

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**FARKLI YÖNTEMLERLE UYGULANAN
ELEKTRİKSEL ÖN İŞLEMLERİN OZMOTİK
KURUTMA SIRASINDA GERÇEKLEŞEN KÜTLE
TRANSFERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL VE
KURAMSAL OLARAK İNCELENMESİ**

Salih EROĞLU

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Filiz İÇİER

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 614.02.00

Sunuş Tarihi : 19.12.2014

Bornova-İZMİR

2014

Salih EROĞLU tarafından YÜKSEK LİSANS tezi olarak sunulan “**Farklı Yöntemlerle Uygulanan Elektriksel Ön İşlemlerin Ozmotik Kurutma Sırasında Gerçekleşen Kütle Transferine Etkisinin Deneysel ve Kuramsal Olarak İncelenmesi**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği il E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 19.12.2014 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

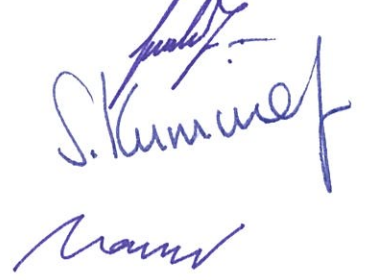
Jüri Üyeleri

Jüri Başkanı : Doç.Dr. Filiz İÇİER

Raportör Üye : Yrd.Doç.Dr. Seher KUMCUOĞLU

Üye : Doç.Dr. Hasan YILDIZ

İmza



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Farklı Yöntemlerle Uygulanan Elektriksel Ön İşlemlerin Ozmotik Kurutma Sırasında Gerçekleşen Kütle Transferine Etkisinin Deneysel ve Kuramsal Olarak İncelenmesi”** başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

29 /12 / 2014

Salih EROĞLU

ÖZET

**FARKLI YÖNTEMLERLE UYGULANAN ELEKTRİKSEL ÖN
İŞLEMLERİN OZMOTİK KURUTMA SIRASINDA
GERÇEKLEŞEN KÜTLE TRANSFERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
VE KURAMSAL OLARAK İNCELENMESİ**

EROĞLU, Salih

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Filiz İÇİER

Aralık 2014, 158 sayfa

Bu tezde, direkt temaslı (TEİ) ve çözelti içinde (ÇEİ) elektriksel ön işlemlerin ozmotik kurutma süresini azaltabilecek ve birim su kaybı başına toplam enerji tüketimi daha düşük kurutma işlemine olanak verebilecek alternatif ön işlemler olarak uygulanabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Elma dilimlerine (50×25×3.5 mm) ozmotik kurutma öncesi 3 farklı voltaj gradyanı (12, 24 ve 36 V/cm) ve 3 farklı sürede (15, 25 ve 35 s) olmak üzere 9 farklı koşulda elektriksel ön işlem 2 farklı yöntemle uygulanmıştır. Ardından, elma dilimleri % 40 (w/w) glikoz–fruktoz çözeltisi içerisinde 40 °C'de 160 dak ozmotik kurutmaya tabi tutulmuştur. Ozmotik kurutma sırasındaki kütle transferi özelliklerindeki değişim (% TKM, % ağırlık kaybı, % katı kazanımı, % su kaybı) ve ozmotik kurutma sonunda elma dilimlerindeki su aktivitesi değerleri incelenmiştir. Ön işlem koşullarının efektif difüzyon katsayıları üzerine etkileri belirlenmiş, elde edilen efektif difüzyon katsayıları ozmotik kurutmanın modelleme ve simülasyonunda kullanılmıştır. Ozmotik kurutmada elma dilimleri içerisindeki konuma bağlı olarak katı madde ve su içeriği dağılımı teorik olarak tahmin edilmiştir. Ön işlemlerin ve ozmotik kurutma aşamalarının enerji ve ekserji analizi yapılarak, işlemlerin verimliliği tartışılmıştır.

Ön işlem uygulanan elma dilimlerinin % 30 TKM'ye daha hızlı ulaştığı başka bir deyişle ön işlemlerin kütle transfer hızını arttırdığı belirlenmiştir. Ön işlem uygulanan örneklerde kontrol grubuna göre daha düşük katı kazanımı tespit edilmiştir. Her iki ön işlemde de, 36 V/cm voltaj gradyanının ozmotik kurutmada su kaybını arttırdığı ve hücre geçirgenliği üzerine daha etkili olduğu belirlenmiştir. Elektriksel ön işlem uygulanan örnekler için, su efektif difüzyon katsayılarının $1.223 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1.969 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında, katı efektif difüzyon katsayılarının ise $1.124 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $2.470 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği

saptanmıştır. Model öngöröleri ile deneysel veriler arasındaki uyumun iyi olduğu ve elde edilen sonuçların birbirine benzer olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$). Tüm işlem koşulları için, ekserji verimliliklerinin (% 98.70 – 6.01) enerji verimliliğinden (% 99.39 – 12.03) daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Tez sonuçları değerlendirildiğinde, elektriksel ön işlemlerin ozmotik kurutma işleminin kütle transfer hızını ve enerji verimliliğini arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte, ÇEİ işlemi, düşük voltaj gradyanında TEİ'den daha yüksek enerji ve ekserji verimliliği sağlamaktadır. Elektriksel yöntemlerin ozmotik kurutma öncesi ticari ölçekte uygulanma potansiyelinin olduğu düşünülmektedir.

Anahtar sözcükler: elektriksel, ozmotik, modelleme, simülasyon, ekserji, kütle transferi, enerji

ABSTRACT**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION
OF THE EFFECT OF ELECTRICAL PRETREATMENTS APPLIED
BY DIFFERENT METHODS ON MASS TRANSFER OCCURRED
DURING OSMOTIC DEHYDRATION**

EROĞLU, Salih

MSc in Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Filiz İÇİER

December, 2014, 158 pages

In this thesis, it is aimed to determine the applicability of electrical treatments by direct contact (TEİ) and in solution (ÇEİ) as alternative pretreatments for the purposes of decreasing osmotic dehydration time and obtaining the dehydration process having lesser energy consumption per unit water loss.

Before osmotic drying, electrical pretreatments by two different application methods at 9 different conditions consisting of 3 different voltage gradients (12, 24 and 36 V / cm) and 3 different times (15, 25 and 35 s) were applied on apple slices (50×25×3.5 mm). Then, apple slices were osmotically dehydrated in glucose–fructose solution at 40 °C for 160 min. The change in mass transfer properties (% total dry matter (TDM), % weight reduction (WR), % solid gain (SG), % water loss (WL)) during osmotic dehydration and the water activity values at the end of osmotic dehydration of apple slices were investigated. The effects of pretreatment conditions on effective diffusion coefficients were determined, and these values obtained were used in the modeling and simulation of osmotic dehydration. The distribution of solid and water content in the apple slices depending on position were predicted theoretically. The energy and exergy analyses of the pretreatments and the osmotic dehydration steps were performed, and the efficiency of the process are discussed.

It was determined that pre-treated apple slices reached to 30 % TDM faster, in other words the pretreatments applied increased the dehydration rate during osmotic dehydration. It was determined that SG in pretreated samples was lower than the control group. In both pretreatments, it was obtained that the voltage gradient of 36 V/cm increased WL in osmotic dehydration and it was more

effective on the cell permeability. For electrical pretreated samples, the diffusion coefficients varied between D_{ew} values of 1.223×10^{-10} and $1.969 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ for water and D_{es} values of 1.124×10^{-10} with $2.470 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ for solid. It was found that the experimental results and model predictions were in good agreement and results obtained were similar ($p > 0.05$). For all process conditions, it was determined that exergy efficiency (% 98.70 – 6.01) was lower than energy efficiency (% 99.39 – 12.03).

When all the results were analyzed, the electrical pretreatment increased the mass transfer rate and the energy efficiency of osmotic dehydration process. In addition, ÇEİ process provided higher energy and exergy efficiency than TEİ process in low voltage gradient. It is thought that there is an highly potential for the application of electrical pretreatments prior to the osmotic dehydration in industrial scale.

Keywords: electrical, osmotic, modeling, simulation, exergy, mass transfer, energy

TEŞEKKÜR

Bilimsel gelişimime yön veren, özveri ile katkıda bulunan danışman hocam Doç. Dr. Filiz İÇİER'e, huzurlu bir laboratuvar ortamı sağlayan çalışma arkadaşlarıma,

Tez denemeleri boyunca TÜBİTAK 111 O 347 nolu projenin kullanılan tüm altyapı olanakları için Doç. Dr. Hasan YILDIZ hocama,

Tez denemelerim boyunca bana destek olan başta Arş.Gör. Tuba Evgin ve Gıda Mühendisi Gamze Dağcı olmak üzere diğer ekip arkadaşlarıma,

Yüksek lisansımın tez döneminde 111 O 347 nolu proje kapsamında burs desteği sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK),

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

Bu tez çalışması TÜBİTAK 111 O 347 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Değerli katkıları için TÜBİTAK TOVAG grubuna, Batı Klima Ltd. Şti ve KTS Gıda ve Kurutma Sistemleri'ne teşekkür ederim.

Gıda Mühendisi

Salih EROĞLU

İzmir-2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1 Elma	5
2.2 Ozmotik Kurutma	6
2.2.1 Ozmotik kurutma işlemi öncesi veya işlem sırasında uygulanan elektriksel işlemler.....	9
2.2.2 Ozmotik kurutmanın kuramsal incelenmesi	16
2.2.3 Enerjinin etkin kullanımı.....	23
2.2.4 Literatürün değerlendirilmesi	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1 Materyal	25

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2 Yöntem	26
3.2.1 Kullanılan sistemler.....	26
3.2.2 Analizler	29
3.2.3 Kuramsal analiz.....	32
3.2.4 Enerji ve ekserji analizi	40
3.2.5 İstatistiksel değerlendirme	52
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	54
4.1 Elektriksel Ön İşlemin Uygulanması Sırasında Elde Edilen Güç ve Sıcaklık Değişimleri	54
4.1.1 Temaslı elektriksel ön işlem (TEİ).....	55
4.1.2 Çözelti içinde uygulanan elektriksel ön işlem (ÇEİ).....	56
4.1.3 Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemlerin karşılaştırılması.....	57
4.2 Elektriksel Ön İşlemin Kütle Transferine Üzerine Etkilerinin Deneysel İncelenmesi.....	57
4.2.1 Toplam kuru madde değişimi üzerine etkileri	58
4.2.2 Eşik TKM (% 30) değerine ulaşma süresi üzerine etkileri.....	67
4.2.3 Suda çözünür kuru madde değişimi üzerine etkileri	69
4.2.4 Ağırlık değişimi üzerine etkileri	75

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2.5 Katı kazancı ve su kaybı değişimi	80
4.2.6 Su aktivitesi	91
4.3. Matematiksel Modelleme ve Efektif Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması	94
4.3.1 Temaslı elektriksel ön işlem	98
4.3.2 Çözelti içinde elektriksel ön işlem	109
4.3.3 Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemlerin karşılaştırılması	120
4.4 Elektriksel Ön İşlemin ve Ozmotik Kurutmanın Enerji ve Ekserji Verimliliklerinin İncelenmesi	122
4.4.1 Enerji verimliliği üzerine etkileri	122
4.4.2 Ekserji analizi	132
5. GENEL DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	141
KAYNAKLAR DİZİNİ	145
ÖZGEÇMİŞ	157
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Ozmotik kurutmada kütle transferi	17
3.1 Elma dilimlerinin ozmotik kurutulması ve öncesinde uygulanan işlemler	26
3.2 Elektriksel işlem sistemi.....	28
3.3 Ozmotik kurutma sistemi.....	29
3.4 Elektriksel ön işlem uygulanan sistemin şematik gösterimi.....	41
3.5 Ozmotik kurutma sisteminin şematik gösterimi	47
4.1 15 s elektriksel işlem süresinde 12 – 24 – 36 V/cm voltaj TEİ uygulanmış ve kontrol grubu elma dilimlerinde ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) TKM içeriğinin zamana bağlı değişimi	59
4.2 25 s elektriksel işlem süresinde 12 – 24 – 36 V/cm voltaj gradyanlarında TEİ uygulanmış ve kontrol grubu elma dilimlerinde ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) TKM içeriğinin zamana bağlı değişimi	60
4.3 35 s elektriksel işlem süresinde 12 – 24 – 36 V/cm voltaj gradyanlarında TEİ uygulanmış ve kontrol grubu elma dilimlerinde ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) TKM içeriğinin zamana bağlı değişimi	60
4.4 15 s elektriksel işlem süresinde 12 – 24 – 36 V/cm voltaj gradyanlarında ÇEİ uygulanmış ve kontrol grubu elma dilimlerinde ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) TKM içeriğinin zamana bağlı değişimi	63

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

- 4.5 25 s elektriksel işlem süresinde 12 – 24 – 36 V/cm voltaj gradyanlarında ÇEİ uygulanmış ve kontrol grubu elma dilimlerinde ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) TKM içeriğinin zamana bağlı değişimi 63
- 4.6 35 s elektriksel işlem süresinde 12 – 24 – 36 V/cm voltaj gradyanlarında ÇEİ uygulanmış ve kontrol grubu elma dilimlerinde ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) TKM içeriğinin zamana bağlı değişimi 64
- 4.7 Kontrol grubu için ozmotik kurutma süresince TKM (%) değerinin süre ile değişim ilişkisi 68
- 4.8 Elektriksel ön işlem görmemiş (Kontrol grubu) elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri..... 95
- 4.9 Kontrol grubu elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyon (AS) öngörülleri..... 96
- 4.10 Kontrol grubu elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri..... 97
- 4.11 12 V/cm 15 s TEİ görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri..... 101
- 4.12 24 V/cm 15 s TEİ görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri..... 101
- 4.13 36 V/cm 15 s TEİ görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri..... 102

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

- 4.14 12V/cm – 15 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyon (AS) öngörülleri 103
- 4.15 12 V/cm – 15 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri 104
- 4.16 24 V/cm – 15 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyon (AS) öngörülleri 105
- 4.17 24 V/cm – 15 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri 106
- 4.18 36 V/cm – 15 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyon (AS) öngörülleri 107
- 4.19 36 V/cm – 15 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri 108
- 4.20 12 V/cm 15 s ÇEİ görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri 112
- 4.21 24 V/cm 15 s ÇEİ görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri 112

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.22 36 V/cm 15 s ÇEİ görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri.....	113
4.23 12 V/cm – 15 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyon (AS) öngörülleri.....	114
4.24 12 V/cm – 15 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri.....	115
4.25 24 V/cm – 15 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyon (AS) öngörülleri.....	116
4.26 24 V/cm – 15 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri.....	117
4.27 36 V/cm – 15 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyon (AS) öngörülleri.....	118
4.28 36 V/cm – 15 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri.....	119
4.29 TEİ ve ÇEİ için enerji verimliliği.....	123
4.30 TEİ ve ÇEİ sırasında gerçekleşen enerji kaybı.....	123

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.31 TEİ ve ÇEİ için kayıp ekserji (J).....	134
4.32 TEİ ve ÇEİ için geliştirme potansiyeli değerleri	134
4.33 TEİ ve ÇEİ için ekserji verimliliği.....	135
4.34 TEİ ve ÇEİ uygulanan ozmotik kurutmada 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi arasındaki sürede elde edilen geliştirme potansiyeli değerleri	137
4.35 TEİ ve ÇEİ uygulanan ozmotik kurutmada 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi arasındaki sürede elde edilen kayıp ekserji değerleri	138

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Elmanın ozmotik kurutulması ve uygulanan ön işlemlerin etkileri konusunda yapılan bazı çalışmalar.....	13
2.2 Ozmotik kurutmanın modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar.....	19
3.1 Sistem ekipman özellikleri	49
4.1 TEİ sırasında kaydedilen voltaj, akım, güç ve elektriksel iletkenlik değerleri	55
4.2 TEİ sırasında elma dilimlerindeki sıcaklık artışı (T_s-T_i) (°C).....	56
4.3 ÇEİ sırasında kaydedilen voltaj, akım, güç ve elektriksel iletkenlik değerleri	56
4.4 ÇEİ sırasında elma dilimlerindeki ortalama sıcaklık değişimi (T_s-T_i) (°C).....	57
4.5 Kontrol grubu elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%).....	58
4.6 12 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%).....	61
4.7 24 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%).....	61

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.8 36 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%)	61
4.9 12 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%)	64
4.10 24 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%)	65
4.11 36 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%)	65
4.12 Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlem uygulanan elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında % 30 TKM değerine ulaşma süreleri	68
4.13 Elektriksel ön işlem görmemiş (kontrol grubu) elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca SÇKM içeriğindeki azalma (%)	70
4.14 12 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) SÇKM içeriğindeki azalma (%)	70
4.15 24 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) SÇKM içeriğindeki azalma (%)	71

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge

Sayfa

- 4.16 36 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) SÇKM içeriğindeki azalma (%) 72
- 4.17 12 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) SÇKM içeriğindeki azalma (%) 73
- 4.18 24 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) SÇKM içeriğindeki azalma (%) 73
- 4.19 36 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) SÇKM içeriğindeki azalma (%) 74
- 4.20 Elektriksel ön işlem görmemiş (kontrol grubu) elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%) 75
- 4.21 12 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%) 75
- 4.22 24 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%) 76
- 4.23 36 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%) 77

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge

Sayfa

4.24 12 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%).....	77
4.25 24 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%).....	78
4.26 36 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%).....	78
4.27 Elektriksel ön işlem görmemiş (kontrol grubu) elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri.....	80
4.28 12 V/cm voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s süreyle TEİ görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma süresince (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri.....	82
4.29 24 V/cm voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s süreyle TEİ görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri.....	83
4.30 36 V/cm voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s süreyle TEİ görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri.....	84
4.31 12 V/cm voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s süreyle ÇEİ görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri.....	86

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge

Sayfa

4.32 24 V/cm voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s süreyle ÇEİ görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri	87
4.33 36 V/cm voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s süreyle ÇEİ görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri	88
4.34 TEİ uygulanan elma dilimlerinin 160 dak ozmotik kurutma sonundaki su aktivitesi değerleri.....	92
4.35 ÇEİ uygulanan elma dilimlerinin 160 dak ozmotik kurutma sonundaki su aktivitesi değerleri.....	93
4.36 TEİ uygulanan elma dilimleri için denge su kaybı ve denge katı kazanımı değerleri	98
4.37 TEİ uygulanan elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında tespit edilen efektif difüzyon katsayısı değerleri.....	99
4.38 TEİ uygulanan elma dilimlerinin deneysel ozmotik kurutma süreleri ile matematiksel model (MK) öngörülleri arasındaki uyum	99
4.39 ÇEİ elektriksel ön işlem uygulanan elma dilimleri için denge su kaybı ve denge katı kazanımı değerleri.....	109
4.40 ÇEİ uygulanan elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında tespit edilen efektif difüzyon katsayısı değerleri.....	110
4.41 ÇEİ uygulanan elma dilimlerinin deneysel ozmotik kurutma süreleri ile matematiksel model (MK) öngörülleri arasındaki uyum	111

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge

Sayfa

4.42 TEİ ve ÇEİ uygulanan ozmotik kurutmada 30 dak ile % 30 TKM'ye gelme süresi arasındaki süre için enerji verimi ve kayıp enerji miktarı	125
4.43 TEİ koşullarının elma dilimlerin ozmotik kurutma sırasında özgül nem uzaklaşma oranı değerleri üzerine etkisi	127
4.44 ÇEİ koşullarının elma dilimlerin ozmotik kurutma sırasında özgül nem uzaklaşma oranı değerleri üzerine etkisi	128
4.45 TEİ'nin elma dilimlerinin özgül kurutma süresi değişimi üzerine etkisi.....	130
4.46 ÇEİ'nin elma dilimlerinin özgül kurutma süresi değişimi üzerine etkisi	131
4.47 TEİ ve ÇEİ uygulanan ozmotik kurutmada 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi arasındaki süre için ekseji verimi.....	137

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

AS	Simülasyon
ÇEİ	Çözelti içinde elektriksel ön işlem
dak	Dakika
HELP	Yüksek yoğunluklu vurgulu elektrik alan
HP	Yüksek basınç
MK	Modelleme
μ s	mikrosaniye
ms	milisaniye
PEF	Vurgulu elektrik alan
SÇKM	Suda çözünür kuru madde
TEİ	Temaslı elektriksel ön işlem
TKM	Toplam kuru madde

1. GİRİŞ

Son yıllarda, ozmotik işlemin bir kurutma yöntemi olarak uygulanabilirliği konusunda çok sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir (Us, 2006; Lenz vd., 2006; Derossi et al., 2008; Çınar, 2009). Başlıca gıda muhafaza yöntemlerinden biri olan kurutma işlemleri arasında meyvelerin ozmotik kurutulması işlemi önemli yer tutmaktadır. Ozmotik kurutma, meyve ve sebzelerin geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha düşük sıcaklıklarda daha düşük enerji tüketimi ile duysal özellikleri ve besin değeri daha yüksek kurutulmuş ürün elde edilmesini sağlayan bir yöntemdir (Seren et al., 2001; Sablani et al., 2002). Ancak, uzun süren ozmotik kurutma işlemlerinin ürünün renk ve dokusal özelliklerinde olumsuz değişimlere neden olduğu, suda çözünür vitamin ve mineral kayıpları yanında mikrobiyolojik bozulma riskini de arttırdığı ortaya koyulmuştur (Rastogi et al., 2002; Amami et al., 2006). Bu olumsuzlukların azaltılması amacıyla, hücre geçirgenliğinin artırılması yoluyla ozmotik kurutma süresinin azaltılmasına yönelik çalışmaların son yıllarda giderek arttığı dikkat çekmektedir (Çınar, 2009; Oliveira et al., 2010). Ozmotik kurutma öncesinde veya ozmotik kurutma sırasında kombine olarak uygulanan farklı yöntemlerden bazıları yüksek hidrostatik basınç, vurgulu elektrik alan, ışınlama, santrifüjleme, vakum ve ultrason uygulamalarıdır.

Bu proje çalışmasında, temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemlerin ozmotik kurutma işleminin süresini azaltacak, daha yüksek kalitede kurutulmuş ürün elde edilmesini sağlayacak, birim su kaybı başına toplam enerji tüketimi daha düşük kurutma işlemine olanak verecek alternatif ön işlemler olup olmadığının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca ürüne temas zorunluluğu olmayan çözelti içinde gerçekleştirilen elektriksel ön işlemin etkinliğinin araştırılması ve temaslı elektriksel ön işlemle karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Temaslı ve çözelti içinde uygulanan elektriksel ön işlemlerin elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasındaki kütle transferi değişimi, enerji ve ekserji verimi üzerine benzer sonuçlar vermesi beklenmektedir. Çünkü uygulanan voltaj gradyanı ve işlem süresi aynıdır. Çözelti içinde gerçekleştirilen elektriksel ön işlemin, temaslı elektriksel ön işlem ile aynı verimlilikte uygulanabilir olduğunun saptanması durumunda aynı anda daha fazla ürün işlenebileceği ve sanayiye uygulanabilirliğinin daha pratik olacağı öngörülmektedir.

Uluslararası kuruluşlar ve Avrupa Topluluğu Gıda Güvenliği Ajansı (EFSA) alt komiteleri ohmik, kızılötesi, vurgulu elektrik alan (PEF) vb. gibi güncel

elektriksel işleme yöntemleri konusunda çalışmaların artmasını teşvik etmekte ve bu çalışmalardan elde edilecek verilerin bu işlemlerin ticari üretimlerde kullanılmalarına izin verilebilmesi amacıyla, karar verme sürecinde, bilimsel çalışmalardan elde edilecek verilerin önemli katkı sağlayacağını vurgulamaktadırlar (Yıldız vd., 2013). Son yıllarda bu yeni teknolojiler konusunda laboratuvar ve pilot çaplı çalışmaların artışı dikkat çekmektedir.

Literatürde, elektriksel işlemlerden vurgulu elektrik alanın ozmotik kurutma işlemi öncesinde veya birlikte uygulanmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Taiwo et al., 2002; Ade Omowaye et al., 2003a; Amami et al., 2006). Ancak vurgulu elektrik alan işlemi, yüksek elektriksel alan şiddetlerinde (0.6 – 100 kV/cm) elektriksel alan oluşturarak μs –ms düzeyinde (1 μs – 10 ms) vurgular şeklinde gerçekleştirilen ve yüksek teknoloji donanımına gereksinim duyan bir uygulamadır (Mittal and Griffiths, 2005). Elektriksel işlemlerin ozmotik kurutmayla birlikte uygulanması ile birlikte ozmotik kurutma süresinin azaldığı görülmüştür. Ohmik ısıtma ve vakum emdirmenin armutların mikroyapısı ve ozmotik dehidrasyon kinetiği üzerine yapılan bir çalışmada ohmik ısıtmayla birlikte ozmotik kurutma uygulanmış armutlarda 5 saat sonunda en yüksek su kaybına ulaşılmıştır. Bunun nedeni ohmik ısıtmanın hücre geçirgenliğini arttırmasına bağlı olarak kütle transferinin hızlanmasıdır (Moreno et al., 2011a). Moreno et al. (2011b), yaptığı başka bir çalışmada 1 cm³ olarak dilimlenmiş elmaların vakum pulsı ile ve ohmik ısıtmayla ozmotik kurutulmasının elmaların mikroyapısı, ozmodehidrasyon kinetiği ve fiziksel özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Buna göre en fazla su kaybı 50 °C’de atmosferik basınçta ohmik ısıtmayla birlikte uygulanan ozmotik kurutmada görülmüştür. Ozmotik kurutmanın elektroporasyon etkisi nedeniyle hücrelerin mikroyapısı ve dokusundaki ile hücre duvarındaki değişimlerle kütle transferi hızlanmıştır.

Bu çalışmada incelenen temaslı çözelti içerisinde gerçekleştirilen elektriksel ön işlem ise 12, 24 ve 36 V/cm voltaj gradyanlarında elektrik akımının direkt meyve dilimi üzerinden veya çözelti içerisindeki elma dilimi üzerinden kısa süreli (15 – 35 s) geçirilmesine dayanan bir yöntemdir. Benzer şekilde düşük voltaj gradyanlarındaki (5 – 100 V/cm) direkt temaslı elektriksel ön işlemin ozmotik kurutma öncesi alternatif bir ön işlem olarak uygulanabilirliği bu tez çalışmasına alt yapı oluşturan TÜBİTAK 111 O 347 nolu projede ortaya koymuştur (Yıldız vd., 2013). Bu tez çalışmasında ise farklı voltaj gradyanlarında (12 – 36 V/cm) direkt temaslı ve çözelti içinde gerçekleştirilecek elektriksel ön işlemlerin ozmotik kurutma öncesi alternatif ön işlem olarak uygulanabilirliği karşılaştırılmıştır.

Literatürde çözelti içinde elektriksel ön işlemin ozmotik kurutma öncesi alternatif bir ön işlem olarak uygulanabilirliğini ortaya koyan bir çalışmaya araştırmacıların bilgisi dahilinde rastlanmamıştır. Bu nedenle bu konuda yapılan ilk çalışma olma niteliği taşımaktadır.

Bu çalışmada farklı elektriksel ön işlem koşullarının (3 farklı voltaj gradyanı ve 3 farklı süre), ozmotik kurutma işleminin süresi, TKM, SÇKM, ağırlık değişimi, su kaybı ve katı kazanımı oranlarının değişimi ile ürünün su aktivitesi üzerine etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte ozmotik kurutmada gerçekleşen kütle transferi deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir. Özgül nem uzaklaştırma oranı ve özgül kurutma süreleri belirlenerek elektriksel ön işlemlerin enerji verimliliğine katkısı incelenmiştir. Ayrıca elektriksel ön işlem koşullarının ozmotik kurutmada enerji ve ekserji verimliliklerine etkisi belirlenmiştir. Literatürde ozmotik kurutmanın ekserji analizinin yapıldığı bir çalışmaya yazarların bilgisi dahilinde rastlanmaması nedeniyle bu konuda yapılan ilk çalışma olma niteliği taşımaktadır.

Günümüzde enerji sorunlarının çözümünde “enerjiyi az kullanmak” kadar “enerjiyi etkin kullanma” teması da uluslararası platformda öncelikli konular arasında yer almaktadır. Bu çalışma ile ülkemizde en çok üretilen meyvelerin başında gelen elmanın, elektriksel ön işlem uygulandıktan sonra ozmotik kurutulmasının daha hızlı yapılabilmesi ve daha nitelikli ürün elde edilebilmesi konusunda yol gösterici bilgiler sunarak kurutma sanayine ekonomik katkılar sağlanacağı düşünülmektedir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ozmotik Kurutma; meyve ve sebze gibi hücresel materyallerin yüksek ozmotik basınca ve düşük su aktivitesine sahip ozmotik çözeltilere maruz bırakılması sonucunda ürün ve çözelti arasındaki konsantrasyon farkı nedeniyle oluşan sürüklenme kuvveti ile suyun uzaklaştırılması işlemidir (Kaymak ve Kınal, 1989).

Ozmotik kurutma elma dahil pek çok meyveye uygulanabilir yaygın kurutma yöntemlerinden biridir (Prothon et al., 2000; Azoubel and Murr, 2003; Amami et al., 2006; Laurindo et al., 2007; Ramaswamy and Azarpazhooh, 2010). Bilindiği gibi ozmotik kurutma, diğer kurutma yöntemleriyle üretilmiş ürünlere göre daha üstün nitelikte doku, renk ve besin değeri içeriğine sahip ürün elde edilmesini sağlayabilmektedir. Ancak bu konuda yapılan çalışmalarda, ozmotik işlemin süresinin uzun olması durumunda, ürünün renk ve dokusal özelliklerinde olumsuz değişimlerin olabildiği, suda çözünür vitamin ve mineral kayıpları ile mikrobiyolojik bozulma riskinin de arttırdığı ortaya koyulmuştur. Bu olumsuzlukların minimize edilmesi amacıyla ozmotik işlem süresini kısaltmak ve kalite özelliklerini iyileştirmek konusunda yapılan kısıtlı sayıda çalışmada, farklı yöntemlerinin ön işlem ya da kombine halde incelendiği dikkati çekmektedir. Ön işlem uygulaması sayesinde ozmotik kurutmanın daha kısa işlem süresinde, dolayısıyla enerji ve zamandan tasarruf sağlayarak gerçekleştirilebilmesi, bu kurutma yönteminin daha geniş uygulama alanı bulabilmesini ve daha fazla tercih edilebilmesini sağlayacaktır. Böylece gıda endüstrisinde yüksek kalitede kuru ürün eldesini daha kısa sürede ve daha yüksek enerji verimliliği ile sağlayabilecek hibrid ozmotik kurutma sistemlerinin geliştirilebilmesi mümkün olabilecektir. Gıda güvenilirliği ve enerji verimliliğini arttırmaya yönelik olan bu tip çalışmalar tüm dünyada öncelikli çalışma konuları arasında yer almaktadır.

Ön işlem uygulamalarında başlıca amaçlardan biri ozmotik kurutmada işlem etkinliğini artırarak zaman ve enerjiden tasarruf sağlamak, diğeri ise yüksek kalite ve besin değerine sahip kurutulmuş ürün elde etmek olmalıdır. Bu proje çalışmasında alternatif işleme yöntemlerinden temaslı ve çözelti içinde elektriksel işlemlerin ozmotik kurutma öncesi ön işlem olarak uygulanmasının ozmotik kurutmadaki bazı kütle transferi parametreleri (kurutma süresi, efektif difüzyon katsayıları, konsantrasyon dağılımı, birim enerji artışı başına kurutma süresi değişimi, birim enerji başına uzaklaşan su miktarı vb.) üzerine etkileri, enerji ve

ekserji analizi ve ozmotik kurutmada gerçekleşen kütle transferinin modellenmesi ve simülasyonu incelenmiştir.

2.1 Elma

Türkiye birçok meyve tür ve çeşidi bakımından oldukça zengindir. Yetiştirilen çeşitli meyveler taze olarak veya bazı işlemlerden geçirilerek iç piyasada tüketilmekte veya ihraç edilmektedir. Bu meyveler arasında elma ilk sıralarda yer almaktadır (Tarhan vd., 2009). Dünya elma üretimi 2012 yılı istatistiklerine göre 76378 738 ton olup, en çok elma üreten ülkeler arasında Türkiye 2 889 000 ton ile Çin ve ABD'den sonra üçüncü sırayı almakta ve dünya elma üretiminin yaklaşık % 3.78'ini karşılamaktadır (FAO, 2014).

Elma ülkemizde Kuzey Anadolu, Karadeniz kıyı bölgesi, İç Anadolu ve Doğu Anadolu yaylaları başta olmak üzere hemen tüm bölgelerde yetişmektedir. Dünyada 30'dan fazla çeşidi bulunan elmanın ülkemizde en çok Starking, Golden Delicious, Starkrimson ve Granny Smith çeşitlerinin yetiştiriciliği yapılmaktadır (Mordoğan ve Ergun, 2002). Bu tez çalışmasında hem ülkemizde üretiminin yaygın olması hem de uygun koşullarda 6–7 ay gibi depolama ömrüne sahip olması nedeniyle Golden Delicious çeşidi elma kullanılmıştır.

Tarımsal ürünlerin hasadından tüketimine kadar geçen sürede bir takım kayıplar söz konusu olmaktadır. Ürün kaybını önlemek, ekonomik ömrünü artırmak ve kalitesini korumak için çok sayıda koruma yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında uygulama alanı en geniş olan yöntemlerden biri kurutmadır (Tarhan vd., 2009). Endüstriyel bir proses olarak kurutma işlemi gıda sanayinde ve farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle meyve ve sebze ürünlerinde tercih edilen bu yöntem ile gıdanın nem seviyesi mikroorganizma gelişimini engelleyecek düzeye düşürülmekte azalan kütle ile taşıma kolaylaşmakta, daha uzun raf ömrüne sahip ve daha yoğun besin değeri olan ürünler elde edilmektedir. Meyve ve sebzelerin kurutularak muhafaza edilmesi ilk çağlardan bu yana kullanılan eski bir muhafaza metodu olup, daha çok güneşte (doğal) kurutma kullanılmıştır (Erbay ve Küçüköner, 2008).

Ülkemizde kurutularak değerlendirilen ürünlerin % 63'ü yurtdışına ihraç edilmektedir ve tüm ihracat gelirimizin % 80'ini oluşturmaktadır. Kurutulmuş gıdalar diğer yöntemlerle dayandırılanlardan farklı olarak besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanmışlardır. Ayrıca kurutma birçok metoda nazaran

daha ucuz bir muhafaza yöntemi olup, daha az işçilik, daha az ekipman, ürünlerin depolanma ve taşınmasında daha az masraf gerekmektedir. Kurutulmuş ürünler doğrudan tüketilmelerinin yanı sıra hazır çorba, bebek maması, hazır yemek üretimi gibi farklı alanlarda da kullanılmaktadır (Erbay ve Küçüköner, 2008).

İyi bir kurutma işleminde gıdaların tat, görünüş, renk ve besin değeri gibi kalite özellikleri mümkün olduğunca az kayba uğramalı, ayrıca kuru ürüne su ilave edildiğinde taze iken içerdiği miktara yakın su alabilmelidir (Gözügül, 2006). Ülkemizde ürünlerin büyük bir kısmı doğal kurutma yöntemiyle kurutulmaktadır. Ancak açık hava koşullarında nispeten kontrolsüz koşullarda yapılan doğal kurutma işlemleri sonucu kuru ürünün elde edilmesinde uzun sürelere ihtiyaç duyulmaktadır (Tarhan vd., 2009). Aynı zamanda, bu yöntem kontaminasyon başta olmak üzere birçok problemi beraberinde getirmektedir. Bunlar; her yerde ve her zaman güneş ısısından faydalanarak kurutma yapmanın mümkün olmaması, ürünün böcek, toz, vb. dış etkiye maruz kalması, kurutmayla birlikte hafif bir fermentasyon meydana gelebilme riski vb. sakıncalardır. Bu gibi sakıncalar, daha hızlı, hijyenik ve homojen özellik taşıyan endüstriyel boyutlu, farklı kurutma metodlarının gelişimini teşvik etmiştir. Sıcak hava kullanarak kurutma yapan sistemler en yaygın yapay kurutma sistemleridir. Bunun yanı sıra mikrodalga, kızılötesi ışınlarla kurutma gibi ısı uygulamaları yanında ozmotik kurutma gibi diğer yöntemlere göre daha düşük sıcaklıklarda uygulanan teknikler bulunmaktadır (Erbay ve Küçüköner, 2008). Sıcaklık uygulamaları ve geleneksel açık havada kurutma yöntemi ile meydana gelen kalite kayıpları ozmotik kurutma ile büyük oranda azaltılabilmektedir.

2.2 Ozmotik Kurutma

Ozmotik kurutma özellikle meyve ve sebze gibi materyallerin, ozmo-aktif maddelerin konsantre çözeltileri içine konması ile üründen su uzaklaştırılması işlemi olarak tanımlanmaktadır (Us, 2006). Bu işlemde, suyun hücre zarından ozmoz yoluyla doğal ve tahribatsız şekilde uzaklaştırılması sağlanır. Dokulardan çözeltiliye suyun difüzyonunu sağlayan itici güç ise ürüne oranla daha yüksek ozmotik basınca sahip hipertonic çözeltidir (sakkaroz ve glikoz ve/veya tuz çözeltileri). Suyun difüzyonu ozmotik çözeltide çözünen maddelerin ürüne difüzyonu ile aynı anda gerçekleşmektedir. Taze meyve ve sebzelerin selülozik ve pektik maddelerden meydana gelen hücre duvarının iç yüzeyini çevreleyen sitoplazmik zar seçici geçirgen özellik göstermektedir. Ancak hücre zarı ozmotik taşımada mükemmel bir seçiciliğe sahip olmadığından, hücrede çözünmüş halde

bulunan maddeler (organik asitler, indirgen şekerler, mineraller, aroma ve renk bileşenleri vb.) ozmotik çözeltiye geçerek ürünün besleyici ve duyuşal özelliklerini etkileyebilmektedir. Materyalden suyun difüzyon oranı; ozmotik çözeltinin sıcaklığı ve konsantrasyonu, materyalin boyutu ve geometrisi, numune/çözelti oranı ve çözeltinin çalkalanma hareketine bağılıdır. Literatürde yer alan birçok yayında ozmotik kurutma boyunca kütle transferi oranında bu değişkenlerin etkisi tanımlanmıştır. Ozmotik kurutma boyunca yarı geçirgen zardan kütle transferine direnç gösteren biyolojik maddelerin geçmesiyle zar yapısında bozulmalar meydana gelmektedir. Aynı zamanda hücre zarı ve hücre duvarı arasında temas azalırken, hücre boyutlarında azalma görülmektedir (Rastogi et al., 2005; İspir, 2006; Lenz vd, 2006; Çınar, 2009).

Ozmotik kurutmada aynı anda oluşan üç farklı kütle aktarımı mevcuttur. Bunlardan ilki, üründen çözeltiye doğru olan su akışıdır. Ozmotik kurutma yoluyla gıda maddeleri 30–50°C arasındaki sıcaklıklarda ilk üç saat içinde su içeriklerinin % 70 kadarını kaybederler. İkinci kütle aktarımı çözeltiden ürüne çözünen aktarımıdır. Böylece ozmotik çözelti içindeki ajanın (sakkaroz, glikoz, fruktoz, vb.), çözeltiye ilave edilecek herhangi bir besin ögesinin veya duyuşal kalite geliştiricinin ürüne aktarımı mümkün olmaktadır. Üçüncü kütle aktarımı ise ürüne ait çözünenlerin (şekerler, organik asitler, mineraller, vitaminler, vb.) çözeltiye geçmesidir. Bu üçüncü aktarım mekanizması ilk iki mekanizmaya (su kaybı ve çözeltiden gıdaya çözünen aktarımı) yanında nicelik bakımından ihmal edilebilirse de son ürünün bileşimi açısından önemli kabul edilmektedir (Us, 2006). Ozmotik kurutma, meyve ve sebzeler gibi nem içeriği yüksek gıdaların kurutulmasında nem içeriğinin % 30–50 arasında değişen oranlarda azaltılmasını sağlamaktadır (Eroğlu ve Yıldız, 2011).

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

Ozmotik çözelti seçimi ve konsantrasyonu ozmotik kurutmada önemli faktörlerden biridir. Çünkü su gıdadan çözeltiye difüze olurken ozmotik çözeltideki çözünen maddeler de gıdaya nüfuz etmektedir. Bu nedenle ozmotik çözelti seçilirken bazı noktalara dikkat edilmelidir. Bunlar; ozmotik çözeltinin gıdanın duyuşal özelliklerine olumlu etkisi, çözünebilirliği, maliyeti, düşük su aktivitesine sahip olması, dayanıklı olması, toksik özellik içermemesi, yenilebilir nitelikte olması, hücre membranından geçişinin az olması vb. (Erüenal, 2010).

Ozmotik çözelti konsantrasyonunun artmasıyla suyun difüzyon hızı artarken, çözünen madde difüzyonu azalmaktadır. Sabit kurutma koşullarında, ozmotik çözeltideki çözünen maddenin (tuz ve şeker) molekül ağırlığı artıkça suyun uzaklaştırılması kolaylaşırken çözünen madde kayıpları azalır. Çözeltinin konsantrasyonu artıkça çözeltinin su aktivitesi düşmekte ve buna bağılı olarak gıda ile çözelti arasındaki sürüklenme kuvveti artmaktadır. Artan çözelti konsantrasyonu ile su kaybı önemli düzeyde artmakta ancak kuru madde kazanımı çok fazla etkilenmemektedir (Erüenal, 2010; Eren, 2004; Özbek, 2009).

