

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYISININ OSMOTİK DEHİDRASYONU
VE
KURUTMAYA ETKİSİ**

Ayşe İSPİR

Tez Yöneticisi :
Doç. Dr. İnci TÜRK TOĞRUL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYISININ OSMOTİK DEHİDRASYONU
VE
KURUTMAYA ETKİSİ**

Ayşe İSPİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : Doç.Dr. İnci TÜRK TOĞRUL

Üye :

Üye :

Üye :

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Tez çalıőmamın planlanıp yűrűtűlmesinde yardımlarını hiç esirgemedен bűtűn destekleriyle her an her konuda yanımda olan Sayın Hocam Doç. Dr. İnci TÖRK TOĐRUL'a en samimi duygularımıla teőekkűr ederim.

Ayşe İSPİR

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
ÇİZELGELER (TABLOLAR) LİSTESİ	X
EKLER LİSTESİ	XI
SİMGELER LİSTESİ	XII
ÖZET	XIV
ABSTRACT	XV
1. GİRİŞ	1
2. OSMOTİK DEHİDRASYON.....	3
2.1. Osmotik Dehidrasyonun Tanımı ve Osmotik Dehidrasyon Olayı	3
2.2. Osmotik Dehidrasyon Boyunca Kütle Transfer Olayı	5
2.2.1. Madde İçinde ve Dışında Kütle Transferi	6
2.2.2. Fickian Difüzyon Yaklaşımı	7
2.2.3. Osmotik Dehidrasyon Boyunca Kütle Transfer İşleminin Teorik Analizi	9
2.2.4. Osmotik Dehidrasyon Boyunca Kütle Transfer İşleminin Denge Dağılım Katsayısı Üzerine Etkisinin Teorik Analizi	11
2.2.5. Osmotik Dehidrasyon Kütle Transfer Hızını Etkileyen Faktörler	12
2.2.5.1. Osmotik Maddenin Tipi	12
2.2.5.2. Osmotik Çözelti Konsantrasyonu	14
2.2.5.3. Osmotik İşlemin Süresi ve Sıcaklığı	15
2.2.5.4. Örnek/Çözelti Oranı	15
2.2.5.5. Örnek Geometrisi ve Karakteristikleri	16
2.2.5.6. Osmotik Çözeltinin Karıştırılması	16

2.2.5.7. Örneğe Osmotik İşlem Öncesi Uygulanan İşlemler.....	16
2.3. Osmotik Dehidrasyon İşleminin Ürün Üzerindeki Etkileri.....	17
2.3.1. Sorpsiyon Özelliğine Etkisi.....	17
2.3.2. Kuruma Davranışına Etkisi.....	17
2.3.3. Kalite Özelliği Üzerine Etkisi.....	18
2.4. Osmotik Dehidrasyonun Avantajları.....	18
3. OSMOTİK DEHİDRASYONUN ENDÜSTRİDE KULLANIMI.....	21
3.1. Osmotik İşlem Ekipmanlarının Çalışma İlkeleri.....	21
3.2. Gıdanın Çözelti İçerisine Daldırılması-Karıştırmaz Sistemler.....	22
3.3. Gıdanın Çözelti İçerisine Daldırılması-Sürekli Karıştırmalı Sistemler.....	23
3.4. Gıdanın Çözelti İçine Daldırılması-Kesikli Karıştırmalı Sistemler.....	25
3.5. Diğer Sistemler.....	26
4. MATERYAL VE METOD.....	28
4.1. Materyal.....	28
4.2. Deneysel Yöntem ve Deneyin Yapılışı.....	28
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	32
5.1. Osmotik Dehidrasyonda Kesikli ve Sürekli Sistemin Mukayesesi.....	32
5.2. Osmotik Dehidrasyonda Durgun ve Çalkalamalı Sistemin Mukayesesi.....	33
5.3. Osmotik Dehidrasyona Sıcaklığın Etkisi.....	34
5.4. Osmotik Madde Cinsi ve Konsantrasyonunun Etkisi.....	36
5.5. Ön İşlem Uygulamanın Etkisi.....	39
5.6. Örnek/Çözelti Oranının Etkisi.....	42
5.7. Madde Büyüklüğünün Etkisi.....	43
5.8. Ön İşlemden Sürenin Etkisi.....	44
5.9. Osmotik Dehidrasyonda Büzülme.....	45

5.10. Osmotik Dehidrasyon Kinetiği	51
5.10.1. Farklı Madde ve Farklı Konsantrasyonlar İçin D_w , D_s , k_w , k_s Değerleri.....	52
5.10.2. D_w , D_s , k_w , k_s 'in Sıcaklıkla Değişimi	55
5.10.3. D_w , D_s , k_w , k_s 'e Örnek/Çözelti Oranının Etkisi.....	59
5.10.4. Farklı Ön İşlem Uygulamanın D_w , D_s , k_w , k_s 'e Etkisi.....	61
5.11. Denge Dağılım Katsayıları.....	65
5.12. Deneylerin Standart Sapması	69
5.13. Kurutma	71
5.14. Kurutma Sırasında Etkin Difüzyon Katsayıları	81
6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85
KAYNAKLAR	88
EKLER	96

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Hüresel Bir Madde Osmotik Bir Çözelti İçine Daldırıldığı Zaman Meydana Gelen Kütle Transfer Modeli.....	4
Şekil 2.2. Osmotik Çözelti İçerisine Hüresel Madde Daldırıldığında Su Uzaklaştırılması ve Osmotik Çözünen Kazanımı	4
Şekil 3.1. Osmotik Dehidrasyon ve Zenginleştirme İşlemlerinde Kullanılan İlkeler	21
Şekil 3.2. Ürünün Çözelti İçerisine Karıştırma ve Çözelti Yenilenmesi Olmadan Daldırılması	22
Şekil 3.3. Gıdanın Çözelti İçerisindeki Yavaş Hareketi İlkesi	23
Şekil 3.4. Gıdanın Çözelti İçerisine Daldırıldığı Sürekli Karıştırmalı Sistemler (Kesikli Sistemde Süzgeçli Sabit Yatak İlkesi)	24
Şekil 3.5. Gıdanın Çözelti İçerisine Daldırıldığı Sürekli Karıştırmalı Sistemler (Gıdanın Karşıt Akımla İlerlediği Hareketli Süzgeçli Yatak İlkesi)	24
Şekil 3.6. Gıdanın Çözelti İçerisine Daldırıldığı Kesikli Karıştırmalı Sistemler (Gıdanın Hidrolik Karıştırılması İlkesi)	25
Şekil 3.7. Gıdanın Çözelti İçerisine Daldırıldığı Kesikli Karıştırmalı Sistemler (Gıda ve Çözeltinin Birlikte Yer Değiştirmesiyle Daldırma İlkesi).....	26
Şekil 3.8. Çok Tabakalı Islatma İlkesi	27
Şekil 5.1. Kayısların Sürekli Sistem ve Kesikli Sistem Koşullarında Osmotik Dehidrasyonunda Ağırlık Kaybı (ML) Değerlerinin Zamanla Değişimi	32
Şekil 5.2. Kayısların Karıştırmalı ve Statik (Durgun) Koşullarda Osmotik Dehidrasyonunda Ağırlık Kaybının Osmotik İşlem Süresiyle Değişimi	33
Şekil 5.3 (a). Kayısların %70 Glikoz Çözeltisi İçinde Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerlerine Sıcaklığın Etkisi.....	34
Şekil 5.3 (b). Kayısların %70 Fruktoz Çözeltisi İçinde Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerlerine Sıcaklığın Etkisi.....	34

Şekil 5.3 (c). Kayısların %70 Sakaroz Çözeltisi İçinde Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerlerine Sıcaklığın Etkisi.....	35
Şekil 5.3 (d). Kayısların %70 Maltodekstrin Çözeltisi İçinde Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerlerine Sıcaklığın Etkisi	35
Şekil 5.4 (a). Farklı Konsantrasyonlarda Sakaroz Çözeltisi İçinde Daldırılan Kayısların Zamanla Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerleri	36
Şekil 5.4 (b). Farklı Konsantrasyonlarda Glikoz Çözeltisi İçinde Daldırılan Kayısların Zamanla Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerleri	36
Şekil 5.4 (c). Farklı Konsantrasyonlarda Fruktoz Çözeltisi İçinde Daldırılan Kayısların Zamanla Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerleri	37
Şekil 5.4 (d). Farklı Konsantrasyonlarda Maltodekstrin Çözeltisi İçinde Daldırılan Kayısların Zamanla Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerleri	37
Şekil 5.4 (e). Farklı Konsantrasyonlarda Fruktoz Çözeltisi İçinde Daldırılan Kayısların Zamanla Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerleri	37
Şekil 5.4 (f). Kayısların %70 Konsantrasyondaki Sakaroz, Fruktoz, Maltodextrin, Glikoz ve Sorbitol Çözeltisi İçinde Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı Değerlerinin Osmotik İşlem Süresine Karşı Değişimi	39
Şekil 5.5 (a). Kayısların %70 Konsantrasyondaki Fruktoz Çözeltisi İçinde Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerlerine Ön İşlemin Etkisi.....	40
Şekil 5.5 (b). Kayısların %70 Konsantrasyondaki Glikoz Çözeltisi İçinde Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerlerine Ön İşlemin Etkisi.....	40
Şekil 5.5 (c). Kayısların %70 Konsantrasyondaki Sakaroz Çözeltisi İçinde Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerlerine Ön İşlemin Etkisi.....	41
Şekil 5.5 (d). Kayısların %70 Konsantrasyondaki Maltodekstrin Çözeltisi İçinde Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerlerine Ön İşlemin Etkisi	41

Şekil 5.5 (e). Kayısların %70 Konsantrasyondaki Sorbitol Çözeltisi İçinde Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerlerine Ön İşlemin Etkisi.....	42
Şekil 5.6 (a). Kayısların %70 Konsantrasyondaki Glikoz Çözeltisi İçinde Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerlerine Örnek/Çözelti Oranının Etkisi.....	42
Şekil 5.6 (b). Kayısların %70 Konsantrasyondaki Maltodextrin Çözeltisi İçinde Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Değerlerine Örnek/Çözelti Oranının Etkisi	43
Şekil 5.7 (a). %70 Fruktoz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyona Tabi Tutulan Kayısı Örneklerinin Çap, Uzunluk, Hacim ve Yoğunluğunda Meydana Gelen Değişme	46
Şekil 5.7 (b). %70 Glikoz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyona Tabi Tutulan Kayısı Örneklerinin Çap, Uzunluk, Hacim ve Yoğunluğunda Meydana Gelen Değişme	47
Şekil 5.7 (c). %70 Maltodextrin Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyona Tabi Tutulan Kayısı Örneklerinin Çap, Uzunluk, Hacim ve Yoğunluğunda Meydana Gelen Değişme	48
Şekil 5.7 (d). %70 Sakaroz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyona Tabi Tutulan Kayısı Örneklerinin Çap, Uzunluk, Hacim ve Yoğunluğunda Meydana Gelen Değişme	49
Şekil 5.7 (e). %70 Sorbitol Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyona Tabi Tutulan Kayısı Örneklerinin Çap, Uzunluk, Hacim ve Yoğunluğunda Meydana Gelen Değişme	50
Şekil 5.8 (a). Kayısların Glikoz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarının Çözelti Konsantrasyonu İle Değişimi	52

Şekil 5.8 (b). Kayısların Fruktoz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarının Çözelti Konsantrasyonu İle Değişimi	53
Şekil 5.8 (c). Kayısların Sakaroz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarının Çözelti Konsantrasyonu İle Değişimi	53
Şekil 5.8 (d). Kayısların Maltodextrin Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarının Çözelti Konsantrasyonu İle Değişimi	54
Şekil 5.8 (e). Kayısların Sorbitol Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarının Çözelti Konsantrasyonu İle Değişimi	54
Şekil 5.9 (a). Kayısların Glikoz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarına Ortam Sıcaklığının Etkisi	55
Şekil 5.9 (b). Kayısların Fruktoz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarına Ortam Sıcaklığının Etkisi	56
Şekil 5.9 (c). Kayısların Sakaroz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarına Ortam Sıcaklığının Etkisi	56
Şekil 5.9 (d). Kayısların Maltodextrin Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarına Ortam Sıcaklığının Etkisi	57
Şekil 5.10 (a). Kayısların Glikoz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarına Örnek/Çözelti Oranının Etkisi.....	59

Şekil 5.10 (b). Kayısların Maltodextrin Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarına Örnek/Çözelti Oranının Etkisi	60
Şekil 5.11 (a). Kayısların Fruktoz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarına Farklı Ön İşlem Uygulamanın Etkisi	61
Şekil 5.11 (b). Kayısların Glikoz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarına Farklı Ön İşlem Uygulamanın Etkisi	62
Şekil 5.11 (c). Kayısların Sakaroz Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarına Farklı Ön İşlem Uygulamanın Etkisi	63
Şekil 5.11 (d). Kayısların Maltodextrin Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarına Farklı Ön İşlem Uygulamanın Etkisi.....	64
Şekil 5.11 (e). Kayısların Sorbitol Çözeltisinde Osmotik Dehidrasyonu Sırasında Difüzyon Katsayıları ve Kütle Transfer Katsayılarına Farklı Ön İşlem Uygulamanın Etkisi	65
Şekil 5.12. Denge Dağılım Katsayılarının Osmotik Çözelti Konsantrasyonu İle Değişimi	66
Şekil 5.13. Denge Dağılım Katsayılarının Sıcaklık İle Değişimi	66
Şekil 5.14. Denge Dağılım Katsayılarının Örnek/Çözelti Oranı İle Değişimi.....	67
Şekil 5.15. Denge Dağılım Katsayılarının Osmotik Dehidrasyon Öncesi Uygulanan Ön İşlemlerle Değişimi	68
Şekil 5.16. Osmotik Dehidrasyon Uygulamadan Ön İşlemsiz ve Ön İşlemliler Olarak Kurutulmuş Kayısların Kuruma Davranışı	71

Şekil 5.17. Farklı Konsantrasyonlarda Osmotik Çözeltilerle Muamele Edilmiş Kayısların Nem Oranındaki Değişme.....	73
Şekil 5.18. Farklı Konsantrasyonlarda Osmotik Çözeltilerle Muamele Edilmiş Kayısların Nem Oranındaki Değişme	74
Şekil 5.19. % 70'lik Farklı Osmotik Çözeltilerle Muamele Edilmiş Kayısların Zamanla Nem Oranındaki ve Kuruma Hızındaki Değişim.....	75
Şekil 5.20. Farklı Ön İşlem Uygulanmış Kayısların Kuruma Eğrileri.....	76
Şekil 5.21. Farklı Ön İşlem Uygulanmış Kayısların Kuruma Hızlarının Zamanla Değişimi	77
Şekil 5.22. Glikoz Çözeltilisinde Farklı Örnek/Çözelti Oranlarında Osmotik Dehidrasyona Maruz Bırakılan Kayısların Kuruma Davranışı	78
Şekil 5.23. Maltodextrin Çözeltilisinde Farklı Örnek/Çözelti Oranlarında Osmotik Dehidrasyona Maruz Bırakılan Kayısların Kuruma Davranışı	78
Şekil 5.24. Farklı Sıcaklıklarda Osmotik Dehidrasyona Tabi Tutulan Kayısları Kuruma Eğrileri	79
Şekil 5.25. Farklı Sıcaklıklarda Osmotik Dehidrasyona Tabi Tutulan Kayısları Kuruma Hızları.....	80

TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1. Kayısının Şeklinin, Ağırlık Kaybı (ML), Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Üzerine Etkisi	44
Tablo 5.2. Ön İşlemden Sürenin Etkisinin, Kayısının Su Kaybı (WL) ve Katı Kazanımı (SG) Üzerine Etkisi	45
Tablo 5.3. Dw, Ds, kw ve ks'in Sıcaklık ve Konsantrasyonla Değişimini İfade Eden Eşitlik Sabitleri ve İstatistiksel Analiz Sonuçları	58
Tablo 5.4. Dw, Ds, kw ve ks'in Örnek/Çözelti Oranı İle Değişimini İfade Eden Eşitlik Sabitleri ve İstatistiksel Analiz Sonuçları	60
Tablo 5.5. % Rölatif Sapma (D) Değerleri	69
Tablo 5.6. Örnek/Çözelti Oranı İçin % Rölatif Sapma (D) Değerleri	70
Tablo 5.7. Farklı Koşullarda Osmotik Dehidrasyon Uygulanmış Kayıların Kuruma Sırasında Etkin Difüzyon Katsayıları	82
Tablo 5.8. Osmotik Dehidrasyon Öncesi Ön İşlem Uygulanmış Kayıların Kuruması Sırasında Etkin Difüzyon Katsayıları	83
Tablo 5.9. Farklı Örnek/Çözelti Oranında Osmotik Dehidrasyon Uygulandıktan Sonra Yapılan Kurutmada Kayıların Etkin Difüzyon Katsayıları	84

EKLER LİSTESİ

- E1.** Osmotik Dehidrasyonda Elde Edilen Denge Değerleri (Madde Cinsi, Sıcaklık, Konsantrasyon)
- E2.** Osmotik Dehidrasyonda Elde Edilen Denge Değerleri (Ön İşlem Uygulaması)
- E3.** Osmotik Dehidrasyonda Elde Edilen Denge Değerleri (Örnek/Çözelti Oranı)
- E4.** Osmotik Dehidrasyon Sonrasında Kayıların Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
- E5.** D_w , D_s , k_w , k_s 'i Sıcaklık ve Konsantrasyonun Fonksiyonu Olarak İfade Edebilen Modeller

SİMGELER LİSTESİ

C_e	: Dengede maddenin nem içeriği, g/g
C_o	: Maddedeki başlangıç su içeriği, g/g
D	: % rölatif sapma değeri
D_s	: Katı kazanımı için difüzyon katsayısı, m^2/s
D_w	: Su kaybı için difüzyon katsayısı, m^2/s
F_{os}	: Çözünen difüzyonu için Fourier sayısı
F_{ow}	: Su difüzyonu için Fourier sayısı
J	: x yönünde difüzyonun neden olduğu kütle çıkışı
k_s	: Katı kazanımı için kütle transfer katsayısı, l/s
k_w	: Su kaybı için kütle transfer katsayısı, l/s
L	: Uzunluk, cm
$\ln SS$: Suda çözünmeyen kuru madde
M_0	: Başlangıç örnek ağırlığı, g
M_t	: t zamanında örnek ağırlığı, g
ML	: Net ağırlık kaybı, g/100g
MR	: Kuruma davranışı
n	: Ölçüm sayısı
r	: Yarıçap, cm
S_1	: Su kaybı için model sabiti
S_2	: Katı kazanımı için model sabiti
SG	: t zamanında kazanılan katı miktarı, g su/100 g örnek
SG_{∞}	: Dengede kazanılan katı miktarı, g su/100 g örnek
t	: Zaman, dk
V	: Hacim, l
WL	: t zamanında uzaklaşan su miktarı, g su/100 g örnek
WL_{∞}	: Dengede uzaklaşan su miktarı, g su/100 g örnek
\bar{X}	: t zamanında alınan ölçüm değerlerinin ortalaması
x	: katı maddenin merkezinden ölçülen mesafe
X_i	: Kütle transfer parametresinin her bir t zamanında normalize edilmiş tek değeri
X_{se}	: Dengede kazanılan katı konsantrasyonu
X_{we}	: Dengede uzaklaşan su konsantrasyonu

$(X_0)_{ts}$: Örneğin başlangıç toplam kuru madde içeriği, %
$(X_0)_w$: Örneğin başlangıç su konsantrasyonu, mol/l
$(X_t)_{ts}$: Örneğin t zamanında toplam kuru madde içeriği, %
$(X_t)_w$: Örneğin t zamanında su konsantrasyonu, mol/l
Y_{s0}	: Başlangıç çözelti konsantrasyonu
Y_{w0}	: Başlangıç çözelti konsantrasyonu
ρ	: Yoğunluk, g/cm ³
λ_{se}	: Katı kazanımı için denge dağılım katsayısı
λ_{we}	: Su kaybı için denge dağılım katsayısı
$\partial C/\partial x$: x yönünde çözünen konsantrasyon gradienti

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAYISININ OSMOTİK DEHİDRASYONU VE KURUTMAYA ETKİSİ

Ayşe İSPİR

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

2006, Sayfa: 104

Bu çalışmada kayısının osmotik dehidrasyonu ve kurutulması çalışıldı. Bu amaçla farklı osmotik ortamlar hazırlandı. Farklı osmotik madde, çözelti konsantrasyonu, sıcaklık, örnek/çözelti oranı, zaman, örnek geometrisi, ön işlem, çalkalama, kesikli-sürekli işlem gibi çeşitli parametrelerin etkisi araştırıldı. Osmotik dehidrasyon sırasında meydana gelen su kaybı ve katı kazanımı için etkin difüzyon katsayısı, kütle transfer katsayısı ve denge dağılım katsayısı hesaplandı. Daha sonra, non-lineer regresyon kullanılarak, bu katsayılar üzerine işlem parametrelerinin etkisi modellendi.

Osmotik olarak dehidre edilen kayısılar 75 °C sabit sıcaklıkta kurutuldu. Kuruma kinetikleri incelendi. Tüm parametreler için etkin difüzyon katsayısı hesaplandı.

Deneysel sonuçlar sürekli metodun kesikli metoda göre daha iyi olduğunu ve çalkalamanın etkisinin önemsiz olduğunu gösterdi. Su kaybı ve katı kazanımı, çözelti konsantrasyonunun, sıcaklığın ve işlem süresinin artmasıyla, örnek/çözelti oranının ve örnek geometrisinin azalması ile artmıştır. Ön işlem uygulaması ise su kaybı ve katı kazanımını azaltmıştır.

Büzülme sonuçları, nem içeriğindeki azalma ile kayısının hacim, çap, uzunluk ve yoğunluğundaki değişimin geleneksel kurutmaya göre daha az olduğunu gösterdi.

Anahtar Kelimeler: Kayısı, osmotik dehidrasyon, kurutma, büzülme, kinetik, modelleme

ABSTRACT

Master Thesis

THE OSMOTIC DEHYDRATION OF APRICOT AND ITS EFFECT ON DRYING

Ayşe İSPİR

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering

2006, Sayfa: 104

In this study, the drying and the osmotic dehydration of apricot were investigated. For this aim, different osmotic mediums were prepared. The effect of various parameters on the osmotic dehydration such as: kind osmotic matter, the concentration of solution, temperature, the ratio of sample/solution, time, the geometry of sample, pre-treatment, shaking and continuous-discontinuous procedure was investigated. The effective diffusivity and mass transfer coefficient of water loss and solid gain and equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of apricot were calculated. Then, the effects of procedure parameters on these coefficients were modeled by using non-linear regression. In addition, the shrinkage during osmotic dehydration was investigated.

The osmotically dehydrated apricots were dried at constant temperature at 75 °C. The drying kinetics was investigated and the effective diffusion coefficients during drying were calculated for the whole parameters.

The experimental results showed that the continuous method was better than discontinuous methods; the effect of shaking was not valuable. The water loss and solid gain were increased by increasing solution concentration, temperature and procedure time, decreasing the ratio of sample/solution, and the reduction of the geometry of the sample. The application of pretreatment decreased the water loss and solid gain.

The shrinkage results showed that the changes in volume, diameter, length and density of apricot with the reducing moisture content was smaller than conventional drying.

Key Words: Apricot, osmotic dehydration, drying, shrinkage, kinetic, modeling

1. GİRİŞ

Meyve ve sebzelerin içerdikleri yüksek oranda su (% 75-80) ve bazı organik maddeler, mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmaların temelini oluşturmaktadır.

Dünyanın ancak belirli bölgelerinde yetiştirilebilen ve dayanma süresi kısa olan taze meyve ve sebzelerin, üretimin yapılmadığı bölgelerde de tüketimini sağlama çabaları değişik muhafaza yöntemlerini ortaya çıkarmıştır. Bu yöntemlerin ortak amacı, gıda maddelerinin depolanması süresince bozulmalarına neden olan fiziksel, kimyasal, enzimatik ve mikrobiyolojik reaksiyonların hızını en aza indirerek olabildiğince uzun bir süre kalitenin korunmasını sağlamaktır.

Gıda maddelerinin bozulmadan uzun süre saklanmaları konusunda bilinen en eski yöntemlerden biri kurutmadır. Herhangi bir gıda maddesinin içerdiği suyun kontrollü koşullarda buharlaştırılarak uzaklaştırılması işlemi kurutma olarak tanımlanmaktadır.

Gıda maddelerinin kurutulmasının nedeni yalnızca bozulmadan uzun süre saklanabilmelerini sağlamaya yönelik değildir. Aynı zamanda kurutma uygulaması ile, gıda ürünlerinin ağırlık ve bazen de hacimsel azalmalarına paralel olarak, taşıma, depolama, paketleme maliyetlerinde önemli avantajlar sağlanmaktadır. Ayrıca bu ürünlerin diğer kuru ürünlerle karışımı çok kolay olduğu için kullanım alanları da çok geniştir. Kurutulmuş sebzeler genellikle hazır çorba ve sos karışımları ile hazır yemeklerde kullanılırken, kurutulmuş meyvelerde, keklerde, puding karışımlarında bisküvi ve tartlarda düşük maliyetli katkıları olarak geniş çapta kullanılmaktadır (Holdsworth, 1986).

Gıda maddelerinin kurutulması bu ürünlerin kalitesini olumsuz etkilemekte, özellikle yüksek sıcaklıkta hava ile kurutulmuş ürünlerin tekrar su tutma yani rehidrasyon özelliği azalmakta, ısıl bozulma nedeni ile renk, doku ve lezzetinde arzu edilmeyen değişimler meydana gelmekte ve besinsel öğelerin bir kısmı kayba uğramaktadır (Labuza, 1972; Van Arsdel ve ark., 1973; Karel, 1973). Bu nedenle, kurutma yöntemleri üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır ve yapılmaktadır. Araştırılan yöntemler içerisinde en iyi kalitede ürünün dondurarak kurutma tekniği ile elde edildiği kabul edilmesine rağmen bu yöntemin oldukça pahalı olduğu da bilinmektedir (Krokida ve Maroulis, 2000).

Kurutma tekniğinin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalarda, son ürünün kalitesine kurutma öncesi uygulanan ön işlemlerin de önemli etkileri olduğu ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda son yıllarda, osmotik dehidrasyonun bir ön işlem olarak uygulanması ile ilgili araştırmalarda da önemli bir artış olmuştur.

Osmotik dehidrasyon, hipertonic (osmotik) bir çözeltiye daldırılmış bitki dokularından suyun kısmen uzaklaştırılmasıdır. Dokulardan çözelti içerisine suyun difüzyonu, doku ve hipertonic çözelti arasındaki osmotik basınç tarafından yürütülmektedir. Su difüzyonuna, katının doku içerisinden aynı anda zıt difüzyonu eşlik etmektedir. Osmotik taşınmada rol oynayan hücre zarı tam olarak seçici olmadığından, hücre içinde bulunan diğer katıların da osmotik çözelti içerisine geçmesi söz konusu olabilir (Rastogi ve ark., 2000).

Daldırma ile katı kazanımı ve su kaybı olarak da bilinen osmotik dehidrasyonun diğer kurutma işlemleri ile karşılaştırıldığında, farklı olan özelliği gıdanın içine osmotik çözelti içerisindeki katıların işlem süresince nüfuz etmesidir.

Osmotik dehidrasyonun diğer kurutma işlemlerine göre en önemli avantajları; işlemin düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi nedeni ile lezzet ve aroma maddelerinin kaybının en düşük düzeyde gerçekleşmesi, enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının önlenmesi ve renkte ortaya çıkan kayıpların azalmasıdır. Ayrıca klasik kurutma yöntemlerine göre daha düşük enerji ihtiyacı gösterir. Bunun yanı sıra osmotik çözeltinin konsantre edilerek yada osmotik katıların ilavesi ile aynı çözeltinin tekrar kullanılabilmesi işlemin daha ekonomik yürütülmesini sağlamaktadır.

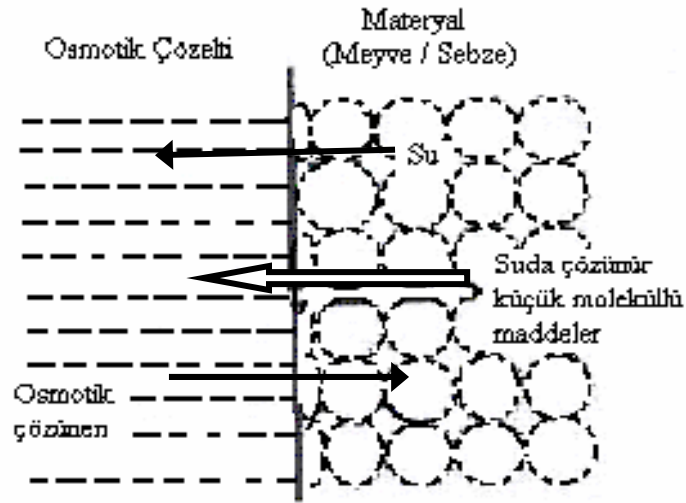
Bu çalışmada kayıpların osmotik dehidrasyonu ve kurutmaya etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, durgun-çalkalamalı ortam, kesikli-sürekli osmotik dehidrasyon, farklı osmotik çözelti kullanımı, çözelti konsantrasyonu, işlem süresi, sıcaklık, örnek/çözelti oranı, örnek geometrisi ve osmotik dehidrasyon öncesinde ön işlem uygulaması gibi işlem parametrelerinin kayısının osmotik dehidrasyona etkileri araştırılmıştır. Bunun yanı sıra osmotik dehidrasyon işleminin kinetik analizi yapılarak su ve çözünen madde için difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayıları ve denge dağılım katsayıları hesaplanmış bu katsayılara işlem parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Ayrıca osmotik dehidrasyon sonrasında kayıpların 75 °C sabit sıcaklıkta kurutulması sırasında kuruma davranışları da araştırılmıştır.

2. OSMOTİK DEHİDRASYON

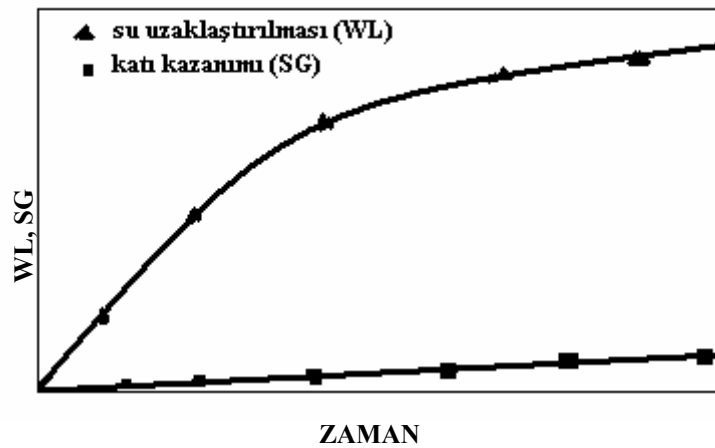
2.1. Osmotik Dehidrasyonun Tanımı ve Osmotik Dehidrasyon Olayı

Osmotik dehidrasyon, bir hipertonic ortam ile meyve ve sebze gibi gıda maddelerinin direkt teması sayesinde suyun kısmen giderilmesidir. Osmotik çözelti, yüksek osmotik basınca ve dolayısıyla düşük su aktivitesine sahip olduğundan çözelti ile ürün dokusundaki sıvı faz arasında bir konsantrasyon gradienti oluşur ve bu nedenle su uzaklaştırma işlemi için bir sürüklenme kuvveti doğar. Taze meyve ve sebzelerin selülozik ve pektik maddelerden meydana gelen hücre duvarının iç yüzeyini çevreleyen stoplazmik zar seçici geçirgenlik özelliği göstermektedir. Osmoz sırasında yarı geçirgen bir membran gibi davranan bu zar yalnızca hücre boşluğunda bulunan su ve düşük molekül ağırlıklı çözünen maddelerin üründen geçişine izin verir. Ancak, doğal hücre membranları tamamıyla yarı geçirgen olmadığından çözeltideki çözünen maddelerin bir kısmı da işlem süresince suyu uzaklaşan ürüne doğru karşı akımda difüze edilir. Ancak, suyun uzaklaşması, çözünen geçişinden daha büyüktür. Her iki taraftaki su konsantrasyonları aynı olana kadar hücre duvarından suyun geçişi devam eder. Dolayısıyla osmotik dehidrasyon işlemi eş zamanlı su ve çözünen madde difüzyonu olarak tanımlamak mümkündür (Dixon ve ark., 1976; Hawkes ve Flink, 1978; İslam ve Flink, 1982; Adambounou ve ark., 1983; Lenart ve Flink, 1984; Lerici ve ark., 1985). Osmotik dehidrasyon boyunca meydana gelen kütle transferi şematik olarak Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Osmotik dehidrasyonda suyun kimyasal potansiyel gradienti suyun uzaklaşmasına yol açar ve gıda maddesindeki doğal çözünenler de su ile birlikte taşınarak osmotik çözeltiye geçer. Daldırmanın ilk 2-3 saatinde katı gıda maddesinden osmotik çözeltiye su ve çözünenin akışı meydana gelir. Bundan sonra, osmotik çözelti ve katı ürün arasında su içeriğindeki fark sıfıra yaklaşır ve nihayet sistem su bakımından dengeye ulaşır (Şekil 2.2). Ancak osmotik çözeltiden katı maddeye çözünen transferi devam etmektedir. Çünkü çözünen konsantrasyon gradienti hala yüksektir (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Hüresel bir madde osmotik bir çözelti içine daldırıldığı zaman meydana gelen kütle transfer modeli



Şekil 2.2. Osmotik çözelti içerisinde hüresel madde daldırıldığında su uzaklaştırılması ve osmotik çözünen kazanımı

Yüksek yoğunlukta osmotik bir çözelti kullanılmasıyla (genellikle 100 g çözelti başına 50-80 g çözünen), osmotik çözelti içindeki katı üründen dışarıya su akışı meydana gelecektir. Suyun iletilmesi sırasında gıdadaki doğal çözünenler de su ile birlikte taşınacaktır ve aynı zamanda osmotik çözeltiden gıda içine çözünen geçişi de olacaktır. Ancak suyun uzaklaşması çözünen geçişinden daha büyüktür. Eğer gıda maddeleri düşük konsantrasyondaki osmotik çözelti içine daldırılırsa, gıda tarafından alınan osmotik çözelti suyun uzaklaştırılmasından daha büyük olacaktır. Bu proses rehidrasyon olarak adlandırılır. Bu prosesde nem konsantrasyon gradienti osmotik çözeltinin gıda ürünlerinin içerisine girmesine neden olur. Bununla birlikte sıvıya daldırma veya rehidrasyon proseslerinde gıdadan osmotik çözelti içine bazı pigmentler,

tat veren maddeler veya vitaminler geçebilir. Osmotik çözeltinin absorplamasından sonra katı gıda maddesi şişer.

Osmotik prosesler sırasında gıdadaki su ve çözünenin uzaklaştırılması ve osmotik çözünenin kazanımı herhangi bir faz değişimi olmaksızın izotermal olarak eş zamanlı ve birbirine zıt yönde meydana gelir ve şişme yada büzülme gibi yapısal değişiklikler gözlenir. Böylece osmotik prosesler gıda maddesinin fonksiyonel özelliklerinin modifiye edilmesini ürün kalitesinin geliştirilmesini ve daha iyi görünüşe sahip yeni ürünler elde edilmesini sağlayabilir.

Osmotik dehidrasyon statik işlem ve dinamik işlem olmak üzere iki yolla yapılır. Statik işlemde, materyal kristal veya çözelti şeklinde kullanılabilen osmotik madde ile karıştırılır. İşlem, istenilen miktarda suyun uzaklaştırılmasının gerçekleştiği zamana kadar sürdürülür ve bu süre boyunca karışım hareketsiz bırakılır (Lewicki ve Lenart, 1995). Dinamik işlemde ise çözelti karıştırılır.

2.2. Osmotik Dehidrasyon Boyunca Kütle Transfer Olayı

Hipertonik bir çözelti içine (şeker, tuz, gibi) suyla zengin bazı gıda maddeleri daldırıldıktan sonra, suyun giderilmesi için sürücü kuvvet, hücre içindeki akışkan ve çözelti arasındaki kimyasal potansiyel farkıdır. Eğer hücre membranı mükemmel bir yarı geçirgen, çözünen membrandan geçerek hücre içine transfer olamaz. Ancak, gıda maddelerindeki yarıgeçirgen membranlar, karmaşık iç yapıya sahip olduklarından ve çeşitli ön işlemler sırasında hücre zarında bozulma meydana geldiğinden dolayı mükemmel değildir. Osmotik dehidrasyonda başlıca iki tane kütle transfer olayı vardır: Madde içine çözünenin hareketi ve dokunun dışına suyun akışı (Şekil 2.1). Gıda maddelerinden dışarı çözelti akışı, son ürünün karakteristiğine etki eden renk verici bileşikler, bazı tatları olan mineraller, indirgenmiş şekerler, organik asitler gibi bazı çözünenler ile karışmış olan sudur. Osmotik çözeltide varolan çözünebilir katılar, gıda maddeleri tarafından alınır.

Osmotik dehidrasyonda iki tane zıt akımlı kinetik akışın tanımlanması üzerine çok sayıda çalışma vardır. Kütle transfer kinetiğine sıcaklık, zaman ve çözünenin konsantrasyonu ve bileşimi gibi değişkenler etki eder. Kütle transferi kinetiği, genellikle su kaybı, katı yada çözünen kazanımı ve ağırlık azalması terimleri ile tanımlanır. Su kaybı veya çözünen kazanımı, başlangıçtaki maddenin miktarı başına belirli bir zaman periyodundan sonra kazanılan çözünen veya uzaklaştırılan suyun miktarı olarak ölçülebilir. Katı kazanımı, çözünen penetrasyon teknikleri kullanılarak da belirlenebilir. Bu yöntemde zamanla materyal tarafından kazanılan çözünen miktarı belirlenir.

Osmotik dehidrasyon sırasında çeşitli taşınım mekanizmaları meydana gelir ve farklı mekanizmaların toplam taşınımına katkısı madde içindeki konuma bağlı olarak değişir. Son yıllarda, gıda maddeleri için osmotik proseslerin teorik modelleri üzerine araştırmalar yapılmıştır (Raoult-Wack A.L., 1994). Osmotik çözelti içine daldırılan gıda maddelerinden su transferi, materyalin yapısına, nem tutma tipine, nem içeriği, sıcaklık ve kapiler gözeneklerdeki basınca bağlı olan çeşitli taşınım mekanizmaları ile tanımlanabilir. Gözenekli katılarda kapiler hareket meydana gelirken genellikle gözenekli olmayan katılarda sıvı difüzyonu gerçekleşir. Sıvı çözeltileri ve jellerde su transferi sadece moleküler difüzyonla meydana gelir. Biyolojik maddelerde gaz dolu boşluklar, kapilerler, hücre duvarları ve hücrelerarası boşlukların hepsi kütle transfer özelliklerine etki eder. Su eş zamanlı çeşitli mekanizmalar tarafından taşınabilir; Bunlar moleküler difüzyon, sıvı difüzyonu, buhar difüzyonu, hidrodinamik akış, kapiler taşınım ve yüzey difüzyonudur. Gıdalarda bulunan kompleks yapılar nedeniyle bu mekanizmaların bir kombinasyonu meydana gelir.

Kütle transfer kinetiği ürünlerin yapısal özelliklerine ve proses parametrelerinin her ikisine de bağlıdır. Sebze, meyve, balık ve et gibi biyolojik maddelerde su içeriği, hücre olgunluğuna, doku yapısı ve gözenekliliğe bağlıdır. Osmotik çözeltiye daldırılan parçanın geometrisi ise suyun giderilmesine, üründeki çözünen kaybına ve osmotik çözelti kazanımına etki eder. Gıda maddelerinden dışarı su ve çözünen transferi ve gıda maddeleri içine osmotik çözelti transferi genellikle aşağıdaki mekanizmalara göre olur:

1. Konsantrasyon gradienti nedeniyle osmotik proseslerde difüzyon mekanizmasıyla su ve çözünen transferi,
2. Dış basınç, büzülme ve kapileritenin fonksiyonu olarak meydana gelen toplam sistem basıncındaki farklılık nedeniyle kapiler akış yoluyla su ve çözünen transferi,
3. Gözeneklerde hidrodinamik akış,
4. Kapiler-kondenzasyon mekanizması nedeniyle kısmen dolu gözenekler içerisinde su buharı difüzyonu,
5. Yüzeydeki konsantrasyon gradienti nedeniyle gözenek yüzeylerinde su difüzyonu.

2.2.1. Madde İçinde ve Dışında Kütle Transferi

Hücresel bir katı madde osmotik bir çözelti içine daldırıldığı zaman, maddenin ilk tabakasındaki hücreler, osmotik çözelti ile temas eder ve osmotik çözelti ile hücreler arasındaki konsantrasyon gradienti nedeniyle su kaybeder ve sonra büzülme başlar.

İlk tabakadaki hücrelerin suyu kaybetmesinden sonra hücrenin ilk tabakası ve ikinci tabakası arasında suyun kimyasal potansiyel farkı meydana gelir (Shi J., Le Maguer M., 2002).

