çözeltilerde kurutulan örnekte katı madde yüzdesi 33,55 nem yüzdesi 66,45 iken, %60 şeker + %2 tuz çözeltisinde kurutulan örneğin katı madde yüzdesi 49,99 nem yüzdesi 50,01 olmuştur.

Tablo 5.1: Balkabağı örneklerinin 7 saatlik ozmotik kurutma sonunda sahip oldukları katı madde ve nem oranları

Konsantrasyon	Katı (%)	Nem (%)
%40 şeker	33,55	66,45
%40 şeker + %0,5 tuz	34,71	65,29
%40 şeker + %1 tuz	36,06	63,94
%40 şeker + %2 tuz	35,84	64,16
%50 şeker	38,11	61,89
%50 şeker + %0,5 tuz	40,74	59,26
%50 şeker + %1 tuz	42,29	57,71
%50 şeker + %2 tuz	44,87	55,13
%60 şeker	46,92	53,08
%60 şeker + %0,5 tuz	46,27	53,73
%60 şeker + %1 tuz	46,38	53,62
%60 şeker + %2 tuz	49,99	50,01

Ağırlık Kaybı

Ozmotik kurutma işleminde ağırlık kaybı önemli bir parametredir. Ağırlık kaybı, örneğin başlangıçtaki ağırlığı ile herhangi bir t zamanındaki ağırlığı arasındaki farkının başlangıç ağırlığına oranının yüzde olarak ifadesidir (eşitlik 4.2). Ozmotik kurutma boyunca balkabağı örneklerinin zamana bağlı olarak yüzde ağırlık değişimleri Ek A’da verilmektedir. Tüm konsantrasyonlardaki balkabağı örneklerinde ağırlık kaybı ozmotik çözeltinin konsantrasyon artışı ve zaman ile artmıştır. Şeker çözeltilerine uygulanan tuz ilavesi ağırlık kaybının artışında etkili

olmuştur. Aynı şeker konsantrasyonuna sahip çözeltiler arasında ozmotik kurutma sonunda ağırlık kaybı tuz artışı ile artmıştır. İlk 30 dakika içerisinde aynı konsantrasyondaki şekere sahip çözeltiler arasında tuz miktarının %0,5 den %1 ve %2 ye çıkartılması ağırlık kaybını büyük oranda etkilemiş, özellikle %50 şeker + %0,5 tuz' dan %50 şeker + %1 tuz' a ve %60 şeker + %0,5 tuz' dan %60 şeker + %1 tuz' a geçerken yaklaşık olarak %100 oranında daha büyük bir ağırlık kaybı gözlenmiştir.

Ozmotik kurutma işlemi ağırlık kaybı açısından, % 60 şeker, %60 şeker + %0,5 tuz, %60 şeker + %1 tuz, %60 şeker + %2 tuz konsantrasyonundaki örnekler için altıncı saatten sonra fazla bir değişime uğramamış ve altı saatlik uygulama yeterli gelmiştir. Hatta %60 şeker + %0,5 tuz ve %60 şeker + %2 tuz çözeltilerinde altıncı saatten sonra ağırlık artışı gözlenmiştir. Buna göre en büyük ağırlık kaybı altıncı saatte %49,13 değeri ile %60 şeker + %2 tuz çözeltisi ile sağlanmıştır. Yine buna çok yakın olarak yedinci saatte de %49,41 değeri ile %60 şeker + %1 tuz çözeltisinde ağırlık kaybı gözlenmiştir.

İstatistiksel analiz sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde, %40 şeker konsantrasyonundaki çözeltilere %0,5, %1 ve %2 düzeylerinde tuz ilavesinin, sadece şeker çözeltisine göre ağırlık kaybı, istatistiksel düzeyde önemli farklar oluşturmakta, fakat %0,5 ile %1 oranlarında tuz ilavesi istatistiksel açıdan farklı sonuç vermemektedir. Tuz ilavesi %50 ve %60'lık şeker çözeltilerinde de fark oluşturmuş, fakat %0,5'lik tuz ilavesi önemli bir fark oluşturmazken, %1 ve %2'lik tuz ilavesi aynı etkiyi yaratmıştır. Bu durumda %50 ve %60'lık şeker çözeltilerinde %2'lik tuz kullanımı yerine %1'lik tuz kullanımı yeterli olmaktadır. Yüksek konsantrasyonda şeker kullanımı yerine, düşük konsantrasyonda şeker çözeltisinde yüksek oranda tuz kullanımının istatistiksel açıdan aynı etkiyi yarattığı çözeltilerde görülmektedir. Buna örnek olarak %40 şeker + %2 tuz, %50 şeker + %2 tuz ve % 60 şeker çözeltileri arasındaki benzer etkiler gösterilebilir. Bu nedenle şeker artışının uygulandığı çözeltilerin kullanımı istatistiksel açıdan önemli olmamaktadır. İstatistiksel sonuçlar Tablo 5.2'de verilmektedir.

Tablo 5.2: Balkabağı örneklerinde 4 saatlik ozmotik kurutma sonunda gözlenen ağırlık kaybı, su kaybı ve katı madde artışı

Konsantrasyon	Ağırlık kaybı (g/100g)	Su kaybı (g/g i.k.m.)	Katı madde artışı (g/g i.k.m.)
%40 şeker	35,13a	10,61ab	24,52a
%40 şeker + %0,5 tuz	41,21bc	10,23ab	30,97bc
%40 şeker + %1 tuz	39,81b	11,68bc	28,12ab
%40 şeker + %2 tuz	49,67e	7,78a	41,89e
%50 şeker	43,29bc	13,91bc	29,39b
%50 şeker + %0,5 tuz	44,39cd	13,73bc	30,66bc
%50 şeker + %1 tuz	48,41e	11,73bc	36,67d
%50 şeker + %2 tuz	49,88e	13,78bc	36,09d
%60 şeker	47,51de	11,12ab	36,37d
%60 şeker + %0,5 tuz	48,48e	15,12c	33,36cd
%60 şeker + %1 tuz	55,36f	12,39bc	42,96e
%60 şeker + %2 tuz	56,08f	13,63bc	42,45e

Aynı sütunda bulunan farklı harflerle gösterilen değerler birbirinden önemli derecede farklıdır (Duncan, $P<0.05$).

Su Miktarı

Su miktarı, örneğin herhangi bir zamandaki kuru madde ve su oranları saptanarak hesaplanmaktadır. Buna göre su miktarı herhangi bir t zamanında örneğin su miktarının t zamanındaki katı madde miktarına oranı olarak tanımlanır (eşitlik 4.3). Buna göre su miktarındaki en büyük değişimin ilk 30 dakika içerisinde gerçekleştiği gözlenmektedir. Bu süre içerisinde su miktarı en düşük konsantrasyonda olan % 40'lık şeker çözeltisi içerisindeki örnekte 7,82 den 4,99 g/g k.m.'e (% 36,12), en yüksek konsantrasyonda olan %60 şeker + %2 tuz içeren çözeltideki örnekte 7,82 den 3,58 g/g k.m.'e (% 54,14) düşmektedir. Dehidrasyonun ilk 30 dakikasından sonraki zamanda ozmotik kurutma daha yavaş ilerlemekte, 60-120 dak arasında %40'lık şeker çözeltisindeki örnekte su miktarı 3,89dan 3,20 g/g k.m.'e (%17,63), %60 şeker + %2 tuz içeren çözeltideki örnekte 2,71'den 1,87 g/g k.m.'e (%30,98) düşmektedir. Farklı konsantrasyonlardaki çözeltielerde ozmotik işlem görmüş örneklerin su miktarlarının zamana karşı değişim değerleri Ek A'da verilmektedir. Farklı konsantrasyonlardaki çözeltielerde örneklerin su miktarlarındaki değişim yüzdelерinin ilk 30 dakika ve 60-120 dakikalar arasındaki değerleri Tablo 5.3'de verilmektedir.

Kowalska ve diğ. (2001) elma, balkabağı ve havucu kullanarak yaptıkları ozmotik kurutma çalışmasında da su miktarındaki en önemli değişimin ilk 30 dakika içerisinde gerçekleştiğini ve bu süre içerisinde 30°C sabit sıcaklıkta % 61,5 şeker

çözeltilisinde balkabağının su miktarındaki düşüşün %50, havucun %47, elmanın %48 değerinde olduğunu belirlemiştir. Ozmotik kurutmanın ileri safhasında balkabağı ve havucun su kaybı başlangıca göre daha yavaş ilerlemiş, 60-180 dakikaları arasında balkabağındaki nem kaybı %41 olurken havuçta %26 olmuştur.

Tablo 5.3: Ozmotik olarak kurutulan balkabağı örneklerinde ilk 30 dakika sonunda ve 60-120 dakikaları arasında su miktarlarındaki değişim oranı

Konsantrasyon	ilk 30 dakika Su miktarı değişimi (%)	60-120 dakika Su miktarı değişimi (%)
%40 şeker	36,12	17,63
%40 şeker + %0,5 tuz	33,77	29,89
%40 şeker + %1 tuz	39,47	16,38
%40 şeker + %2 tuz	40,52	26,01
%50 şeker	43,59	13,13
%50 şeker + %0,5 tuz	45,62	23,18
%50 şeker + %1 tuz	49,40	8,25
%50 şeker + %2 tuz	51,53	25,76
%60 şeker	48,25	31,58
%60 şeker + %0,5 tuz	43,53	19,93
%60 şeker + %1 tuz	49,81	26,93
%60 şeker + %2 tuz	54,14	30,98

Şeker çözeltilerine yapılan düşük miktarlardaki tuz ilavesi su miktarında etkili bir değişim oluşturmıştır. Buna göre artan tuz miktarı ile balkabağı örneğindeki su miktarında düşüş göstermiştir. Lerici ve diğ. (1985)'nin farklı konsantrasyonlardaki şeker ve tuz karışımlarının elmanın ozmotik kurutulması üzerindeki etkisini incelediği çalışmada da tuz konsantrasyonu arttıkça su miktarında kesin bir düşüş gözlenmiştir.