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

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

Numune/çözelti oranı azaldıkça su kaybı artmakta, kuru madde kazanımı ise önemli oranda etkilenmemektedir (Erüenal, 2010). Ozmotik kurutma karıştırmanın uygulanması ile daha etkin bir hale gelmektedir. Karıştırma ile örnekten difüze olan suyun çözeltide homojen dağılıması sağlanır. Yüksek konsantrasyonlu çözelti lerde çözeltinin viskozitesi nedeniyle kütle transferinde ek bir direnç meydana gelmektedir. Karıştırma ile bu direnç azaltılmakta sürüklenme kuvveti artmaktadır (Erüenal, 2010).

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

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

2. Enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının önlenmesine bağlı olarak renkteki kayıp minimum düzeyde olmaktadır.

3. Ozmotik kurutma sonunda konsantrasyonu düşen ozmotik çözeltinin tekrar konsantre edilerek veya katı (çözünen madde) eklenerek çözeltinin tekrar kullanılması işlemin daha ekonomik olmasını sağlamaktadır (Erünel, 2010).

Ozmotik kurutma, meyve ve sebzelerin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin olumsuz yönde değişmesini diğer kurutma yöntemleriyle karşılaştırıldığında minimum düzeyde tutmaktadır. Bununla birlikte ozmotik kurutmanın daha hızlı gerçekleştirilmesi ve elde edilen ürün kalitesinin daha iyi olması için yeni yöntemler üzerinde çalışılmaktadır. Bunların başlıcaları ozmotik kurutma öncesinde, sonrasında ya da ozmotik kurutma sırasında uygulanabilen yüksek basınç, vurgulu elektrik alan, ultrason, ışınlama, vakum ve santrifüjleme yöntemleridir (Rastogi et al., 2005) (Çizelge 2.1).

2.2.1 Ozmotik kurutma işlemi öncesi veya işlem sırasında uygulanan elektriksel işlemler

Ozmotik kurutma sırasında veya ön işlem olarak elektriksel işlemler kullanılmaktadır. Bu elektriksel işlemlerden yüksek yoğunluklu elektrik alan (HELP), vurgulu elektrik alan (PEF), ohmik ısıtma son yıllarda üzerinde en çok çalışılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerin kullanılmasıyla ilgili yapılan bazı

çalışmalar Çizelge 2.1'de verilmiştir. Elektriksel ön işlem uygulanarak meyve ve sebze dokularında parçalanma sağlanmakta ve hücre geçirgenliği arttırılmaktadır. Elektriksel ön işlem uygulanan gıdada nem hareketliliği artmakta, hücre duvarı parçalanmakta ve yapısal değişiklikler meydana gelmektedir (Baysal vd., 2011; Halden et al., 1990).

PEF uygulaması, bir seri elektrot arasına yerleştirilen ürüne μs – ms düzeyinde değişen sürelerde elektrik vurguları uygulanması prensibine dayanır (Güleç, 2006). Vurgulu elektrik alan uygulamaları için işlem parametreleri çok geniş bir aralığa sahiptir. 2.5 – 43 kV arasında bir elektriksel gerilim verilerek, 0.6 – 100 kV/cm elektriksel alan oluşturulmaktadır. Elektrotlar arası mesafe 3 – 77 mm, vurgu (puls) genişliği (bir pulsun süresi) 1 μs – 10 ms, vurgu sayısı 1 – 120, frekans 0.2 – 50 Hz, arasında uygulanmaktadır. Uygulama sırasında ürün hacmi genellikle 0.5 ml – 1.6 lt arasındadır (Mittal and Griffiths, 2005). İşlemin etkinliği; uygulama süresi, vurgu şiddeti, vurgu sıklığı, uygulama sıcaklığı ve gıdanın yapısına bağlıdır (Wesierska and Trziszka, 2007).

Membran geçirgenliğini (permeabilization) artıran bir işlem olan vurgulu elektrik alan (pulsed electric field, PEF) uygulamaları, gıda işlemede geleneksel yöntemlere alternatif bir yöntem olduğu için son yıllarda önem kazanmıştır. Gelişmekte olan ısıl olmayan uygulamalar arasında PEF yoğun bilimsel çalışmalara konu olan yöntemlerden biridir (Çizelge 2.1). Kısa bir süre içinde membran geçirgenliğini artırma yeteneği nedeniyle enerji ve zaman alan geleneksel veya mekanik parçalama teknikleri yerine kullanılabilecek potansiyele sahiptir (Toepfl et al., 2005). PEF uygulamaları düşük viskozite ve elektrik iletkenliğine sahip genellikle sıvı ve yarı sıvı ürünlere başarıyla uygulanabilmektedir (Uysal, 2010).

PEF genellikle mikrobiyolojik ve enzimatik inaktivasyon ile bitkisel dokunun parçalanması (hücre düzeyinde zarar görmesi) amacıyla kullanılır. Ayrıca düşük sıcaklıklarda çalışılması ürünün fiziksel ve besinsel özellikleri ile renk, tat ve koku korunumu açısından da diğer tekniklere göre üstünlük sağlamaktadır (Heinz et al., 2003). Ayrıca PEF uygulamaları, kısa uygulama zamanına sahiptir. Bununla birlikte PEF uygulamalarında bazı kısıtlamalar bulunmaktadır; sporlar üzerine etkisi yoktur, iletken materyalle kullanımı zordur, sadece sıvılar veya sıvı içindeki katılar için uygundur, sadece ısı ile birlikte etkilidir, işlem sırasında gerçekleşebilecek elektroliz gıdayı olumsuz etkileyebilmektedir, güvenlik kaygısı vardır (Fellows, 2000). PEF uygulaması ile

hücre zarının elektriksel potansiyeli değişmekte ve hücre membranında yük ayrılması olmaktadır. Bugüne kadar yapılmış çalışmalar hücre zarının kritik elektriksel potansiyelinin hücrenin tipine, boyutlarına, şekline ve (mikroorganizma hücrelerinin) üreme koşullarına bağlı olduğunu göstermektedir (Baysal, 1997).

PEF kurutulacak meyve ve sebzelere uygulandığında kurutma süresini kısaltabilmektedir. Örneğin, PEF'in, akışkan yatak kurutucuda sıcak hava ile kurutma öncesinde bir ön işlem olarak uygulandığında patates küplerinin kuruma süresini 1/3 oranında azalttığı belirtilmektedir (Brennan, 2006). Benzer şekilde PEF uygulaması, ozmotik kurutma ile kombine halde uygulandığında ozmotik kurutmada işlem süresini kısalttığı vurgulanmaktadır (Rastogi et al., 2005; Ngadi et al., 2009; Ade Omowaye et al., 2003b). PEF uygulamaları genellikle düşük sıcaklıklarda (oda sıcaklığında ya da oda sıcaklığının biraz altındaki ve üstündeki sıcaklıklarda) gerçekleşmektedir. Bu uygulamalarda gıdaların elektrik akımına gösterdiği dirençten dolayı sıcaklıklarda bir miktar artış meydana gelmektedir. Ancak bu artış sisteme eklenen soğucu ekipmanlarla belirli seviyelerde tutulmakta ya da engellenmektedir (Uysal, 2010).

HELP işlemi de ozmotik kurutmada kullanılan bir işlemdir. Tedjo et al. (2002), mangonun ozmotik kurutulmasına yüksek yoğunluklu elektrik alan (HELP), yüksek basınç (HP) ve süper kritik CO₂ uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. HELP ve HP uygulanan ozmotik kurutulan örneklerde işlem uygulanmayan örneklere göre daha yüksek su kaybı ve katı kazanımı tespit edilmiştir.

Ade Omowaye et al. (2003c), yaptıkları bir çalışmada yüksek yoğunluklu elektrik alan (HELP) ve dondurma işleminin kırmızı dolmalık biberlerin dehidrasyonu sırasında hücre zarı geçirgenliği ve kütle transferine etkisini incelemişlerdir. HELP için işlem koşulları; 2 kV/cm elektriksel alan şiddeti, 400 µs puls süresi ve 1–50 defa vurgu uygulamasıdır. HELP işlemi ile oluşan gözenek alanının, dondurma işlemi uygulanarak oluşan gözenek alanına göre yaklaşık 6 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte HELP uygulanarak daha yüksek su kaybı gerçekleşmiştir.

Ohmik ısıtmanın ise ozmotik kurutma sırasında ya da öncesinde uygulanan elektriksel ısıtma yöntemlerinden biri olduğu dikkati çekmektedir. Allali et al. (2010a;b) yaptıkları çalışmalarda ozmotik kurutma öncesinde ohmik ısıtma

uygulamışlardır. Kütle transferi kinetiğine etkisini incelemişlerdir. Ohmik ısıtmanın ozmotik kurutmayı hızlandığını tespit etmişlerdir. Bu tez çalışmasında uygulanan elektriksel işlem ise Allali et al. (2010a;b), yaptığı çalışmalardan farklı olarak ısısal amaçlı olmayıp, kısa süre uygulanan ve ozmotik kurutmanın verimini arttırmaya yönelik yapılan bir çalışmadır.

Yıldız vd., (2012), yaptıkları bir çalışmada armutların ozmotik kurutma süresine elektriksel ve ultrasonik ön işlemlerin etkisini araştırmışlardır. Elektriksel ön işlemin (32 V/cm) kütle transfer hızını arttırdığını ve enerji verimliliğini arttırdığını tespit etmişlerdir. Elektriksel ön işlemde 32 V/cm voltaj gradyanı kullanılmıştır ve sadece temaslı elektriksel ön işlemin etkisi incelenmiştir. Bu tez çalışmasında ise temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlem uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İçier vd. (2013), yaptıkları bir çalışmada ayvanın ozmotik kurutulmasına elektriksel ve ultrasonik ön işlemlerin etkisini incelemişlerdir. Belirtilen çalışmada uygulanan elektriksel ön işlem 60 V/cm voltaj gradyanında 15 s'dir. Ayva dilimlerine uygulanan ön işlemlerin ozmotik kurutma süresi, renk, doku, su aktivitesi ve boyut değişimi gibi kalite özelliklerine ve kütle transferi sonucu meydana gelen katı kazanımı, ağırlık ve su kaybı değerlerindeki değişimi incelemişlerdir. Elektriksel ön işlem uygulanmış ayva dilimlerinin 240 dak'da, ultrasonik ön işlem uygulanmış ve kontrol grubu örneklerinin 300 dak'da % 40 TKM değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Ozmotik kurutma çözeltisi olarak % 50 (w/w) sakkaroz çözeltisi kullanılmıştır. Uygulanan elektriksel ön işlem kütle transfer hızını artırarak katı kazanımı ve su kaybını arttırmıştır. Bu tez çalışmasında da bu çalışmaya benzer bir şekilde kısa süreli elektriksel ön işlem uygulanmıştır.

Çizelge 2.1 Elmanın ozmotik kurutulması ve uygulanan ön işlemlerin etkileri konusunda yapılan bazı çalışmalar

Ozmotik Çözelti ve Konsantrasyon	Şurup/ Meyve Oranı	Sıcaklık (°C)	Ozmotik Kurutma Süresi	Boyut-Şekil	Analizler	Ön işlemler			Ozmotik Kurutma Sonrası İşlem	Yazar İsimleri/ Yıl
						Ohmik	HELP/PEF*	Vakum		
Sakkaroz Çözeltisi / % 60 (w/w)	9:1 (w/w)	20-70	2-25 saat	(boyut-şekil belirtilmeden) 12 parça olarak belirtilmiş	Katı kazancı, su kaybı, C vitamini kaybı, renk, doku			195 W-390 W 13- 39 dak. Mikrodalga-vakum kurutma		Erle and Schubert, 2000
Sakkaroz Çözeltisi / % 50 (w/w)		22	16 saat	13x13x13 mm küp şeklinde	Katı kazancı, su kaybı, ağırlık kaybı (azalması), renk, doku				Mikrodalga destekli sıcak havada kurutma (50, 60, 70 °C / 5 h)	Prothon et al., 2000
Sakkaroz Çözeltisi / 50 *Briks	25:1 (w/w)	40	6 saat	8±0.2 mm kalınlığında ve 38 mm çapında disk şeklinde dilimler	Katı kazancı, su kaybı, renk, doku, C vitamini içeriği		0.5, 1.0 ve 2.0 kV/cm, 400 µs		Sıcak havada kurutma (80 °C'de 27 saat)	Taiwo et al., 2002
Sakkaroz Çözeltisi / 50 *Briks	25:1	40	0.5 - 1.5 saat	38 mm çap, 8 mm kalınlık	Katı kazancı, su kaybı		0.8-2.8 kV/cm, 50 vurgu, 1 Hz			Tedjo et al., 2002

Çizelge 2.1 (devamı) Elmanın ozmotik kurutulması ve uygulanan ön işlemlerin etkileri konusunda yapılan bazı çalışmalar

Ozmotik Çözelti ve Konsantrasyon	Şurup/ Meyve Oranı	Sıcaklık (°C)	Ozmotik Kurutma Süresi	Boyut-Şekil	Analizler	Ön işlemler			Ozmotik Kurutma Sonrası İşlem	Yazar İsimleri/ Yıl
						Ohmik	HELP/PEF*	Vakum		
Sakkaroz ve Mısır Şurubu / 40-60% (w/w)		30-50	90-240 dak	0,5 cm kalınlığında, 5 cm çapında disk şeklinde dilimle	Katı kazancı, su kaybı, askorbik asit içeriği					Azoubel and Murr, 2003
Sakkaroz çözeltisi /44.5-65 °Bx	3:1 (w/w)	Oda sıcaklığı	4 saat	0.85 cm kalınlığında ve 2.8 cm çapında, disk şeklinde dilimler	Katı kazancı, su kaybı		0.90 kV/cm $t_{PEF} = 0.75$ s			Amami et al., 2006
Glikoz, fruktoz, sakkaroz çözeltileri / 40-50-60 % (w/w)		30-40-50	24 saat		Ağırlık azalması, su kaybı, şeker ve çözünür kuru madde kazancı, su aktivitesi					Lenz vd., 2006
Sakkaroz çözeltisi / 0-65 °Bx	50:1 (w/w)	30	Elma KM içeriği 40 "Briks"e ulaşana kadar	1.37 ± 0.08 cm kalınlığında ve 1.51 ± 0.01 cm çapında dilimler	Katı kazancı, su kaybı, ağırlık kaybı (azalması)			40 Mbar (15 dk) ardından atmosferik basınçta (25 dk) dinlenme periyodu		Laurindo et al., 2007

Çizelge 2.1 (devamı) Elmanın ozmotik kurutulması ve uygulanan ön işlemlerin etkileri konusunda yapılan bazı çalışmalar

Ozmotik Çözelti ve Konsantrasyon	Şurup/ Meyve Oranı	Sıcaklık (°C)	Ozmotik Kurutma Süresi	Boyut-Şekil	Analizler	Ön işlemler			Ozmotik Kurutma Sonrası İşlem	Yazar İsimleri/ Yıl
						Ohmik	HELP/PEF*	Vakum		
Sakkaroz çözeltisi / 2,5 M konsantrasyona sahip	20:1 (w/w)	25	24 saat	20 mm uzunluk ve 15 mm çapta, silindirik şekilde dilimler	Katı kazancı, su kaybı, ağırlık azalması					Derossi et al., 2008
Sakkaroz çözeltisi / 33.3–66.8 *Briks	30:1 (w/w)	33.3–66.8	5–55 dak	14 mm uzunluk ve 14 mm çapta, silindirik şekilli dilimler	Nem kaybı, katı kazancı, ağırlık kaybı					Ramaswamy and Azarpazhoo, 2010
Sakkaroz çözeltisi / 50 *Briks		30	6 saat	6×40×10 mm	% TKM, katı kazancı, su kaybı, su aktivitesi, renk, doku,	60 V/cm, 15 s				İçter vd., 2013

*PEF: Vurgulu elektrik alan

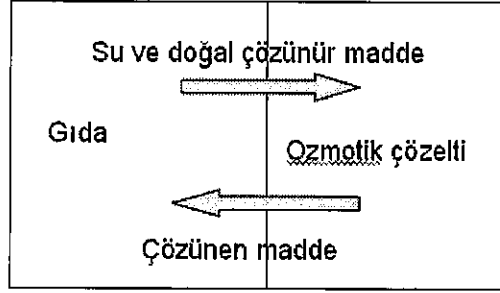
*HELP: Yüksek yoğunluklu vurgulu elektrik alan

2.2.2 Ozmotik kurutmanın kuramsal incelenmesi

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

Ozmotik kurutma işlemi sırasında eşzamanlı ısı ve kütle transferi meydana gelmektedir. Ancak işlem sırasında sıcaklığın kararlı hale hızla gelmesi ve işlem sırasında da sabit kalması nedeniyle yapılan çalışmalarda sadece kütle transferinin incelendiği dikkati çekmektedir.

Ozmotik kurutma sırasında oluşan üç temel kütle transferi; gıdadaki suyun difüzyon yoluyla ozmotik çözeltiye taşınımı, ozmotik ajanın gıda içine taşınımı ve gıda çözünenlerinin ozmotik çözeltiye taşınımı olarak özetlenebilir (Şekil 2.1). Ozmotik kurutmanın mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte sıklıkla kullanılan iki yaklaşım makroskopik ve mikroskopik kütle transfer mekanizmalarıdır. Makroskopik yaklaşıma göre, hücresel yapıda ve yarı geçirgen özellikte hücre duvarına sahip bitkisel ürünler hipertonic çözeltilerin içine daldırıldıkları zaman, ürün ve çözelti arasındaki ozmotik basınç farkı sebebiyle, ürünlerdeki su difüzyonla ozmotik çözeltiye geçer. Difüzyon itici gücü konsantrasyon ve basınç farkıdır, bu fark ne kadar yüksekse geçiş belli seviyeye kadar, o oranda hızlı gerçekleşir. Suyun çözeltiye difüze etmesi sırasında eş zamanlı olarak çözüntiden de ürüne ozmotik ajan geçer. Hücre duvarının yarı geçirgen özelliği sayesinde su ve ozmotik ajanın yanında, organik asitler, tuzlar, mineraller gibi diğer çözünen maddeler de ozmotik çözeltiye geçer. Bu maddelerin difüzyonunu, su ve ozmotik ajanın difüzyonunun yanında ihmal edilebilir düzeydedir (Us, 2006; Çınar, 2009).



Şekil 2.1 Ozmotik kurutmada kütle transferi (Eren, 2004)

Ozmotik kurutmada kütle aktarımının açıklanmasında genellikle Fick'in kararsız hal genel difüzyon denkleminin esas alındığı dikkati çekmektedir (Çizelge 2.2). Farklı gıda maddelerinin ozmotik kurutulması işleminin kuramsal incelendiği çalışmalarda, gıda örneğinin boyutlarının sonsuz geometride seçilerek numune/çözelti oranının 1/5'in üzerinde seçilmesi, modelin çözümünde bazı basitleştirmelerin yapılabilmesine olanak sağlar (Seren et al., 2001; Rastogi and Raghavarao, 2004). Bu proje çalışmasında da örnek/çözelti oranı 1/15 olarak seçilerek matematiksel model kurulumunda çözeltinin konsantrasyonunun ozmotik kurutma süresince değişmeyeceği varsayılmıştır.

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

Özellikle elma ile yapılan bazı çalışmalarda, ozmotik kurutma sırasında renk kararmasının önlenmesi amacıyla örnekler ozmotik kurutma öncesi bazı çözeltilerde 3–5 dak arasında bekletildiği belirlenmiştir (Ertekin ve Sultanoğlu, 2000; Carcel et al., 2007). Bu proje çalışmasında da elma örnekleri ön işlemler öncesi askorbik asit ve sitrik asit içeren çözelti içerisinde 5 dak bekletilmiştir.

Ozmotik kurutma işleminin Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi uygulanarak kuramsal olarak incelendiği birçok çalışmada, katı kazanımı ve su kaybının dikkate alınması ile efektif difüzyon katsayıları (su ve çözünen için)

hesaplanmıştır (Ertekin ve Sultanoğlu, 2000; Sereno et al., 2001; Rastogi and Raghavarao, 2004; Amami et al., 2006; Derossi et al., 2008). Bu çalışmalarda genel olarak ozmotik kurutma koşullarının efektif difüzyon katsayılarının değişimi üzerine etkileri incelenmiştir. Rastogi et al. (1997), sonlu silindir şeklindeki muz dilimlerinin farklı sıcaklıklarda ve farklı çözelti konsantrasyonlarında ozmotik kurutulması işlemini kuramsal inceledikleri çalışmalarında, efektif difüzyon katsayılarını hesaplayarak, kurutma işlemi süresince nem içeriğinin zamana bağlı değişimini öngörmüşlerdir. Ertekin ve Sultanoğlu (2000), ise efektif difüzyon katsayılarını kullanarak geliştirdikleri nümerik model ile hesapladıkları katı kazanımı ve su kaybı öngörülerini deneysel verilerle karşılaştırmıştır. Rastogi et al. (1997), ozmotik kurutma süresine bağlı su ve çözünen madde oranlarının değişimini öngören modeller geliştirmiştir. Aynı araştırmacılar bir başka çalışmalarında, su ve çözünen madde oranlarını dikkate alarak ortalama efektif difüzyon katsayısı terimini geliştirmişlerdir (Rastogi and Raghavarao, 2004).

Amami et al. (2006), ozmotik kurutma öncesi uyguladıkları PEF işleminin ozmotik kurutma sırasında oluşan su kaybını ve katı kazanımını arttırdığını tespit etmiştir. Katı kazanımı ve su kaybı efektif difüzyon katsayılarını hesaplamışlardır. PEF uygulanan örneklerde efektif difüzyon katsayılarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. PEF uygulamasının su kaybı üzerine daha etkili olduğunu rapor etmiştir.

Bu tez çalışmasında ise, ozmotik kurutma öncesi uygulanan temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlem koşullarının sabit koşullarda uygulanacak ozmotik kurutma işleminin efektif difüzyon katsayıları üzerine etkileri kuramsal olarak incelenmiş ve çözelti içindeki elma dilimlerinin ozmotik kurutma işlemi süresi boyunca su ve çözünen madde (katı) konsantrasyon dağılımları simüle edilmiştir.

Çizelge 2.2 Ozmotik kurutmanın modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar

Gıda Örneği	Örnek Boyutları	Ön İşlem	Ozmotik Kurutma Şartları	Kütle transferi Modeli	İnceleme*	Sonuç	Kaynak
Muz	25 mm çap, 40 mm kalınlık		25-45 °C Sakkaroz çözeltisi=40-70° Briks Örnek/çözelti=1/20 (v/v) 5 saat	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Sonlu silindir	Nem içeriği Denge nem içeriği D_{eff}	Efektif katsayı bulunarak, zamana göre nem içeriği bulunmuştur. Sıcaklığın efektif difüzyon katsayısı üzerine etkileri belirlenmiştir.	Rastogi et al., 1997
Elma	70 mm çap 5±0.2 mm kalınlık	% 1 sodyum metasülfid, 3 dak bekleme	30±1 °C Sakkaroz=%40, 50, 60, 66 Dekstroz=%30, 40, 50 Dekstroz+Sakkaroz=%60,70 Örnek/çözelti=1/5 (w/w) 130 çalkalama/dakika 8 saat	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Sonsuz Plaka	WL SG D_{ew} D_{es}	Eş zamanlı su ve çözünen difüzyonu incelenmiştir. Su ve çözünen madde için efektif difüzyon katsayıları 10^{-10} - 10^{-11} m ² /s aralığında bulunmuştur. Katı kazanımı ve su kaybı için deneysel verilerle nümerik model sonuçları karşılaştırılmıştır.	Ertekin ve Sultanoglu, 2000
Elma	8 mm çap 24 mm yükseklik		5, 20, 40 ,60 °C Sakkaroz: % 40, 50, 60 w/w ve Sodyum klorür: % 15, 22, 26.5 w/w çözeltileri kullanılarak Sakkaroz/sodyum klorür= 30/10, 40/10, 50/10 ve 20/15, 30/15, 40/15 % wt oranlarında çözeltiiler Örnek/çözelti=1/40(w/w) 4 saat	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Sonsuz Plaka -Magee et.al., 1983 model	WL SG k_{es} k_{ew}	Katı kazanımı ve su kaybı için kütle transfer katsayısının konsantrasyon ve sıcaklıkla ilişkileri elde edilip, katsayılar bulunmuştur.	Sereno et al., 2001

Çizelge 2.2 (devamı) Ozmotik kurutmanın modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar

Gıda Örneği	Örnek Boyutları	Ön İşlem	Ozmotik Kurutma Şartları	Kütle transferi Modeli	İnceleme*	Sonuç	Kaynak
Ananas	15×15×15 mm		30-50 °C Sakkaroz çözeltisi=40-70 °Briks Örnek/çözelti=1/25 (w/w)	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Küp	Mr Sr D _{ew} D _{es}	Deneysel olarak bulunan efektif kütle transferi katsayısının sıcaklık ve konsantrasyon ile ilişkisini veren denklem bulunmuştur. Süreye bağıt Mr ve Sr değişimi incelenmiş ve denge durumları bulunmuştur.	Rastogi and Raghavarao, 2004a
Patates	3.5 cm çapında 1 cm kalınlığında		25 °C Sakkaroz=50 °Briks Örnek/çözelti=1/25 (w/w) 5 saat	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Sonsuz Plaka	Sr Mr	Nem ve çözünen madde içeriği dağılımı göz önüne alınarak ortalama efektif kütle transfer katsayısı bulunmuştur.	Rastogi and Raghavarao, 2004b
Elma	2.8 cm çap 0.85 cm kalınlık	PEF(0.90 kV/cm, t _{PEF} =0.75s)	Oda sıcaklığı Sakkaroz=%44.5, 55, 65° Briks Örnek/çözelti=1/3 (w/w) 250 rpm karıştırma 4 saat	-Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Sonsuz Plaka -iki üstel kinetik model	WL SG D _{ew} D _{es} k _{ew} k _{es}	PEF uygulamasından sonra toplam su kaybı ve katı kazanımı artmıştır. PEF uygulamaları su kaybı üzerine katı kazanımından daha etkilidir .D _{es} ve D _{ew} değerleri PEF uygulamaları ve ozmotik çözeltinin konsantrasyonunun artmasıyla artar.	Amami et al., 2006

Çizelge 2.2 (devamı) Ozmotik kurutmanın modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar

Gıda Örneği	Örnek Boyutları	Ön İşlem	Ozmotik Kurutma Şartları	Kütle transferi Modeli	İnceleme*	Sonuç	Kaynak
Patates	1×1×1 cm	% 1 sodyum aljinat veya %2 LMP (Low methoxyl pectinate) 5 dakika bekletme. Ardından %1 CaCl ₂ (sodyum aljinatla kaplanmışlar için) veya %2 CaCl ₂ (LMP kaplanmışlar için) 30 dak bekletme.	25, 40, 45°C Tuz çözeltisi=%10, 14, 18 (w/w) Örnek/çözelti=1/20(v/v) 300 rpm 3 saat	-Peleg denklemi ile su ve tuz kütle transfer kinetiği - Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi- Sonlu Plaka	Tuz konsantrasyonu keT, kew WL, SG Dew/Des	Sıcaklık ve çözelti konsantrasyonun tuz ve su kütle transferini artırmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda suyun difüzyonu hızlanmaktadır.	Khin et al., 2006
Kestane	10g		25, 35, 45 °C Tuz çözeltisi=%17, 22, 26.5 (w/w) 8 saat	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi-	WL SG M WR NMC	Çözelti konsantrasyonu artmasıyla WL/SG oranında önemli bir azalma olmaktadır.	Chenlo et al., 2006
Kestane	9 g		25, 35, 45 °C Sakkaroz çözeltisi= % 40, 50, 60 (w/w) 8 saat	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemi-	WL SG M WR NMC	Sıcaklık ve çözelti konsantrasyonunun artmasıyla kütle transferi artmaktadır. Bu çalışmada efektif difüzyon katsayısı sabit tutularak hesaplamalar yapılmıştır.	Chenlo et al., 2007

Çizelge 2.2 (devamı) Ozmotik kurutmanın modellenmesi konusunda yapılan bazı çalışmalar

Gıda Örneği	Örnek Boyutları	Ön İşlem	Ozmotik Kurutma Şartları	Kütle transferi Modeli	İnceleme*	Sonuç	Kaynak
Elma	3×3×0.5 cm	%0.2(w/v) askorbik asit ve %1(w/v) sitrik asit çözeltisinde 10 dak bekletme	30±0.5°C Sakkaroz çözeltisi=30° briks Ozmotik kurutma ile birlikte • 850 ve 1200 rpm karıştırma • 20 kHz ve 20, 40, 60, 80, 100 W ultrason	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemleri- Sonlu levha	Kurutma süresi Nem içeriği	Ultrason uygulamaların yoğunluğunun ozmotik kurutmaya etkisini araştırılır.	Carcel et al., 2007
Elma	15 mm çapında 20 mm uzunluk		25°C sakkaroz çözeltisi=2.5 M Örnek/çözelti=1/20 (w/w) 400 rpm karıştırma	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemleri- Sonlu silindir	WL SG Mr D _{aw} D _{es}	D _{ew} değeri 4.10×10 ⁻¹⁰ m ² /s D _{es} değeri 4.10×10 ⁻¹⁰ m ² /s	Derossi et al., 2008
Guava	110 g		30, 40, 50 °C, Sakkaroz=65°Briks (880g), Örnek/çözelti=1/8 100 rpm, 3 saat Atmosfer basıncı ve pulsed vakum Pulsed vakum; 5 dak; -30°C -4.3kPa -40°C -5.2kPa -50°C -10.7kPa	Fick'in kararsız hal difüzyon denklemleri	De Mw Ms	De=0.69×10 ⁻¹⁰ -1.47×10 ⁻¹⁰ m ² /s	Panades et al., 2008

*WL: su kaybı, SG: katı kazanımı, D_{ew}: efektif difüzyon katsayısı (su için), D_{es}: efektif difüzyon katsayısı (çözünen için), k_{es}: taşınım kütlesi ile aktarım katsayısı (çözünen için), k_{ew}: taşınım kütlesi ile aktarım katsayısı (sıvı için), Mr : nem oranı, Sr: çözünen oranı, M:kütle, WR: kütle azalımı, NMC: normalize nem içeriği

2.2.3 Enerjinin etkin kullanımı

Son yıllarda araştırmacıların ve politikacıların önem verdiği konuların başında enerji gelmektedir. Günümüzde enerjinin üretiminde kullanılan başlıca kaynağın fosil yakıtlar olması nedeniyle oluşan enerji kıtlığı ve çevre kirliliği tehlikesinin çözümü olarak alternatif enerji kaynakları, özellikle de yenilenebilir enerji kaynakları önerilmektedir. Bu konuda yapılan araştırmalar ve geliştirilen sistemlerle önemli yol kat edilmiş olmakla birlikte, halen yüksek kurulum masrafları sorunu aşılamamıştır. Araştırmaların odaklandığı bir diğer husus ise asıl olarak çözümün “enerji tüketmemek” değil, var olan enerji tüketen sistemlerin verimliliğinin yükseltilmesinin gerekliliğidir. Bu şekilde hem enerji kaynaklarının tükenmesi geciktirilmesi hem de çevreye verdikleri zararın azaltılması sağlanacaktır. Bu çalışmalar ile enerji masrafları azaltılabildiği gibi geliştirilen sistemlerin kurulum masrafları da yüksek olmadığından uygulanabilirliği mümkündür.

Bu çerçevede ekserji analizi önemli hale gelmiştir. Ekserji analizi yapılan işlemlerin, cihazların ve sistemlerin verimsizliklerinin belirlenmesinde ve düzeltilme olanaklarının ortaya çıkarılmasında önemli avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte tasarım ve optimizasyonda başarılı bir şekilde kullanılabilir (Dinçer ve Şahin, 2004). Termodinamik bakış açısından ekserji; bir referans çevreyle denge haline gelirken, bir sistem ya da madde veya enerji akışıyla üretililecek maksimum miktardaki iştir. Yani ekserji, referans çevreye göre tamamen kararlı dengede olmamanın sonucu olarak, değişime neden olan akış ya da sistemin potansiyelinin ölçüsüdür. Prosesle ilgili tersinmezlikler nedeniyle ortaya çıkan entropiye orantılı olarak ekserji tüketilir. Bu özellikleriyle termodinamiğin 2. yasasını da kullanarak yapılan ekserji analizleri, enerji analizlerinden çok daha somut ve pratiğe uygulanabilir sonuçlar vermektedir (Cengel et al., 2005).

Enerji değerlendirmelerinin gıda sistemlerinde uygulamasında, öncelikle enerjinin yoğun tüketildiği işlemler (kurutma gibi) öne çıkmıştır. Bu amaçla enerji ve ekserji analizinin gıda kurutulmasına uygulanması konusunda da birçok çalışma bulunmaktadır (Syahrul et al., 2003; Midilli and Küçük, 2003; Dinçer and Şahin, 2004; Akpınar et al., 2005; Akpınar, 2006; Hancıoğlu ve Hepbaslı, 2007; Liu et al. 2008; Erbay ve İçier, 2009a;b). Ancak bu çalışmalar, enerjinin yoğun tüketildiği sıcak hava ile kurutma esasına dayanan ısı kurutma sistemleridir. Literatürde elektriksel işlemin enerjetik açıdan değerlendirildiği sadece bir yayın

belirlenmesine rağmen (De Halleux et al., 2005), ısı olmayan amaçlı bir elektriksel işlemin ozmotik kurutma işleminin enerji etkinliği üzerine etkileri konusunda herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte ozmotik kurutmanın da ekserjetik açıdan değerlendirildiği herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Özellikle çözelti içinde elektriksel ön işlemin temaslı elektriksel ön işlemle karşılaştırılarak sanayiye uygulanabilirliği açısından ekserji analizinin değerlendirilmesi bu çalışma sonuçlarını oldukça değerli kılmaktadır. Ayrıca bu çalışma düşük voltajda ısı olmayan elektriksel ön işlem uygulanarak ozmotik kurutmanın enerji verimliliğinin incelenmesi açısından önemlidir.

2.2.4 Literatürün değerlendirilmesi

Literatür incelendiğinde, Golden çeşidi elmanın ozmotik kurutulmasından önce düşük voltajlı temaslı elektriksel ön işlem uygulandığını ve simülasyonunun yapıldığını göstermektedir (Yıldız vd., 2013). Ayrıca düşük voltajlı elektriksel işlemin ozmotik kurutma öncesinde bir ön işlem olarak uygulandığı sınırlı sayıda çalışmalar da mevcuttur (Yıldız vd., 2012; İçier vd.; 2013; Yıldız vd., 2013). Ancak golden çeşidi elmanın ozmotik kurutulması öncesinde çözelti içinde elektriksel ön işlemin kullanıldığı ve temaslı elektriksel ön işlem ile karşılaştırıldığı bir çalışmaya araştırmacıların bilgisi dahilinde rastlanmamıştır. Ayrıca bu iki ön işlemin ozmotik kurutmanın enerji ve ekserji analizine etkisi konusunda da bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışması, literatürde gözlemlenen bu eksikliklerin giderilmesi ve yapılan benzer çalışmalara katkı sağlaması bakımından önemli olmaktadır. Bununla birlikte ozmotik kurutmanın hızını arttıran düşük voltajlı elektriksel ön işlemlerin etkinliğinin çözelti içinde gerçekleştirilerek aynı anda daha fazla ürün elde edilmesi sağlanarak, çözelti içinde uygulanan elektriksel ön işlemin alternatif bir yöntem olabilmesi konusunda sanayiye katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

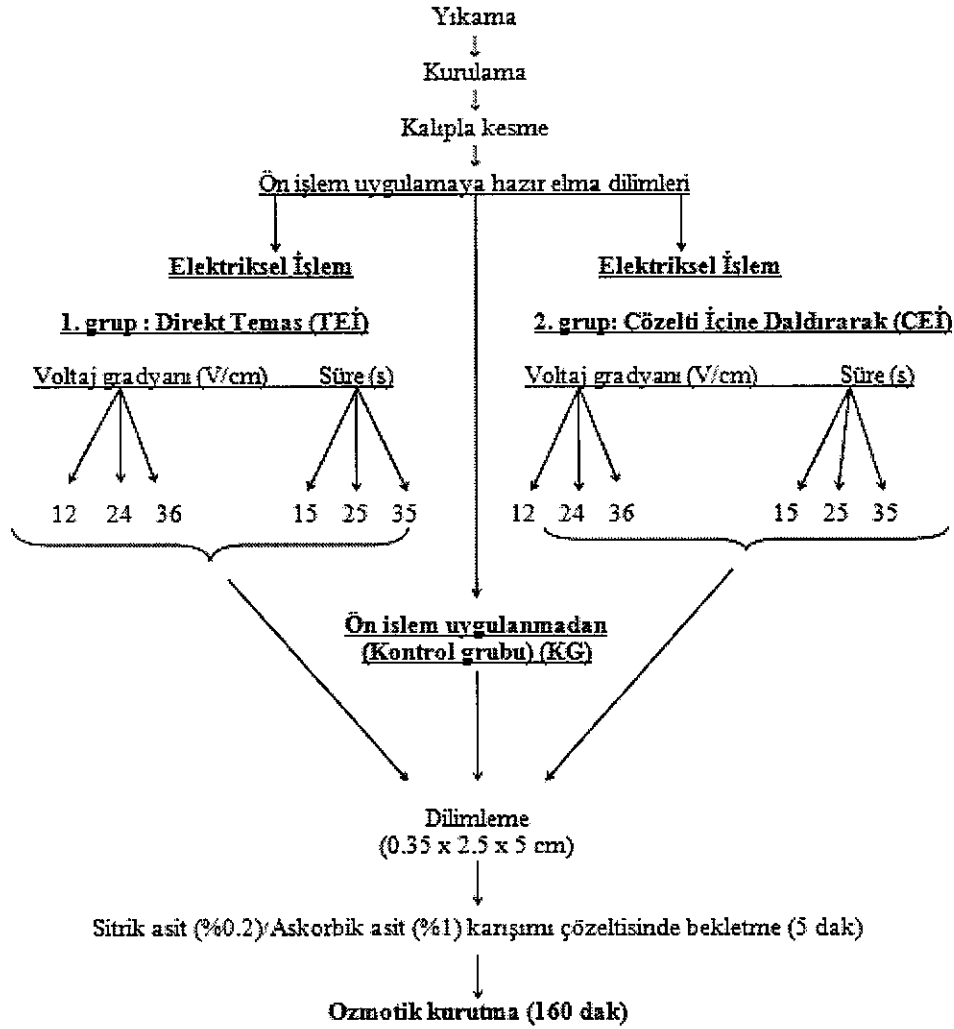
3.1 Materyal

Çalışmada Golden delicious çeşidi elma kullanılmıştır. Tezde kullanılan tüm elmalar Manisa Sebze ve Meyve Hali'nden toptan alınıp proje kapsamında kurulumu gerçekleştirilen iklimlendirme kabiniinde 0–5°C sıcaklıkta % 90–95 nisbi nemde depolanmıştır.

Golden Delicious çeşidi elmanın bileşimi ve fiziksel özellikleri ortalama değerler olarak şu şekilde verilmektedir (Lenz vd., 2006):

Nem (%): 83.0 – 87.9; Toplam kuru madde (%): 12.1 – 17.0; Suda çözünmeyen kuru madde (%): 1.1 – 1.9; Suda çözünen kuru madde (%): 10.8 – 13.0; Glikoz (%): 1.0 – 2.5; Fruktöz (%): 5.5 – 9.5; Sakkaroz (%): 1.9 – 4.2; pH : 3.82 – 4.12; Ozmotik basınç (MPa): 1.7– 2.3; Kimyasal potansiyel ($\Delta\mu$) (J/mol): 36 – 38.

Denemelerde kullanılacak elmalar yıkanmış ve üzerindeki fazla suyu uzaklaştırmak amacıyla kağıt havlu ile kurutulmuştur. Daha sonra elmaların kabuk ile çekirdek yuvası arasındaki kısımdan kalıp yardımıyla parçalar kesilmiştir. Bu parçaların kalınlığı 15.09 ± 1.90 mm'dir. Ardından derhal temaslı ya da çözelti içinde elektriksel ön işlem uygulanmıştır. Ön işlem sonrasında hızla elmalar mutfak tipi bir dilimleyici (Speed Slicer, Çin) ile sabit kalınlıkta (0.35 x 2.5 x 5 cm) dilimlenmiştir (Ek-1.1). Elma dilimleri, esmerleşmenin önlenmesi amacıyla % 0.2 (w/v) sitrik asit ve % 1 (w/v) askorbik asit içeren çözeltide 5 dak bekletilmiştir. Ardından ozmotik kurutma uygulanmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla ön işlem uygulamadan ozmotik kurutma da gerçekleştirilmiş ve kontrol grubu olarak adlandırılmıştır. Yapılan çalışmaların akım şeması Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Deneyler 3 tekrarlı, 3 paralel gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Elma dilimlerinin ozmotik kurutulması ve öncesinde uygulanan işlemler

3.2 Yöntem

3.2.1 Kullanılan sistemler

Elma dilimlerinin ozmotik kurutulması ve öncesinde uygulanan elektriksel ön işlemlerde kullanılan sistemler ile ilgili bilgiler aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

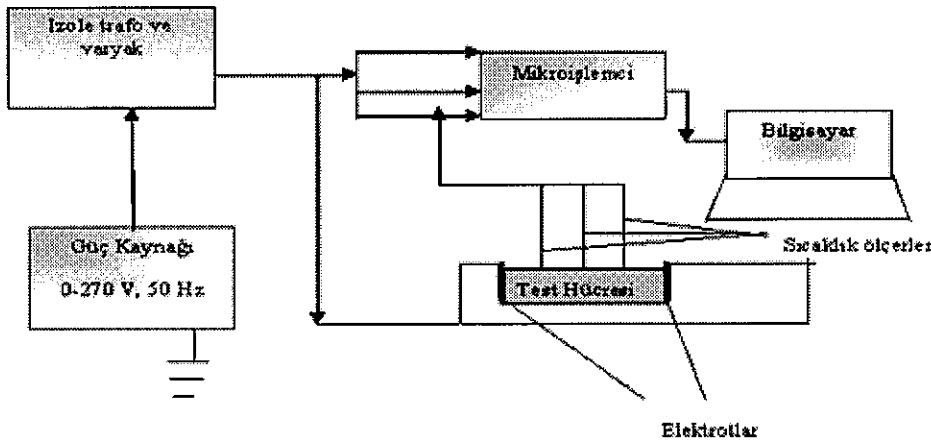
3.2.1.1 Elektriksel işlem sistemi

Elektriksel ön işlemler, TÜBİTAK 111 O 347 nolu projenin altyapısı kapsamında modifiye edilen elektriksel işlem sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Ek-1.2). Sistem, elektriksel işlem hücresi, elektrotlar, sıcaklık ölçümü için teflon kaplı T-tipi ısıleşler (Cole-Parmer, UK), özel olarak proje

kapsamında kurulumu gerçekleştirilen mikroişlemci (eş zamanlı sıcaklık, voltaj ve akım ölçebilen) (Omega, USA), güç kaynağı, izole trafo ve varyak sisteminden oluşmaktadır (Şekil 3.2). Sistem, 0–270 V arasında istenilen uygulama voltajı değerine hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir ve ani açma–kapamaya olanak sağlayan bir kontrol düzeneğine sahip olduğu için işlem süresi hassas ayarlanabilmektedir.