İkinci tabakadaki hücreler ilk tabakadaki hücelere su pompalamaya başlar ve daha sonra büzülür. Kütle transfer olayı ve dokudaki büzülme olayı, zamanla maddenin yüzeyinden merkezine doğru ilerler. Sonuçta maddenin merkezindeki hücreler su kaybeder ve daldırıldıktan uzun süre sonra kütle transferi dengeye gelir. Kütle transferi ve doku büzülmesi eş zamanlı olarak meydana gelir. Bu nedenle, belirli bir anda, kütle transferi ve doku büzülmesi maddenin yalnızca belirli bir parçası ile ilişkilidir. Taze gıda maddelerinde, su transferi hücre membranından hücrelerarası boşluklara ve daha sonra osmotik çözelti içine doğru olur. Hücre membranları yarı geçirgen olduğundan hipertonic çözümlerden alınan çözünen yalnızca hücrelerarası boşluklarda toplanır. Farklı tabakalardaki hücrelerde, farklı şartlarda su kaybı, katı kazanımı ve doku büzülmesini meydana getirebilirken aynı tabakadaki hücrelerin benzer fiziksel şartlarda olduğu düşünülebilir. Su, basınç farkından dolayı madde içinde bir hücreden bir hücreye doğru maddenin dışına taşınmaya zorlanır. Yüzeğe yakın kısımlarda su kaybı, osmotik çözünen kazanımı ve eş zamanlı yapı değişimi meydana gelir. Osmotik çözünen hücre boşluğunda toplanır. Su, hücrelerarası boşlukta ve çözelti arasındaki konsantrasyon farkı nedeniyle hücre membranlarını geçerek hücrelerden hücrelerarası boşluğa transfer olur. Madde yüzeyinde esas olarak su ve osmotik çözünen akışı meydana gelir.

2.2.2. Fickian Difüzyon Yaklaşımı

Osmotik dehidrasyon prosesleri için birçok kütle transfer modeli, katı maddelerin izotropik olduğu ve büzülmenin olmadığı, katı faz içinde osmotik çözünen ve suyun bağımsız olarak difüzlendiği kabulüne dayanır. Bu kabuller kullanılarak, kütle transfer modelleri, Fick'in I. yasası gibi katı maddelerde difüzyonu ifade eden temel diferansiyel eşitliklere uygulanır. İlk olarak, gıda maddelerindeki nem konsantrasyonu sabittir ve sistemde kimyasal reaksiyon meydana gelmez; böylece sistem bir boyutlu izotermal difüzyon problemi gibi düşünülebilir (Crank J., 1975). İzotermal transfer proseslerinde, Fick'in yasası, kararsız hal ve sürekli akış altında, çoğunlukla gıda maddelerinden suyun ve çözünenin difüzyon katsayısını tahmin etmede kullanılır. Osmotik dehidrasyon prosesleri, gıda maddesinin çözünen kazanımı ve su kaybı hızı ile karakterize edilebilir. Yüzeyde sabit konsantrasyon (büyük örnek/çözelti oranı ile ihmal edilebilir dış direnç) ve katı-sıvı ara yüzeyinde ihmal edilebilir direnç (yeterli karıştırma) için materyalin iç direnci (difüzyon) su ve çözünen transferini kontrol eder. Fick'in I. yasası Eşitlik 2.1'de gösterildiği gibi kütle transferi için temel eşitliktir.

$$J = D \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (2.1)$$

Burada;

J : x yönünde difüzyonun neden olduğu kütle çıkışı

$\partial C/\partial x$: x yönünde çözünen konsantrasyon gradienti

Bird ve ark. simetrik gözenekli maddelerde kararsız hal difüzyonunu analiz etmek için kullanılabilen Fick'in II. yasasının aşağıda verilen genel formunu önerdiler (Bird R.B., Stewart W.E., Lightfoot E.N., 1960).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{x^{m-1}} \frac{\partial}{\partial x} \left[x^{m-1} D \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) \right] \quad (2.2)$$

Burada;

t : zaman

m : Geometrik faktör. (1, sonsuz uzunlukta levha; 2, sonsuz uzunlukta silindir; 3, küre)

x : katı maddenin merkezinden ölçülen mesafe

Üniform başlangıç nem dağılımı, kütle transferine ihmal edilebilir dış direnç ve osmotik dehidrasyon sırasında büzülme olmadığı kabulleri ve aşağıdaki başlangıç ve sınır şartları için ana yüzeylerinden osmotik dehidrasyona maruz bırakılan cisim için Fick'in II. yasa çözümü aşağıdaki gibi yazılabilir (Crank, 1975).

$$t=0 \quad \text{ve} \quad 0 < x < x_0 \quad \text{da} \quad C_w = C_{w0} \quad C_i = C_{i0} \quad (2.3)$$

$$t > 0 \quad \text{ve} \quad x = 0 \quad \text{da} \quad dC_i / dx = 0 \quad dC_i / dx = 0 \quad (2.4)$$

$$t > 0 \quad \text{ve} \quad x = x_0 \quad \text{da} \quad C_w = C_{we} \quad C_i = C_{ie} \quad (2.5)$$

$m=0$ için

$$\frac{C - C_e}{C_o - C_e} = \frac{8}{\pi^2} \left(\exp(-a_1 F_o) + \frac{1}{9} \exp(-9a_1 F_o) + \frac{1}{25} \exp(-25a_1 F_o) + \dots \right) \quad (2.6)$$

$m=1$ için

$$\frac{C - C_e}{C_o - C_e} = 0.692 \cdot \exp(-5.78 F_o) + 0.131 \exp(-30.5 F_o) + 0.0534 \exp(-74.9 F_o) \quad (2.7)$$

$m=2$ için

$$\frac{C - C_e}{C_o - C_e} = 0.608 \cdot \exp(-9.87 F_o) + 0.152 \cdot \exp(-39.5 F_o) + 0.067 \exp(-88.8 F_o) \quad (2.8)$$

Burada;

C_{so} : Osmotik çözeltinin başlangıç konsantrasyonu

C_{se} : Dengede osmotik çözelti konsantrasyonu

C_{wo} : Maddedeki başlangıç su içeriği

C_{we} : Dengede maddenin nem içeriği

Burada F_{ow} ve F_{os} su ve çözünen difüzyonu için Fourier sayılarıdır. Aşağıdaki eşitlikler ile verilir.

$$F_{ow} = D_{ew} t / r^2 \quad (2.9)$$

$$F_{os} = D_{es} t / r^2 \quad (2.10)$$

Burada D_{ew} ve D_{es} sırasıyla su ve çözünen için etkin difüzyon katsayıları ve r ise yarıçaptır.

Difüzyon katsayısının değeri (D), eğim metodu kullanılarak belirlenir. Zamana (t) karşı $[(C_e - C_{se}) / (C_{so} - C_{se})]$ nin logaritmasının değeri grafiğe geçirilerek doğrunu eğiminden D hesaplanabilir.

Kütle transferinin hız sınırlayıcı adım olduğu kabulüne dayanarak basitleştirilmiş kararsız hal Fickian Eşitliğinin uygun matematiksel çözümü ile kütle transfer hızı yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Osmotik dehidrasyonda kütle transferi maddenin iç direnci tarafından kontrol edilir (Beristain, Azuara, Cortes, Garcia, 1990; Favetto, Chirife, Bartholomai, 1981).

Fick'in I. yasasının aynı çözümünden yararlanılarak basitleştirilmiş yarı – ampirik eşitlikler, su kaybı ve katı kazanımının tanımlanmasında kullanılır.

Kütle transfer prosesleri Fick'in difüzyon kanunu ile difüzyon katsayısını ve tahmini çözünen akışını belirlemede başarıyla kullanılmasına rağmen, kütle transferi dengeden uzakta meydana gelmektedir ve önemli ölçüde büzülmeyle biyolojik maddelerin deformasyonu ve muhtemel bir akış etkileşimi de buna eşlik etmektedir.

Kütle transferinin sadece difüzyonla meydana geldiği, akışın tek yönlü olduğu ve difüzyon sırasında yapıdaki bileşenler arasındaki etkileşimler ihmal edilebilir olduğu durumda Fick'in II. difüzyon yasasının basitleştirilmiş çözümü kullanılır. Hücrelerarası boşluklarda meydana gelen kütle transferi Fick'in II. yasasının genişletilmiş bir formu kullanılarak modellenebilir.

Osmotik dehidrasyon proseslerinde yalnızca difüzyon olayı göz önüne alındığı zaman tahmini ve deneysel veri arasında iyi bir uyum elde etmek mümkündür.

2.2.3. Osmotik Dehidrasyon Boyunca Kütle Transfer İşleminin Teorik Analizi

Osmotik dehidrasyon sırasında t zamanındaki kuru madde kazanımı (SG), Eşitlik (2.11) yardımıyla bulunmaktadır.

$$SG = \frac{(M_t)(X_t)_{ts} - (M_o)(X_o)_{ts}}{M_o} \times 100 \quad (\text{g} / 100 \text{ g örnek}) \quad (2.11)$$

Burada;

M_0 : Başlangıç örnek ağırlığı, g

M_t : t zamanında örnek ağırlığı, g

$(X_0)_{ts}$: Örneğin başlangıç toplam kuru madde içeriği, %

$(X_t)_{ts}$: Örneğin t zamanında toplam kuru madde içeriği, %

t zamanında üründen su kaybı (WL) ise Eşitlik (2.12) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$WL = \frac{(M_0)(X_0)_w - (M_t)(X_t)_w}{M_0} \times 100 \text{ (g su /100 g örnek)} \quad (2.12)$$

Burada;

$(X_0)_w$: Örneğin başlangıç su konsantrasyonu

$(X_t)_w$: Örneğin t zamanında su konsantrasyonu

Örneklerin net ağırlık kaybı (ML) başlangıç örnek ağırlığı temelinde, Eşitlik (2.11) ve (2.12) in yardımı ile elde edilir.

$$ML = WL - SG \text{ (g /100 g)} \quad (2.13)$$

Bu parametreler, çalışılan koşullar altında, materyalin başlangıçta içerdiği çözünmeyen kuru madde (In SS) miktarının işlem süresince sabit kaldığı yani osmotik ortama difüzlendiği varsayımına dayanmakta ve ayrıca üründen osmotik çözeltiye su dışında diğer çözünür maddelerin difüzyonunun ihmal edilecek düzeyde olduğunu kabul etmektedir. Osmotik dehidrasyon işleminde dengenin meydana geldiği noktayı belirlemek için ürünün sıvı fazdaki çözünür madde konsantrasyonu (SSC) nun da belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin herhangi bir zamandaki çözünür madde içeriği deneysel olarak bulunabildiği gibi aşağıda verilen Eşitlik (2.14) ile de hesaplanabilir.

$$SSC = \frac{(M_t)(X_t)_{ts} - (M_0)(X_0)_{ts} (\ln SS)}{(M_t) - (M_0)(X_0)_{ts} (\ln SS)} \times 100 \text{ (g /100 g çözelti)} \quad (2.14)$$

Burada;

In SS : Suda çözünmeyen kuru madde (başlangıç kuru madde ağırlığının kesri)

Azuara ve ark. tarafından geliştirilen model, osmoz prosesleri içinde denge çözelti konsantrasyonlarının belirlenmesinde kullanılır. Zamanın fonksiyonu olarak kaybedilen suyun oranı bu modelden yararlanılarak Eşitlik (2.15) de verilmektedir.

$$WL = \frac{S_1 t (WL_\infty)}{1 + S_1 t} \quad (2.15)$$

Burada;

WL_∞ : Dengede uzaklaşan su miktarı

S_1 : Su kaybı için model sabiti

t : Zaman

Eşitlik (2.15) lineerleştirilirse

$$\frac{t}{WL} = \frac{1}{S_1 WL_\infty} + \frac{t}{WL_\infty} \quad (2.16)$$

Katı kazanımı için de benzer olarak yazılırsa

$$\frac{t}{SG} = \frac{1}{S_2 SG_\infty} + \frac{t}{SG_\infty} \quad (2.17)$$

Burada;

SG_∞ : Dengede kazanılan katı miktarı

S_2 : Katı kazanımı için model sabiti

Eşitlik (2.16) de t' ye karşı t/WL grafiğe geçirilirse grafiğin eğiminden dengede uzaklaşan su miktarı (WL_∞), kaymasından ise su kaybı için model sabiti (S_1) hesaplanır. Aynı şekilde dengede kazanılan katı miktarı (SG_∞) ve katı kazanımı için model sabiti (S_2), Eşitlik (2.17) de t' ye karşı çizilen t/SG grafiğinin eğimi ve kaymasından bulunur.

2.2.4. Osmotik Dehidrasyon Boyunca Kütle Transfer İşleminin Denge Dağılım Katsayısı Üzerine Etkisinin Teorik Analizi

Osmotik dehidrasyon prosesi dinamik periyotla ve denge ile ifade edilebilir. Dinamik periyotta, kütle transfer hızı, dengeye ulaşılan kadar artar veya azalır. Denge osmotik dehidrasyonun sonudur ve artık net kütle transfer hızı sıfırdır. Denge çalışmaları, osmotik dehidrasyonun modellenmesinde ve bu sistemdeki kütle transfer mekanizmalarının iyi anlaşılmasında önemlidir.

Su kaybı ve katı kazanımı için denge dağılım katsayısı aşağıda verilen Eşitlik (2.18) ve Eşitlik (2.19) ile hesaplanabilir.

$$\lambda_{we} = \frac{X_{we}}{Y_{w0}} \quad (2.18)$$

$$\lambda_{se} = \frac{X_{se}}{Y_{s0}} \quad (2.19)$$

Burada;

λ_{we} : Su kaybı için denge dağılım katsayısı

λ_{se} : Katı kazanımı için denge dağılım katsayısı

X_{we} : Dengedeki su konsantrasyonu

X_{se} : Dengedeki katı konsantrasyonu

Y_{w0}, Y_{s0} : Başlangıç çözelti konsantrasyonu

2.2.5. Osmotik Dehidrasyon Kütle Transfer Hızını Etkileyen Faktörler

Osmotik dehidrasyon işleminde kütle transferi ve ürün kalitesi üzerine etkili olan değişkenler:

1. Osmotik maddenin tipi,
2. Osmotik çözelti konsantrasyonu,
3. Osmotik işlemin süresi ve sıcaklığı,
4. Örnek/çözelti oranı,
5. Örnek geometrisi ve karakteristikleri,
6. Osmotik çözeltinin karıştırılması,
7. Örneğe osmotik işlem öncesi uygulanan işlemler olarak özetlenebilir.

2.2.5.1. Osmotik Maddenin Tipi

Osmotik dehidrasyon işleminde kullanılan osmotik madde çeşidinin ve şurup konsantrasyonunun seçimi oldukça önemlidir. Çünkü osmotik madde, gıdanın içine doğrudan nüfuz etmektedir. Bu yüzden de, osmotik maddenin seçiminde bazı noktalara dikkat edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu faktörler şunlardır:

- Osmotik maddenin gıdanın duyu kalite özelliklerine etkisi,
- Osmotik maddenin çözünürlüğü,
- Osmotik maddenin işlem süresince dayanıklılığı,
- Osmotik maddenin fiyatı,
- Osmotik maddenin düşük bir su aktivitesine sahip olması,
- Osmotik maddenin toksik özellikte olmaması,
- Osmotik maddenin tadının yenilebilir nitelikte olması,
- Osmotik maddenin hücre membranından geçişinin az olması.

(Lerici ve ark., 1988; Rahman ve Lamb, 1990; Torreggiani, 1993; Lewicki ve Lenart, 1995; Lenart, 1996; Kaymak ve Sultanoğlu, 1997, 2000; Panagiotou ve ark., 1998a; 1998b; Rastogi ve ark., 1999; Lewicki ve Lukaszuk, 2000; Sereno ve ark., 2001).

En yaygın olarak kullanılan osmotik maddeler sakaroz (özellikle meyvelerde) ve sodyum klorür (sebzeler, et, balık ve peynirlerde) dür. Laktoz, maltodekstrinler, glikoz, gliserin ve mısır şurubu gibi diğer osmotik maddeler de kullanılır.

Osmotik madde olarak kullanılan katı suyun uzaklaşma kinetiğini, katı transferini ve denge su içeriğini önemli derecede etkilediğinden katının mol kütlesinin artmasıyla (maltodekstrinler, hidrolize nişasta şurupları) katı transferinde bir azalma ve su kaybında bir artma görülür. Düşük mol kütleli sakarit (glikoz, fruktoz, sorbitol vb.) moleküllerinin, nüfuz etme hızını etkileyeceği ve katı transferinde bir artmanın görüleceği de belirtilmektedir (Torriggiani, 1993).

Osmotik kuruma davranışı üzerine etkisi incelenen sakaroz, meyvede yaklaşık % 50 ağırlık kaybı sağlamasına rağmen yüksek katı madde kazanımı nedeniyle aşırı tatlı ürün elde edilmektedir (Ponting ve ark., 1966; Farkas ve Lazar, 1969; Ponting, 1973; Dixon ve ark., 1976; Moy ve ark., 1978; Hawkes ve Flink, 1978; Conway ve ark., 1983).

Hawkes ve Flink (1978) ise, sakarozun alternatif olarak laktoz ve maltodekstrinin osmotik madde olarak kullanımını önermişlerdir. Hem laktoz hem de maltodekstrin daha düşük tatlılığa sahip olması nedeniyle sonuç üründe duyuşal açıdan daha olumlu sonuç verdiği ifade edilmiştir. Bu maddelerin saf çözeltilerinin kullanımının yanı sıra osmoz etkinliğini geliştirmek amacıyla sakaroz ile çeşitli oranlardaki karışımları da denemiş, sakaroz/laktoz karışımlarının yalnız sakarozla eşdeğer kuru madde içerdiği konsantrasyonlarda sakaroz çözeltisi kadar etkin olduğu, sakaroz/maltodekstrin karışımlarında ise meyveye geçişin oldukça düşük olduğu ve kazanılan kuru maddenin çok küçük miktarının maltodekstrinden kaynaklandığı saptanmıştır.

Yapılan kinetik çalışmalar NaCl'ün sebzeler için en etkin osmotik madde olduğunu göstermiştir. Bu durum tuzun yüksek molar konsantrasyonunun yanı sıra iyonize özellik taşımasından da kaynaklanmaktadır (Hawkes ve Flink, 1978; İslam ve Flink, 1982). Tuz, su aktivitesini düşürme kapasitesinden dolayı kurutma için gerekli olan sürüklenme kuvvetini artırır. Ayrıca şeker ve tuz birlikte kullanıldığında, aralarında sinerjistik bir etki olduğu da saptanmıştır (Torreggiani, 1993).

Osmotik işlem sırasında yüksek kuru madde kazanımı sonucu üründe aşırı tuzlu bir tada neden olan NaCl'ün sakaroz ile ikili karışımı incelenmiştir (Hawkes ve Flink, 1978; Flink, 1980; İslam ve Flink, 1982; Lenart ve Flink, 1984). Sakaroz/tuz karışımı çözeltiler içinde gerçekleştirilen osmotik dehidrasyonun yüksek su kaybı ile birlikte önemli düzeyde kuru madde kazanımı ile sonuçlandığı saptanmıştır. Kuru madde kazanım düzeyinin aynı konsantrasyondaki sakaroz çözeltisinden daha yüksek olduğu ifade edilmektedir. Sakaroz/tuz karışımı sistemlerde kütle transferi incelendiğinde, sakaroz daha yüksek moleköl ağırlığı nedeniyle dokuya daha zor işlemekte ve daha yüksek konsantrasyon gradienti oluşturmaktadır.

Osmotik çözelti olarak mısır şurubunun kullanımı, Contreras ve Smyrl (1981) tarafından incelenmiş ve elmalarda sakaroz kullanımına göre çok düşük kuru madde kazanımına neden olduğu saptanmıştır. Araştırmacılar bu durumun, mısır şurubunun büyük oranda yüksek

molekül ağırlıklı karbonhidratlardan oluşması ve bu maddelerin ürüne penetrasyonunun çok zor olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Lerici ve ark. (1985), Tomasicchio ve ark. (1986) ve Lenart ve Lewicki (1988b) de osmotik dehidrasyon parametreleri bakımından aynı su kaybı değerinde minimum kuru madde kazanımı sağlanması bakımından en etkin osmotik çözeltinin yüksek dekstroz içerikli hidrolize nişasta şurubu (ticari glikoz şurubu) olduğunu belirtmişler ve bunun şurubun yüksek polisakkarit (%24) bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Yüksek fruktoz içerikli hidrolize nişasta şurubunun ise yapısındaki yüksek fruktoz içeriğine (%42 fruktoz ve %22 dekstroz) bağlı olarak sakaroz çözeltisine göre daha yüksek kuru madde kazanımına neden olduğu saptanmıştır (Bolin ve ark., 1983; Tomasicchio ve ark., 1986; Pinnavaia ve ark., 1988).

Osmotik çözelti olarak kullanılabilen bir diğer madde ise fruktozdur. Fruktoz, bir monosakkarit olması nedeniyle daha küçük molekül yapısına bağlı olarak, sakaroza göre daha yüksek difüzyon katsayısına sahiptir (Chandrasekaran ve King, 1972; Perry ve Chilton, 1973).

Toplam kuru madde kazanımı üzerinde en etkin osmotik çözeltilerden biri de glikoz çözeltisidir.

Gliserinin ise kurutma kapasitesi açısından etkin bir osmotik madde olduğu belirtilmektedir (Garrote ve Bertone, 1989; Riva ve Masi, 1990). Ancak kuru madde kazanımının yüksek olması ve fazla miktarda gliserinin tüketici için toksik etki meydana getirmesi bu maddenin kullanımını sınırlamaktadır.

Seçilen osmotik çözeltinin bileşimi ürünün kompozisyonunu önemli ölçüde etkilediğinden, çalışılan meyve ve sebzelerin bileşimine uygun osmotik çözeltiler kullanılmalıdır. Ürünün orijinal özelliklerini korumak ve fazla kuru madde kazanımından kaçınmak için Maltini ve ark. (1990) tarafından osmotik ortam olarak konsantre meyve sularının kullanımı önerilmektedir.

2.2.5.2. Osmotik Çözelti Konsantrasyonu

Osmotik madde kütle transfer hızı, yüksek konsantrasyonlu osmotik çözeltiler kullanılarak artırılabilir ve çözelti konsantrasyonu arttıkça, katı kazanımından çok su kaybının artacağı bildirilmiştir (Torreggiani, 1993). Osmotik çözelti konsantrasyonunun işlem üzerine etkileri incelenmiş ve her bir çözelti konsantrasyonu ile su kaybı-katı kazanımı arasında doğru orantı olduğu bildirilmiştir (Moy ve ark., 1978; Garrote ve Bertone, 1989; Rahman ve Lamb, 1990; Mastrocola ve ark., 1998; Panagiotou ve ark., 1998a; 1998b; Reppa ve ark., 1998; Vale ve ark., 1999; Kaymak-Ertekin ve Sultanoğlu, 2000; Sereno ve ark., 2001).

2.2.5.3. Osmotik İşlemin Süresi ve Sıcaklığı

Osmotik işlemin kütle transferine etki eden önemli değişkenlerinden diğer ikisi zaman ve sıcaklıktır.

Osmoz hızı zamanla azalır. Çalışılan çözelti tipi ve konsantrasyondan bağımsız olarak, osmotik dehidrasyonda en fazla kütle transferinin, işlemin ilk saatlerinde gerçekleştiği daha sonra ürün-çözelti arasında su bakımından dengeye yaklaşıldığı belirtilmektedir. İşlemin başlangıcında su kaybı ile birlikte kuru madde kazanımı da meydana gelmekte ve sonraki işlem süreleri içinde kuru madde kazanım hızı çok yavaşlamakla birlikte denge durumuna ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Osmotik işlemden denge durumuna ulaşılması oldukça uzun işlem sürelerine karşılık gelmekte ve bu süre içinde yüksek oranda kuru madde kazanımı nedeniyle ürün-çözelti arasındaki sürüklenme kuvveti azalmakta, dolayısıyla su uzaklaşma hızı çok yavaşlamaktadır. Bazı araştırmacılar denge durumuna ulaşmadan kısa süreli gerçekleştirilen osmotik dehidrasyonda, çok yüksek kuru madde kazanımı olmadan önemli miktarda su uzaklaştırmanın mümkün olduğunu belirtmişlerdir (Ponting, 1973; Torreggiani, 1993; Lenart, 1996; Barat ve ark., 1997; 1998). Optimum osmoz süresi ürünün yapısına ve boyutlarına, işlem koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Araştırmacılar daha uzun işlem sürelerinin ürünlerin duyuusal özellikleri ve depolama stabilitesi açısından önemli bir avantaj sağlamadığını ifade etmektedirler. Ancak yüzey geçirgenliği düşük bazı meyveler için daha uzun işlem süreleri gerekmektedir.

Kütle transfer mekanizması üzerine büyük bir etkisi olan önemli bir diğer değişken işlem sıcaklığıdır. Lenart (1996), 20⁰C'deki kütle transferinin osmotik maddenin çeşidine ve hammaddenin özelliklerine bağlı olarak 2-4 saat sürdüğünü; 70-90⁰C'ler arasındaki su uzaklaşma işleminin 15 dakikayı geçmemesi gerektiğini belirtmiştir. Pek çok araştırmacı sıcaklığın artmasının osmotik işlemi de hızlandırdığını saptamışlardır. Osmotik dehidrasyonda kütle transferinin sıcaklıkla artmasına karşın, 45⁰C'nin üzerindeki sıcaklıklarda enzimatik esmerleşme ve aromanın bozulması da meydana gelmeye başlamaktadır. Bununla birlikte, 60⁰C'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklar, doku karakteristiklerinin değişmesi nedeniyle katı kazanımına yardımcı olmaktadır. 80-85⁰C'lerdeki 1-3 dakikalık yüksek sıcaklıkta kısa süreli uygulamalar, haşlamanın etkisini de içererek enzimatik inaktivasyonu sağlamaktadır.

2.2.5.4. Örnek/Çözelti Oranı

Osmotik dehidrasyon hızını etkileyen bir diğer faktör de kullanılan örnek miktarının osmotik çözeltiliye (örnek/çözelti) oranıdır.

Su kaybı, azalan örnek/çözelti oranı ile artmakta; kuru madde kazanımı ise önemli düzeyde etkilenmemektedir. Yüksek örnek/çözelti oranında sistem dengeye hızlı ulaşmakta ve dehidrasyon istenilen düzeyde gerçekleştirilememektedir. Düşük örnek/çözelti oranı ise osmotik çözelti tekrar kullanılmadığı takdirde osmotik çözelti maliyetini arttırmaktadır (Lenart ve Flink, 1984a; 1984b).

2.2.5.5. Örnek Geometrisi ve Karakteristikleri

Ürün boyutu ve kalınlığı azaldıkça, kütle transferi özellikle kuru madde kazanımı artmaktadır. Hammaddenin fiziksel yapısı, dokusal özellikleri, kimyasal kompozisyonu, özgül yüzey alanı, olgunluğu ve cinsi osmotik dehidrasyon hızını etkilemektedir. Aynı koşullarda osmotik işlem gören tüm meyveler için elde edilen sonuçlarda, ürün boyutu arttıkça hem su kaybı hem de katı kazanımı azalmıştır (Panagiotou ve ark., 1998a; 1998b).

2.2.5.6. Osmotik Çözeltinin Karıştırılması

Kütle transfer hızını arttıran bir diğer faktör çözeltinin karıştırılmasıdır.

Osmotik dehidrasyon, karıştırılmalı bir ortamda daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmekte, osmotik çözeltinin karıştırılması ile örneklerden difüzlenen suyun çözelti içine üniform dağılımı sağlanmaktadır. Özellikle yüksek konsantrasyondaki çözeltilerde artan viskoziteye bağlı olarak çözelti tarafında kütle transferine karşı bir direnç oluşmaktadır. Karıştırma etkisi ile bu direnç azaltılmakta ve sürüklenme kuvveti arttırılmaktadır (Lerici ve ark., 1985). Yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre çözeltiyi karıştırma hızı arttıkça su kaybı ve katı kazanımı da artmıştır. Contreras ve Smyrl (1981) ise karıştırma ile birlikte sıcaklık arttırılınca osmotik dehidrasyonun daha etkin olduğunu göstermiştir.

2.2.5.7. Örneğe Osmotik İşlem Öncesi Uygulanan İşlemler

Hammaddeye uygulanan ön işlemler de kütle transfer hızını etkilemektedir. Kimyasal maddeler (örneğin SO₂) ile bir ön işlem uygulaması, haşlama yada dondurmanın su kaybı ile birlikte katı kazanımına da çok yardımcı olduğu bildirilmiş ve bu geçirgenlik artışı ve seçicilikteki azalmayla açıklanmıştır (Ponting, 1973; Torreggiani, 1993).

2.3. Osmotik Dehidrasyon İşleminin Ürün Üzerindeki Etkileri

2.3.1. Sorpsiyon Özelliğine Etkisi

Osmotik dehidrasyon işlemi genellikle bir miktar çözünür kuru madde kazanımı ile sonuçlandığından, gıda materyalinin bileşiminde meydana gelen değişimler bir sonraki kurutma aşamasını da mutlaka etkilemektedir. Bu durumda en önemli özellik kurutulacak materyalin su sorpsiyon izoterminin saptanmasıdır. Gıdanın stabil bir su aktivite değerine ulaşması için gerekli kuruma derecesini bu izoterm belirleyecektir (Lerici ve ark., 1983; Adambounou ve Castaigne, 1983). Tuz içeren örnekler için kuruma işlemi çok daha yüksek nem içeriğinde tamamlanmakta ve yüksek su aktivite değerinde tuz konsantrasyonu arttıkça ulaşılabilecek denge nem içeriği de artmaktadır.

Gıda maddelerinin sorpsiyon izotermi, bu maddelerin temel bileşenleri (polimerik materyaller, protein, nişasta, selüloz ve pektin gibi) ve içerdikleri çözünür katılar (şeker, tuz ve asitler gibi) ile birlikte yorumlanabilir. Çözünür katılar düşük su aktivite değerinde çok az su adsorplar ve adsorpsiyon polimer materyallerin varlığına bağlıdır. Buhar basıncı çözeltilinin buhar basıncı üstüne çıktığında adsorpsiyon artar ve madde çözünmeye başlar (Iglesias ve ark., 1975; Rockland ve Nishi, 1980).

2.3.2. Kuruma Davranışına Etkisi

Osmotik dehidrasyonun, gıdaların sorpsiyon özelliklerinin yanı sıra kuruma davranışı ve kuruma hızını da etkilediği bir çok araştırmacı tarafından ifade edilmektedir. Sebze ve meyvelerin kurutmadan önce tuz veya şeker çözeltileri ile muamele edilmesinin kuruma hızını yavaşlattığı saptanmıştır (Speck ve ark., 1977; Flink, 1980; İslam ve Flink, 1982; Lerici ve ark., 1983; Lenart ve Lewicki, 1988b; Lee ve ark., 1989). Kuruma hızının azalmasına neden olarak ürünün çözünür madde içeriğinin suyun difüzyon hızı ve denge buhar basıncını etkilemesi gösterilmektedir (Speck ve ark., 1977; Mazza, 1983). Ürün içindeki çözünmüş tuz, şeker ve kuruma süreci içinde yüzeyde kristalleşen maddeler nem hareketine karşı iç direnci arttırmakta, su buharı difüzyon hızını azaltmakta ve ürünle hava arasındaki ısı transferini güçleştirmektedir.

İslam ve Flink (1982) ve Mazza (1983) ürün içindeki tuz ve şeker konsantrasyonu arttıkça kuruma hızının azaldığını, sakaroz/tuz karışımı sistemlerde osmoz edilen üründe tuza bağlı daha yüksek kuru madde kazanımı nedeniyle daha da düşük kuruma hızları elde edildiğini belirtmektedirler. Bununla birlikte osmoz edilen örneklerde, kuruma hızının azalmasına karşın

ürünü belirli bir su aktivitesi değerine karşılık gelen nem içeriğine kurutmak için gerekli sürenin kısaldığı saptanmıştır.

Kurutmadan önce uygulanan osmotik dehidrasyon sırasındaki su kaybına bağlı olarak kurutucunun su uzaklaştırma yükü azalmakta, örnekler kurutucuya daha yüksek kuru madde içeriğinde girmektedir. Bunun yanı sıra örneklerin çok daha yüksek su içeriğinde stabil duruma gelmesine bağlı olarak kuruma süresinin kısaldığı belirtilmektedir.

Kurutma işleminde, kurutma hızı ile birlikte kuru ürünün kalite özelliklerin de geliştirilmesi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Flink, 1980; İslam ve Flink, 1982).

2.3.3. Kalite Özelliği Üzerine Etkisi

Kurutma işlemi sırasında örnekler su kaybı nedeniyle büzülme ve spesifik hacim değişmektedir. Ancak osmoz sırasında kazanılan kuru madde miktarı arttıkça bu büzülmenin en aza indiği ve daha yoğun kuru ürün elde edildiği belirtilmektedir (Lee ve ark., 1989). Düşük kuruma hızı ile yüksek yoğunlukta kuru ürün elde edilmektedir. Bu tip ürünler depolama maliyeti ve taşıma açısından avantaj sağlamaktadır.

Çeşitli araştırmacılar osmotik dehidrasyonun renk stabilitesi bakımından daha kaliteli sonuç ürün verdiğini ifade etmişlerdir (Speck ve ark., 1977; Flink, 1980; Lee ve ark., 1989; Kim, 1989).

Meyve ve sebzelerdeki renk antosiyanin, flavanol, klorofil ve karoten gibi pigmentlerin varlığına bağlıdır. Bu maddelerden antosiyaninler ve flavanoller suda çok çözünürken, karoten ve klorofiller suda çözünmezler.

Osmotik dehidrasyon sırasında suda çözünür vitaminlerinden C vitaminin de difüzyona bağlı kayıplar meydana gelmektedir.

Genelde, osmotik olarak dehidre edildikten sonra kurutulan örneklerin rehidrasyon özelliği gelişmiş; renk, doku ve görünüş bakımından oldukça kaliteli ürünler oldukları, aroma ve tat açısından da kabul edilebilir düzeyde oldukları belirtilmektedir.

Osmotik dehidrasyon ve kurutma işleminin sağladığı bazı avantajlara rağmen mümkün olduğu kadar tazeye yakın ürün elde etmek amacıyla osmotik dehidrasyonun direk olarak dayanıklı meyve ürünleri eldesinde kullanımı giderek önem kazanmaktadır.

2.4. Osmotik Dehidrasyonun Avantajları

Osmotik dehidrasyonun diğer kurutma yöntemlerine göre en önemli avantajları şunlardır:

- İşlemin düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi nedeniyle üründeki renk ve aroma maddeleri kaybı en aza indirilir.

Osmotik dehidrasyon, oda sıcaklığında etkili olduğu için, renk ve aromanın ısıl bozulmasını minimize eder ve yüksek konsantrasyonlu şeker, meyve ve sebze parçalarını kapladığı için renk bozulmasını önler. Ayrıca, osmotik dehidrasyon SO₂ kullanımına gerek kalmadan örneklerin enzimatik yolla kararmalarına engel olur.

- Ürün hammaddeden daha yumuşak ve tatlı olur.

Osmotik dehidrasyonun diğer kurutma işlemlerine kıyasla farklı olan özelliği, gıda maddesinin içine katıların nüfuz etmesidir. Böylece, gıdanın formülasyonu değiştirilerek ileriki işlemler için gıdanın daha uygun bir hale getirilmesi mümkündür. Bu işlem şu şekilde gerçekleştirilebilir:

- Su içeriğinin azaltılmasıyla yada su aktivitesini düşürücü maddelerin ilavesiyle gıdanın fizikokimyasal bileşimini ayarlama.
- Bileşenleri yada katkıları antioksidantlar ile yada diğer koruyucu özellikler ile birleştirme.
- Besinsel yada duyuşal açıdan üründe kalite gelişimini sağlayabilecek katıların ilavesi.

Çözünebilir katıların seçici zenginleşmesi sayesinde yüksek kalitede sebze ve meyvelerin elde edilmesi mümkündür.

- Osmotik dehidrasyon ön işlemleri kurutma süresini kısaltmayı ve kurutucu potansiyeli arttırmayı sağlar.

Osmotik maddenin difüzyonu sonucu, materyalin yüzeyinde kütle transferine engel olan bir yüzey tabakası oluşur. Osmotik işlemleri takiben izleyen konveksiyonla kurutma işleminin hızı bu yüzden azalır. Fakat gerçekte, osmotik işlemleri uygulanmış ve uygulanmamış örneklerin konvektif kurutulmasında, kuruma süresinin yakın olduğu bildirilmiştir (Lewicki ve Lukaszuk, 2000).

- Enerji sarfiyatını azaltmayı sağlar.

Osmotik dehidrasyon, geleneksel kurutma yöntemlerinden daha az enerjiye gereksinim duyar. Osmotik dehidrasyon işleminde enerji tüketimi gerektiren iki tane basamak vardır. Bunlar:

- Materyalin ve osmotik çözeltinin istenilen sıcaklığa kadar ısıtılması ve meydana gelebilecek ısı kaybı.
- Çözeltinin karıştırılması.

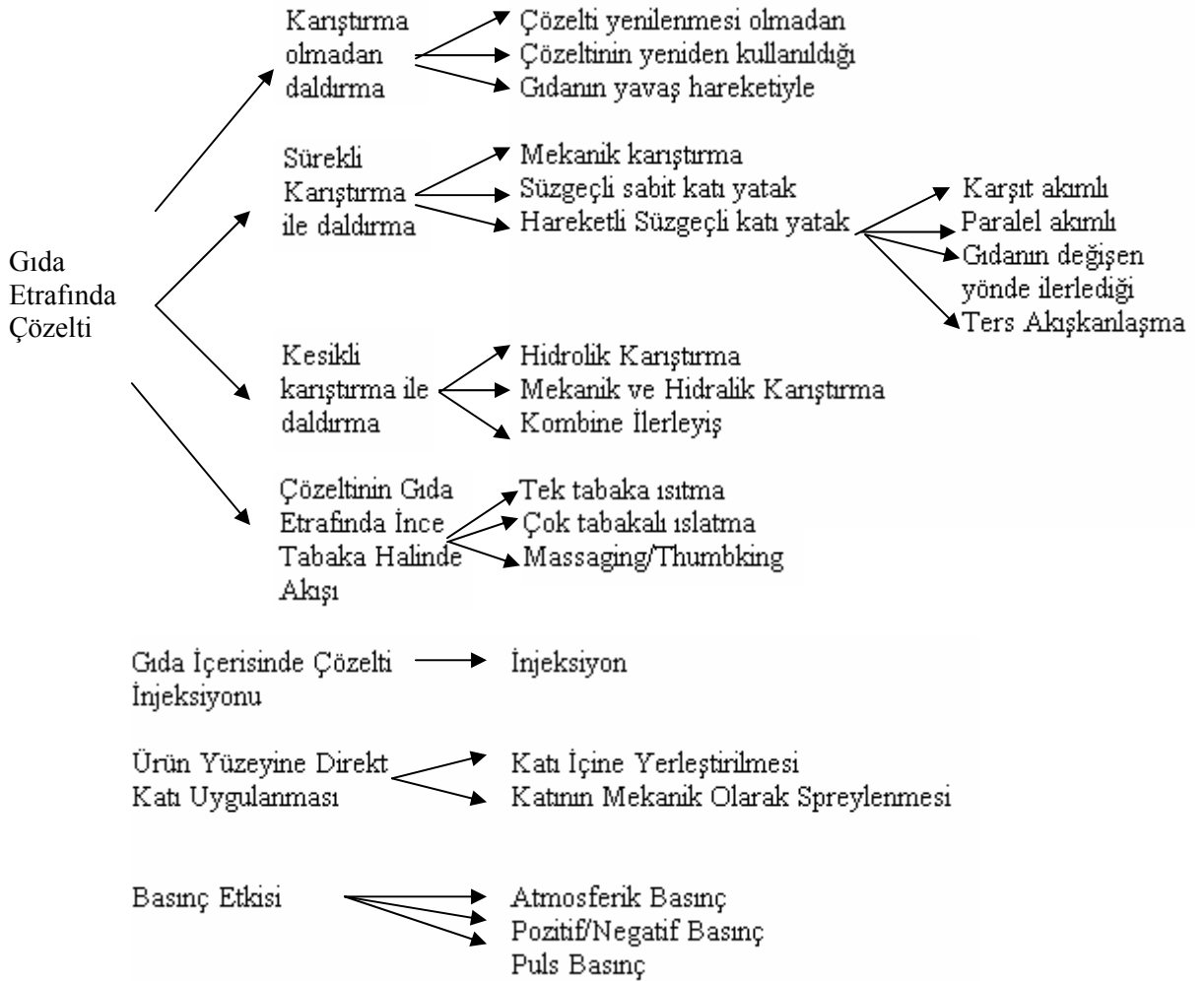
Osmotik dehidrasyon işleminde suyun őrnden uzaklaştırılması işlemi faz değişimini içermediğinden, konveksiyonla kurutmaya kıyasla enerji tasarrufu da sağladığı belirtilmektedir (Lewicki ve Lenart, 1995).

3. OSMOTİK DEHİDRASYONUN ENDÜSTRİDE KULLANIMI

Osmotik dehidrasyon sırasında sıcaklık, çözelti konsantrasyonu, karıştırma hızı, işlem süresi ve basınç gibi işlem parametreleri kontrol edilebilirse, bu işlem, ürün kalitesi ve maliyet açısından sağladığı avantajlardan dolayı gıda sanayinde geniş bir uygulama alanı bulabilir. İşlemin endüstriyel çapta uygulanabilirliğinin sağlanması için amaca uygun olarak dizayn edilmiş ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır.

3.1. Osmotik İşlem Ekipmanlarının Çalışma İlkeleri

Osmotik işlem ekipmanlarında gıdanın daha yoğun ve viskoz olan çözelti ile temas ettirilirken zarar görmemesi ve tüm ürünün homojen bir şekilde işlenmesi gibi kaygılar söz konusudur. Farklı tipteki osmotik işlem ekipmanları gıda ile çözeltiyi temas ettirme ilkeleri açısından Şekil 3.1’de verilmiştir.