Su Kaybı

Ozmotik kurutma işleminde su kaybı önemli parametrelerden biri olmakta ve herhangi bir t zamanında hesaplanan su miktarı kaybının örneğin başlangıçtaki kuru madde miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır (eşitlik 4.4). Farklı konsantrasyonlardaki örneklerin su kaybı grafikleri şekil 5.1 de gösterilmektedir. Buna göre ilk 30 dakika içerisinde en büyük su kaybının 1,835 g/g i.k.m. değeri ile %60 şeker + %2 tuz karışımında olduğu görülmektedir. Su kaybının altıncı saatte 5,47'den yedinci saatte 5,13 g/g i.k.m'e düştüğü %60 şeker + %2 tuz karışımında ozmotik kurutmanın 6 saatte bittiği görülmektedir. Farklı konsantrasyonlardaki

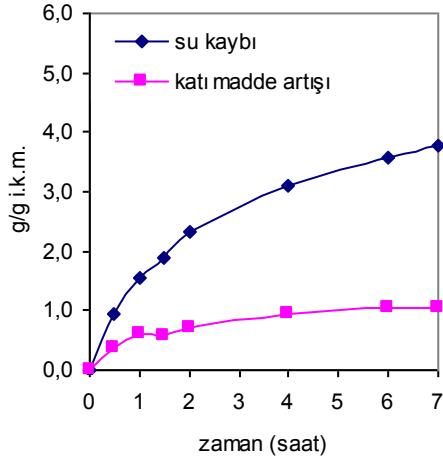
çözeltilerde yedi saatlik ozmotik kurutma boyunca örneklerin su kaybı değişim değerleri Ek A'da verilmektedir.

Kowalska ve ark. (2001)'nin elma, balkabağı ve havucu kullanarak yaptıkları ozmotik kurutma çalışmasında da ilk 30 dakika içerisinde, 30°C sabit sıcaklıkta ve %61,5 şeker çözeltisinde en büyük su kaybı 2,03 g/g i.k.m. değeri ile balkabağında gözlenirken en düşük su kaybı 1,31 g/g i.k.m olarak elmada gözlenmiştir (Kowalska ve Lenart, 2001).

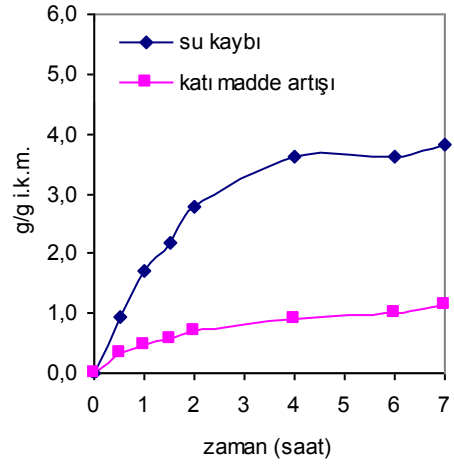
Tuz ilavesinin su kaybı üzerindeki etkisinde, aynı konsantrasyonda şeker çözeltisine sahip çözeltiler arasında tuz ilavesinin %1 ve %2 ye çıkarılması ile zamana bağlı olarak arttığı görülmektedir. Örneğin ilk 1,5 saat sonunda %40 şeker, %40 şeker + %1 tuz, %40 şeker + %2 tuz çözeltilerindeki su kaybı oranı değerlerine bakıldığında değişim sırasıyla 1,897; 2,072; 2,773 g/g i.k.m. şeklinde oluşmuştur. Bu düzenli artış %50 şeker, %50 şeker + %1 tuz, %50 şeker + %2 tuz çözeltileri arasında ve %60 şeker, %60 şeker + %1 tuz, %60 şeker + %2 tuz çözeltileri arasında da görülmektedir. Lerici ve diğ. (1985)'nin farklı konsantrasyonlardaki şeker ve tuz karışımlarının elmanın ozmotik kurutulması üzerindeki etkisini incelediği çalışma da tuzun su kaybı üzerinde belirgin bir değişiklik göstermediğini tespit etmişlerdir.

Şeker konsantrasyonlarındaki artış su kaybı değerlerinde istatistiksel açıdan önemli düzeyde farklılığa neden olmuştur. Şeker konsantrasyonu sabit tutulup çözeltiliye tuz ilavesi ise su kaybı değerlerinde istatistiksel açıdan önemli bir fark oluşturmamıştır. Buna neden olarak tuz ilavesinin katı madde artışına neden olması gösterilebilir. Elde edilen sonuçlar, şeker konsantrasyonu düşük çözeltilere, örneğin %40 şekerli çözeltiliye tuz ilave ederek %50 veya %60 şeker konsantrasyonuna sahip çözeltilerle sağlanan etkinin elde edilebileceğini göstermektedir (Bknz. Tablo 5.2).

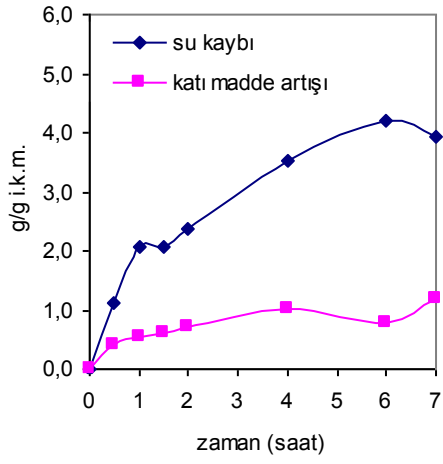
Tüm konsantrasyonlardaki örnekler için su kaybı hızının en yüksek olduğu zaman prosesin başlangıcıdır (Ek A). Proses başlangıcından sonraki ilerleyen zaman aralıklarında hız düşmekte ve zamanla küçük farklılıklar oluşturmaktadır. İlk 30 dakika içerisinde en büyük su kaybı hızı 0,0612 g/(g i.k.m.* dak) değeri ile %60 şeker + %2 tuz karışımından oluşan en yüksek konsantrasyondaki çözelti ile sağlanmıştır.



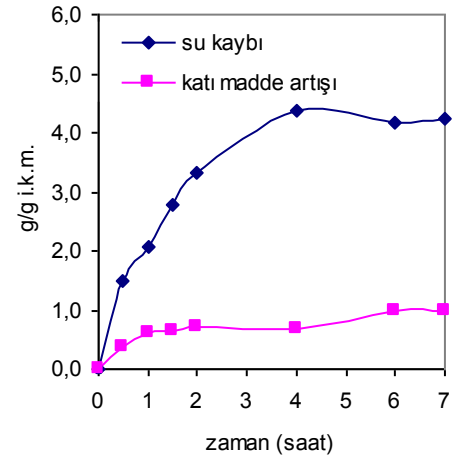
(a)



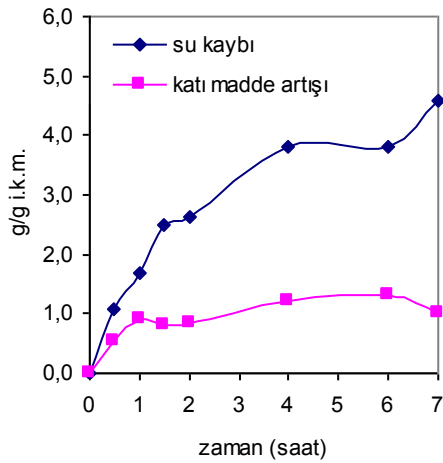
(b)



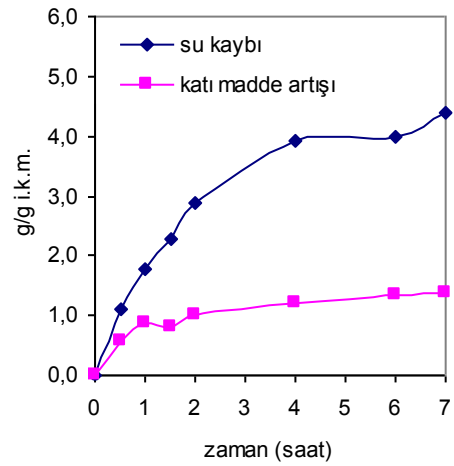
(c)



(d)

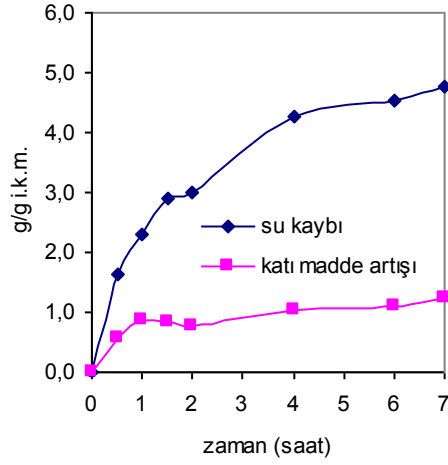


(e)

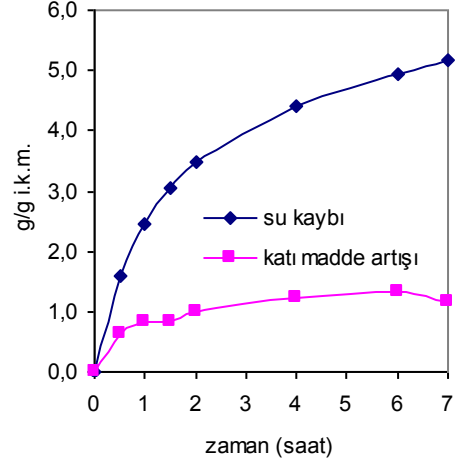


(f)

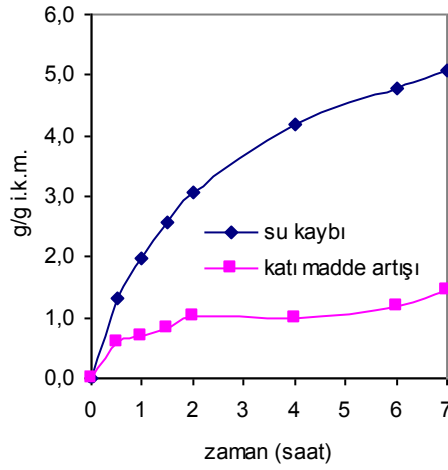
Şekil 5.1: Balkabağı örneklerinin farklı şeker ve tuz konsantrasyonlarındaki katı madde artışı ve su kaybı grafikleri. (a) %40 şeker, (b) %40 şeker + %0.5 tuz, (c) %40 şeker + %1 tuz, (d) %40 şeker + %2 tuz, (e) %50 şeker, (f) %50 şeker + %0.5 tuz