Şekil 3.1’de gösterilen 1. gruptaki elma dilimlerine direkt temas ile elektriksel ön işlem (TEİ) uygulanmıştır. Uygulanan voltaj gradyanları, elektriksel işlem sırasında sıcaklık artışının olmaması kriteri dikkate alınarak ön denemeler ile belirlenmiştir. 15.09 ± 1.90 mm kalınlığa sahip elma örneklerine ($25 \times 50 \times 15.09 \pm 1.90$ mm) 3 farklı voltaj gradyanı (12 V/cm, 24 V/cm, 36 V/cm) ve 3 farklı işlem süresi (15 s, 25 s, 35 s) kombinasyonunda toplam 9 farklı elektriksel ön işlem koşulu uygulanmıştır. Elektrotlar arası mesafe 50 mm olarak ayarlanmıştır. Uygulamalar 25 °C sabit sıcaklıkta yapılmıştır.

Bu proje kapsamında, 2. gruptaki örneklere çözelti içinde elektriksel ön işlem (ÇEİ) uygulanmıştır. ÇEİ’de elektrotlar % 40 konsantrasyonda glikoz–fruktoz çözeltisi (w/w) (Tatsan, Türkiye) içine yerleştirilmiş ve elektrotlar arası mesafe 50 mm’den 60 mm’ye arttırılarak elma dilimlerine ($25 \times 50 \times 15.09 \pm 1.90$ mm) teması engellenmiştir. Ancak şurubun (100 ml) elektriksel iletkenliği çok düşük olduğu için, % 0.004 oranında tuz eklenmiş ve 3 farklı voltaj gradyanı (12 V/cm, 24 V/cm, 36 V/cm) ve 3 farklı işlem süresi (15 s, 25 s, 35 s) kombinasyonunda toplam 9 farklı elektriksel ön işlem koşulu uygulanmıştır. Eklenen tuz miktarı ön denemelerle belirlenmiştir. Bunun için farklı tuz konsantrasyonlarında (% 0, % 0.004, % 0.005) akım değerleri ölçülmüştür. Bu akım değerleri değerlendirilmiş ve % 0.004 en uygun tuz oranı olarak belirlenmiştir. Uygulamalar 25 °C sabit sıcaklıkta yapılmıştır.



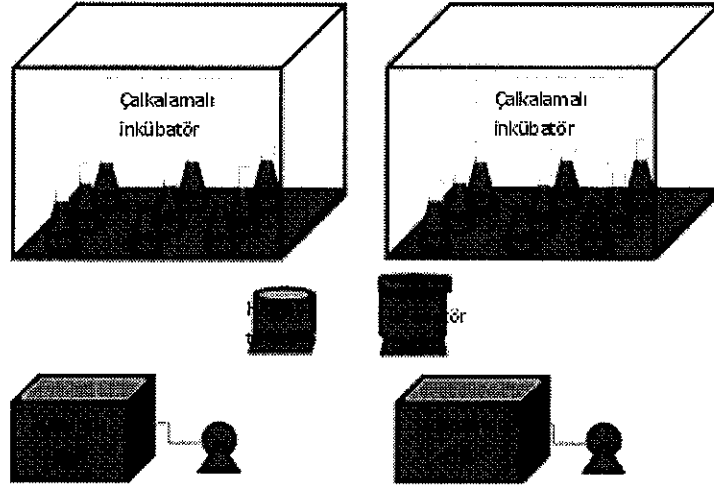
Şekil 3.2 Elektriksel işlem sistemi (Yıldız vd., 2013)

3.2.1.2 Ozmotik kurutma sistemi

Ozmotik kurutma işlemi, sıcaklığı ayarlanabilir çalkalamalı inkübatörde (IKA KS 4000i, Almanya) gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Çalkalamalı inkübatör, 500 ml hacimli 18 erleni eşzamanlı çalkalayabilmektedir. Çalkalama hızı 10–500 rpm arasında, sıcaklık ise 25–80 °C arasında ayarlanabilmektedir (Ek-1.3). Ozmotik kurutma çözeltisi olarak glikoz–fruktoz çözeltisi (°Briks 78.0–81.0, Dekstroz eşdeğeri min % 71, fruktoz % 21.0–25.0) (Tatsan, Türkiye) (Tat Nişasta, 2014) kullanılmıştır. Glikoz fruktoz çözeltisinin başlangıç konsantrasyonu 80 °Briks’tir (Ek-1.4) (Tat Nişasta, 2014). Ozmotik kurutma için çözeltinin suda çözünür kuru madde (SÇKM) değeri saf su kullanılarak % 40 (w/w) olarak ayarlanmıştır.

Örnek miktarının ağırlıkça 15 katı glikoz–fruktoz çözeltisi (% 40 w/w) içeren 500 ml hacimli kavanoz içine daldırılan elma örneklerine (ön işlemsiz ya da ön işlemlerin uygulanmasını takiben), 40 °C sabit sıcaklıkta ve 180 rpm çalkalama hızında çalkalamalı inkübatörde ozmotik kurutma uygulanmıştır. Elma dilimlerine temaslı veya çözelti içinde elektriksel ön işlem uygulandıktan sonra 160 dak ozmotik kurutma uygulanmıştır. Elma dilimlerinin ozmotik kurutulmasının incelendiği ve bu tez çalışmasına da alt yapı oluşturan TÜBİTAK 111 O 347 nolu proje çalışmasında bu tez çalışması ile aynı koşullarda yapılan denemelerde ozmotik kurutmanın en geç 160 dak sonunda % 40 toplam kuru madde (TKM) değerine ulaştığının tespit edildiği, bununla birlikte 160 dak’dan sonra TKM’nin çok fazla değişmediği ve dengeye geldiği rapor edilmiştir (Yıldız vd., 2013). Bu nedenle ön işlemlerin kütle aktarımı üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla 160 dak ozmotik kurutma süresinin yeterli olacağı öngörülmüştür.

Ozmotik kurutulanan örneklerin TKM, SÇKM, ağırlık değişimi, su kaybı ve katı kazanımı değişimlerini belirlemek amacıyla 0–160 dak aralığında 30. dak, 60. dak, 90. dak, 120. dak, 140. dak ve 160. dak’da örnek alınmıştır.



Şekil 3.3 Ozmotik kurutma sistemi (Yıldız vd., 2013)

3.2.2 Analizler

Elma dilimlerinin ozmotik kurutulması öncesi uygulanan elektriksel ön işlemlerdeki akım, voltaj ve sıcaklık artışı değerleri ölçülmüştür. Enerji, güç ve elektriksel iletkenlik hesaplanmıştır. Ozmotik kurutma sırasında 0–160 dak aralığında 30. dak, 60. dak, 90. dak, 120. dak, 140. dak ve 160. dak’da örnek alınarak TKM, % 30 TKM değerine ulaşma süresi, SÇKM, ağırlık değişimi, katı kazanımı ve su kaybı değerleri belirlenmiştir. Elma dilimlerinin 160 dak ozmotik kurutma sonrası su aktivitesi değerleri ölçülmüştür. Gerçekleştirilen analizlerin detayları aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

3.2.2.1 Akım, voltaj ve sıcaklık ölçümleri

İşlemler sırasında elma dilimlerinin yüzey ve geometrik merkez noktalarının sıcaklık değişimleri teflon kaplı T-tipi ısıleşler (Cole Parmer, UK) kullanılarak ölçülerek, sistemlere bağlı mikroişlemciler (Cole Parmer, UK) yardımıyla 1 s aralıklarla kaydedilmiştir. Ölçülen akım ve voltaj değerleri kullanılarak güç değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Güç} = \sum V \times I \times t \quad (1)$$

Bu denklemde V uygulanan elektriksel gerilimi (Volt), I akımı (Amper) ve t ise süreyi (s) belirtmektedir. Güç W cinsinden hesaplanmıştır. Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemden güç ölçümlerinde elektrotlar arası mesafe farklı uygulanmıştır. Bunun nedeni çözelti içinde elektriksel ön işlem uygulanırken elektrotların elma dilimlerine temasının engellenmesidir. ÇEI'de elektrotlar arası mesafe 6 cm, TEİ'de ise 5 cm olarak alınmıştır.

3.2.2.2 Elektriksel iletkenlik

Elektriksel ön işlem sistemine bağlı mikroişlemci sistemi yardımıyla 1 saniye aralıkla örneklerin yüzeyde sıcaklık değerleri, sistemden geçen akım, uygulanan voltaj değerleri kaydedilmiştir. Bu verilerin yardımıyla örneklerin farklı sıcaklıklardaki elektriksel iletkenlik değerleri (S/m) denklem (2) ile hesaplanmıştır (İçier, 2003).

$$\text{Elektriksel iletkenlik} = \frac{I}{V} \frac{L}{A} \quad (2)$$

Bu sistemde L ; iki elektrot arasındaki mesafeyi (m) ifade etmektedir. V uygulanan elektriksel gerilimi (Volt), I akımı (Amper), A ise elektrot alanını (m²) ifade etmektedir.

3.2.2.3 Toplam kuru madde içeriği

Elma dilimlerinin toplam kuru madde içeriği gravimetrik yöntemle vakumlu etüvde (Nüve EV 018, Türkiye) 65 °C'de gerçekleştirilmiştir (AOAC, 1995). Bu işlemde vezin kapları kullanılmıştır. Elektriksel ön işlem sonrası uygulanan ozmotik kurutma boyunca 0–160 dak aralığında 30. dak, 60. dak, 90. dak, 120. dak, 140. dak ve 160. dak'da örnek alınarak elma dilimlerinin TKM içeriğindeki değişim takip edilmiştir.

3.2.2.4 Eşik TKM (% 30) değerine ulaşma süresi

Ozmotik kurutma hızı belli bir % TKM değerine kadar hızlı ve doğrusal bir şekilde artmakta sonrasında ise doğrusallığını kaybederek yavaş bir şekilde artmaktadır. Bu % TKM değeri eşik TKM değeri olarak isimlendirilmiştir. Ozmotik kurutma boyunca elde edilen % TKM değerleri kullanılarak çizilen grafiklerde doğrusal eğilim çizgilerinde belli bir % TKM değerine kadar R^2 değerleri yüksektir. Bu değerden sonra % TKM değerlerinin artışı daha yavaş

olduğu için R^2 değeri düşmeye başlar. Tüm işlem koşullarında gerçekleştirilen ozmotik kurutmalar için R^2 değerinin düştüğü ortak bir % TKM değeri seçilir. Bu değer yaklaşık bir değer olduğu için en yakın tam sayıya tamamlanır. Bu çalışmada tüm işlem koşulları için ozmotik kurutma süresine karşılık çizilen % TKM değeri grafiklerinde yaklaşık olarak % 30 TKM değerine kadar doğrusal bir artış söz konusu iken (ilk 90 dak), sonrasında ise doğrusallık azalmıştır (R^2 değeri düşmektedir). Bu nedenle de % 30 TKM değeri eşik TKM değeri olarak seçilmiştir.

Elma dilimlerinin ozmotik kurutma işlemi sırasında ortalama % 30 TKM içeriğine gelmesi için gerekli süreler hesaplanmıştır. Ozmotik kurutma süresine karşılık % TKM değerleri çizilerek üssel denklemler elde edilmiştir. Üssel denklemler kullanılarak % 30 TKM değeri için ozmotik kurutma süreleri öngörülmüştür.

3.2.2.5 Suda çözünür kuru madde tayini

Ozmotik kurutma sırasında ozmotik çözeltilerin suda çözünür kuru madde içeriğindeki (SÇKM) değişim refraktometre (Hanna HI 96801, Romanya) ile tespit edilmiştir (AOAC, 1995). Sonuçların daha duyarlı okunabilmesi amacıyla dijital el refraktometresi kullanılmıştır. Kullanılan dijital el refraktometresi % 0–90 aralığında ölçüm alabilmektedir. Elektriksel ön işlem sonrası uygulanan ozmotik kurutma boyunca 0–160 dak aralığında 30. dak, 60. dak, 90. dak, 120. dak, 140. dakve 160. dak'da örnek alınarak ozmotik çözeltinin SÇKM içeriğindeki değişim takip edilmiştir. Bu sebeple başlangıç ozmotik çözelti (şurup) konsantrasyonundan çözeltinin anlık çözelti konsantrasyonu çıkartılıp başlangıç çözelti konsantrasyonuna bölünerek % SÇKM değişimi bulunmuştur.

3.2.2.6 Ağırlık değişimi

Elma dilimi örnekleri glikoz–fruktoz çözeltisinin içinden çıkartıldıktan sonra saf su ile yıkanp, üzerindeki fazla su filtre kağıdıyla alındıktan sonra tartılarak (gravimetik yöntemle) ağırlık değişimi tespit edilmiştir (Denklem 3).

$$WR = \frac{(M_o - M_t)}{M_o} \times 100 \text{ (g/100 g taze örnek)} \quad (3)$$

Bu denklemde M_o , başlangıç meyve ağırlığını (g), M_t , t anındaki meyve ağırlığını (g) göstermektedir.

3.2.2.7 Katı kazancı ve su kaybı

Katı kazanımı, ozmotik kurutma sonundaki ürünün TKM değerinin hammaddenin başlangıç TKM içeriğine göre % değişimi, su kaybı ise ozmotik kurutma sonundaki ürünün nem değerinin hammaddenin başlangıç nem değerine göre % değişimi olarak hesaplanmıştır. Farklı ön işlem koşullarına tabi tutulduktan sonra ozmotik kurutma uygulanan elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak) katı kazanımı ve su kaybı değerleri belirlenmiştir. Su kaybı (WL) ve katı kazancı (SG) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır (Ertekin and Sultanoğlu, 2000).

$$WL = \frac{ww_0 - (w_t - ws_t)}{(ws_0 + ww_0)} \times 100 \quad (4)$$

$$SG = \frac{ws_t - ws_0}{(ws_0 + ww_0)} \times 100 \quad (5)$$

Burada; *WL* su kaybını (g su/g kuru madde), *SG* katı kazancını (g toplam katı madde/g başlangıç katı madde), w_{w0} başlangıç su miktarını (g), w_t işlem sonunda meyve ağırlığını (g), w_{st} işlem sonunda meyvedeki katı madde ağırlığını (g), w_{s0} başlangıç katı madde miktarını (g) ifade etmektedir.

3.2.2.8 Su aktivitesi

Elma dilimleri parçalanarak su aktivitesi ölçüm haznesine 3 g örnek tartılmış ve hazne su aktivitesi ölçüm cihazının test hücreğine (Testo 400, Almanya) sızdırmaz bir şekilde yerleştirilmiştir. Özel su aktivitesi ölçüm probu yardımıyla test hücreğinde denge nemine ulaşıldığında ölçülen örneklerin su aktivitesi değeri ve ölçüm sıcaklığı kaydedilmiştir. Hammadde, ön işlemlerle ozmotik kurutulmuş ve ön işlemsiz ozmotik kurutulmuş elma dilimlerinin 160 dak sonundaki su aktivitesi değerleri belirlenmiştir.

3.2.3 Kuramsal analiz

Ozmotik kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle transferi eş zamanlı olarak meydana gelmektedir. Ancak işlem sırasında sıcaklığın kararlı hale hızla gelmesi ve işlem sırasında da sabit kalması nedeniyle yapılan çalışmalarda sadece kütle transferi incelenmektedir (Evgin, 2012). Kütle transferi, elektriksel ön işlem uygulandıktan sonra elma dilimlerinin ozmotik kurutulması aşamasında elma

dilimleri ile çözelti arasında su ve çözünür madde difüzyonu ile gerçekleşmektedir. Ozmotik kurutmada gerçekleşen kütle transferinin modellenmesi ve simülasyonu yapılmış ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

3.2.3.1 Matematiksel modelleme

Ozmotik kurutmada kütle transferi kararsız hal Fick difüzyon denklemi (Fick'in 2. Kanunu) ile hesaplanır (Evgin, 2012).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (6)$$

Burada; C katıdaki bileşen konsantrasyonunu (kg/ 100 kg çözelti), D difüzyon katsayısını (m^2/s), t süreyi (s), x difüzyon mesafesini (m) ifade etmektedir.

Bu çalışmada ozmotik kurutma sırasındaki kütle transferi incelenirken elma dilimleri sonsuz plaka olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte başlangıç su ve çözünür konsantrasyonunun homojen olduğu ve dış direncin ihmal edildiği varsayılmıştır. Crank (1975) bu başlangıç koşullarını dikkate alarak sonsuz plakalar için Denklem (7) analitik olarak çözmüştür. Denklemin düzenlenmiş hali aşağıda verilmektedir:

$$\frac{MW_t}{MWe} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \times \alpha \times (1 + \alpha)}{1 + \alpha + \alpha^2 \times q_n^2} e^{-q_n^2 \times D \times t / x^2} \quad (7)$$

Burada; MW_t t süre sonunda katıdan ayrılan su miktarını (kg), MWe dengeye ulaştığında katıdan ayrılan su miktarını (kg), x gıdanın yarı kalınlığını (m), α ozmotik çözelti hacminin gıda hacmine oranını, q_n tan $q_n = -\alpha \times n$ eşitliğinin 0'dan farklı pozitif köklerini, D efektif difüzivite değerini (m^2/s), t süreyi (s) ifade etmektedir.

Sonsuz plakalar için Fick'in ikinci kanunun analitik çözümünün su kaybı ve katı kazanımı uyarlaması aşağıdaki denklemler (8) ve (9) ile gösterilmiştir(Crank, 1975):

$$1 - \frac{WL}{WL_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \times \alpha \times (1 + \alpha)}{1 + \alpha + \alpha^2 \times q_n^2} \exp\left[-q_n^2 \frac{D_{ew} \times t}{x^2}\right] \quad (8)$$

$$1 - \frac{SG}{SG_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \times \alpha \times (1 + \alpha)}{1 + \alpha + \alpha^2 \times q_n^2} \exp\left[-q_n^2 \frac{D_{SG} \times t}{x^2}\right] \quad (9)$$

Burada; WL t anında su kaybını (kg su/100 kg ürün), SG t anında katı kazanımını (kg KM/100 kg ürün), WLe dengede $t=\infty$ 'da kaybedilen su oranını (kg su/100 kg taze meyve), SGe dengede $t=\infty$ 'da kazanılan katı oranını (kg KM/100 kg taze meyve), x gıdanın yarı kalınlığını (m), α ozmotik çözelti hacminin gıda hacmine oranını, qn tan $qn=-\alpha \times n$ eşitliğinin 0'dan farklı pozitif köklerini, D_{ev} efektif su difüzyon hızı değerini ifade etmektedir.

Denklem (8) ve (9) kullanılarak efektif difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan WLe ve SGe değerleri Azuara modeli kullanılarak bulunmuştur.

Hesaplanan efektif difüzyon katsayıları hazırlanan nümerik model çözümünde kullanılmıştır. Gerekli TKM değerine ulaşılması için gerekli teorik ozmotik kurutma süresi ve elma dilimlerinde ozmotik kurutma sonundaki katı ve su konsantrasyonunu öngörmesi amacıyla nümerik model için yazılım kodu (MK) MATLAB Versiyon 8 kullanılarak oluşturulmuştur. Bulunan sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Azuara modeli

Azuara et al. (1972), gıda içindeki su hareketinin kütleli denklemini Denklem (10) ile belirtmiştir.

$$WL = WLe - WS \quad (10)$$

Burada; WL t anında gıdadan ayrılan su oranını, WLe $t=\infty$ anında gıdadan ayrılan su oranını, WS difüzyon olabilecek ama t anında gıdada kalan su oranını ifade etmektedir.

Sabit çözelti konsantrasyonunda ve sıcaklıkta su kaybı sadece zaman bağlı olduğundan WL ve WS arasında Denklem (11) verilen bağıntı vardır.

$$WS = \frac{WL}{K} = \frac{WL}{S_1} \quad (11)$$

Burada ; K su kaybını gösteren parametreyi ($K=f(\text{süre, çözelti başlangıç konsantrasyonu})$), S_1 su kaybı ile ilgili sabit parametreyi (h^{-1}), t süreyi (h) ifade etmektedir.

K, S_1 ve t arasında arasındaki ilişkinin 0. dereceden bir reaksiyon olduğu düşünülerek doğrusal olduğu varsayılmaktadır. Denklem (10) ve (11) birlikte yazılıp düzenlenerek Denklem (12) elde edilmektedir.

$$WL = \frac{S_1 \times t \times (WL_e)}{1 + S_1 \times t} \quad (12)$$

Denklem (12) doğrusallaştırılırsa Denklem (13) elde edilir;

$$\frac{t}{WL} = \frac{1}{S_1 WL_e} + \frac{t}{WL_e} \quad (13)$$

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

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

$$SG = \frac{S_2 \times t \times (SG_e)}{1 + t \times S_2} \quad (14)$$

$$\frac{t}{SG} = \frac{1}{S_2 SG_e} + \frac{t}{SG_e} \quad (15)$$

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

Nümerik model (MK)

Ozmotik kurutmada kütle aktarımının açıklanmasında kararsız hal genel difüzyon denklemi esas alınır (Rastogi and Raghavarao, 2004b).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C \quad (16)$$

Burada C katıdaki bileşen konsantrasyonu (kg/100 kg çözelti), D difüzyon katsayısı (m^2/s), t süre (s), ∇ üç boyutta (x , y , z boyunca) kütle transferini gösteren sembollerdir.

Bu çalışmada, Denklem (16) nümerik olarak sonlu farklar yönteminin kapalı örtülü işlev çözülmesiyle kuramsal (teorik) konsantrasyon dağılımları ve gerekli

numerik–ortalama kuru madde içeriğine ulaşılması için gerekli teorik kurutma süreleri elde edilmiş ve deneysel kurutma süreleri ile karşılaştırılmıştır. Nümerik çözüm ve sonuçların görsel değerlendirilmesi için MATLAB Versiyon 8 paket programı kullanılmıştır. Ayrıca MATLAB Versiyon 8 ve Ansys 14.0 (Fluent, SAS) paket programları kullanılarak kuramsal konsantrasyon dağılımları saptanmıştır. Bahsi geçen paket programların lisanslı sürümleri Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nde mevcut bulunmaktadır. Ancak projenin yürütüleceği dönem için lisans teknik desteği ve bakım–onarım sözleşmesinin güncellenmesi TÜBİTAK 111 O 347 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir (Yıldız vd., 2013).

Ozmotik kurutmanın azalan hız periyodunda gerçekleştiği dikkate alınarak, kararsız hal kütle transferinin temel mekanizmasının sıvı–katı difüzyonu olduğu kabul edilebilir ve bu mekanizma Fick’in difüzyon modeli ile açıklanabilir. Ürünün homojen, D değerinin nem değişiminden etkilenmediği kabul edilir ve büzüşme ihmal edilirse tek boyutlu difüzyonu ifade eden Fick modeli su kaybı ve çözünür katı kazanımı için aşağıdaki şekli alır.

Su için;

$$\frac{\partial C^w}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C^w}{\partial x^2} \quad (17)$$

$$C^w = \frac{M^w}{M^w + M^s} \quad (18)$$

Çözünür katı için;

$$\frac{\partial C^s}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C^s}{\partial x^2} \quad (19)$$

$$C^s = \frac{M^s}{M^w + M^s} \quad (20)$$

Burada M örnekteki bileşen miktarı (kg bileşen/kg çözelti), C örnekteki konsantrasyon fraksiyonu (kg su/kg, kg çözelti/kg, kg çözünen madde/kg), x difüzyon yolu (m), t süre (s) ve D ise difüzyon katsayısıdır (m^2/s), w su sembolü, s çözünebilen katı sembolüdür.

Matematiksel modellerle zamana bağılı olarak uzaklaştırılan su ve kazanılan katı miktarı hesaplanmaktadır. Modellerin geliştirilmesinde şu varsayımlar göz önünde bulundurulmuştur:

1. Elma dilimleri 2 L kalınlığında sonsuz levhadır.
2. Elma dilimindeki su ve çözünebilen katı konsantrasyonları başlangıçta homojendir.
3. Ozmotik çözelti/örnek oranı yeterince yüksek olduğundan dolayı ozmotik çözelti konsantrasyonu sabit kalmaktadır.
4. Efektif difüzyon katsayısı sabittir.
5. Proses izotermaldir.
6. Eş zamanlı ters akım; su elmadan çözeltiye, çözünebilen katı maddeler çözeltiden elmaya difüze olur. Çözeltiye geçen elma dilimine ait çözünenler (şekerler, organik asitler, mineraller, vitaminler vb) ihmal edilir.
7. Elmanın yüzeyinde sınır katmanı gibi şeker çözeltisi filmi oluşur. Film elmanın bir parçası olur, denge konsantrasyonundadır.
8. Büzüşme ihmal edilir.

Ozmotik kurutmada işleminde yeterli karıştırma sağlandığında kütle transfer katsayısının değeri yüksek olacağından dıştaki direnç ihmal edilebilir düzeyde olacaktır. Aşağıdaki başlangıç ve sınır koşullarına göre denklem ilerletilirse, sonsuz düzlem geometrisinde su ve çözünen katı için sırasıyla Denklem (21) ve (22) elde edilir;

$$\begin{array}{llll}
 t = 0, & -L < x < L, & M = M_0 & S = S_0 \\
 t > 0, & x = 0, & dM/dx = 0 & dS/dx = 0 \\
 t > 0, & x = L, & M = M_e & S = S_e
 \end{array}$$

Su için;

$$M_r = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \exp \left[-D_{ev} t q_n^2 \left(\frac{1}{L^2} \right) \right] \quad (21)$$

Burada M_r fraksiyonel nem oranı, M_0 başlangıç nem içeriği, M_e denge nem içeriği, M_t ise t anındaki ürünün nem içeriğidir ve tüm nem içerikleri kuru madde üzerindendir. D_{ev} suyun efektif difüzyon katsayısı (m^2/s) ve L ise yarı kalınlıktır (m).

Çözülebilir katı için;

$$S_r = \frac{S_t - S_e}{S_0 - S_e} = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \exp \left[-D_{es} t q_n^2 \left(\frac{1}{L^2} \right) \right] \quad (22)$$

$$C_n = 2\alpha(1 + \alpha) / (1 + \alpha + \alpha^2 q_n^2)$$

$$\tan q_n = -\alpha q_n$$

S_r çözünür oranı, S_0 başlangıç katı madde içeriği, S_e denge katı madde içeriği, S_t ise t anındaki ürünün katı madde içeriğidir. D_{es} çözünürün efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), q_n denklemin "0" olmayan pozitif kökü, α çözelti hacmin örneğe oranıdır. Kurutma süresi uzun olduğunda serinin sadece ilk terimini almak küçük bir hata ile sonuç verir ve Denklem (23) ve (24) şeklinde düzenlenebilir:

Su için;

$$M_r = \frac{8}{\pi^2} \exp \left(-\frac{\pi^2 D_{ev} t}{4L^2} \right) \quad (23)$$

Çözülebilir katı için;

$$S_r = \frac{8}{\pi^2} \exp \left(-\frac{\pi^2 D_{es} t}{4L^2} \right) \quad (24)$$

Ozmotik kurutmada dış direnci ihmal edilerek iç direnç dikkate alınarak kurutma işleminin temel belirleyeni olarak difüzyon mekanizması incelenebilir. Difüzyon etkisini belirlemek için ise, aynı anda çok farklı mekanizmalarla işleyen difüzyon tek terimle efektif difüzyon katsayısı (D_e) ile ifade edilir. Ürünün

kuruma davranışlarının belirlenmesi açısından D_{ew} ve D_{es} değerinin bulunması oldukça önemlidir. Bu proje çalışmasında ön işlemlerin ozmotik kurutma sırasındaki difüzyon davranışını değiştirip değiştirmediğini belirlemek için efektif difüzyon katsayıları hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

Bunun için $\ln(M_r)$ ve $\ln(S_r)$ değerlerinin zamana bağlı değişimi grafik olarak çizilerek, elde edilen doğruların eğimleri (Denklem 25) ile D_{ew} ve D_{es} değerleri hesaplanmıştır (Erbay and İçier, 2009b):

$$egim = \frac{\pi^2 D_e}{4L^2} \quad (25)$$

3.2.3.2 Simülasyon (AS)

Ozmotik çözelti içindeki elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sonunda su ve katı madde konsantrasyonlarının belirlenmesi için yapılan simülasyon çalışmaları Ansys 14.0 (Fluent) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmasında varsayımlar ve sınır koşulları dikkate alınarak her işlem koşulu için elma dilimlerinin 160 dak ozmotik kurutma süresi sonundaki su ve katı madde içeriği nümerik olarak 2 boyutta incelenmiştir. Simülasyon programı öncelikle geometrinin oluşturulması, nod atılması (mesh atma), konsantrasyon dağılımının belirlenmesi (Fluent) ve sonuçların alınması (results) aşamalarından oluşmaktadır. Simülasyon etkinliğinin artırılması için öncelikle geometrinin karmaşıklık düzeyi ve nod oluşturulması etkinliğinin yüksek olması önemlidir.

Ozmotik kurutma sisteminde geometri kısmında elma dilimi ve glikoz-fruktoz çözeltisi dikkate alınmıştır. Ozmotik kurutulan elma diliminin sonsuz plaka olmasından dolayı konsantrasyon değişimi kalınlık boyunca incelenmiştir. Bu nedenle şeker çözeltisi ve elma dilimi iki boyutta çizilmiştir. 2 boyutta dikdörtgen şeklinde çizilen elma diliminin eni 0.35 cm ve boyu da 5 cm olarak çizilmiştir. Elma diliminin içinde bulunduğu şeker çözeltisi ise çapı 8 cm olan daire şeklinde çizilmiştir. Bu iki şekil X-Y düzleminde birleştirilmiş ve düzlem haline getirilerek ozmotik kurutma sistemi oluşturulmuştur. Geometri kısmı bu şekilde tamamlanmıştır. Nod atma kısmında nod sayısı sürekli artırılarak deneme çözümler yapılmıştır ve çözümün nod sayısından bağımsız olduğu noktada her parametre için çözüm yapılmıştır. Nod atma etkinliğinin istatistiksel olarak kabul edilebilir düzeye getirilmesinin ardından elma dilimlerindeki konsantrasyon dağılımı incelenmiştir. İstatistiksel olarak minimum ortagonal kalite (orthogonal quality) ve maksimum eğrilik (skewness) değerlerine bakılmıştır ve bu değerler

kabul edilebilir düzeydedir. Nod atılırken elma dilimine ve elma diliminin çözeltiyle temas ettiği bölgeye daha fazla nod atılmıştır. Bunun nedeni difüzyon bu bölgelerde gerçekleşmektedir. Nod atma işleminden sonra Fluent'te konsantrasyon dağılımı çözümüne geçilmiştir (Ek-2).

Fluent kısmında öncelikle genel ayarlar yapılmıştır. Model kısmında kütle transferi için 'species transport' seçilmiştir. Elma dilimi ve çözelti tek bir maddeden oluşmadıkları için 'mixture template' adında bir karışım olarak ifade edilmiştir ve sadece 2 (su ve glikoz-fruktoz) maddeden oluştukları varsayılmıştır. Bilindiği üzere elmanın kuru maddesinin % 90-95'i şekerden oluşmaktadır. Mixture template kısmında difüzivite değerinin girilmesi için bir bölüm vardır ve her farklı koşul için suyun difüzyon katsayısı girilerek çözüm yaptırılmıştır. Elma dilimi için hücre bölgesi koşullarında 'porous formulation' kısmında fiziksel hız seçilmiştir. Elma porous (gözenekli) bir yapı olarak düşünülmüş ve porozite değeri girilmiştir. Yüzeysel hız seçilmemiştir. Çünkü difüzyon içeride gerçekleşmektedir ve yüzeyde de taşınımıyla kütle transferine olan direnç ihmal edilmiştir. Elmanın ozmotik kurutma sırasındaki porozitesi literatürden yararlanılarak 0.15 olarak kabul edilmiştir (Krokida and Mavroulis, 1997; Nieto et al., 2004). Glikoz-fruktoz çözeltisi için hücre bölgesi koşullarında çözeltinin su konsantrasyonu % 60 (w/w) ve sabit kabul edilmiştir. Projede örnek/çözelti oranı 1/15 olduğu için matematiksel model kurulumunda çözelti konsantrasyonunun değişmeyeceği varsayılmıştır. Sınır koşullarında ise elma dilimi ve sakkaroz çözeltisinin temas ettiği kısımda, elma diliminin yüzeyi % 60 su konsantrasyonunda kabul edilmiştir. Çözüm başlanmadan önce su konsantrasyonu çözelti için 0.6, elma dilimi için ise her işlem koşulunun deneylerde kullanılan ilgili hammaddenin değeri girilmiştir. Çözüm yapılırken difüzivite değeri, hammadde su konsantrasyonu değeri ve süre girdi olarak tanımlanmıştır.

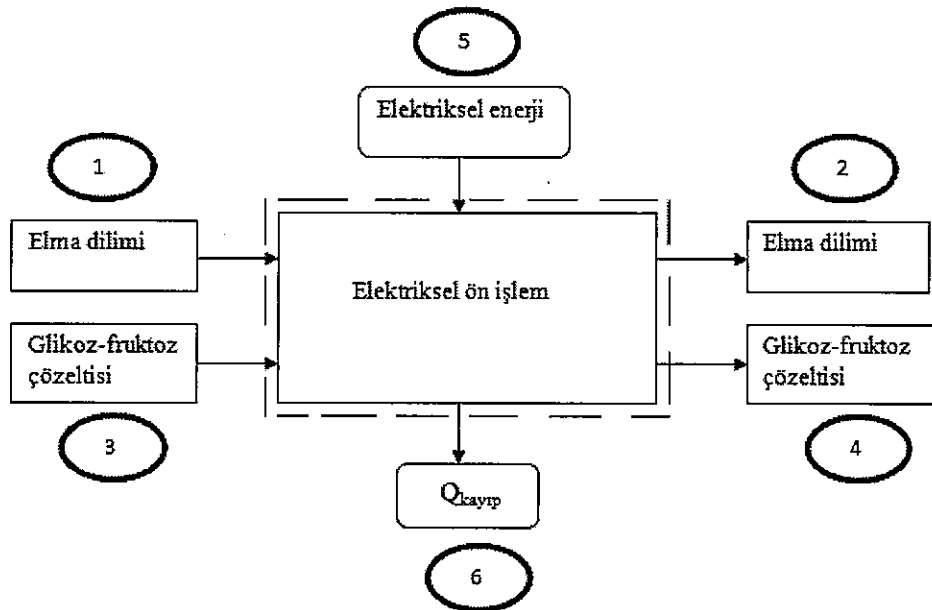
3.2.4 Enerji ve ekserji analizi

Sistemin enerji ve ekserji analizi için kütle, enerji, entropi ve ekserji denge denkliklerinden yararlanılmıştır. Hem elektriksel ön işlem sistemi için hem de ozmotik kurutma sistemi için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır.

Bununla birlikte ön işlemlerin uygulanmasıyla harcanan elektrik enerjisinin ozmotik kurutma süresini kısaltmasıyla sağladığı enerji verimi özgül nem uzaklaştırma oranı (ÖNUO) ve özgül kurutma süresi hesaplanarak incelenmiştir.

3.2.4.1 Elektriksel ön işlemlerin enerjetik ve ekserjetik performans analizi

Sistemin performans analizi için kütle, enerji, entropi ve ekserji denge denklıklarinden yararlanılmıştır. Bu sistemde uygulanan elektriksel ön işlem sürekli sistem olmadığı için ve kısa süre uygulandığı içi elma dilimlerinde çok az sıcaklık artışına neden olmuştur. Sistemde elektriksel ön işlemin elma dilimlerinde neden olduğu ısı oluşumu iletimle ürün içerisinde dağılırken ortam ile de arasında ısı kaybı gerçekleşmiştir. Ekserji analizinin uygulanması amacıyla öncelikle kütle ve enerji denklıkları kurulmuş ardından entropi ve ekserji denklıkları incelenmiştir. Ekserjetik performans katsayılarının tespiti sayesinde temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemlerin ekserjetik verimliliği ve performans değerlendirmesi yapılabilmektedir. Çözelti içinde elektriksel ön işlemde elma dilimleri ile birlikte elektriksel ön işlemin gerçekleştiği glikoz–fruktoz çözeltisi de incelenmiştir. Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlem için incelenen sistem Şekil 3.4’te şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.4 Elektriksel ön işlem uygulanan sistemin şematik gösterimi

Kütle denklilikleri

Elektriksel ön işlemden genel kütle korunumu, kontrol haciminde her bir zaman dilimi baz alarak incelenmiştir (Denklem 26). Temaslı elektriksel ön işlem için Denklem (27), çözelti içinde elektriksel ön işlem için de Denklem (28) kullanılmıştır.

$$\sum \dot{m}_{giriş} = \sum \dot{m}_{çıkış} \quad (26)$$

$$(\dot{m}_{elma})_1 = (\dot{m}_{elma})_2 \quad (27)$$

$$(\dot{m}_{elma})_1 + (\dot{m}_{çöz})_3 = (\dot{m}_{elma})_2 + (\dot{m}_{çöz})_4 \quad (28)$$

Enerji denklilikleri

Elektriksel ön işlemlerin enerjetik performans değerlendirmesini karakterize etmek için sistemdeki genel enerji denkliği Denklem (29)'da verildiği şekilde dikkate alınmıştır (Bozkurt and İçier, 2010).

$$\sum E_{giren} = \sum E_{çıkan} \quad (29)$$

Sisteme elektrik enerjisinin sağladığı ısı ve ön işlem süresince kaybolan ısı dikkate alındığında genel enerji denkliği Denklem (30)'daki gibi düzenlenebilir.

$$\sum E_{giren} + W_{elektrik} = \sum E_{çıkan} + Q_{kayıp} \quad (30)$$

Elektriksel ön işlem süresince sisteme verilen toplam enerji Denklem (31)'de ifade edildiği gibidir.

$$W_{elektrik} = \sum VIt \quad (31)$$

Elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü % 99 olarak düşünüldüğünde Denklem (32) elde edilir.

$$Q_{verilen} = 0.99 \times W_{verilen} \quad (32)$$

Sistemde meydana gelen enerji kaybı temashlı elektriksel ön işlem için Denklem (33)'de çözelti içinde elektriksel ön işlem için de Denklem (34)'de gösterildiği şekilde dikkate alınabilir.

$$Q_{kayıp} = Q_{verilen} + (m_{elma})(h_{elma})_1 - (m_{elma})(h_{elma})_2 \quad (33)$$

$$Q_{kayıp} = Q_{verilen} + (m_{elma})(h_{elma})_1 - (m_{elma})(h_{elma})_2 + (m_{\text{çöz}})(h_{\text{çöz}})_3 - (m_{\text{çöz}})(h_{\text{çöz}})_4 \quad (34)$$

Bütün enerji terimleri dikkate alındığında enerji denkliği Denklem (35)'deki formda yazılabilir.

$$(m_{elma})(h_{elma})_1 + (m_{\text{çöz}})(h_{\text{çöz}})_3 + Q_{verilen} = (m_{elma})(h_{elma})_2 + (m_{\text{çöz}})(h_{\text{çöz}})_4 + Q_{kayıp} \quad (35)$$

Elma diliminin ve glikoz–fruktoz çözeltisinin enerjisi ön işlem öncesinde belirlenen herhangi bir sıcaklıkta Denklem (36) ve Denklem (37) ile; ön işlem sonrası elma dilimi ve glikoz–fruktoz çözeltisinin enerjisi ise Denklem (38) ve Denklem (39) ile hesaplanmıştır.

$$(h_{elma})_1 = (Cp_{elma})_1(T_{elma})_1 \quad (36)$$

$$(h_{elma})_2 = (Cp_{elma})_2(T_{elma})_2 \quad (37)$$

$$(h_{\text{çöz}})_3 = (Cp_{\text{çöz}})_3(T_{\text{çöz}})_3 \quad (38)$$

$$(h_{\text{çöz}})_4 = (Cp_{\text{çöz}})_4(T_{\text{çöz}})_4 \quad (39)$$

Termofiziksel özelliklerin sıcaklığa ve kompozisyona bağlı olarak hesaplanması

Enerji ve ekserji analizinde elmada % 0.3 protein, % 0.4 yağ, % 0.3 mineral, olduğu ve işlem boyunca değişmediği kabul edilmiştir (FAO, 2014). % TKM'si analizlerle belirlenen elmada geriye kalan miktarın su ve karbonhidrat olduğu ve işlem boyunca sadece bu iki miktarda değişimin olduğu varsayılmıştır. Elma ve çözeltideki saf bileşenlerin özgül ısıları Denklem (40) – (44) kullanılarak ($J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) hesaplanmıştır (Heldman and Lund, 2007).

$$C_{p,protein} = 2008 + 1.21 \times T - 0.00131 \times T^2 \quad (40)$$

$$C_{p,yağ} = 1984 + 1.47 \times T - 0.0048 \times T^2 \quad (41)$$

$$C_{p,karbon\ hidrat} = 1549 + 1.96 \times T - 0.00594 \times T^2 \quad (42)$$

$$C_{p,kül} = 1093 + 1.90 \times T - 0.00368 \times T^2 \quad (43)$$

$$C_{p,su} = 4176 - 0.0909 \times T - 0.00547 \times T^2 \quad (44)$$

Ozmotik kurutma öncesi uygulanan ÇEİ'de kullanılan 100 ml çözeltinin ağırlığı bulunurken kullanılan yoğunluk (kg m^{-3}) için Denklem (45) ve (46) kullanılmıştır. Çözeltinin karbondhidrat içeriği % 40 (w/w), geriye kalanı da su olarak kabul edilmiştir (Heldman and Lund, 2007).

$$\rho_{su} = 997.2 + 0.00314 \times T - 0.00376 \times T^2 \quad (45)$$

$$\rho_{karbon\ hidrat} = 1599 - 0.31 \times T \quad (46)$$

Temaslı elektriksel ön işleminin enerji verimliliği (η) Denklem (47) ile, çözelti içinde elektriksel ön işlem için ise Denklem (48) ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{enerji} (\%) = \frac{(m_{elma})(h_{elma})_1}{(m_{elma})(h_{elma})_2 + Q_{verilen}} \quad (47)$$

$$\eta_{enerji} (\%) = \frac{(m_{elma})(h_{elma})_1 + (m_{çöz})(h_{çöz})_3}{(m_{elma})(h_{elma})_2 + (m_{çöz})(h_{çöz})_4 + Q_{verilen}} \quad (48)$$

Entropi denklilikleri

Sistemdeki entropi dengesi Denklem (49)'daki gibi yazılmaktadır.

$$\Delta S = S_{giren} - S_{çıkan} + S_{jenerasyon} \quad (49)$$

Elma dilimlerinin ve glikoz-fruktoz çözeltisinin entropi değişimi Denklem (50) ile hesaplanmıştır.

$$S_{ürün} - S_{referans} = \left(\frac{C_{p,ürün} + C_{p,referans}}{2} \right) \ln \left(\frac{T_{ürün}}{T_0} \right) \quad (50)$$

Denklem (50)'de T_0 referans sıcaklığı (K), $T_{ürün}$ ise ürünün sıcaklığını (K) ifade etmektedir. Bütün hesaplamalarda referans sıcaklık 20 °C, referans basınç 101.325 kPa olarak alınmıştır.