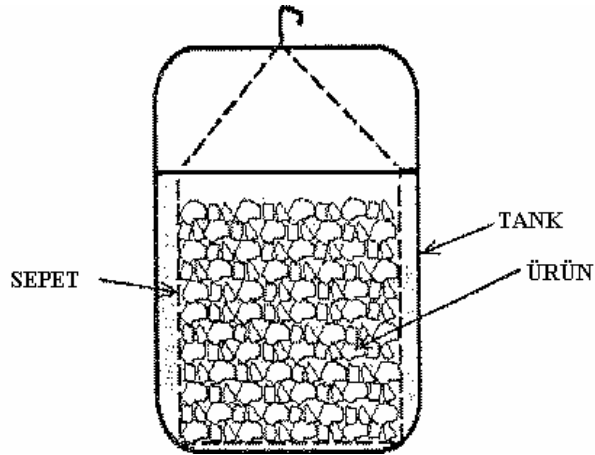
Şekil 3.1. Osmotik dehidrasyon ve zenginleştirme işlemlerinde kullanılan ilkeler (Marouze ve ark., 2001)

3.2. Gıdanın Çözelti İçerisine Daldırılması-Karıştırmasız Sistemler

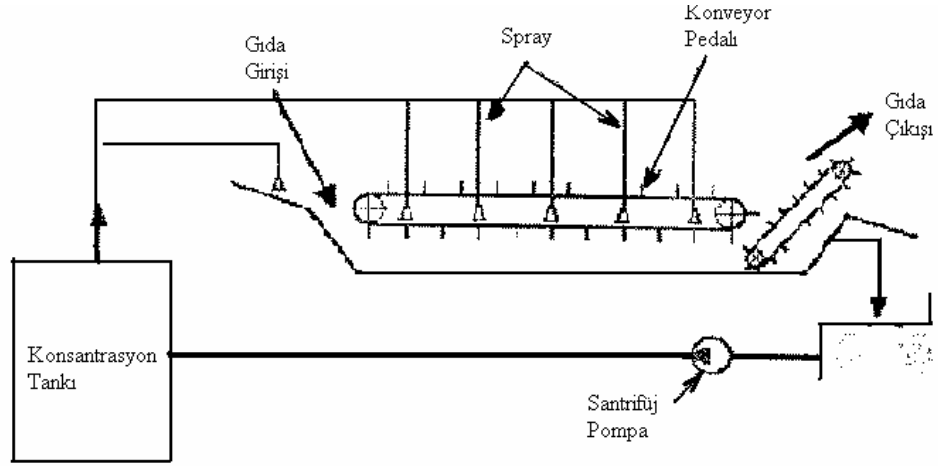
Gıdayla çözeltiyi temas ettirmenin en basit yolu gıdanın durgun bir ortama daldırılmasıdır. Günümüzde halen yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu sistemde çözeltinin gıdaya göre hareketi genellikle yoktur veya çok yavaştır. Çözelti sirkülasyonu ile sıcaklık kontrol edilemediği için tanklar sıcaklığı istenilen değere ayarlanmış ortamlar içerisine yerleştirilir.

Bu prensibe dayanan şekerleme ve tuzlama ekipmanları, gıdanın sepetler kullanılarak içine daldırıldığı çözelti tanklarından oluşur (Şekil 3.2). Daldırma ve uzaklaştırma işlemleri haricinde çözeltinin gıdaya göre bir hareketi yoktur. Düşük kütle transfer hızından dolayı işlem süresi uzundur. Bu tanklar seri bir şekilde düzenlenerek çözeltinin bir tanktan diğerine ters yönde yavaş sirkülasyonu ile kademeli olarak da kullanılabilir.

Çözelti tankına gıdanın yavaşça daldırılabilmesi, bu ilkenin sürekli sistemlere de uygulanabileceğini göstermiştir. Taşınım bir konveyör veya gıda maddesi içeren sepetlerin yatay yer değiştirmesiyle gerçekleşir (Şekil 3.3). Eğer gıdanın yoğunluğu çözeltiden daha düşük ise tel kafesler gıdanın çözeltide daldırılmış olarak (üstte yüzmeden) sistemde ilerlemesini sağlar; aksine gıda daha yoğun ise tankın dibine batmasını önler.



Şekil 3.2. Ürünün çözelti içerisine karıştırma ve çözelti yenilenmesi olmadan daldırılması



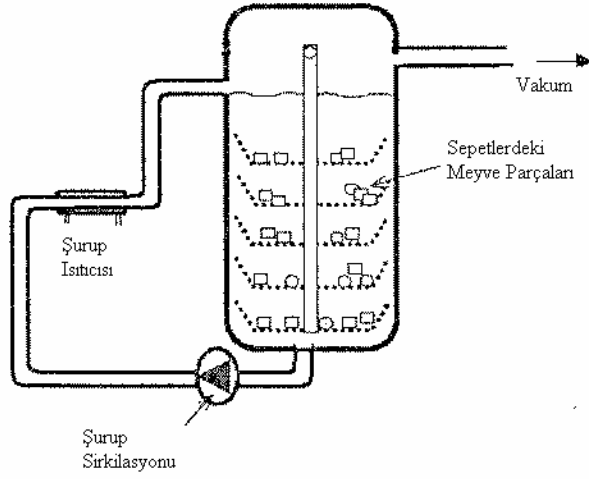
Şekil 3.3. Gıdanın çözelti içerisindeki yavaş hareketi ilkesi (Deumier ve ark., 1996)

3.3. Gıdanın Çözelti İçerisine Daldırılması-Sürekli Karıştırıcı Sistemler

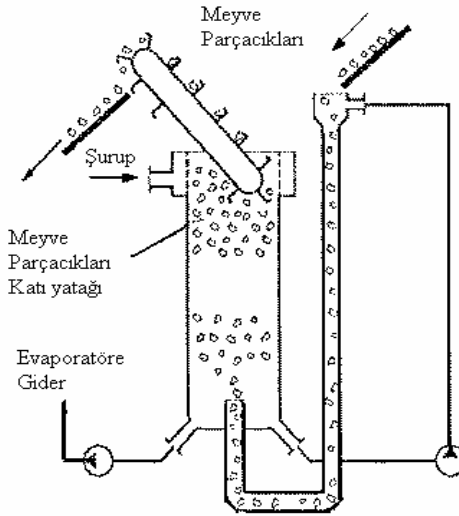
Osmotik işlem sırasında gıdanın etrafında oluşan seyreltik film tabakasının yenilenmesi için gıda ile çözelti arasında bir bağıl hareket oluşturulmalıdır. Bu değerlendirme kriterini karşılayabilmek için çeşitli ekipmanlar geliştirilmiştir. Bunlar arasında; yatay silindirik bir tank içine aksel olarak yerleştirilmiş, gıdaya karşıt yatay akış ağılayan helezonik bir karıştırıcı içeren sistemler (Boemo, 2000), kesikli sistemde süzgeçli katı yataklar (Marouze ve ark., 1994) ve hareketli süzgeçli yataklardan (Brimelow ve Brittain, 1976; Pavasovic ve ark., 1986) bahsedilebilir.

Kesikli sistemlerde kullanılan süzgeçli katı yatak ilkesinde, gıda silindirik bir tank içerisinde sepetlere veya yatay ızgaralı tepsilere yerleştirilir (Şekil 3.4). Ürün, kendisini ayırma ızgarasından yukarıya doğru iten kaldırma kuvvetiyle çözeltinin aşağıya doğru sirkulasyonundan dolayı oluşan sürüklenme kuvvetinin etkisi altındadır.

Hareketli yatak sistemlerinde ise düzeneklerin temelini çözeltinin belli bir yönde sirküle edildiği düşey silindirik bir tank oluşturmaktadır (Şekil 3.5). Gıdanın ekipman içerisinde ilerleyişi, yavaş bir şekilde çözelti akışına karşıt, paralel veya değişen yönlerde olacak şekilde tasarlanabilir (Brimelow ve Brittain, 1976; Pavasovic ve ark., 1986; Giroux, 1992). Sürekli sistemde çalışan bu ekipmanlarda karşılaşılan zorlukların başında ekipman içerisinde düzgün bir çözelti hız dağılımı ve gıdanın ilerleyişinin sağlanması ve ürünün sistemden hasar görmeden, düzgün bir şekilde alınması gerekmektedir (Marouze ve ark., 1994).



Şekil 3.4. Gıdanın çözelti içerisinde daldırıldığı sürekli karıştırılmalı sistemler (kesikli sistemde süzgeçli sabit yatak ilkesi)

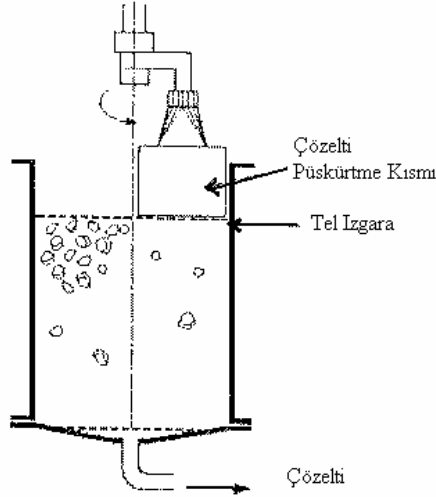


Şekil 3.5. Gıdanın çözelti içerisinde daldırıldığı sürekli karıştırılmalı sistemler (Gıdanın karşıt akımla ilerlediği hareketli süzgeçli yatak ilkesi)

3.4. Gıdanın Çözelti İçine Daldırılması-Kesikli Karıştırma Sistemleri

Karıştırma olmadan daldırma sistemlerinde çözeltinin gıdaya göre hızı yoktur veya çok yavaştır. Bu nedenle bu ekipmanlar şekerleme, kısmi şekerleme ve tuzlama işlemleri için daha uygundur. Kesikli karıştırma ile daldırma sistemleri arasında hidrolik karıştırma, kombine hidrolik ve mekanik karıştırma ve gıda ile çözeltinin birlikte hareketi ile daldırma sistemleri yer almaktadır (Marouze ve Giroux, 2001). Bu prensip meyve parçaları ve et ürünleri için kullanılmaktadır.

Hidrolik karıştırmada gıda parçacıkları tank yüzeyinin hemen altına yerleştirilen geniş aralıklı tel ızgara tarafından zorlanarak çözelti içerisine daldırılır. Çözelti tanka ızgara üzerinden yatay dairesel hareket eden bir nozzle tarafından şiddetli bir şekilde püskürtülerek verilir (Şekil 3.6). Bu sayede parçacıklar tankın tabanına doğru itilir ve daha sonra serbest kalan parçacıklar kaldırma kuvvetinin etkisiyle yavaşça yükselir.



Şekil 3.6. Gıdanın çözelti içerisine daldırıldığı kesikli karıştırma sistemleri (gıdanın hidrolik karıştırılması ilkesi)

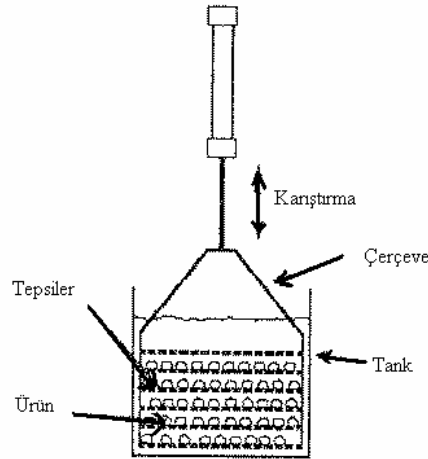
Kombine edilmiş mekanik ve hidrolik karıştırma ile ilgili iki teknik çözüm öne sürülmüştür. İlk olarak hidrolik karıştırma sistemine çok benzeyen ancak gıdanın çözelti içerisinde hareketini sağlayan nozzle yerine tanka eş merkezli olarak yerleştirilen helezonik vida kullanılmıştır. Helezonik vida döndükçe dişlerin altında kalan gıda parçacıkları aşağı doğru itilir. Vidanın sonuna gelindiğinde parçacıklar birbirinden ayrılmış bir şekilde yüzeye doğru yükselirler. Öne sürülen ikinci teknik çözüm ise sürekli sistemde çalışan ve iç kısmını merkeze doğru açılan bölmelere ayıran boylamasına bıçaklara sahip yatay kapalı bir valsden oluşan bir sistemdir. Parçacıklar ekipmana çözelti ile birlikte silindir eksenini boyunca beslenir. Kaldırma kuvveti parçacıkları üst bölmelere doğru iter. Ekipman içerisinde devamlı dönen bu bölmelerde

gıda parçacıkları valsın alt kısımlarına taşınırlar. Bıçakların şekilleri öyle dizayn edilmiştir ki parçacıklar silindirin alt kısımlarında serbest kalır. Çözeltinin ekipman içerisinde ileri doğru hareketi yükselen parçacıkların aksenel yönde sürüklenmesine neden olur (Marouze ve ark., 1994).

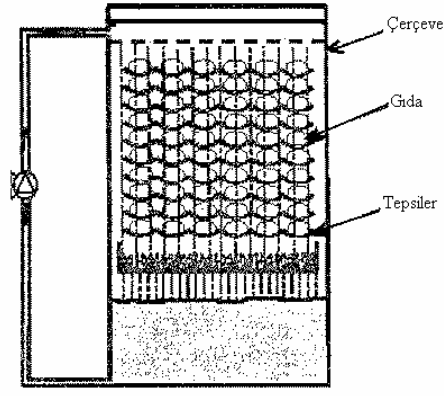
Gıda ile çözeltinin birlikte hareketi ile daldırma ilkesinde ürün bir çerçeveye tutturulan ve tabakalar halinde düzenlenmiş tepsilerin üzerine yayılır (Şekil 3.7). Tepsi çerçeve topluluğu boyutları tepsilerin boyutlarıyla uyuşan bir tankın içerisine daldırılır. İşlem döngüsü tepsilerin hızlı düşüşü, bir an bekleme ve daha sonra yavaşça yükseltilmesinden oluşur. Bu yavaş yükselme kaldırma kuvvetinin etkisiyle parçacıkların tepsilerin altında birikmesini ve yatay yönde yer değiştirmesini önlemektedir (Deumier ve ark., 1997).

3.5. Diğer Sistemler

Çözeltinin gıda içerisine enjekte edildiği osmotik işlemler genellikle et ve balıkların tuzlanmasında uygulanmaktadır (Schmidt, 1986; Clasus ve ark., 1994). Enjeksiyon için genellikle doymuş tuz çözeltisi kullanılmaktadır.



Şekil 3.7. Gıdanın çözelti içerisine daldırıldığı kesikli karıştırma sistemleri (Gıda ve çözeltinin birlikte yer değiştirmesiyle daldırma ilkesi)



Şekil 3.8. Çok tabakalı ıslatma ilkesi (Marouze ve ark., 1997)

Birçok osmotik işlem atmosferik basınçta yürütülmektedir. Ancak yüksek basıncın tuzlama işleminde kütle transferini modifiye ettiği bilinmektedir (Massens ve ark., 1998). Benzer şekilde pals vakum tuzlama hızını arttırmak için kullanılmaktadır. Ancak bu tip uygulamalar kapalı ekipmanla gerektirdiği için yatırım maliyetini arttırmaktadır.

Osmotik dehidrasyon işlemlerinin endüstriyel çapta uygulanması işlem ekonomisi açısından ele alındığında çözeltinin yeniden kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak çözeltiliye başka katılar (sıvı tatlandırıcılar, kütleme ajanları vs.) da ekleyerek gıda formülasyonu amaçlandığında, çözelti konsantrasyonunun ölçülmesi (özel sensörlere ihtiyaç duyulur), optimum seviyede tutulabilmesi ve tekrar kullanılabilmesi oldukça güç olmaktadır.

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

Bu çalışmada Hacıhalil tipi kayısıların farklı çalışma koşullarında osmotik dehidrasyonu incelenmiştir. Kayısı örnekleri Elazığ'ın Baskil ilçesinden temin edilmiş ve deneylerin gerçekleştirildiği Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarına getirilerek işlenmeye alınmıştır. Deneyler Temmuz–Ekim dönemleri arasında gerçekleştirilmiş ve bu dönemler arasında deneyde hammadde olarak kullanılan kayısılar soğuk hava deposunda yaklaşık 1 ay kadar muhafaza edilmiştir. Osmotik dehidrasyon ve kurutma denemeleri, her parametre için 5 kez tekrarlanmıştır.

Osmotik çözeltilerin hazırlanmasında kullanılacak osmotik madde olarak sakaroz, glikoz, fruktoz, maltodextrin ve sorbitol temin edilmiş ve saf su kullanılarak bunların %70, %60, %50 ve %40 konsantrasyonlardaki çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan her bir çözeltinin konsantrasyonu refraktometre ile kontrol edilmiştir.

4.2. Deneysel Yöntem ve Deneyin Yapılışı

Kayıslar tartılarak yaklaşık 24 g ağırlığında olanlar deneysel materyal olarak kullanılmak üzere ayrılmıştır. Kayısların ortalama başlangıç nem içeriği % 80.864 (yaş temel) dir. Bu, 24 saat 75 °C'de etüvde kayısların sabit tartıma gelene kadar kurutulmasıyla bulunmuştur.

Yapılan osmotik dehidrasyon deneylerinde kütle transferi ve ürün kalitesinde etkili olan değişkenler üzerine inceleme yapılmıştır. Bu deneylerde, kesikli-sürekli sistemin etkisi, statik-karıştırmalı sistemin etkisi, farklı çözelti konsantrasyonların (%40, %50, %60 ve %70) etkisi, farklı osmotik maddelerin (sakaroz, glikoz, fruktoz, maltodextrin ve sorbitol) etkisi, sıcaklığın (25 °C, 35 °C ve 45 °C) etkisi, farklı ön işlem uygulanmasının ($K_2S_2O_5$, $Na_2S_2O_5$, Etil Oleat (EO), K_2CO_3 ve bunların farklı kombinasyonları) etkisi, örnek/çözelti oranının (1:4, 1:8, 1:12, 1:16, 1:20, 1:25) etkisi, örnek geometrisinin (küp, yarım, tüm) etkisi, ön işlemde sürenin (15 saat, 24 saat ve 40 saat) etkisi, osmotik dehidrasyonda büzülmenin etkisi (%70 konsantrasyon ve 25 °C'de tüm osmotik maddeler için) incelenmiştir.

Osmotik dehidrasyon işlemi ağzı kapalı 850 ml'lik cam kavanozlar içinde gerçekleştirilmiştir. Örnek/çözelti oranının etkisinin incelendiği deneyler hariç diğer deneyler 1:25 örnek/çözelti oranında gerçekleştirilmiştir.

Kayısının osmotik dehidrasyonunda öncelikle kesikli ve sürekli sistemin mukayesesi yapılmıştır. Kesikli sistemde, çok sayıda osmotik ortam hazırlanmış her birine yaklaşık aynı büyüklükte kayısılar koyulmuştur. 2 saatlik periyotlarda örneklerden biri alınarak ağırlık değişimi kaydedilmiş daha sonra kuru madde içeriğini belirlemek için 75 °C sıcaklıkta etüvde 24 saat bekletilmiştir. Sürekli sistemde ise aynı kayısının ağırlık değişimleri ölçülmüş, 8-9 günlük osmotik dehidrasyondan sonra kayısındaki su ve kuru madde içerikleri belirlenmiş, daha sonra Azura vd. (1998) tarafından geliştirilen ve detayları ekte verilen metoda göre her bir zaman aralığı için su kaybı ve kuru madde kazanımları hesaplanmıştır. Tüm deneyler 5 defa tekrarlanmış daha sonra aritmetik ortalamaları alınarak kullanılmış ayrıca ölçüm değerlerinin standart sapmaları hesaplanmıştır. Tüm parametrelerde mukayeseler, su kaybı ve katı kazanımı baz alınarak yapılmıştır.

Araştırmada karıştırma işleminin kütle transferi üzerindeki etkisini incelemek amacı ile kayısı örnekleri, hem karıştırmalı hem de statik ortamda osmotik dehidrasyona tabi tutulmuştur.

Kesikli sistem ile sürekli sistemin mukayesesi amacıyla yapılan deneyler ise 25 °C'de %70 fruktoz çözeltisinde gerçekleşmiştir.

Ayrıca sakaroz, glikoz, fruktoz, maltodextrin ve sorbitolun %40, 50, 60 ve 70'lik çözeltileri hazırlanarak farklı madde ve konsantrasyonun kütle transferi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Sıcaklığın etkisini incelemek amacıyla ise 25 °C'de %70 konsantrasyon ve farklı maddeler için yapılan deneyler 35 °C ve 45 °C için tekrarlanmıştır.

Osmotik dehidrasyonda kütle transferi ve ürün kalitesinin incelenmesi amacıyla yapılan diğer bir deney ise, kayısı örneklerinin %5 K₂S₂O₅, %5 Na₂S₂O₅, %2 E.O.+%5 K₂S₂O₅, %2 E.O.+%5 Na₂S₂O₅, %2 E.O.+%5 K₂CO₃ de 20 dakika bekletildikten sonra osmotik dehidrasyon işlemine tabi tutularak ön işlemin etkisinin incelenmesidir.

Örnek/çözelti oranının etkisini incelemek amacıyla yapılan deneyler, 25 °C'de %70 konsantrasyondaki glikoz ve maltodextrin çözeltileri için uygulanmıştır. Örnek/çözelti oranı olarak 1:4,1:8,1:12,1:16 ve 1:20 oranları kullanılmıştır. 1:25 oranı ise farklı madde kullanımının etkisi sırasında incelenmiştir.

Örnek büyüklüğünün etkisini incelemek amacıyla ise kayısı örnekleri, 25 °C'de %70 konsantrasyondaki sakaroz, glikoz, fruktoz, maltodextrin ve sorbitol çözeltilerine küp, yarım ve tüm halinde bırakılarak 24 saat bekletilmişlerdir. 24 saat sonunda örnekler osmotik çözeltiden çıkarılıp suda hafifçe yıkanarak kurulama kağıdı ile örnek yüzeyindeki fazla çözelti giderilmiş ve 75 °C'de etüvde kurutulmuştur.

Ön işlemin sürenin etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerde örnekler, ön işlem uygulanması ardından osmotik çözeltide 15 saat, 24 saat ve 40 saat bekletildikten sonra suda

hafifçe yıkanıp kurulama kağıdı ile kurularak örnek yüzeyindeki fazla çözelti giderilmiş ve 75 °C'de etüvde kurutulmuştur.

Büzülmenin etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan deneyler 25 °C sıcaklıkta, %70 konsantrasyondaki farklı çözeltilerde gerçekleştirilmiştir. 120 dakika süre sonunda kayıslar çözeltilerden çıkarılarak çap, uzunluk, hacim ve ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Çap ve uzunluk bir kumpas yardımıyla, hacim bir mezür içinde su ile yer değiştiren hacmin 0.01 ml hassasiyetle ölçülmesiyle, ağırlık 0.001 gr hassasiyetli terazide tartılarak belirlenmiştir. Daha sonra ağırlık değerleri hacme bölünerek yoğunluk değerine geçilmiştir.

Çalışılan tüm osmotik işlem koşullarında, ürün ile çözelti arasında denge durumunun sağlanması amaçlanmıştır. Dengenin sağlanması için gerekli osmotik işlem süreleri, örneğe ve işlem koşullarına bağlı olarak değişmekle birlikte (8 -9 gün) oldukça uzun işlem sürelerine karşılık gelmektedir.

Osmotik işlem süresince, 2 saat aralıklarla örnek osmotik ortamdan çıkarılıp suda hafifçe yıkanarak yüzeyi kurulama kağıdı ile kurulanmış ve örneklerin ağırlık değişimleri kaydedilerek osmotik çözeltilere geri bırakılmıştır. 8 ila 9 gün sonunda örnekler sabit tartıma gelene kadar 75 °C'de etüvde kurutulmuştur. Deneysel bulunan denge değerleri ile Azura vd. (1998) tarafından geliştirilen sürekli metoda göre bulunan denge değerleri birbiriyle oldukça uyum içinde olduğu görülmüştür.

Bunun yanı sıra osmotik çözeltilerde konsantrasyon değişimi olup olmadığını izlemek amacıyla her gün refraktometre ile osmotik çözeltinin konsantrasyonuna bakılmıştır. 8-9 günlük osmotik dehidrasyon sonunda bile osmotik çözelti konsantrasyonunda sadece %1-2'lik azalma olduğu görülmüştür. Seçilen örnek/çözelti oranının çok yüksek olması nedeniyle, dış direncin kütle transferine etkisi ihmal edilebilmekte ve kütle transferinin sadece katı içi difüzyon kontrolünde gerçekleştiği sonucuna varılabilmektedir.

Çalışmada ayrıca osmotik dehidrasyon işleminin kinetiği de incelenmiş, su ve katı madde için kütle transfer katsayıları (k_w , k_s) ve difüzyon katsayıları hesaplanmıştır ve bu değerlere farklı madde kullanımının, çözelti konsantrasyonunun, sıcaklığın, osmotik dehidrasyon öncesi ön işlem uygulamanın ve farklı örnek/çözelti oranının etkisi incelenmiştir. Ayrıca su ve katı için denge dağılım katsayıları (λ) hesaplanmış ve yine bu parametreye, farklı osmotik madde kullanımı, çözelti konsantrasyonunun, osmotik ortam sıcaklığının, örnek/çözelti oranı ve farklı ön işlem uygulamanın etkisi araştırılmıştır.

Osmotik dehidrasyona tabi tutulan kayıslar daha sonra 75 °C sabit sıcaklıktaki etüve alınarak kurutulmuş ve bu sayede farklı parametrelerin kuruma kinetiklerine etkisi de incelenmiştir. Osmotik dehidrasyon uygulanan kayıslar hiçbir işlem görmeden kurutulan

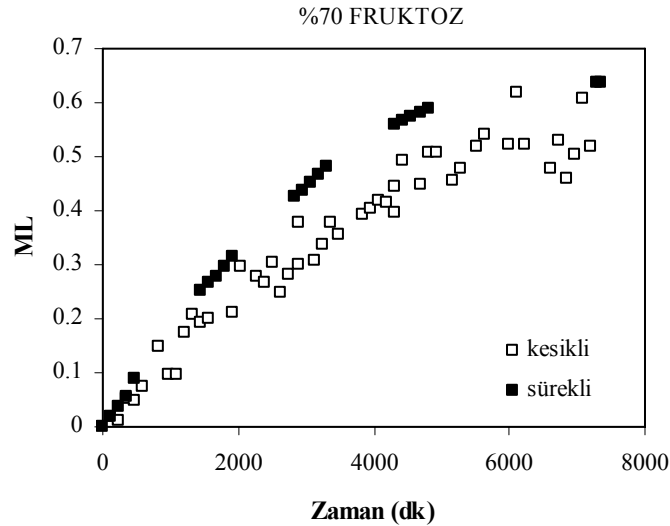
kayislarla ve ön işlem uygulandıktan sonra kurutulan kayislarla kuruma hızı, süresi ve kayısı rengi bakımından mukayese edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kayısı örneklerinde, kütle transfer mekanizması incelenmiş ve en etkin osmotik dehidrasyonunu sağlayan çözelti tipi ve işlem koşullarını belirlemek amacıyla çeşitli faktörlerin su uzaklaşma kinetiği üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

5.1. Osmotik Dehidrasyonda Kesikli ve Sürekli Sistemin Mukayesesi

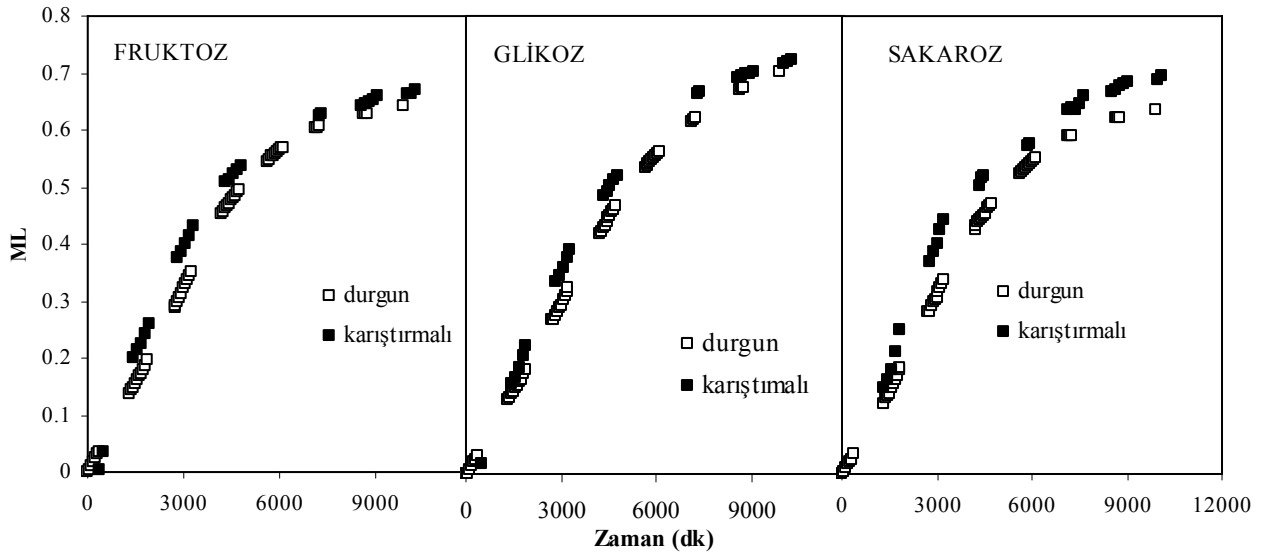
Osmotik dehidrasyonda sürekli yöntem ile kesikli sistemin etkisi %70 konsantrasyonda fruktoz çözeltisi kullanılarak incelenmiş, bu çözelti içinde gerçekleştirilen osmotik dehidrasyon sırasında zamanla ağırlık kaybındaki değişim Şekil 5.1’de verilmiştir. Şekil 5.1’den görüldüğü gibi, sürekli sistemde daha fazla ağırlık kaybı (ML) meydana gelmektedir. Ayrıca kesikli sistemde elde edilen ağırlık kaybı değerleri çok fazla dağınıklık göstermektedir. Her bir denemede yaklaşık aynı ağırlığa sahip kayısların kullanılmasına rağmen yine de çekirdek ağırlığı, çap, olgunluk değerleri birbirinden farklı olabilmektedir. Bu da osmotik dehidrasyon sonucunda elde edilen değerlerin birbirinden fazlaca sapma göstermesine neden olmaktadır. Bu nedenle daha doğru mukayese yapmaya olanak sağlayacağını düşündüğümüz sürekli metot ile deneylere devam edildi.



Şekil 5.1. Kayısların sürekli sistem ve kesikli sistem koşullarında osmotik dehidrasyonunda ağırlık kaybı (ML) değerlerinin zamanla değişimi

5.2. Osmotik Dehidrasyonda Durgun ve Çalkalamalı Sistemin Mukayesesi

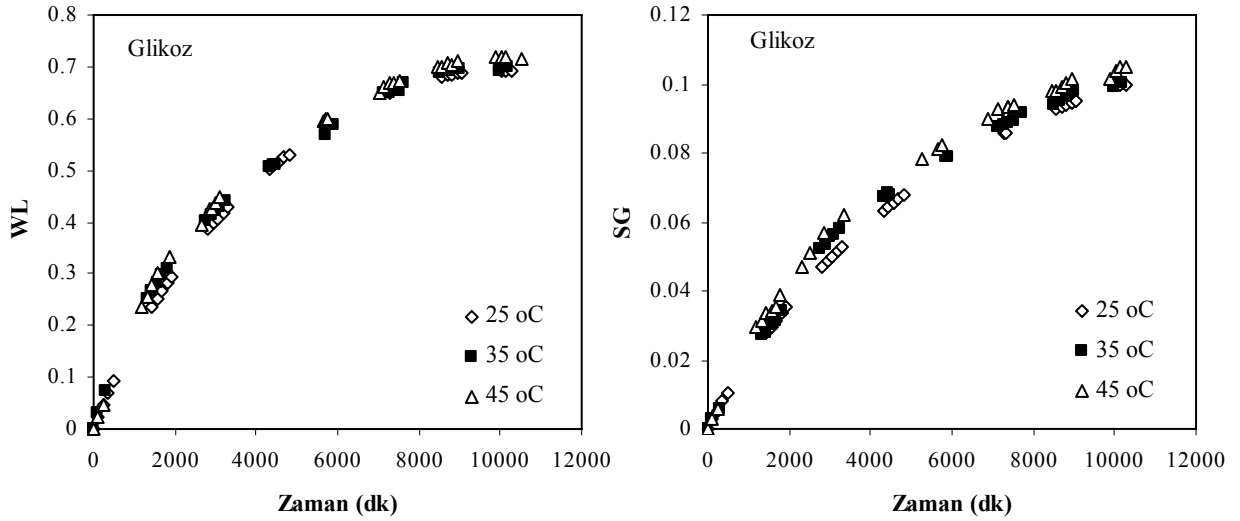
Kayısıların osmotik dehidrasyonuna karıştırma işleminin etkisi incelenmiş, denemeler %70 konsantrasyonda hazırlanan sakaroz, fruktoz ve glikoz çözeltilerinde gerçekleştirilmiştir. Karıştırmalı sistem ile durgun sistem mukayese edildiğinde, karıştırma işlemi ile daha fazla ağırlık kaybı olduğu görülmektedir (Şekil 5.2). Osmotik çözeltilerde konsantrasyon arttıkça viskozite de arttığından kütle transferine karşı bir direnç oluşmaktadır. Statik (durgun) sistemlerde bu direncin kütle transferine etkisi önemli düzeylerde iken karıştırma işlemi ile ihmal edilebilecek düzeye indirilmekte (Hawkes ve Flink, 1978), dolayısıyla üründen ayrılan suyun çözeltiliye difüzyonu artmaktadır. Ancak Şekil 5.2'den de görüldüğü gibi durgun ve karıştırmalı sistem mukayese edildiğinde, ağırlık kaybındaki artış sadece sakarozda hissedilir oranda olmuştur. Diğer maddelerde çok önemli bir fark yaratmamaktadır. Osmotik dehidrasyon süresinin de çok uzun olduğu göz önüne alındığında, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla daha sonraki deneylerin statik (durgun) sistemde yapılmasına karar verilmiştir.



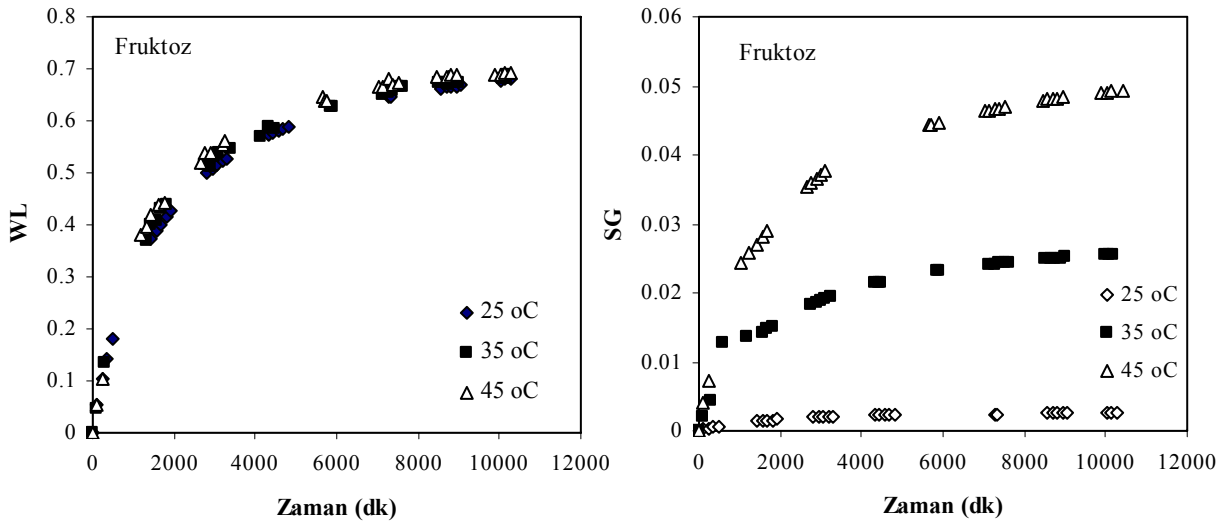
Şekil 5.2. Kayısıların karıştırmalı ve statik (durgun) koşullarda osmotik dehidrasyonunda ağırlık kaybının (ML) osmotik işlem süresiyle değişimi

5.3. Osmotik Dehidrasyona Sıcaklığın Etkisi

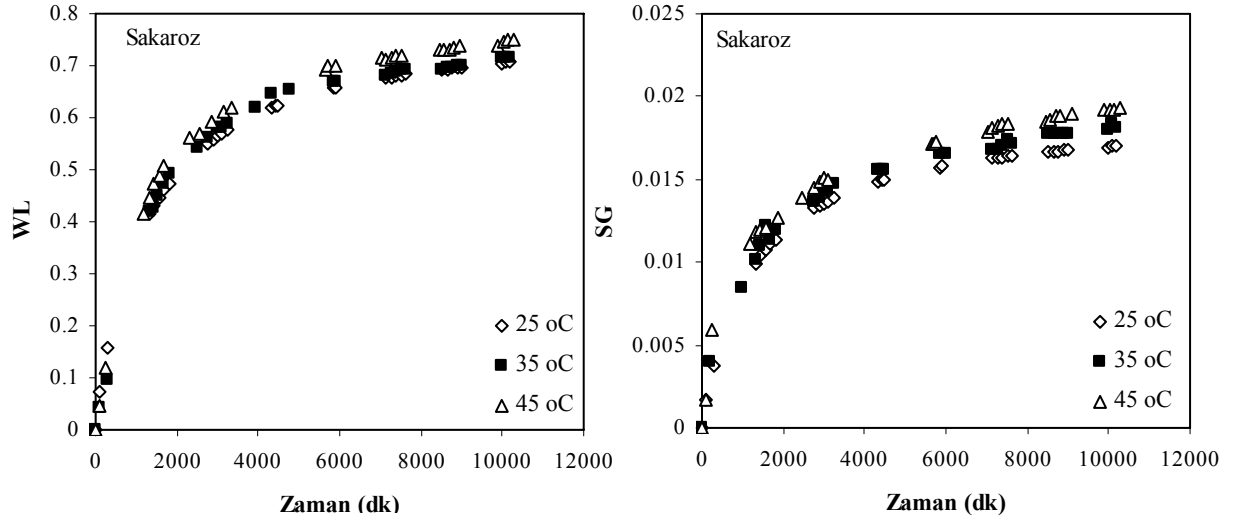
Osmotik dehidrasyonda sıcaklığın etkisini incelemek amacıyla yapılan deneyler, %70 konsantrasyonda sakaroz, fruktoz, glikoz ve maltodextrin çözeltileri için 25 °C, 35 °C ve 45 °C'de gerçekleştirilmiş ve zamanla kayısdan uzaklaşan su miktarı ile kazanılan katı miktarı Şekil 5.3 (a-d)'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi sıcaklığın artması osmotik işlemi hızlandırmıştır. En yüksek su kaybı ve katı kazanımının 45 °C'de gerçekleştiği görülmüştür.