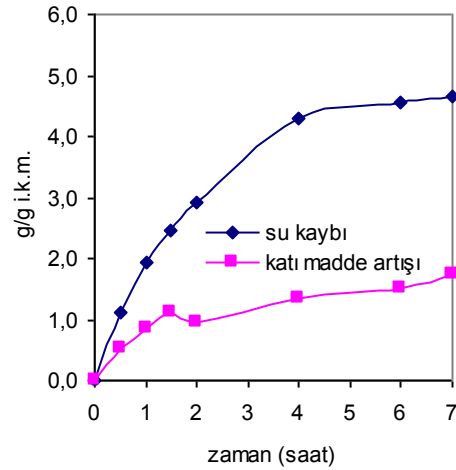
(g)



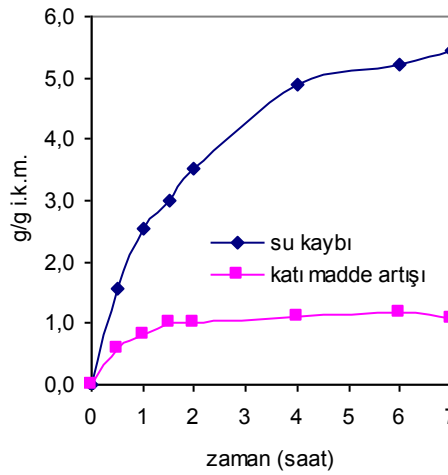
(h)



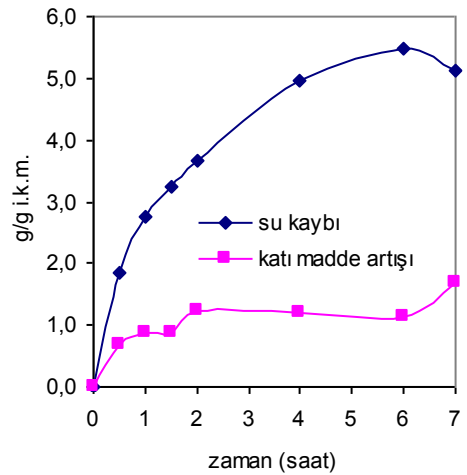
(i)



(j)



(k)



(l)

Şekil 5.1: Balkabağı örneklerinin farklı şeker ve tuz konsantrasyonlarındaki katı madde artışı ve su kaybı grafikleri. (g) %50 şeker + %1 tuz, (h) %50 şeker + %2 tuz, (i) %60 şeker, (j) %60 şeker + %0.5 tuz, (k) %60 şeker + %1 tuz, (l) %60 şeker + %2 tuz

Kowalska ve diğ. (2001)' nın elma, balkabağı ve havucu kullanarak, 30°C sabit sıcaklıkta ve % 61,5 şeker çözeltisinde yaptıkları ozmotik kurutma çalışmasında da ilk 30 dakika sonrasında elde edilen su kaybı hızı balkabağı için 0,032 g/(g i.k.m. * dak), elma için 0,023 g/(g i.k.m. * dak) olmuştur.

Katı Madde Artışı

Katı madde artışı herhangi bir t zamanında hesaplanan katı madde artışı miktarının örneğin başlangıçtaki kuru madde miktarına oranı olarak tanımlanmakta ve eşitlik 4.5'de belirtilen formül ile hesaplanmaktadır. Farklı konsantrasyonlardaki örneklerin katı madde artışı değerleri Ek A'da, zamanla değişim grafikleri şekil 5.1'de gösterilmektedir. Buna göre ilk 30 dakika içerisinde en büyük katı madde artışı 0,66 g/g i.k.m miktarı ile %60 şeker + %2 tuz karışımının uygulandığı örnekte sağlanmıştır.

Kowalska ve diğ. (2001)' nın elma, balkabağı ve havucu kullanarak, 30°C sabit sıcaklıkta ve % 61,5 şeker çözeltisinde yaptıkları ozmotik kurutma çalışmasında da ilk 30 dakika içerisinde, 0,57g/g i.k.m değeri ile en büyük katı madde artışı elmada olmuştur. Balkabağındaki katı madde artışı 0,48 g/g i.k.m. ve en düşük değeri alan havuçta 0.42 g/g i.k.m. olmuştur. Aynı koşullar altında ozmotik çözeltiden sağlanan katı madde artışı işlemin uygulandığı materyale göre değişim göstermektedir. Kısa süreli ozmotik kurutma işlemlerinde farklılıkların elde edilmesi zordur.

Tuz ilavesinin katı madde artışı üzerinde ki etkisi, ağırlık kaybı ve su kaybında gözlemlendiği şekilde istikrarlı bir değişim göstermemektedir. Lerıcı ve diğ. (1985)' nın farklı konsantrasyonlardaki şeker ve tuz karışımlarının elmanın ozmotik kurutulması üzerindeki etkisini incelediği çalışmada da tuzun katı madde artışı üzerinde belirgin bir değişiklik göstermediğini tespit etmişlerdir.

Katı madde artışı istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde ise %40 şeker + %0,5 tuz, %50 şeker + %0,5 tuz, %60 şeker + %0,5 tuz çözeltileri arasında ve %40 şeker + %2 tuz, %60şeker + %2 tuz çözeltileri arasında bir benzerlik oluşmaktadır, bu da bu çözeltilerde şeker artışının katı madde artışında önemli bir etki yaratmadığını göstermektedir. Fakat %50 ve %60'lık şeker çözeltilerinde tuz ilavesinin %0,5'den %1'e yükseltilmesi, %40'lık şeker çözeltisinde ise %0,5 tuz ilavesi ve %1'den %2'ye çıkartılması farklılık oluşturmaktadır (Bknz. Tablo 5.2). Böylece şeker çözeltilerine

tuz ilavesinin yapılmasının istatistiksel açıdan önemli bir fark oluşturduğu görülmektedir.

Tüm konsantrasyonlardaki çözeltilerde bulunan balkabağı örnekleri için en yüksek katı madde artışı hızı ozmotik kurutmanın başlangıcında oluşmuştur (Ek A). Farklı konsantrasyonda ozmotik işleme tabi tutulan örnekler arasındaki en yüksek katı madde artışı hızı ilk 30 dakika içerisinde $0,0223 \text{ g/(g i.k.m. * min)}$ değeri ile en yüksek konsantrasyondaki çözeltiyi oluşturan %60 şeker + %2 tuz çözeltisinde sağlanmaktadır. Tüm konsantrasyonlardaki çözeltiler de yedi saat boyunca yapılan ölçümler sonunda proses başlangıcından bitişine kadar olan süre içerisinde katı madde artışı hızı düşüş göstermektedir.

Kowalska ve diğ. (2001)' nın elma, balkabağı ve havucu kullanarak, 30°C sabit sıcaklıkta ve % 61,5 şeker çözeltisinde yaptıkları ozmotik kurutma çalışmasında da ilk 30 dakika sonrasında elde edilen katı madde artışı hızı balkabağı için $0,0021 \text{ g/(g i.k.m. * dak)}$, elma için $0,0023 \text{ g/(g i.k.m. * dak)}$ ve havuç için $0,0035 \text{ g/(g i.k.m. * dak)}$ olmuştur.

Ozmotik Kurutma Kinetiğinin Modellenmesi

Ozmotik kurutma ile elde edilen deneysel veriler kullanılarak tüm konsantrasyonlardaki balkabağı örneklerinin boyutsuz nem içeriği (MR) değerleri hesaplanmış ve Ek B'de verilmektedir. Buna göre tüm konsantrasyonlardaki balkabağı örneklerinde nem oranı zamana bağlı olarak azalmaktadır. Nem oranı, değişen çözelti konsantrasyonları ile devamlı azalan ya da devamlı artan istikrarlı bir değişim göstermemektedir. İlk 30 dakika sonunda %40'lık şeker çözeltisindeki balkabağı örneğinin boyutsuz nem oranı 0,5163 iken %60 şeker + %2 tuz çözeltisindeki boyutsuz nem oranı 0,3792 olmuştur.

Nem içeriğinin zamanın bir fonksiyonu olarak belirlenmesi için deneysel olarak hesaplanan boyutsuz nem oranları (MR) değerlerine Henderson ve Pabis modeli, Page modeli ve Lewis modeli olmak üzere üç ayrı yarı-teorik difüzyon modeli uygulanmıştır. Üç model için korelasyon katsayıları (R^2), kıkare (X^2) ve hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) değerleri hesaplanmış ve karşılaştırma yapılmıştır. En düşük R^2 değerleri Lewis modelinde elde edilmiştir. Page modelinde korelasyon katsayıları 0,953-0,995 arasında, Henderson ve Pabis modelinde 0,930-0,989 arasında değişmektedir. Tüm modellere ait hesaplanan MR değerleri Ek B'de

verilmektedir. Hesaplanan korelasyon katsayıları arasında en yüksek değerlere sahip olan model Page modeli olmuştur. En düşük kıkare (X^2) ve hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) değerlerine de sahip olan model yine Page modeli olmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiği zaman en yüksek korelasyon katsayılarına ve en düşük kıkare ve RMSE değerlerine sahip Page modeli en iyi model olmaktadır. Modeller için hesaplanan korelasyon katsayıları (R^2), kıkare (X^2) ve hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) değerleri ve model sabitleri k (dak^{-1}), a (sabit), y (sabit) değerleri tablo 5.4 ve 5.5’de verilmektedir. Deneysel sonuçlardan elde edilen MR değerleri ile en iyi korelasyonu veren Page modelinden elde edilen MR değerlerinin tüm konsantrasyonlardaki karşılaştırmalı grafikleri şekil 5.2’de verilmektedir.