Ekserji denklilikleri

Termodinamiğin ikinci yasasının analizi sonucunda elektriksel ön işlemin sınırlarının giren–çıkan, yıkım ve kayıp ekserjilerini kapsadığı tahmin edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan ekserji eşitliği Denklem (51)'deki gibi düzenlenmiştir (Dinçer and Şahin, 2004).

$$Ex = m \cdot ex \quad (51)$$

Elektriksel ön işlemler için genel ekserji dengesi Denklem (52)'deki gibi yazılabilir (Bozkurt and İçier, 2010).

$$\sum Ex_{giren} + W_{elektrik} = \sum Ex_{çıkan} + \sum Ex_{yıkım} + Ex_{kayıp} \quad (52)$$

Temaslı elektriksel ön işlem için giren, çıkan ve kayıp ekserji terimleri Denklem (53)–(55)'deki gibi yazılabilir.

$$Ex_{giren} = (m_{elma})_1(ex_{elma})_1 + W_{elektrik} \quad (53)$$

$$Ex_{çıkan} = (m_{elma})_2(ex_{elma})_2 \quad (54)$$

$$Ex_{kayıp} = \left(1 - \frac{T_0}{T_b}\right) Q_{kayıp} \quad (55)$$

T_b sistemdeki elektrotların sıcaklığını ifade etmektedir.

Çözelti içinde elektriksel ön işlem için giren, çıkan ve kayıp ekserji terimleri Denklem (56)–(58)'deki gibi yazılabilir.

$$Ex_{giren} = (m_{elma})_1(ex_{elma})_1 + (m_{çöz})_3(ex_{çöz})_3 + W_{elektrik} \quad (56)$$

$$Ex_{çıkan} = (m_{elma})_2(ex_{elma})_2 + (m_{çöz})_4(ex_{çöz})_4 \quad (57)$$

$$Ex_{kayıp} = \left(1 - \frac{T_0}{T_b}\right) Q_{kayıp} \quad (58)$$

Yukarıdaki eşitliklerde kullanılan özgül ekserjiler (ex) entalpi ve entropi değişimi kullanılarak Denklem (59) –(62)'deki gibi hesaplanmıştır.

$$(ex_{elma})_1 = [h_{elma}(T, P)_1 - h_{elma}(T, P)_0] - T_0[s_{elma}(T, P)_1 - s_{elma}(T, P)_0] \quad (59)$$

$$(ex_{elma})_2 = [h_{elma}(T, P)_2 - h_{elma}(T, P)_0] - T_0[s_{elma}(T, P)_2 - s_{elma}(T, P)_0] \quad (60)$$

$$(ex_{\text{çöz}})_3 = [h_{\text{çöz}}(T, P)_3 - h_{\text{çöz}}(T, P)_0] - T_0[s_{\text{çöz}}(T, P)_3 - s_{\text{çöz}}(T, P)_0] \quad (61)$$

$$(ex_{\text{çöz}})_4 = [h_{\text{çöz}}(T, P)_4 - h_{\text{çöz}}(T, P)_0] - T_0[s_{\text{çöz}}(T, P)_4 - s_{\text{çöz}}(T, P)_0] \quad (62)$$

Temaslı elektriksel ön işlem için ekserji yıkımı, başka bir deyişle tersinmezliği, Denklem (63) ile işlemin ekserjetik verimliliği Denklem (64) kullanılarak hesaplanmıştır (Bozkurt ve İçier, 2010).

$$Ex_{\text{yıkım}} = T_0 S_{\text{jenerasyon}} \quad (63)$$

$$\eta_{\text{ekserji}} (\%) = \frac{(m_{elma})_2 (ex_{elma})_2}{(m_{elma})_1 (ex_{elma})_1 + W_{\text{elektrik}}} \quad (64)$$

Çözelti içinde elektriksel ön işlem için ekserji yıkımı, başka bir deyişle tersinmezliği, Denklem (65) ile işlemin ekserjetik verimliliği Denklem (66) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Ex_{\text{yıkım}} = T_0 S_{\text{jenerasyon}} \quad (65)$$

$$\eta_{\text{ekserji}} (\%) = \frac{(m_{elma})_2 (ex_{elma})_2 + (m_{\text{çöz}})_4 (ex_{\text{çöz}})_4}{(m_{elma})_1 (ex_{elma})_1 + (m_{\text{çöz}})_3 (ex_{\text{çöz}})_3 + W_{\text{elektrik}}} \quad (66)$$

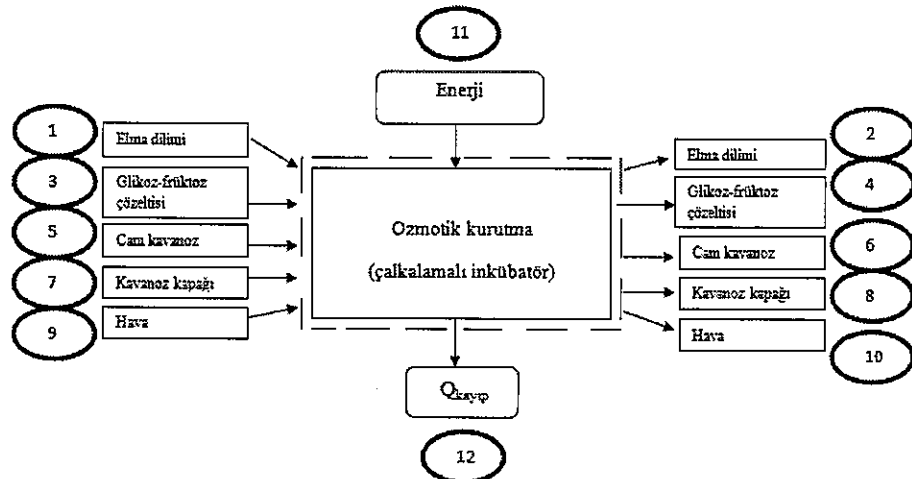
Ekserji analizinin uygulanma amacına göre, uygulandığı işlem veya sistemdeki geliştirme olanaklarını belirlemek açısından geliştirilmiş olan “geliştirme potansiyeli” terimi de Denklem (67) ve Denklem (68)’e göre hesaplanmıştır. (Hammond ve Stapleton, 2001).

$$IP = (1 - n) [(m_{elma})_1 (ex_{elma})_1 + W_{\text{elektrik}}] - (m_{elma})_2 (ex_{elma})_2 \quad (67)$$

$$IP = (1 - n) \left[(m_{elma})_1 (ex_{elma})_1 + (m_{\text{çöz}})_3 (ex_{\text{çöz}})_3 + W_{elektrik} \right] - (m_{elma})_2 (ex_{elma})_2 - (m_{\text{çöz}})_4 (ex_{\text{çöz}})_4 \quad (68)$$

3.2.4.2 Ozmotik kurutmanın enerjetik ve ekserjetik performans analizi

Sistemin performans analizi için kütle, enerji, entropi ve ekserji denge denklıklarinden yararlanılmıştır. Ekserji analizinin uygulanması amacıyla öncelikle kütle ve enerji denklıkları kurulmuş ardından entropi ve ekserji denklıkları incelenmiştir. Ekserjetik performans katsayılarının tespiti sayesinde TEİ VE ÇEİ uygulanan ve uygulanmayan ozmotik kurutmanın ekserjetik verimliliği ve performans değerlendirmesi yapılabilmektedir. Ozmotik kurutma için incelenen sistem Şekil 3.5'te şematik olarak verilmiştir. Sistemin enerji ve ekserji analizinde elma dilimi, glikoz-fruktoz çözeltisi, cam kavanoz, cam kavanoz kapağı ve inkübatör içerisindeki hava dikkate alınmıştır. Ozmotik kurutmadaki ilk 30 dak, ilk sıcaklık değerinden 40 °C'ye ulaşma süresi olarak alınmıştır. Sisteme tüm girenler için oda sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Ozmotik kurutmanın ilk 30 dak'da sıcaklık artışı dikkate alınmış, 30–160 dak süresince sıcaklığın 40 °C'de sabit tutulduğu kabul edilmiştir. Ozmotik işlemin enerji ve ekserji analizi 30 dak ve 30–160 dak arası olacak şekilde incelenmiştir. Bununla birlikte ön işlemlerin etkisinin daha kolay belirlenmesi amacıyla % 30 TKM değerine gelme süreleri için de ekserji analizi yapılarak 30-160 dak arası ekserji analizi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.5 Ozmotik kurutma sisteminin şematik gösterimi

Kütle denklilikleri

Ozmotik kurutmada genel kütle korunumu, kontrol hacimde her bir zaman dilimi baz alarak incelenmiştir (Denklem 26). Ozmotik kurutma için Denklem (69) oluşturulmuştur.

$$(\dot{m}_{elma})_1 + (\dot{m}_{\text{çöz}})_3 + (\dot{m}_{cam})_5 + (\dot{m}_{kapak})_7 + (\dot{m}_{hava})_9 = (\dot{m}_{elma})_2 + (\dot{m}_{\text{çöz}})_4 + (\dot{m}_{cam})_6 + (\dot{m}_{kapak})_8 + (\dot{m}_{hava})_{10} \quad (69)$$

Enerji denklilikleri

Ozmotik kurutmanın enerjetik performans değerlendirmesini karakterize etmek için sistemdeki genel enerji denkliği Denklem (29)'da verildiği şekilde dikkate alınmıştır (Bozkurt and İçier, 2010). Sisteme verilen enerji sağladığı ısı ve ön işlem süresince kaybolan ısı dikkate alındığında genel enerji denkliği Denklem (70)'deki gibi düzenlenebilir.

$$\sum E_{giren} + E_{verilen} = \sum E_{çıkan} + Q_{kayıp} \quad (70)$$

Ozmotik kurutma süresince sisteme verilen toplam enerji Denklem (71)'de ifade edildiği gibidir.

$$E_{verilen} = P \times t \quad (71)$$

P , güç (W) ve t , süreyi (s) ifade etmektedir. Burada P 1000 W olarak kabul edilmiştir.

Sistemde meydana gelen enerji kaybı ozmotik kurutma için Denklem Denklem (72)'de gösterildiği şekilde dikkate alınabilir.

$$Q_{kayıp} = Q_{verilen} + (m_{elma})(h_{elma})_1 - (m_{elma})(h_{elma})_2 + (m_{\text{çöz}})(h_{\text{çöz}})_3 - (m_{\text{çöz}})(h_{\text{çöz}})_4 + (m_{cam})(h_{cam})_5 - (m_{cam})(h_{cam})_6 + (m_{kapak})(h_{kapak})_7 - (m_{kapak})(h_{kapak})_8 + (m_{hava})(h_{hava})_9 - (m_{hava})(h_{hava})_{10} \quad (72)$$

Elma dilimi, glikoz–fruktoz çözeltisi, cam kavanoz, cam kavanoz kapağı ve havanın enerjisi herhangi bir sıcaklıkta Denklem (73) ile hesaplanmıştır.

$$h = C_p \times T \quad (73)$$

Elmanın sıcaklığa bağımlı özgül ısıları Denklem (40)–(44) ile hesaplanmıştır. Sistemde bulunan hava, alüminyum kapak ve cam kavanozların için gerekli özgül ısı değerleri ve diğer özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Havanın yoğunluğu ve özgül ısısı sıcaklık değerine göre literatürden ulaşılmıştır (Geankoplis, 2003). Çalkalamalı inkübatörün de boyutları bilindiği için (0.58×0.525×0.75 m) havanın ağırlığı öngörülmüştür.

Çizelge 3.1 Sistem ekipman özellikleri

Materyal adı	m (kg)	C _p (J/kg°C)
Cam kavanoz (12 adet)	3.36	840
Alüminyum kapak (12 adet)	0.168	896

Ozmotik kurutmanın enerji verimliliği (η) ısıtmanın olduğu ilk 30 dak için Denklem (74) ile, sıcaklık değişiminin olmadığı 30–160 dak arası ve 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi arası enerji verimliliği (η) ise Denklem (75) ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{\text{enerji}} (\%) = \frac{\sum E_{\text{çıkan}} - \sum E_{\text{giren}}}{Q_{\text{verilen}}} \quad (74)$$

$$\eta_{\text{enerji}} (\%) = \frac{\sum E_{\text{giren}}}{\sum E_{\text{giren}} + Q_{\text{verilen}}} \quad (75)$$

Entropi denklilikleri

Sistemdeki entropi dengesi Denklem (49)’daki gibi yazılmaktadır.

Elma dilimleri, glikoz–fruktoz çözeltisi, cam kavanoz, cam kavanoz kapağı ve havanın entropi değişimleri Denklem (50) ile hesaplanmıştır.

Ekserji denklilikleri

Bu çalışmada kullanılan ekserji eşitliği Denklem (51)’deki gibi düzenlenmiştir (Dinçer and Şahin, 2004).

Ozmotik kurutma için genel ekserji dengesi için Denklem (52) kullanılır. Ozmotik kurutma için giren, çıkan ve kayıp ekserji terimleri Denklem (76)–(78)'deki gibi yazılabilir.

$$Ex_{giren} = (m_{elma})_1(ex_{elma})_1 + (m_{\text{çöz}})_3(ex_{\text{çöz}})_3 + (m_{cam})_5(ex_{cam})_5 + (m_{kapak})_7(ex_{kapak})_7 + (m_{hava})_9(ex_{hava})_9 + W_{elektrik} \quad (76)$$

$$Ex_{çikan} = (m_{elma})_2(ex_{elma})_2 + (m_{\text{çöz}})_4(ex_{\text{çöz}})_4 + (m_{cam})_6(ex_{cam})_6 + (m_{kapak})_8(ex_{kapak})_8 + (m_{hava})_{10}(ex_{hava})_{10} \quad (77)$$

$$Ex_{kayıp} = \left(1 - \frac{T_0}{T_b}\right) Q_{kayıp} \quad (78)$$

T_b sistemin sıcaklığını ifade etmektedir.

Yukarıdaki eşitliklerde kullanılan özgül ekserjiler (ex) entalpi ve entropi değişimi kullanılarak Denklem (59)'daki gibi hesaplanmıştır.

Ozmotik kurutma için ekserji yıkımı, başka bir deyişle tersinmezliği, Denklem (79) ile işlemin ekserjetik verimliliği Denklem (80) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Ex_{yıkım} = T_0 S_{jenerasyon} \quad (79)$$

$$\eta_{ekserji} (\%) = \frac{\sum Ex_{çikan}}{\sum Ex_{giren}} \times 100 \quad (80)$$

Ekserji analizinin uygulanma amacına göre, uygulandığı işlem veya sistemdeki geliştirme olanaklarını belirlemek açısından geliştirilmiş olan “geliştirme potansiyeli” terimi de Denklem (81)’e göre hesaplanmıştır. (Hammond and Stapleton, 2001).

$$IP = (1 - n) \left[\sum Ex_{giren} - \sum Ex_{çikan} \right] \quad (81)$$

3.2.4.3 Özgül nem uzaklaştırma oranı (ÖNUO)

Ozmotik kurutmada birim sürede uzaklaştırılan ortalama su kaybının (kg uzaklaşan nem/s), ön işlemleri ile ozmotik kurutma için gerekli toplam enerji miktarlarına oranı özgül nem uzaklaştırma oranı (ÖNUO) olarak tespit edilmiştir

(Denklem 82) (İcier vd., 2008). ÖNUO hesaplanırken ozmotik kurutma süresi olarak % 30 TKM değerine ulaşma süreleri dikkate alınmıştır. Ön işlemler uygulandığında gerekli ek enerji artışının, ozmotik kurutma süresindeki değişikliğe bağlı olarak ozmotik kurutma için gerekli enerji miktarındaki değişime ve birim süredeki nem kaybındaki değişime bağlı olarak ÖNUO değeri değişmektedir. ÖNUO değeri ile işlemlerin verimliliğinin yorumlanması da mümkün olabilmektedir (İcier vd., 2008).

$$\text{Özgül nem uzaklaştırma oranı} = \frac{\dot{M}_w}{Q_T} \text{ (kg nem/J.s)} \quad (82)$$

$\dot{M}_w$ ozmotik işlem sırasında birim sürede uzaklaşan ortalama su miktarını ifade etmektedir (kg/s). Q_T ise ön işlem ve ozmotik kurutma sisteminde gerekli toplam enerji miktarıdır (J) (Denklem 83).

$$Q_T = Q_{on} + Q_{ozmotik} \quad (83)$$

Q_{on} , ön işlemler sırasında gerekli olan toplam enerji miktarını (J), $Q_{ozmotik}$ ise ozmotik kurutma sırasında gerekli olan toplam enerji miktarını (J) ifade etmektedir.

Elektriksel işlem sisteminde, farklı ön işlem koşullarının (Şekil 1) uygulanması sırasında gerekli olan enerji miktarı (Q_{on}), sisteme bağlı mikroişlemci yardımıyla 1 s aralıkla işlem süresince kaydedilen voltaj (V, volt) ve akım (I, amper) değerleri kullanılarak belirlenmiştir (Denklem 84).

$$Q_{on} = \sum V I t \quad (84)$$

Farklı ön işlem koşullarının etkisiyle, değişiklik göstermesi beklenen ozmotik kurutma işlem süreleri (t_d , s) için kurutma sistemindeki çalkalama ve sabit sıcaklıkta tutmak için gerekli olan enerji miktarlarının toplamı Denklem (85) ile hesaplanmıştır;

$$Q_{ozmotik} = P_{\text{çalk+ısıtma}} t_d \quad (85)$$

Bu denklemdeki $P_{\text{çalk+ısıtma}}$, ozmotik kurutma sistemindeki çalkalamalı inkübatörün çalkalama ve ısıtma toplam gücünü ifade etmektedir (W).

3.2.4.4 Özgül kurutma süresi değişimi

Özgül kurutma süresi hesaplanırken ozmotik kurutma süresi olarak % 30 TKM değerine ulaşma süreleri dikkate alınarak Denklem (86)–(88) ile hesaplanmıştır.

$$\text{Özgül kurutma süresi} = \frac{\Delta t}{\Delta Q} \text{ (s/J)} \quad (86)$$

$$\Delta t = t_T - t_{kont} \text{ (s)} \quad (87)$$

$$\Delta Q = Q_T - Q_{kont} \text{ (J)} \quad (88)$$

Bu denklemdeki t_T ön işlem ve ozmotik kurutma için gerekli toplam süre (s), t_{kont} ön işlem uygulanmadan ozmotik kurutma uygulanan örnekler için toplam süre (s), Q_T ön işlem ve ozmotik kurutma için gerekli toplam enerji (J), Q_{kont} ön işlem uygulanmamış ozmotik kurutulmuş örnekler için enerjiyi (J) ifade etmektedir.

Özgül kurutma süresinin artması, birim enerji artışına göre kurutma süresindeki azalışın daha fazla olduğunu belirteceği için ön işlemin sağlayacağı kazancı ifade etmektedir. Farklı ön işlem koşullarının ozmotik kurutma süresi üzerine etkilerinin yanı sıra birim enerji artışına göre sağlayacakları süre kazançları da karşılaştırılmıştır.

3.2.5 İstatistiksel değerlendirme

Bu çalışmada, 9 farklı voltaj gradyanı ve uygulama süresi kombinasyonunda uygulanan temaslı ve çözelti içinde uygulanan elektriksel ön işlemlerin ozmotik kurutmada TKM (%), SÇKM (%), ağırlık değişimi (%), katı kazanımı (%), su kaybı (%), ulaşılan su aktivitesi değerleri ve kütle difüzyon hızları üzerine etkisi incelenmiştir. Bulgular, SPSS 16.0 istatistik paket programı (SPSS, 2007) kullanılarak varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş ve Duncan çoklu karşılaştırma testine göre % 95 güven aralığında değerlendirilmiştir. Model öngörülerinin deneysel verilere uyumluluğu % hata oranı, % hata karelerin ortalama karekökü (RMSE) ve indirgenmiş ki-kare (χ^2 , reduced ki – square) değerlerine göre belirlenmiştir (Erbay and İçier, 2010). Bu değerler Denklem (89)–(91)'deki gibi hesaplanmıştır. MATLAB ve Ansys öngörülerinin uyumluluğu ve

benzerliği için SPSS 16.0 istatistik paket programı (SPSS, 2007) kullanılarak % 95 güven aralığında t testi uygulanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_c - V_e)^2} \quad (89)$$

$$R^2 = \frac{\sum (V_c - V_e)^2}{N - n} \quad (90)$$

$$\% \text{ Hata} = 100 \frac{(V_c - V_e)}{V_c} \quad (91)$$

Denklemlerde; V_e deneysel değeri, V_c hesaplanan değeri ifade etmektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, elma dilimlerine direkt temaslı veya çözelti içinde olacak şekilde 9 farklı voltaj gradyanı ve uygulama süresi kombinasyonu işlem koşullarında elektriksel ön işlem uygulanmıştır. Ardından, ön işlem uygulanmamış ve uygulanmış elma dilimlerinin % 40 SÇKM sahip (ağırlıkça) glikoz–fruktoz çözeltisi içerisinde 160 dak süre ile ozmotik kurutulması sırasında kütle aktarımı özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Bu amaçla ozmotik kurutma sırasında meydana gelen TKM (%), SÇKM (%), ağırlık değişimi (%), katı kazanımı (%), su kaybı (%) değişimleri ve ulaşılan su aktivitesi değerleri incelenmiştir. Ön işlem koşullarının kütle difüzivitesi değerlerine etkisi belirlenerek ozmotik kurutmanın modellenmesi aşamasında dikkate alınması sağlanmıştır. Ayrıca ozmotik kurutma sonrası konsantrasyon dağılımı simülasyon sonuçları ile deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Uygulanan elektriksel ön işlemler ile ozmotik kurutma işlemi enerjetik ve ekserjetik olarak da değerlendirilmiş, sistemin geliştirme potansiyeli belirlenmiştir.

4.1 Elektriksel Ön İşlemin Uygulanması Sırasında Elde Edilen Güç ve Sıcaklık Değişimleri

Farklı voltaj gradyanı ve farklı işlem sürelerinde temaslı veya çözelti içinde uygulanan elektriksel ön işlemler sırasında elma dilimlerindeki sıcaklık değişimleri temaslı sıcaklık ölçerler yardımıyla ölçülmüştür.

Çözelti içinde uygulanan elektriksel ön işlemde elma dilimlerinin içerisine yerleştirileceği çözeltinin elektriksel iletkenliğinin elma dilimlerinin elektriksel iletkenliği ile benzer özellikler taşıması amaçlanmıştır. Öncelikle farklı konsantrasyonlarda tuz içeren glikoz–fruktoz (% 40 SÇKM) (ağırlıkça) çözeltilerinin elektriksel iletkenlik değeri ile elma dilimlerinin elektriksel iletkenlik değeri belirlenmiştir. Bu amaçla farklı konsantrasyonda tuz içeren glikoz–fruktoz çözeltisine farklı voltaj gradyanlarında uygulanan elektriksel ön işlem koşullarında akım ve voltaj değişimleri kaydedilmiştir. Çözeltilerdeki akım değişimi için 24 V/cm ve 36 V/cm voltaj gradyanında yapılan bazı ön deneme sonuçları Ek-3’de gösterilmiştir. Beklendiği gibi, tuz oranı arttıkça akım değeri artmıştır (Ek-3). Sabit voltaj gradyanında, temaslı elektriksel ön işlemde elde edilen akım değişimi ile en benzer değişimi veren tuz konsantrasyonunun % 0.004 tuz içeriği olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle çözelti içinde gerçekleştirilecek

elektriksel ön işlemden % 0.004 tuz konsantrasyonuna sahip glikoz–fruktoz çözeltisi (% 40 SÇKM) kullanılmıştır.

Temaslı ve çözelti içinde gerçekleştirilen elektriksel ön işlemlerde elde edilen güç ve elektriksel iletkenlik değişimleri alt başlıklar halinde aşağıda tartışılmıştır.

4.1.1 Temaslı elektriksel ön işlem (TEİ)

Elma dilimine direkt temasla uygulanan elektriksel ön işlem 3 farklı voltaj gradyanında ve 3 farklı işlem süresi kombinasyonunda uygulanmıştır. Bu işlem koşullarında uygulanan güç değerleri, süreye bağlı olarak kaydedilen akım ve voltaj değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). Voltaj ve akım değerlerindeki değişimin ölçüm hassasiyetinin artırılması amacıyla elektrotlar arası mesafe 0.050 m olarak uygulanmış ve ilgili voltaj gradyanlarını sağlayan voltaj değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ayrıca temaslı elektriksel işlem sırasında elma dilimindeki sıcaklık artışları da tespit edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1 TEİ sırasında kaydedilen voltaj, akım, güç ve elektriksel iletkenlik değerleri

Voltaj gradyanı (V/cm)		Elektriksel		
	Voltaj (V)	Akım (A)	Güç (W)	İletkenlik (S/m)
12	60	0.064±0.003	3.7817±0.2317	0.1150±0.0053
24	120	0.084±0.009	10.0994±1.0728	0.0886±0.0094
36	180	0.093±0.026	16.8084±4.6667	0.0722±0.0200

Voltaj gradyanının elektriksel iletkenlik (EC) ve güç üzerine etkili olduğu ($p<0.05$) tespit edilmiştir. 12 V/cm voltaj gradyanındaki elektriksel iletkenlik değerinin diğer voltaj gradyanlarındaki değerlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Aynı işlem süresi için voltaj gradyanı arttıkça uygulanan güç değeri artmıştır ($p<0.05$) (Ek-4).

Voltaj gradyanı, elektriksel işlem süresi ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin sıcaklık değişimi üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Genel olarak değerlendirildiğinde voltaj gradyanı ve elektriksel işlem süresi arttıkça sıcaklık değişimi artmıştır ($p<0.05$) (Ek-5). Uygulanan işlem koşullarında gerçekleşen sıcaklık artışı değerlerinin

1.1°C'nin altında olması nedeniyle, bu çalışmada incelenen temaslı elektriksel işlemin ısısal olmayan bir ön işlem olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.2 TEİ sırasında elma dilimlerindeki sıcaklık artışı (T_s-T_i) (°C)

Voltaj gradyanı (V/cm)	İşlem uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
12	0.00±0.00	0.10±0.10	0.17±0.06
24	0.15±0.00	0.23±0.06	0.50±0.10
36	0.23±0.06	0.53±0.25	1.00±0.10

4.1.2 Çözelti içinde uygulanan elektriksel ön işlem (ÇEİ)

Elma dilimine çözelti içinde uygulanan elektriksel ön işlem 3 farklı voltaj gradyanında ve 3 farklı işlem süresi kombinasyonunda uygulanmıştır. Bu işlem koşullarında uygulanan güç değerleri, süreye bağlı olarak kaydedilen akım ve voltaj değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). Voltaj ve akım değerlerindeki değişimin ölçüm hassasiyetinin artırılması amacıyla elektrotlar arası mesafe 0.060 m olarak uygulanmış ve ilgili voltaj gradyanlarını sağlayan voltaj değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. Çözelti içinde elektriksel işlem uygulanırken elma dilimindeki sıcaklık değişimleri de tespit edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.3 ÇEİ sırasında kaydedilen voltaj, akım, güç ve elektriksel iletkenlik değerleri

Voltaj gradyanı		Efektif		
(V/cm)	Voltaj (V)	Akım (A)	Güç (W)	Elektriksel
				İletkenlik (S/m)
12	72	0.064±0.001	4.5735±0.0407	0.1280±0.0011
24	144	0.078±0.015	11.1952±2.3116	0.0829±0.0175
36	216	0.108±0.001	23.3326±0.3091	0.0736±0.0008

Voltaj gradyanının elektriksel iletkenlik ve güç üzerine etkili olduğu ($p<0.05$) tespit edilmiştir. 36 V/cm voltaj gradyanındaki akımın diğer voltaj gradyanlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Voltaj gradyanı arttıkça güç değeri artmıştır ($p<0.05$). 12 V/cm voltaj gradyanındaki elektriksel iletkenlik değerinin diğer voltaj gradyanlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Ek-6).

Çizelge 4.4 ÇEİ sırasında elma dilimlerindeki ortalama sıcaklık değişimi (T_s-T_i) (°C)

Voltaj gradyanı (V/cm)	İşlem uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
12	0.00±0.00	0.10±0.10	0.17±0.06
24	0.10±0.00	0.17±0.06	0.30±0.10
36	0.17±0.06	0.37±0.12	0.63±0.12

Sıcaklık değişimi üzerine voltaj gradyanı, elektriksel işlem süresi ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin etkili olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde voltaj gradyanı ve elektriksel işlem süresi arttıkça sıcaklık değişimi artmıştır ($p<0.05$) (Ek-7). Uygulanan işlem koşullarında gerçekleşen sıcaklık artışı değerlerinin 1.1 °C'nin altında olması nedeniyle, bu çalışmada incelenen çözelti içinde elektriksel işlemin ısısal olmayan bir ön işlem olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

4.1.3 Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemlerin karşılaştırılması

Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemler sırasında elde edilen sonuçlara göre elektriksel iletkenlik değerlerinin birbirine benzer olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$) (Ek-8). Bu çalışmada elde edilen elektriksel iletkenlik değerlerine benzer değerlerin elde edildiği Sarang et al. (2008)'in yaptıkları bir çalışmada 25 °C'de elmaların elektiksel iletkenliğini 0.067 S/m olarak tespit etmişlerdir. Ohmik ısıtma sırasında sıcaklığın artmasıyla aynı voltaj gradyanlarında elektriksel iletkenlik değerinin arttığını tespit etmişlerdir. Uyguladıkları voltaj gradyanı 19–25 V/cm aralığıdır. Bu çalışmada her iki uygulama yönteminde de voltaj gradyanının artmasıyla elektriksel iletkenlik değerinin azaldığı belirlenmiştir. Uygulanan elektriksel ön işlemler sırasında sıcaklığın sabit olmasının ve voltaj gradyanının artmasına bağlı olarak uygulanan voltaj ve akım değerlerinin yüksek olmasının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. ÇEİ uygulamasında uygulanan elektrik enerjisinin TEİ'de uygulanan elektrik enerjisi ile 12 V/cm ve 24 V/cm voltaj gradyanlarında birbirine yakın olduğu ($p>0.05$), 36 V/cm voltaj gradyanında ise ÇEİ'nin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. ($p<0.05$) (Ek-8). ÇEİ işleminde elektrotlar arası mesafenin daha yüksek olması nedeniyle daha yüksek voltaj uygulanmıştır. Bu nedenle daha fazla elektrik enerjisi verilmiştir. Temaslı ve çözelti içinde elektriksel işlemde kaydedilen sıcaklıklar değerlendirildiğinde, sıcaklık değişiminin 12 V/cm voltaj

gradyanı için aynı ($p>0.05$), 24 V/cm ve 36 V/cm voltaj gradyanları için ise ÇEİ'de daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Ek-9). Bununla birlikte, sıcaklık değişiminin 1.1 °C'den az olduğu, voltaj gradyanı ve elektriksel işlem süresinin artmasıyla sıcaklığın değişiminin arttığı tespit edilmiştir.

4.2 Elektriksel Ön İşlemin Kütle Transferine Üzerine Etkilerinin Deneysel İncelenmesi

TEİ/ÇEİ ön işlemleri uygulandıktan sonra ozmotik kurutmaya bırakılan ve ön işlem uygulanmadan ozmotik kurutulmaya bırakılan (kontrol grubu) elma dilimlerinin 0 dak – 160 dak aralığında ozmotik kurutulması süresince 30. dak, 60. dak, 90. dak, 120. dak, 140. dak ve 160. dak'da örnek alınarak TKM (%), SÇKM (%), ağırlık değişimi (%) (WR), katı kazanımı (%), su kaybı (%) değerlerindeki değişim incelenmiştir. 160 dak ozmotik kurutma süresi sonundaki su aktivitesi (aw) değerleri tespit edilmiştir.

4.2.1 Toplam kuru madde değişimi üzerine etkileri

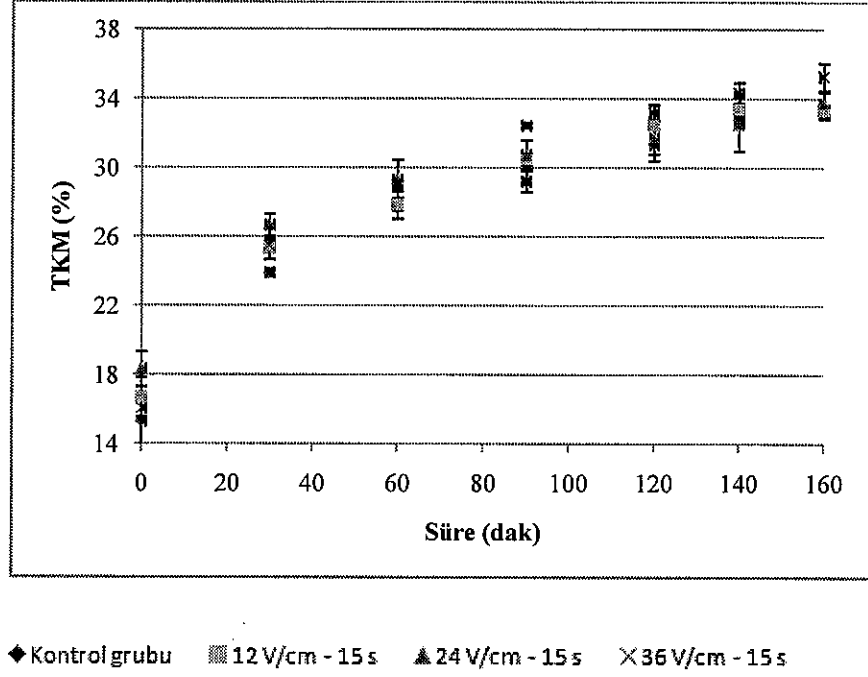
Elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında % TKM değişimi üzerine temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemlerin etkisi incelenmiştir. Ön işlem uygulanmamış kontrol grubu için % TKM değişimi Çizelge 4.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Kontrol grubu elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%)

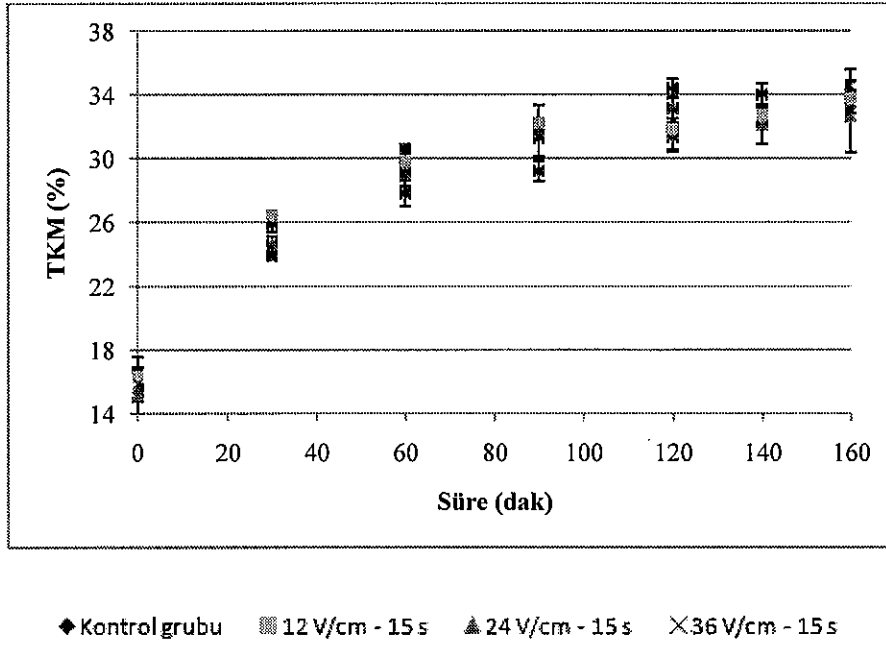
Ozmotik kurutma süresi (dak)	TKM (%)
0 (Hammadde)	15.32±1.36
30	23.92±0.21
60	27.84±0.79
90	29.22±0.62
120	31.35±0.93
140	32.76±0.46
160	33.23±0.36

4.2.1.1 Temashlı elektriksel ön işlem

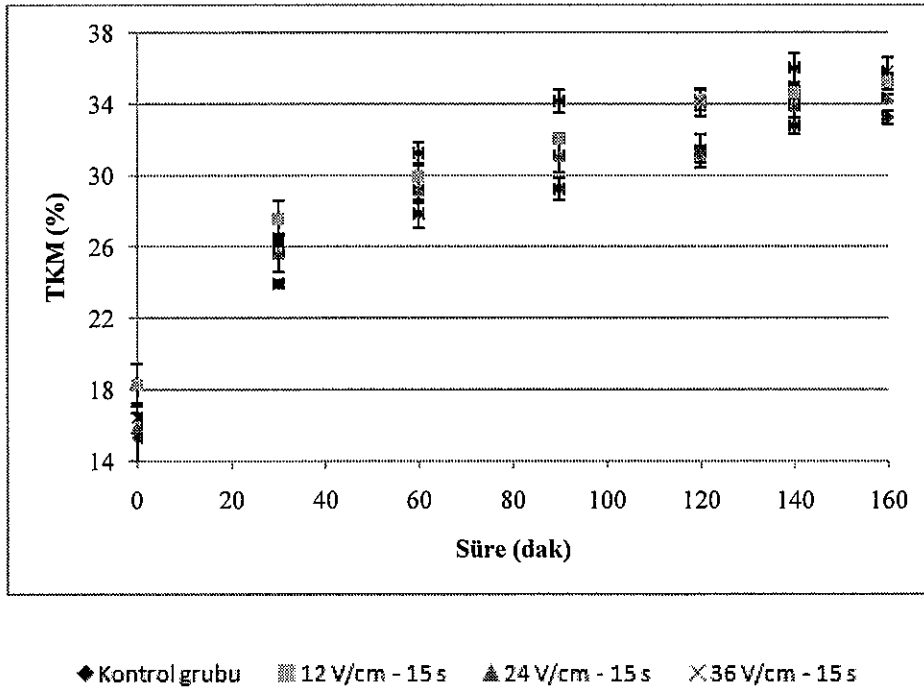
TEİ uygulanan elma dilimlerinin başlangıç toplam kuru madde içeriği ortalama 16.50 ± 1.58 olarak belirlenmiştir. Ozmotik kurutma sırasındaki TKM değişimleri Çizelge 4.6 – 4.8’de verilmiştir. 15 s, 25 s ve 35 s elektriksel işlem sürelerinde tüm voltaj gradyanlarındaki % TKM değişimi kontrol grubuyla birlikte Şekil 4.1 – 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4.1 15 s elektriksel işlem süresinde 12 – 24 – 36 V/cm voltaj TEİ uygulanmış ve kontrol grubu elma dilimlerinde ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) TKM içeriğinin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.2 25 s elektriksel işlem süresinde 12 – 24 – 36 V/cm voltaj gradyanlarında TEİ uygulanmış ve kontrol grubu elma dilimlerinde ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) TKM içeriğinin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.3 35 s elektriksel işlem süresinde 12 – 24 – 36 V/cm voltaj gradyanlarında TEİ uygulanmış ve kontrol grubu elma dilimlerinde ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) TKM içeriğinin zamana bağlı değişimi

Çizelge 4.6 12 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%)

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Elektriksel işlem uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
0 (Hammadde)	16.71±1.14	16.29±1.28	18.26±1.19
30	25.35±0.65	26.37±0.39	27.53±1.05
60	27.88±0.37	29.79±0.56	29.93±0.62
90	30.49±0.32	32.19±0.36	32.04±0.27
120	32.48±0.22	31.89±1.31	34.20±0.56
140	33.41±0.37	32.70±0.69	34.63±0.34
160	33.32±0.37	33.78±0.50	35.25±0.44

Çizelge 4.7 24 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%)

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Elektriksel işlem uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
0 (Hammadde)	18.33±1.01	15.20±1.70	15.94±2.21
30	26.70±0.64	24.66±0.50	25.64±1.07
60	29.32±1.16	29.06±0.76	29.16±0.72
90	30.76±0.84	31.70±1.67	31.08±0.93
120	31.73±0.94	33.19±0.66	31.18±0.45
140	32.54±1.57	32.13±1.22	33.89±1.15
160	33.75±0.66	32.65±2.24	34.32±0.20

Çizelge 4.8 36 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%)

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Elektriksel işlem uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
0 (Hammadde)	16.06±0.77	15.86±1.07	16.40±0.83
30	25.48±0.35	25.87±0.48	26.34±0.27
60	29.03±0.24	30.65±0.26	31.24±0.59
90	32.46±0.15	31.29±1.13	34.14±0.65
120	33.23±0.44	34.41±0.60	34.09±0.78
140	34.32±0.62	34.02±0.68	36.02±0.81
160	35.28±0.80	34.58±1.03	35.80±0.81

Yapılan istatistiksel analizlerde ozmotik kurutma sırasında TKM içeriğindeki değişim üzerine voltaj gradyanının, elektriksel ön işlem süresinin, ozmotik kurutma süresinin ve tüm etkileşimlerin etkilerinin önemli olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir (Ek-10). Ozmotik kurutma süresi arttıkça TKM değerinin

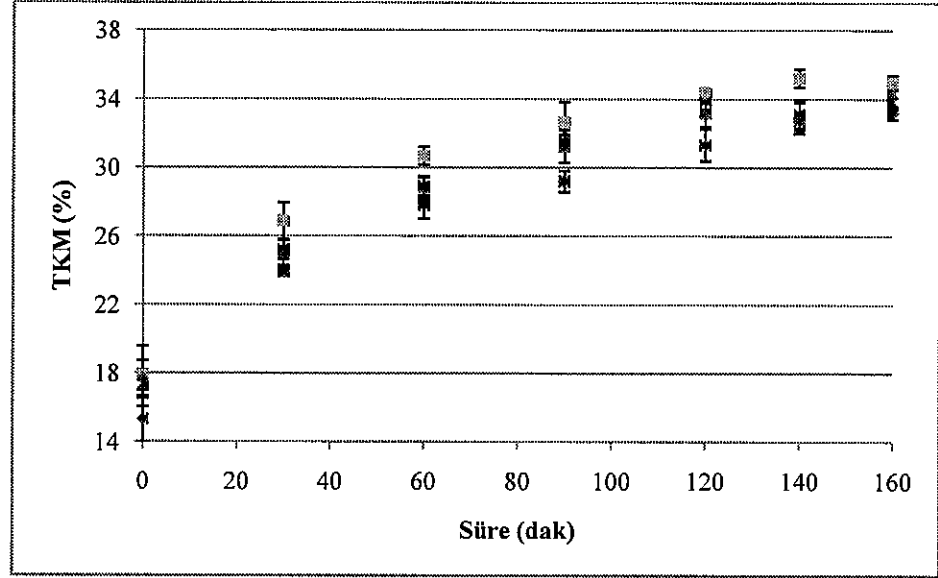
arttığı tespit edilmiştir ($p<0.05$). Genel olarak değerlendirildiğinde, Duncan karşılaştırma testine göre en yüksek TKM değişimi değeri 36 V/cm voltaj gradyanında tespit edilmiştir. 24 V/cm ve 12 V/cm voltaj gradyanlarındaki TKM değişiminin birbirinden farklı olmadığı ($p>0.05$), kontrol grubundan yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). İşlem süresinin etkisi açısından değerlendirildiğinde ise en yüksek TKM değişimi değeri 35 s elektriksel işlem süresinde tespit edilmiştir. 15 s ve 25 s elektriksel işlem süresindeki TKM değişiminin birbirinden farklı olmadığı ($p>0.05$), kontrol grubundan yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Şekil 4.1 – 4.2 – 4.3 incelendiğinde, ilk 90 dak boyunca en düşük TKM değerlerinin kontrol grubuna ait olduğu görülmektedir. Buna göre elektriksel ön işlemin ozmotik kurutma hızını arttırdığı şeklinde yorumlanabilir. Bununla birlikte kontrol grubunun daha geç % 30 TKM değerine ulaştığı görülmektedir. En yüksek % TKM değerine ise 36 V/cm voltaj gradyanında ulaşıldığı tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle, 36 V/cm’lik bir elektriksel işlemle 160 dak sonunda daha yüksek TKM değerine sahip elma dilimleri üretilenmiştir.