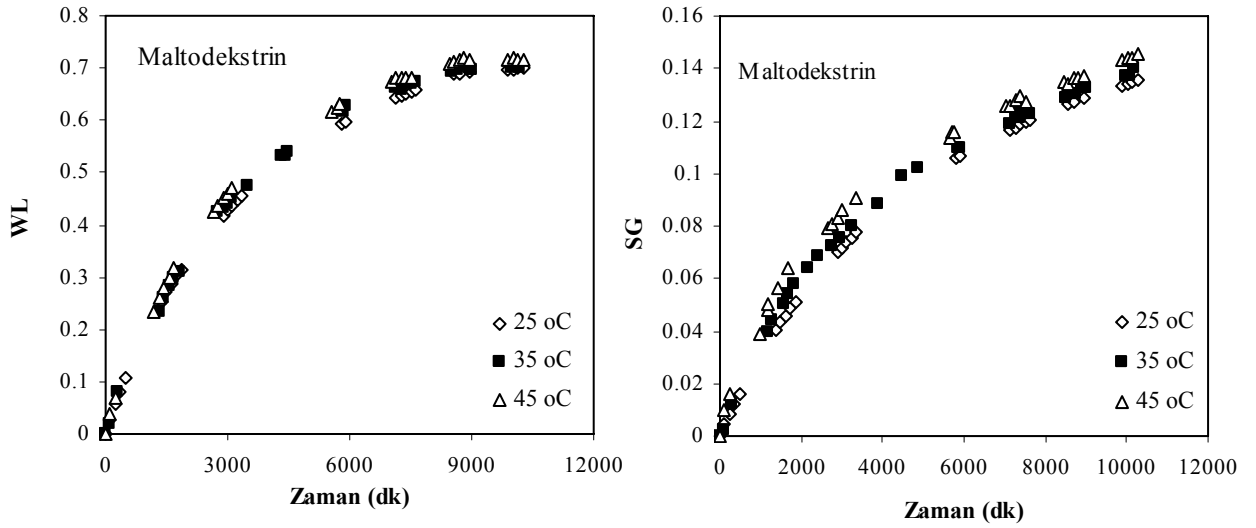
Şekil 5.3 (a). Kayısların %70 glikoz çözeltisi içinde su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerlerine sıcaklığın etkisi



Şekil 5.3 (b). Kayısların %70 fruktoz çözeltisi içinde su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerlerine sıcaklığın etkisi



Şekil 5.3 (c). Kayısların %70 sakaroz çözeltisi içinde su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerlerine sıcaklığın etkisi

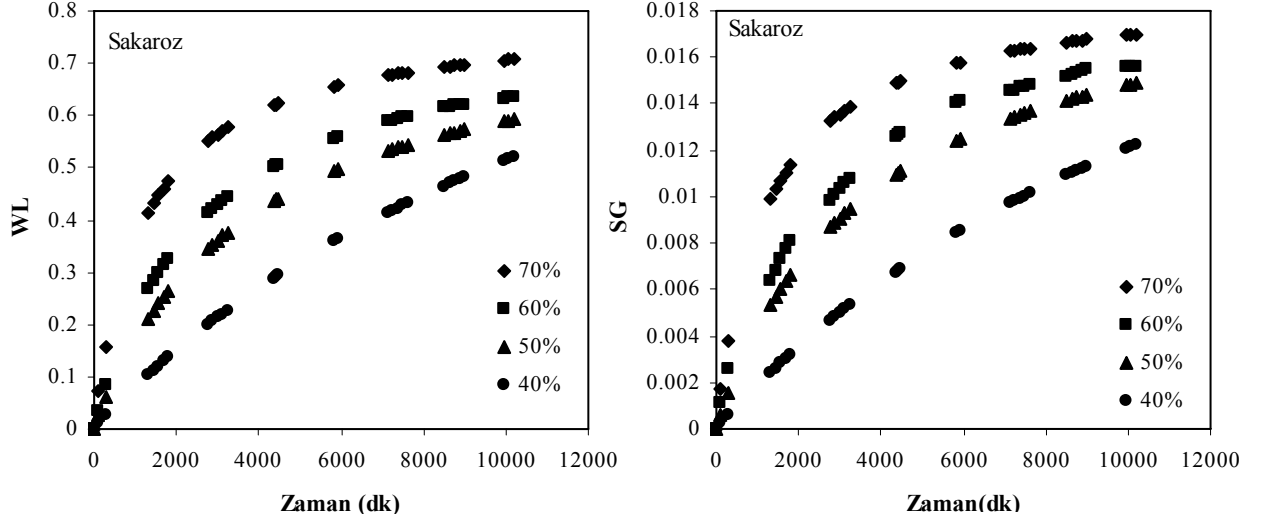


Şekil 5.3 (d). Kayısların %70 maltodekstrin çözeltisi içinde su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerlerine sıcaklığın etkisi

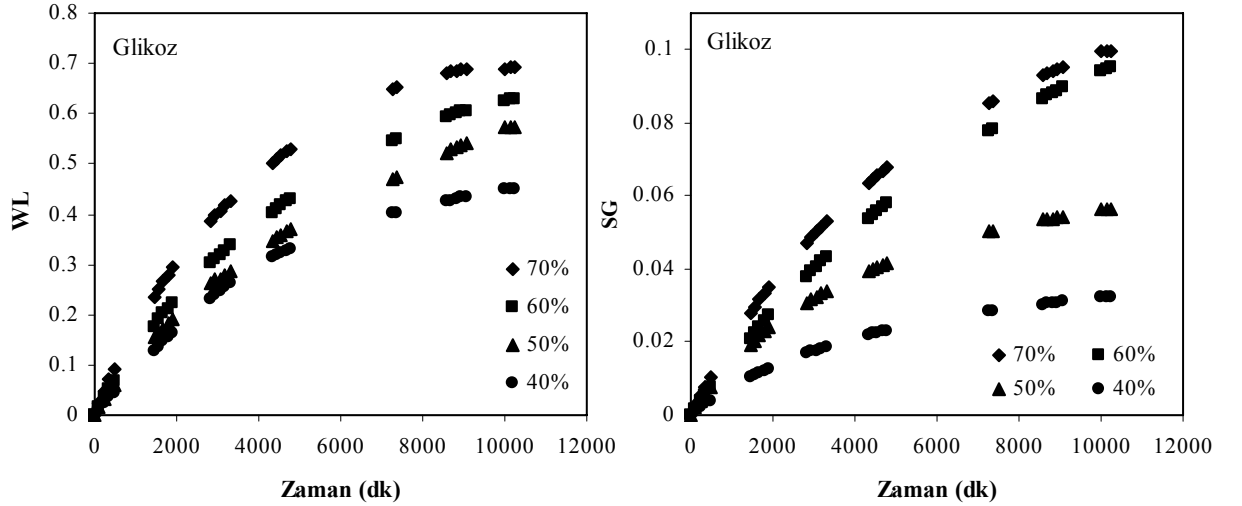
Şekil 5.3 (a-d)'den görüldüğü gibi sıcaklıktaki artış sadece fruktozda katı kazanımını belirgin oranda artırmış diğer maddelerde ve su kaybında artış sağlamasına rağmen bu artış beklenildiği kadar fazla olmamıştır. Bu sonucun, farklı sıcaklığın sağlanması için kullanılan su banyolarının güvenlik açısından kesikli çalıştırılması nedeniyle ortaya çıktığı söylenebilir. Harcanan enerji ve cihazın yıpranması düşünüldüğünde daha sonraki parametrelerin oda sıcaklığında gerçekleştirilen osmotik dehidrasyon ortamında incelenmesine karar verilmiştir.

5.4. Osmotik Madde Cinsi ve Konsantrasyonunun Etkisi

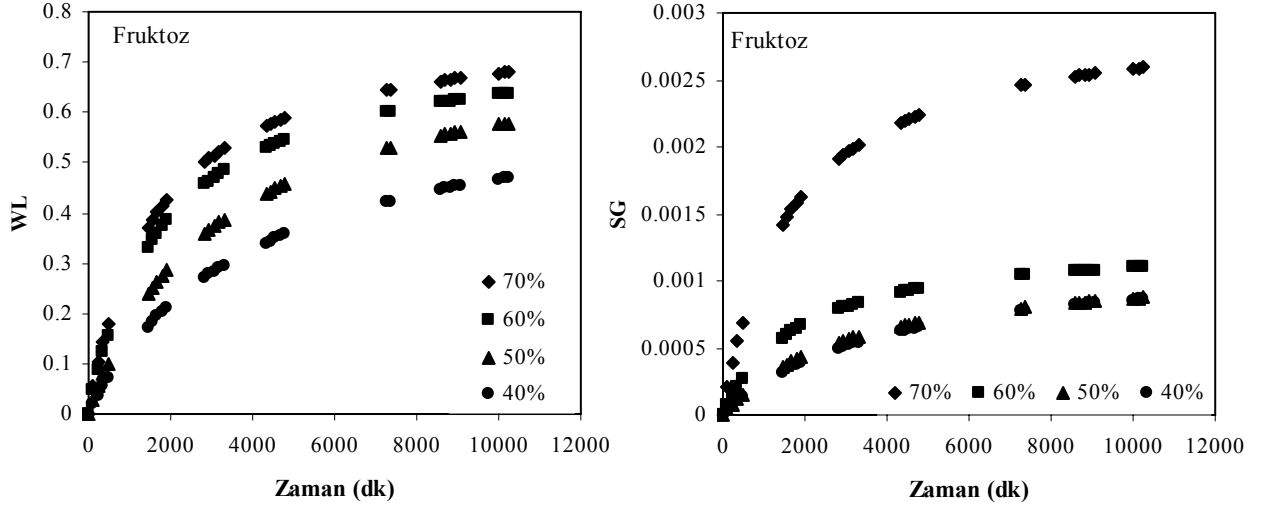
Osmotik çözelti konsantrasyonunun ve farklı çözünen maddelerin etkisi %40-70 konsantrasyon aralığında sakaroz, glikoz, fruktoz, maltodextrin ve sorbitol çözeltileri üzerinde incelenmiş, bu çözeltiler içinde gerçekleştirilen osmotik dehidrasyon sırasında zamanla ile su kaybı ve katı kazanımının değişimi Şekil 5.4 (a-e)'de verilmiştir.



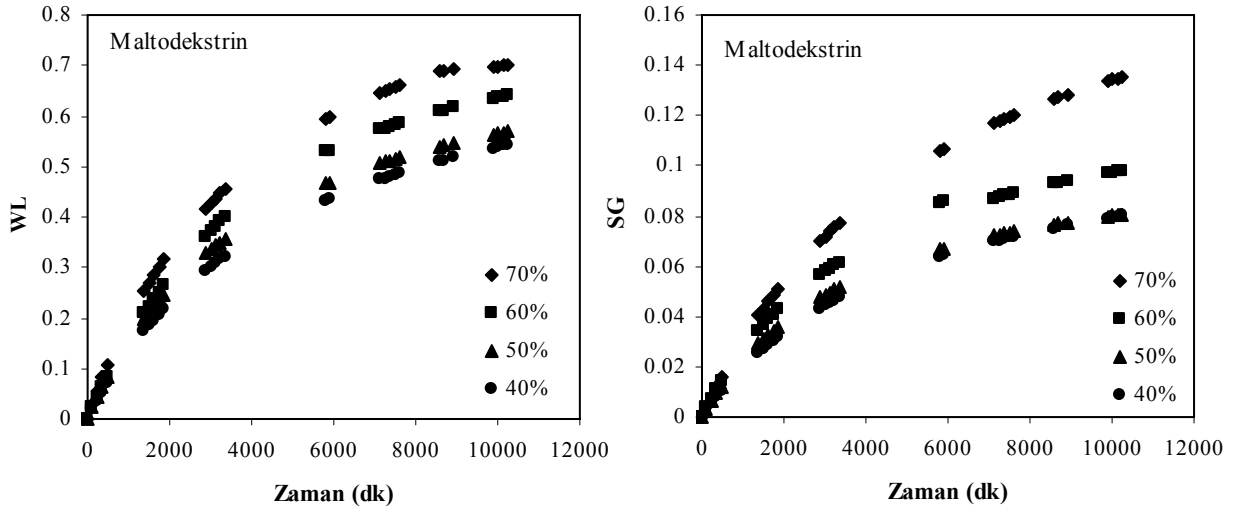
Şekil 5.4 (a). Farklı konsantrasyonlarda sakaroz çözeltisi içinde daldırılan kayışların zamanla su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerleri



Şekil 5.4 (b). Farklı konsantrasyonlarda glikoz çözeltisi içinde daldırılan kayışların zamanla su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerleri



Şekil 5.4 (c). Farklı konsantrasyonlarda fruktoz çözeltisi içinde daldırılan kayısıların zamanla su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerleri



Şekil 5.4 (d). Farklı konsantrasyonlarda maltodekstrin çözeltisi içinde daldırılan kayısıların zamanla su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerleri

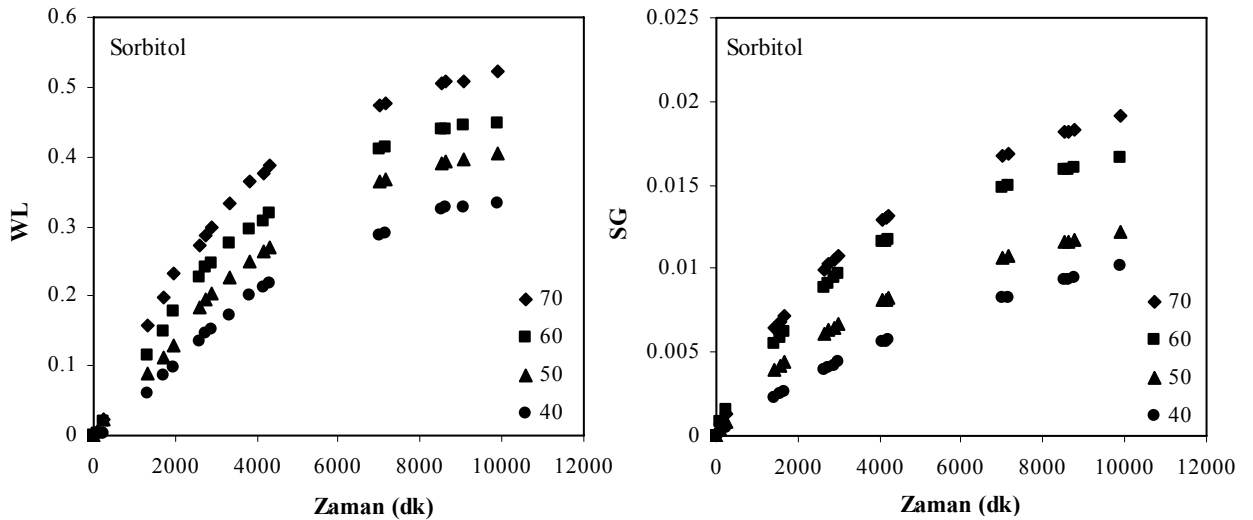
Kayısının osmotik dehidrasyonun da iki çeşit kütle transferi gerçekleşir: Gıdadan çözeltiliye suyun difüzyonu ve çözeltiden gıdaya çözünen difüzyonu. Kütle transferinin ilk çeşidinde sürücü kuvvet, osmotik basınç farkıdır. Kütle transferinin ikinci çeşidinde ise sürücü kuvvet konsantrasyon farkıdır. Suyun difüzyon hızı, katı kazanım hızından daha fazladır. Buna meyvenin özsuyu ve hipertonic çevre arasındaki osmotik sürücü kuvvet neden olur (Kowalska ve Lenart, 2001; Lazarides ve ark., 1995; Palou ve ark., 1994; Park ve ark., 2002). Osmotik dehidrasyonun ilk zamanlarında su kaybı ve katı kazanımı hızlı gerçekleşir. Bunun nedeni meyve özsuyunun hücre membranından daha serbest geçmesine rağmen hücre membranının çözünen geçişine az izin vermesidir. Bu, hücrenin yarı geçirgen özelliğinden dolayıdır. Kayıslarda osmotik dehidrasyon deneyleri, kayısı-çözelti arasında dengenin hangi koşullarda

sağlandığını belirlemek amacıyla 1-8 gün arasında gerçekleştirilmiş ve her çözelti çeşidi için osmotik işlem süresinin kütle transfer verilerine etkisi incelenmiştir.

Şekil 5.4 (a-e)'de de görüldüğü gibi tüm çözelti sistemlerinde işlemin başlangıcında en önemli kütle transferi meydana gelmekte, en hızlı su ve ağırlık kaybı ilk 3 gün içinde gözlenmektedir. Su içeriğindeki değişme gibi, en önemli katı madde kazanımı da ilk 3 gün içinde meydana gelmekte, daha sonra transfer hızı yavaşlamakta ve kayısı-çözelti arasında dinamik dengeye yaklaşılmaktadır.

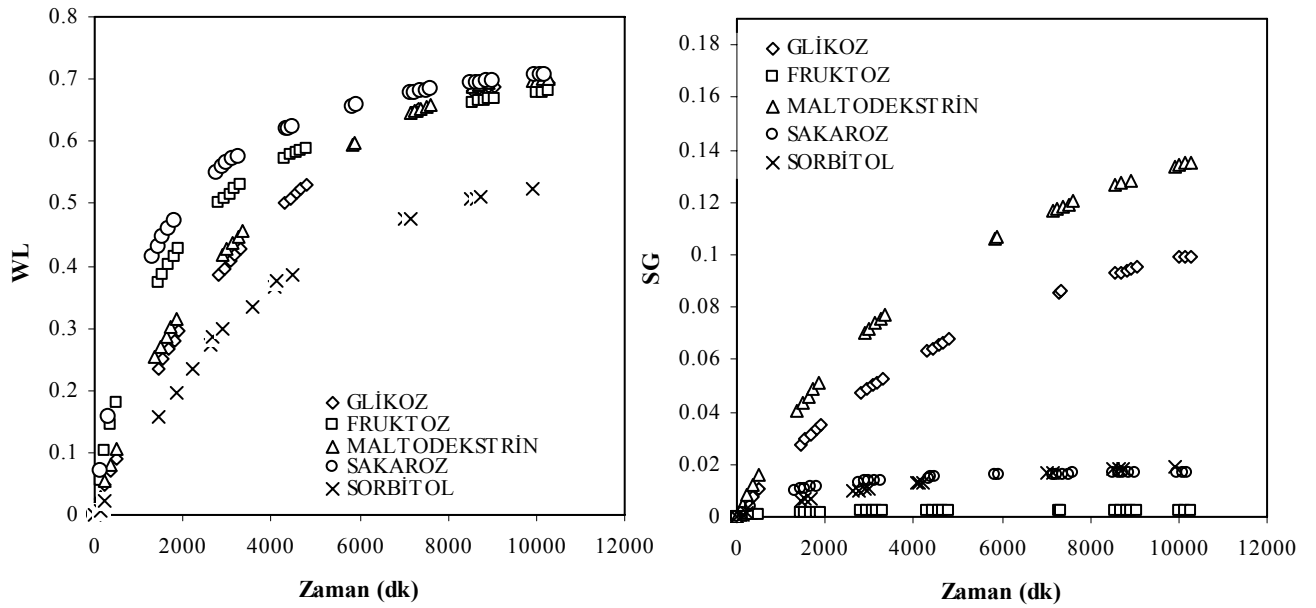
Çözelti konsantrasyonundaki artış sonucunda osmotik basınç gradienti artar. Bu yüzden osmoz periyodu içinde daha yüksek su kaybı değerleri meydana gelir. Bu sonuçlar daha yüksek konsantrasyon ortamı seçildiğinde daha hızlı su kaybı meydana geldiğini ve kuruma süresinde kısalma olduğunu göstermiştir. Ancak daha fazla katı kazanımı da olduğu gözlenmiştir. Kayıydan suyun giderilmesi ve katı kazanımı konusunda en iyi sonucun %70 konsantrasyonunda olduğu görülmüştür.

Osmotik madde olarak kullanılan katı, suyun uzaklaşma kinetiği, katı transferini ve denge su içeriğini önemli derecede etkilediğinden katının mol kütlesinin artmasıyla katı kazanımında ve su kaybında bir artma görülmüştür.



Şekil 5.4 (e). Farklı konsantrasyonlarda sorbitol çözeltisi içinde daldırılan kayısıların zamanla su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerleri

Kayısdan su giderilmesi ve katı kazanımı üzerine, hangi osmotik maddenin iyi sonuç verdiğini görebilmek amacıyla %70 konsantrasyonlarda su kaybı ve katı kazanımları mukayese edilmiş sonuçlar Şekil 5.4 (f)'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere en yüksek su kaybı sakaroz çözeltisinde en düşük su kaybı ise sorbitol de elde edilmiştir. En yüksek katı kazanımı maltodekstrinde en düşük katı kazanımı ise fruktoz şurubunda elde edilmiştir. Genel olarak kayısının osmotik dehidrasyonunda, sakaroz ve fruktoz şurubunun düşük katı kazanımı ve yüksek su kaybı nedeniyle iyi sonuç veren osmotik maddeler olduğu söylenebilir.

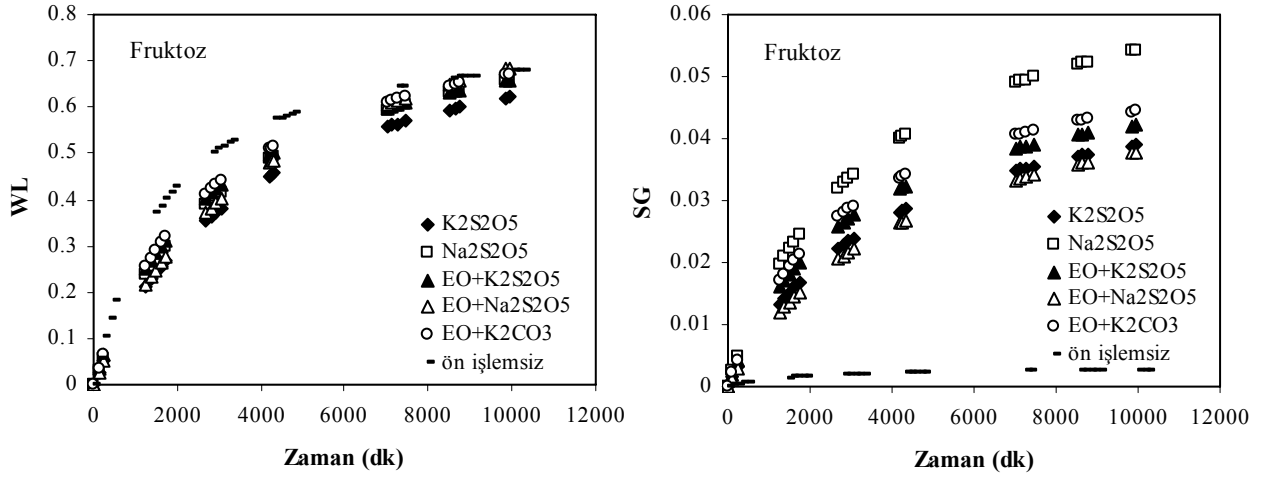


Şekil 5.4 (f). Kayısların %70 konsantrasyondaki sakaroz, fruktoz, maltodextrin, glikoz ve sorbitol çözeltisi içinde su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerlerinin osmotik işlem süresine karşı değişimi

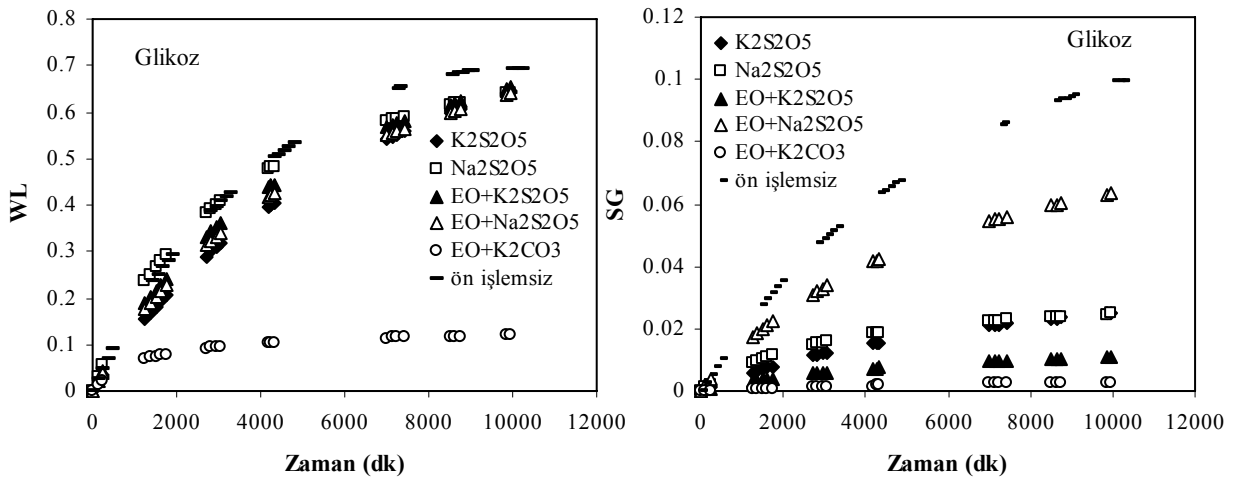
5.5. Ön İşlem Uygulamanın Etkisi

Osmotik dehidrasyon öncesi kayıslar, 20 dk. %5 $K_2S_2O_5$, %5 $Na_2S_2O_5$, %2 E.O.+%5 $K_2S_2O_5$, %2 E.O.+%5 $Na_2S_2O_5$, %2 E.O.+%5 K_2CO_3 çözeltilerinde bekletildikten sonra %70 konsantrasyondaki sakaroz, fruktoz, maltodextrin, glikoz ve sorbitol çözeltilerinde osmotik dehidrasyona maruz bırakılmıştır. Zaman ile su kaybı ve katı kazanımının değişimi Şekil 5.5 (a-e)'de verilmiştir. Ön işlem uygulaması, her maddede farklı etkiye neden olmuştur. Maltodextrin ve glikozda hem su kaybını hem de katı kazanımını azaltırken, sakaroz ve fruktozda su kaybını azaltıp katı kazanımını artırmıştır. Sorbitolde ise su kaybını ve katı kazanımını artırmıştır. Ancak genel olarak osmotik dehidrasyon öncesi ön işlem uygulaması olumlu bir etki yapmamıştır. Katı kazanımını azalttığı çözeltilerde su kaybını da azalttığı için

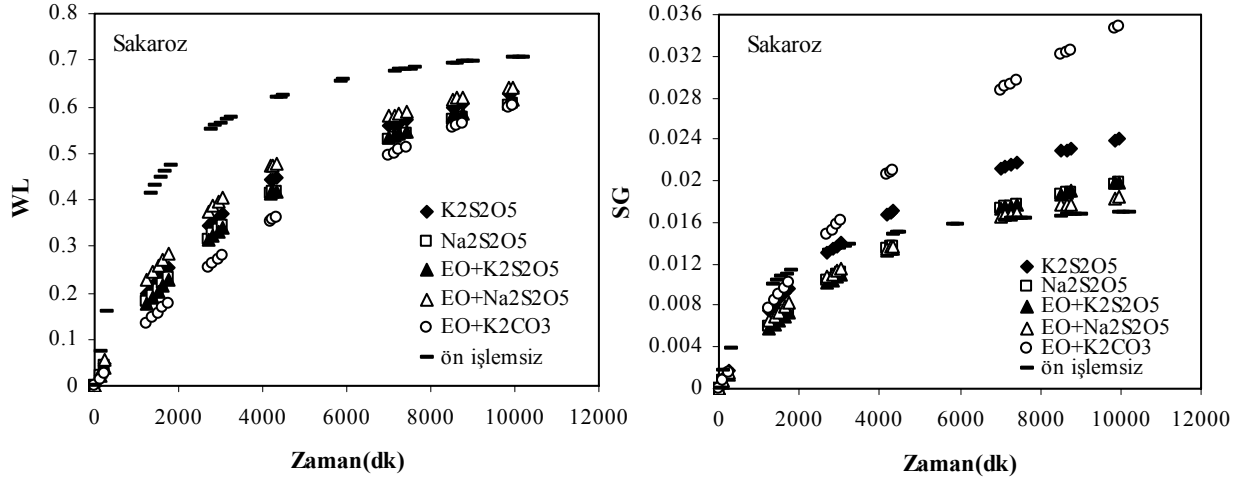
tercih edilecek bir uygulama olarak görülmemektedir. Kayısıya uygulanan kimyasal işlemlerin şeker çözeltileri ile sinerjistik bir etkiye neden olduğu düşünülmektedir.



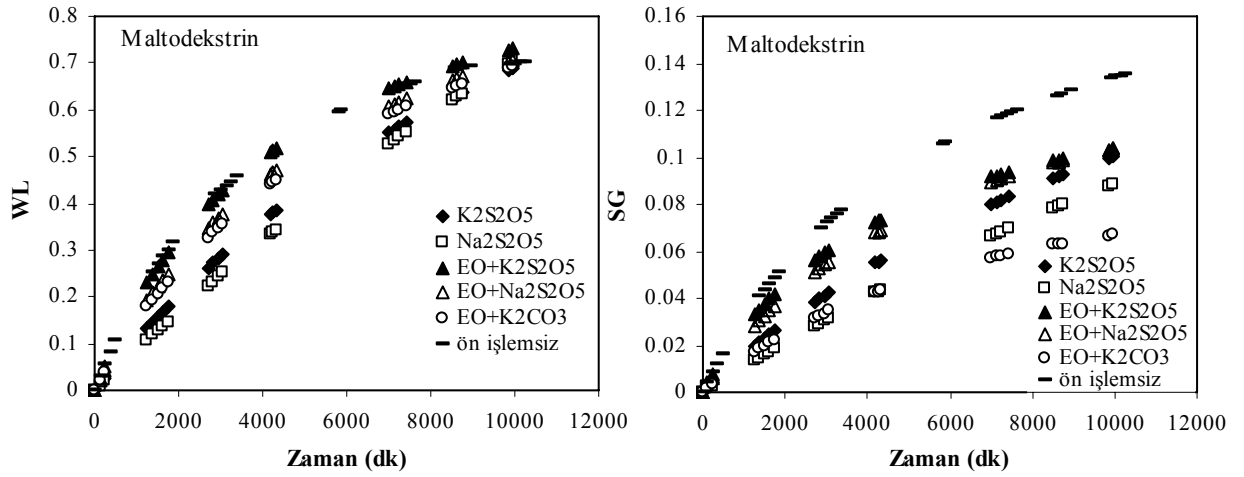
Şekil 5.5 (a). Kayıların %70 konsantrasyondaki fruktoz çözeltisi içinde su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerlerine ön işlemin etkisi



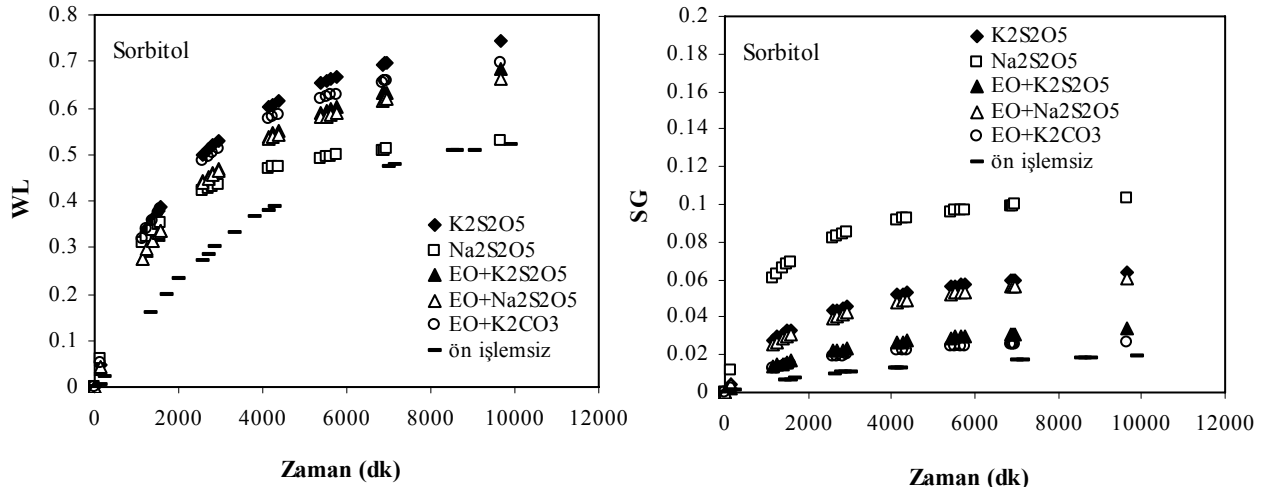
Şekil 5.5 (b). Kayıların %70 konsantrasyondaki glikoz çözeltisi içinde su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerlerine ön işlemin etkisi



Şekil 5.5 (c). Kayısların %70 konsantrasyondaki sakaroz çözeltisi içinde su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerlerine ön işlemin etkisi



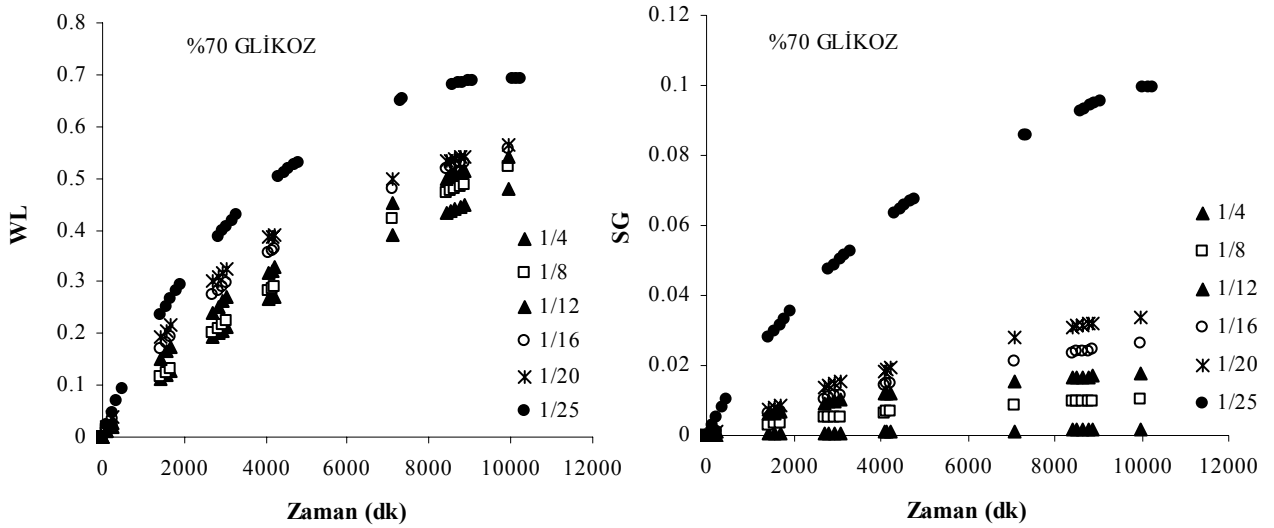
Şekil 5.5 (d). Kayısların %70 konsantrasyondaki maltodekstrin çözeltisi içinde su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerlerine ön işlemin etkisi



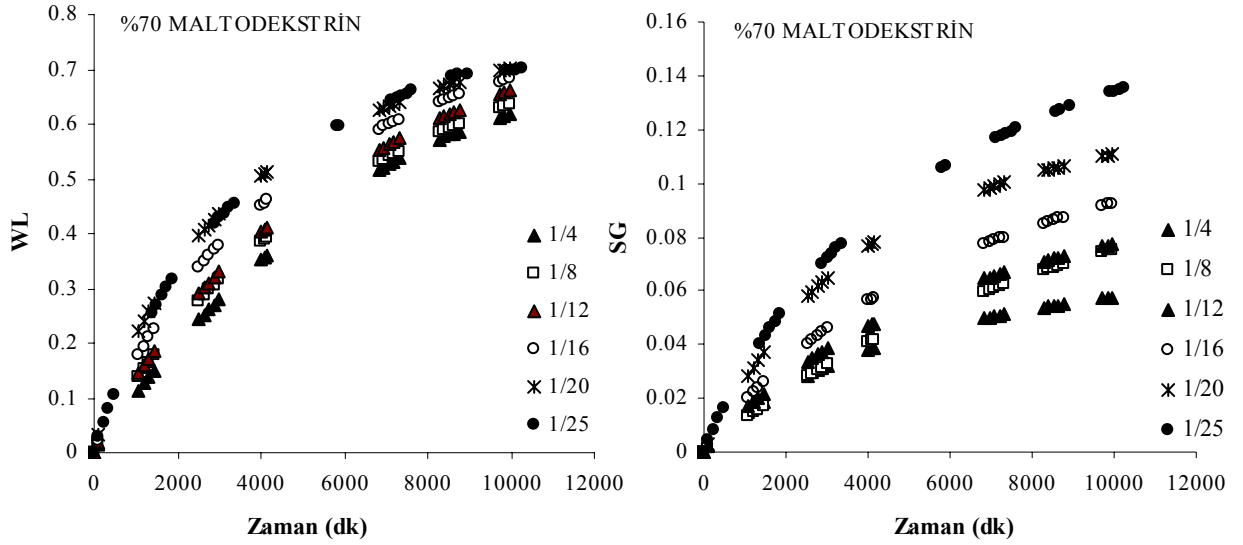
Şekil 5.5 (e). Kayısların %70 konsantrasyondaki sorbitol çözeltisi içinde su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerlerine ön işlemin etkisi

5.6. Örnek/Çözelti Oranının Etkisi

1:4, 1:8, 1:12, 1:16, 1:20, 1:25 örnek/çözelti oranının etkisi %70 konsantrasyonda glikoz ve maltodextrin çözeltileri üzerinde incelenmiş, bu çözeltiler içinde gerçekleştirilen zaman ile su kaybı ve katı kazanımı değerleri Şekil 5.6 (a-b)'da verilmiştir.



Şekil 5.6 (a). Kayısların %70 konsantrasyondaki glikoz çözeltisi içinde su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerlerine örnek/çözelti oranının etkisi



Şekil 5.6 (b). Kayısların %70 konsantrasyondaki maltodekstrin çözeltisi içinde su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) değerlerine örnek/çözelti oranının etkisi

Azalan örnek/çözelti oranı ile su kaybı ve katı kazanımı önemli ölçüde artmaktadır. Çözelti miktarı arttıkça su ve katı miktarı da artmaktadır. Meyvede katı miktarı sudan az olduğundan çözeltideki katı miktarının artması ile meyveye transfer olan çözünen miktarını da artar dolayısıyla meyvenin katı kazanımında artış olmaktadır. Çözeltideki su miktarının artması ile aynı etki gözlenmez. Çünkü çözelti içine bırakılan madde daha fazla su içerdiğinden çözeltiden gıdaya su geçişi gerçekleşmemektedir. Aksine gıdadan çözeltiye geçen su çözeltinin konsantrasyonunu fazlaca değiştirmemektedir. Çözelti seyrelmediği için kütle transferine dış direncin etkisi ortadan kalkmaktadır.

5.7. Madde Büyüklüğünün Etkisi

Örnek geometrisinin, su kaybı (WL), katı kazanımı (SG) ve ağırlık kaybı (ML) üzerindeki etkisi kayısı örneklerinin küp, yarım ve bütün halinde %70 konsantrasyondaki sakaroz, fruktoz, maltodextrin, glikoz ve sorbitol çözeltileri için incelenmiş sonuçlar Tablo 5.1'de verilmiştir. Tablo 5.1'de de görüldüğü gibi örnek boyutu küçüldüğünde su kaybı ve katı kazanımı artmıştır. Örnek boyutunun küçülmesi için uygulanan kesme işlemi meyve dokusunda deformasyon meydana getirmektedir. Bu da hem katı kazanımını hem de su kaybını artırmaktadır. Ayrıca kayıslar yarıya bölündüğünde daha geçirgen bir yapıya sahip olan, içte çekirdeğin olduğu bölüm osmotik çözelti ile temas etmektedir. Böylece hem su kaybı hem de katı kazanımı artmaktadır.

Tablo 5.1. Kayısının şeklinin, ağırlık kaybı (ML), su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) üzerine etkisi

Çözelti	Meyve Şekli	ML	WL	SG
FRUKTOZ	KÜP	0.463	0.563	0.100
	YARIM	0.296	0.365	0.069
	TÜM	0.113	0.168	0.055
GLİKOZ	KÜP	0.503	0.568	0.065
	YARIM	0.238	0.301	0.063
	TÜM	0.099	0.133	0.034
SAKAROZ	KÜP	0.385	0.498	0.113
	YARIM	0.175	0.259	0.084
	TÜM	0.085	0.109	0.024
MALTODEKSTRİN	KÜP	0.260	0.302	0.042
	YARIM	0.101	0.139	0.038
	TÜM	0.044	0.079	0.035
SORBİTOL	KÜP	0.332	0.531	0.199
	YARIM	0.244	0.344	0.100
	TÜM	0.139	0.196	0.057

5.8. Ön İşlemden Sürenin Etkisi

Ön işlemden sürenin etkisi, %70 konsantrasyonda sakaroz, fruktoz, maltodekstrin, glikoz ve sorbitol çözeltileri içinde, kayısıların 20 dk. %5 $K_2S_2O_5$, %5 $Na_2S_2O_5$, %2 E.O.+%5 $K_2S_2O_5$, %2 E.O.+%5 $Na_2S_2O_5$, %2 E.O.+%5 K_2CO_3 çözeltilerinde bekletildikten sonra 15 saat, 24 saat ve 40 saat osmotik dehidrasyon işlemine tabi tutulmasıyla elde edilen, kayısıdan uzaklaşan su miktarı (WL) ve kazanılan katı madde miktarı (SG) değerleri bulunarak incelenmiştir (Tablo 5.2). Tablo 5.2’de osmotik işlem süresi arttığı zaman uzaklaşan su miktarı (WL) ve kazanılan katı miktarının (SG) da arttığı görülmüştür.