Tablo 5.4: Henderson ve Pabis, Lewis ve Page Model sabitleri ve R^2 değerleri

Konsantrasyon	Henderson ve Pabis Model			Lewis Model		Page Model		
	k (dak^{-1})	a (sabit)	R^2	k (dak^{-1})	R^2	k (dak^{-1})	R^2	y (sabit)
%40 şeker	0,0102	0,7649	0,984	0,0113	0,961	0,0170	0,977	0,6957
%40 şeker + %0,5 tuz	0,0090	0,6893	0,937	0,0106	0,885	0,0163	0,988	0,7207
%40 şeker + %1 tuz	0,0084	0,6613	0,931	0,0101	0,857	0,0175	0,973	0,6197
%40 şeker + %2 tuz	0,0128	0,7357	0,989	0,0141	0,970	0,0202	0,995	0,7419
%50 şeker	0,0109	0,6439	0,944	0,0127	0,894	0,0207	0,968	0,6627
%50 şeker + %0,5 tuz	0,0094	0,6067	0,942	0,0115	0,854	0,0204	0,984	0,6033
%50 şeker + %1 tuz	0,0088	0,5728	0,932	0,0111	0,809	0,0216	0,966	0,5312
%50 şeker + %2 tuz	0,0137	0,7509	0,970	0,0149	0,956	0,0223	0,953	0,6769
%60 şeker	0,0078	0,6203	0,941	0,0098	0,827	0,0189	0,983	0,5416
%60 şeker + %0,5 tuz	0,0103	0,6810	0,973	0,0119	0,929	0,0191	0,985	0,6727
%60 şeker + %1 tuz	0,0124	0,6729	0,984	0,0141	0,951	0,0221	0,989	0,6734
%60 şeker + %2 tuz	0,0104	1,8278	0,947	0,0084	0,903	0,0229	0,988	0,5905

Tablo 5.5: Henderson ve Pabis, Lewis ve Page Modeli istatistik parametreleri

Konsantrasyon	Henderson ve Pabis Model		Page Model		Lewis Model	
	X^2	RMSE	X^2	RMSE	X^2	RMSE
%40 şeker	0,01313	0,09683	0,00082	0,02420	0,01524	0,10432
%40 şeker + %0,5 tuz	0,02055	0,12117	0,00030	0,01466	0,01489	0,10312
%40 şeker + %1 tuz	0,02436	0,13191	0,00085	0,02470	0,02477	0,13302
%40 şeker + %2 tuz	0,01484	0,10295	0,00025	0,01344	0,01194	0,09235
%50 şeker	0,02685	0,13848	0,00092	0,02557	0,02167	0,12442
%50 şeker + %0,5 tuz	0,03247	0,15229	0,00086	0,02479	0,02911	0,14421
%50 şeker + %1 tuz	0,03919	0,16732	0,00139	0,03154	0,04011	0,16927
%50 şeker + %2 tuz	0,01587	0,10645	0,00027	0,01379	0,01771	0,11247
%60 şeker	0,03104	0,14891	0,00083	0,02433	0,03550	0,15924
%60 şeker + %0,5 tuz	0,02211	0,12567	0,00070	0,02238	0,01991	0,11925
%60 şeker + %1 tuz	0,02278	0,12757	0,00038	0,01649	0,01937	0,11762
%60 şeker + %2 tuz	0,51237	0,60496	0,00079	0,02371	0,08354	0,24428

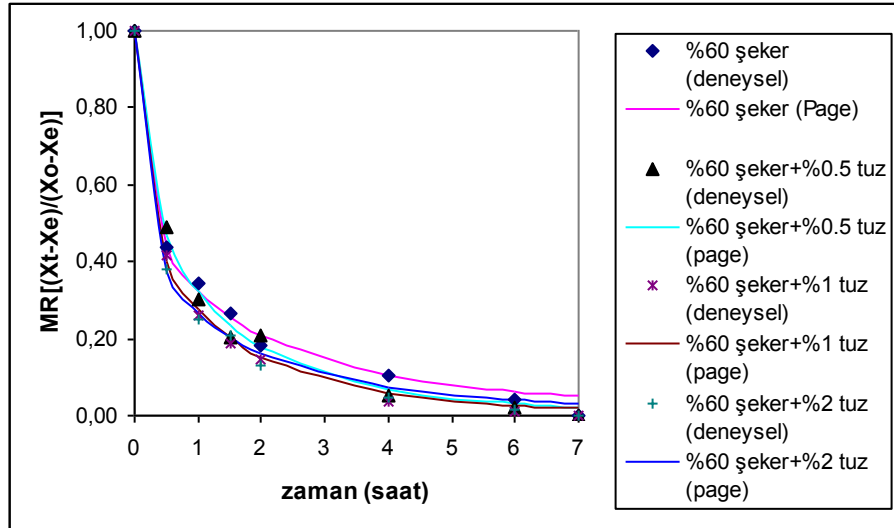
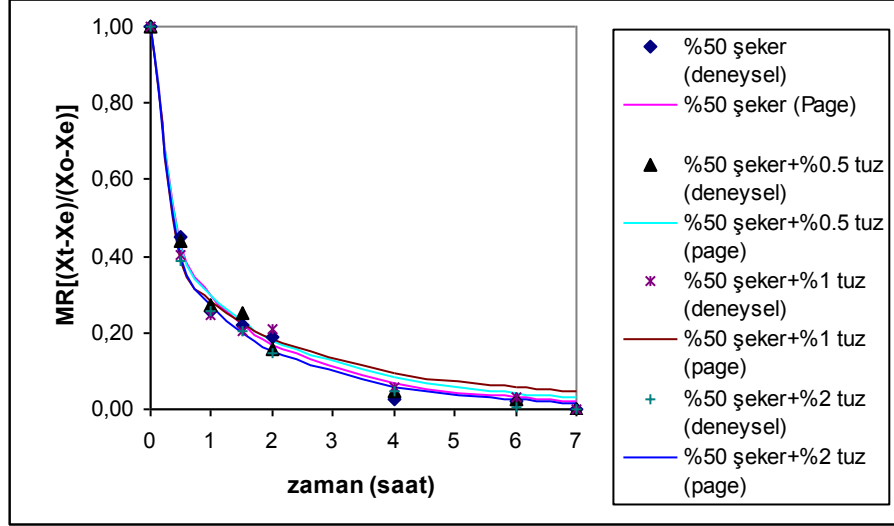
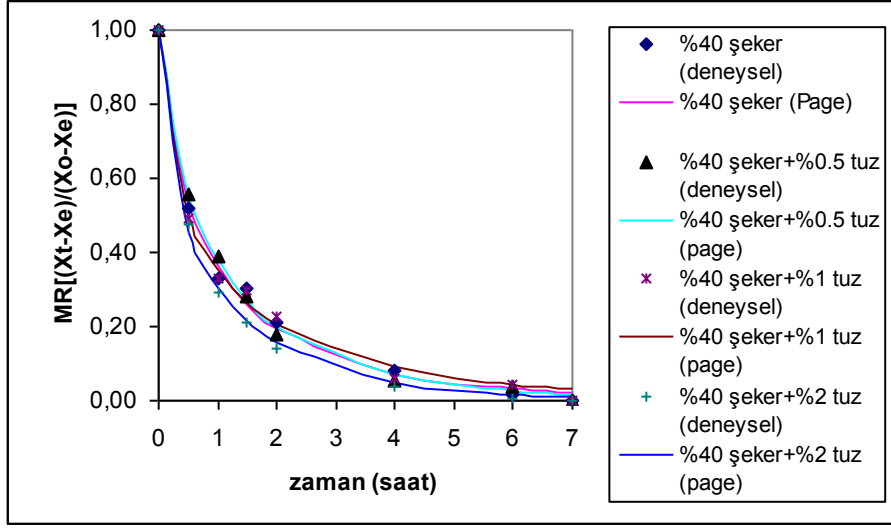
Tablo 5.6’da farklı tuz ve şeker konsantrasyonlarındaki çözeltilerde ozmotik kurutma işlemi görmüş balkabağı örnekleri için hesaplanan difüzyon katsayısı değerleri verilmektedir. Hesaplanan difüzyon katsayıları, kaynaklarda gıda ürünleri için verilen difüzyon katsayıları aralığı olan 10^{-11} - 10^{-9} m²/s değerleri arasındadır (Doymaz, 2004a).

Tablo 5.6: Farklı ozmotik çözeltilerde kurutulan balkabağı için hesaplanan etkin difüzyon katsayısı değerleri

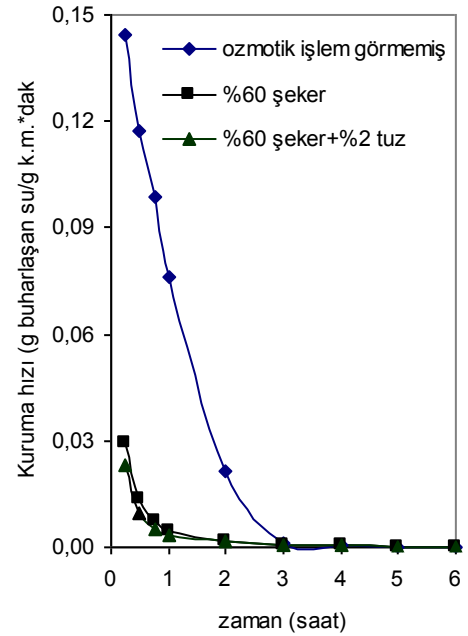
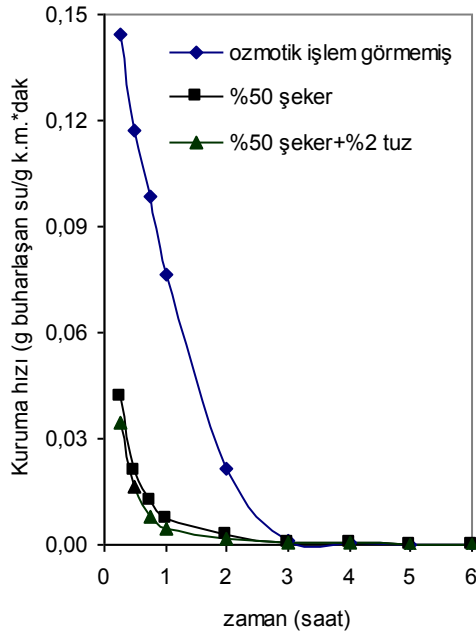
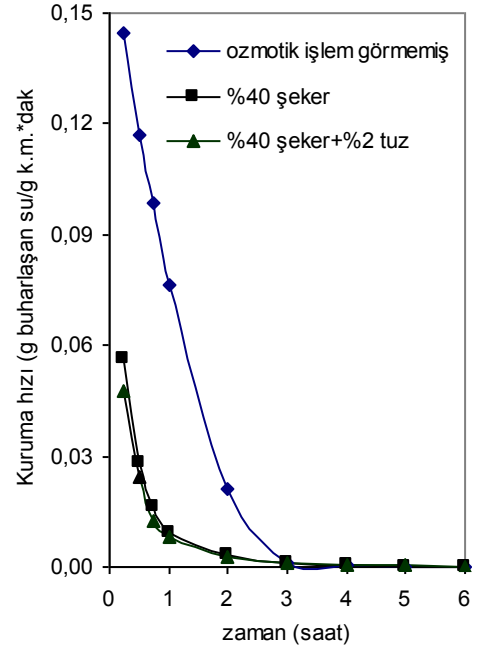
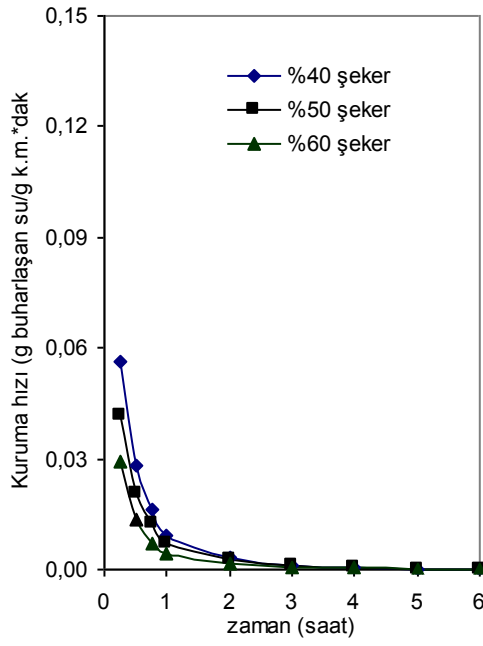
Konsantrasyon	Difüzyon katsayısı ($\times 10^{-9}$ m ² /s)
%40 şeker	6,88
%40 şeker + %0,5 tuz	6,07
%40 şeker + %1 tuz	5,68
%40 şeker + %2 tuz	8,62
%50 şeker	7,36
%50 şeker + %0,5 tuz	6,31
%50 şeker + %1 tuz	5,92
%50 şeker + %2 tuz	9,28
%60 şeker	5,29
%60 şeker + %0,5 tuz	6,96
%60 şeker + %1 tuz	8,37
%60 şeker + %2 tuz	7,02