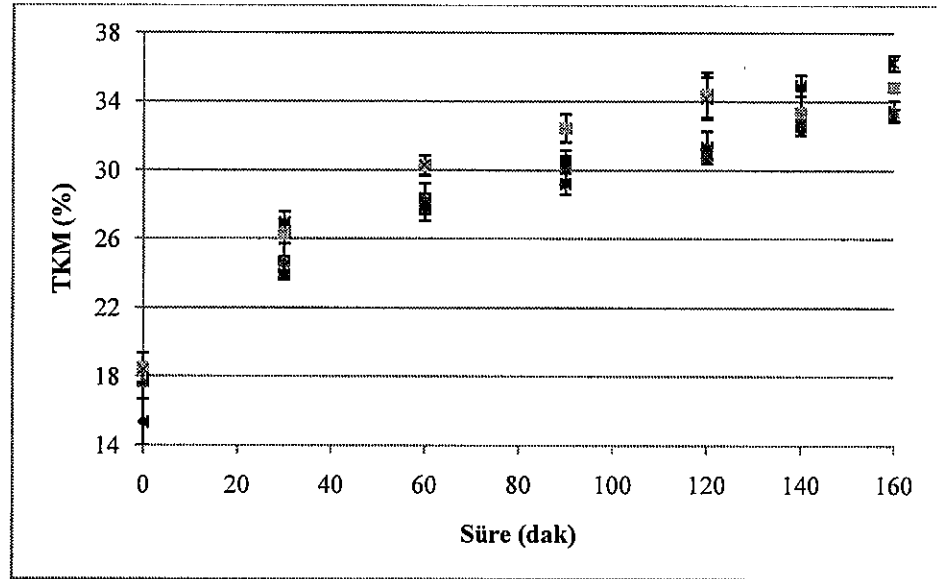
Uygulanan voltaj gradyanı ve elektriksel işlem süresi aralığında voltaj gradyanının yükselmesi ve elektriksel işlem süresinin artmasıyla hücre geçirgenliği artmıştır. Başka bir deyişle, TEİ işlemi, elma dilimleri ile çözelti arasında gerçekleşen kütle transfer hızını artırarak % TKM değerinin artmasını sağlamıştır. Bu sonuç önceki çalışmalarla uyumludur. Literatürde yapılan çalışmalarda temaslı olarak uygulanan elektriksel ön işlemlerin kütle transferini arttırarak istenilen % TKM değerine daha hızlı ulaşılmasını sağladığı tespit edilmiştir (Yıldız vd., 2012; İçier vd., 2013). Bu tez çalışmasında 3 farklı voltaj gradyanı ve 3 farklı elektriksel ön işlem süresinde uygulanan temaslı elektriksel ön işlemin % TKM üzerine etkisi incelenmiş ve kütle transfer hızını arttırdığı belirlenmiştir.

4.2.1.2 Çözelti içinde elektriksel ön işlem

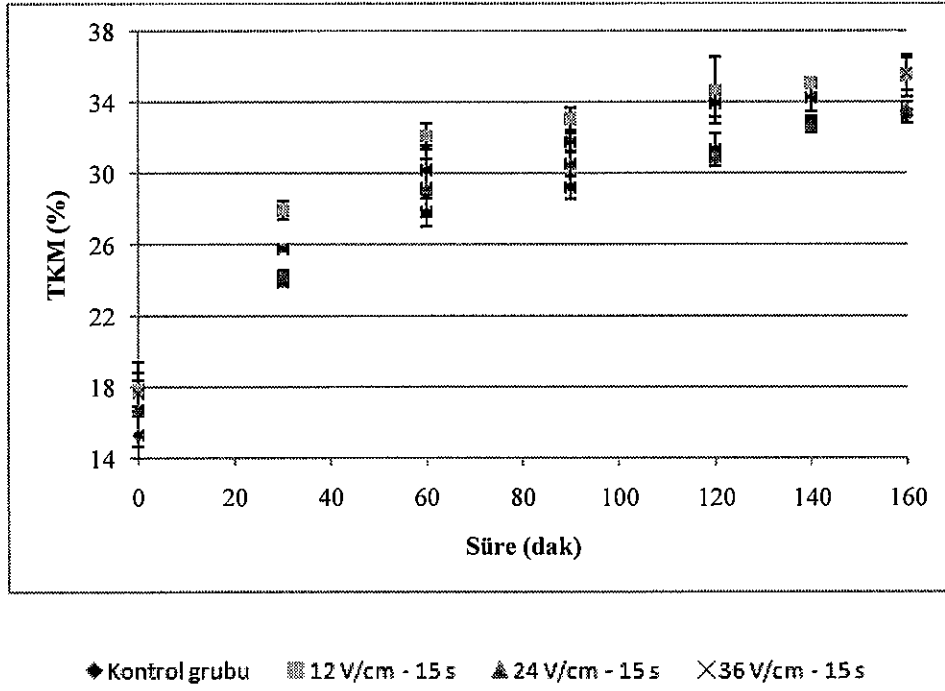
ÇEİ uygulanan elma dilimlerinin başlangıç toplam kuru madde içeriği ortalama 17.45 ± 1.54 olarak belirlenmiştir. Ozmotik kurutma sırasındaki TKM değişimleri Çizelge 4.9 – 4.11’de verilmiştir. 15 s, 25 s ve 35 s elektriksel işlem sürelerinde tüm voltaj gradyanlarındaki % TKM değişimi kontrol grubuyla birlikte Şekil 4.4 – 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.4 15 s elektriksel işlem süresinde 12 – 24 – 36 V/cm voltaj gradyanlarında ÇEİ uygulanmış ve kontrol grubu elma dilimlerinde ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) TKM içeriğinin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.5 25 s elektriksel işlem süresinde 12 – 24 – 36 V/cm voltaj gradyanlarında ÇEİ uygulanmış ve kontrol grubu elma dilimlerinde ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) TKM içeriğinin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.6 35 s elektriksel işlem süresinde 12 – 24 – 36 V/cm voltaj gradyanlarında ÇEİ uygulanmış ve kontrol grubu elma dilimlerinde ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) TKM içeriğinin zamana bağlı değişimi

Çizelge 4.9 12 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%)

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Elektriksel işlem uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
0 (Hammadde)	17.87±0.88	18.49±0.87	17.91±1.49
30	26.88±1.11	26.27±1.29	27.95±0.52
60	30.71±0.51	30.28±0.59	32.11±0.72
90	32.64±1.21	32.45±0.81	33.08±0.63
120	34.36±0.07	34.39±1.30	34.68±1.88
140	35.25±0.51	33.38±1.31	35.06±0.15
160	34.99±0.41	34.87±0.25	35.50±1.18

Çizelge 4.10 24 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%)

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Elektriksel işlem uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
0 (Hammadde)	18.33±1.01	15.20±1.70	15.94±2.21
30	26.70±0.64	24.66±0.50	25.64±1.07
60	29.32±1.16	29.06±0.76	29.16±0.72
90	30.76±0.84	31.70±1.67	31.08±0.93
120	31.73±0.94	33.19±0.66	31.18±0.45
140	32.54±1.57	32.13±1.22	33.89±1.15
160	33.75±0.66	32.65±2.24	34.32±0.20

Çizelge 4.11 36 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca belirlenen TKM içerikleri (%)

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Elektriksel işlem uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
0 (Hammadde)	17.36±0.83	18.43±0.91	17.66±0.73
30	25.24±0.56	26.95±0.14	25.79±0.10
60	28.91±0.53	30.28±0.56	30.21±1.38
90	31.54±0.43	30.56±0.29	31.79±0.50
120	33.92±0.50	34.21±1.24	33.95±0.74
140	33.11±0.90	34.93±0.61	34.28±0.76
160	33.91±0.67	36.28±0.45	35.60±0.91

Yapılan istatistiksel analizlerde (Ek-11) ozmotik kurutma sırasında TKM içeriğindeki değişim üzerine voltaj gradyanının, voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi ve voltaj gradyanı×ozmotik kurutma süresi etkileşimlerinin etkilerinin önemli olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir. TEİ'deki sonuçlara benzer şekilde, ozmotik kurutma süresi arttıkça TKM'nin arttığı tespit edilmiştir ($p<0.05$). Genel olarak değerlendirildiğinde, Duncan karşılaştırma testine göre en yüksek TKM değişimi değeri 12 V/cm voltaj gradyanında tespit edilmiştir. 36 V/cm voltaj gradyanındaki TKM değişiminin 24 V/cm'den yüksek olduğu ve en düşük TKM değişiminin kontrol grubunda olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). İşlem sürelerinin etkisi açısından incelendiğinde, 15 s, 25 s ve 35 s'deki TKM değişimlerinin kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). 15 s elektriksel işlem süresinde ilk 30 dak'da 12 V/cm'de daha yüksek % TKM değerlerine ulaşıldığı tespit edilmiştir. ÇEİ yöntemi uygulanan tüm elma dilimlerinde 90 dak'da % 30 TKM değerine ulaşıldığı ancak kontrol grubunda daha uzun sürede ulaşıldığı

görülmektedir. En yüksek % TKM değerine 36 V/cm 25 s'de ulaşılmıştır. ÇEİ işlemi belirlenen voltaj gradyanı ve elektriksel işlem süresi aralığında hücre geçirgenliğini artırarak kütle transfer hızını arttırmıştır. Belirlenen voltaj gradyanı aralığında en düşük voltaj gradyanında (12 V/cm) en yüksek kütle transfer hızı tespit edilmiştir. 36 V/cm ve 24 V/cm voltaj gradyanlarının etkisinin daha düşük olmasının nedeninin işlemin çözelti içinde gerçekleştirilmesi sebebiyle elma ve çözeltiden geçen akımın homojenliğinin voltaj gradyanı ve sürenin artmasıyla kaybedilmesi olduğu düşünülmektedir. Literatürde ozmotik kurutma öncesi çözelti içinde elektriksel ön işlem uygulamasının yapılmaması sebebiyle karşılaştırma yapılamamaktadır. Ancak uygulanan temaslı elektriksel ön işlemlerde (Yıldız vd., 2012; İçier vd., 2013) elde edilen sonuçlara benzer olarak ÇEİ'nin kütle transferini hızlandırdığı ve ozmotik kurutma süresini kısalttığı belirlenmiştir. Bunun sebebinin elektriksel işlemin elektroporasyon etkisi sebebiyle elmaların doku, hücre duvarı ve mikroyapılarında meydana getirdiği etki (Moreno et al., 2011a) olduğu düşünülmektedir. Bu etkiyi ÇEİ ürüne temas etmeden düşük voltaj gradyanlarında ve kısa elektriksel işlem süresi ile sağlamıştır.

4.2.1.3 Temaslı elektriksel ön işlem ve çözelti içinde elektriksel ön işlemin % TKM üzerine etkisinin karşılaştırılması

Temaslı elektriksel ön işlemde 36 V/cm ile en yüksek % TKM değerlerine ulaşılırken çözelti içinde elektriksel ön işlemle 12 V/cm ile ulaşılmıştır. Temaslı elektriksel ön işlemde 35 s elektriksel ön işlem uygulanarak en yüksek TKM değerlerine ulaşılırken çözelti içinde elektriksel ön işlemde süreler arasında fark olmadığı tespit edilmiştir. Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, % 30 TKM'ye ön işlemler uygulanarak daha kısa sürede ulaşılmıştır. Başka bir deyişle sıcaklık artışına sebep olmadan uygulanabilen her iki ön işlemin de ozmotik kurutma hızını arttırdığı belirlenmiştir. Uygulanan elektriksel ön işlemler elma dokularında kütle transfer hızını artırmıştır. Hücre dokularına zarar vererek kütle geçişini kolaylaştırmıştır (Ade Omowaye et al., 2001, Allali et al., 2010b). Hücre dokularına olan bu etki TEİ işleminde voltaj gradyanı arttıkça artmıştır. Ancak bu etki ÇEİ işleminde çalışılan voltaj gradyanı aralığında en düşük voltaj gradyanında gerçekleşmiştir. Ozmotik kurutma süresi arttıkça su kaybı ve katı kazanımının artmasıyla % TKM değerleri artmıştır. Bu sonuçlar daha önceki araştırmalarla benzerlik göstermektedir (Chenlo et al., 2007; Mena et al., 2007; Nieto et al., 2004; Derossi et al., 2008; Porciuncula et al., 2013)

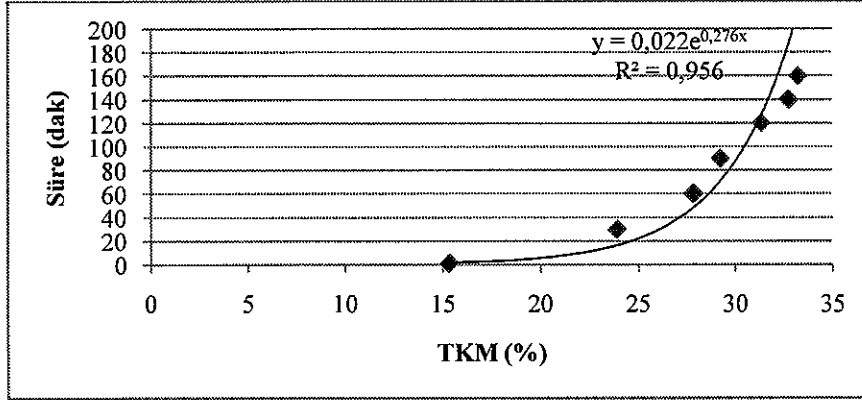
Literatüre bakıldığında yapılan çalışmalarda elektriksel ön işlemin kurutma hızını arttırdığı görülmektedir (Allali et al., 2010a;b). Ancak bu çalışmalarda elektriksel ön işlemin sıcaklık artışına sebep olarak elektriksel ve termal etkilerinin kombinasyonu ile hücrelere hasar vererek meyvelerin ozmotik dehidrasyonu sırasında su ve şeker transferini hızlandırması olduğu belirtilmiştir. Allali et al. (2010a), çileklerin ozmotik dehidrasyonun kinetiği üzerine ohmik ısıtmanın etkisini araştırmıştır. Söz konusu çalışmada ohmik ısıtma parametreleri 65 ve 85 °C, ozmotik dehidrasyon parametreleri 26 ve 37 °C, ozmotik çözelti 30 – 70 °Briks'tir. Sonuçlar ohmik ısıtmanın kütle transferi ve efektif difüzyon oranını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Ohmik ısıtma uygulanmaksızın 37 °C ve 70 °Briks sakkaroz çözeltisinde 4 saat bekletilen çileklerin kuru madde oranı % 20.3 iken, 85 °C'de 3 dak ohmik ısıtma ve sonrasında ozmotik kurutma uygulandığında kuru madde oranı % 68'e ulaşmıştır. Benzer şekilde, Allali et al. (2010b), elma küplerinin ozmotik dehidrasyonunda kütle transferi üzerine sitrik asitin etkisini ohmik ısıtma ve vakum pulsu ön işlemleriyle ve ön işlemsiz olarak incelemişlerdir. Vakum pulsu ve ohmik ısıtmanın uygulanmasının elma dokularında ciddi değişikliğe yol açtığı belirlenmiştir. Vakum pulsu ve ohmik ısıtma uygulanarak su kaybının arttığı belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında ise uygulanan elektriksel ön işlemler ısıtma amaçlı olmadığı için, kütle transfer hızını ısısal olmayan etkiyle artırdığı tespit edilmiştir.

Matusek et al. (2008), elma küplerinin (10×10×10 mm) ozmotik kurutulması üzerine farklı çeşitte ve konsantrasyonlarda çözeltilerin etkisini incelemişlerdir. Çözelti olarak fruktooligosakkaritler ve sakkaroz kullanmışlardır. Çözelti konsantrasyonu % 40–60 (w/v), ozmotik kurutma sıcaklığı 40–60°C ve kurutma süresi de 20–40 dak olarak uygulanmıştır. % 40 sakkaroz çözeltisi içeren çözelti kullanıldığında elma küpleri 40 dak'da % 27 TKM değerine ulaşırken, fruktooligosakkarit çözeltisi kullanıldığında ise % 25 TKM değerine ulaşmıştır. Bu çalışmada da % 40 glikoz-fruktoz çözeltisi kullanılmış ve bu TKM değerlerine 30–60 dak arasında ulaşılmıştır.

4.2.2 Eşik TKM (%30) değerine ulaşma süresi üzerine etkileri

Ön işlemlerin etkisinin belirlenmesi için farklı işlem koşullarında işlem gören elma dilimlerinin % 30 TKM değerine gelme süreleri karşılaştırılmıştır. Hesaplama yapılırken ilgili örnekler için hammaddelerinin başlangıç TKM değerleri de dikkate alınmış olup farklı ozmotik kurutma sürelerinde belirlenen deneysel % TKM değerleri kullanılmıştır. Kontrol grubu için % 30 TKM değerine

gelme süresi 87.46 ± 4.18 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.7). TEİ ve ÇEİ ön işlem uygulanan elma dilimlerinin % 30 TKM değerine ulaşma süreleri de kontrol grubu için uygulanan yöntem ile hesaplanmıştır (Çizelge 4.12).



Şekil 4.7 Kontrol grubu için ozmotik kurutma süresince TKM (%) değerinin süre ile değişim ilişkisi

Çizelge 4.12 Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlem uygulanan elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında % 30 TKM değerine ulaşma süreleri

Voltaj gradyanı	Elektriksel işlem uygulama süresi (s)	% 30 TKM değerine ulaşma süreleri (dak)	
		TEİ	ÇEİ
12	15	70.65±5.12	41.70±5.89
	25	65.22±6.37	41.52±4.36
	35	42.86±5.87	36.49±7.63
24	15	54.45±6.63	61.87±7.39
	25	62.84±9.53	73.61±7.98
	35	61.80±6.23	72.65±9.29
36	15	53.80±5.09	59.35±6.79
	25	48.38±4.89	43.56±5.52
	35	40.29±5.31	48.15±6.44

Yapılan istatistiksel analiz sonucunda, % 30 TKM değerine ulaşma süresi üzerine voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin ve elektriksel işlem süresinin etkili olmadığı ($p>0.05$), ancak voltaj gradyanının etkili olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir (Ek-12-13). % 30 TKM değerine ulaşma süreleri karşılaştırıldığında en kısa süre ÇEİ için 12 V/cm voltaj gradyanında elde edilirken, TEİ için 36 V/cm voltaj gradyanında tespit edilmiştir ($p<0.05$). ÇEİ’de

12 V/cm'den daha yüksek voltaj gradyanlarında çözeltilerin sıcaklığı daha kısa sürede artmış ve dolayısıyla elektriksel iletkenliklerinin de elma dilimlerine kıyasla daha hızlı artmasına neden olmuştur. Elma dilimlerinde yapılan sıcaklık ölçümleri incelendiğinde 24 V/cm ve 36 V/cm voltaj gradyanlarında TEİ uygulanan elma dilimlerinin sıcaklık değişimleri ÇEİ uygulanan elma dilimlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Ek-9) (Bkz. Çizelge 4.2 ve 4.4). Bununla birlikte TEİ ve ÇEİ uygulanan elma dilimlerinden geçen akım değerlerinin aynı olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$) (Ek-8). Bu durum akımın ağırlıklı olarak elma dilimleri yerine çözeltiden geçmesine neden olmaktadır. 12 V/cm voltaj gradyanında ise ihmal edilebilir düzeyde sıcaklık artışı olduğu için bu durum gerçekleşmemiş olabilmektedir. Bu nedenle yüksek voltaj gradyanlarının kütle aktarımı hızı üzerine etkisinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bütün elektriksel ön işlemlerde hesaplanan % 30 TKM'ye ulaşma sürelerinin kontrol grubundan daha kısa olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

İçier vd. (2013), ayvanın ozmotik kurutulmasına elektriksel ve ultrasonik ön işlemlerin etkisini incelemişlerdir. Uygulanan elektriksel ön işlem 60 V/cm voltaj gradyanında 15 s'dir. Ozmotik kurutma çözeltisi olarak % 50 (w/w) sakkaroz çözeltisi kullanılmıştır. Elektriksel ön işlem uygulanmış ayva dilimlerinin 240 dak'da, ultrasonik ön işlem uygulanmış ve kontrol grubu örneklerinin 300 dak'da % 40 TKM değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Uygulanan elektriksel ön işlem kütle transfer hızını arttırarak katı kazanımı ve su kaybını arttırmıştır. Bu tez çalışmasında da bu çalışmaya benzer olarak düşük voltaj gradyanı ve sürede elektriksel ön işlem uygulanmış ve elektriksel ön işlem uygulanmış elma dilimlerinin daha kısa sürede % 30 TKM değerine ulaştığı belirlenmiştir.

4.2.3 Suda çözünür kuru madde değişimi üzerine etkileri

Elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında % SÇKM değişimi üzerine TEİ ve ÇEİ elektriksel ön işlemlerin etkisi incelenmiştir. Ozmotik kurutma boyunca 0-160 dak aralığında 30. dak, 60. dak, 90. dak, 120. dak, 140. dak ve 160. dak'da örnek alınarak ozmotik çözeltilerin SÇKM içeriğindeki değişim takip edilmiştir. Ön işlem uygulanmamış kontrol grubu için ozmotik kurutmada sürenin artmasıyla % SÇKM içeriğindeki azalma da artmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13 Elektriksel ön işlem görmemiş (kontrol grubu) elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca SÇKM içeriğindeki azalma (%)

Ozmotik kurutma süresi (dak)	SÇKM içeriğindeki azalma (%)
30	3.16±0.38
60	3.33±0.14
90	4.57±0.38
120	4.57±0.38
140	4.49±0.00
160	5.85±0.38

4.2.3.1 Temaslı elektriksel ön işlem

Temaslı elektriksel ön işlem sonrası uygulanan ozmotik kurutma boyunca çözeltilerin SÇKM içeriğindeki azalma değerleri Çizelge 4.14 – 4.16 ‘da verilmiş ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.14 12 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) SÇKM içeriğindeki azalma (%)

Ozmotik işlem süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
30	3.43±0.14	3.32±0.38	1.75±0.75
60	2.92±0.38	3.65±0.14	2.41±0.14
90	3.59±0.14	4.15±0.14	2.33±0.29
120	3.84±0.14	4.06±0.14	2.91±0.14
140	4.09±0.14	3.73±0.25	3.66±0.38
160	4.68±0.38	3.90±0.38	3.82±0.14

Yapılan istatistiksel analizlerde (Ek-14), ozmotik kurutma sırasında çözeltideki SÇKM içeriğindeki değişim üzerine elektriksel ön işlem süresi×ozmotik kurutma süresi etkileşimi hariç voltaj gradyanının, elektriksel işlem süresinin, ozmotik kurutma süresinin ve diğer tüm etkileşimlerin önemli olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir. Ozmotik kurutma süresi arttıkça çözeltideki SÇKM değişimi artmıştır ($p<0.05$). Bunun nedeninin ozmotik kurutma süresi boyunca elma ve çözelti arasındaki su ve katı madde geçişinin artması olduğu düşünülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde en düşük SÇKM değişiminin 12 V/cm voltaj gradyanında olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Kontrol grubu, 24

V/cm ve 36 V/cm işlemlerindeki SÇKM değişimlerinin birbirinden farklı olmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir. Ön işlem süresinin etkisi açısından değerlendirildiğinde ise en yüksek SÇKM değişiminin 15 s elektriksel işlem süresinde olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir.

Kuramsal çalışmada yeterince yüksek hacim oranı varsayımında bulunmak amacıyla örnek/çözelti oranı 1/15 olarak seçilmiş ve % SÇKM değerinin çözelti boyunca değişmediği kabul edilmiştir. Ancak kontrol grubu ve temaslı elektriksel ön işlem uygulanan ozmotik kurutmada kullanılan glikoz-fruktoz çözeltilisinin ozmotik kurutma süresi boyunca % SÇKM değerleri değişmiştir ($p<0.05$). 1/15 oranının bu çalışma koşullarında % SÇKM değerindeki azalışa sebep olması nedeniyle sınırda bir değer olduğu belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda da kullanılan ozmotik kurutma çözeltilerinin konsantrasyonunun ozmotik kurutma boyunca değişmediği kabul edilmiştir (Rastogi et al., 2004b; Kaymak-Ertekin and Sultanoğlu, 2000; Sutar and Gupta, 2007; Khan et al., 2008; Atares et al., 2009; Silva et al., 2014). Yapılan varsayımın geçerliliğini saptamak amacıyla ozmotik kurutma denemelerinde SÇKM değerinin değişiminin incelenmesi önerilmektedir.

Çizelge 4.15 24 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltilinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) SÇKM içeriğindeki azalma (%)

Ozmotik işlem süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
30	3.54±0.14	2.19±0.15	2.92±0.29
60	5.02±0.29	3.11±0.15	3.67±0.38
90	5.35±0.29	4.12±0.15	3.83±0.14
120	5.76±0.51	4.04±0.25	4.00±0.25
140	5.84±0.14	4.29±0.00	4.08±0.52
160	6.01±0.51	4.21±0.15	4.17±0.14

Çizelge 4.16 36 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) SÇKM içeriğindeki azalma (%)

Ozmotik işlem süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
30	2.87±0.28	3.00±0.25	2.75±0.43
60	3.93±0.25	4.17±0.14	3.00±0.25
90	4.42±0.25	3.67±0.14	4.33±0.29
120	4.75±0.14	4.17±0.80	4.25±0.00
140	4.83±0.14	4.75±0.25	4.92±0.63
160	4.83±0.14	5.42±0.52	4.42±0.80

4.2.3.2 Çözelti içinde elektriksel ön işlem

Çözelti içinde elektriksel ön işlem sonrası uygulanan ozmotik kurutma boyunca çözeltilerin SÇKM içeriğindeki azalma değerleri Çizelge 4.17 – 4.19 ‘da verilmiş ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Yapılan istatistiksel analizlerde (Ek–15), ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında çözeltideki SÇKM içeriğindeki değişim üzerine voltaj gradyanının, elektriksel ön işlem süresinin, ozmotik kurutma süresinin ve tüm etkileşimlerin önemli olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir. Ozmotik kurutma süresi arttıkça SÇKM değişimi artmıştır ($p<0.05$). Bunun nedeninin ozmotik kurutma süresi boyunca elma ve çözelti arasındaki su ve katı madde geçişinin artması olduğu düşünülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde en düşük SÇKM değişiminin 12 V/cm voltaj gradyanında olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir. En yüksek SÇKM değişimi ise 36 V/cm’de tespit edilmiştir ($p<0.05$). Kontrol grubundaki SÇKM değişiminin 24 V/cm uygulanan örneklerdekinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). 36 V/cm’nin elma dokularında kütle transfer hızını arttırarak katı kazanımı ve su kaybını arttırmasının bu duruma neden olduğu düşünülmektedir. Genel olarak elektriksel işlem süreleri karşılaştırıldığında en yüksek SÇKM değişiminin kontrol grubunda sonra 35 s elektriksel işlem süresinde olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir. Diğer sürelerdeki SÇKM değişiminin farklı olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Uzun elektriksel ön işlem süresinin kütle transferine etkisinin diğer sürelerle göre daha fazla olabileceği yorumu yapılmaktadır.

Kuramsal çalışmada yeterince yüksek hacim oranı varsayımında bulunmak amacıyla örnek/çözelti oranı 1/15 olarak seçilmiş ve % SÇKM değerinin çözelti boyunca değişmediği kabul edilmiştir. Ancak TEİ işlemi ile benzer şekilde ÇEİ ön işlemi uygulanan örneklerin ozmotik kurutulmasında, kullanılan glikoz-fruktoz çözeltisinin ozmotik kurutma süresi boyunca % SÇKM değerlerinin değiştiği belirlenmiştir ($p<0.05$). 1/15 oranının bu çalışma koşullarında % SÇKM değerindeki azalışa sebep olması nedeniyle sınırda bir değer olduğu belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda da kullanılan ozmotik kurutma çözeltilerinin konsantrasyonunun ozmotik kurutma boyunca değişmediği kabul edilmiştir (Rastogi et al., 2004b; Kaymak-Ertekin and Sultanoğlu, 2000; Sutar and Gupta, 2007; Khan et al., 2008; Atares et al., 2009; Silva et al., 2014). Yapılan varsayımın geçerliliğini saptamak amacıyla ozmotik kurutma denemelerinde SÇKM değerinin değişiminin incelenmesi önerilmektedir.

Çizelge 4.17 12 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) SÇKM içeriğindeki azalma (%)

Ozmotik işlem süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
30	1.83±0.38	2.41±0.14	1.35±0.14
60	2.08±0.14	3.08±0.14	2.07±0.55
90	2.75±0.00	4.24±0.25	2.94±0.14
120	2.92±0.14	4.07±0.38	2.78±0.14
140	2.75±0.00	4.41±0.14	3.10±0.00
160	2.67±0.14	4.90±0.38	2.94±0.28

Çizelge 4.18 24 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) SÇKM içeriğindeki azalma (%)

Ozmotik işlem süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
30	1.88±0.51	1.77±0.25	2.03±0.00
60	3.28±0.51	2.28±0.00	3.71±0.64
90	3.03±0.62	2.19±0.15	3.21±0.53
120	3.44±0.25	3.21±0.15	3.71±0.39
140	3.60±0.14	3.21±0.96	4.22±0.29
160	4.10±0.38	2.78±0.25	4.89±0.53

Çizelge 4.19 36 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin daldırıldığı çözeltinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) SÇKM içeriğindeki azalma (%)

Ozmotik işlem süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
30	3.33±0.37	2.63±0.14	3.11±0.14
60	4.22±0.51	2.96±0.25	3.93±0.25
90	4.79±0.70	4.27±0.14	5.16±0.00
120	5.35±0.00	5.58±0.28	5.73±0.14
140	5.03±0.28	3.86±0.14	5.24±0.14
160	5.27±0.28	4.43±0.00	6.06±1.13

4.2.3.3 Temashı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemin karşılaştırılması

12 V/cm voltaj gradyanında TEİ uygulanan örnekler için çözeltideki % SÇKM değişiminin diğer voltaj gradyanı uygulanan örneklerden daha düşük olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir. TEİ uygulanan örneklerde her üç voltaj gradyanında da en yüksek SÇKM değişiminin 15 s elektriksel işlem süresinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu nedenle TEİ uygulandığında elektriksel ön işlem süresi arttıkça % SÇKM değerindeki azalış azalmıştır.

ÇEİ'de ise bütün elektriksel ön işlemlerin ve kontrol grubunun birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). En düşük % SÇKM değişimi TEİ'deki gibi 12 V/cm voltaj gradyanında, en yüksek % SÇKM değişimi ise 36 V/cm voltaj gradyanında gerçekleşmiştir. ÇEİ uygulandığında voltaj gradyanı ve elektriksel ön işlem süresi arttırıldıkça % SÇKM değişimi artmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde TEİ'ye nazaran ÇEİ uygulanarak 36 V/cm haricinde % SÇKM değişimi daha az gerçekleşmiştir.

Mena et al. (2007), 55 °Briks sakkaroz çözeltisi içerisinde ananasların (dış çap: 8.5 cm, iç çap: 2.6 cm ve kalınlık: 1 cm) birbirini takip eden ozmotik kurutma döngüleri boyunca bileşim ve fizikokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Ozmotik kurutma işlemi 30 °C'de, her döngü 2 saat boyunca gerçekleştirilmiştir ve örnek/çözelti oranı 1/20 olarak alınmıştır. Sakkaroz çözeltisi yenilenmeden 15 kez ozmotik kurutma döngüsünde kullanılmıştır. Bu süre içerisinde ozmotik çözeltinin °Briks değeri 55±0.0 değerinden 48.45±0.07 değerine düşmüştür. Benzer sonuçlar Peiro et al. (2006), yaptığı çalışmada da elde

edilmiştir. Bu çalışmada da benzer olarak çözeltinin % SÇKM değeri ozmotik kurutma ile azalmıştır.

4.2.4 Ağırlık değişimi üzerine etkileri

Elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında % ağırlık değişimi üzerine TEİ ve ÇEİ ön işlemlerin etkisi incelenmiştir. Ozmotik kurutma boyunca 0–160 dak aralığında 30. dak, 60. dak, 90. dak, 120. dak, 140. dak ve 160. dak’da örnek alınarak elma dilimlerinin ağırlıklarındaki değişim takip edilmiştir. Ön işlem uygulanmamış kontrol grubu için en yüksek % ağırlık değişimi 120 dak ozmotik kurutma sonunda gerçekleşmiştir (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20 Elektriksel ön işlem görmemiş (kontrol grubu) elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%)

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Ağırlık azalması (%)
30	15.44±1.94
60	17.27±1.66
90	23.72±2.55
120	28.29±3.60
140	25.05±5.07
160	26.57±2.40

4.2.4.1 Temaslı elektriksel ön işlem

Temaslı elektriksel ön işlem sonrası uygulanan ozmotik kurutma boyunca elma dilimlerinde ağırlıklarında meydana gelen % azalma Çizelge 4.21 – 4.23’de verilmiştir.

Yapılan istatistiksel analizlerde (Ek–16), TEİ uygulanmış elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında ağırlık değişimi üzerine elektriksel ön işlem süresi×ozmotik kurutma süresi etkileşimi hariç voltaj gradyanının, elektriksel ön işlem süresinin, ozmotik kurutma süresinin ve diğer tüm etkileşimlerin önemli olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde Duncan karşılaştırma testi sonucunda en düşük ağırlık kaybı değeri 12 V/cm voltaj gradyanında ($p<0.05$) tespit edilmiştir. 24 V/cm ve kontrol grubunun birbirinden farklı olmadığı ($p>0.05$), 12 V/cm’den yüksek olduğu bulunmuştur ($p<0.05$). En yüksek ağırlık kaybı 36 V/cm voltaj gradyanında tespit edilmiştir ($p<0.05$). TEİ’de 36 V/cm voltaj gradyanının elmaların hücrel geçirgenliği üzerine diğer voltaj

gradyanlarına nazaran daha etkili olduğu yorumu yapılmaktadır. 12 V/cm voltaj gradyanı uygulanan örneklerin ozmotik kurutulmasında, çözeltide gerçekleşen % SÇKM değişiminin de düşük olmasının ağırlık kaybını etkilediği düşünülmektedir. En düşük ağırlık değişimi 15 s elektriksel işlem süresinde elde edilmiştir ($p<0.05$). Kontrol grubu ve diğer elektriksel işlem sürelerindeki ağırlık değişimini birbirinden farklı olmadığı bulunmuştur ($p>0.05$). Yıldız vd. (2012), armutların ozmotik kurutma süresine elektriksel (32 V/cm–10 s) ve ultrasonik ön ön işlemlerin etkisini araştırmışlardır. Elektriksel ön işlemlerli ozmotik kurutma ile kontrol grubu ozmotik kurutmada ağırlık kaybı değerleri benzer tespit edilmiştir. Bu çalışmada uygulanan elektriksel işlem süresinin daha uzun olmasının ağırlık kaybı değerlerinin kontrol grubuna göre daha yüksek olmasını sağladığı yorumu yapılmaktadır.

Ade Omowaye et al. (2003b), dolmalık biberlerin ozmotik kurutulması öncesi uygulanan PEF işleminin ağırlık kaybını kontrol grubuna göre arttırdığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.21 12 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%)

Ozmotik işlem süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
30	11.37±3.66	8.58±2.86	17.41±2.13
60	17.14±2.05	13.29±5.82	12.28±1.01
90	15.53±0.95	21.41±2.93	16.57±3.20
120	18.48±2.94	18.03±2.48	23.03±1.18
140	19.11±2.47	16.31±1.53	24.85±7.80
160	24.58±2.46	21.98±0.35	20.41±2.01

Çizelge 4.22 24 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%)

Ozmotik işlem süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
30	9.64±1.54	15.78±1.69	17.41±2.13
60	22.61±3.71	20.92±3.57	12.28±1.01
90	19.18±8.30	23.74±5.39	16.57±3.20
120	26.20±6.33	26.62±1.77	23.03±1.18
140	25.90±5.01	30.26±1.88	24.85±7.80
160	21.38±7.51	28.61±0.74	20.41±2.01

Çizelge 4.23 36 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%)

Ozmotik işlem süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
30	16.02±2.09	16.35±1.52	19.13±2.13
60	20.15±3.90	23.82±1.93	20.30±5.32
90	24.15±0.70	18.90±2.58	28.26±1.06
120	31.20±0.24	39.39±4.88	35.12±6.04
140	21.82±6.93	36.08±6.00	31.98±3.39
160	28.55±4.22	40.60±2.07	29.94±8.53

Ozmotik kurutma süresi arttıkça ağırlık değişiminin de arttığı ($p<0.05$), 120 dak, 140 dak ve 160 dak sonundaki ağırlık değişimlerinin birbirinden farklı olmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir. Bu sürelerde elma dilimleri ve çözelti arasındaki kütle transferinin dengeye geldiği yorumu yapılmaktadır. Genel olarak incelendiğinde, kontrol grubu ve diğer işlemlerde en yüksek ağırlık değişimi 90 – 140 dak ozmotik kurutma süresi aralığında gerçekleşmiştir. Ulaşılan en yüksek % ağırlık kaybı değerleri çizelgelerde koyu renkli olarak gösterilmiştir.