Tablo 5.2. Ön işlemden sürenin etkisinin, kayısının su kaybı (WL) ve katı kazanımı (SG) üzerine etkisi**FRUKTOZ**

süre (st)	K ₂ S ₂ O ₅		Na ₂ S ₂ O ₅		EO+K ₂ S ₂ O ₅		EO+Na ₂ S ₂ O ₅		EO+K ₂ CO ₃	
	WL	SG	WL	SG	WL	SG	WL	SG	WL	SG
15	0.089	0.036	0.149	0.016	0.131	0.017	0.129	0.020	0.139	0.019
24	0.179	0.069	0.169	0.037	0.162	0.022	0.147	0.028	0.184	0.030
40	0.330	0.138	0.259	0.066	0.277	0.043	0.224	0.039	0.293	0.057

GLİKOZ

süre (st)	K ₂ S ₂ O ₅		Na ₂ S ₂ O ₅		EO+K ₂ S ₂ O ₅		EO+Na ₂ S ₂ O ₅		EO+K ₂ CO ₃	
	WL	SG	WL	SG	WL	SG	WL	SG	WL	SG
15	0.025	0.029	0.107	0.057	0.108	0.010	0.071	0.014	0.099	0.024
24	0.120	0.033	0.145	0.063	0.122	0.015	0.105	0.016	0.119	0.026
40	0.205	0.054	0.224	0.081	0.217	0.061	0.165	0.019	0.209	0.031

MALTODEKSTRİN

süre (st)	K ₂ S ₂ O ₅		Na ₂ S ₂ O ₅		EO+K ₂ S ₂ O ₅		EO+Na ₂ S ₂ O ₅		EO+K ₂ CO ₃	
	WL	SG	WL	SG	WL	SG	WL	SG	WL	SG
15	0.065	0.006	0.102	0.074	0.055	0.019	0.061	0.029	0.046	0.013
24	0.117	0.012	0.117	0.079	0.071	0.027	0.080	0.039	0.066	0.020
40	0.137	0.048	0.139	0.011	0.136	0.038	0.152	0.049	0.115	0.031

SAKAROZ

süre (st)	K ₂ S ₂ O ₅		Na ₂ S ₂ O ₅		EO+K ₂ S ₂ O ₅		EO+Na ₂ S ₂ O ₅		EO+K ₂ CO ₃	
	WL	SG	WL	SG	WL	SG	WL	SG	WL	SG
15	0.119	0.047	0.107	0.051	0.096	0.022	0.091	0.028	0.078	0.001
24	0.178	0.072	0.162	0.075	0.219	0.057	0.128	0.032	0.111	0.029
40	0.254	0.080	0.216	0.107	0.253	0.079	0.151	0.066	0.181	0.033

SORBİTOL

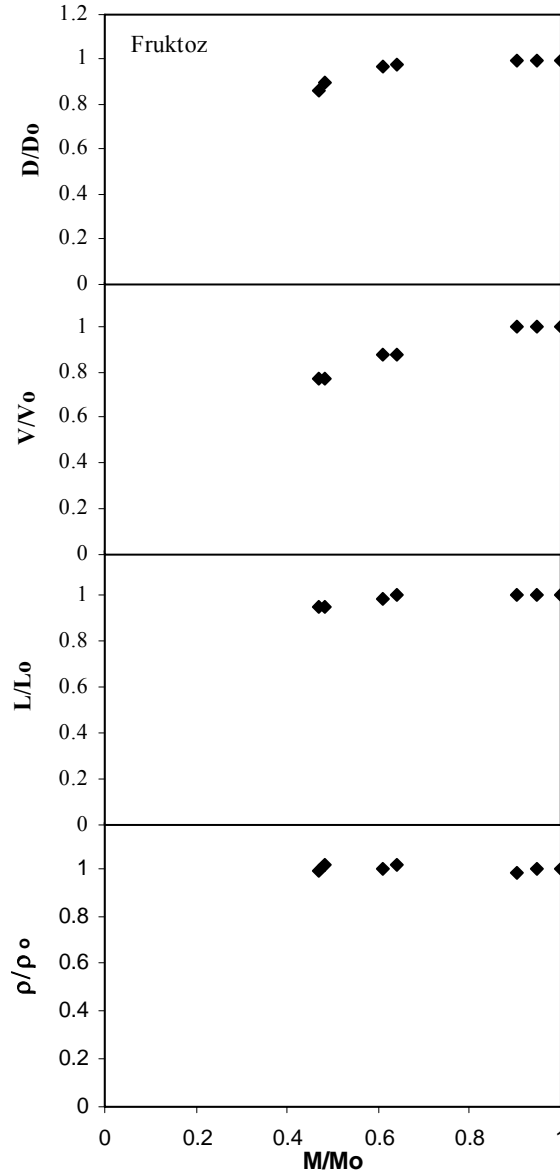
süre (st)	K ₂ S ₂ O ₅		Na ₂ S ₂ O ₅		EO+K ₂ S ₂ O ₅		EO+Na ₂ S ₂ O ₅		EO+K ₂ CO ₃	
	WL	SG	WL	SG	WL	SG	WL	SG	WL	SG
15	0.113	0.029	0.124	0.023	0.101	0.035	0.123	0.026	0.115	0.011
24	0.207	0.031	0.182	0.036	0.161	0.042	0.241	0.052	0.119	0.013
40	0.217	0.068	0.254	0.050	0.267	0.053	0.303	0.073	0.259	0.073

5.9. Osmotik Dehidrasyonda Büzülme

Osmotik dehidrasyon sırasında meydana gelen büzülme, nem oranındaki değişim ile çaptaki, hacimdeki, uzunluk ve yoğunluktaki değişimin grafiğe geçirilmesiyle incelendi.

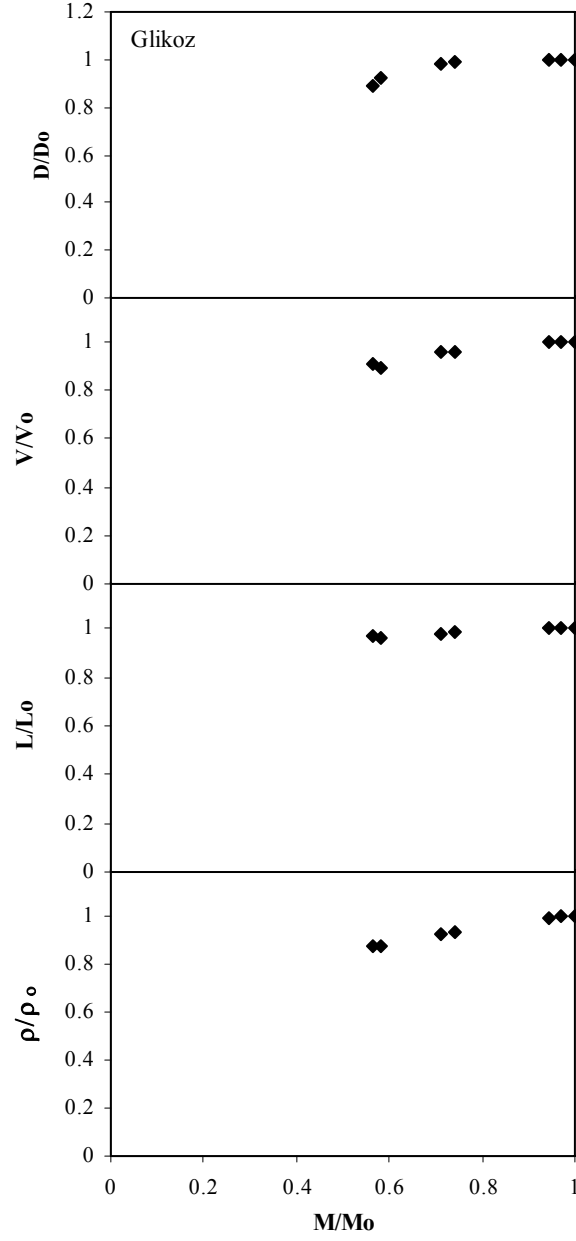
Ağırlık değerleri gr su/gr kuru madde olarak nem içeriği değerine dönüştürüldükten sonra nem içeriği, çap, uzunluk, hacim ve yoğunluk değerleri osmotik dehidrasyona başlarken ki (t=0 anındaki) değerlerine bölünerek boyutsuz hale getirildi. Sakaroz, glikoz, fruktoz, maltodekstrin ve sorbitol çözeltilerinde oda sıcaklığında osmotik dehidrasyona tabi tutulan

kayıslarda meydana gelen büzülme, Şekil 5.7 (a-e)'de boyutsuz nem ile çap, uzunluk, hacim ve yoğunluğun değişimi şeklinde görülmektedir.



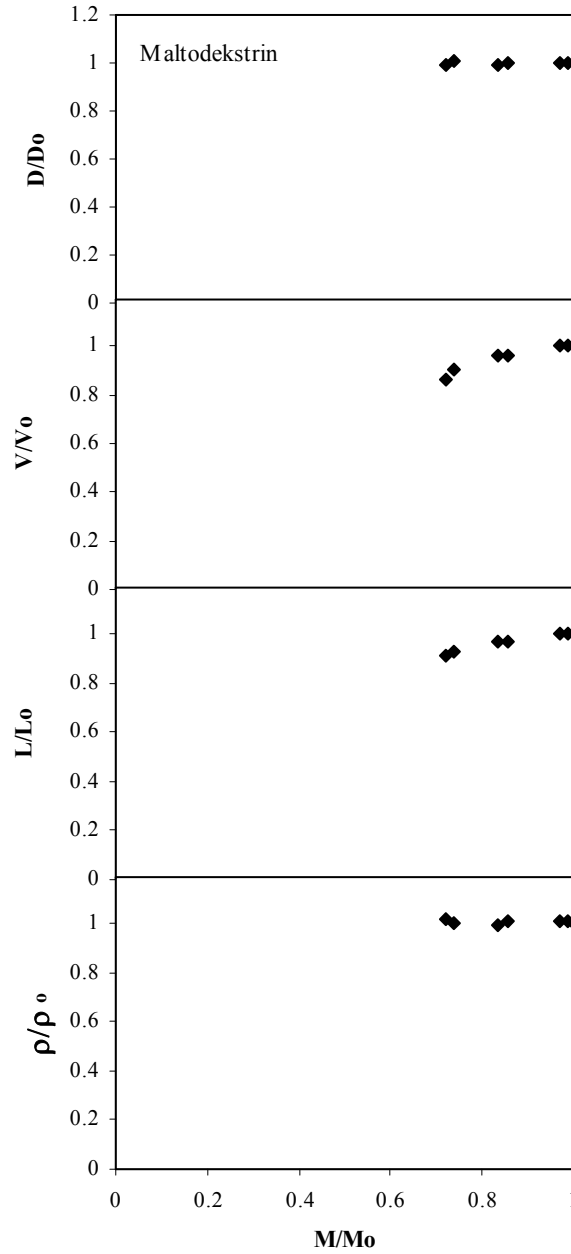
Şekil 5.7 (a). %70 fruktoz çözeltisinde osmotik dehidrasyona tabi tutulan kayısı örneklerinin çap, uzunluk, hacim ve yoğunluğunda meydana gelen değişme

Her maddede birbirinden biraz farklı değişimler gözlenmekle birlikte sorbitolde meydana gelen büzülme diğer osmotik maddelerden daha fazladır. Glikoz, fruktoz ve sakarozda uzunluk değişiminin, maltodekstrin de çap değişiminin yok denecek kadar az gerçekleştiği söylenebilir. Yinede gözlenen bu değişimler, sıcak hava ile yapılan geleneksel kurutma işlemlerine göre ihmal edilebilecek kadar küçüktür.



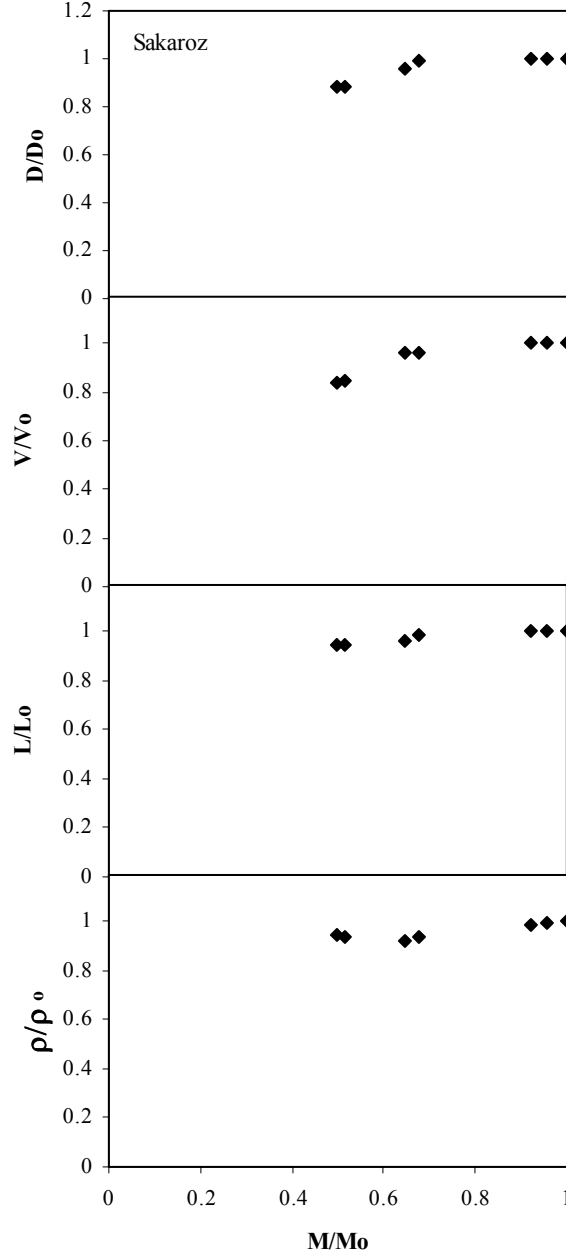
Şekil 5.7 (b). %70 glikoz çözeltisinde osmotik dehidrasyona tabi tutulan kayısı örneklerinin çap, uzunluk, hacim ve yoğunluğunda meydana gelen değişme

Boyutsuz nem içeriği ile boyutsuz çap, uzunluk ve hacim arasında logaritmik bir değişim görülmektedir. Çap, uzunluk ve hacimde meydana gelen büzülme boyutsuz nem oranı ile $y=a+bx$ şeklinde ifade edilebilen doğrusal bir şekilde değişmediğinden, kayısıda meydana gelen büzülmenin uzaklaşan suyun hacmine eşit olmadığını yani mekanik dengeye ulaşılmadığını gösterir.

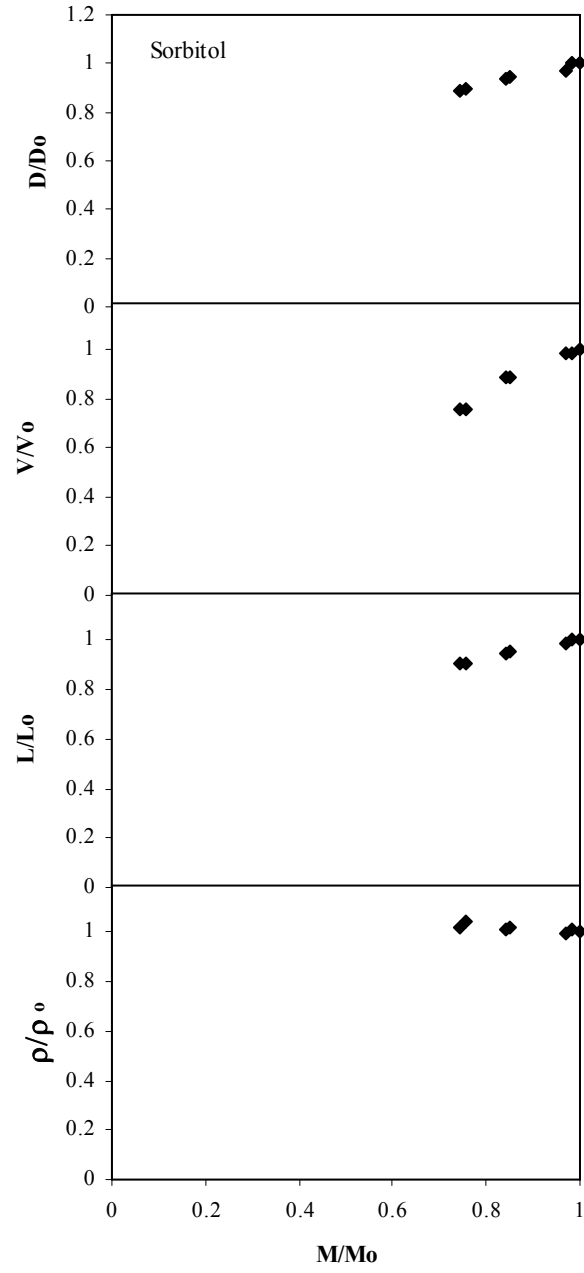


Şekil 5.7 (c). %70 maltodekstrin çözeltisinde osmotik dehidrasyona tabi tutulan kayısı örneklerinin çap, uzunluk, hacim ve yoğunluğunda meydana gelen değişim

Osmotik dehidrasyon sırasında kayısının yığın yoğunluğu nem içeriğindeki azalma ile fazlaca değişmemektedir. Uzaklaşan suyun miktarı ile hacimde meydana gelen değişim arasında çok belirgin farklar olmadığı için keskin bir değişim gözlenmemiştir.



Şekil 5.7 (d). %70 sakaroz çözeltisinde osmotik dehidrasyona tabi tutulan kayısı örneklerinin çap, uzunluk, hacim ve yoğunluğunda meydana gelen değişme



Şekil 5.7 (e). %70 sorbitol çözeltisinde osmotik dehidrasyona tabi tutulan kayısı örneklerinin çap, uzunluk, hacim ve yoğunluğunda meydana gelen değişme

5.10. Osmotik Dehidrasyon Kinetiği

Kayısının osmotik dehidrasyonu sırasında örnek/çözelti oranı çok büyük seçildiğinden kayısı ile osmotik çözelti arasındaki kütle transferinde dış direnç ihmal edilebilecek kadar düşük kalmaktadır. 8-9 gün gibi osmotik dehidrasyon süreleri sonunda çözeltinin konsantrasyonunda önemli bir değişimin olmaması bunun en güzel kanıtıdır. Bu nedenle kayısının osmotik dehidrasyonu sırasında meydana gelen kütle transferi sadece katı içi difüzyonu ifade eden iç direnç etkili olmaktadır. Ayrıca bir önceki bölümde incelenen osmotik dehidrasyon sırasında büzülmenin de ihmal edilebilecek kadar düşük olması nedeniyle, dış direncin ve büzülmenin ihmal edildiği yüzeyde sabit konsantrasyon sınır şartına göre yapılan Fick'in II. yasa çözümü kullanılarak su ve çözünen madde için difüzyon katsayıları belirlenebilir.

Öncelikle osmotik dehidrasyon deneylerinde elde edilen su kaybı ve katı kazanımı değerleri kullanılarak her bir zaman aralığında maddede ki nem içeriği ve katı içeriği değerleri belirlendi. Nem içeriği kg su/kg başlangıçtaki kuru katı, katı içeriği ise kg katı/kg başlangıçtaki kuru katı terimleriyle ifade edildi. Osmotik dehidrasyon sırasında ağırlık kaybı aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$\text{Ağırlık Kaybı (ML)} = \text{Su kaybı (WL)} - \text{Katı kazanımı (SG)}$$

Herhangi bir t anındaki nem ve katı içeriği ;

$$\text{Nem içeriği (g/g)} = (\text{Başlangıçtaki su} - \text{su kaybı}) / \text{Başlangıçta kuru katı}$$

$$\text{Katı içeriği (g/g)} = (\text{Başlangıçtaki kuru katı} + \text{katı kazanımı}) / \text{Başlangıçtaki kuru katı}$$

WL ve SG değerleri başlangıçtaki yaş madde miktarlarına göre ifade edildiğinden yukarıdaki su kaybı ve katı kazanımı yerine WL x örneğin başlangıç ağırlığı ve SG x örneğin başlangıç ağırlığı yazılarak nem ve katı içeriği hesaplanmıştır.

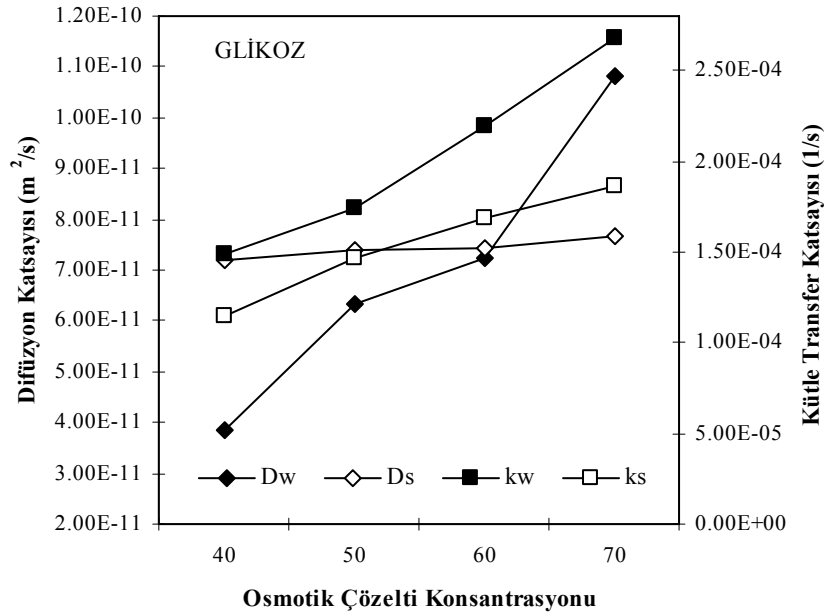
Katı madde içeriklerinin ve nem içeriklerinin ortalamasına karşı kuruma hızı (dM/dt ve dS/dt) değerlerinin grafiğe geçirilmesiyle elde edilen grafiğin, ortalama katı ve nem içeriği eksenini kestiği nokta bize dengedeki katı içeriğini (Se) ve dengedeki nem içeriğini (Me) verir. Denge katı içeriğinin (Se) ve denge nem içeriğinin (Me), katı içeriği ve nem içeriğinden çıkarılmasıyla elde edilen değerlere karşı, kuruma hızı (dM/dt ve dS/dt) değerlerinin grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğrunun eğimi bize katı madde için kütle transfer katsayısını (ks) ve su kaybı için kütle transfer katsayısını (kw) verir (Ade-Omowaye vd., 2002). kw ve ks değerleri yukarıda anlatıldığı şekilde, difüzyon katsayıları da 3. bölümde anlatılan eğim metoduna göre bulunmuştur.

5.10.1. Farklı Madde ve Farklı Konsantrasyonlar İçin Dw, Ds, kw, ks Değerleri

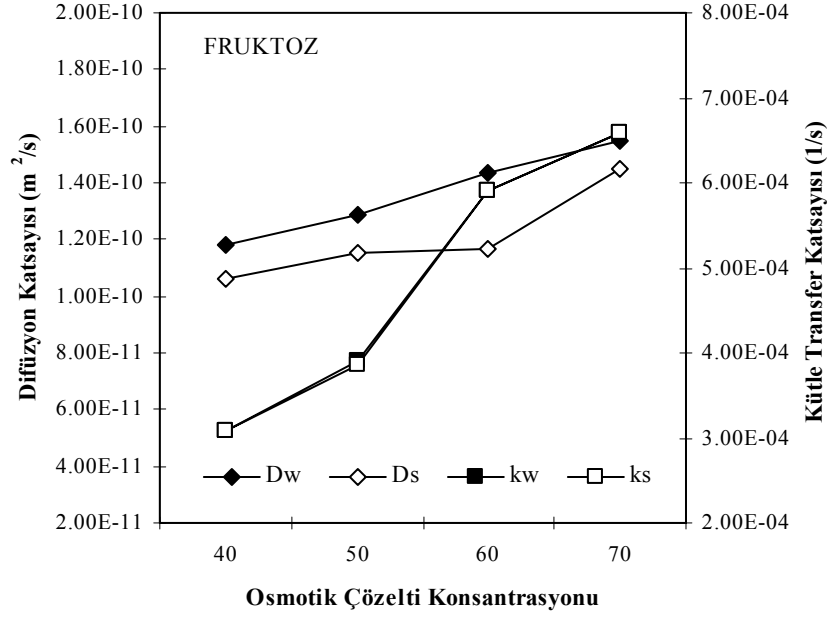
Kayısiya, glikoz, sakaroz, fruktoz, maltodekstrin ve sorbitol için %40-%70 konsantrasyon aralığında 1:25 örnek/çözelti oranı kullanılarak uygulanan osmotik dehidrasyon işleminde su ve katı madde için difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayıları Şekil 5.8 (a-e)'de verilmiştir.

Difüzyon katsayıları kullanılan madde ve konsantrasyona göre su için $3,84 \times 10^{-11}$ – $1,75 \times 10^{-10}$ aralığında, katı madde için $7,19 \times 10^{-11}$ – $1,60 \times 10^{-10}$ aralığında, kütle transfer katsayıları ise su için $9,17 \times 10^{-5}$ – $6,59 \times 10^{-4}$ aralığında, katı madde için $7,24 \times 10^{-5}$ – $6,59 \times 10^{-4}$ aralığında değişmektedir.

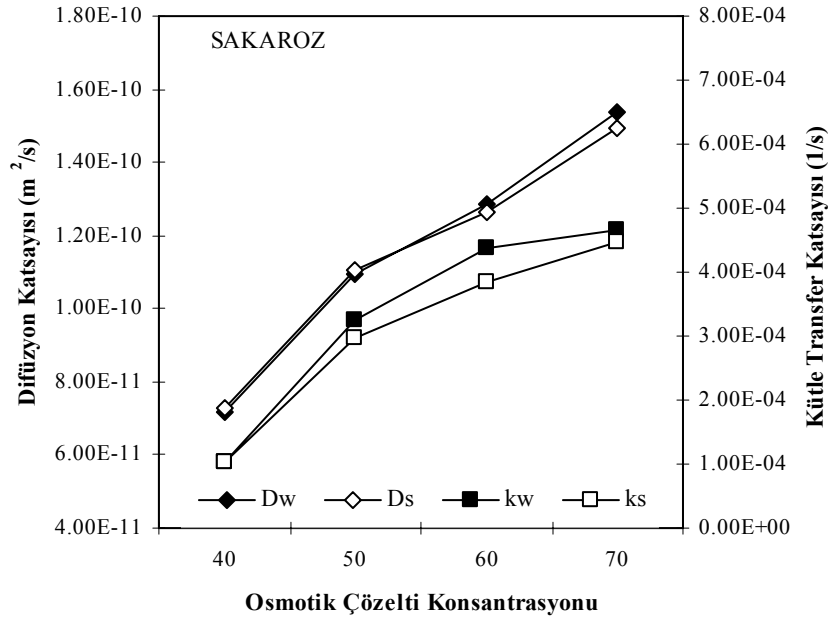
Şekil 5.8 (a-e)'den görüldüğü üzere, çözelti konsantrasyonu arttıkça hem difüzyon katsayıları hem de kütle transfer katsayıları artmaktadır. Çözelti konsantrasyonunun artması ile yürütücü kuvvetin artması bu artışın nedeni olarak söylenebilir.



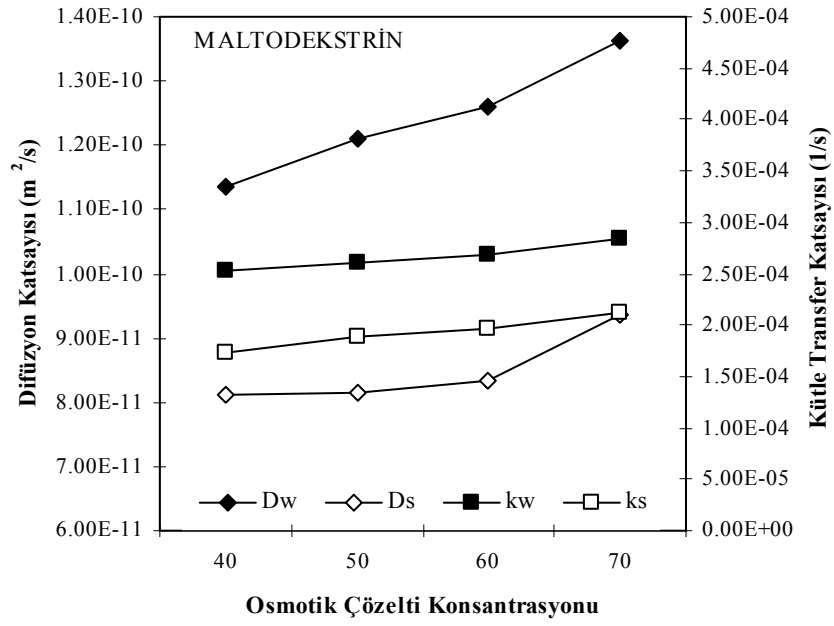
Şekil 5.8 (a). Kayısların glikoz çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarının çözelti konsantrasyonu ile değişimi



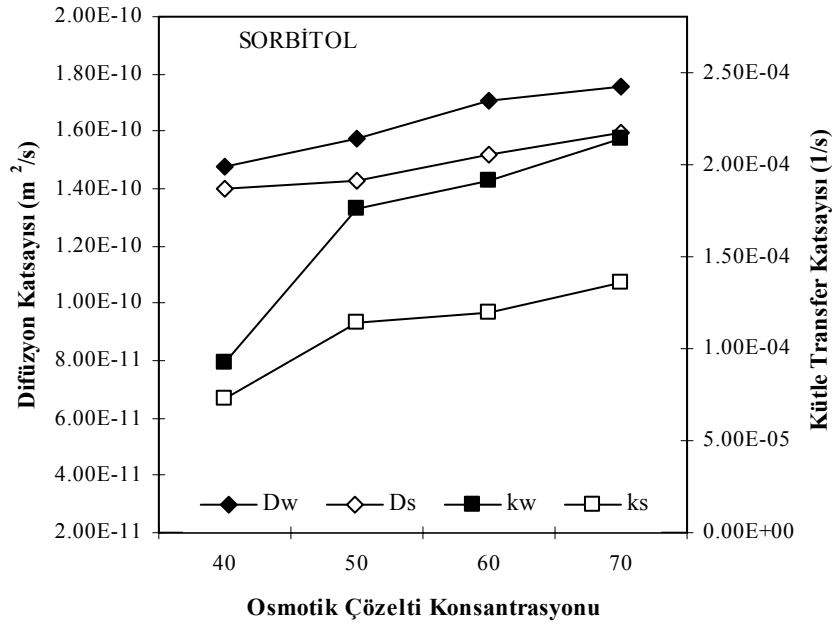
Şekil 5.8 (b). Kayıların fruktoz çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarının çözelti konsantrasyonu ile değişimi



Şekil 5.8 (c). Kayıların sakaroz çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarının çözelti konsantrasyonu ile değişimi



Şekil 5.8 (d). Kayısların maltodekstrin çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarının çözelti konsantrasyonu ile değişimi

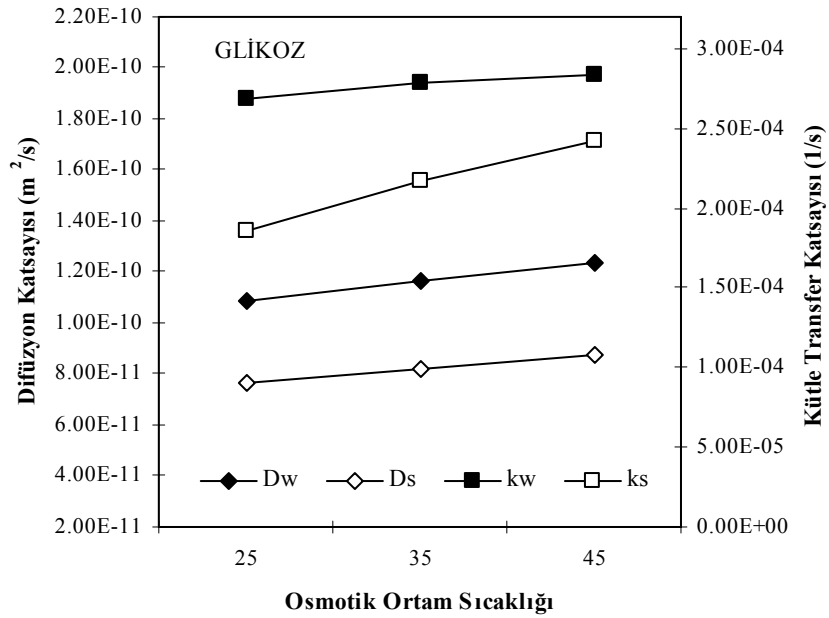


Şekil 5.8 (e). Kayısların sorbitol çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarının çözelti konsantrasyonu ile değişimi

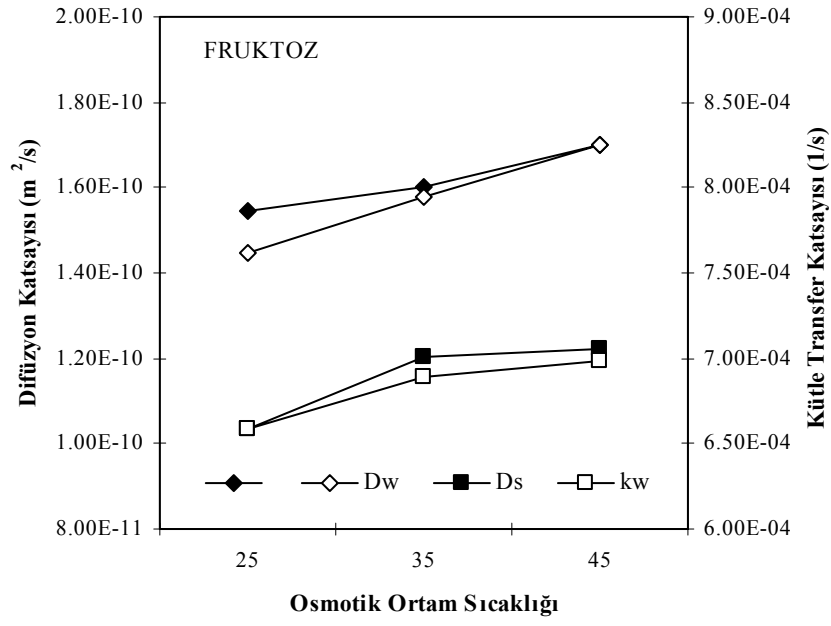
5.10.2. Dw, Ds, kw, ks'in Sıcaklıkla Değişimi

Kayısının farklı sıcaklıklardaki, %70'lik glikoz, sakaroz, fruktoz ve maltodekstrin çözeltilerinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayıları Şekil 5.9 (a-d)'da verilmiştir.

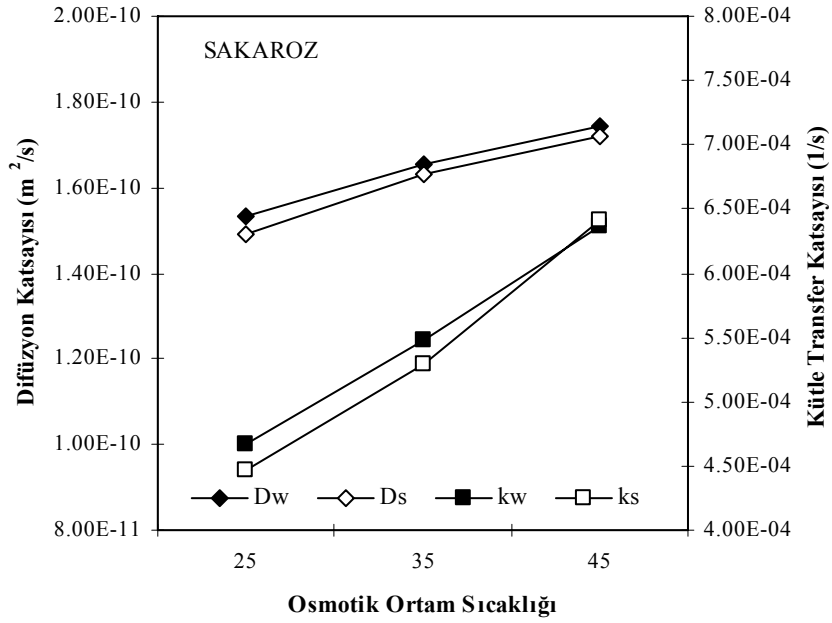
Şekillerden görüldüğü üzere, sıcaklığın artması su ve katı madde için hem difüzyon katsayısını hem de kütle transfer katsayısını artırmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur ve literatürle uyum içindedir (Torreggiani, 1993, Lenart 1996).



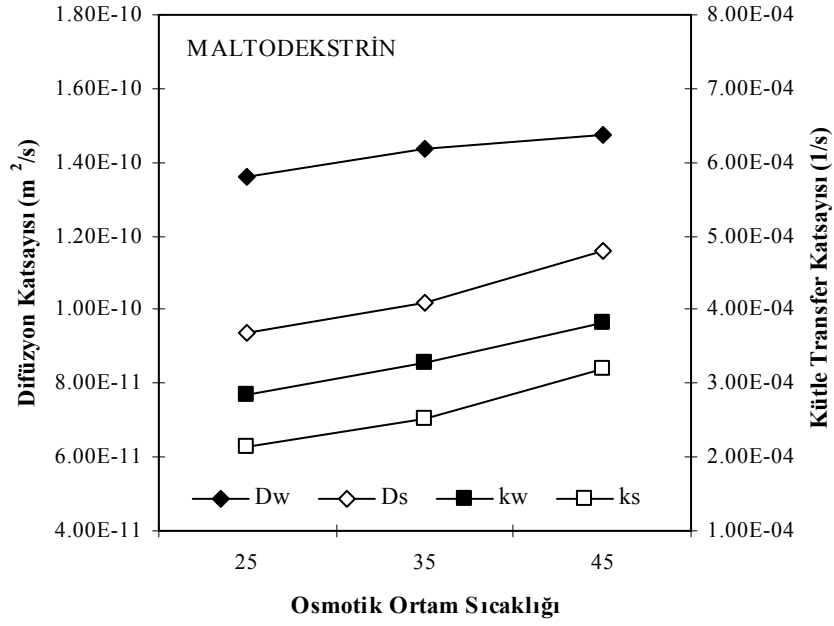
Şekil 5.9 (a). Kayıların glikoz çözeltilerinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarına ortam sıcaklığının etkisi



Şekil 5.9 (b). Kayısların fruktoz çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarına ortam sıcaklığının etkisi



Şekil 5.9 (c). Kayısların sakaroz çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarına ortam sıcaklığının etkisi



Şekil 5.9 (d). Kayıların maltodekstrin çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarına ortam sıcaklığının etkisi

Difüzyon ve kütle transfer katsayılarını sıcaklık ve konsantrasyonun fonksiyonu olarak ifade edebilmek için, Statistica for Windows ile yapılan non-lineer regresyon sonuçları Tablo E1’de verilmiştir. Eklerdeki tabloda, glikoz, fruktoz, sakaroz ve maltodekstrin için Dw, Ds, kw, ks sıcaklık ve konsantrasyonun fonksiyonu olarak ifade edilmiş, sorbitol ise farklı sıcaklıklar denenmediği için sadece konsantrasyonun fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Tüm osmotik maddeler için 7 farklı model denenmiş ve en iyi sonuç veren eşitlikler istatistiksel analiz sonuçları ile birlikte aşağıda verilmiştir. Bu modeller kullanılarak teorik olarak Dw, Ds, kw ve ks sıcaklık ve konsantrasyonun fonksiyonu olarak hesaplanabilir. İstatistiksel analiz sonuçları da bu modellerin güvenilir olduğunu göstermiştir.