Ozmotik Ön-Kurutmanın Sıcak Hava İle Kurutma Üzerine Etkisi

Ozmotik işlem görmüş balkabağı örneklerinin sıcak hava ile tünel kurutucuda kurutulması sırasındaki nem miktarlarının zamana bağlı değişim değerleri Ek C’de gösterilmektedir. Ozmotik kurutma işlemi görmüş balkabağı örneklerin için şeker konsantrasyonundaki artış ile aynı şeker konsantrasyonunda tuz ilavesi kuruma hızlarında düşüşe ve dolayısıyla kuruma süresinin uzamasına neden olmaktadır. Kuruma hızlarının zamana karşı değişim grafikleri şekil 5.3’de, değerleri ise Ek C’de verilmektedir. Yapılan hesaplamalara göre aynı sıcaklıkta kurutulan ozmotik işlem görmemiş olan balkabağı örneğinin, ozmotik işlem görmüş örneklere göre kuruması daha hızlı gerçekleşmiştir.



Şekil 5.2: Page modelinden hesaplanan ve deneyisel MR (boyutsuz nem içeriği) değerlerinin karşılaştırılması



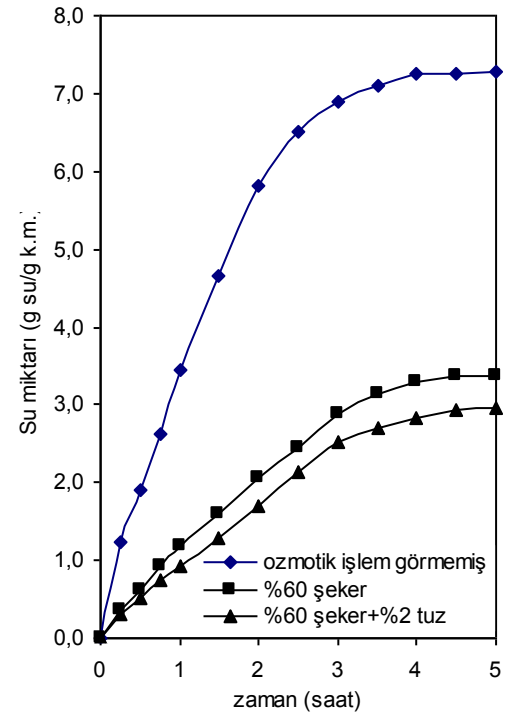
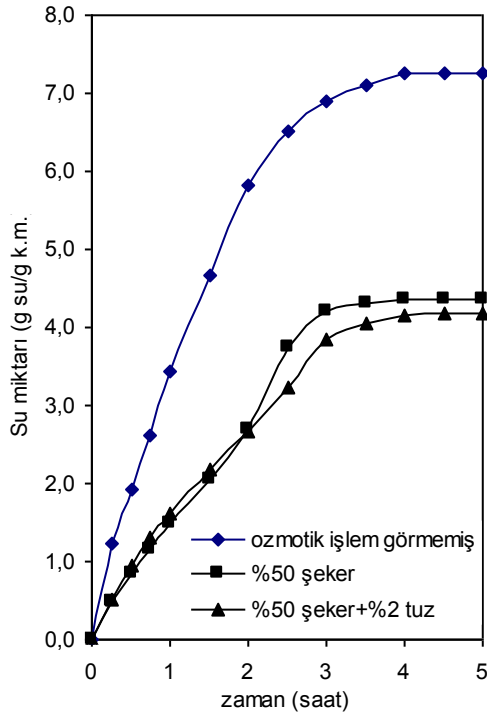
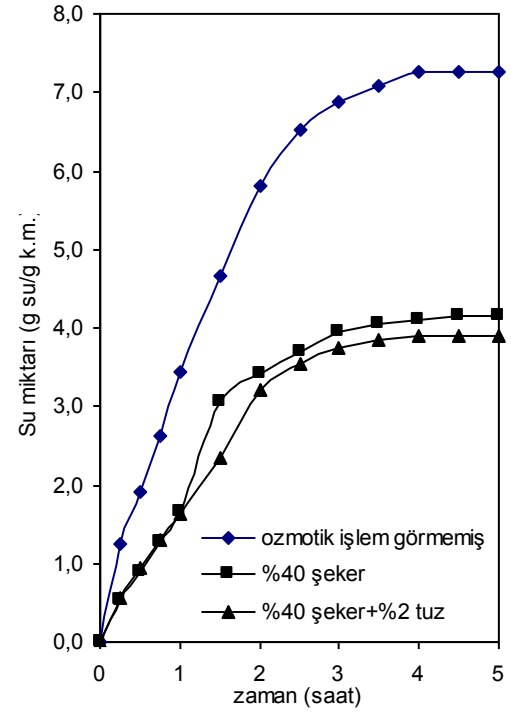
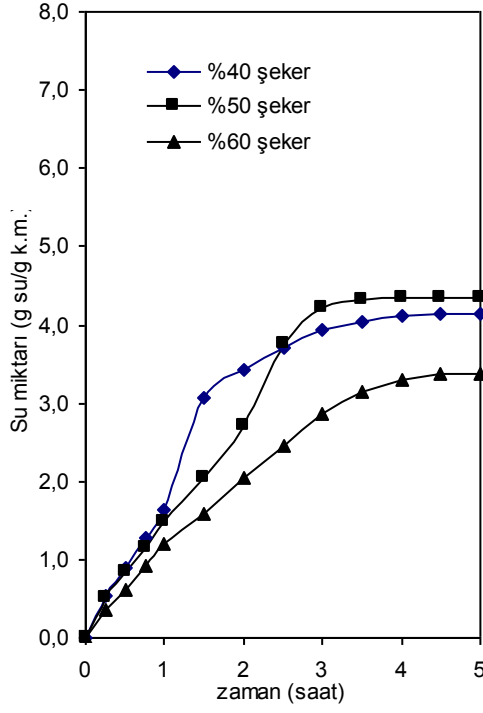
Şekil 5.3: Osmotik işlem görmüş balkabağı örneklerinin sıcak hava ile kurutulması sırasında oluşan kuruma hızı grafikleri

Ozmotik Ön-Kurutmanın Tekrar Su Alma Üzerine Etkisi

Ozmotik işlem ve sıcak hava ile kurutma yapılan balkabağı örneklerinin, rehidrasyon sırasında aldıkları su miktarı, g su/g kuru madde cinsinden, zamanın fonksiyonu olarak hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir (şekil 5.4). Sonuçlar Ek C’de gösterilmektedir. Buna göre ozmotik çözelti konsantrasyonunun en yüksek değer olan %60 şeker + %2 tuz’dan en düşük konsantrasyondaki %40 şeker’e düşmesi ile balkabağı örneklerinin tekrar su alma oranlarında bir yükselme görülmektedir. Şeker ve tuz ilaveli örnekler karşılaştırıldığında, %40 şeker, %50 şeker, % 60 şeker konsantrasyonundaki çözeltilere %2 tuz ilavesi yapılarak konsantrasyon artışı sağlandığı zaman su absorplanmasında bir düşüş gözlenmektedir. Sadece şeker çözeltileri içinde ozmotik işlem görmüş örnekler karşılaştırıldığı zaman yine en düşük rehidrasyon oranı %60 şeker çözeltisinde görülmektedir. %2 tuz ilaveli şeker çözeltilerinde ozmotik kurutma işlemi görmüş balkabağı örnekleri karşılaştırıldığı zaman yine en düşük rehidrasyon oranının %60 şeker + %2 tuz konsantrasyonundaki çözeltide olduğu görülmektedir.

Maximum nem absorpsiyonu ozmotik işlem görmemiş olan balkabağı örneğinde görülmektedir. Bunun sebebi olarak yüksek konsantrasyonlardaki çözeltilerle ozmotik ön-kurutma müdahalesini göstermek mümkündür. Ozmotik stresden dolayı kurutulmuş ürünün hücre geçirgenliği etkilenmiş ve ozmotik kurutma ürünün rehidrasyon özelliklerini etkilemiştir. Böylece ozmotik işlem görmüş örneklerin hücrelerinin ozmotik işlem görmemiş kontrol örneği kadar su absorblamasını beklemek mümkün değildir (Rastogi ve diğ., 2004). Ozmotik kurutmanın uygulandığı çözeltiler arasında en düşük konsantrasyondaki çözelti olan %40’lık şeker çözeltisi en az hücre ve hücre duvarı zararına neden olduğundan en fazla su absorpsiyonu bu çözeltide işlem gören balkabağı örneklerinde görülmektedir.