4.2.4.2 Çözelti içinde elektriksel ön işlem

Çözelti içinde elektriksel ön işlem sonrası uygulanan ozmotik kurutma boyunca elma dilimlerinde ağırlıklarında meydana gelen % azalma Çizelge 4.24 – 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4.24 12 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%)

Ozmotik işlem süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
30	20.72±3.05	11.86±1.52	13.55±2.06
60	24.83±2.15	19.56±1.18	20.25±0.22
90	29.45±4.00	25.38±0.75	28.61±1.76
120	31.11±3.20	26.85±2.05	23.78±1.82
140	30.24±0.41	22.81±0.72	26.96±1.54
160	29.55±1.91	27.47±1.92	27.05±0.55

Çizelge 4.25 24 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%)

Ozmotik işlem süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
30	13.80±0.88	12.86±1.21	11.24±1.83
60	21.25±1.31	15.52±1.15	17.97±1.45
90	19.62±0.96	18.19±0.33	26.62±2.51
120	25.02±1.49	36.07±3.70	30.02±1.78
140	31.26±0.61	28.55±3.07	19.68±0.57
160	31.77±2.23	27.97±2.55	25.73±1.36

Çizelge 4.26 36 V/cm elektriksel voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s ön işlem görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca başlangıç ağırlıklarına göre meydana gelen azalma oranları (%)

Ozmotik işlem süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi		
	15 s	25 s	35 s
30	19.55±1.07	19.67±2.05	16.61±2.18
60	22.42±3.20	21.57±1.79	20.80±3.04
90	21.23±1.12	23.20±2.31	22.72±2.36
120	24.56±1.81	27.51±2.44	28.38±2.12
140	26.99±0.15	33.24±3.54	28.15±1.19
160	28.72±1.18	33.65±3.85	36.15±0.89

Yapılan istatistiksel analizlerde (Ek-17), ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin ozmotik kurutma sırasında ağırlık değişimi üzerine voltaj gradyanının, elektriksel ön işlem süresinin, ozmotik kurutma süresinin ve tüm etkileşimlerin önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Genel olarak değerlendirildiğinde, Duncan karşılaştırma testi sonucunda 36 V/cm ve 12 V/cm voltaj gradyanındaki ağırlık kaybı değişiminin birbirinden farklı olmadığı ($p>0.05$), 24 V/cm ve kontrol grubundan yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Ayrıca 24 V/cm ve kontrol grubunun birbirinden farklı olmadığı bulunmuştur ($p>0.05$). 36 V/cm ve 12 V/cm voltaj gradyanlarının elma dilimlerinin hücre geçirgenliğine etkisinin daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Literatürde ÇEİ işleminin ozmotik kurutma öncesi bir ön işlem olarak uygulandığı bir çalışma olmaması sebebiyle ağırlık kaybı değerleri karşılaştırılamamıştır. Ancak ÇEİ işlemi, temaslı uygulanan elektriksel ön işlemlerin kütle transferini arttırıcı yöndeki etkisini ürüne temas etmeye gerek duymadan çözelti içinde göstermiştir.

Ozmotik kurutma süresi arttıkça ağırlık değişiminin de arttığı tespit edilmiştir ($p<0.05$). En yüksek ağırlık değişimine 15 s elektriksel işlem süresi uygulanması durumunda ulaşıldığı tespit edilmiştir ($p<0.05$). 12 V/cm voltaj gradyanında en geç 120 dak sonunda en yüksek % ağırlık kaybına ulaşılmıştır. Benzer şekilde en yüksek % ağırlık kaybına 24 V/cm voltaj gradyanında 25 s ve 35 s elektriksel işlem sürelerinde 120 dak ozmotik kurutma süresi sonunda, ancak 36 V/cm voltaj gradyanında ise 15 s elektriksel işlem süresinde 160 dak'da ulaşılmıştır. Ulaşılan en yüksek % ağırlık kaybı değerleri çizelgelerde koyu renkli olarak gösterilmiştir.

4.2.4.3 Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemin karşılaştırılması

Tüm işlem koşullarında ozmotik kurutma süresi arttıkça % ağırlık kaybının artması daha önceki araştırmalarla benzerlik göstermektedir (Derossi et al., 2008; Matusek et al., 2008; Porciuncula et al., 2013). Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemden en yüksek % ağırlık kaybı 36 V/cm voltaj gradyanında gerçekleşmiştir. Temaslı elektriksel ön işlemden en düşük % ağırlık kaybı 12 V/cm voltaj gradyanında gerçekleşirken, çözelti içinde elektriksel ön işlemden ise en düşük % ağırlık kaybı kontrol grubu ve 24 V/cm voltaj gradyanında gerçekleşmiştir. Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemden en yüksek ağırlık kaybı 90 – 140 dak aralığında ve genellikle de 120 dak ozmotik kurutma süresi sonunda gerçekleşmiştir. Bu değerler çizelgelerde koyu renkle işaretlenerek gösterilmiştir. Ağırlık kaybı aynı zamanda kütle transfer hızını göstermektedir. Özellikle ilk 90 dak ozmotik kurutma sonunda ağırlık hızlı bir şekilde düşmüş sonraki dakikalarda ise çoğu işlem koşulunda değişim azalmış ve hatta değişmemiştir ($p<0.05$). Elektriksel ön işlemler uygulanarak ağırlık değişiminin arttığı ve kütle transfer hızının arttığı belirlenmiştir. Bunun nedeni elektriksel işlemlerin elma dokusuna zarar vererek kütle transferini kolaylaştırmasıdır (Ade Omowaye et al., 2001, Allali et al., 2010b).

Ade Omowaye et al. (2003c), yaptıkları bir çalışmada yüksek yoğunluklu elektrik alan (HELP) ve dondurma işleminin kırmızı dolmalık biberlerin dehidrasyonu sırasında hücre zarı geçirgenliği ve kütle transferine etkisini incelemiştir. HELP için işlem koşulları; 2 kV/cm elektriksel alan şiddeti, 400 μ s puls süresi ve 1–50 defa vurgu uygulamasıdır. HELP işlemi ile oluşan gözenek alanının, dondurma işlemi uygulanarak oluşan gözenek alanına göre yaklaşık 6 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte HELP uygulanarak

daha yüksek su kaybı gerçekleşmiştir. Bu çalışmada da elde edilen verilere göre en yüksek ağırlık kaybı değerleri elektriksel ön işlem uygulanan ozmotik kurutma işlemlerinde gerçekleşmiştir. Elektriksel ön işlemlerin elma dilimlerindeki dokusal gözeneklerin büyümesine yardımcı olduğu yorumu yapılabilmektedir.

4.2.5 Katı kazancı ve su kaybı değişimi

Elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında katı kazanımı ve su kaybı değişimi üzerine TEİ ve ÇEİ elektriksel ön işlemlerin etkisi incelenmiştir. Ön işlem uygulanmamış kontrol grubu için katı kazanımı ve su kaybı değerleri Çizelge 4.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.27 Elektriksel ön işlem görmemiş (kontrol grubu) elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri

Ozmotik işlem süresi (dak)	Kontrol Grubu	
	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örnek)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örnek)
30	6.64±0.28	22.08±1.66
60	9.46±1.02	26.73±0.88
90	5.81±0.98	29.53±1.75
120	7.66±1.68	35.94±2.02
140	8.69±0.77	33.73±4.51
160	8.04±1.06	34.61±1.33

4.2.5.1 Temaslı elektriksel ön işlem

Temaslı elektriksel ön işlem sonrası uygulanan ozmotik kurutma boyunca elma dilimlerinde meydana gelen katı kazanımı ve su kaybı değişimleri Çizelge 4.28 – 4.30’da verilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda katı kazanımı üzerine voltaj gradyanı×elektriksel ön işlem süresi×ozmotik kurutma süresi etkileşiminin etkili olmadığı ($p>0.05$) fakat voltaj gradyanının, elektriksel ön işlem süresi ve ozmotik kurutma süresinin ve diğer etkileşimlerin etkili olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Ek–18).

Su kaybı üzerine ise elektriksel ön işlem süresi × ozmotik kurutma süresi etkileşimini etkili olmadığı ($p>0.05$) fakat voltaj gradyanının, elektriksel ön işlem süresi, ozmotik kurutma süresi ve diğer etkileşimlerin etkili olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Ek–19). Ozmotik kurutma süresi arttıkça genel olarak katı

kazanımı artmıştır ($p<0.05$). En yüksek katı kazanımı ve en düşük su kaybı 12 V/cm voltaj gradyanında, en düşük katı kazanımı ve en yüksek su kaybı ise 24 V/cm voltaj gradyanında tespit edilmiştir ($p<0.05$). 24 V/cm su kaybının katı kazanımına göre daha etkin olmasını sağladığı yorumu yapılmaktadır. 12 V/cm'de katı kazanımının yüksek olmasıyla su kaybını engellediği yorumu yapılmaktadır.

Genel olarak ozmotik kurutma süresi arttıkça su kaybı artmıştır ($p<0.05$). Elektriksel ön işlem süreleri arasında da genel olarak bir fark yoktur ($p>0.05$). En düşük su kaybının 15 s elektriksel ön işlem süresinde gerçekleştiği bulunmuştur ($p<0.05$). Diğer sürelerin ve kontrol grubunun birbirinden farklı olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Literatürde elektriksel ön işlemlerin su kaybı ve katı kazanımını arttırdığı belirlenmiştir (Amami et al., 2006; Yıldız vd., 2012; İçier vd., 2013; Moreno et al., 2012b). Bu çalışmada, çalışılan voltaj gradyanı ve elektriksel ön işlem süresi aralığında temaslı uygulanan elektriksel ön işlemin 12 V/cm voltaj gradyanı dışındaki koşullarda su kaybını arttırıcı bir etkisi olduğu yorumu yapılmaktadır.

Çizelge 4.28 12 V/cm voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s süreyle TEİ görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma süresince (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi					
	15 s		25 s		35 s	
	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)
30	5.48±0.56	16.85±3.23	8.16±1.01	16.74±1.90	4.50±1.44	21.91±0.71
60	6.24±0.44	23.38±1.70	8.86±2.22	22.15±3.60	8.00±0.84	20.29±0.19
90	8.44±0.25	23.97±0.85	8.30±0.73	29.71±2.23	7.01±1.04	23.59±2.19
120	8.84±1.11	27.32±1.83	8.45±0.98	26.48±2.43	7.79±1.09	31.42±1.11
140	9.39±0.99	28.50±1.54	9.68±0.23	25.99±1.57	8.60±2.02	33.45±5.79
160	10.39±0.99	34.97±1.51	11.82±0.49	33.80±0.23	10.92±0.87	31.33±1.25

Çizelge 4.29 24 V/cm voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s süreyle TEİ görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi					
	15 s		25 s		35 s	
	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)
30	4.87±0.59	14.51±1.43	4.72±0.56	20.50±1.39	3.33±1.18	19.95±1.34
60	3.44±1.33	26.04±2.86	6.94±1.37	27.86±2.40	4.50±3.85	29.85±5.86
90	6.14±3.18	25.32±5.13	9.86±1.33	33.60±4.59	6.95±1.50	34.47±1.52
120	4.98±1.85	31.18±4.53	10.09±1.05	36.70±0.74	8.18±1.33	31.90±4.02
140	6.29±2.29	32.19±3.15	7.68±1.42	37.94±0.62	9.14±1.96	39.00±0.96
160	9.05±1.99	30.42±5.52	8.58±1.85	37.18±1.11	8.99±0.61	41.54±1.51

Çizelge 4.30 36 V/cm voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s süreyle TEJ görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Elektiriksel uygulama süresi					
	15 s		25 s		35 s	
	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)
30	5.01±0.67	21.03±1.52	5.98±0.30	22.33±1.44	3.74±0.35	22.87±1.78
60	6.79±1.10	26.94±2.82	7.69±0.78	31.51±1.15	8.38±2.28	28.68±3.09
90	9.48±0.13	33.63±0.58	8.21±0.18	27.11±2.69	8.51±0.25	36.77±1.13
120	7.72±0.23	38.92±0.46	5.23±2.10	44.62±2.97	6.39±2.02	41.51±4.09
140	10.18±2.05	32.00±4.92	7.26±1.83	43.34±4.23	8.16±1.68	40.14±1.80
160	8.56±0.97	37.10±1.52	6.08±1.32	46.68±0.80	8.71±2.93	38.65±5.68

4.2.5.2 Cözelti içinde elektriksel ön işlem

Çözelti içinde elektriksel ön işlem sonrası uygulanan ozmotik kurutma boyunca elma dilimlerinde meydana gelen katı kazanımı ve su kaybı değişimleri Çizelge 4.31 – 4.33’de verilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda, katı kazanımı ve su kaybı üzerine voltaj gradyanının, elektriksel ön işlem süresinin, ozmotik kurutma süresinin ve tüm etkileşimlerin önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Ek–20–21).

Ozmotik kurutma süresince tüm örneklerde 30 dak işlem süresindeki katı kazanımının en düşük olduğu ($p<0.05$) diğer sürelerdeki katı kazanımlarının ise birbirinden farklı olmadığı bulunmuştur ($p>0.05$). Genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek katı kazanımı kontrol grubunda ve 12 V/cm voltaj gradyanında tespit edilmiştir ($p<0.05$). 24 V/cm ve 36 V/cm voltaj gradyanındaki katı kazanımının farklı olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Elektriksel işlem sürelerinin etkileri karşılaştırıldığında en yüksek katı kazanımının sırasıyla 35 s, 15 s ve 25 s sürelerde olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Ozmotik kurutma süresi arttıkça su kaybı artmıştır ($p<0.05$). En düşük su kaybının 24 V/cm voltaj gradyanında gerçekleştiği ($p<0.05$) ve 36 V/cm, 12 V/cm ve kontrol grubundaki su kaybının birbirinden farklı olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). En düşük su kaybının 25 s elektriksel ön işlem süresinde gerçekleştiği ($p<0.05$) ve diğer sürelerin ve kontrol grubunun birbirinden farklı olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.31 12 V/cm voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s süreyle ÇEİ görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi					
	15 s		25 s		35 s	
	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)
30	3.18±1.20	23.90±2.41	4.13±1.14	15.99±1.72	4.66±0.43	18.22±1.83
60	4.95±0.29	29.78±1.87	5.33±0.19	24.89±1.27	9.19±0.63	29.44±0.47
90	6.37±0.76	35.82±3.45	5.98±0.64	31.36±0.81	7.18±0.23	35.80±1.61
120	7.04±1.09	38.15±2.11	6.94±1.53	33.79±0.98	9.37±1.78	33.15±1.46
140	5.73±0.31	35.97±0.55	7.56±1.24	30.37±0.57	8.54±0.44	35.50±1.10
160	5.80±0.89	35.35±1.08	7.08±0.62	34.54±1.33	8.82±0.71	35.87±1.17

Çizelge 4.32 24 V/cm voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s süreyle ÇEİ görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi					
	15 s			25 s		
	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)
30	4.44±0.61	18.24±1.07	3.97±0.64	16.83±1.82	7.18±0.32	18.42±1.57
60	5.56±0.15	26.81±1.45	6.08±0.77	21.61±1.21	9.56±0.95	27.53±2.28
90	5.47±0.82	25.09±1.00	6.68±0.63	24.87±0.91	4.95±0.29	31.57±2.23
120	5.26±1.08	30.29±0.44	3.90±1.15	39.97±2.55	4.35±0.42	34.37±1.47
140	7.14±0.81	38.40±0.27	4.82±1.06	33.57±2.02	7.69±0.42	27.38±0.36
160	7.94±0.93	39.71±1.63	5.57±1.21	33.53±1.42	6.43±0.70	32.16±0.71

Çizelge 4.33 36 V/cm voltaj gradyanında 15, 25 veya 35 s süreyle ÇEİ görmüş elma dilimlerinin ozmotik kurutma boyunca (0–160 dak aralığında) katı kazanımı ve su kaybı değerleri

Ozmotik kurutma süresi (dak)	Elektriksel uygulama süresi					
	15 s		25 s		35 s	
	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)	Katı kazanımı (g kuru madde/100 g başlangıç örneği)	Su kaybı (g su/100 g başlangıç örneği)
30	3.94±0.64	23.49±0.67	3.70±0.55	23.38±1.52	3.56±0.56	20.18±1.63
60	6.08±1.23	28.50±2.03	4.52±0.14	26.09±1.68	5.95±0.30	26.76±3.17
90	7.14±0.59	28.37±0.68	6.00±0.51	29.20±1.81	7.81±0.56	30.53±1.90
120	7.88±0.62	32.44±1.36	5.50±0.08	33.01±2.50	7.55±0.49	35.93±1.82
140	6.17±0.70	33.16±0.58	4.09±1.04	37.33±2.56	6.34±0.15	34.49±1.33
160	6.16±0.09	34.88±1.27	6.59±1.13	40.24±2.73	4.45±0.27	40.60±1.15

4.2.5.3 Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemin karşılaştırılması

Katı kazanımı bakımından TEİ ve ÇEİ'nin sonuçları birbirine benzerdir. Bu nedenle elektriksel ön işlem uygulamanın katı kazanımını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. 36 V/cm voltaj gradyanında TEİ uygulanarak su kaybının arttırılabileceği tespit edilmiştir. Ozmotik kurutma süresi arttıkça su kaybı artmıştır. Yapılan çalışmalarda ozmotik kurutma süresi arttıkça katı kazanımı ve su kaybının arttığı belirlenmiştir (Derossi et al., 2008; Castro-Giraldez et al., 2011a; Amami et al., 2014). Genel olarak 120 dak ve 140 dak ozmotik kurutma sonundaki su kaybının birbirinden farklı olmadığı bulunmuştur ($p>0.05$).

Benzer şekilde, Ade Omowaye et al. (2002), dolma biberlerin ozmotik kurutulmasına yüksek yoğunluktaki PEF ($E=0.5-2.5$ kV/cm) ve yüksek sıcaklık ($25-55$ °C) uygulamalarının etkisini incelemişlerdir. PEF gücünün arttırılmasıyla da su kaybı (WL) % 36'dan % 50'ye artmıştır. Bu çalışmada da temaslı elektriksel ön işlem uygulanan örneklerde daha yüksek su kaybı tespit edilmiştir. Bir başka çalışmalarında Ade Omowaye et al. (2003a), dolma biberlerin 2 farklı çözeltide (30 °C'de 50 °Briks sakkaroz çözeltisi ve sodyum klorür çözeltisi) ozmotik dehidrasyonu sırasındaki difüzyon hızları ve hücre geçirgenliği üzerine PEF'in etkisini incelemişlerdir. Uygulanan PEF koşulları 1, 1.5 ve 2 kV/cm voltaj gradyanı ve 400 ± 50 μ s'dir. PEF uygulanması sonrasındaki gözeneklerdeki genişlemenin ani olmayıp zamanla olduğu belirlenmiştir. 2 kV/cm'de 2 puls ve 20 s işlem sonunda kopmuş membran alanı % 0.003 olarak tespit edilmiş ve 300 dak işlem sonunda % 0.0166'ya ulaşmıştır. PEF uygulaması işlem görmemiş örneklerle göre ozmotik kurutmadaki su kaybını % 11-25, katı kazanımını da % 2-5 arttırmıştır. PEF işlemi ile ozmotik kurutma sırasında kopmuş membran alanı ortalama % 0.008 olarak bulunmuştur. Ayrıca atmosferik koşullar altında 5 dak PEF uygulanarak önemli derecede gelişmiş difüzyon özelliklerine ulaşıldığı bulunmuştur. Benzer sonuçlar Ade Omowaye et al.'nın (2003b) yılında yaptığı başka bir çalışmada elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında da TEİ ve ÇEİ uygulanarak su kaybı arttırılmıştır. Bununla birlikte en yüksek su kaybı her iki ön işlemde de 36 V/cm voltaj gradyanında tespit edilmiştir. Bu nedenle uygulanan elektriksel ön işlemlerin hücre geçirgenliğini arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle 36 V/cm voltaj gradyanının hücre geçirgenliği üzerine daha etkili olduğu göze çarpmaktadır. TEİ ve ÇEİ uygulanan örneklerde katı kazanımı daha düşük tespit edilmiştir. 160 dak

içerisinde hücre geçirgenliğinin artmasıyla su kaybının hızlandığı ve katı kazanımına göre daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Ozmotik kurutma süresinin daha uzun olması durumunda katı kazanımın devam edeceği ve su kaybının dengeye geleceği düşünülmektedir. Başka bir deyişle ön işlemlerin 160 dak ozmotik kurutma süresinde su kaybını katı kazanımına göre daha etkin hale getirdiği söylenebilir.

Amami et al. (2006), vurgulu elektrik alan (PEF) ile ön işleme tabi tutulan elma örneklerinin 44.5–65 °Briks sakkaroz çözeltisi aralığında ozmotik dehidrasyon mekanizmasını araştırmıştır. Ozmotik kurutma öncesi uygulanan PEF işleminin 4 saatlik ozmotik kurutma sırasında oluşan su kaybını ve katı kazanımını arttırdığını tespit etmişlerdir. Elma dokusunda PEF ön işleminin su kaybı üzerinde şeker kazanımına göre daha etkili olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında da ozmotik kurutma süresi boyunca su kaybının katı kazanımından daha etkili olduğu belirlenmiştir. Ancak sürenin 4 saatten az olması nedeniyle katı kazanımının artışı net olarak belirlenememiştir.

Amami et al. (2007), havuç disklerinde (2.8 cm çap, 1 cm kalınlık) PEF uygulanarak ve uygulanmadan ozmotik kurutulması kinetiğini incelemişlerdir. Bu işlem santrifüj (2400×g), karıştırma (250 rpm) ve tuz ekleme (NaCl/Sükroz çözeltileri % 0 / % 65, % 5 / % 60, % 15 / % 50) koşulları altında yapılmıştır. PEF yoğunluğu $E=0.6$ kV/cm ve süre de 0.05 s'dir. PEF işlemi ve tuz eklenmesi ozmotik dehidrasyon hızının artmasını sağlamıştır.

Tedjo et al. (2002), mangonun ozmotik kurutulmasına yüksek yoğunluklu PEF (HELP), yüksek basınç (HP) ve süper kritik CO₂ uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. HELP ve HP uygulanan ozmotik kurutulan örneklerde işlem uygulanmayan örneklere göre daha yüksek su kaybı ve katı kazanımı tespit edilmiştir.

Moreno et al. (2011b), elmaların ozmodehidrasyon kinetiği, mikroyapıları ve fiziksel özellikleri üzerine ohmik ısıtma ve vakum pulsunun etkisini incelemişlerdir. 1cm³'lük elma küpleri 30 °C, 40 °C, ve 50 °C'de 300 dak 65 °Briks sakkaroz çözeltisine daldırılmıştır. Ohmik ısıtma 13 V/cm voltaj gradyanında uygulanmıştır. En yüksek su kaybı ohmik ısıtma uygulanan 50 °C'de uygulanan ozmotik dehidrasyon işleminde tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar aynı voltaj gradyanında Moreno et al. (2013), yaptığı başka bir çalışmada da elde edilmiştir.

Moreno et al. (2011a), yaptıkları başka bir çalışmada armut örneğinin mikroyapısı ve ozmotik dehidrasyonun (OD) kinetiği üzerine ohmik ısıtma (OH) ve vakum yöntemiyle emdirme (VI) işleminin etkisini araştırmışlardır. Üç farklı (30, 40 ve 50° C) dehidrasyon sıcaklığı kullanılmıştır. Katı kazanımı 40 °C’de en fazla VI–OH ve OD uygulanmış örneklerde görülmüştür. 50°C’de kütle transfer sonuçlarında su kaybı OD–OH uygulamasında en fazla, katı kazanımı ise VI–OH uygulaması için en fazla bulunmuştur. Her iki sıcaklıkta da örnekler süreç başladıktan sonra su kaybı dengesine 150 dak’da, katı kazanımı dengesine 90 dak’da ulaşmıştır. 50 °C de katı kazanımı değerlerinde artış olmasına rağmen uygulamalar (VI, VI–OH, OD–OH) arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark görülmemiştir.

Moreno et al. (2012a), ohmik ısıtma ve vakum uygulamasının çileklerin mikroyapıları ve ozmotik kurutulması üzerine etkisini araştırmıştır. Ozmotik kurutma (65 °Briks sakkaroz çözeltisi; 30, 40 ve 50 °C sıcaklık; 300 dak uygulama süresi) işlemi öncesinde çileklere ohmik ısıtma (100 V) ve vakum (5 kPa) işlemi uygulanmıştır. Çileklerin su kaybı, katı kazanımı, renk ve sertliği ölçülmüştür. Sonuçlar ohmik ısıtma uygulamasının ozmotik kurutma sırasında kütle transfer kinetiği ve uygulanan örneklerin mikroyapıları üzerine önemli etkisinin olduğunu göstermiştir. En fazla katı kazanımı 50 °C’de vakum yöntemiyle emdirme ve ohmik ısıtma kombinasyonu için elde edilirken, en fazla su kaybı ozmotik dehidrasyon–ohmik ısıtma ile olmuştur.

Bu tez çalışmasında ise elektriksel ön işlem literatürdeki ohmik ısıtma etkisinin incelendiği çalışmalardan farklı olarak ısıl olmayan bir yöntemle uygulanmış olup, kütle aktarımı üzerine ısıl olmayan etkinin de olduğu belirlenmiştir.

4.2.6 Su aktivitesi

TEİ ve ÇEİ elektriksel ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan (kontrol grubu) elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sonrasında hammaddeye göre su aktivitesindeki (a_w) değişim incelenmiştir. Kontrol grubunun su aktivitesi değeri 0.937 ± 0.000 olarak tespit edilmiştir.

Farklı TEİ ve ÇEİ ön işlem koşullarına tabi tutulduktan sonra ozmotik kurutma uygulanan elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sonucunda su aktivitesi değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.34 ve Çizelge 4.35). İlgili hammaddeler için su

aktivitesi, TEİ grubunda 0.951 ± 0.006 ÇEİ grubunda 0.963 ± 0.003 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.34 TEİ uygulanan elma dilimlerinin 160 dak ozmotik kurutma sonundaki su aktivitesi değerleri

Uygulanan güç (W)	Uygulama süresi (s)	a_w
12	15	0.936 ± 0.004
	25	0.937 ± 0.002
	35	0.939 ± 0.001
24	15	0.941 ± 0.005
	25	0.941 ± 0.002
	35	0.936 ± 0.005
36	15	0.934 ± 0.001
	25	0.936 ± 0.002
	35	0.937 ± 0.006

Yapılan istatistiksel analiz sonucunda, TEİ ve ÇEİ uygulanan örnekler için su aktivitesi üzerine voltaj gradyanının ve elektriksel ön işlem süresinin etkisinin önemli olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$) (Ek-22 ve 23). Hammaddenin su aktivitesi değerinin diğerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). Ozmotik kurutma süresinin artması ile a_w değerlerinin düşmesi beklenen bir durumdur (Moreno et al., 2012a; 2012b). Elmanın % TKM değerinin ozmotik kurutma süresince arttığı ve % TKM değeri arttıkça a_w değerinin düştüğü bilinmektedir (Mena et al. 2007; Castro–Giraldez, 2011a; Castro–Giraldez et al. 2011b).

Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlem uygulanmasının su aktivitesini düşürmeye yönelik etkisinin önemli olmadığı ve kontrol grubundan farklı olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$). Ancak 160 dak uygulanan ozmotik kurutma işlemi tüm koşullarda hammaddeye göre su aktivitesi değerini düşürmüştür ($p < 0.05$).

Çizelge 4.35 ÇEI uygulanan elma dilimlerinin 160 dak ozmotik kurutma sonundaki su aktivitesi değerleri

Uygulanan güç (W)	Uygulama süresi (s)	a_w
12	15	0.947±0.001
	25	0.945±0.009
	35	0.942±0.005
24	15	0.947±0.008
	25	0.938±0.005
	35	0.945±0.005
36	15	0.943±0.005
	25	0.943±0.005
	35	0.943±0.003

Moreno et al. (2011b), elmaların yapıları ve ozmotik dehidrasyon kinetiği üzerine vurgulu vakum ve ohmik ısıtmanın etkisini değerlendirmiştir. Küp şeklindeki elmalar için ozmotik çözelti olarak 65 °Briks sakkaroz çözeltisi kullanılmıştır. Vurgulu vakum uygulaması 5 dak içinde 5 kPa'da, ohmik ısıtma ise 13 V/cm voltaj gradyanında gerçekleştirilmiştir. Ozmotik uygulamaları için işlem süresi 300 dak'dır. Geleneksel ısıtma yöntemleri ile karşılaştırıldığında 40 ve 50 °C de uygulanan ohmik ısıtma ile örneklerin su aktivitesi değerleri daha fazla azalmıştır. Taze elmanın 0.989±0.005 olan su aktivitesi değeri 40 °C ozmotik dehidrasyon/ohmik ısıtma (OD/OH) ile en düşük değerine (0.882±0.006) ulaşmıştır. Ayrıca 50 °C vurgulu vakum ozmotik dehidrasyon/ohmik ısıtma (PVOD/OH) ile edilen su aktivitesi değeri de (0.887±0.006) istatistiksel olarak farklı değildir. Bu tez çalışmasında ise ön işlemlerin ozmotik kurutulmuş örneklerin su aktivitesi değerlerine üzerine etkili olmadığı tespit edilmiştir. Bunun nedeninin, 160 dak sonunda tüm işlem koşullarında birbirine yakın % TKM değerlerinin elde edilmesi ve tüm denemelerde aynı ozmotik kurutma sıcaklığında çalışılması olduğu tahmin edilmektedir. % 40 glikoz-fruktoz çözeltisi içerisinde 160 dak'dan daha uzun sürede uygulanacak ozmotik kurutma işlemiyle bu a_w değerlerinden daha düşük değerlerin elde edilmesinin oldukça uzun zaman alacağı düşünülmektedir. Çünkü 160 dak sonunda kütle transferinin hemen hemen dengeye gelmesi, daha yüksek % TKM değerlerine ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle 160 dak ozmotik kurutma süresinin bu koşullar altında su aktivitesinin düşmesi için yeterli olduğu düşünülmektedir. Çözelti konsantrasyonu artırılarak veya çözelti konsantrasyonunun artırılmasıyla birlikte 160 dak'dan daha uzun

süre ozmotik kurutma süresi uygulanarak daha düşük a_w değerlerinin elde edilebileceği yorumu yapılmaktadır.

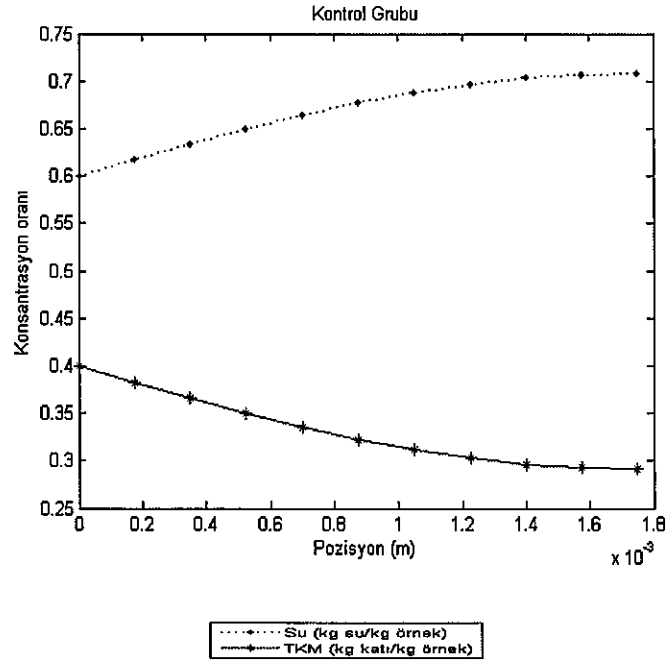
4.3. Matematiksel Modelleme ve Efektif Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması

Ozmotik kurutma sırasında meydana gelen kütle transferi yatışıksız hal genel difüzyon denklemi esas alınarak incelenmiştir. İlgili denklemin nümerik olarak sonlu farklar yönteminin kapalı örtülü işlev çözülmesiyle, kuramsal (teorik) konsantrasyon dağılımları ve teorik kurutma süreleri elde edilmiştir. Elde edilen teorik kurutma süreleri deneysel kurutma süreleri ile karşılaştırılmıştır. Nümerik çözümler MATLAB yazılımında kod oluşturularak (MK) ve ANSYS (Fluent) Paket Programında (AS) simülasyon prosedürü uygulanarak iki farklı yöntemle gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubu ve farklı işlem koşullarında elektriksel ön işlem görmüş elma dilimlerinin deneysel ozmotik kurutma süreleri ile matematiksel model öngörülleri aralarındaki uyum istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Model öngörülerinin deneysel verilere uyumluluğu % hata, RMSE ve Ki-Kare değerleri ile belirlenmiştir (Erbay and İçier, 2010).

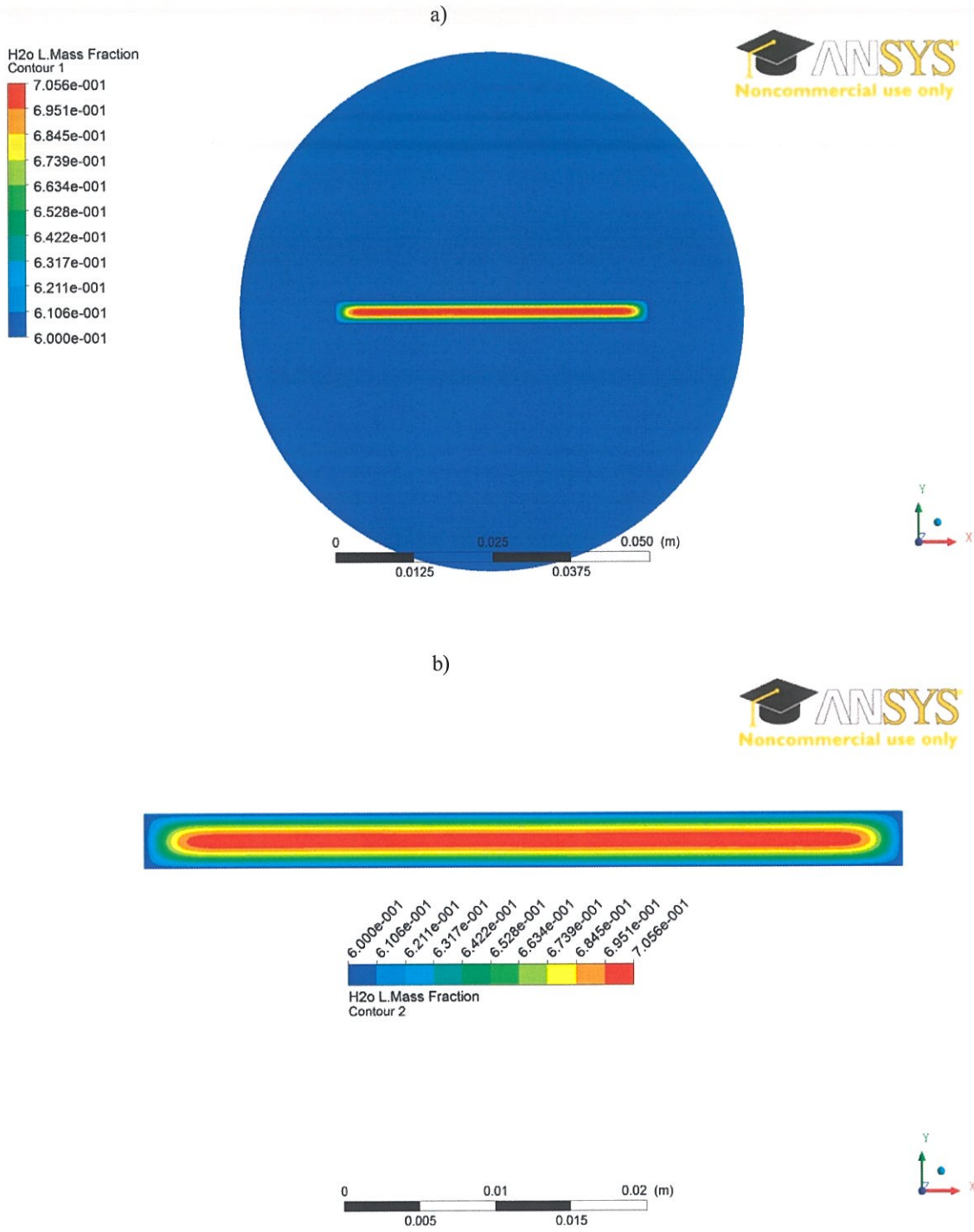
Elektriksel ön işlemin ozmotik kurutma sırasındaki difüzyon davranışını değiştirip değiştirmediğini belirlemek için efektif difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Efektif difüzyon katsayıları hesaplanırken denge su kaybı ve denge katı kazanımı değerleri kullanılmıştır. Bu değerler Azuara Denklemleri ile hesaplanmıştır. Kontrol grubu için denge su kaybı değeri ortalama 48.65 ± 9.45 ve denge katı kazanımı da ortalama 13.09 ± 3.37 olarak bulunmuştur. Kontrol grubu için su kaybı efektif difüzyon katsayısı $1.383 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve katı kazanımı efektif difüzyon katsayısı da $1.380 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak tespit edilmiştir.

Kontrol grubu için 160 dak (9600 s) sonunda ulaşılan % TKM değeri olan % 33.23 değerine ulaşma süresi matematiksel modelleme (MK) sonucunda 9550 s bulunmuştur. Buna göre % hata % -0.52, RMSE değeri 1.17 ve Ki-Kare değeri de 1.44 olarak tespit edilmiştir. Kontrol grubu için 9550 s ozmotik kurutma süresi için MK ile elde edilen pozisyona bağlı su ve TKM içeriği Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Bununla birlikte kontrol grubu elma dilimlerinin 160 dak ozmotik kurutulmasının simülasyonu yapılmış (AS) ve MK grafiksel sonuçlarından farklı olarak su ve katı madde içeriği görsel olarak Şekil 4.9 – 4.10'da gösterilmiştir. MK ve AS sonuçları karşılaştırıldığında her ikisinde de 160 dak ozmotik kurutma sonunda ortalama TKM değerinin % 33 olarak öngörüldüğü belirlenmiştir.

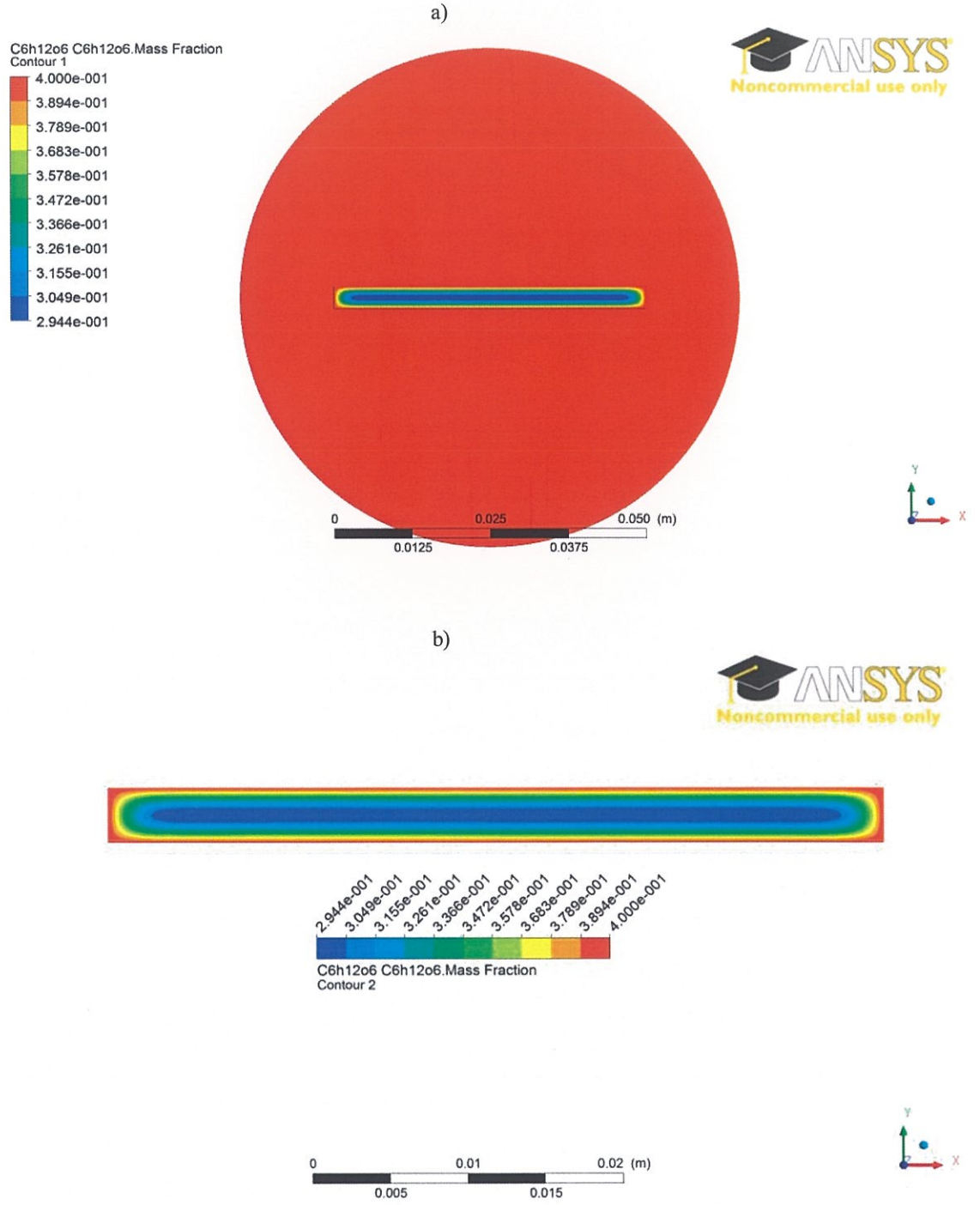
Kontrol grubu elma dilimlerinin MK öngörüsü incelendiğinde 160 dak ozmotik kurutma süresinde elma dilimlerinin merkezindeki TKM konsantrasyonunun yaklaşık % 29 olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde aynı ozmotik kurutma süresi için AS öngörü sonuçlarında da kontrol grubu elma dilimlerinin merkezindeki TKM konsantrasyonunun % 29.4 olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle kontrol grubu için MK ve AS sonuçları benzerdir ($p>0.05$).