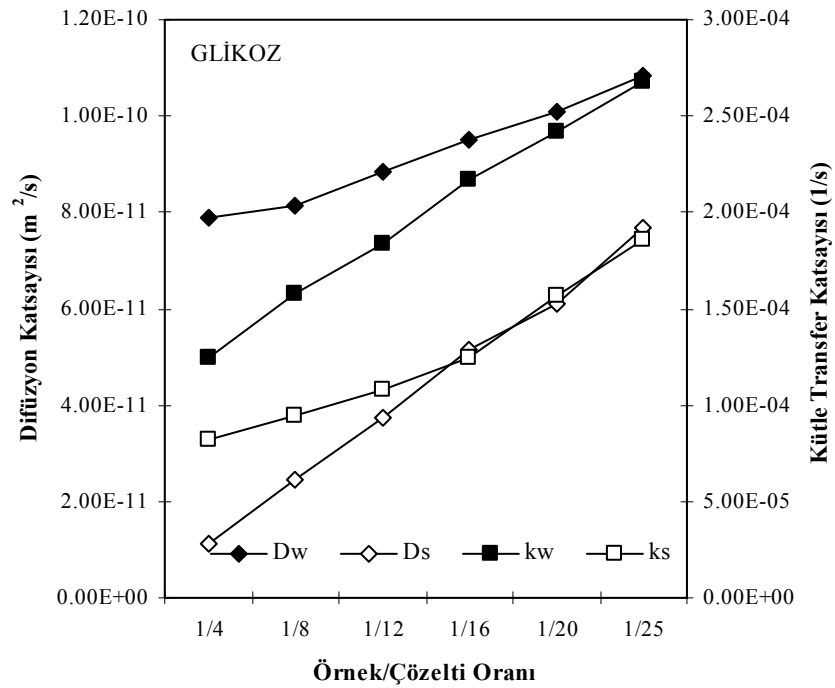
Tablo 5.3. Dw, Ds, kw ve ks'in sıcaklık ve konsantrasyonla değişimini ifade eden eşitlik sabitleri ve istatistiksel analiz sonuçları

Glikoz	R	MBE	RMSE	χ^2
$D_w = 4.5547 - 0.06507K - 0.1822.T + 0.0026.T.K$	0.9886	1.71×10^{-4}	6.26×10^{-2}	2.20×10^{-23}
$D_s = -1.87473 + 0.02678K + 0.07499.T - 0.001071.T.K$	0.9981	1.45×10^{-4}	4.40×10^{-3}	1.12×10^{-25}
$kw = -241.486 - 1880.46K - 5265.29.T + 75.2185.T.K$ $+ 26.913K^2 + 210.998T^2 - 0.04306K^2T^2$	0.9996	5.53×10^{-6}	7.73×10^{-3}	2.21×10^{-12}
$ks = -241.486 - 1880.44K - 5265.22T + 75.2175.T.K$ $+ 26.9127K^2 + 210.995T^2 - 0.04306K^2T^2$	0.9999	3.29×10^{-5}	2.95×10^{-3}	2.08×10^{-13}
Fruktoz				
$D_w = 4.5547 - 0.06507K - 0.1822.T + 0.0026.T.K$	0.9985	9.54×10^{-4}	6.82×10^{-3}	1.04×10^{-24}
$D_s = -1.87473 + 0.02678K + 0.07499.T - 0.001071.T.K$	0.9772	1.86×10^{-3}	4.32×10^{-2}	2.72×10^{-23}
$kw = -241.5 - 1880.67K - 5265.87.T + 75.2267.TK$ $+ 26.916K^2 + 211.021T^2 - 0.04307K^2T^2$	0.9888	1.87×10^{-3}	5.10×10^{-2}	5.33×10^{-10}
$ks = -241.520 - 1880.77K - 5266.14T + 75.2306.T.K$ $+ 26.9174K^2 + 211.032T^2 - 0.04307K^2T^2$	0.9874	2.23×10^{-3}	5.38×10^{-2}	5.85×10^{-10}
Sakaroz				
$D_w = 6.09685 - 0.24387K - 0.087098.T + 0.00348.T.K$	0.9955	9.55×10^{-4}	3.54×10^{-2}	1.15×10^{-23}
$D_s = -1.87473 + 0.07499K + 0.026782.T - 0.001071.T.K$	0.9934	1.65×10^{-3}	4.09×10^{-2}	1.58×10^{-23}
$kw = -174.749 - 3785.74K - 1352.05T + 54.08202.T.K$ $+ 151.7093K^2 + 19.35067T^2 - 0.030961K^2T^2$	0.9999	8.57×10^{-4}	5.86×10^{-3}	3.04×10^{-12}
$ks = -174.677 - 3784.45K - 1351.59T + 54.06359.T.K$ $+ 151.6575K^2 + 19.34407T^2 - 0.030951K^2T^2$	1.0000	3.01×10^{-4}	5.20×10^{-4}	9.34×10^{-6}
Maltodekstrin				
$D_w = 4.554734 - 0.06507K - 0.1822.T + 0.0026.T.K$	0.9948	1.65×10^{-3}	9.35×10^{-3}	1.55×10^{-24}
$D_s = -1.87473 + 0.02678K + 0.07499.T - 0.001071.T.K$	0.9865	6.17×10^{-4}	2.44×10^{-2}	4.50×10^{-24}
$kw = -241.5 - 1880.67K - 5265.87.T + 75.2267.K.T.$ $+ 26.916K^2 + 211.021T^2 - 0.04307K^2T^2$	0.8503	6.16×10^{-2}	1.14×10^{-1}	9.14×10^{-10}
$ks = -241.505 - 1880.48K - 5265.36T + 75.21939.T.K$ $+ 26.91336K^2 + 211.0007T^2 - 0.043061K^2T^2$	0.9995	2.79×10^{-4}	7.17×10^{-3}	1.93×10^{-12}
Sorbitol				
$D_w = 9.24 \times 10^{-11} + 1.356.10^{-12} K + 7 \times 10^{-15} \exp(0.107075K)$	0.9941	-1.55×10^{-3}	7.80×10^{-3}	1.53×10^{-24}
$D_s = 1.47 \times 10^{-10} - 6.85 \times 10^{-13} K + 1.2510^{-14} K^2$	0.9950	-3.37×10^{-4}	3.37×10^{-4}	2.50×10^{-27}
$kw = 2.21 \times 10^{-4} - 1295.96K^{-4.3718}$	0.9944	2.39×10^{-3}	2.56×10^{-2}	2.40×10^{-11}
$ks = 1.42 \times 10^{-4} - 31K8994^{-3.5337}$	0.9875	1.93×10^{-3}	3.20×10^{-2}	1.47×10^{-11}

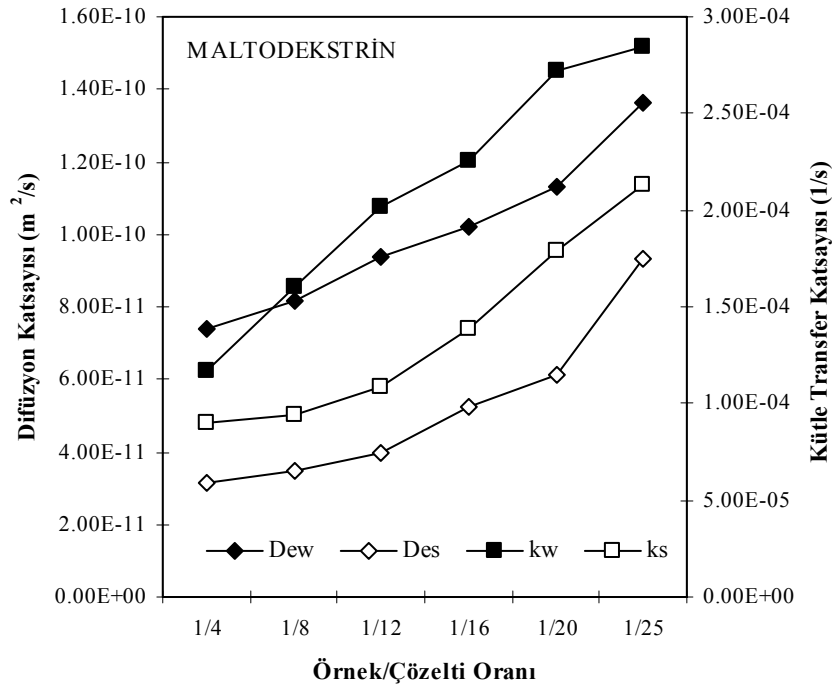
5.10.3. Dw, Ds, kw, ks'e Örnek/Çözelti Oranının Etkisi

Kayısının %70'lik glikoz ve maltodekstrin çözeltilerinde farklı örnek/çözelti oranlarında osmotik dehidrasyonu sırasında hesaplanan difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayıları Şekil 5.10 (a-b)'da verilmiştir. Çözelti miktarının artması ile çözelti içindeki hem katı hem de su miktarı artacaktır. Katı miktarının artması ile çözelti ile meyve arasındaki katı madde konsantrasyon gradientini artıracığından meyveye daha fazla çözünen transferi gerçekleşecektir. Buna paralel olarak katı madde difüzyon katsayısı da kütle transfer katsayısı da artacaktır. Aynı şekilde çözeltinin içindeki su miktarının artması benzer etkiyi yaratmayacaktır çünkü taze kayısı içindeki su bizim çalıştığımız konsantrasyonlarda çözeltideki sudan her zaman daha fazladır. Ancak örnek/çözelti oranının azalmasıyla çözeltinin meyveden transfer olan su ile seyrelme nedeniyle konsantrasyonunun azalması ihtimali azalmaktadır. Çözeltinin konsantrasyonu azalmayınca yürütücü kuvvet de azalmayacak ve osmotik dehidrasyon işlemi dengeye ulaşmadan uzunca bir süre devam edebilecektir. Bu nedenle, Şekil 5.10 (a-b)'da görüldüğü gibi, örnek/çözelti oranları azaldıkça su ve çözünen için hem kütle transfer katsayıları hem de difüzyon katsayıları önemli ölçüde artmaktadır.

Örnek/çözelti oranı ile difüzyon ve kütle transfer katsayılarının değişimini en iyi ifade eden eşitlikler, korelasyon katsayıları ve istatistiksel analiz sonuçları Tablo 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.10 (a). Kayısların glikoz çözeltilerinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarına örnek/çözelti oranının etkisi



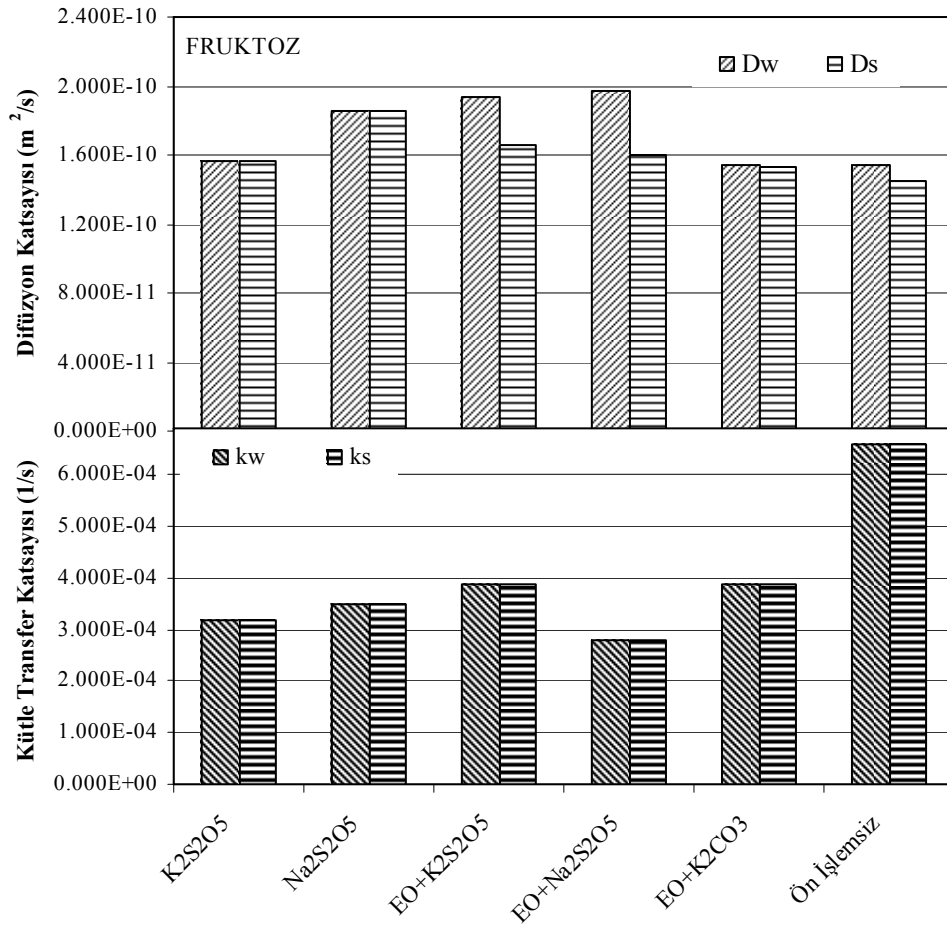
Şekil 5.10 (b). Kayısların maltodekstrin çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarına örnek/çözelti oranının etkisi

Tablo 5.4 Dw, Ds, kw ve ks'in örnek/çözelti oranı ile değişimini ifade eden eşitlik sabitleri ve istatistiksel analiz sonuçları

$D_w, D_s, k_w, k_s = a \cdot (\text{ORAN})^b$						
Glikoz						
	a	b	R	MBE	RMSE	χ^2
D _w	6x10 ⁻¹¹	-0.1749	0.9545	1.27x10 ⁻²	0.0362	9.945x10 ⁻²⁴
D _s	3x10 ⁻¹²	-1.0525	0.9944	1.23x10 ⁻¹	0.1269	4.447x10 ⁻²³
k _w	7x10 ⁻⁵	-0.4204	0.9944	4.51x10 ⁻²	0.0536	1.020x10 ⁻¹⁰
k _s	4x10 ⁻⁵	-0.4382	0.9483	-6.42x10 ⁻³	0.0889	1.454x10 ⁻¹⁰
Maltodekstrin						
	a	b	R	MBE	RMSE	χ^2
D _w	4x10 ⁻¹¹	-0.3158	0.9556	-0.0377	0.0913	5.28x10 ⁻²³
D _s	1x10 ⁻¹¹	-0.5466	0.9013	0.1188	0.4084	1.05x10 ⁻²²
k _w	6x10 ⁻⁵	-0.5001	0.9966	0.0839	0.1022	5.06x10 ⁻¹⁰
k _s	4x10 ⁻⁵	-0.4778	0.9101	0.0968	0.1396	2.51x10 ⁻¹⁰

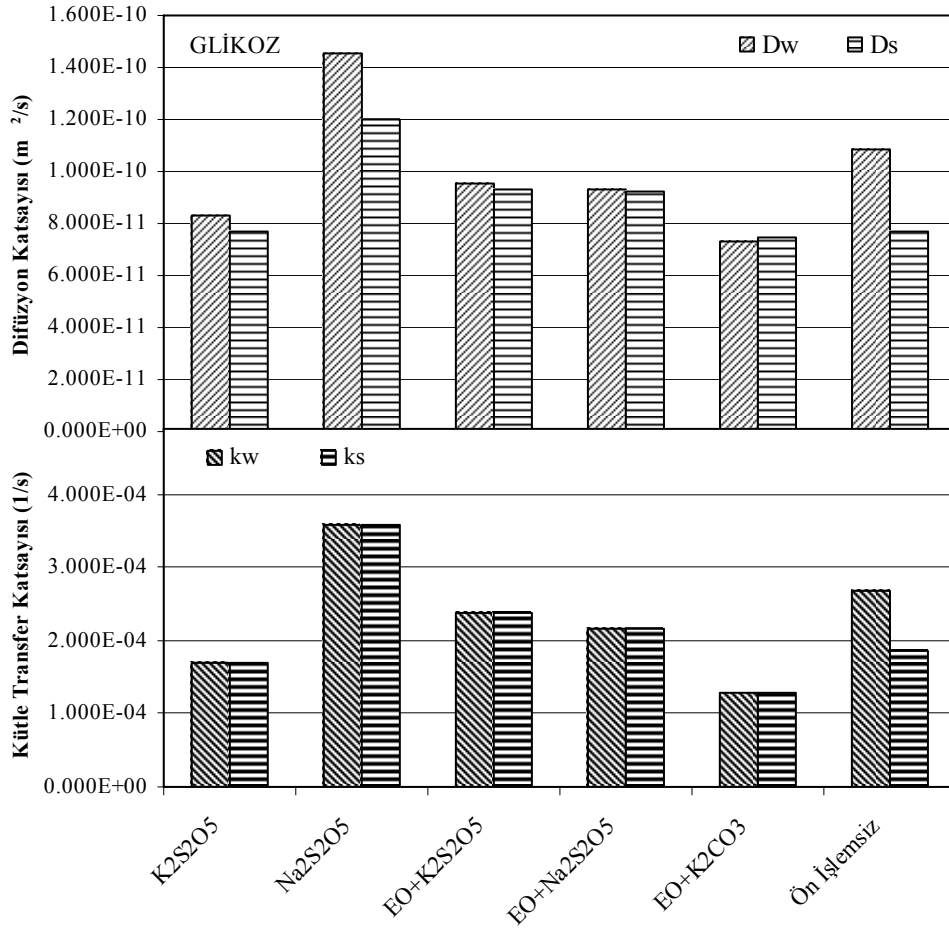
5.10.4. Farklı Ön İşlem Uygulamanın Dw, Ds, kw, ks'e Etkisi

Literatürde kayısıya ön işlem uygulamasında yaygın olarak kullanılan $K_2S_2O_5$, $Na_2S_2O_5$, Etil Oleat (EO), K_2CO_3 ve bunların farklı kombinasyonları osmotik dehidrasyon öncesinde uygulanmış ve bu işlem sonunda hesaplanan difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayıları Şekil 5.11 (a-e)'de verilmiştir.

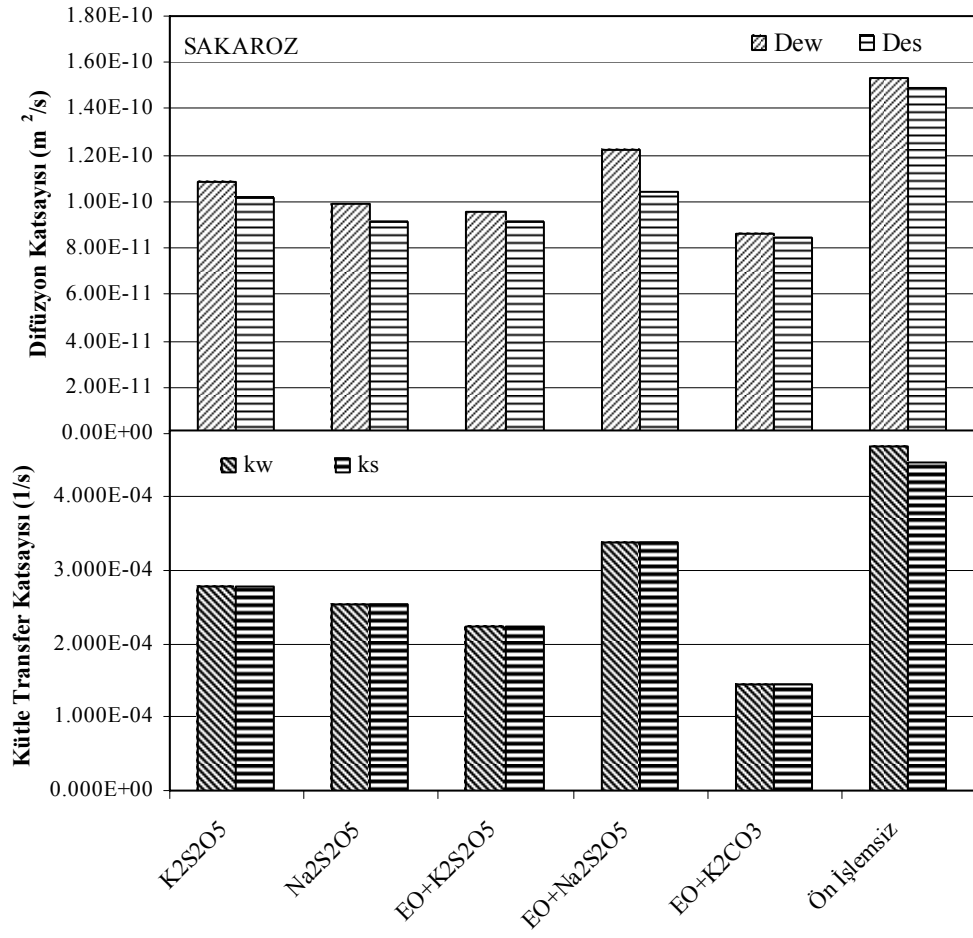


Şekil 5.11 (a). Kayısların fruktoz çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarına farklı ön işlem uygulamanın etkisi

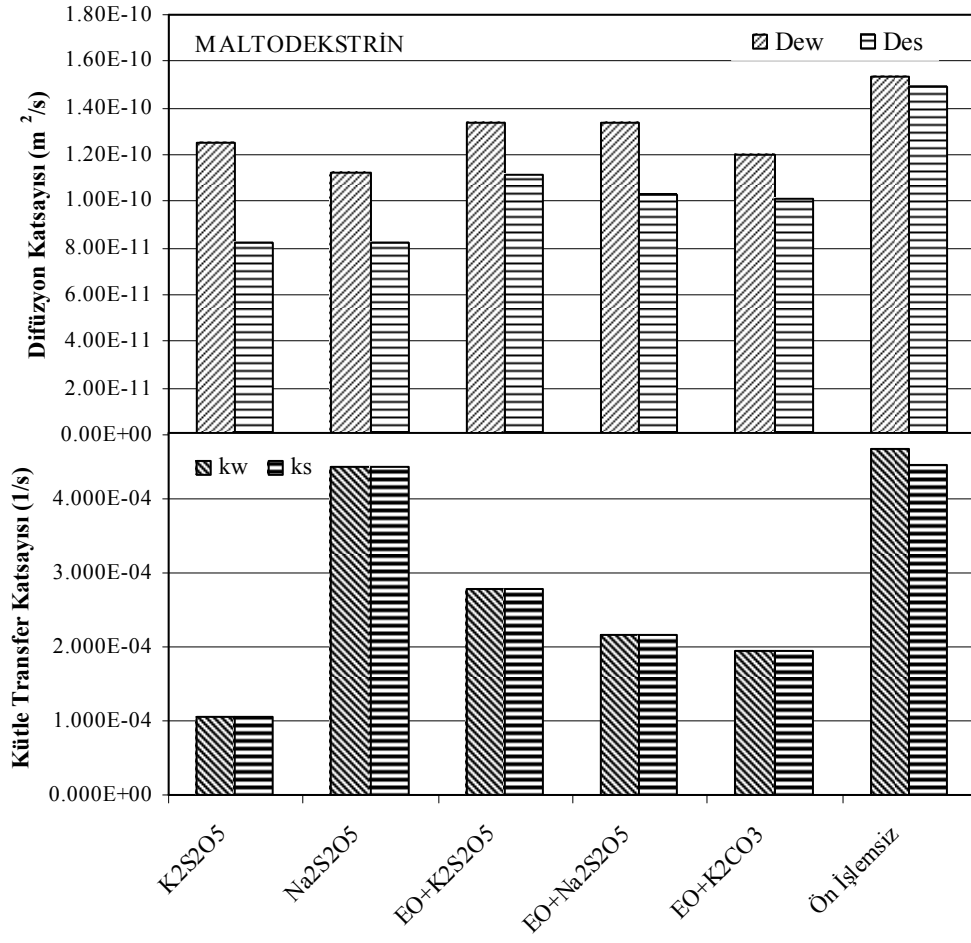
Ön işlem uygulaması her osmotik maddede farklı etkiye sebep olmuştur. Ön işlem uygulaması fruktoz'da difüzyon katsayılarını artırırken kütle transfer katsayılarını azaltmış, glikozda $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ hem difüzyon katsayısını hem de kütle transfer katsayısını artırmıştır. Sakarozda hiçbir ön işlem uygulaması iyi sonuç vermezken, maltodekstrinde $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ difüzyon katsayısını azaltmış kütle transfer katsayısını artırmıştır. Sorbitolde $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ en yüksek etkiyi yapmasına rağmen genel olarak tüm ön işlemler difüzyon katsayılarını ve kütle transfer katsayılarını artırmıştır.



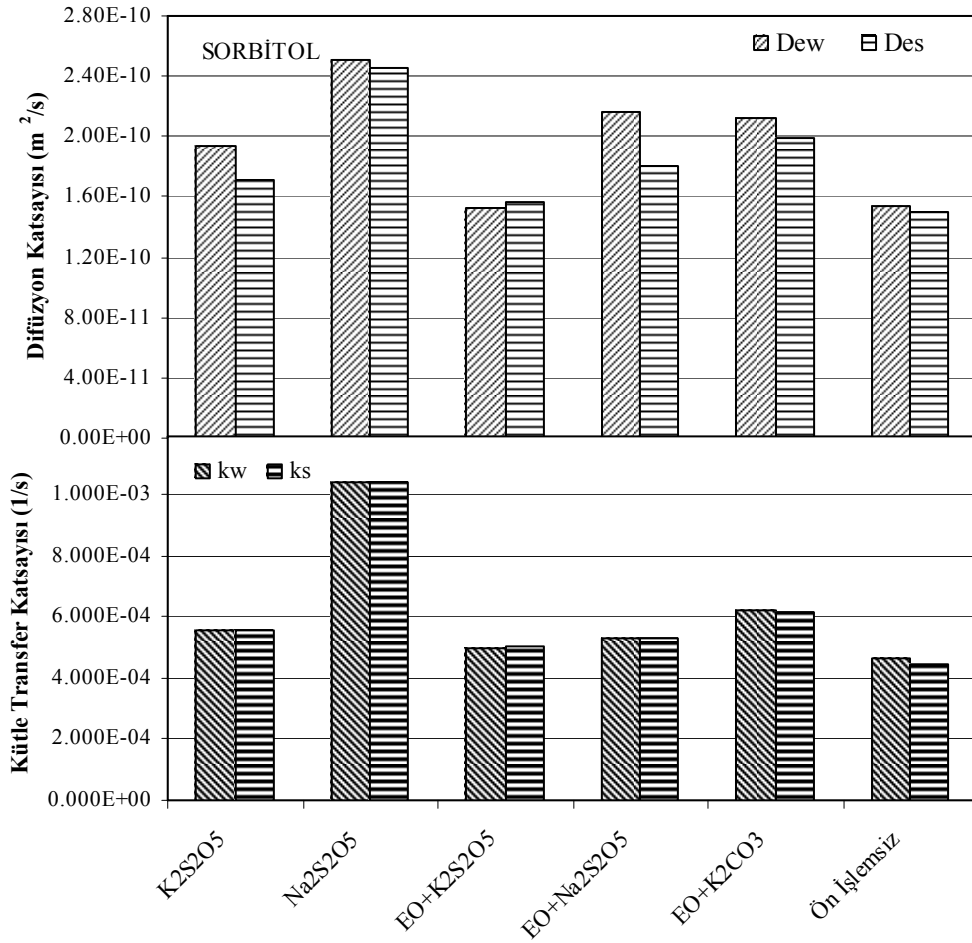
Şekil 5.11 (b). Kayısların glikoz çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarına farklı ön işleminin etkisi



Şekil 5.11 (c). Kayıların sakaroz çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarına farklı ön işlem uygulamanın etkisi



Şekil 5.11 (d). Kayısların maltodekstrin çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarına farklı ön işlem uygulamanın etkisi

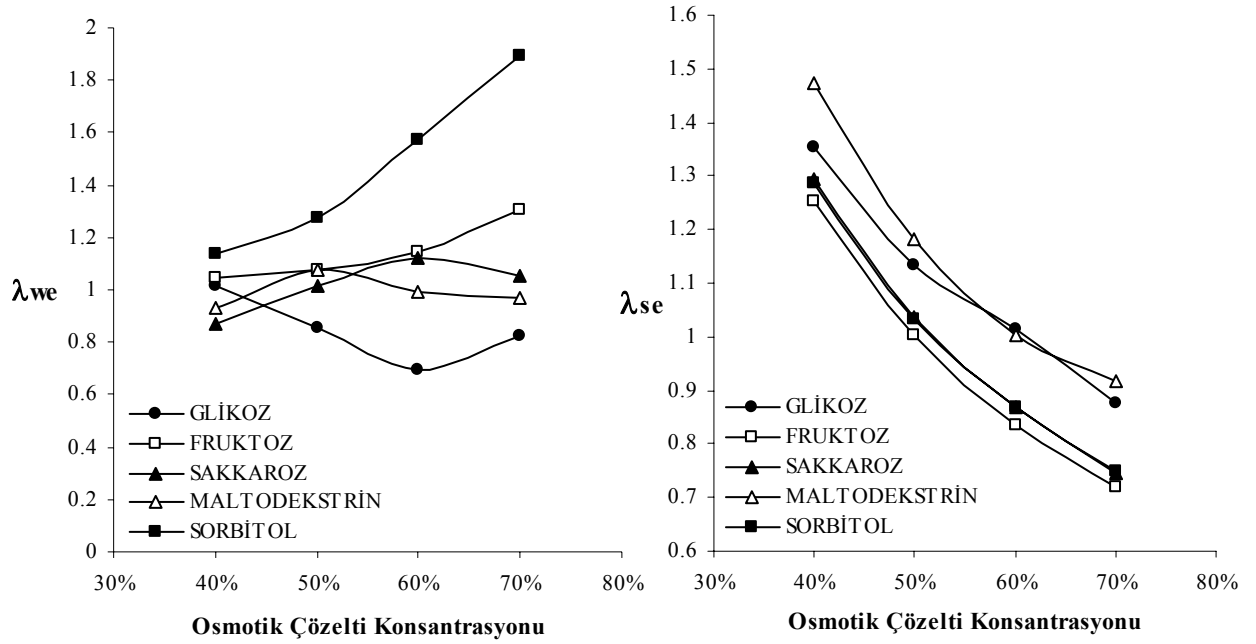


Şekil 5.11 (e). Kayısların sorbitol çözeltisinde osmotik dehidrasyonu sırasında difüzyon katsayıları ve kütle transfer katsayılarına farklı ön işlem uygulamanın etkisi

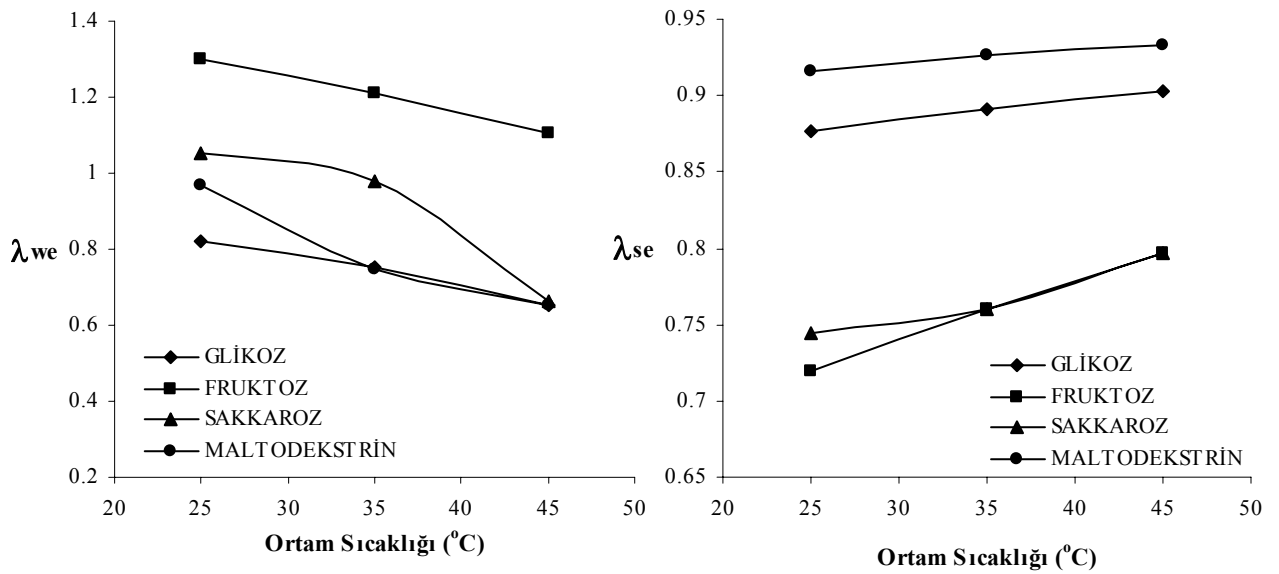
5.11. Denge Dağılım Katsayıları

Osmotik dehidrasyon prosesi dinamik periyotla ve denge ile ifade edilebilir. Dinamik periyotta, kütle transfer hızı, dengeye ulaşılan kadar artar veya azalır. Denge osmotik dehidrasyonun sonudur ve artık net kütle transfer hızı sıfırdır. Denge çalışmaları, osmotik dehidrasyonun modellenmesinde ve bu sistemdeki kütle transfer mekanizmalarının iyi anlaşılmasında önemlidir.

Su kaybı ve katı kazanımı için denge dağılım katsayısı hesaplamalarında Eşitlik (2.21) ve Eşitlik (2.22)'den yararlanılmıştır. Denge dağılım katsayılarının (λ_{we} , λ_{se}) farklı osmotik maddelerin konsantrasyonlarıyla değişimi Şekil 5.12'de, sıcaklıkla değişimleri 5.13'de, örnek/çözelti oranı ile değişimi Şekil 5.14'de, osmotik dehidrasyon öncesi uygulanan ön işlemle değişimi Şekil 5.15'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Denge dağılım katsayılarının osmotik çözelti konsantrasyonu ile değişimi



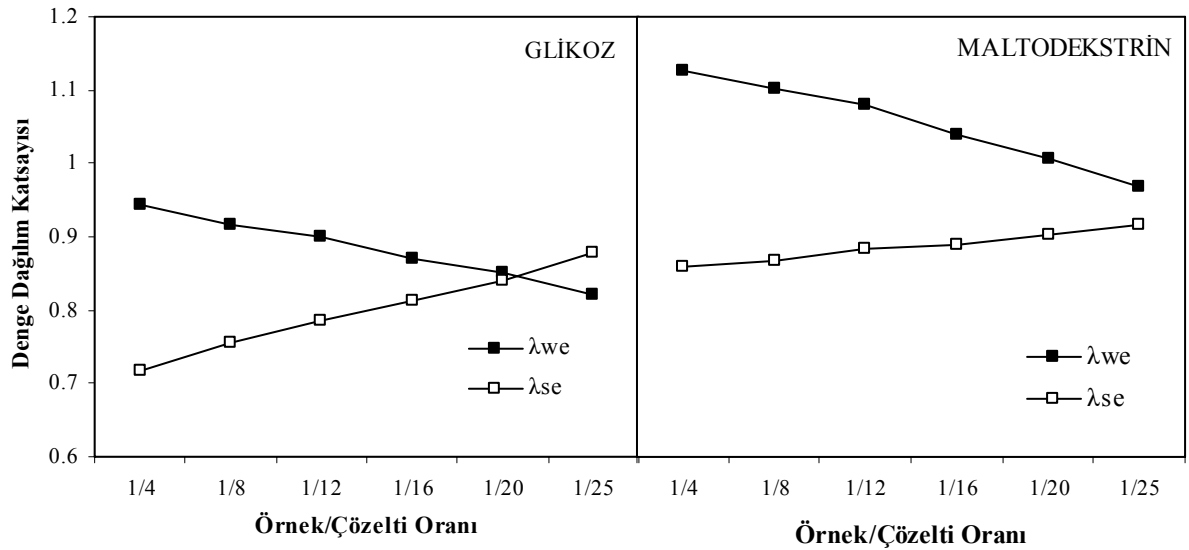
Şekil 5.13. Denge dağılım katsayılarının sıcaklık ile değişimi

Sabit çözelti konsantrasyonunda, katının denge dağılım katsayısı, her osmotik madde için aynı sonucu göstermiş ve çözelti konsantrasyonunun artmasıyla azalmıştır. Suyun denge dağılım katsayısı ise, her bir osmotik madde için farklı sonuç göstermiştir.

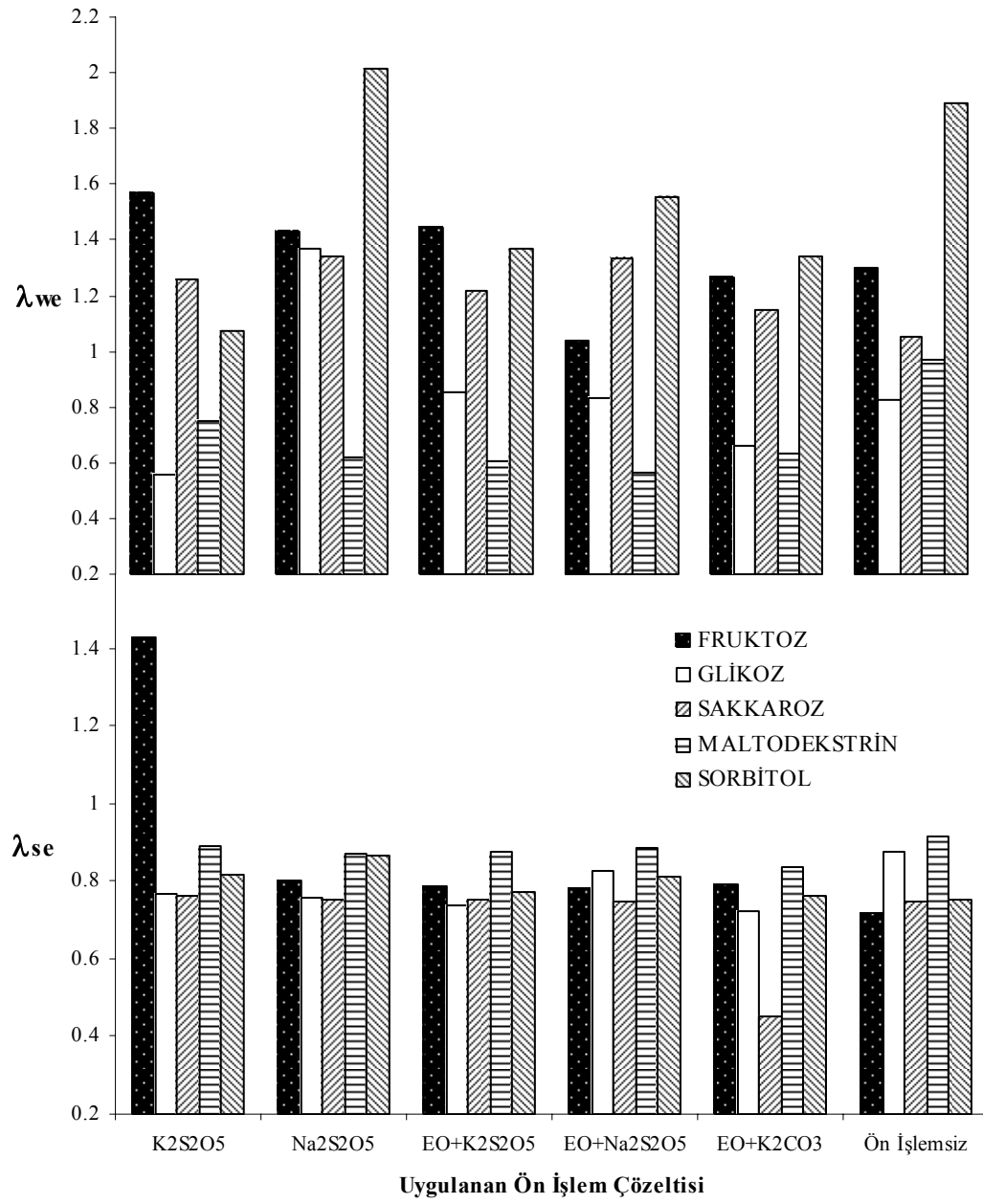
Sıcaklığın artmasıyla birlikte suyun denge dağılım katsayısının (λ_{we}) azaldığı, katının denge dağılım katsayısının (λ_{se}) ise arttığı görülmektedir (Şekil 5.13). Bulunan bu sonuçlar literatürle uyum göstermektedir (Sablani ve Rahman, 2003; Sablani vd., 2002; Corzo ve Bracho,2004).

Glikoz ve maltodekstrin için hesaplanan denge dağılım katsayılarına göre, örnek/çözelti oranının azalmasıyla suyun denge dağılım katsayısının azaldığı, katının denge dağılım katsayısının ise arttığı görülmektedir.

Denge dağılım katsayısına ön işlem uygulamasının etkisine bakıldığında ise her osmotik madde ve ön işlemde farklı bir sonuç ortaya çıktığı görülmektedir.



Şekil 5.14. Denge dağılım katsayılarının örnek/çözelti oranı ile değişimi



Şekil 5.15. Denge dağılım katsayılarının osmotik dehidrasyon öncesi uygulanan ön işleme değişimi

5.12. Deneylerin Standart Sapması

Kayıp örnekleri için yapılan osmotik dehidrasyon deneylerindeki standart sapma değerleri Tablo 5.5’de verilmiştir. Örnek/çözelti oranı için standart sapma değerleri ise Tablo 5.6’da gösterilmiştir.

Tablo 5.5. % Rölatif sapma (D) değerleri

ÇÖZELTİ	KONSANTRASYON	SICAKLIK (°C)	%RELATİF SAPMA (D)
FRUKTOZ	40	25	3.30
	50	25	3.94
	60	25	5.35
	70	25	4.06
	70	35	6.49
	70	45	1.67
GLİKOZ	40	25	4.73
	50	25	2.71
	60	25	5.62
	70	25	5.43
	70	35	5.52
	70	45	5.93
SAKAROZ	40	25	7.88
	50	25	6.11
	60	25	6.03
	70	25	6.41
	70	35	8.60
	70	45	5.79
MALTODEXTRİN	40	25	5.90
	50	25	6.06
	60	25	4.12
	70	25	4.10
	70	35	4.26
	70	45	3.81
SORBİTOL	40	25	2.65
	50	25	4.19
	60	25	3.17
	70	25	5.66

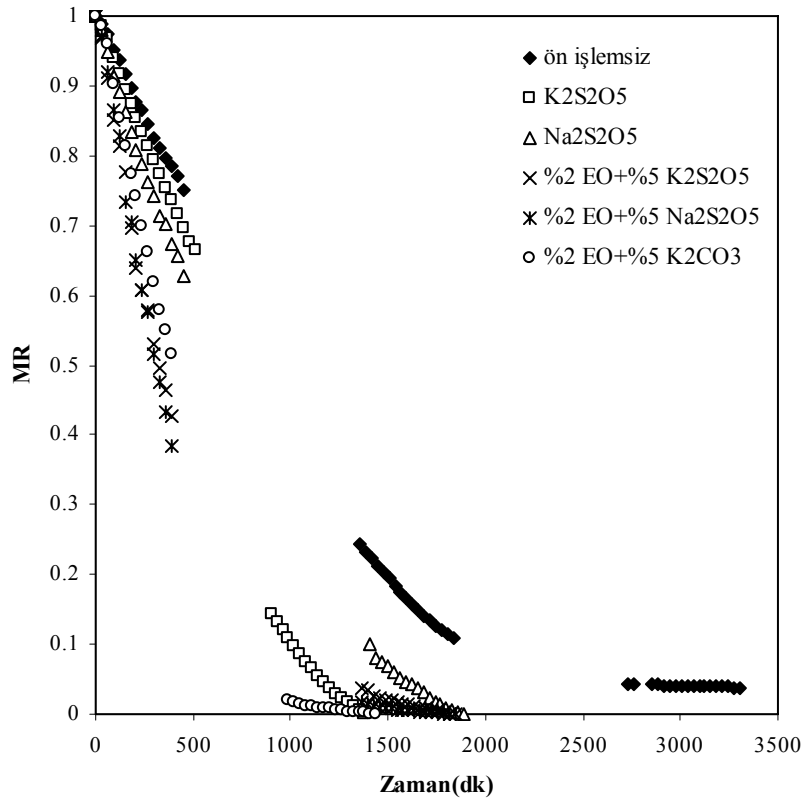
Tablo 5.6. Örnek/çözelti oranı için % Rölatif sapma (D) değerleri

ÇÖZELTİ	ÖRNEK/ÇÖZELTİ ORANI	%RELATİF SAPMA (D)
GLİKOZ	1/4	2.55
	1/8	3.49
	1/12	2.21
	1/16	5.37
	1/20	6.55
MALTODEXTRİN	1/4	7.45
	1/8	8.32
	1/12	8.32
	1/16	3.15
	1/20	7.31

5.13. Kurutma

Osmotik dehidrasyon uygulanan kayısılar bu işlemin hemen arkasından 75 °C sabit sıcaklığa ayarlanmış etüvde kurutulmuştur. Yarım saatlik aralarla alınan ağırlık kaybı değerlerinden Ekler kısmında verilen osmotik dehidrasyon sonrası nem içeriği değerleri kullanılarak kuruma sırasında zamanla nem içeriği değerleri ve bunların zamana göre nümerik türevlerinin alınmasıyla kuruma hızları hesaplanmıştır. Ortalama nem içeriğine karşı kuruma hızı değerleri grafiğe geçirilmiş değişimi ifade eden doğru denkleminde kuruma hızını sıfır yapan değer denge nem içeriği olarak belirlenmiş ve daha sonra bu değer boyutsuz nem oranının hesaplanmasında kullanılmıştır.