Düşük konsantrasyonlarda ki şeker çözeltileri minimum düzeyde hasar vermekte, kurutmanın oluşturduğu minimum hücre duvarı hasarları gibi minimum düzeyde hücre kopmaları oluşturmaktadır. Aynı zamanda dokuda yapısal ve mekanik bir kuvvet oluşturmaktadır. Şekerin hücre bileşenleri üzerinde ki etkisi üzerine yapılan bir araştırmada, proteinin işlevselliğinin korunduğu ve üç boyutlu yapısını stabilize ettiği; hidrofobik etkileşimlerin arttığı ve protein-şeker kompleksinin oluşumuna rağmen hidrofilik özelliklerin görüldüğü belirtilmektedir. Başka bir araştırmaya göre disakkaritler kuru halde genel protein yapısını sürdürmekte böylece membran



Şekil 5.4: Ozmotik işlem görmüş balkabağı örneklerinin tekrar su alma sırasındaki su miktarı değişim grafikleri

korunmakta ve rehidrasyon ile fonksiyonelliği devam etmektedir. Bu, düşük konsantrasyonlardaki sukroz çözeltisinin tekrar su alma sırasındaki su absorpsiyonu kapasitesini arttırmasıyla ilişkilendirilebilmektedir (Rastogi ve diğ., 2004). Rastogi ve ark. (2004), ozmotik işlem görmüş havuç dilimlerinin rehidrasyonunda yaptıkları çalışmada, 0-10°Briks konsantrasyonda ozmotik ön işleme tabi tutulan örneklerin ozmotik işlem görmemiş örneklerden daha fazla su absorbe ettiği, 20°Briks'in üzerinde bir konsantrasyonla ozmotik işlem görmüş örneklerin ise daha az su absorbe ettiği gözlenmiştir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada balkabağının ticari şeker kullanılarak ozmotik ön kurutma yöntemi ile kurutulmasında şeker çözeltilerine az miktarlarda tuz ilavesi yapılmasının etkili olduğu ve şeker konsantrasyonlarındaki artış ile sağlanan etkilerin düşük konsantrasyondaki şeker çözeltilerine %0.5 veya %1 oranında tuz ilave edilerek sağlanabileceği gözlenmiştir.

Ozmotik kurutmanın matematiksel modellenmesi için yarı-teorik Henderson ve Pabis modeli, Lewis modeli ve Page modeli denenmiş ve R^2 , X^2 ve RMSE değerleri incelendiğinde ozmotik kurutma kinetiğinin Page modeli ile modellenebileceği anlaşılmıştır. Hesaplanan difüzyon katsayılarının $5,29-9,28 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$ aralığında olduğu görülmüştür. Difüzyon katsayıları şeker konsantrasyonu sabit olan çözeltilerde tuz konsantrasyonunun %0,5'den %2'ye çıkması ile artmış, en yüksek difüzyon katsayısı %50 şekerli çözeltiye %2 tuz ilave edildiği zaman elde edilmiştir. Şeker konsantrasyonunu artırarak daha fazla ağırlık kaybı sağlamak mümkünse de aynı etkinin %40 şekerli çözeltiye %0.5 veya %1 tuz ilave ederek de sağlanabileceği istatistiksel olarak gösterilmiştir. Bu sonuç, ozmotik kurutma işleminde kuruma derecesini etkilemeden, daha az şeker kullanımı nedeniyle ekonomik kazanç sağlanabileceğini göstermesi bakımından önemlidir. Farklı ürünlerin, bu çalışmada önerilen şekilde, ozmotik olarak kurutulurken, elde edilen sonuçların başka ürünler için de geçerli olup olmadığının incelenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada ayrıca, ozmotik kurutmada kullanılan çözeltilere bağlı olarak, ozmotik kurutma işleminden sonra yapılan sıcak hava ile kurutma sırasında, kuruma hızının ve kurutulmuş örneğin tekrar su alma özelliklerinin değiştiği saptanmıştır. Ozmotik çözeltinin konsantrasyonunun artması sıcak hava ile kurutmada kurutma hızını azaltıp, kurutma süresinin uzamasına neden olmaktadır. Aynı zamanda ozmotik çözelti konsantrasyonu arttıkça rehidrasyon kapasitesi düşük bir ürün elde edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akwaowo, E. U., Ndon, B.A., Etuk, E. U.,** 2000, Minerals and antinutrients in fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook f.) *Food Chemistry*, 70, 235-240.
- Anon.** 2005. USDA National Nutrient Data base for Standard Reference <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp>
- Azuara, E. Garcia, H. S. ve Beristam, C. I.,** 1996, Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples, *Food Research International*, 29, 195-199.
- Ben-Amotz, A. ve Fishier, R.,** 1998, Analysis of carotenoids with emphasis on 9-*cis* β -carotene in vegetables and fruits commonly consumed in Israel, *Food Chemistry*, 62, 515-520.
- Beristam, C., Azuara, E., Corte's, R. ve Garcia, H. S.,** 1990, Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings, *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 576-582.
- Bogatyrev, V. A., Shchyogolev, S. Y., Dykman, L. A., Shkodina, O. G., Ptitchkina, N. M.,** 1998, Supramolecular structure of gel-forming systems of pectins of different origin, *Food Hydrocolloids*, 12, 309-312.
- Bolin, H. R., Huxsoll, C. C. , Jackson, R. ve Ng, K. C.,** 1983, Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality, *Journal of Food Scienc*, 48, 202-205.
- Dixon, G.M., Jen, J.J, Paynter, V.A.,** 1976, Tasty apple slices result from combined osmotic dehydration and vacuum-drying process, Dept. of Food Science Clemson University, Clemson, S.C.
- Doymaz, I.,** 2004a, Drying behaviour of green beans, *Journal of Food Engineering*, In Pres
- Doymaz, I.,** 2004b, Convective air drying characteristics of thin layer carrots, *Journal of Food Engineering*, 61, 359-364.

- Doymaz, I., Pala, M.,** 2002, Hot air drying characteristics of red pepper, *Journal of Food Engineering*, 55, 331-335.
- El-Adawy, T. A. ve Taha, K. M.,** 2001, Characteristics and composition of watermelon, pumpkin and paprika seed oils and flours, *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 49, 1253-1259.
- Giangiacomo, R., Torreggiani, D. ve Abbo, E.,** 1987, Sugar exchange between fruit and extracting syrups, *Journal of Food Processing and Preservation*, 11, 183-195.
- Gündüz, Y. ve Şahbaz, F.,** 1998, Ozmotik Kurutma, *Gıda Dergisi*, 36-39.
- Hawkes, J. ve Flink, J.M.,** 1978, Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration, *Journal of Food Processing and Preservation*, 2, 265-28
- Jayaraman, K.S., Gupta, D.K.D., Rao, N.B.,** 1990, Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower, *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 47-60
- Kamnev, A.A., Colina, M., Rodriguez, J., Ptitchkina, N. M., Ignatov, V.V.,** 1998, Comparative spectroscopic characterization of different pectins and their sources, *Food Hydrocolloids*, 12, 263-271.
- Kowalska, H. ve Lenart, A.,** 2001, Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables, *Journal of Food Engineering*. 49, 137-140.
- Krokida, M., K., Marinos-Kouris, D.,** 2003, Rehydration kinetics of dehydrated products, *Journal of Food Engineering*. 57, 1-7.
- Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z.B., Marinos-Kouris, D.,** 2003, Drying kinetics of some vegetables, *Journal of Food Engineering*, 59, 391-403.
- Kumar, H.P., Radhakrishna, K., Nagaraju, P.K. ve Rao, D.V.,** 2001, Effect of combination drying on the physico-chemical characteristics of carrot and pumpkin, *Journal of Food Processing Preservation*, 25, 447-460.
- Lerici, C. R., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M. ve Bartolucci, L.,** 1985, Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality, *Journal of Food Science*, 50, 1217-1219.

- Lewicki, P.P.**, 1998, Some remarks on rehydration of dried foods, *Journal of Food Engineering*, 36, 81-87.
- Maskan, M.**, 2001, Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying, *Journal of Food Engineering*, 48, 177-182
- Mauro, M. A. ve Menegalli, F. C.**, 1995, Evaluation of diffusion coefficient in osmotic concentration of bananas, *International Journal of Food Science and Technology*. 30, 199-215.
- Mavroudis, N. E., Vassilis G. ve Sjöholm, I.**, 1998, Osmotic dehydration of apples: Effect of agitation and raw material characteristics, *Journal of Food Engineering*, 35, 191-209.
- Mayor, L., Moreira, R., Chenlo, F. ve Sereno, A.M.**, 2006, Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions, *Journal of Food Engineering*, 74, 253-262
- Murkovic, M., Hillebrand, A., Winkler, J., Pfannhauser, W.**, 1996, Development of pumpkin seed for production of edible oil: distribution of tocopherols in breeding lines, *Food Chemistry*. 57, 58.
- Murkovic, M., Mülleder, U., Neunteufl, H.**, 2002, Carotenoid Content in Different Varieties of Pumpkins, *Journal of Food Composition and Analysis*, 15, 633-638
- Park, K.J., Bin, A., Brod, F.P.R. ve Park, T.H.K.B.**, 2002, Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.), *Journal of Food Engineering*, 52, 293-298.
- Ponting, J.D., Watters, G.G., Forrey, R.R., Jackson, R. ve Stanley, W.L.**, 1966, Osmotic dehydration of fruits, *Food Technology*, 20, 125-128.
- Prothon, F., Ahrne, L. M., Funebo, T., Kidman, S., Langton, M., Sjöholm, I.**, 2001, Effects of combined osmotic and Microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics, *LWT- Food Science and Technology*, 34, 95-101.
- Ptitchkina, N. M., Novokreschonova, L. V., Piskunova, G.V., Morris, E.R.**, 1998, Large enhancements in loaf volume and organoleptic acceptability of wheat

bread by small additions of pumpkin powder: possible role of acetylated pectin in stabilising gas-cell structure, *Food Hydrocolloids*, 12, 333-337.

Rastogi, N. K. ve Raghavarao, K. S. M. S., 1995, Kinetics of osmotic dehydration of coconut, *Journal of Food Process Engineering*, 18, 187-197.

Rastogi, N. K., Nayak, C.A., Raghavarao, K. S. M. S., 2004, Influence of osmotic pre-treatments on rehydration characteristics of carrots, *Journal of Food Engineering*, 65, 287-292.

Sablani, S. S. Ve Rahman, M. S., 2003, Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango, *Food Research International*. 36, 65-71.

Salvatori, D., Andres, A., Chiralt, A., Fito, P., 1999a, Osmotic dehydration progression in apple tissue I: spatial distribution of solutes and moisture content, *Journal of Food Engineering*, 42, 125-132.