Şekil 4.8 Elektriksel ön işlem görmemiş (Kontrol grubu) elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri



Şekil 4.9 Kontrol grubu elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyon (AS) öngörülleri



Şekil 4.10 Kontrol grubu elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri

4.3.1 Temashlı elektriksel ön işlem

Efektif difüzyon katsayılarının hesaplanmasında kullanılan denge su kaybı ve denge katı kazanımı değerleri Azuara denklemleri ile hesaplanmıştır (Çizelge 4.36). Bu değerlerin bulunması amacıyla oluşturulan ilişkilerin R^2 değerleri yüksektir (0.838 – 0.999). TEİ uygulanan elma dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları ise Çizelge 4.37’de verilmiştir.

Çizelge 4.36 TEİ uygulanan elma dilimleri için denge su kaybı ve denge katı kazanımı değerleri

Uygulanan voltaj gradyanı (V/cm)	Uygulama süresi (s)	WL_{∞}	$R^2_{WL_{\infty}}$	SG_{∞}	$R^2_{SG_{\infty}}$
	15	41.90	0.926	13.32	0.961
12	25	48.93	0.991	13.05	0.914
	35	45.77	0.882	13.11	0.889
	15	44.29	0.976	9.06	0.838
24	25	50.54	0.993	17.68	0.978
	35	54.20	0.996	17.44	0.939
	15	50.70	0.990	14.85	0.991
36	25	63.55	0.986	10.11	0.999
	35	53.18	0.988	12.35	0.948

WL_{∞} : Denge su kaybı

SG_{∞} : Denge katı kazanımı

Yapılan istatistiksel değerlendirmede, elma dilimlerinin efektif su difüzyon katsayıları üzerine TEİ uygulamasındaki voltaj gradyanı ve elektriksel işlem süresinin etkili olduğu ($p<0.05$) ancak voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin etkili olmadığı ($p>0.05$) belirlenmiştir (Ek-24). En yüksek su difüzyon katsayısı 36 V/cm voltaj gradyanında belirlenmiştir ($p<0.05$). Genel olarak elektriksel işlem süresi arttıkça efektif su difüzyon katsayıları artmıştır ($p<0.05$). TEİ uygulanan örnekler için su efektif difüzyon katsayıları $1.223 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1.893 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir.

Efektif katı difüzyon katsayıları üzerine ise voltaj gradyanı ve elektriksel işlem süresinin etkili olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$) (Ek-24). TEİ uygulanan örnekler için katı efektif difüzyon katsayıları $1.124 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1.362 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$

arasında değişmektedir. Katı kazanımı değerlerinin birbirine benzer olması nedeniyle katı efektif difüzyon katsayıları değerleri de benzer olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.37 TEİ uygulanan elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında tespit edilen efektif difüzyon katsayısı değerleri

Uygulanan voltaj gradyanı (V/cm)	Uygulama süresi (s)	$D_{ew} (m^2/s) * 10^{-10}$	$D_{es} (m^2/s) * 10^{-10}$
12	15	1.256	1.270
	25	1.473	1.275
	35	1.730	1.284
24	15	1.223	1.260
	25	1.339	1.129
	35	1.550	1.124
36	15	1.860	1.296
	25	1.722	1.362
	35	1.893	1.341

Dew: Efektif su difüzivite değeri

Des: Efektif katı difüzivite değeri

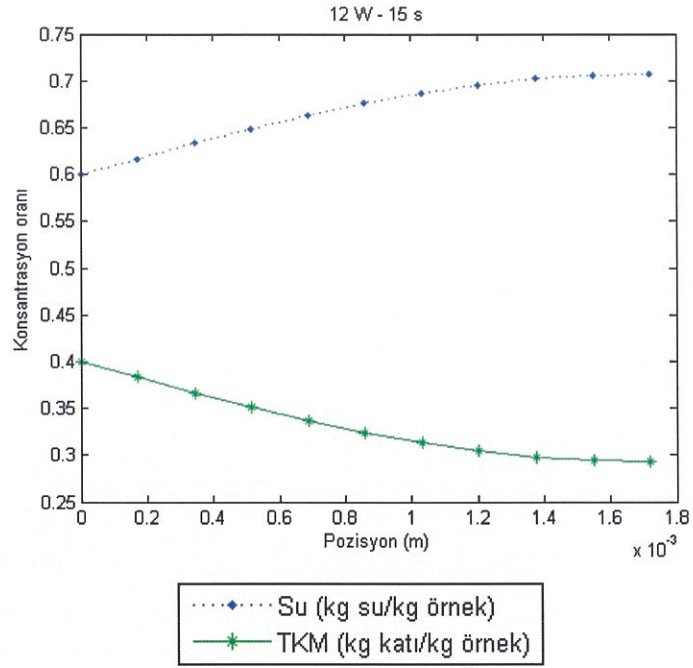
TEİ uygulanan elma dilimlerinin deneysel ozmotik kurutma süreleri ile matematiksel model öngörülleri aralarındaki uyum % hata, RMSE değeri ve Ki-Kare değeri ile ifade edilmiştir (Çizelge 4.38). Model öngörülleri ile deneysel veriler arasındaki % hata oranı, RMSE ve Ki-Kare değerleri sırasıyla -1.77 – 1.15, 0.78 – 1.77 ve 0.95 – 2.17 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.38 TEİ uygulanan elma dilimlerinin deneysel ozmotik kurutma süreleri ile matematiksel model (MK) öngörütleri arasındaki uyum

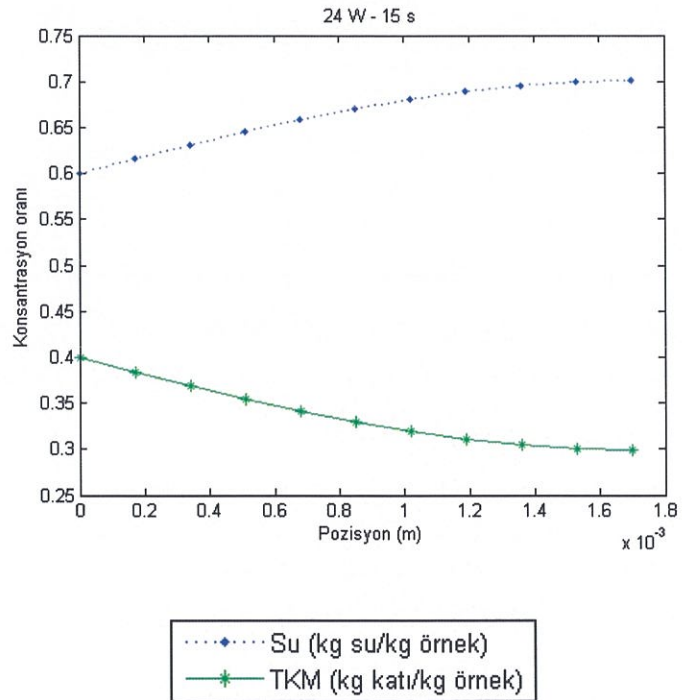
Uygulanan voltaj gradyanı (V/cm)	Uygulama süresi (s)	Son TKM (%)	Deneysel süre (s)	Teorik süre (s)	% Hata	RMSE	Ki-Kare
12	15	33.32	9600	9680	0.83	1.28	1.57
	25	33.78	9600	9670	0.73	0.78	0.95
	35	35.25	9600	9470	-1.35	1.03	1.26
24	15	33.75	9600	9710	1.15	1.14	1.40
	25	32.65	9600	9540	-0.63	1.29	1.58
	35	34.32	9600	9600	0.00	1.77	2.17
33	15	35.28	9600	9620	0.21	1.22	1.50
	25	34.58	9600	9430	-1.77	1.03	1.26
	35	35.80	9600	9600	0.00	0.91	1.12

Ozmotik kurutma işlemi sırasında ürünlerdeki su içeriği zamana ve konuma göre değişmektedir. Ürünün su içeriği ozmotik kurutma süresi artmasıyla azalmaktadır. Ürünün yüzeyinden merkez noktasına doğru ilerledikçe ürünün su içeriği artarken katı madde içeriği azalmaktadır (Rastogi and Raghavarao, 2004a). 12 V/cm – 15 s, 24 V/cm – 15 s, 36 V/cm – 15 s elektriksel ön işlem uygulanan elma dilimlerinin pozisyona göre su ve TKM içeriği Şekil 4.11 – 4.13’de gösterilmiştir. Diğer koşullar için su ve TKM içeriği Ek-25’de verilmiştir.

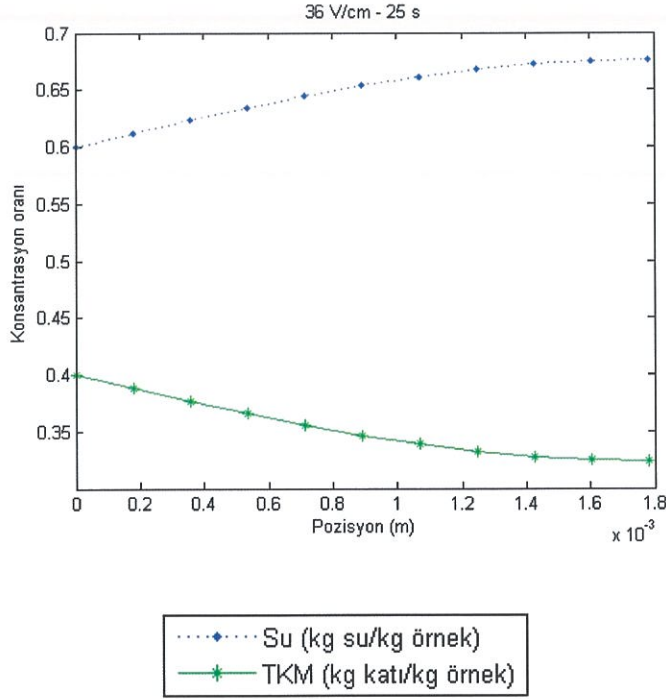
Elma dilimlerin su içeriği yüzeyden merkeze doğru gittikçe artmakta, TKM içeriği ise yüzeyden merkeze doğru azalmaktadır.



Şekil 4.11 12 V/cm 15 s TEİ görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri

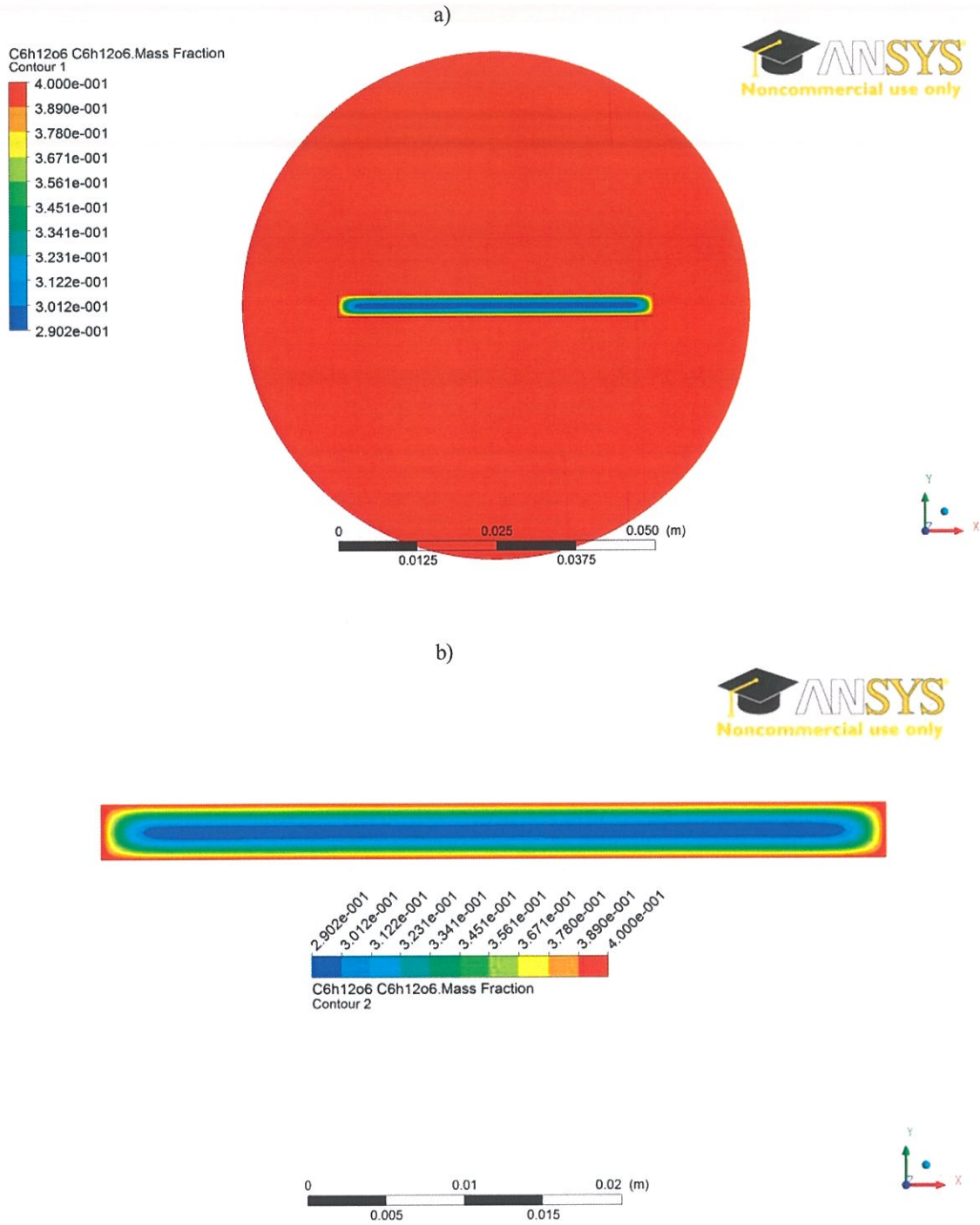


Şekil 4.12 24 V/cm 15 s TEİ görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri

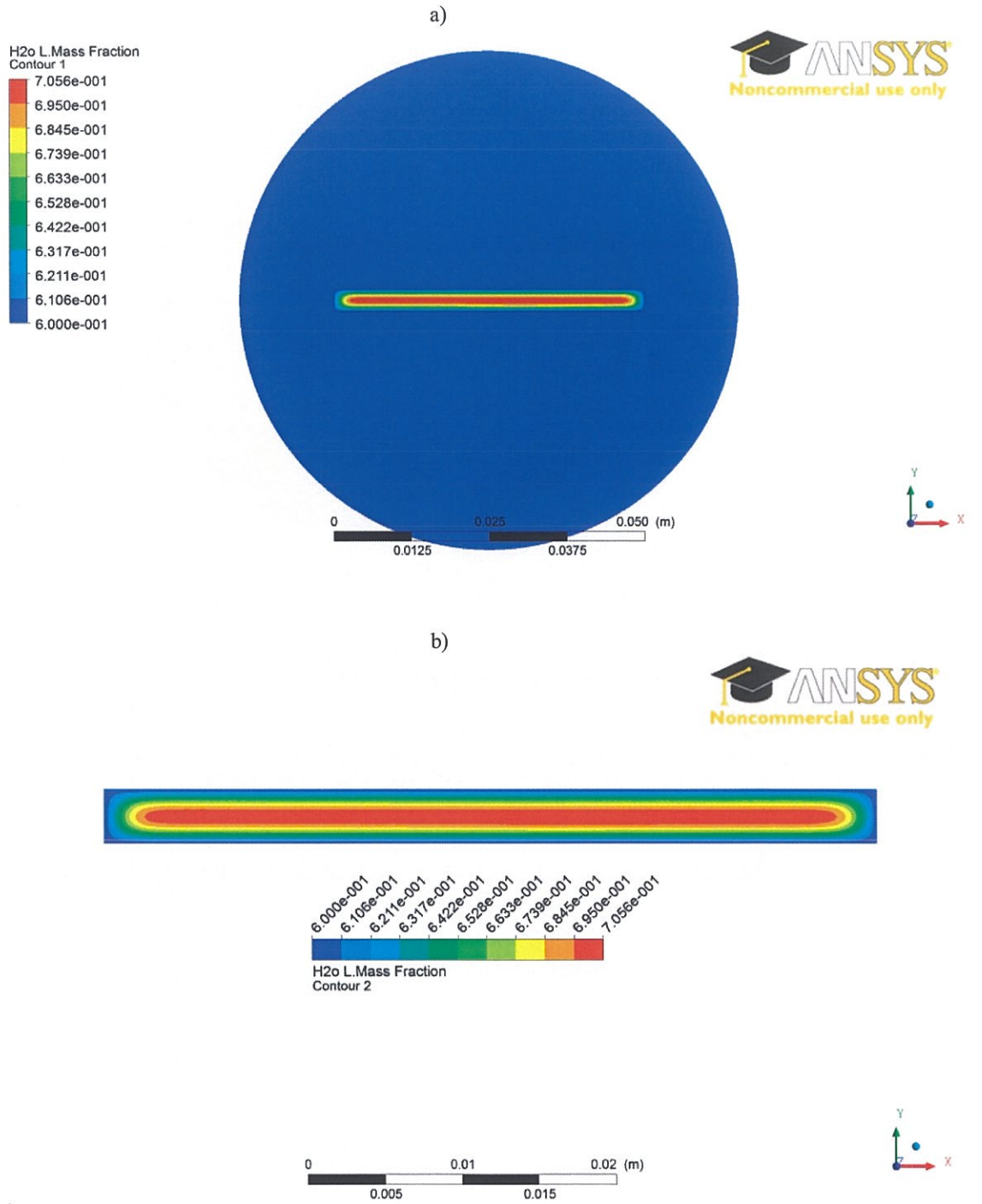


Şekil 4.13 36 V/cm 15 s TEİ görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri

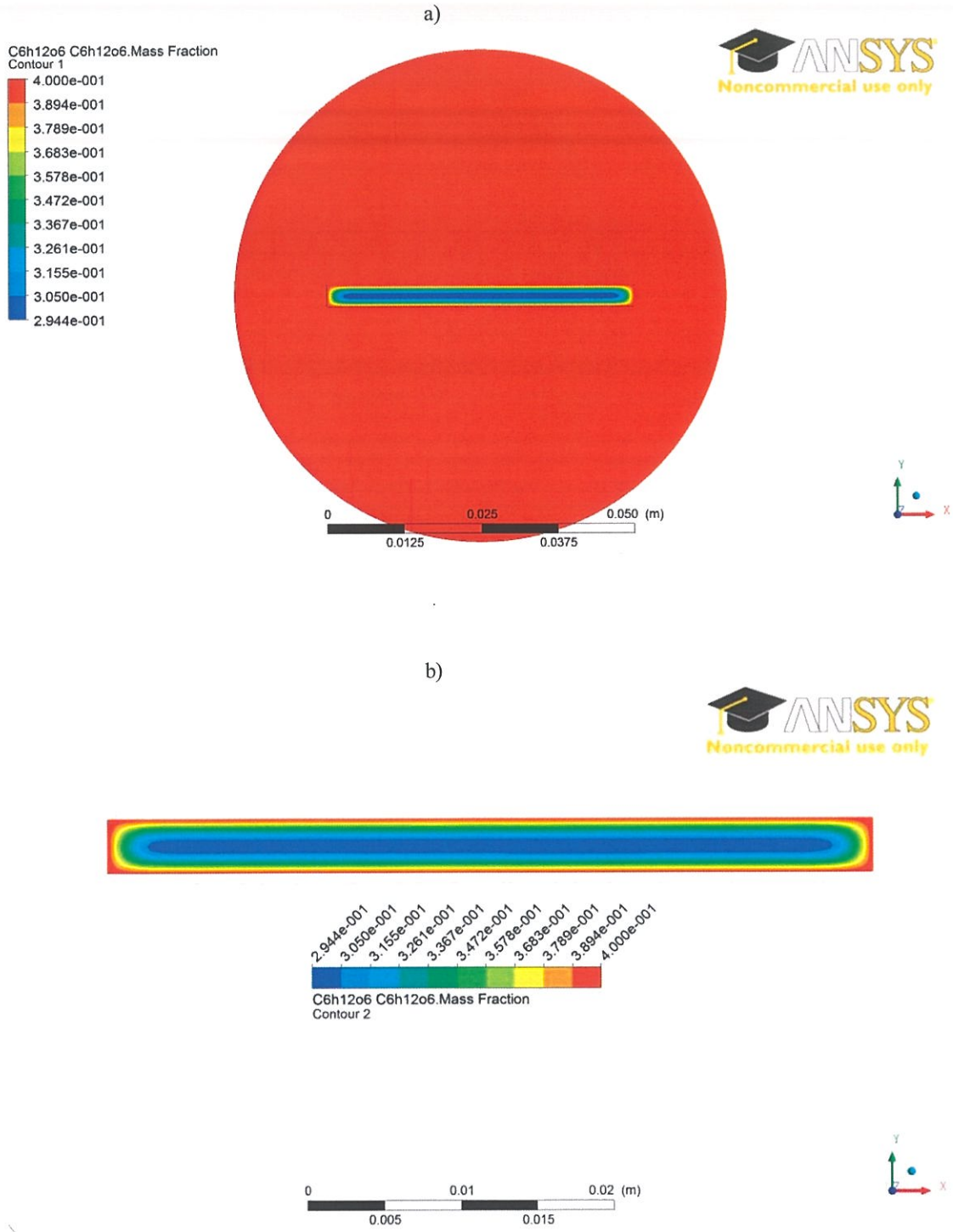
Elma dilimlerindeki kütle aktarımının sonlu farklar yöntemiyle kapalı işlev nümerik olarak çözülmesine ek olarak 160 dak ozmotik kurutma süresi sonundaki su ve katı madde içeriğinin dağılımının 2 boyutta incelenmesi amacıyla benzer varsayımlar ve sınır koşulları dikkate alınarak Ansys Simülasyon Programı kullanılmıştır. Simülasyon programında da kütle aktarımının çözümü nümerik olarak gerçekleştirilmiştir. 12 V/cm – 15 s, 24 V/cm – 15 s ve 36 V/cm – 15 s elektriksel işlem uygulanmış elma dilimleri için simülasyon öngörülleri Şekil 4.14 – 4.19’de gösterilmiştir. Diğer elektriksel ön işlemler için su ve katı madde konsantrasyonu öngörülleri Ek-26’da verilmiştir.



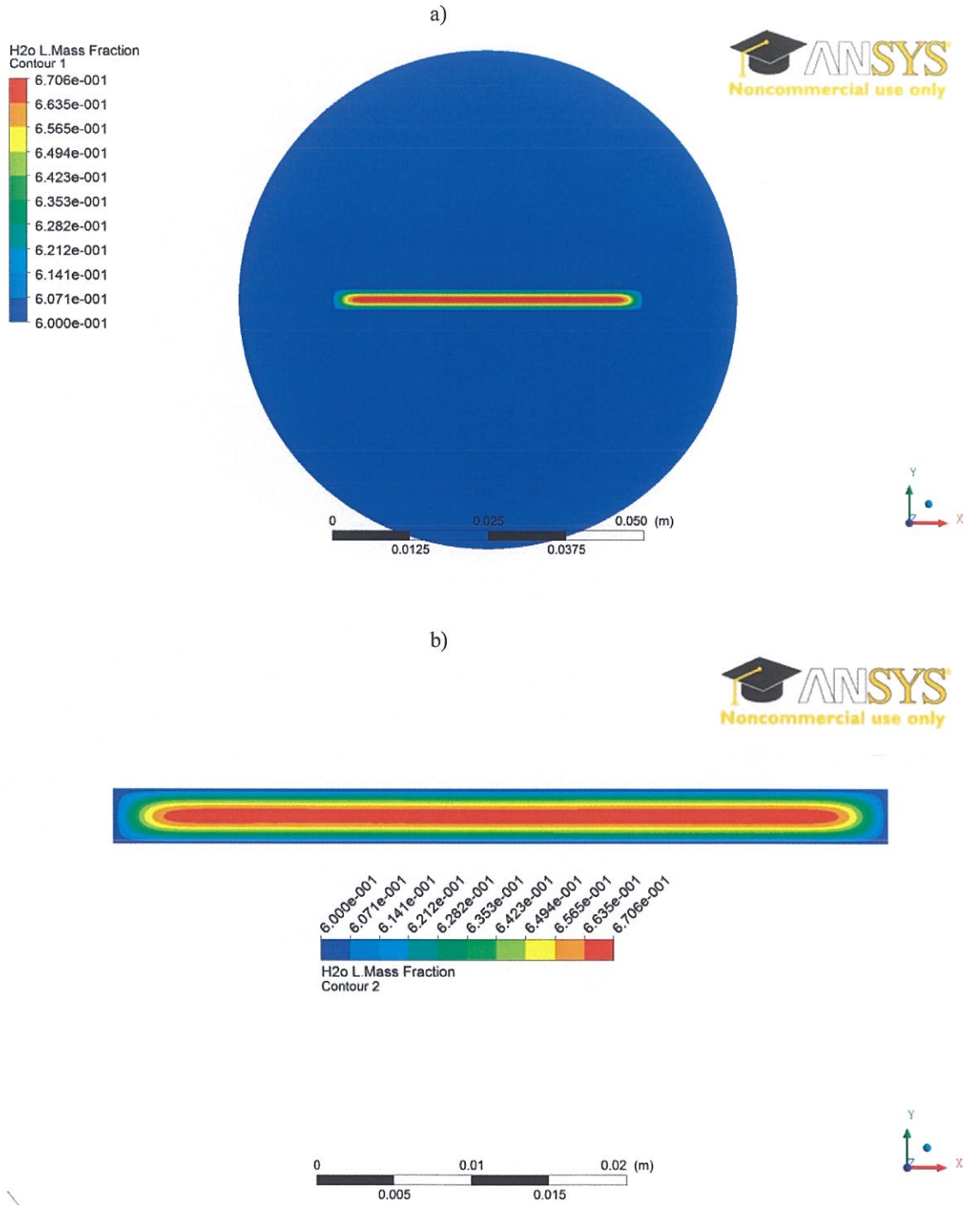
Şekil 4.15 12 V/cm – 15 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri



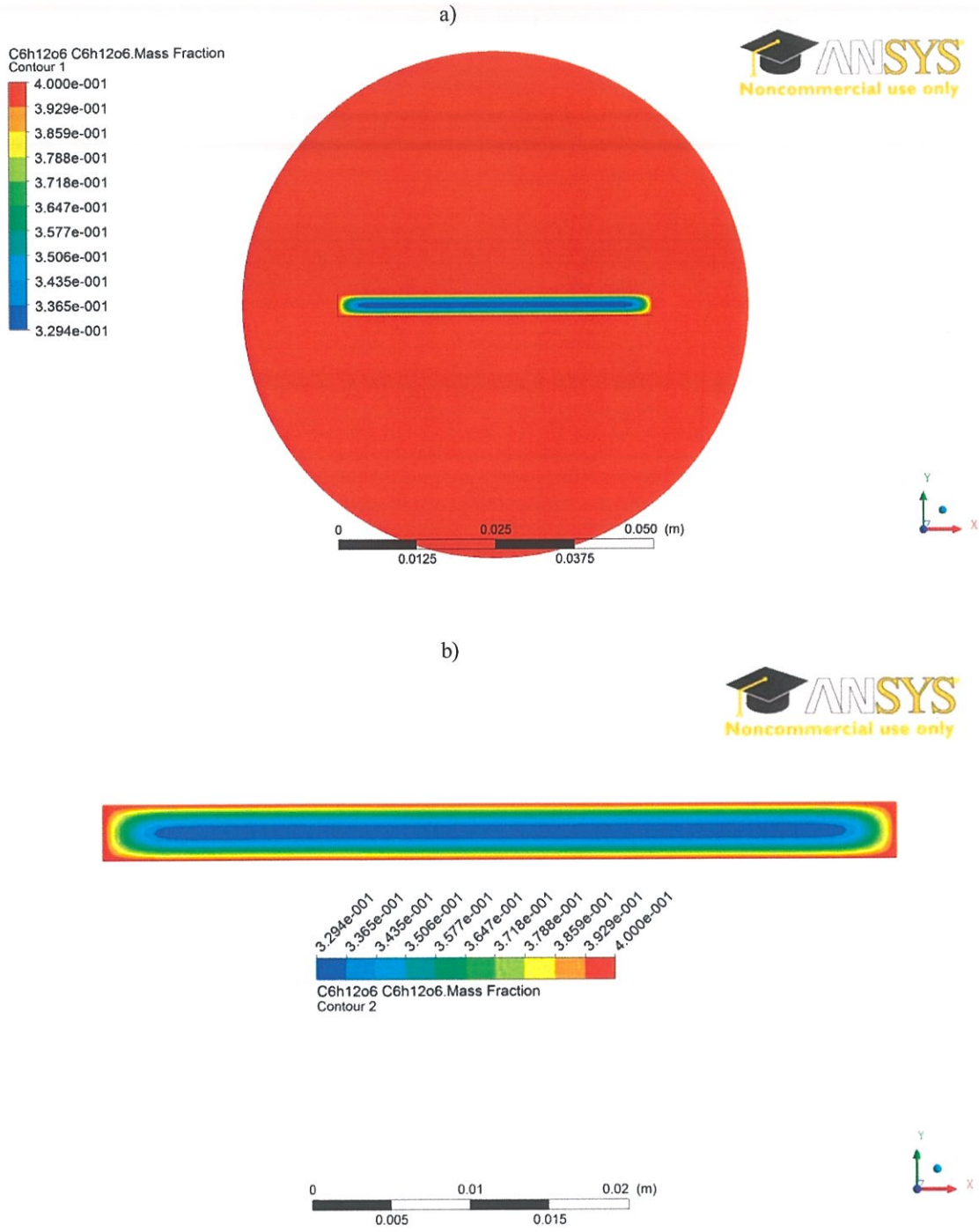
Şekil 4.16 24 V/cm – 15 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyon (AS) öngörülleri



Şekil 4.17 24 V/cm – 15 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri



Şekil 4.18 36 V/cm – 15 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyon (AS) öngörülleri



Şekil 4.19 36 V/cm – 15 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri

Elma dilimlerine uygulanan tüm ön işlemler için MK ve AS sonuçları karşılaştırıldığında tüm öngörülerde beklendiği gibi yüzeyden merkeze doğru su

konsantrasyonu artarken TKM içeriği azalmaktadır. Ansys (Fluent)'te katı madde konsantrasyonunu gösteren grafiklerde kırmızı renk ile gösterilen konsantrasyon değeri (% 39 – 40) deneysel olarak boyutta azalma gerçekleşen bölüme karşılık gelmektedir. Modelleme hesaplamalarında boyutun değişmediği varsayıldığı için elma diliminin yüzeyde yüksek konsantrasyon değerlerine sahip olması bu nedenle beklenen bir durumdur. Aynı durum MS öngörülerinde de geçerlidir. 12 V/cm – 15 s ön işlem uygulanan elma dilimlerinin merkezindeki TKM konsantrasyonu her iki modelleme sonucunda da % 29 olarak tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 4.11 ve Şekil 4.14 – 4.15). Diğer işlemler için de sonuçlar benzer şekilde her iki modelleme sonucu açısından birbirine benzerdir ($p>0.05$).

4.3.2 Çözelti içinde elektriksel ön işlem

ÇEİ uygulanan elma dilimlerinin ozmotik kurutma sırasındaki efektif difüzyon katsayılarının hesaplanmasında kullanılan denge su kaybı ve denge katı kazanımı değerleri Azuara denklemleri ile hesaplanmıştır (Çizelge 4.39). Bu değerlerin bulunması amacıyla oluşturulan ilişkilerin R^2 değerleri yüksektir (0.850 – 0.999). ÇEİ uygulanan elma dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları Çizelge 4.40'da verilmiştir.

Çizelge 4.39 ÇEİ elektriksel ön işlem uygulanan elma dilimleri için denge su kaybı ve denge katı kazanımı değerleri

Uygulanan voltaj gradyanı (V/cm)	Uygulama süresi (s)	WL_{∞}	R^2	SG_{∞}	R^2
12	15	48.69	0.999	10.65	0.997
	25	49.24	0.999	9.24	0.974
	35	46.67	0.970	10.83	0.997
24	15	53.10	0.953	9.36	0.999
	25	52.09	0.850	10.24	0.990
	35	44.73	0.997	7.41	0.987
36	15	37.93	0.988	11.96	0.995
	25	49.04	0.946	9.50	0.987
	35	51.61	0.981	12.72	0.948

WL_{∞} : Denge su kaybı, SG_{∞} : Denge katı kazanımı

Çizelge 4.40 ÇEİ uygulanan elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında tespit edilen efektif difüzyon katsayısı değerleri

Uygulanan voltaj gradyanı (V/cm)	Uygulama süresi (s)	$D_{ew}(m^2/s)*10^{-10}$	$D_{es}(m^2/s)*10^{-10}$
12	15	1.568	1.755
	25	1.627	1.869
	35	1.700	2.138
24	15	1.524	1.823
	25	1.346	1.247
	35	1.382	2.470
36	15	1.297	2.029
	25	1.969	1.663
	35	1.715	1.844

Dew: Efektif su difüzyon değeri, Des: Efektif katı difüzyon değeri

Yapılan istatistiksel değerlendirmede elma dilimlerinin efektif su difüzyon katsayıları üzerine ÇEİ uygulamasındaki voltaj gradyanı ve elektriksel işlem süresinin ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin etkili olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Ek-27). En yüksek su difüzyon katsayısı 36 V/cm ve 12 V/cm voltaj gradyanlarında belirlenmiştir ($p<0.05$). Genel olarak elektriksel işlem süresi arttıkça efektif su difüzyon katsayıları artmıştır ($p<0.05$). ÇEİ uygulanan örnekler için su efektif difüzyon katsayıları $1.297*10^{-10} m^2/s$ ile $1.969*10^{-10} m^2/s$ arasında değişmektedir.

Efektif katı difüzyon katsayıları üzerine ise voltaj gradyanı ve elektriksel işlem süresinin etkili olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$) (Ek-27). ÇEİ uygulanan örnekler için katı efektif difüzyon katsayıları ise $1.247*10^{-10} m^2/s$ ile $2.470*10^{-10} m^2/s$ arasında değişmektedir. Katı kazanımı değerlerinin birbirine benzer olması nedeniyle katı efektif difüzyon katsayıları da benzer olarak tespit edilmiştir.

ÇEİ görmüş elma dilimlerinin deneysel ozmotik kurutma süreleri ile matematiksel model öngörülleri aralarındaki uyum % hata oranı, RMSE değeri ve Ki-Kare değeri ile ifade edilmiştir (Çizelge 4.41). Model öngörülleri ile deneysel

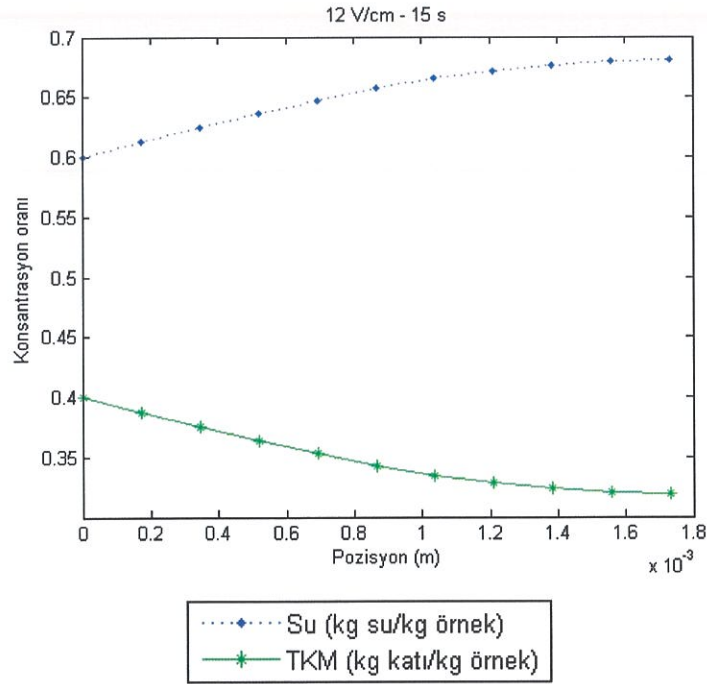
veriler arasındaki % hata oranı, RMSE ve Ki-Kare değerleri sırasıyla -1.15 – 1.88, 0.69 – 4.70, 0.84 – 5.76 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.41 ÇEİ uygulanan elma dilimlerinin deneysel ozmotik kurutma süreleri ile matematiksel model (MK) öngörülleri arasındaki uyum

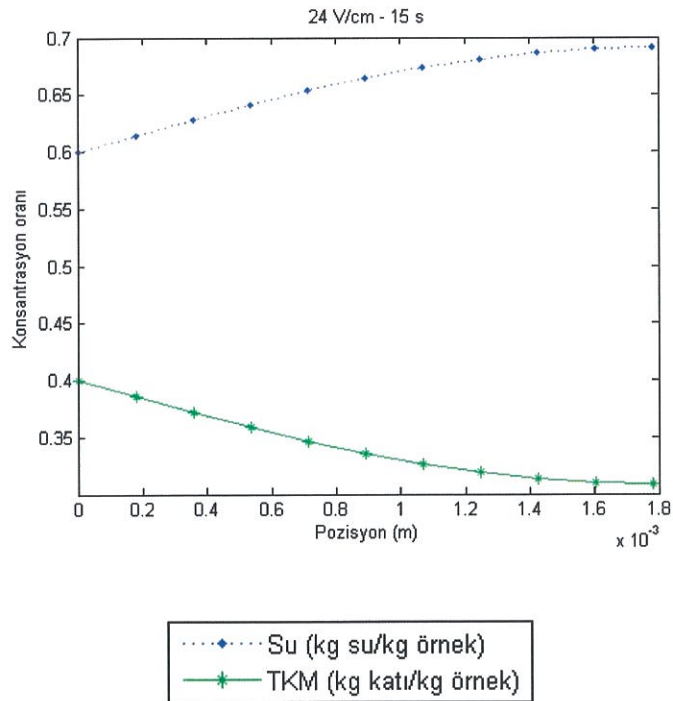
Uygulanan voltaj gradyanı (V/cm)	Uygulama süresi (s)	Son TKM (%)	Deneysel süre (s)	Teorik süre (s)	% Hata	RMSE	Ki- Kare
12	15	34.99	9600	9690	0.94	0.78	0.96
	25	34.87	9600	9470	-1.35	2.87	3.51
	35	35.32	9600	9650	0.52	4.70	5.76
24	15	34.33	9600	9570	-0.31	3.70	4.54
	25	33.48	9600	9490	-1.15	2.22	2.72
	35	33.66	9600	9610	0.10	2.33	2.85
33	15	33.91	9600	9780	1.88	3.52	4.31
	25	36.28	9600	9620	0.21	0.69	0.84
	35	35.60	9600	9550	-0.52	4.36	5.34

Ozmotik kurutma işlemi sırasında ürünlerdeki su içeriği zamana ve konuma göre değişmektedir. Ürünün su içeriği ozmotik kurutma süresi artmasıyla azalmaktadır. Ürünün yüzeyinden merkez noktasına doğru ilerledikçe ürünün su içeriği artarken katı madde içeriği azalmaktadır (Rastogi and Raghavarao, 2004a). 12 V/cm – 15 s, 24 V/cm – 15 s, 36 V/cm – 15 s elektriksel ön işlem uygulanan elma dilimlerinin pozisyona göre su ve TKM içeriği Şekil 4.20 – 4.22’de gösterilmiştir. Diğer koşullar için su ve TKM içeriği Ek-28’de verilmiştir.

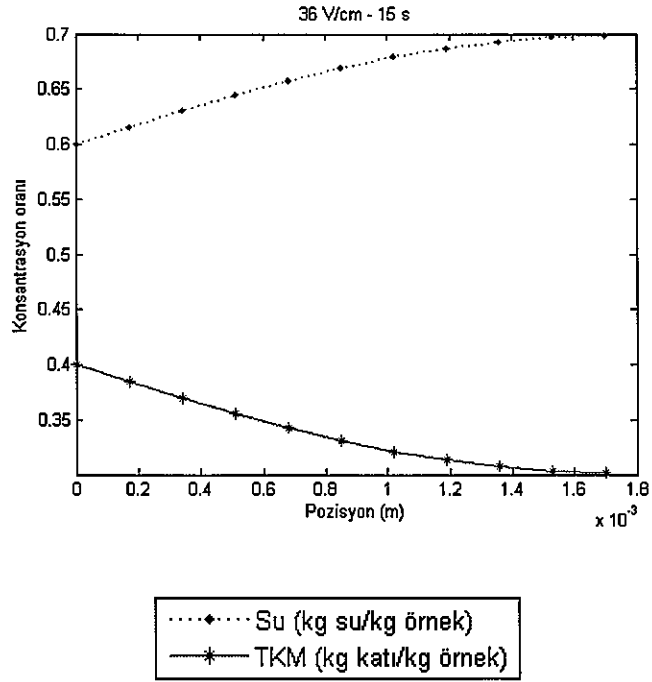
Elma dilimlerin su içeriği yüzeyden merkeze doğru gittikçe artmakta, TKM içeriği ise yüzeyden merkeze doğru azalmaktadır.