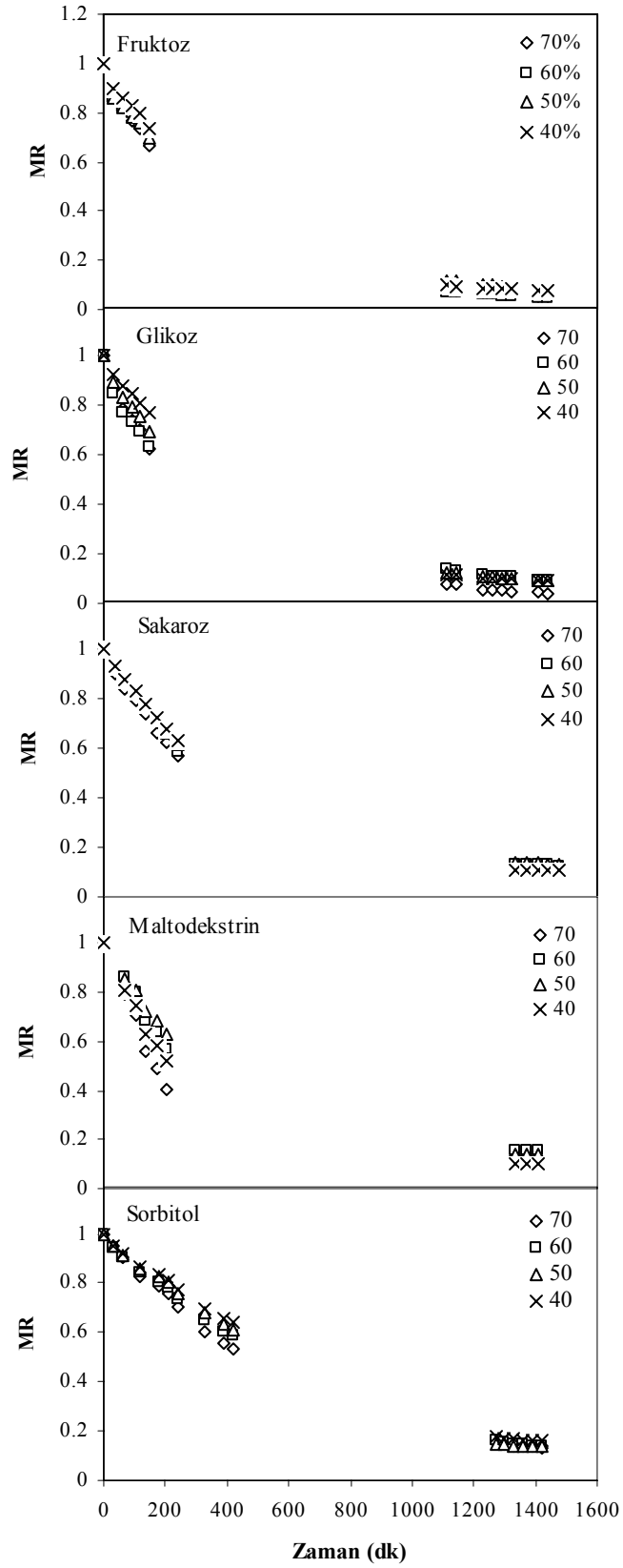
Osmotik dehidrasyonun kurutmaya etkisini daha iyi anlayabilmek için öncelikle osmotik dehidrasyon uygulanmadan ön işlemsiz ve ön işlemlilerle olarak kurutulan kayısıların kurumasını görmek gerekmektedir. Şekil 5.16'da görüldüğü gibi ön işlem uygulaması kayısının daha çabuk kurumasına neden olmaktadır. En hızlı kuruma ise % 2 EO+% 5 K_2CO_3 ve daha sonra $K_2S_2O_5$ ile ön işlem uygulandıktan sonra elde edilmiştir.



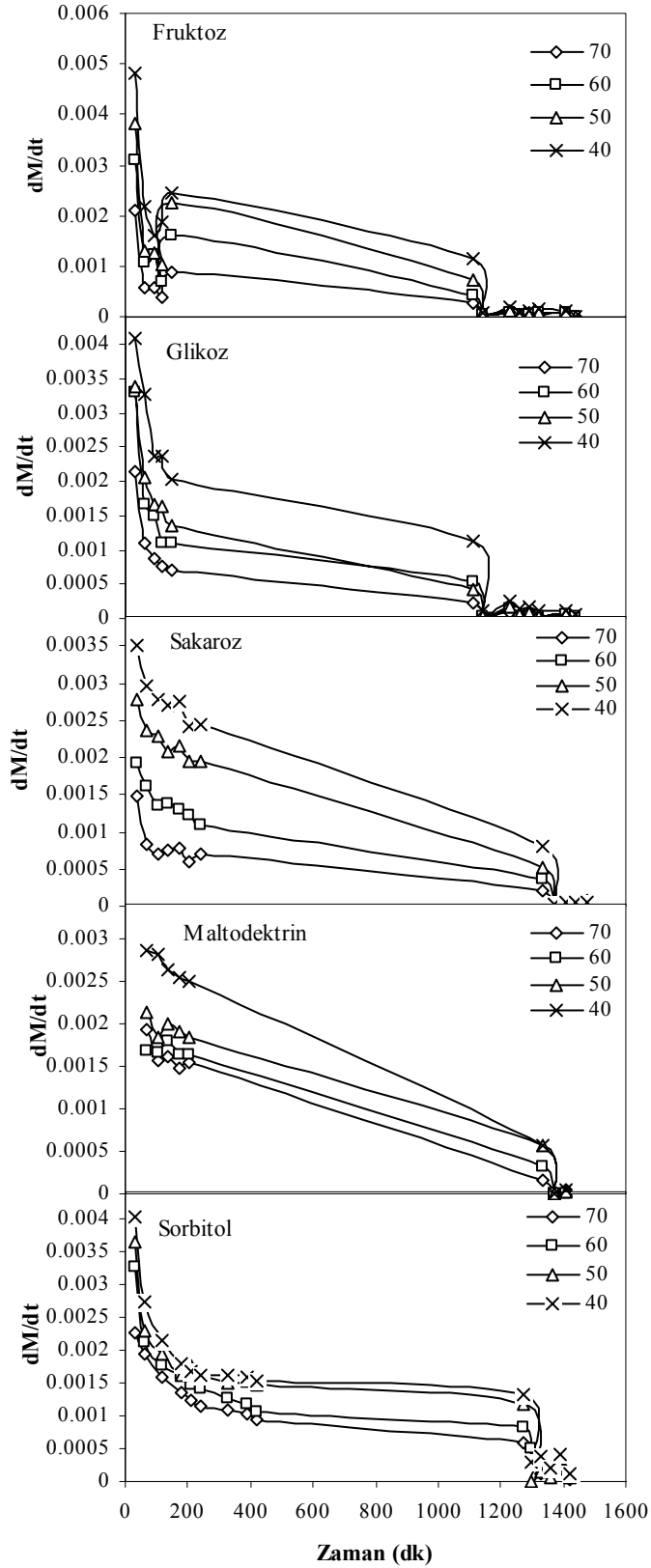
Şekil 5.16. Osmotik dehidrasyon uygulamadan ön işlemsiz ve ön işlemlilerle olarak kurutulan kayısıların kuruma davranışı

Farklı konsantrasyonlarda uygulanan osmotik dehidrasyonun kurutmaya etkisi Şekil 5.17’de t-MR ve Şekil 5.18’de t-dM/dt grafiklerinde görülmektedir. Şekil 5.17’de her bir konsantrasyon için hesaplanan nem oranlarının birbirine çok yakın olmakla birlikte Şekil 5.18 ile birlikte değerlendirildiğinde, kurutmadan önce yüksek konsantrasyonda osmotik dehidrasyon uygulaması ile kuruma hızının düştüğü ve nem oranında az da olsa daha hızlı bir azalma olduğu söylenebilir. Yüksek konsantrasyonda osmotik çözelti kullanıldığında kayıtsızdan daha fazla nem kaybı gerçekleştiğinden kurutmaya daha düşük nem ile başlanmaktadır. Kayısı ile çevresindeki ortam arasında nem gradienti daha düşük olduğundan, aynı koşullarda düşük konsantrasyonda osmotik çözelti ile dehidrasyon yapılan kayısıya göre daha yavaş kuruyacaktır. Ancak yine başlangıç nem içeriği daha düşük olduğundan boyutsuz nem oranındaki (MR) değişim az da olsa daha hızlı gerçekleşmektedir. Ancak osmotik dehidrasyon çözeltisinin konsantrasyonunun kurutmaya olan etkisi, kurumanın son aşmalarında ortadan kalkmaktadır.

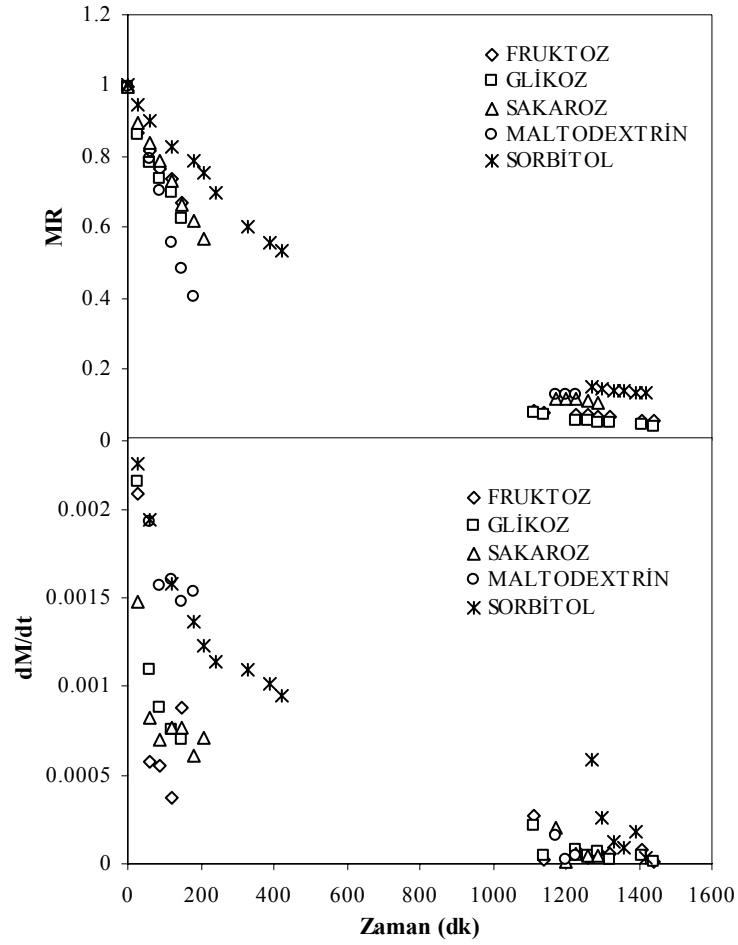
Şekil 5.19’da farklı osmotik çözelti kullanımının kurutmaya etkisi görülmektedir. Mukayesede %70’lik çözeltiler kullanılmıştır. Osmotik dehidrasyonda en iyi değerleri veren glikoz, fruktoz ve sakarozun kurutmada da yukarıda açıklanana benzer bir trend sergilediği görülmektedir. Osmotik dehidrasyonda en kötü sonucu veren sorbitol, osmotik dehidrasyonda daha düşük nem kaybı sağladığından kurutmaya diğer çözeltilerle olandan daha fazla nem ile başlanmasına neden olmuştur. Bu nedenle kuruma hızı sorbitol çözeltisinde daha yüksektir. Ancak yine aynı sebepten nem oranındaki değişim, aynı sürede, diğer osmotik maddelerle muameleye göre daha az olmuştur.



Şekil 5.17. Farklı konsantrasyonlarda osmotik çözeltilerle muamele edilmiş kayısıların nem oranındaki değişim

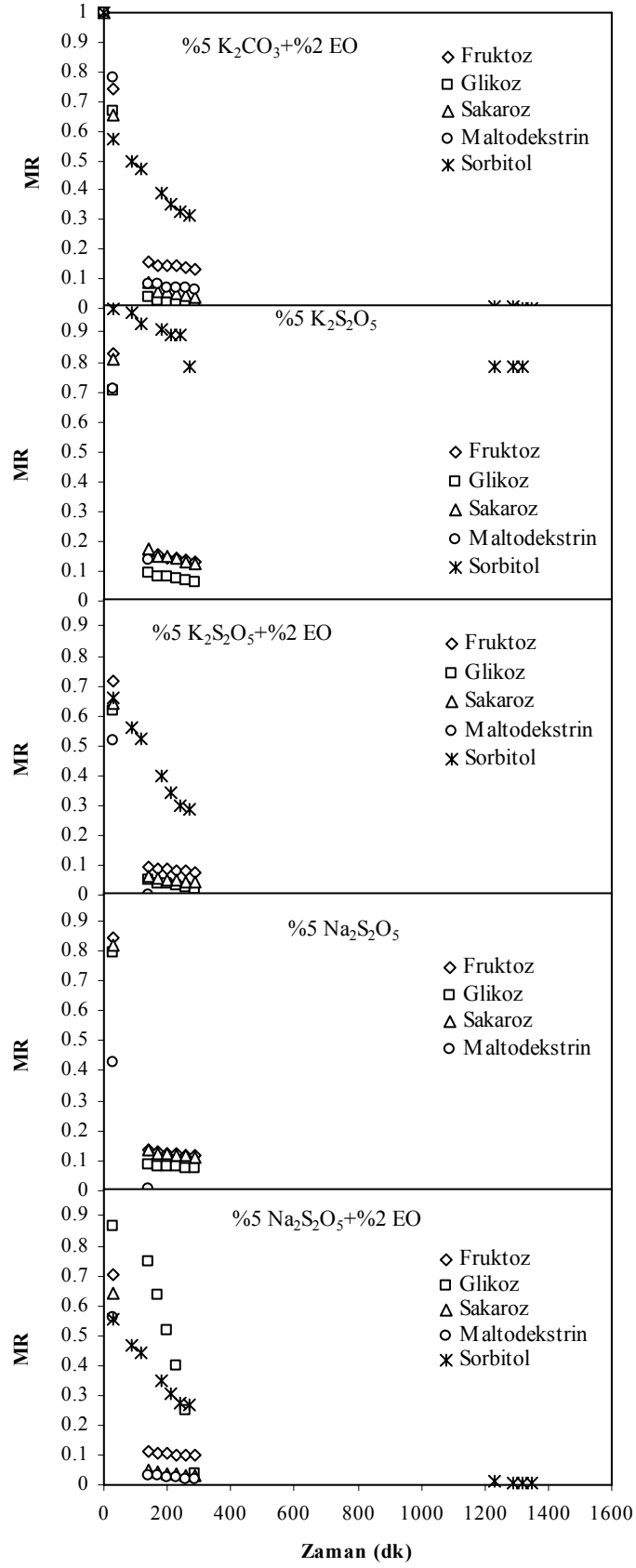


Şekil 5.18. Farklı konsantrasyonlarda osmotik çözeltilerle muamele edilmiş kayısıların kuruma hızındaki değişim

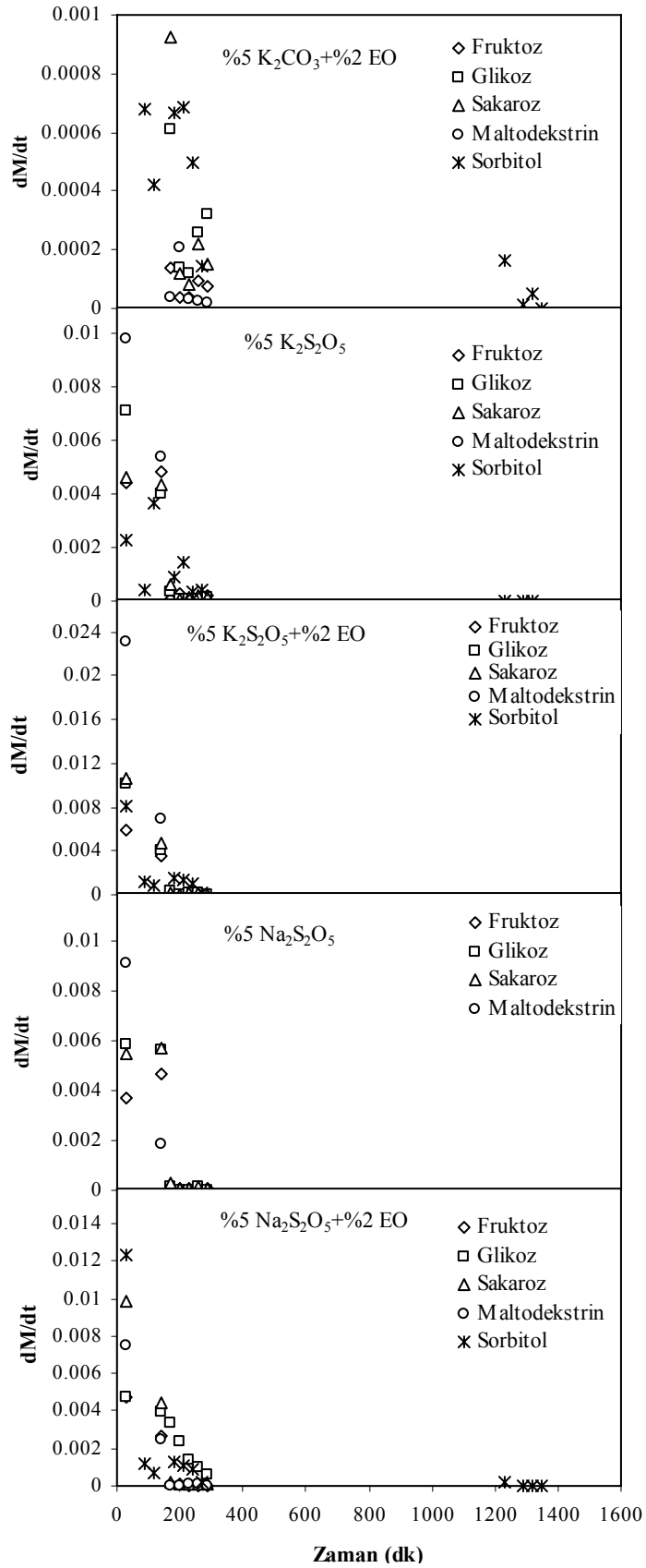


Şekil 5.19. %70'lik farklı osmotik çözeltilerle muamele edilmiş kayisuların zamanla nem oranındaki ve kuruma hızındaki değişim

Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'de osmotik dehidrasyon öncesinde uygulanan ön işlemin osmotik dehidrasyon sonrası yapılan kurutmaya etkisi görülmektedir. Daha öncede değinildiği gibi ön işlem çözeltisi ve osmotik madde tipi ile kurutma arasında direkt bir ilişki kurmak zordur. Çünkü her bir ön işlem her bir osmotik çözeltide farklı sonuç sergilemiştir. Sinerjistik etkinin buna neden olduğu söylenebilir.



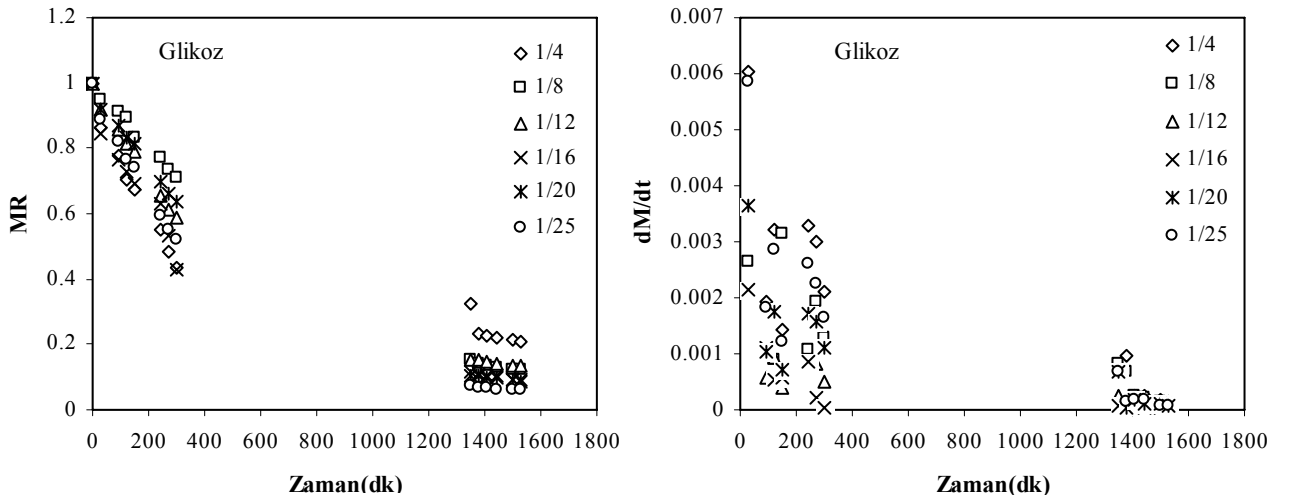
Şekil 5.20. Farklı ön işlem uygulanmış kayısıların kuruma eğrileri



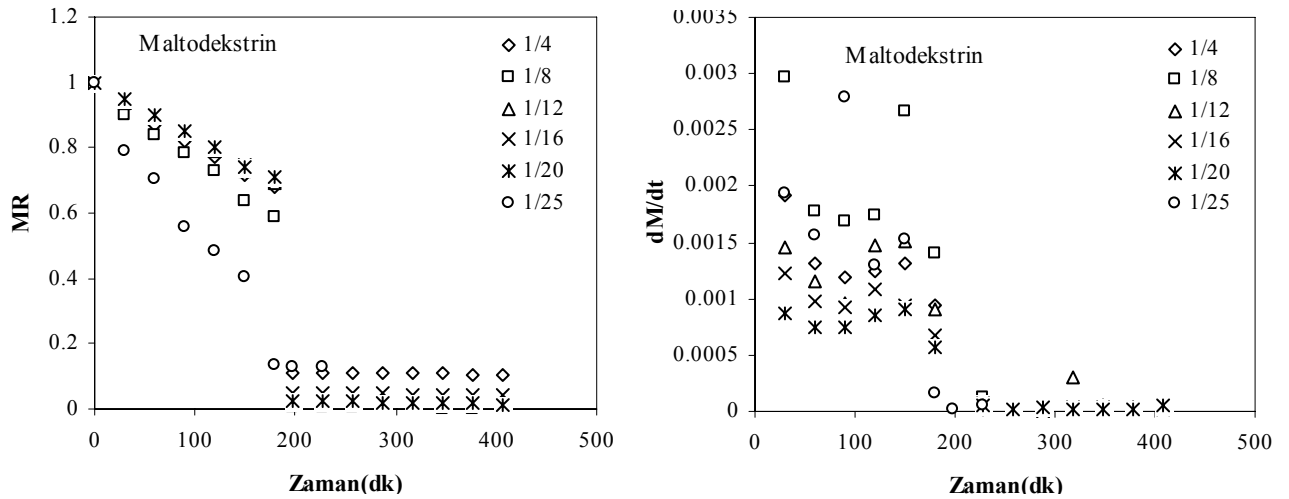
Şekil 5.21. Farklı önışlem uygulanmış kayisuların kuruma hızlarının zamanla değişimi

Şekil 5.22’de glikoz ve 5.23’de maltodekstrin için farklı örnek/çözelti oranı ile uygulanan ön işlemin kuruma davranışına etkisi görülmektedir. Örnek/çözelti oranının azalması ile nem oranındaki değişim artmış kuruma hızı ise azalmıştır. Düşük örnek/çözelti oranı ile osmotik dehidrasyon uygulandığında kurutmaya daha düşük nem ile başlanması şekillerde görülen değişimin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

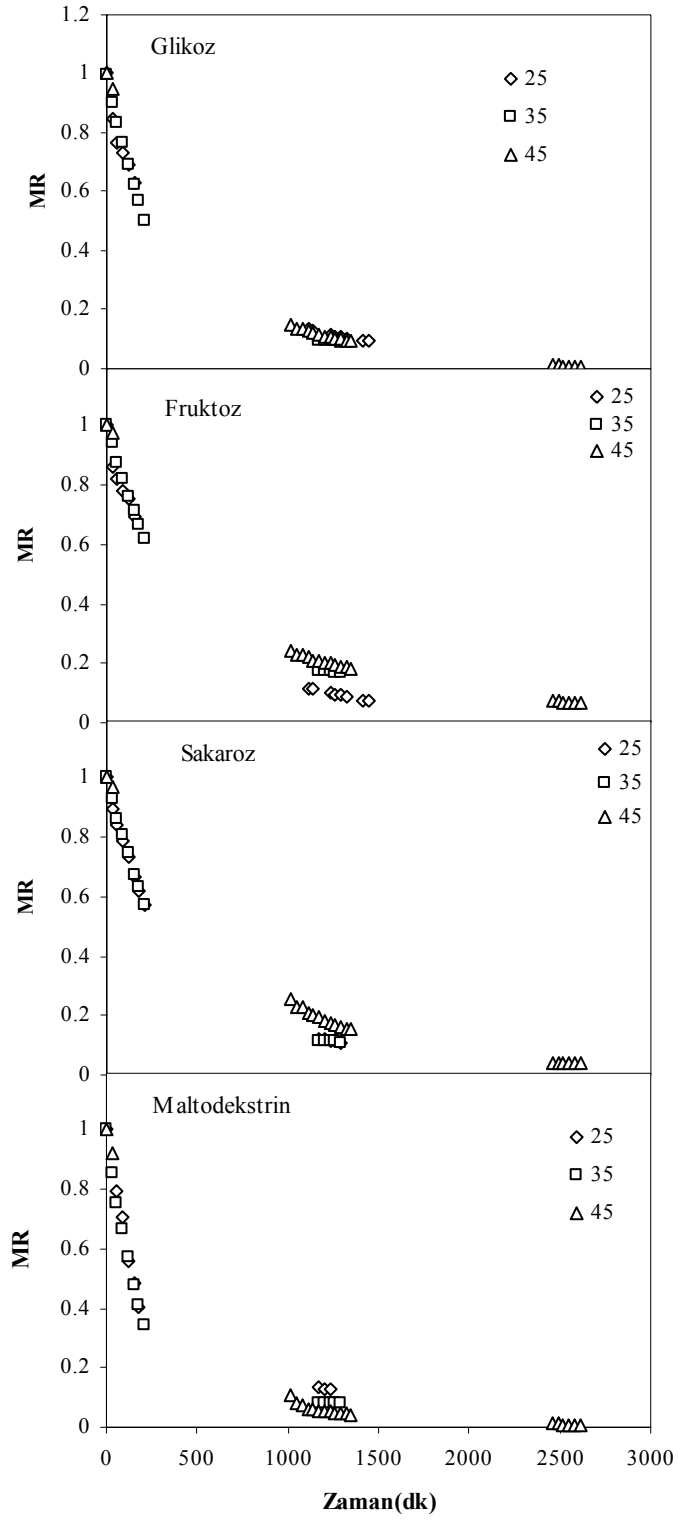
Şekil 5.24 ve Şekil 5.25’de farklı sıcaklıklarda uygulanan osmotik dehidrasyonun kurutmaya etkisi görülmektedir. Sıcaklığın etkisi osmotik dehidrasyonda da çok belirgin olmadığı için sonrasında uygulanan kurutma ile de çok belirgin farklar ortaya çıkmamaktadır.



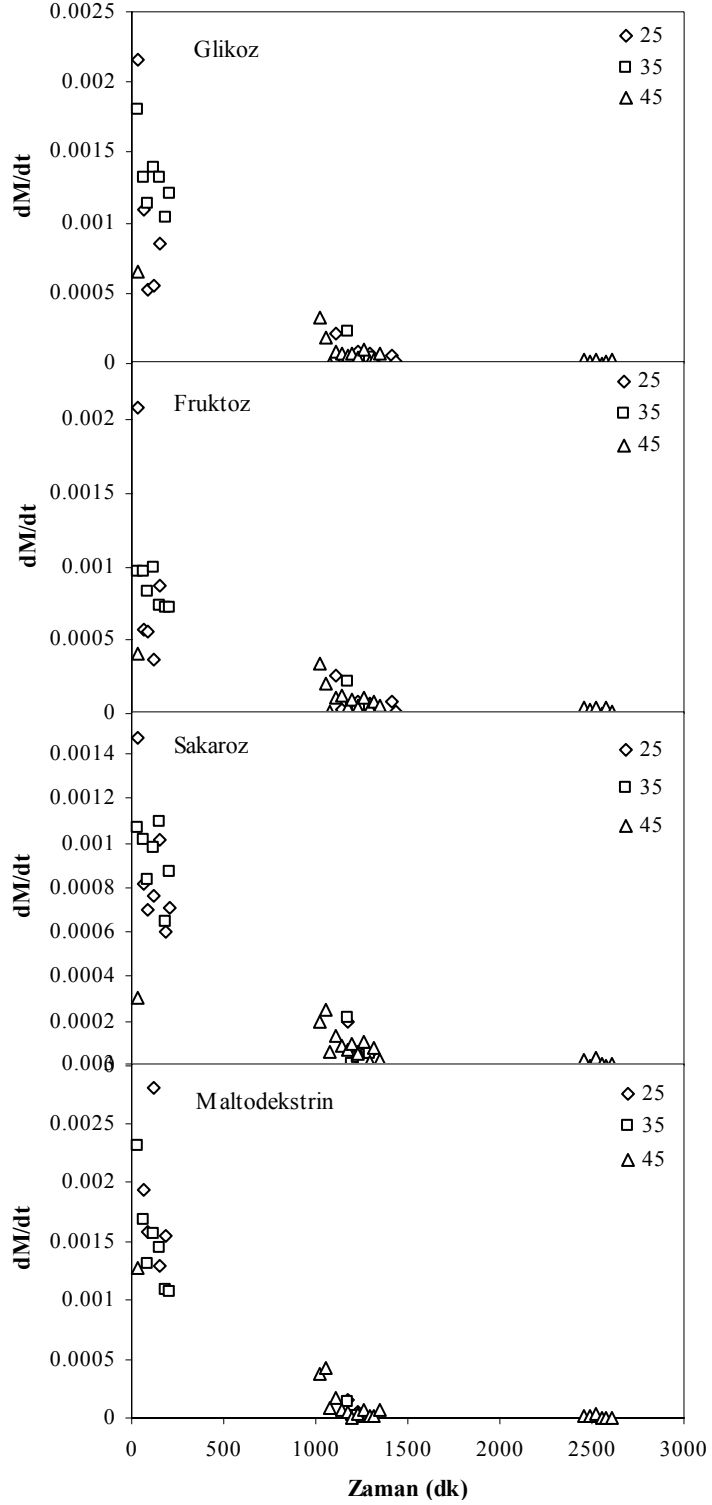
Şekil 5.22. Glikoz çözeltisinde farklı örnek/çözelti oranlarında osmotik dehidrasyona maruz bırakılan kayisuların kuruma davranışı



Şekil 5.23. Maltodekstrin çözeltisinde farklı örnek/çözelti oranlarında osmotik dehidrasyona maruz bırakılan kayisuların kuruma davranışı



Şekil 5.24. Farklı sıcaklıklarda osmotik dehidrasyona tabi tutulan kayısıları kuruma eğrileri



Şekil 5.25. Farklı sıcaklıklarda osmotik dehidrasyona tabi tutulan kayısıları kuruma hızları

Ancak yine de osmotik ortam sıcaklığının artmasıyla, sonrasında uygulanan kurutma işleminde nisbeten düşük bir kuruma hızı görülmesine rağmen, aynı süre uygulanan kurutmaya göre daha fazla nem kaybı gerçekleştiği söylenebilir.

5.14. Kurutma Sırasında Etkin Difüzyon Katsayıları

Osmotik dehidrasyon sonrası uygulanan kurutma işleminde, kayısların azalan kuruma hızı döneminde kurduğu ve kayıslardan suyun transferini kontrol eden mekanizmanın katı içi difüzyon olduğu görülmektedir. Dış direncin ve büzülmenin ihmal edilebildiği durum için Fick'in II. yasasının çözümünden eğim metodu ile etkin difüzyon katsayıları hesaplanmıştır ve hesaplanan değerler tablolar halinde sunulmuştur. Tablolarda ilk sütünlarda kurutmadan önce yapılan osmotik dehidrasyon özetlenmiştir. Tablo 5.7'de her bir osmotik madde için, tüm sıcaklık ve konsantrasyonlarda osmotik dehidrasyon, Tablo 5.8'de, ön işlem uygulamasından ve Tablo 5.9'da ise farklı örnek/çözelti uygulamasından sonra kurutulan kayısların etkin difüzyon katsayısı görülmektedir.

Tablo 5.7'den görüldüğü gibi, kurutmadan önce uygulanan osmotik dehidrasyon da çözeltinin konsantrasyonu ve osmotik ortam sıcaklığı arttıkça kuruma sırasındaki etkin difüzyon katsayısı azalmaktadır. Yüksek konsantrasyonda osmotik çözelti kullanılması ve yüksek sıcaklık uygulaması ile osmotik dehidrasyonda uzaklaşan su miktarının arttığı daha önceki bölümlerde görülmekteydi. Kurutmaya başlandığında bu tip çözeltilerle osmotik dehidrasyona tabi tutulan kayıslarda daha az su bulunduğundan, nem transferi için daha düşük yürütücü kuvvet mevcuttur. Bu nedenle suyun kayışı bünyesinden yüzeye taşınımı daha yavaş olmaktadır ve difüzyon katsayısı düşmektedir.

Tablo 5.7. Farklı koşullarda osmotik dehidrasyon uygulanmış kayısıların kuruma sırasında etkin difüzyon katsayıları

ÇÖZELTİ	KONSANTRASYON	SICAKLIK (°C)	$D_{\text{eff}} \times 10^{-8}$ (m ² /s)
FRUKTOZ	40	25	8.367
	50	25	7.626
	60	25	7.207
	70	25	6.846
	70	35	5.325
	70	45	3.803
GLİKOZ	40	25	6.846
	50	25	6.466
	60	25	6.367
	70	25	6.185
	70	35	5.846
	70	45	5.446
SAKAROZ	40	25	6.846
	50	25	6.090
	60	25	6.085
	70	25	5.466
	70	35	5.066
	70	45	4.564
MALTODEKSTRİN	40	25	6.846
	50	25	6.085
	60	25	5.725
	70	25	5.305
	70	35	5.146
	70	45	5.066
SORBİTOL	40	25	5.725
	50	25	5.405
	60	25	5.320
	70	25	5.125

Tablo 5.8. Osmotik dehidrasyon öncesi ön işlem uygulanmış kayısıların kuruması sırasında etkin difüzyon katsayıları

ÇÖZELTİ	ÖN İŞLEM	$D_{\text{eff}} \times 10^{-7} \text{ (m}^2/\text{s)}$
FRUKTOZ	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	2.891
	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	3.081
	$\text{EO}+\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	3.613
	$\text{EO}+\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	3.271
	$\text{EO}+\text{K}_2\text{CO}_3$	2.814
GLİKOZ	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	3.803
	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	3.689
	$\text{EO}+\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	5.363
	$\text{EO}+\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	2.282
	$\text{EO}+\text{K}_2\text{CO}_3$	6.656
SAKAROZ	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	2.929
	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	3.118
	$\text{EO}+\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	4.374
	$\text{EO}+\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	4.906
	$\text{EO}+\text{K}_2\text{CO}_3$	4.488
MALTODEXTRİN	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	5.629
	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	1.308
	$\text{EO}+\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	2.054
	$\text{EO}+\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	5.553
	$\text{EO}+\text{K}_2\text{CO}_3$	3.955
SORBİTOL	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	3.803
	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	---
	$\text{EO}+\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	1.635
	$\text{EO}+\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	1.331
	$\text{EO}+\text{K}_2\text{CO}_3$	1.559

Tablo 5.8’de osmotik dehidrasyon öncesinde ön işlem uygulandıktan sonra yapılan kurutma işleminde difüzyon katsayıları Tablo 5.7’dekine göre yüksek çıkmıştır. Bu da ön işlem uygulamasıyla osmotik dehidrasyon sırasında su kaybının azalması ile açıklanabilir. Uygulanan kimyasallar ile osmotik madde arasında meydana gelen sinerjistik etkiden dolayı beklenenden daha az su kaybı meydana gelmiştir. Kurutmaya başlandığında bu tip kayıslarda daha fazla su bulunduğundan kurutma için yürütücü kuvvet daha büyüktür, dolayısıyla kayısı içinden nemin yüzeye hareketi daha hızlı olmaktadır. Yine Tablo 5.9’den görüldüğü gibi örnek/çözelti oranının artmasıyla kurutma sırasındaki etkin difüzyon katsayısı artmaktadır.

Tablo 5.9. Farklı örnek/çözelti oranında osmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra yapılan kurutmada kayısların etkin difüzyon katsayıları

ÇÖZELTİ	ÖRNEK/ ÇÖZELTİ ORANI	$D_{\text{eff}} \times 10^{-8} \text{ (m}^2/\text{s)}$
GLİKOZ	1/4	6.726
	1/8	6.543
	1/12	6.485
	1/16	6.325
	1/20	6.244
	1/25	6.185
MALTODEXTRİN	1/4	6.038
	1/8	5.843
	1/12	5.625
	1/16	5.517
	1/20	5.487
	1/25	5.305

6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hacıhalil tipi aşılı kayısının osmotik dehidrasyonu ve kurutmaya etkisi konulu çalışmada bulunanlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- Kayısının osmotik dehidrasyonunda sürekli sistem kesikli sisteme göre daha düzenli bir değişim ve daha az sapma göstermiştir.
- Laboratuarda sıcak su banyolarında yapılan çalkalama işleminin kayısının osmotik dehidrasyonuna önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Osmotik dehidrasyon hızını artırmak için daha farklı çalkalama sistemleri denenmelidir.
- Osmotik ortam sıcaklığının etkisi incelendiğinde sıcaklık artışıyla hem su kaybının hemde katı kazanımın arttığı görüldü. Ancak kullanılan su banyolarının kesikli çalıştırılmak zorunda kalınması nedeniyle bu etki hissedilir oranda olmamıştır. Osmotik dehidrasyonun, kurutmadan önce, ön işlem olarak kısa süreli uygulanacağı sistemlerde yüksek sıcaklık uygulaması önerilmektedir. Ancak 45 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda meyvede renk değişimleri meydana geleceğinden bu sıcaklığın üzerine çıkılması tavsiye edilmemektedir.
- Kullanılan çözeltilerin konsantrasyonu arttıkça uzaklaşan su miktarı ve kazanılan katı miktarı artmaktadır.
- Osmotik ortam olarak kullanılan çözeltilerden sakaroz ve fruktozun daha fazla su kaybı ve daha az katı kazanımı nedeniyle kayısının osmotik dehidrasyonunda etkin olarak kullanılabileceği sonucuna varıldı. Maltodekstrinde su kaybı fazla olmakla birlikte katı kazanımı da fazla olduğu, sorbitolde ise katı kazanımı düşük olmasına rağmen, diğer osmotik çözeltiler içinde en az su kaybını vermesi nedeniyle kayısının osmotik dehidrasyonu için uygun olmadığı görüldü.
- En hızlı su ve ağırlık kaybı ilk 3 gün içinde gözlenmekte, daha sonra su ve çözünen transfer hızı yavaşlamakta ve kayısı-çözelti arasında dinamik dengeye yaklaşılmaktadır.
- Osmotik dehidrasyon öncesinde ön işlem uygulamasının bazı çözeltilerde katı kazanımını azaltmakla birlikte, beklenenin tersine su kaybını da azalttığı görüldü. Buna ön işlem kimyasalları ve çözünen maddeler arasındaki sinerjistik etkinin neden olduğu düşünülmektedir. Ancak kükürtleme işlemine tabi tutulmadan kurutulan kayısıların uzun süre dayanamaması ve orijinal rengini muhafaza edememesi gibi problemleri olduğundan ön işlem uygulaması kayısı

kurutmada önemli ve gerekli bir aşamadır. Daha sonra yapılacak araştırmalarda SO₂ gazı ile kükürlenmiş kayıslarda osmotik dehidrasyonun incelenmesi önerilmektedir.

- Azalan örnek/çözelti oranı ile su kaybı ve kazı kazanımı önemli ölçüde artmaktadır. Ayrıca azalan örnek/çözelti oranında çözelti seyrelmediği için kütle transferine dış direncin etkisi ortadan kalkmaktadır.
- Kayısının örnek büyüklüğü küçüldükçe su kaybı ve katı kazanımının arttığı görüldü. Örnek büyüklüğünün küçülmesi çözelti ile temas yüzeyinin artmasına yol açmakta, aynı zamanda uygulanan kesme işleminin hücre dokusunu tahrip etmesi nedeniyle daha geçirgen bir yapıya sahip olmasına neden olmaktadır.
- Osmotik dehidrasyonda meydana gelen büzülme geleneksel kurutma yöntemlerine göre ihmal edilecek oranda meydana gelmektedir.
- Osmotik dehidrasyon kinetiklerinin incelenmesinde, su ve çözenen için hesaplanan difüzyon ve kütle transfer katsayılarının
 - ✓ Artan osmotik çözelti konsantrasyonu ile
 - ✓ Artan çözelti sıcaklığı ile ve
 - ✓ Azalan örnek/çözelti oranı ilearttığı görüldü.
- Bu taşınım parametrelerinin, konsantrasyon, sıcaklık ve örnek/çözelti oranı ile değişimini ifade etmesi için geliştirilen eşitliklerin, yüksek korelasyon katsayısı ve istatistiksel analiz sonuçlarının güvenilirliği nedeniyle daha sonraki araştırmacılara ışık tutacağı söylenebilir.
- Hesaplanan denge dağılım katsayıları incelendiğinde, sabit çözelti konsantrasyonunda, katının denge dağılım katsayısının, her osmotik madde için aynı sonucu gösterdiği ve çözelti konsantrasyonunun artmasıyla azaldığı, suyun denge dağılım katsayısının ise, her bir osmotik madde için farklı sonuç gösterdiği görülmektedir. Ayrıca sıcaklığın artmasıyla suyun denge dağılım katsayısının (λ_{we}) azaldığı, katının denge dağılım katsayısının (λ_{se}) ise arttığı görülmektedir. Bulunan bu sonuçlar literatürle uyum göstermektedir.
- Glikoz ve maltodekstrin için hesaplanan denge dağılım katsayılarına göre, örnek/çözelti oranının azalmasıyla suyun denge dağılım katsayısının azaldığı, katının denge dağılım katsayısının ise arttığı görülmektedir.
- Her bir parametre için 5 defa yapılan deneylerin rölatif sapmalarına bakıldığında hataların mühendislik uygulamalarında kabul edilebilir sınır olan

%10'un altında kalması nedeniyle sonuçların güvenle kullanılabilceği söylenebilir.