Salvatori, D., Andres, A., Chiralt, A., Fito, P., 1999b, Osmotic dehydration progression in apple tissue II: generalized equations for concentration prediction, *Journal of Food Engineerin*, 42, 133-138.

Saurel, R. Raoult-Wack, Anne-Lucie, Rios, G. ve Guilbert, S., 1994, Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple 1. Fresh plant tissue, *International Journal of Food Science and Technology*, 29, 531-542.

Seo, J. S., Burri, B.J., Quan, Z., Neidlinger, T.R., 2005, Extraction and chromatography of carotenoids from pumpkin, *Journal of Chromatography A*, 1073, 371-375.

Shi, J. X., Maguer, M. L., Wang, S. L., Liptay, A., 1998, Application of osmotic treatment in tomato processing- effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes, *Food Research International*, 30, 669-674.

Shkodina, O., G., Zeltser, O. A., Selivanov, N. Y., Ignatov, V. V., 1998, Enzymic extraction of pectin preparations from pumpkin, *Food Hydrocolloids*, 12, 313-316.

- Siegmund, B. ve Murkovic, M.**, 2004, Changes in chemical composition of pumpkin seeds during the roasting process for production of pumpkin seed oil (Part 2: volatile compounds), *Food Chemistry*, 84, 367-374.
- Silveira, E. T. F., Rahman, M. S. ve Buckle, K.A.**, 1996, Osmotic dehydration of pineapple: kinetics and product quality, *Food Research International*, 29, 227-233.
- Simal, S., Benedito, J. Sa'nchez, E. S. ve Rossello', C.**, 1998, Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 36, 323-336.
- Simal, S., Deya, E., Frau, M. ve Rossello, C.**, 1997, Simple Modelling of Air Drying Curves of Fresh and Osmotically Pre-dehydrated Apple Cubes, *Journal of Food Engineering*, 33, 139-150
- Singh, S., Shivhare, U. S., Ahmed, J. ve Raghavan G. S. V.**, 1999, Osmotic concentration kinetics and quality of carrot preserve, *Food Research International*, 32, 509-514.
- Torreggiani, D., Forni, F. ve Rizzolo, A.**, 1987, Influence of the osmosis time on the stability of processed cherries, *Journal of Food Processing and Preservation*, 12, 27-44.
- Torreggiani, D.**, 1993, Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing, *Food Research International*, 26, 59-68.
- Torreggiani, D.**, 1994, Technological Aspects of Osmotic Dehydration in Foods, "Food Preservation by Moisture Control Fundamentals and Applications", 281-295, Technomic Publishing Company, Inc., A.B.D
- Torrina, E., Esveld, E., Scheewe, I., Berg, R. , Bartels, P.**, 2001, Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms, *Journal of Food Engineering*, 49, 185-191.
- Wenzl, T., Prettnner, E., Schweiger, K., Wagner, F.S.**, 2002, An improved method to discover adulteration of Styrian pumpkin seed oil, *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 53, 193-202.

Tablo A.1: Balkabağı örneklerinin farklı ozmotik çözeltiler içinde zamana karşı değişen ağırlık kaybı değerleri (g/100g)

zaman (saat)	%40 şeker	%40 şeker + %0,5 tuz	%40 şeker + %1 tuz	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %0,5 tuz	%50 şeker + %1 tuz	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %0,5 tuz	%60 şeker + %1 tuz	%60 şeker + %2 tuz
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	6,34	6,77	8,17	12,62	6,21	6,06	12,33	10,58	8,18	6,88	11,19	13,21
1	10,50	13,96	17,30	16,52	8,73	10,22	15,94	18,23	14,45	12,21	19,74	21,43
1,5	14,98	18,17	16,54	24,01	19,11	16,53	23,70	25,11	19,88	15,05	22,68	26,82
2	18,40	23,42	18,87	29,54	20,18	21,15	25,16	28,25	22,82	22,31	28,45	27,67
4	24,52	30,97	28,13	41,89	29,39	30,66	36,68	36,10	36,38	33,36	42,96	42,46
6	28,47	29,67	38,64	35,84	28,29	30,15	38,99	40,96	40,97	34,58	46,01	49,14
7	30,78	30,24	31,29	36,81	40,67	34,30	39,97	45,13	40,99	32,96	49,41	39,03

Tablo A.2: Balkabağı örneklerinin farklı ozmotik çözeltiler içinde zamana karşı değişen su miktarı değerleri (g/g k.m.)

zaman (saat)	%40 şeker	%40 şeker + %0,5 tuz	%40 şeker + %1 tuz	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %0,5 tuz	%50 şeker + %1 tuz	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %0,5 tuz	%60 şeker + %1 tuz	%60 şeker + %2 tuz
0	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83
0,5	5,00	5,18	4,74	4,65	4,41	4,26	3,96	3,79	4,05	4,42	3,93	3,59
1	3,90	4,18	3,78	3,55	3,22	3,20	2,95	2,94	3,43	3,17	2,90	2,72
1,5	3,76	3,55	3,57	3,05	2,98	3,06	2,70	2,59	2,90	2,52	2,40	2,42
2	3,21	2,93	3,16	2,63	2,79	2,46	2,71	2,18	2,35	2,54	2,12	1,88
4	2,44	2,20	2,12	2,03	1,80	1,77	1,75	1,55	1,83	1,52	1,41	1,31
6	2,09	2,12	2,05	1,84	1,74	1,64	1,56	1,26	1,40	1,29	1,21	1,11
7	1,98	1,88	1,77	1,79	1,62	1,45	1,37	1,23	1,13	1,16	1,16	1,00

Tablo A.3: Balkabağı örneklerinin farklı ozmotik çözeltiler içinde zamana karşı değişen su kaybı değerleri (g/g i.k.m.)

zaman (saat)	%40 şeker	%40 şeker + %0,5 tuz	%40 şeker + %1 tuz	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %0,5 tuz	%50 şeker + %1 tuz	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %0,5 tuz	%60 şeker + %1 tuz	%60 şeker + %2 tuz
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,94	0,93	1,13	1,48	1,08	1,11	1,65	1,58	1,33	1,12	1,58	1,84
1	1,54	1,70	2,06	2,08	1,68	1,79	2,29	2,44	1,98	1,94	2,56	2,76
1,5	1,90	2,19	2,07	2,77	2,48	2,27	2,91	3,06	2,57	2,46	3,01	3,26
2	2,34	2,79	2,39	3,32	2,64	2,88	3,00	3,48	3,05	2,91	3,54	3,66
4	3,10	3,64	3,51	4,38	3,82	3,92	4,27	4,40	4,19	4,28	4,89	4,95
6	3,56	3,61	4,19	4,16	3,81	4,00	4,55	4,93	4,79	4,57	5,22	5,47
7	3,77	3,81	3,95	4,25	4,58	4,39	4,77	5,16	5,06	4,65	5,43	5,13

Tablo A.4: Balkabağı örneklerinin farklı ozmotik çözeltiler içinde zamana karşı değişen katı madde artışı değerleri (g/g i.k.m.)

zaman (saat)	%40 şeker	%40 şeker + %0,5 tuz	%40 şeker + %1 tuz	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %0,5 tuz	%50 şeker + %1 tuz	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %0,5 tuz	%60 şeker + %1 tuz	%60 şeker + %2 tuz
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,38	0,33	0,41	0,36	0,53	0,58	0,56	0,65	0,61	0,52	0,59	0,67
1	0,61	0,47	0,53	0,62	0,91	0,89	0,88	0,83	0,70	0,86	0,81	0,87
1,5	0,58	0,59	0,61	0,66	0,80	0,81	0,82	0,84	0,81	1,13	1,01	0,89
2	0,71	0,72	0,72	0,72	0,86	1,01	0,78	0,99	1,04	0,94	1,02	1,22
4	0,94	0,90	1,03	0,69	1,23	1,21	1,04	1,22	0,98	1,34	1,09	1,20
6	1,05	0,99	0,78	1,00	1,31	1,34	1,11	1,31	1,17	1,52	1,16	1,14
7	1,05	1,14	1,19	1,00	1,00	1,36	1,24	1,17	1,45	1,74	1,07	1,69

Tablo A.5: Balkabağı örneklerinin farklı ozmotik çözeltiler içinde zamana karşı değişen su kaybı hızı değerleri (g/g i.k.m.* dak)

zaman (saat)	%40 şeker	%40 şeker + %0,5 tuz	%40 şeker + %1 tuz	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %0,5 tuz	%50 şeker + %1 tuz	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %0,5 tuz	%60 şeker + %1 tuz	%60 şeker + %2 tuz
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	0,0312	0,0310	0,0378	0,0493	0,0359	0,0371	0,0550	0,0527	0,0442	0,0375	0,0526	0,0612
1	0,0201	0,0257	0,0307	0,0200	0,0201	0,0225	0,0212	0,0287	0,0217	0,0271	0,0326	0,0307
1,5	0,0119	0,0164	0,0006	0,0232	0,0268	0,0162	0,0209	0,0206	0,0196	0,0173	0,0152	0,0167
2	0,0146	0,0199	0,0105	0,0183	0,0052	0,0202	0,0030	0,0141	0,0161	0,0151	0,0174	0,0135
4	0,0064	0,0071	0,0094	0,0088	0,0099	0,0087	0,0106	0,0077	0,0095	0,0114	0,0112	0,0107
6	0,0038	-0,0002	0,0056	-0,0019	-0,0001	0,0007	0,0023	0,0044	0,0050	0,0025	0,0028	0,0043
7	0,0035	0,0032	-0,0040	0,0015	0,0130	0,0065	0,0037	0,0039	0,0046	0,0012	0,0035	-0,0056

48

Tablo A.6: Balkabağı örneklerinin farklı ozmotik çözeltiler içinde zamana karşı değişen katı madde artışı hızı değerleri (g/g i.k.m.* dak)

zaman (saat)	%40 şeker	%40 şeker + %0,5 tuz	%40 şeker + %1 tuz	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %0,5 tuz	%50 şeker + %1 tuz	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %0,5 tuz	%60 şeker + %1 tuz	%60 şeker + %2 tuz
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	0,0126	0,0110	0,0138	0,0121	0,0176	0,0193	0,0187	0,0215	0,0202	0,0172	0,0197	0,0223
1	0,0078	0,0045	0,0039	0,0085	0,0127	0,0103	0,0106	0,0062	0,0033	0,0114	0,0074	0,0065
1,5	-0,0013	0,0040	0,0028	0,0012	-0,0038	-0,0024	-0,0020	0,0004	0,0036	0,0089	0,0066	0,0008
2	0,0046	0,0044	0,0037	0,0020	0,0020	0,0066	-0,0013	0,0048	0,0075	-0,0063	0,0004	0,0110
4	0,0019	0,0015	0,0026	-0,0002	0,0031	0,0017	0,0021	0,0019	-0,0005	0,0033	0,0006	-0,0001
6	0,0009	0,0008	-0,0021	0,0026	0,0007	0,0010	0,0006	0,0008	0,0016	0,0016	0,0005	-0,0006
7	0,0001	0,0024	0,0068	0,0000	-0,0052	0,0003	0,0023	-0,0023	0,0046	0,0036	-0,0015	0,0092