- Osmotik dehidrasyon uygulanmadan direkt ve n işlemli olarak kurutulan kayısıların kuruma eğrilerinden n işlemli kayısıların daha çabuk kuruduğu görülmektedir.
- Osmotik dehidrasyondan sonra uygulanan kurutma işleminde ise
 - Osmotik zelti konsantrasyonunun kuruma davranışı üzerine çok küçük bir etkisinin olduğu görülmüştür.
 - Kuruma hızı bakımından mukayese edildiğinde yüksek konsantrasyonda osmotik çözelti ile mukayese edilen kayısıların bünyesinde daha az su bulundurması ve dolayısıyla yürütücü kuvvetin daha düşük olması nedeniyle diğer konsantrasyonlardaki çözeltilerle muamele edilen kayılara göre daha düşük kuruma hızı göstermiştir.
 - Kullanılan osmotik çözeltilerden sakaroz, fruktoz ve glikozun aynı süre kurutmada daha fazla nem kaybı ile daha etkin kurutma sağladığu görülmüştür.
 - Osmotik ortam sıcaklığının etkisi, osmotik dehidrasyonda da çok belirgin olmadığu için sonrasında uygulanan kurutmada da fazlaca etkili olmamıştır.
- Osmotik dehidrasyon sonrası yapılan kurutma için hesaplanan etkin difüzyon katsayısının
 - Artan osmotik çözelti konsantrasyonu ile
 - Artan osmotik ortam sıcaklığı ile ve
 - Azalan rnek/çözelti oranı ileazaldığu görüldü. Kurutmaya başlandığında bu tip çözeltilerle osmotik dehidrasyona tabi tutulan kayısılarda daha az su bulunduğundan, nem transferi için daha düşük yürütücü kuvvet mevcuttur. Bu nedenle suyun kayısı bünyesinden yzeyeye taşınımı daha yavaş olmaktadır ve difüzyon katsayısı düşmektedir.

KAYNAKLAR

1. Adambounou, T.L., Castaigne, F., 1983, Déshydratation partielle par osmose des bananes et clétermination de courbes de sorption isotherne, *Lebensm.-Wiss. U.-Techenol.*, 16 (4), 230-234p.
2. Adambounou, T.L., Castaigne, F., J. C. Dillon., 1983, Abaissement de L'activité de L'eau de Légumes tropicaux par déshydratation osmotique partielle *Sci. Aliments*, 3 (4), 551-567p.
3. Anonymous, 1980, Official methods of analysis, 13 th ed. Association of Official Chemist, Washtion, D.C.
4. Azuara, E., Cortes, R., Garcia, H.S., Beristain, C.I., 1992, Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's Second Law, *International Journal of Food Science and Technology*, 27, 409-418p.
5. Barat, J.M., Alvarruiz, A., Chiralt, A. and Fito, P., 1997, A mass transfer modelling approach in osmotic dehydration, *Engineering and Food at ICEF 7*, Jowitt, R. (Ed.), Sheffield Acedemic Pres Ltd., United Kingdom, 81-84p.
6. Barat, J.M.E., Chiralt, A. and Fito, P., 1998, Equilibrium in cellular food osmotic solution systems as related to struture, *Journal of Food Science*, 63 (5):836-840p.
7. Barat, J.M., Albors, A., Chiralt, A., Fito, P., 1999, Equilibration of apple tissue in osmotic dehydration: Microstructural changes, *Drying Technol.*, 1375–1386p.
8. Beristain, C. I., Azuara, E., Cortes, R., Garcia, H. S., 1990, Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings, *Int. J. Food Sci. Technol.*, 25, 576-582p.
9. Bird, R.B., Stewart, W.E., 1960, *Lightfood E.N. Transport Phenomena*, Wiley, New York.
10. Bolin, H.R., Huxsoll, C.C., Jackson, R., NG, K.C., 1983, Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality, *J. Food Sci.*, 48, 202-205p.

11. Brimelow, C.J.B. and Brittain, J.E., 1976, Procédé et appareil pour l'imprégnation continue de produits alimentaires, French Patent No. 7613413.
12. Chandrasekaran, S.K., King, J.C., 1972, Multi-component diffusion and vapor-liquid equilibria of dilute organic components in aqueous sugar solutions, *Am. Inst. Chem. Eng. J.*, 18 (3), 513-519p.
13. Clalus, J.R., Colby, J.W., Flick, J., 1994, *Processed meat/spoultry/seafood*. New York, 106-162p.
14. Contreras, J. E., Smyrl, T. G., 1981, An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions, *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 14 (4), 310-314.
15. Conway, J., Castaigne, F., Picord, G., Vovan, X., 1983, Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples, *Can Inst. Food Sci. Technol. J.*, 16 (1), 25-29p.
16. Crank, J., 1970, *The Mathematics of Diffusion*, 5th ed., Oxford University Press, London.
17. Crank, J., 1975, *The Mathematics of Diffusion*, Clarendon Press, Oxford.
18. Deumier, F., Mens, F., Hériard-Dubreuil, B. and Collignan, A., 1997, Control of immersion processes, A novel system for monitoring mass transfer tested with herring brining, *Journal of Food Engineering*, 293-311p.
19. Deumier, F., Rivier, M. and Collignan, A., 1996, Procédé de séchage-salage-fumage en continu de produits carnés Application au traitement du hareng et du saumon, rapport no. 142/96 CIRAD-SAR Montpellier.
20. Dixon, G.M., Jen, J.J., Paynter, V.A., 1976, Tarty apple slices result from combined osmotic-dehydration and vacion-drying process, *Food Prod. Devel.*, 10, 634-638p.
21. Farkas, D.F., Lazar, M.E., 1969, Osmotic dehydration of apple pieces effect of temperature and syrup concentration on rates, *Food Technol.*, 23 (5), 688-690p.

22. Favetto, G., Chirife, J., Bartholomai, G. B., 1981, A Study of Water Activity Lowering in Meat During Immersion Cooking in Sodium Chloride-Glycerol Solutions, I. Equilibrium Considerations and Diffusional Analysis of Solute Uptake, *J. Food Technol.*, 609-619p.
23. Flink, J.M., 1980, Dehydrated carrot slices: Influence of osmotic concentration on drying behaviour and product quality, In: *Food Process Engineering*, Vol. 1. (P.Linko, Y.Malki, J.Olkku, J.Larinkari, eds.), London, 412-418p.
24. Garrote, R.L. and Bertone, R.A., 1989, Osmotic concentration at low temperature of frozen strawberry halves, Effect of glicerol, Glucose and sucrose solutions on exudate loss during thawing, *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 22 (5):264-267p.
25. Harfouch, M., 1990, Etude experimentale et modelisation des phenomenes serves en saumure, *Isstitut National Polytechnique de Lorraine*, Nancy.
26. Hawkes, J., Flink, J.M., 1978, Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration, *J. Food Process. Preserv.*, 2, 265-284p.
27. Holdsworth, S.M., 1986, Advances in the dehydration of fruits and vegetables, Concentration and Drying of Foods (D. Mac Carthy ed.), Elsevier App. Sci. Pub. Ltd., London, 293-303p.
28. Iglesias, H.A., Chirife, J., Lombardi, J.L., 1975, Comparison of water vapour sorption by sugar beet root components, *J. Food Technol.*, 10, 385-391p.
29. İslam, M.N., Flink, J.M., 1982, Dehydration of potato. II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour, *J. Food Technol.*, 17, 387-403p.
30. Karel, M., 1973, Recent reseach and development in the field of low moisture and intermediate moisture foods, *CRC Crit. Rev. Food Technol.*, 4 (2), 329-373p.
31. Kaymak-Ertekin, F. and Sultanoğlu, M., 2000, Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples, *Journal of Food Engineering*, 46:243-250p.

32. Kaymak-Ertekin, F. ve Sultanoğlu, M., 1997, Gıdaların osmotik dehidrasyonunda son gelişmeler, E.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi, 15(1-2):243-261s.
33. Kim, M.H., 1989, Mass transfer during osmotic dehydration of carrots and its effect on browning reaction, Korean J. Food Sci. Technol., 21 (2), 307-312p.
34. Kowalska, H., Lenart, A., 2001, Mass Exchange during osmotic pretreatment of vegetables, Journal of Food Engineering, 49, 137-140p.
35. Krokida, M.K. and Maroulis, Z.B., 2000, The effect of drying methods on viscoelastic behaviour of dehydrate fruits and vegetables, International Journal of Food Science and Technology, 35:391-400p.
36. Labuza, T.P., 1972, Nutrient losses during drying and storage of dehydrated foods, CRC Crit. Rev. Food Technol., 3 (9), 217-240p.
37. Lazarides, H. N., Katsanidis, E., Nickolaidis, A., 1995, Mass transfer during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake, Journal of Food Engineering, 25, 151-166p.
38. Lee, B.w., Shin, G.L., Kim, M.H., Choi, C.U., 1989, Effect of pretreatment before air drying on the quality of carrot flake, Korean J. Food Sci. Technol., 21 (3), 430-434p.
39. Lenart, A. and Flink, J.M., 1984b, Osmotic concentration of potato. II. spatial distribution of the osmotic effect, Journal of Food Technology, 19:65-72p.
40. Lenart, A., 1996, Osmo-Convective drying of fruits and vegetables technology and application, Drying Technology, 14 (2):391-413p.
41. Lenart, A., Flink, J.M., 1984a, Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmosis process, J. Food Process. J. Food Technol., 19, 45-63p.
42. Lenart, A., 1992, Mathematical modelling of osmotic dehydration of apple and carrot, Pol. J. Food Nutr. Sci., 1 (42), 33-44p.

43. Lerici C.R., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M., Bertolucci, L., 1985, Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality, *J. Food Sci.*, 50, 1217-1219p.
44. Lerici, C.R., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M. and Bartolucci, L., 1985, Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality, *Journal of Food Science*, 50, 1217-1219, 1226p.
45. Lerici, C.R., Mastrocola, D., Nicoli, M.C., 1988, Use of direct osmosis as fruit and vegetables dehydration, *Acta Alimentaria Polonica*, 14 (1), 35-40p.
46. Lerici, C.R., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M., Mastrocola, D., 1983, Applicazione dell'osmosi diretta nella disidratazione della frutta, *Ind. Alimentari*, 3, 184-190p.
47. Lewicki, P.P. and Lenart, A., 1995, Osmotic dehydration of fruits and vegetables, *Handbook of Industrial Drying*, 691-713, Mujumdar, A.S. (Ed.), Marcel Dekker, Inc., New York, 742p.
48. Lewicki, P.P. and Lukaszuk, A., 2000, Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying, *Jurnal of Food Engineering*, 45:119-126p.
49. Maltini, E., Torreggiani, D., Forni, E., Lattuada, R., 1990, Osmotic properties of fruit juice concentrates, *Engineering and Food. Vol I. Physical Properties and Process Control*, London, 565-573p.
50. Marouzé, C., Giroux, F., Bonicel, J.F. and Rivier, M., 1994, Equipements de traitement de déshydratation par immersion pour produits alimentaires, *Cahier de l'AFSIA (FRA)*, 10, 43-48p.
51. Marouzé, C., Giroux, F., Collignan, A. and Rivier, M., 2001, Equipment desing for osmotic treatments, *Journal of Food Engineering*, 49, 207-221p.

52. Mastrocola, D., Barbanti, D., Dalla Rosa, D. And Pittia, P., 1998, Physicochemical characteristics of dehydrated apple cubes reconstituted in sugar solutions, *Journal of Food Science*, 63 (3):495-498p.
53. Mazza, G., 1983, Dehydration of carrots, Effect of pre-drying treatments on moisture transport and product quality, *J. Food Technol.*, 18, 113-123p.
54. Moy, J.H., Lau, N.B.H. and Dolar, A.M., 1978, Osmovac-Dehydration of tropical fruits, *Jurnal of Food Processing and Preservation*, 2:131-135p.
55. Palou, E., Lopez-Malo, A., Argai, A., Welti, J., 1994, The use of Peleg's equation to model osmotic concentration of papaya, *Drying Technology*, 12(4), 965-978p.
56. Panagiotou, N.M., Karathanos, V.T. and Maoulis, Z.B., 1998a, Modelling of the osmotic dehydration of fruits, *Drying'98-Processing of the 11 th International Drying Symposium (IDS'98)*, Greece, vol. A, 954-961p.
57. Panagiotou, N.M., Karathanos, V.T. and Maoulis, Z.B., 1998b, Mass transfer modelling of some fruits, *International Journal of Food Science and Technology*, 33:267-284p.
58. Park, K. J., Bin, A., Brod, F. P. R., Park, T. H. K. B., 2002, Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.), *Journal of Food Engineering*, 52, 2936-298p.
59. Pavasovic, V., Stefanovic, M., Stevanovic, R., 1986, Osmotic dehydration of fruit, In A. S. Mujumdar (Ed.), *Drying'89*, New York.
60. Perry, R.H., Chilton, C.H., 1973, *Chemical Engineer's Handbook*, 5 th Ed., Mc Graw Hill Book Comp., New York.
61. Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M., Lericci, C.R., 1988, Dehydrofreezing of fruit using direct osmosis as concentration process, *Acta Alimentaria Polonica*, 14 (1), 51-57p.
62. Ponting, J.D., Watters, G.G., Forrey, R.R., Jackson, R., Stanley, W.L., 1966, Osmotic dehydration of fruits, *Food Technol.*, 20 (10), 125-128p.

63. Ponting, J.O., 1973, Osmotic dehydration of fruits-recent modifications and applications, *Process Biochemistry*, December:18-20p.
64. Rahman, M.S., Lamb, J., 1990, Osmotic dehydration of pine apple, *J. Food Sci. Technol.*, 27 (3), 150-152p.
65. Raoult-Wack, A.L., 1994, Recent advances in the osmotic dehydration of foods, *Trends Food Sci. Technol.*, 255–259p.
66. Rastogi, N.K., Angersbach, A. and Knorr, D., 2000, Evaluation of mass transfer mechanisms during osmotic treatment of plant materials, *Journal of Food Science*, 65 (6):1016-1019p.
67. Rastogi, N.K., Eshtiaghi, M.N. and Knorr, D., 1999, Acelerated mass transfer during osmotic dehydration of heigh intensity electrical field pulse pretreated carrots, *Journal of Food Science*, 64 (6):1020-1023p.
68. Reppa, A., Mandala, J., Konstarapoulos, A.E. and Saravacos, G.D., 1998, Influence of solute temperature and concentration on the combined osmotic and air drying, *Drying'98- Processing of the 11 th International Drying Symposium (IDS'98)*, Greece, vol. A, 860-867p.
69. Riva, M., Masi, P., 1990, Osmodehydration of grapes, In: *Engineering and Food. Vol 2. preservation Processes and Related Techniques* (W.E.L. Spiess and H. Schubert, eds.), Elsevier App. Sci., London, 711-721p.
70. Rockland, L.B., Nishi, S.K., 1980, Influence of water activity on food product quality and stability, *Food Technol.*, 34 (4), 42-51p.
71. Schmidt, G.R., 1986, Processing and fabrication, In P. J. Bechtel (Ed.), *Muscle as food*, New York, 201-238p.
72. Sereno, A.M., Moreira, R. and Martines, E., 2001, Mass transfer coefficents during osmotic dehydration of apple in single and aqueous solutions of sugar and salt, *Jurnal of Food Engineering*, 47:43-49p.

73. Shi, J., Le Maguer, M., 2002, Mass transfer in cellular material at solid–liquid contacting interface, *Food Sci. Technol.*, 367–372p.
74. Speck, P., Escher, F., Solms, J., 1977, Effect of salt pretreatment on quality and storage stability of air-dried carrots, *Lebensm-Wiss. U-Technol.*, 10 (6), 308-313p.
75. Tomasicchio, M., Andreotti, R., De Giorgi, A., 1986, Disidratazione parziale della frutta per osmosi, II-Ananas, Frogle e susine. *Ind. Conserve*, 61, 108-114p.
76. Torreggiani, D., 1993, Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing, *Food Research International*, 59-68p.
77. Van Arsdel, W.B., Copley, M.J., Morgan, A.I.Jr., 1973, *Food Dehydration, Vol. 1. Drying Methods and Phenomena*, 2 nd ed. The Avi Pub. Comp., Inc., Westport, Conn.
78. Yanniotis, S., Zarmboutis, I., 1996h, Water sorption isotherms of pistachio nuts., *Lebensmittel-Wissenschaft Technologie*, 29, 372-375p.

EK – 1

Azuara ve arkadaşları (1992) tarafından geliştirilen model, osmotik dehidrasyon boyunca su kaybı ve katı kazanımının hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$WL = \frac{S_1 t (WL_{\infty})}{1 + S_1 t} \quad (1)$$

$$SG = \frac{S_2 t (SG_{\infty})}{1 + S_2 t} \quad (2)$$

Burada;

WL : t zamanında uzaklaşan su miktarı

SG : t zamanında kazanılan katı miktarı

WL_∞ : Dengede uzaklaşan su miktarı

SG_∞ : Dengede kazanılan katı miktarı

S₁ : Su kaybı için model sabiti

S₂ : Katı kazanımı için model sabiti

t : Zaman

Osmotik dehidrasyon boyunca örneklerin net ağırlık kaybı (ML), Eşitlik (1) ve Eşitlik (2) nin yardımı ile hesaplanır.

$$ML = WL - SG \quad (3)$$

Eşitlik (3), Eşitlik (1) ve Eşitlik (2) den yararlanılarak yeniden düzenlenirse

$$ML = \frac{S_1 t WL_{\infty} \left[1 - \left(\frac{SG}{WL} \right) \right]}{1 + S_1 t} \quad (4)$$

Benzer olarak,

$$ML = \frac{S_2 t SG_{\infty} \left[\left(\frac{WL}{SG} \right) - 1 \right]}{1 + S_2 t} \quad (5)$$

Eşitlik (4) lineerleştirilirse

$$\frac{t}{ML} = \frac{1}{S_1 WL_\infty \left[1 - \left(\frac{SG}{WL} \right) \right]} + \frac{t}{WL_\infty \left[1 - \left(\frac{SG}{WL} \right) \right]} \quad (6)$$

Katı kazanımı için de benzer olarak yazılırsa

$$\frac{t}{ML} = \frac{1}{S_2 SG_\infty \left[\left(\frac{WL}{SG} \right) - 1 \right]} + \frac{t}{SG_\infty \left[\left(\frac{WL}{SG} \right) - 1 \right]} \quad (7)$$

Eşitlik (6) da t' ye karşı t/ML grafiğe geçirilirse grafiğin eğiminden (p) dengede uzaklaşan su miktarı (WL_∞), kaymasından (b) ise su kaybı için model sabiti (S_1) hesaplanır. Aynı şekilde dengede kazanılan katı miktarı (SG_∞) ve katı kazanımı için model sabiti (S_2), Eşitlik (7) de t' ye karşı çizilen t/ML grafiğinin eğimi (p) ve kaymasından (b) bulunur.

$$WL_\infty = \frac{(1/p)}{\left[1 - \left(\frac{SG}{WL} \right) \right]} \quad (8)$$

$$S_1 = \frac{(1/b)}{WL_\infty \left[1 - \left(\frac{SG}{WL} \right) \right]} \quad (9)$$

$$SG_\infty = \frac{(1/p)}{\left[\left(\frac{WL}{SG} \right) - 1 \right]} \quad (10)$$

$$S_2 = \frac{(1/b)}{SG_\infty \left[\left(\frac{WL}{SG} \right) - 1 \right]} \quad (11)$$

Osmotik dehidrasyon deneysel verilerinden yararlanarak, t zamanında üründen uzaklaşan su kaybı (WL) Eşitlik (12) yardımıyla bulunmaktadır.

$$WL = \frac{\left(M_0 \right) \left(X_0 \right)_w - \left(M_t \right) \left(X_t \right)_w}{M_0} \quad (12)$$

Burada;

M_0 : Başlangıç örnek ağırlığı, g

M_t : t zamanında örnek ağırlığı, g

$(X_0)_w$: Örneğin başlangıç su konsantrasyonu

$(X_t)_w$: Örneğin t zamanında su konsantrasyonu

t zamanında kuru madde kazanımı (SG) ise Eşitlik (13) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$SG = \frac{(M_0)(X_0 - 1) - (M_t)(X_t - 1)}{M_0} \quad (13)$$

DeneySEL her nokta için % rölâtif sapma (D) Yanniotis ve Zarmboutis (1996) tarafından tanımlanan Eşitlik (14) ile belirlenir.

$$D = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_i - \bar{X}|}{\bar{X}} \quad (14)$$

Burada;

n : Ölçüm sayısı

X_i : Kütle transfer parametresinin her bir t zamanında normalize edilmiş tek değeri

\bar{X} : t zamanında alınan ölçüm değerlerinin ortalaması

Tablo E1. Osmotik dehidrasyonda elde edilen denge değerleri (Madde Cinsi, Sıcaklık,Konsantrasyon)

	Konsantrasyon	Sıcaklık	Dengede nem içeriği	Dengede Katı İçeriği	WL _∞	SG _∞
GLİKOZ	70	25	0.32734	1.58947	0.746	0.11280
	60	25	0.38482	1.56125	0.735	0.10740
	50	25	0.74174	1.31187	0.667	0.05968
	40	25	1.55017	1.17945	0.512	0.03434
	70	35	0.29076	1.6595	0.753	0.1262
	70	45	0.24373	1.7159	0.762	0.1370
FRUKTOZ	70	25	0.64089	1.01400	0.686	0.00268
	60	25	0.84574	1.00580	0.647	0.00111
	50	25	1.16869	1.00479	0.585	0.00092
	40	25	1.68604	1.00462	0.486	0.00088
	70	35	0.571906	1.13522	0.6992	0.02587
	70	45	0.496656	1.25935	0.7136	0.04963
SAKAROZ	70	25	0.46321	1.08972	0.720	0.01717
	60	25	0.81699	1.08427	0.6523	0.01613
	50	25	1.03282	1.07879	0.611	0.01508
	40	25	1.09030	1.07316	0.600	0.01401
	70	35	0.416466	1.10399	0.7289	0.0199
	70	45	0.247387	1.72899	0.7613	0.01395
MALTODEKSTRİN	70	25	0.40886	1.78540	0.7304	0.1503
	60	25	0.65499	1.51526	0.6833	0.0986
	50	25	1.15667	1.44419	0.5873	0.0850
	40	25	1.25595	1.43426	0.5683	0.0831
	70	35	0.289716	1.84814	0.7532	0.1623
	70	45	0.242684	1.882107	0.7622	0.1688
SORBİTOL	70	25	1.31396	1.10587	0.5572	0.02026
	60	25	1.68917	1.08518	0.4884	0.0163
	50	25	1.77017	1.06736	0.4699	0.01289
	40		2.14747	1.06156	0.3977	0.01178

Tablo E2. Osmotik dehidrasyonda elde edilen denge değerleri (Ön İşlem Uygulaması)

	Ön İşlem	Dengede nem içeriği	Dengede Kati İçeriği	WL _∞	SG _∞
%70 GLİKOZ	K2S2O5	0.201923	1.1599	0.77	0.0306
	Na2S2O5	0.69837	1.130	0.675	0.02488
	EO+K2S2O5	0.3451	1.0643	0.7426	0.0123
	EO+Na2S2O5	0.33256	1.3731	0.745	0.0714
	EO+K2CO3	0.24634	1.020511	0.7615	0.003925
%70 FRUKTOZ	K2S2O5	0.8865	1.209	0.639	0.04
	Na2S2O5	0.75063	1.2864	0.665	0.0548
	EO+K2S2O5	0.764214	1.2269	0.6624	0.04342
	EO+Na2S2O5	0.45224	1.21425	0.7221	0.041
	EO+K2CO3	0.612667	1.2393	0.6914	0.0458
%70 SAKAROZ	K2S2O5	0.608487	1.136361	0.6922	0.0261
	Na2S2O5	0.67276	1.11183	0.6799	0.0214
	EO+K2S2O5	0.57504	1.1172	0.6986	0.0224
	EO+Na2S2O5	0.6644	1.1019	0.6815	0.0195
	EO+K2CO3	0.52644	0.0464	0.7079	0.0464
%70 MALTODEKSTRİN	K2S2O5	0.29076	1.6636	0.753	0.127
	Na2S2O5	0.22805	1.5487	0.765	0.105
	EO+K2S2O5	0.220736	1.5905	0.7664	0.1130
	EO+Na2S2O5	0.20297	1.63284	0.7698	0.1211
	EO+K2CO3	0.234845	1.41806	0.7637	0.08
%70 SORBİTOL	K2S2O5	0.47360	1.32802	0.718	0.06277
	Na2S2O5	1.52404	1.5262	0.517	0.1007
	EO+K2S2O5	0.69837	1.1735	0.675	0.0332
	EO+Na2S2O5	0.871865	1.309887	0.6418	0.0593
	EO+K2CO3	0.67224	1.13874	0.68	0.02655

Tablo E3. Osmotik dehidrasyonda elde edilen denge değerleri (Örnek/Çözelti Oranı)

	Örnek/Çözelti Oranı	Dengede nem içeriği	Dengede Katı İçeriği	WL _∞	SG _∞
%70 GLİKOZ	1/4	0.39527	1.010033	0.733	0.00192
	1/8	0.3796	1.1181	0.736	0.0226
	1/12	0.36915	1.2179	0.738	0.0417
	1/16	0.3535	1.315113	0.741	0.0603
	1/20	0.343	1.42485	0.743	0.0813
%70 MALTODEKTRİN	1/4	0.51024	1.507943	0.711	0.0972
	1/8	0.494565	1.543478	0.714	0.104
	1/12	0.47888	1.61664	0.717	0.118
	1/16	0.45276	1.642768	0.722	0.123
	1/20	0.431856	1.71928	0.726	0.1237

Tablo E4. Osmotik dehidrasyon sonrasında kayısların nem içeriği (g su/g kuru madde)

Konsantrasyon	Sıcaklık	Glikoz	Fruktoz	Sakaroz	Maltodekstrin	Sorbitol
70	25	0.602262	0.671781	0.52886	0.5625	1.49734
60	25	0.940193	0.891229	0.901011	0.88237	1.88462
50	25	1.22376	1.201453	1.12812	1.24886	2.1093
40	25	1.880745	1.766776	1.509	1.3896	2.48035
70	35	0.567726	0.63566	0.4788	0.567726	
70	45	0.4841	0.60856	0.301212	0.4788	

Ön İşlem	Fruktoz	Glikoz	Sakaroz	Maltodekstrin	Sorbitol
K ₂ S ₂ O ₅	0.972287	0.854171	0.928195	0.625482	0.567726
Na ₂ S ₂ O ₅	0.786461	0.874184	1.065905	0.546103	1.560619
EO+K ₂ S ₂ O ₅	0.791994	0.814124	1.0154	0.411494	0.9074
EO+Na ₂ S ₂ O ₅	0.648316	0.88643	0.867767	0.536442	0.985786
EO+K ₂ CO ₃	0.858751	1.04798	1.086955	0.613399	0.776756

Örnek/Çözelti oranı	Glikoz	Maltodekstrin
1/4	1.728472	0.837339
1/8	1.496973	0.902751
1/12	1.403846	0.761221
1/16	1.319899	0.652862
1/20	1.277191	0.556202
1/25	0.602262	0.5625

Tablo E5. Dw,Ds,kw,ks'ı sıcaklık ve konsantrasyonun fonksiyonu olarak ifade edebilen modeller

<i>Model 1: Dw,Ds,kw,ks=a+KONS.b+c*T+d*KONS*T</i>								
<i>GLİKOZ</i>					<i>FRUKTOZ</i>			
	Dw	Ds	kw	ks	Dw	Ds	kw	ks
a	4.554734	-1.87473	-1.87471	4.554743	4.554734	-1.87473	4.554761	4.554761
b	-0.065068	0.026782	0.026785	-0.065066	-0.065068	0.026782	-0.065059	-0.065059
c	-0.182189	0.074989	0.074987	-0.182189	-0.182189	0.074989	-0.182199	-0.182199
d	0.002603	-0.001071	-0.001071	0.002603	0.002603	-0.001071	0.002603	0.002603
R	0.98862	0.99811	0.99459	0.99725	0.99848	0.97717	0.98839	0.98728
<i>SAKAROZ</i>					<i>MALTODEKSTRİN</i>			
a	6.096846	-1.87473	4.554755	4.554754	4.554734	-1.87473	4.554749	4.554745
b	-0.243874	0.074989	-0.065063	-0.065064	-0.065068	0.026782	-0.065064	-0.065067
c	-0.087098	0.026782	-0.182203	-0.182202	-0.182189	0.074989	-0.182182	-0.182185
d	0.003484	-0.001071	0.002603	0.002603	0.002603	-0.001071	0.002603	0.002603
R	0.99545	0.99343	0.97152	0.98485	0.99481	0.98647	0.74960	0.99537
<i>Model 2: Dw,Ds,kw,ks=a+b.KONS+c.T+d.KONS*T+e.KONS²+f.T²+g.KONS².T²</i>								
<i>GLİKOZ</i>					<i>FRUKTOZ</i>			
a	-241.468	-241.438	-241.486	-241.486	-241.811	-241.469	-241.500	-241.520
b	-1880.35	-1880.32	-1880.46	-1880.44	-1878.04	-1880.32	-1880.67	-1880.77
c	-5264.99	-5264.90	-5265.29	-5265.22	-5258.51	-5264.89	-5265.87	-5266.14
d	75.2142	75.2128	75.2185	75.2175	75.1216	75.2127	75.2267	75.2306
e	26.9115	26.9110	26.9130	26.9127	26.8785	26.9109	26.9159	26.9174
f	210.986	210.982	210.998	210.995	210.727	210.982	211.021	211.032
g	-0.04306	-0.0431	-0.04306	-0.04306	-0.04301	-0.04306	-0.04307	-0.04307
R			0.99961	0.99994			0.98881	0.98737
<i>SAKAROZ</i>					<i>MALTODEKSTRİN</i>			
a	-241.460	-241.462	-174.749	-174.677	-242.688	-241.482	-241.479	-241.505
b	-1880.33	-1880.35	-3785.74	-3784.45	-1879.40	-1880.34	-1880.49	-1880.48
c	-5264.92	-5264.99	-1352.05	-1351.59	-5262.31	-5264.96	-5265.38	-5265.36
d	75.2132	75.2142	54.08202	54.06359	75.1758	75.2138	75.2197	75.2194
e	26.9111	26.9115	151.7093	151.6575	26.8981	26.9113	26.9135	26.9134
f	210.983	210.986	19.35067	19.34407	210.881	210.985	211.001	211.001
g	-0.04306	-0.04306	-0.030961	-0.030951	-0.04304	-0.04306	-0.04306	-0.04306
R			0.99995	1.0000			0.85033	0.99951
<i>Model 3: Dw,Ds,kw,ks= a+exp(b.KONS)+c.exp(d.T)</i>								
<i>GLİKOZ</i>					<i>FRUKTOZ</i>			
a	8.68x10 ⁻¹¹	7.77x10 ⁻¹¹	0.000207	0.00018	1x10 ⁻¹⁰	1.352x10 ⁻¹⁰	0.000559	0.000555
b	-6.06x10 ¹⁰	-5.89x10 ¹⁰	-0.227975	-1.02867	-5.846x10 ¹⁰	-5.903x10 ¹⁰	-0.522547	-0.517988
c	-0.01226	-0.00996	0.201269	0.158659	-0.00881	-0.007933	0.438190	0.434685
d	-1.89454	-1.87576	-1.15970	-1.16509	-1.86615	-1.87605	-1.07646	-1.07758
R	8.68x10 ⁻⁷	2.60x10 ⁻⁶			1.382x10 ⁻⁶	1.07x10 ⁻⁶		
<i>SAKAROZ</i>					<i>MALTODEKSTRİN</i>			
a	1.336x10 ⁻¹⁰	1.321x10 ⁻¹⁰	0.000420	0.000400	1.315x10 ⁻¹⁰	9.29x10 ⁻¹⁰	0.00031	0.00022
b	-5.857x10 ¹⁰	-6.026x10 ¹⁰	-0.976196	-0.970776	-5.92x10 ¹⁰	-5.809x10 ¹⁰	-1.01104	-0.985508
c	-0.009535	-0.009448	0.156578	0.178109	-0.008217	-0.009935	0.159253	0.207968
d	-1.86888	-1.889054	-1.16755	-1.16204	-1.881576	-1.86843	-1.16625	-1.15909
R	9.71x10 ⁻⁷	7.62x10 ⁻⁷			1.481x10 ⁻⁶	1.839x10 ⁻⁶		
<i>Model 4: Dw,Ds,kw,ks= a.exp(b.KONS).c.exp(d.T)</i>								
<i>GLİKOZ</i>					<i>FRUKTOZ</i>			
a	0.324905	0.485584	0.004508	0.000306	0.338990	0.256057	0.226624	0.239277
b	0.034607	0.004546	0.020407	0.015075	0.009048	0.010543	0.025333	0.025331
c	0.118861	0.160613	0.013225	0.160924	0.136141	0.222972	0.000495	0.000473
d	-0.884157	-0.841696	0.003036	0.011977	-0.805784	-0.822495	0.001545	0.001022
R							0.98297	0.98182

SAKAROZ					MALTODEKSTRÍN			
a	0.482414	0.400968	0.000475	0.000358	0.497008	0.212239	0.310109	0.141862
b	0.071111	0.020714	0.031236	0.032127	0.007011	0.139044	0.005892	0.006265
c	0.034345	0.082276	0.089728	0.094024	0.133728	0.075537	0.000541	0.000571
d	-0.930431	-0.825776	0.011283	0.015280	-0.819473	-1.14207	0.008763	0.020638
R			0.94609	0.96818			0.74658	0.99797
Model 5: $D_w, D_s, k_w, k_s = a + bKONS^c + d.T^e$								
GLÍKOZ					FRUKTOZ			
a	-0.229554	-0.229554	-0.238670	-0.213074	-0.229554	-0.229554	-0.225696	-0.225537
b	0.108972	0.108972	0.237827	0.113634	0.108972	0.108972	0.109642	0.109695
c	0.027150	0.027150	0.000901	0.006037	0.027150	0.027150	0.006002	0.005984
d	0.099765	0.099765	0.000092	0.099696	0.099765	0.099765	0.113636	0.113472
e	0.022948	0.022948	0.225901	-0.008833	0.022948	0.022948	0.000688	0.000569
R			0.98719				0.98665	0.98522
SAKAROZ					MALTODEKSTRÍN			
a	-0.229554	-0.229554	-0.245619	-0.246360	-0.229554	-0.229554	-0.258097	-0.227564
b	0.108972	0.108972	0.109520	0.110305	0.108972	0.108972	0.136737	0.226777
c	0.027150	0.027150	0.005783	0.005256	0.027150	0.027150	0.000776	0.000270
d	0.099765	0.099765	0.133206	0.133117	0.099765	0.099765	0.120929	0.000352
e	0.022948	0.022948	0.001559	0.002110	0.022948	0.022948	0.000764	0.228423
R			0.98202	0.99043			0.75619	0.99123
Model 6: $D_w, D_s, k_w, k_s = a.(KONS^b).c.(T^d)$								
GLÍKOZ					FRUKTOZ			
a	-0.003338	-0.004103	0.000001	0.001210	0.006686	0.000887	0.004469	0.000007
b	-2.61050	-2.45789	1.120001	0.824896	-2.49732	-2.52833	0.863366	1.428801
c	-0.011771	-0.009971	1.117997	0.001210	0.006926	0.001433	0.000805	0.188723
d	-0.998816	-1.14593	0.127908	0.421062	-0.953646	0.180748	0.435582	0.051186
R			0.99551	0.99778			0.92232	0.98670
SAKAROZ					MALTODEKSTRÍN			
a	-0.001238	-0.001238	0.000001	0.000001	-0.002062	-0.007544	0.111819	0.000005
b	-2.71674	-2.71674	1.800353	1.835633	-2.73828	-2.76921	0.348929	0.321983
c	-0.008913	-0.008913	0.140126	0.040570	-0.012830	-0.016999	0.000260	0.996897
d	-0.313957	-0.313957	0.380431	0.522013	-0.525229	-1.10821	0.280907	0.707941
R			0.95874	0.97595			0.75362	0.99408
Model 7: $D_w, D_s, k_w, k_s = a + b.(KONS^c).d.(T^e)$								
GLÍKOZ					FRUKTOZ			
a	1.404x10 ⁻⁹	3.124x10 ⁻¹⁰	0.012427	0.000628	9.284x10 ⁻¹⁰	1.175x10 ⁻⁹	0.012711	0.009556
b	-0.579510	-0.5795339	-0.635885	-0.694261	-0.579505	-0.57949	-0.421029	-0.421647
c	-0.058367	-0.058464	-0.017554	-0.264931	-0.058412	-0.05836	-0.055048	-0.073886
d	3.49x10 ⁻⁹	6.230x10 ⁻¹⁰	0.020871	0.004024	2.075x10 ⁻⁹	2.755x10 ⁻⁹	0.036935	0.029578
e	-0.056883	-0.0572278	-0.003803	-0.223279	-0.056957	-0.056779	-0.006667	-0.007510
R	0.95309	0.96800	0.98713	0.99962	0.97396	0.97125	0.98639	0.98484
SAKAROZ					MALTODEKSTRÍN			
a	-6.675x10 ⁻⁹	-6.444x10 ⁻⁹	-0.284237	0.007115	6.731x10 ⁻¹⁰	6.409x10 ⁻¹⁰	0.000454	0.012697
b	-0.393301	-0.393305	-0.429102	-22.6883	-0.579484	-0.579499	-1.12248	-0.667367
c	0.015047	0.0150357	0.000733	-3.84237	-0.058335	-0.05835	-0.709654	-0.004875
d	1.592x10 ⁻⁸	1.538x10 ⁻⁷	-0.655628	100.8220	1.435x10 ⁻⁹	1.452x10 ⁻⁹	0.029515	0.020007
e	0.008007	0.00800	0.002278	-0.089587	-0.056651	-0.05678	-0.774332	-0.014308
R	0.88878	0.89835	0.98205	0.99997	0.98747	0.95692	0.75860	0.98952
SORBITOL								
Model 1: $D_w, D_s, k_w, k_s = a + b.KONS + c.KONS^2$					Model 2: $D_w, D_s, k_w, k_s = a.KONS^b$			
a	6.51x10 ⁻¹¹	1.47x10 ⁻¹⁰	-4.863x10 ⁻⁴	-1.83x10 ⁻⁴	4x10 ⁻¹¹	6x10 ⁻¹¹	5x10 ⁻⁷	2x10 ⁻⁶
b	2.63x10 ⁻¹²	-6.85x10 ⁻¹³	2.067x10 ⁻⁵	9.01x10 ⁻⁶	0.3276	0.2414	1.4527	1.0661
c	-1.5x10 ⁻¹⁴	1.25x10 ⁻¹⁴	1.532x10 ⁻⁷	-6.4x10 ⁻⁸				
R	0.99013	0.99502	0.98233	0.97613	0.9892	0.9711	0.9227	0.9371

<i>Model 3 : Dw,Ds,kw,ks= a.exp(KONS.b)</i>					<i>Model 4: Dw,Ds,kw,ks= a.ln(KONS)-b</i>			
a	1 x10 ⁻¹⁰	1 x10 ⁻¹⁰	4 x10 ⁻⁵	4 x10 ⁻⁵	0.0001	4 x10 ⁻¹¹	0.0002	0.0001
b	0.0061	0.0046	0.0262	0.0193	- 0.0003	5 x10 ⁻¹²	- 0.0007	- 0.0003
R	0.9819	0.9854	0.8908	0.9102	0.9565	0.9684	0.9508	0.9565
<i>Model 5: Dw,Ds,kw,ks =a+b(KONS)</i>					<i>Model 6:Dw,Ds,kw,ks= a+b.KONS+c.exp(dKONS)</i>			
a	1 x10 ⁻¹⁰	1 x10 ⁻¹⁰	4 x10 ⁻⁶	3 x10 ⁻⁶	9.24x10 ⁻¹¹	1.203 x10 ⁻¹⁰	-1.5965x10 ⁻⁴	-4.397x10 ⁻⁵
b	1 x10 ⁻¹²	7 x10 ⁻¹³	- 4 x10 ⁻⁵	2 x10 ⁻⁶	1.356x10 ⁻¹²	4.696x10 ⁻¹³	6.5634x10 ⁻⁶	3.0475x10 ⁻⁶
c					7x10 ⁻¹⁵	3.9x10 ⁻¹⁵	-4.91x10 ⁻⁸	-1.93x10 ⁻⁸
d					0.107075	0.107075	0.1070748	0.1070749
R	0.9835	0.9839	0.9256	0.9357	0.99413	0.99133	0.96726	0.96273
<i>Model 7:Dw,Ds,kw,ks= a+b.KONS^c</i>								
a	3.03x10 ⁻¹⁰	2.443x10 ⁻¹⁰	2.21x10 ⁻⁴	1.42x10 ⁻⁴				
b	-6.21x10 ⁻¹⁰	-4.23x10 ⁻¹⁰	-1295.96	-31.8994				
c	-0.37399	0.37399	-4.37184	-3.53376				
R	0.98828	0.95676	0.99437	0.98754				