Tablo B.1: Ozmotik çözeltiler içinde kurutulan balkabağı için hesaplanan deneysel MR değerleri

zaman (saat)	%40 şeker	%40 şeker + %0,5 tuz	%40 şeker + %1 tuz	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %0,5 tuz	%50 şeker + %1 tuz	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %0,5 tuz	%60 şeker + %1 tuz	%60 şeker + %2 tuz
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,5	0,5163	0,5554	0,4897	0,4746	0,4499	0,4396	0,4017	0,3888	0,4360	0,4888	0,4156	0,3792
1	0,3277	0,3865	0,3309	0,2911	0,2568	0,2742	0,2455	0,2589	0,3430	0,3013	0,2619	0,2515
1,5	0,3051	0,2802	0,2961	0,2092	0,2189	0,2522	0,2064	0,2062	0,2645	0,2045	0,1865	0,2078
2	0,2101	0,1764	0,2287	0,1382	0,1887	0,1577	0,2078	0,1443	0,1814	0,2065	0,1447	0,1282
4	0,0787	0,0538	0,0573	0,0400	0,0282	0,0490	0,0589	0,0479	0,1047	0,0536	0,0376	0,0450
6	0,0187	0,0397	0,0454	0,0074	0,0187	0,0285	0,0304	0,0040	0,0406	0,0190	0,0081	0,0153
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tablo B.2: Page modeline göre hesaplanmış MR değerleri

zaman (saat)	%40 şeker	%40 şeker + %0,5 tuz	%40 şeker + %1 tuz	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %0,5 tuz	%50 şeker + %1 tuz	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %0,5 tuz	%60 şeker + %1 tuz	%60 şeker + %2 tuz
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,5	0,5276	0,5521	0,4955	0,4543	0,4289	0,4235	0,3870	0,3993	0,4448	0,4670	0,4032	0,3744
1	0,3598	0,3758	0,3495	0,3039	0,2967	0,3009	0,2844	0,2746	0,3252	0,3217	0,2777	0,2676
1,5	0,2598	0,2695	0,2626	0,2140	0,2180	0,2281	0,2237	0,2002	0,2544	0,2351	0,2029	0,2042
2	0,1936	0,1993	0,2044	0,1551	0,1656	0,1790	0,1822	0,1509	0,2062	0,1776	0,1532	0,1614
4	0,0710	0,0701	0,0896	0,0504	0,0658	0,0814	0,0958	0,0579	0,1063	0,0689	0,0593	0,0754
6	0,0302	0,0284	0,0457	0,0189	0,0304	0,0429	0,0580	0,0258	0,0631	0,0311	0,0267	0,0408
7	0,0204	0,0187	0,0337	0,0119	0,0214	0,0322	0,0465	0,0179	0,0502	0,0216	0,0185	0,0310

Tablo B.3: Henderson ve Pabis modeline göre hesaplanmış MR değerleri

zaman (saat)	%40 şeker	%40 şeker + %0,5 tuz	%40 şeker + %1 tuz	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %0,5 tuz	%50 şeker + %1 tuz	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %0,5 tuz	%60 şeker + %1 tuz	%60 şeker + %2 tuz
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,5	0,5635	0,5263	0,5139	0,5016	0,4643	0,4583	0,4403	0,4972	0,4903	0,4998	0,4640	1,3378
1	0,4151	0,4019	0,3993	0,3419	0,3348	0,3462	0,3385	0,3293	0,3876	0,3669	0,3199	0,9791
1,5	0,3058	0,3069	0,3102	0,2331	0,2414	0,2615	0,2602	0,2180	0,3063	0,2693	0,2205	0,7166
2	0,2252	0,2344	0,2411	0,1589	0,1741	0,1975	0,2000	0,1444	0,2421	0,1976	0,1521	0,5245
4	0,0663	0,0797	0,0879	0,0343	0,0471	0,0643	0,0699	0,0278	0,0945	0,0573	0,0344	0,1505
6	0,0195	0,0271	0,0320	0,0074	0,0127	0,0209	0,0244	0,0053	0,0369	0,0166	0,0078	0,0432
7	0,0106	0,0158	0,0193	0,0034	0,0066	0,0120	0,0144	0,0023	0,0231	0,0090	0,0037	0,0231

Tablo B.4: Lewis modeline göre hesaplanmış MR değerleri

zaman (saat)	%40 şeker	%40 şeker + %0,5 tuz	%40 şeker + %1 tuz	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %0,5 tuz	%50 şeker + %1 tuz	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %0,5 tuz	%60 şeker + %1 tuz	%60 şeker + %2 tuz
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,5	0,7122	0,7286	0,7375	0,6558	0,6822	0,7093	0,7166	0,6387	0,7442	0,6993	0,6559	0,7774
1	0,5072	0,5309	0,5439	0,4301	0,4654	0,5031	0,5135	0,4080	0,5539	0,4890	0,4302	0,6044
1,5	0,3612	0,3868	0,4012	0,2821	0,3175	0,3568	0,3680	0,2606	0,4122	0,3419	0,2821	0,4698
2	0,2572	0,2818	0,2959	0,1850	0,2166	0,2531	0,2637	0,1664	0,3068	0,2391	0,1850	0,3652
4	0,0662	0,0794	0,0875	0,0342	0,0469	0,0641	0,0695	0,0277	0,0941	0,0572	0,0342	0,1334
6	0,0170	0,0224	0,0259	0,0063	0,0102	0,0162	0,0183	0,0046	0,0289	0,0137	0,0063	0,0487
7	0,0086	0,0119	0,0141	0,0027	0,0047	0,0082	0,0094	0,0019	0,0160	0,0067	0,0027	0,0294

EK C: Ozmotik işlem görmüş örneklerin sıcak hava ile kurutma ve tekrar su alma sonuçları

Tablo C.1: Sıcak hava ile kurutmada nem miktarı değişimi (g su/ g k.m.)

zaman (saat)	Ozmotik işlem görmemiş	%40 şeker	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %2 tuz
0	7,8261	1,9806	1,7902	1,6240	1,2287	1,1313	1,0004
0,25	5,6588	1,1399	1,0773	0,9989	0,7119	0,6889	0,6541
0,5	3,9019	0,7177	0,7115	0,6865	0,4665	0,4889	0,5121
0,75	2,4217	0,4717	0,5221	0,5023	0,3491	0,3799	0,4345
1	1,2775	0,3322	0,4042	0,3928	0,2790	0,3125	0,3835
2	-0,0056	0,1383	0,2417	0,2336	0,1805	0,2081	0,2894
3	-0,0826	0,0840	0,1909	0,1835	0,1474	0,1675	0,2490
4	-0,1007	0,0625	0,1660	0,1585	0,1279	0,1470	0,2279
5	-0,1100	0,0500	0,1498	0,1444	0,1165	0,1348	0,2148
6	-0,1152	0,0403	0,1422	0,1345	0,1085	0,1233	0,2026

Tablo C.2: Sıcak hava ile kurutmada kuruma hızı değerleri (g buharlaşan su/g k.m.*dak)

zaman (saat)	Ozmotik işlem görmemiş	%40 şeker	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %2 tuz
0	-	-	-	-	-	-	-
0,25	0,1445	0,0560	0,0475	0,0417	0,0345	0,0295	0,0231
0,5	0,1171	0,0281	0,0244	0,0208	0,0164	0,0133	0,0095
0,75	0,0987	0,0164	0,0126	0,0123	0,0078	0,0073	0,0052
1	0,0763	0,0093	0,0079	0,0073	0,0047	0,0045	0,0034
2	0,0214	0,0032	0,0027	0,0027	0,0016	0,0017	0,0016
3	0,0013	0,0009	0,0008	0,0008	0,0006	0,0007	0,0007
4	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004
5	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
6	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002

Tablo C.3: Tekrar su alma sırasında değişen su miktarı değerleri (g su/g k.m.)

zaman (saat)	Ozmotik işlem görmemiş	%40 şeker	%40 şeker + %2 tuz	%50 şeker	%50 şeker + %2 tuz	%60 şeker	%60 şeker + %2 tuz
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	1,2391	0,5286	0,5604	0,4986	0,5121	0,3478	0,2997
0,5	1,9158	0,8999	0,9462	0,8516	0,9464	0,6111	0,5067
0,75	2,6272	1,2818	1,2950	1,1551	1,3158	0,9229	0,7449
1	3,4411	1,6459	1,6272	1,4951	1,6198	1,1928	0,9156
1,5	4,6644	3,0624	2,3558	2,0443	2,1919	1,5853	1,2959
2	5,8173	3,4246	3,2195	2,7047	2,6660	2,0550	1,6977
2,5	6,5152	3,7043	3,5313	3,7486	3,2321	2,4510	2,1361
3	6,8867	3,9435	3,7431	4,2085	3,8366	2,8683	2,5278
3,5	7,0955	4,0425	3,8596	4,3087	4,0631	3,1423	2,6954
4	7,2630	4,1040	3,9083	4,3500	4,1477	3,2847	2,8225
4,5	7,2661	4,1495	3,8984	4,3515	4,1695	3,3653	2,9224
5	7,2675	4,1461	3,8997	4,3491	4,1754	3,3671	2,9474

ÖZGEÇMİŞ

Dilek Gürbüz, 1979 yılında Almanya’da doğdu. İlk öğrenimini Reşat Nuri Güntekin İlkokulu’nda, orta ve lise öğrenimini Kazım İşmen Lisesi’nde tamamladı. 1997 senesinde girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi’nde okuduğu İngilizce Hazırlık ile birlikte, Kimya Lisans Bölümü’nden 2002 yılında mezun oldu. 2002-2003 öğretim yılı kış döneminde İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakóltesi, Gıda Mühendisliđi programında yüksek lisans öğrenimine başladı.