Şekil 4.20 12 V/cm 15 s ÇEİ görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri

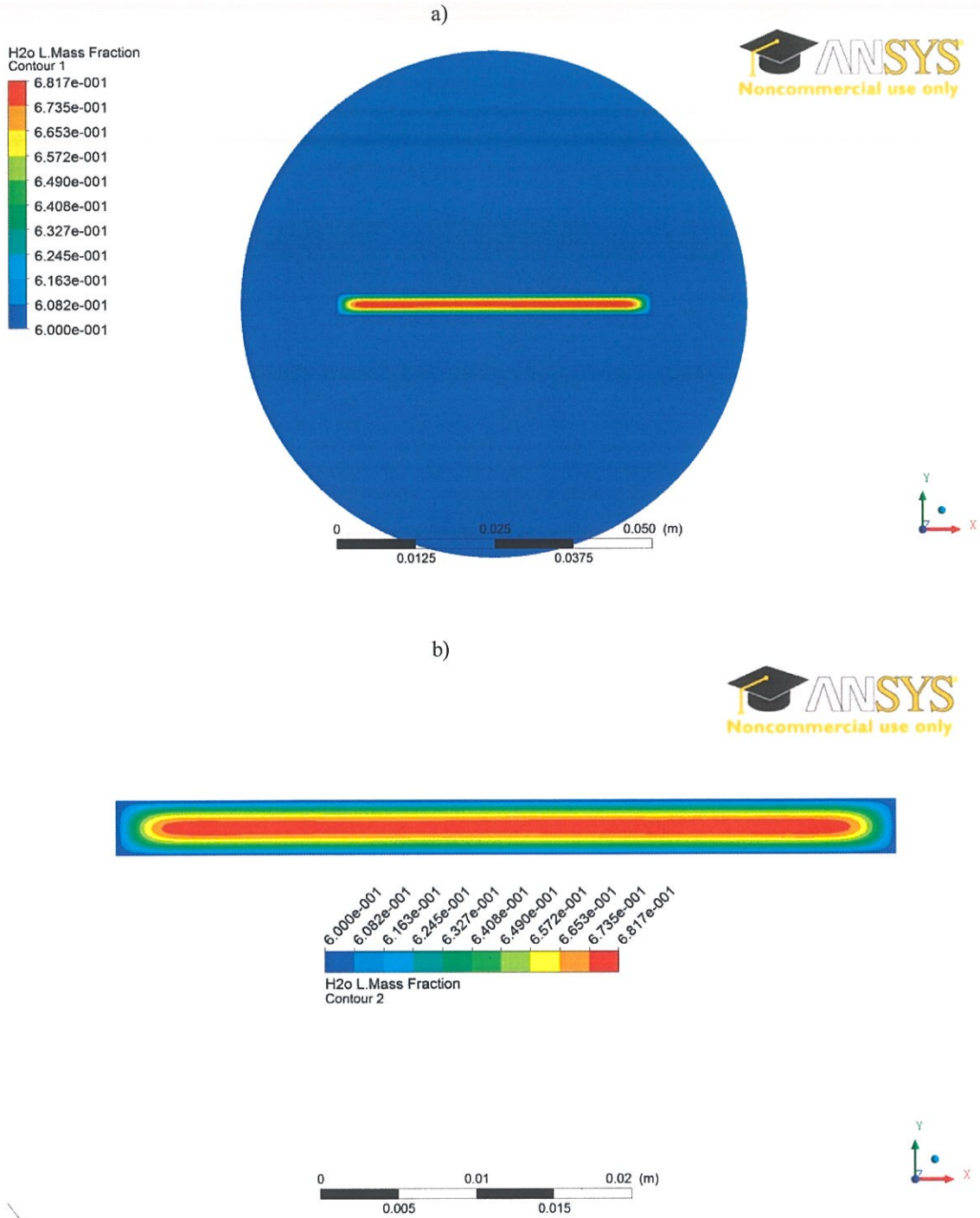


Şekil 4.21 24 V/cm 15 s ÇEİ görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri

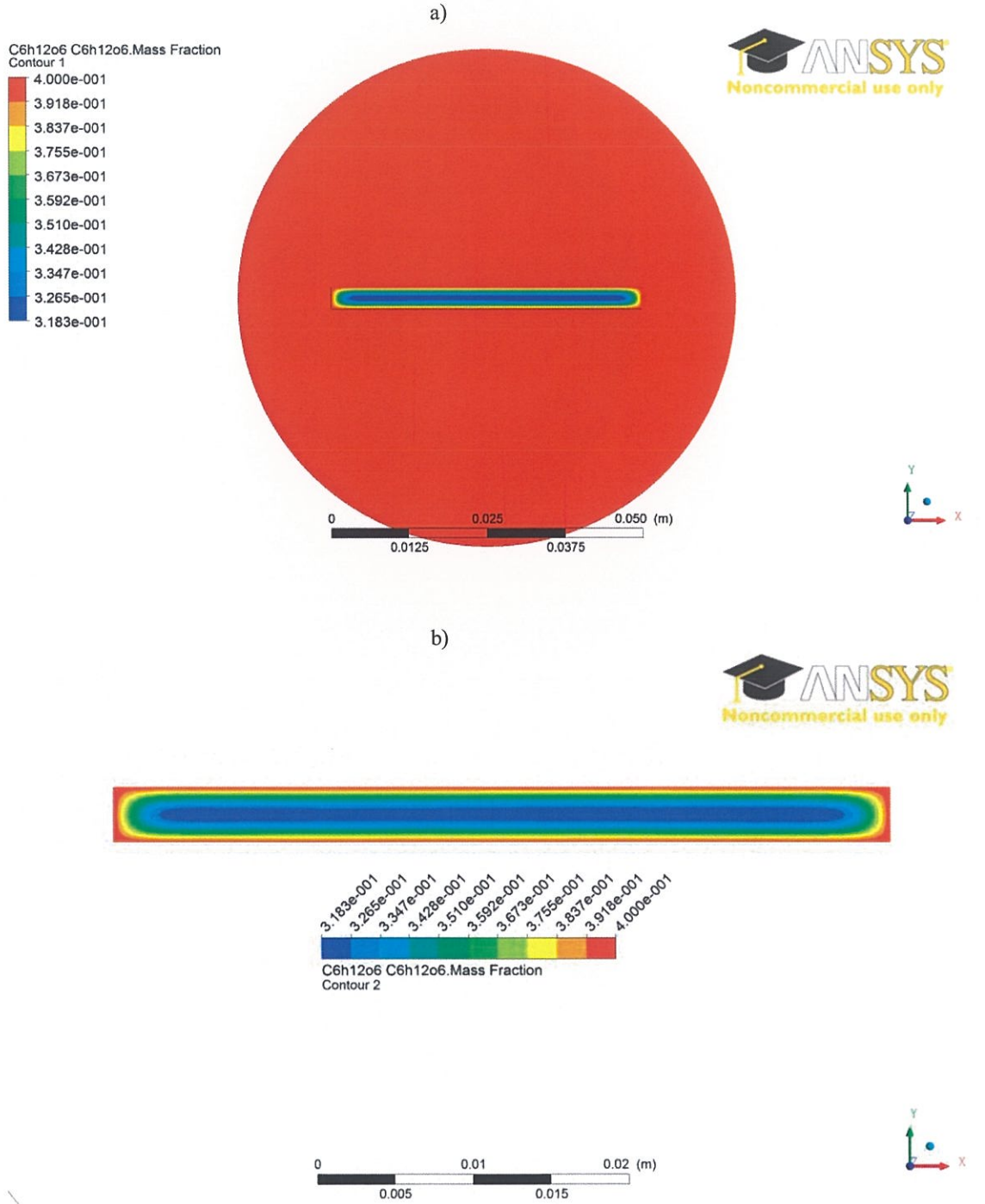


Şekil 4.22 36 V/cm 15 s ÇEİ görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği model (MK) öngörülleri

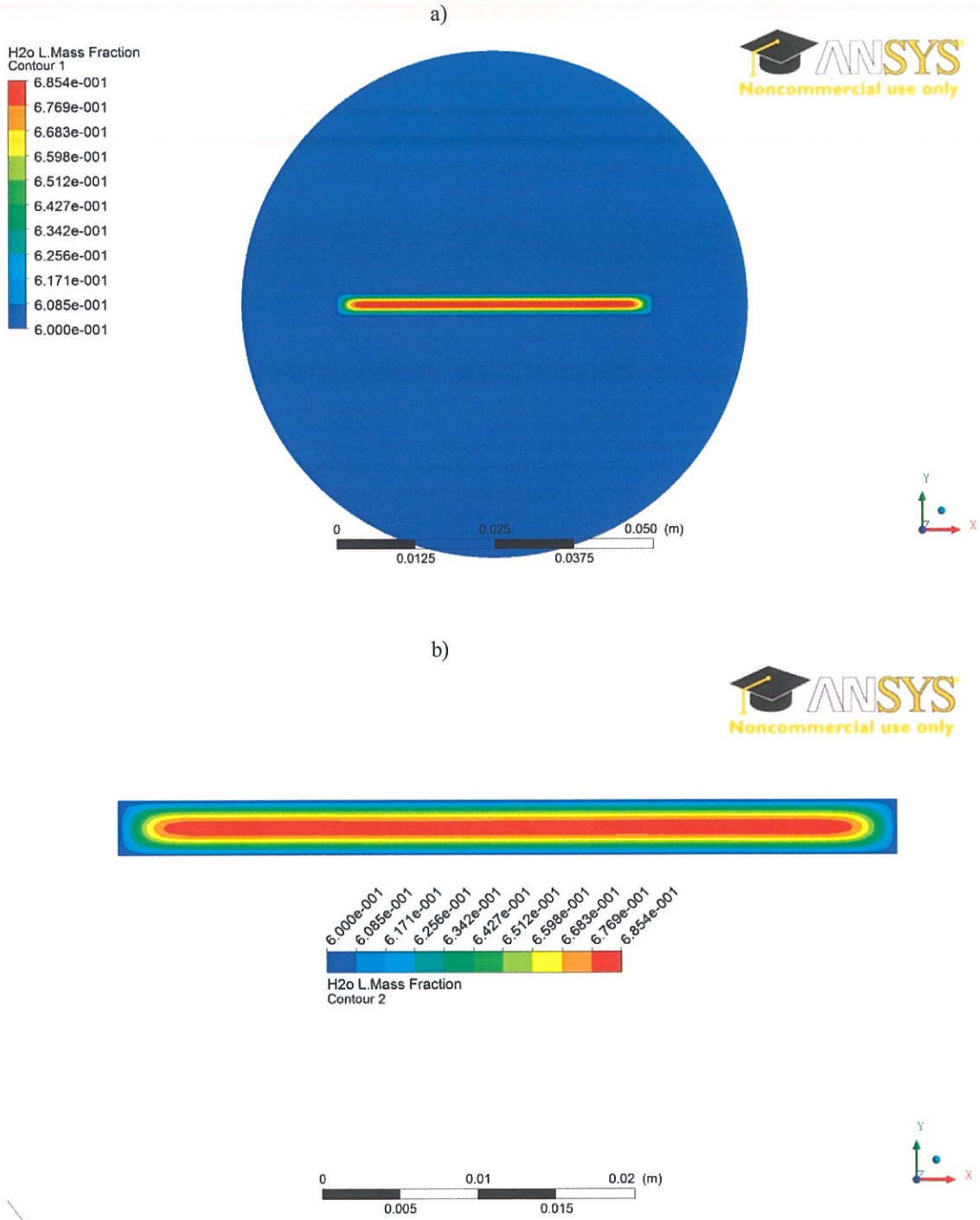
Elma dilimlerindeki kütle aktarımının sonlu farklar yöntemiyle kapalı işlev nümerik olarak çözülmesine ek olarak 160 dak ozmotik kurutma süresi sonundaki su ve katı madde içeriğinin dağılımının 2 boyutta incelenmesi amacıyla benzer varsayımlar ve sınır koşulları dikkate alınarak Ansys Simülasyon Programı kullanılmıştır. Simülasyon programında da kütle aktarımının çözümü nümerik olarak gerçekleştirilmiştir. 12 V/cm – 15 s, 24 V/cm – 15 s ve 36 V/cm – 15 s elektriksel işlem uygulanmış elma dilimleri için simülasyon öngörülleri Şekil 4.23 – 4.28’da gösterilmiştir. Diğer elektriksel ön işlemler için su ve katı madde konsantrasyonu öngörülleri Ek-29’da verilmiştir.



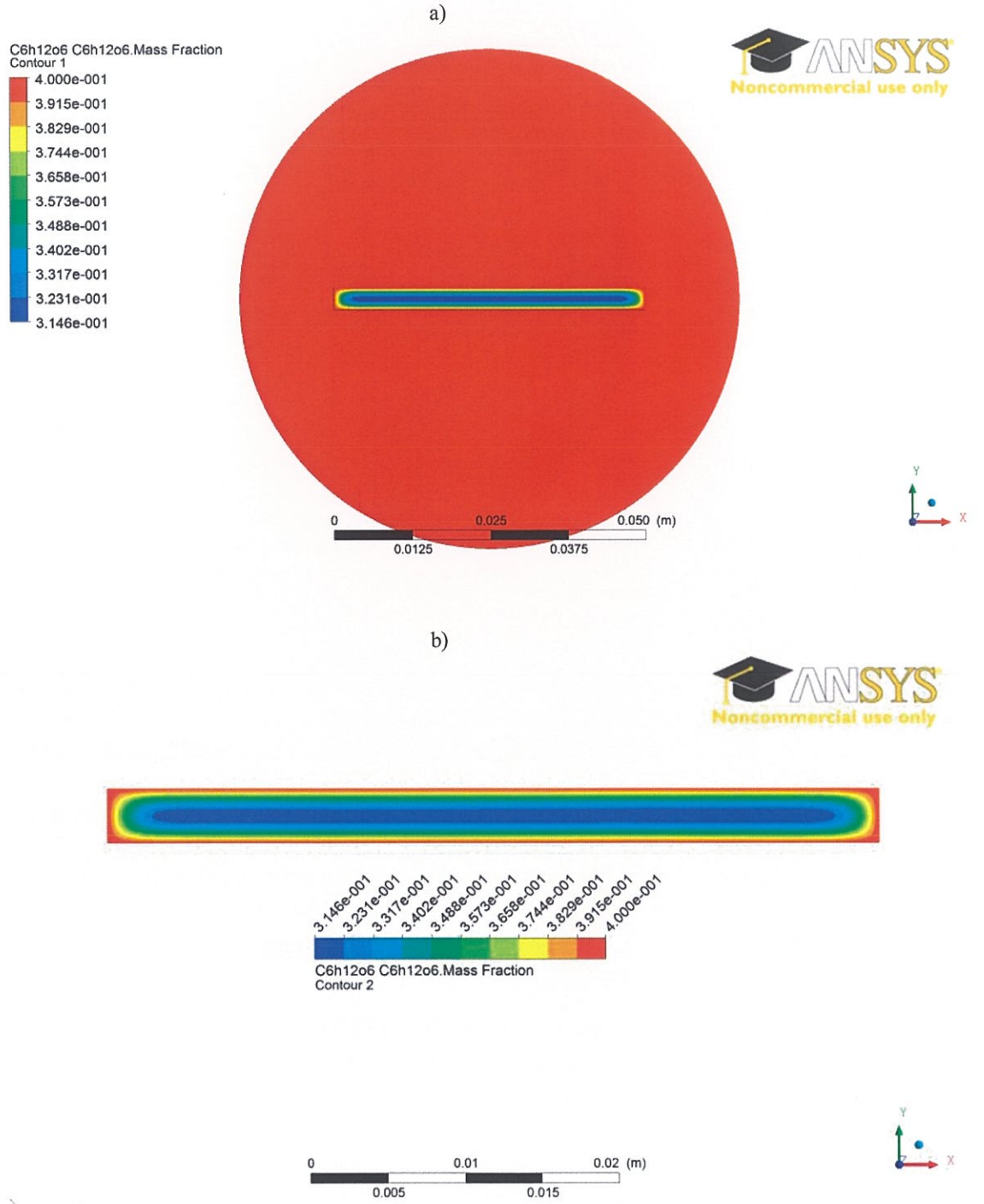
Şekil 4.23 12 V/cm – 15 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyonu (AS) öngörülleri



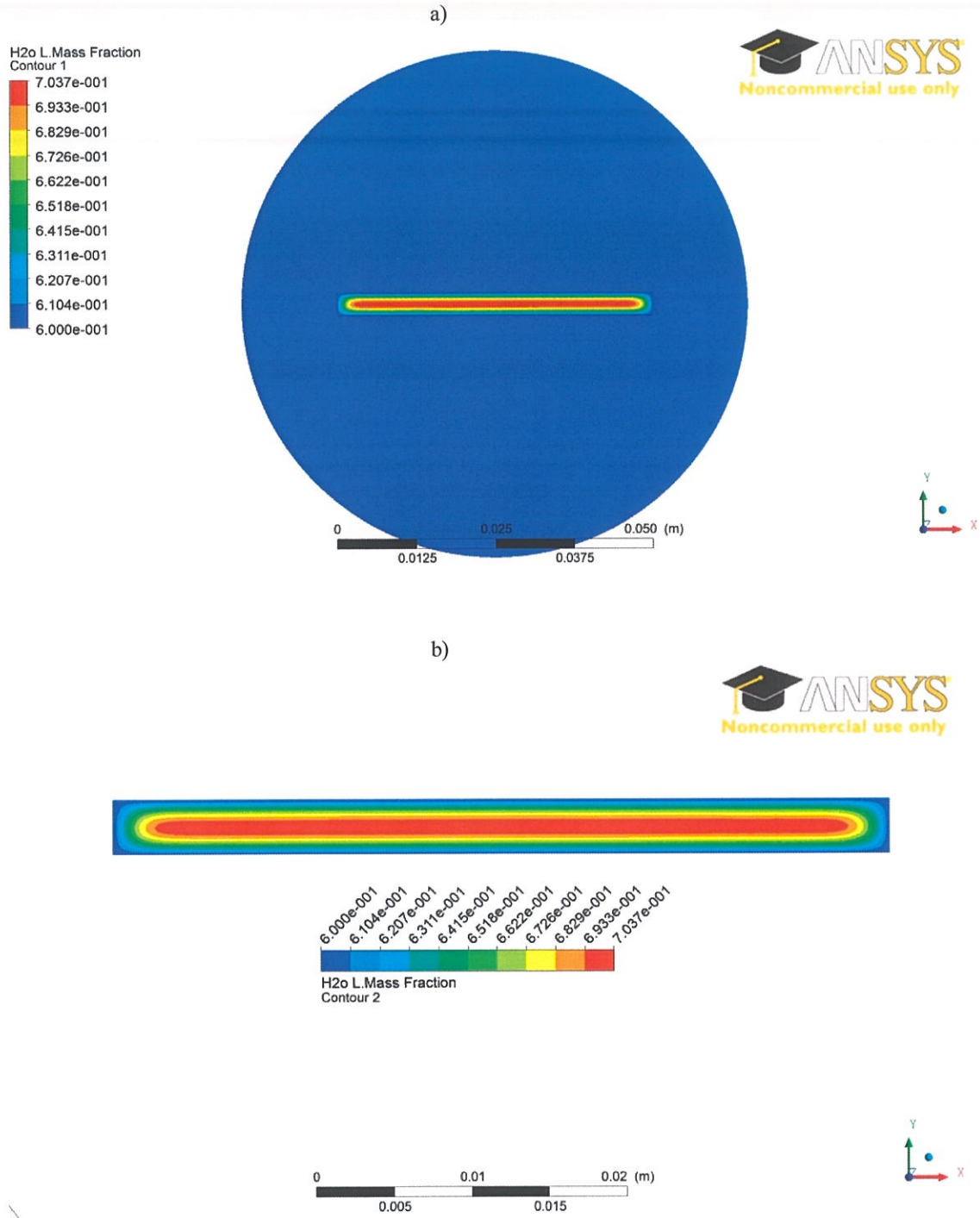
Şekil 4.24 12 V/cm – 15 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri



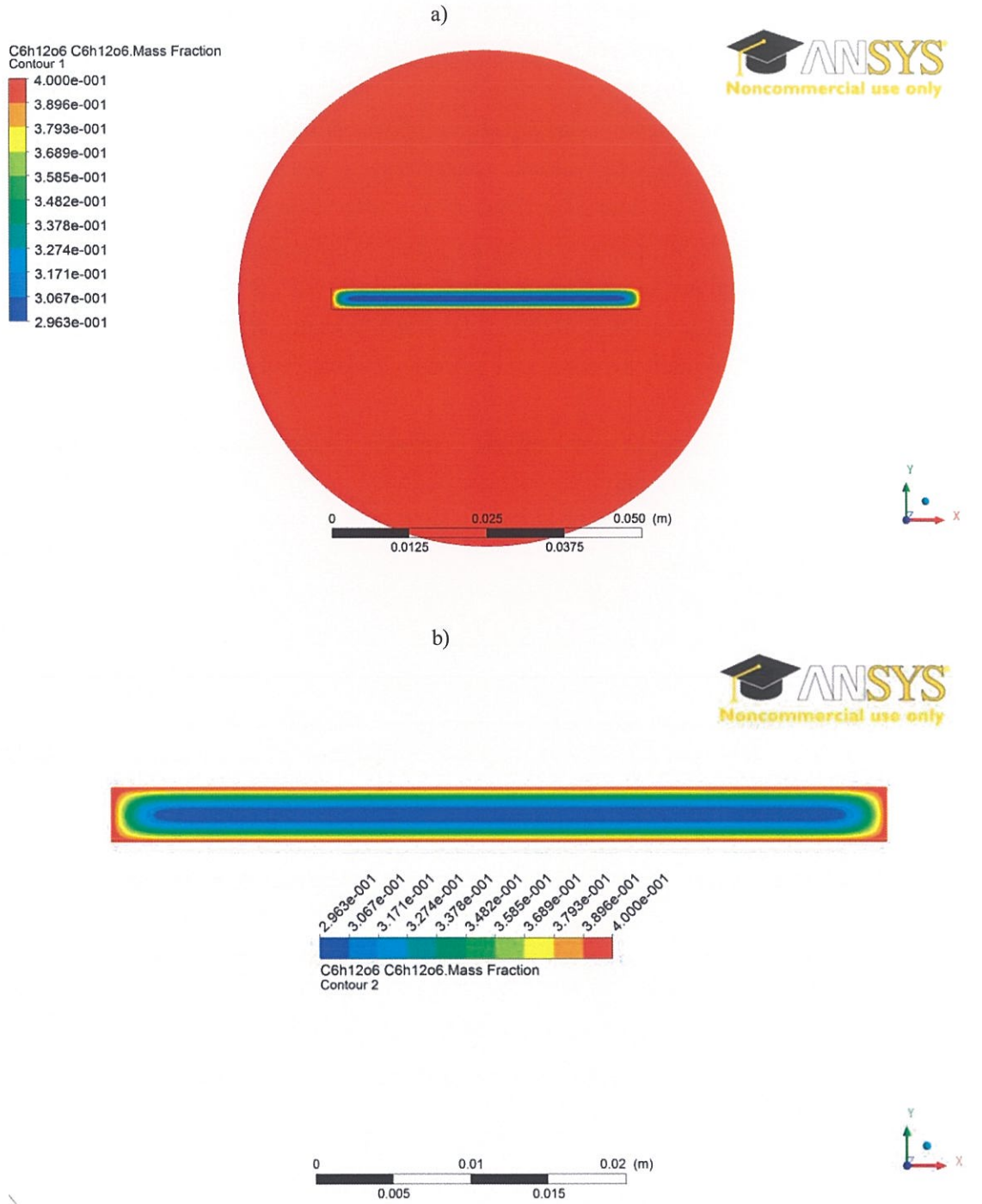
Şekil 4.25 24 V/cm – 15 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyon (AS) öngörülleri



Şekil 4.26 24 V/cm – 15 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri



Şekil 4.27 36 V/cm – 15 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği simülasyon (AS) öngörülleri



Şekil 4.28 36 V/cm – 15 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği simülasyon (AS) öngörülleri

Elma dilimlerine uygulanan tüm ön işlemler için MK ve AS sonuçları karşılaştırıldığında tüm öngörülerde beklendiği gibi yüzeyden merkeze doğru su

konsantrasyonu artarken TKM içeriği azalmaktadır. Ansys (Fluent)'te katı madde konsantrasyonunu gösteren grafiklerde kırmızı renk ile gösterilen konsantrasyon değeri (% 39 – 40) deneysel olarak boyutta azalma gerçekleşen bölüme denk gelmektedir. Modelleme hesaplamalarında boyutun değişmediği varsayıldığı için elma diliminin yüzeyde yüksek konsantrasyon değerlerine sahip olması bu nedenle beklenen bir durumdur. Aynı durum MK öngörülerinde de geçerlidir. 12 V/cm – 15 s ön işlem uygulanan elma dilimlerinin merkezindeki TKM konsantrasyonu her iki modelleme sonucunda da % 31– 32 olarak tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 4.20 ve Şekil 4.23 – 24). Diğer işlemler için de sonuçlar benzer şekilde her iki modelleme sonucu açısından birbirine benzerdir ($p>0.05$).

4.3.3 Temash ve çözelti içinde elektriksel ön işlemlerin karşılaştırılması

TEİ uygulanan örneklerde en yüksek su efektif difüzyon katsayıları 36 V/cm voltaj gradyanında tespit edilmiştir. Diğer difüzyon katsayılarının birbirinden farklı olmadığı bulunmuştur ($p>0.05$). ÇEİ uygulanan örneklerde ise en yüksek su efektif difüzyon katsayıları 36 V/cm ve 12 V/cm voltaj gradyanlarında tespit edilmiştir. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, elektriksel ön işlem uygulamanın su kaybı difüzyon katsayılarını arttırdığı belirlenmiştir. Katı efektif difüzyon katsayılarında ise TEİ ve ÇEİ ile kontrol grubu arasında fark yoktur ($p>0.05$). Bunun nedeni ise katı kazanımı değerlerinin birbirine yakın olmasıdır. Benzer şekilde, Amami et al. (2006), vurgulu elektrik alan (PEF) ile ön işleme tabi tutulan elma örneklerinin 44.5–65 °Briks sakkaroz çözeltisi aralığında ozmotik dehidrasyon mekanizmasını araştırdıkları çalışmalarında PEF ön işleminin su ve katı efektif difüzyon katsayılarını arttırdığı tespit etmişlerdir.

TEİ uygulandığında bulunan su efektif difüzyon katsayıları $1.223 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1.893 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir. Katı efektif difüzyon katsayıları ise $1.124 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1.362 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir. ÇEİ uygulandığında bulunan su efektif difüzyon katsayıları $1.297 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1.969 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir. Katı efektif difüzyon katsayıları ise $1.247 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $2.470 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir.

Bu tez çalışmasında elde edilen difüzyon katsayıları literatürdeki benzer çalışmalarda elde edilen değerlerle uyumludur. Kaymak–Ertekin and Sultanoğlu (2001), elma dilimlerinin ozmotik dehidrasyon kinetiğini sakkaroz, dekstroz ve sakkaroz+dekstroz farklı çözeltilerinde ve farklı sıcaklıklarda araştırmışlar, çözelti

konsantrasyonu ve sıcaklık arttıkça su kaybının da arttığını tespit etmişlerdir. Denge katı kazanımı ve denge su kaybı değerleri Azuara et al. modeli ile bulunmuş, katı kazanımı ve su kaybı difüzyon katsayıları 10^{-11} m²/s ile 10^{-10} m²/s arasında tespit edilmiştir.

Jalae et al. (2011), elma dilimlerinin 180 dak ozmotik kurutulmasına yenilebilir kaplama maddelerinin etkisini incelemişler ve ozmotik çözelti olarak % 50 veya % 60 sakkaroz çözeltisi kullanmışlardır. Katı efektif difüzyon katsayıları 1.003×10^{-10} m²/s ile 3.950×10^{-10} m²/s arasında, su efektif difüzyon katsayıları ise 1.01×10^{-10} m²/s ile 4.97×10^{-10} m²/s arasında rapor edilmiştir.

Abbasi Souraki et al. (2014), sakkaroz çözeltisi içinde elmanın ozmotik dehidrasyonu sırasında su ve sakkaroz efektif difüzyon katsayılarını elmalarda meydana gelen büzülmeyi de hesaba katarak hesaplamışlardır. Elmalar sonsuz plaka olarak kabul edilmiştir. Deneyler farklı sakkaroz çözeltilerinde (% 30, % 40 ve % 50) ve farklı sıcaklıklarda (30 °C, 40 °C ve 50 °C) gerçekleştirilmiştir. Denge katı kazanımı ve denge su kaybı değerlerini hesaplamak için Azuara et al. (1992) modeli kullanılmıştır. Efektif difüzyon katsayıları da modifiye edilmiş Fick'in ikinci kanunu kullanılarak hesaplanmıştır. Su kaybı ve ağırlık kaybı arttıkça hacim kaybı da artmıştır. Difüzyon katsayıları büzülme hesaba katılmadan hesaplandığında 1.36×10^{-10} m²/s ile 2.00×10^{-10} m²/s arasında, büzülme hesaba katıldığında ise 0.87×10^{-10} m²/s ile 1.27×10^{-10} m²/s arasında tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında da büzülme hesaba katılmamış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Temaslı elektriksel ön işlem uygulanan elma dilimlerinin deneysel ozmotik kurutma süreleri ile matematiksel model öngörülleri aralarındaki uyum % hata, RMSE değeri ve Ki-Kare değeri ile ifade edilmiştir (Bkz. Çizelge 4.38). TEİ için model öngörülleri ile deneysel veriler arasındaki % hata oranı, RMSE değerleri ve Ki-Kare değerleri sırasıyla -1.77 – 1.15, 0.78 – 1.77 ve 0.95 – 2.17 arasında değişmektedir. ÇEİ uygulanan elma dilimlerinin deneysel ozmotik kurutma süreleri ile matematiksel model öngörülleri arasındaki % hata oranı, RMSE değerleri ve Ki-Kare değerleri sırasıyla -1.15 – 1.88, 0.69 – 4.70 ve 0.84 – 5.76 arasında değişmektedir (Bkz. Çizelge 4.41). Her iki ön işlem yöntemi için de MK ve AS sonuçlarının birbiriyle benzer olduğu tespit edilmiştir ($p > 0.05$).

MK ile elma dilimlerinin ozmotik kurutma sonucunda istenilen herhangi bir TKM değerine ne kadar sürede ulaşılacağı tespit edilebilmektedir. AS ile ozmotik

kurutma sırasında istenilen herhangi bir zamanda elma dilimlerindeki TKM veya nem içeriği konuma bağlı olarak tespit edilebilmektedir. Örnek içi konsantrasyon dağılımlarının deneysel çalışmalarla elde edilmesi oldukça güç olduğu için matematiksel modelleme ve simülasyon bu konuda fayda sağlamaktadır.

4.4 Elektriksel Ön İşlemin ve Ozmotik Kurutmanın Enerji ve Ekserji Verimliliklerinin İncelenmesi

Elektriksel ön işlemlerin ve ozmotik kurutmanın enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Ayrıca uygulanan ön işlemlerin kurutma hızı üzerine etkileri özgül nem uzaklaştırma oranı (ÖNUO) ve özgül kurutma süresi değerlerine bakılarak da değerlendirilmiştir.

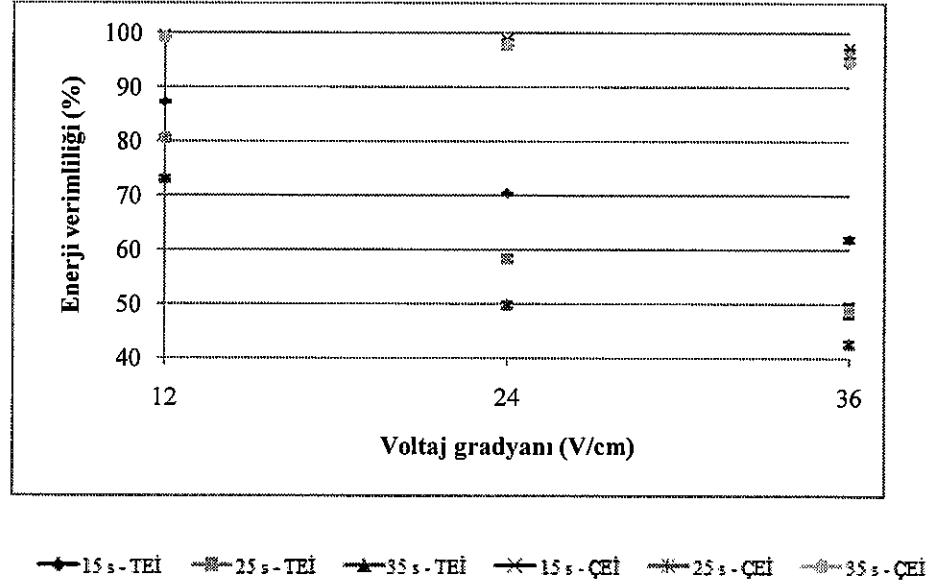
4.4.1 Enerji verimliliği üzerine etkileri

Bu tez çalışmasının deneysel aşamasında elde edilen veriler kullanılarak, farklı voltaj gradyanlarında uygulanan TEİ ve ÇEİ ile ozmotik kurutma işlemi sırasında kütle, enerji, enerji girdi-çıktıları ve enerji verimlilikleri değerlerindeki değişim tespit edilmiştir. Bu değişimler alt başlıklar altında ifade edilmiştir.

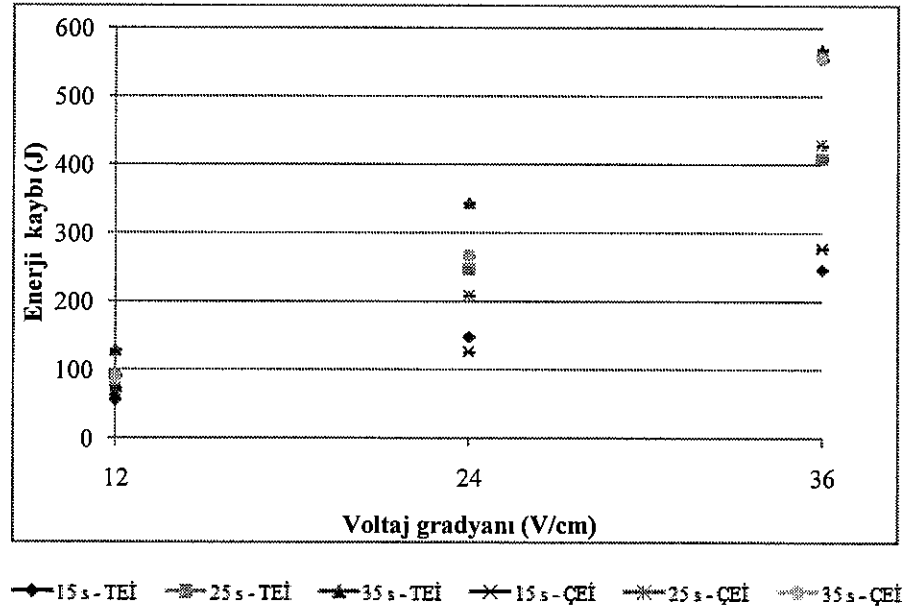
4.4.1.1 TEİ ve ÇEİ işlemlerinin enerji analizi

Farklı voltaj gradyanlarında uygulanan TEİ ve ÇEİ işlemlerinde enerji verimliliği ve enerji kaybı üzerine voltaj gradyanı, elektriksel işlem süresi ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu tespit edilmiştir ($P<0.05$) (Ek-30). Genel olarak değerlendirildiğinde, enerji verimliliğinin ÇEİ'de TEİ'ye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Şekil 4.29). Buna sebep olarak ÇEİ'de çözeltinin de hesaba katılmış olması ve sıcaklık artışının hem çözeltide hem de elmada gerçekleşmiş olması olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte her iki ön işlemde de voltaj gradyanı ve elektriksel ön işlem süresi azaldıkça enerji verimliliğinin arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$) (Şekil 4.29). Uygulanan ön işlemin ısı amaçlı olmamasına karşın, yüksek voltaj gradyanlarında uygulanan ön işlemlerde daha fazla enerji kaybı olmasının bu duruma neden olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla elektriksel ön işlem süresinin artmasıyla daha fazla enerji kaybı oluşmakta ve bu durum da enerji verimini düşürmektedir.

TEİ ve ÇEİ işleminde enerji kaybı üzerine voltaj gradyanı, elektriksel işlem süresi ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu tespit edilmiştir ($P<0.05$) (Ek-30). Genel olarak değerlendirildiğinde, her iki ön işlemde de voltaj gradyanı ve elektriksel ön işlem süresi arttıkça enerji kaybının arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$) (Şekil 4.30). En düşük enerji kaybının ÇEİ 12 V/cm'de, en yüksek enerji kaybının ise ÇEİ 36 V/cm'de gerçekleştiği tespit edilmiştir ($p>0.05$).



Şekil 4.29 TEİ ve ÇEİ için enerji verimliliği



Şekil 4.30 TEİ ve ÇEİ sırasında gerçekleşen enerji kaybı

4.4.1.2 Ozmotik kurutma işleminin enerji analizi

Ozmotik kurutmada ilk 30 dak, 30–160 dak arası ve 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi için enerji analizi yapılmıştır. İlk 30 dak'daki enerji verimliliği ve enerji kaybı üzerine elektriksel işlem süresinin etkili olmadığı ($p>0.05$), voltaj gradyanı ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu tespit edilmiştir ($P<0.05$) (Ek–31). En yüksek enerji verimi ve en düşük enerji kaybı miktarı ÇEİ'de 36 V/cm ön işlemlili ozmotik kurutmada tespit edilmiştir. Genel olarak ÇEİ uygulanan ozmotik kurutmada, kontrol grubu ve TEİ uygulanan ozmotik kurutmaya göre enerji veriminin daha yüksek ve enerji kaybı miktarının daha düşük olduğu belirlenmiştir.

30 dak ile 160 dak arasındaki ozmotik kurutma işleminde enerji verimi üzerine voltaj gradyanı ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin etkili olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Ek–32). Enerji kaybı miktarı üzerine ise voltaj gradyanı, elektriksel işlem süresi ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin etkili olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Genel olarak en yüksek enerji verimi kontrol grubunda tespit edilmiştir.

Ozmotik kurutmada ilk 30 dak ve 30–160 dak arası için bulunan enerji verimlilikleri ve enerji kaybı miktarları arasında istatistiksel olarak farklılık olmasına karşın değerlerinin birbirine çok yakın olduğu göze çarpmaktadır. Ozmotik kurutmanın ilk 30 dak'sı için enerji verimi ortalama 18.94 ± 3.20 , enerji kaybı miktarı da ortalama 291830 ± 11522 J olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde 30–160 dak arası için enerji verimi ortalama 12.39 ± 0.17 iken, enerji kaybı miktarı 1560697 ± 605 J olarak elde edilmiştir. Bu duruma ozmotik kurutma sürelerinin eşit olması ve sisteme verilen enerjinin eşit olmasının neden olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi arasındaki enerji verimlilikleri ve enerji kaybı miktarları bulunmuştur. Böylece ozmotik kurutmada işlem koşullarının enerji verimliliği ve enerji kaybı miktarı üzerine etkilerinin daha kolay görüleceği öngörülmüştür. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda voltaj gradyanı, elektriksel işlem süresi ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin etkili olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Ek–33). Genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek enerji verimi ve en düşük enerji kaybı miktarı ÇEİ 12 V/cm'de en düşük enerji verimi ve en yüksek enerji kaybı miktarı ise kontrol grubunda tespit edilmiştir ($p<0.05$). Aynı voltaj gradyanında ÇEİ uygulanan ozmotik kurutmadaki enerji verimliliğinin TEİ

uygulanan ozmotik kurutmaya göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Genel olarak elektriksel işlem süresi arttıkça enerji verimliliği artarken enerji kaybı miktarı azalmıştır. Kontrol grubu için 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi arasındaki ozmotik kurutmada enerji verimi % 24.88 ± 1.32 enerji kaybı miktarı da 688303.08 ± 51336.76 olarak tespit edilmiştir. ÇEİ ve TEİ uygulanan elma dilimlerinin ozmotik kurutmada 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi arasındaki süre için enerji verimi ve enerji kaybı miktarı Çizelge 4.42'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.42 TEİ ve ÇEİ uygulanan ozmotik kurutmada 30 dak ile % 30 TKM'ye gelme süresi arasındaki süre için enerji verimi ve kayıp enerji miktarı

Voltaj gradyanı (V/cm)	Elektriksel işlem uygulama süresi (s)	Enerji verimliliği (%)		Kayıp enerji (J)	
		TEİ	ÇEİ	TEİ	ÇEİ
12	15	31.28 ± 2.49	62.88 ± 12.74	487793.45 ± 61195.74	140760.41 ± 70112.82
	25	36.55 ± 5.99	56.22 ± 4.26	396194.03 ± 104438.33	171756.17 ± 28768.96
	35	58.92 ± 3.84	78.07 ± 14.66	153962.65 ± 23571.81	78293.60 ± 91845.55
24	15	33.59 ± 1.35	40.81 ± 7.79	430581 ± 24872.81	330968.09 ± 93412.39
	25	28.73 ± 0.83	32.87 ± 0.99	533157.56 ± 23534.26	456109.84 ± 24112.10
	35	36.30 ± 4.80	35.76 ± 1.30	382510.03 ± 74586.76	401166.07 ± 23286.02
36	15	44.31 ± 5.27	38.32 ± 0.61	285992.19 ± 61143.16	354430.47 ± 10434.54
	25	44.52 ± 2.13	58.83 ± 10.70	272056.53 ± 23965.92	162664.32 ± 66817.41
	35	65.68 ± 11.53	50.69 ± 5.42	123724.89 ± 64091.77	218330.65 ± 47111.68

Yıldız vd. (2012), yaptıkları bir çalışmada armutların ozmotik kurutma süresine elektriksel ve ultrasonik ön işlemlerin etkisini araştırmışlardır. Elektriksel ön işlemin (32 V/cm) kütle transfer hızını arttırdığını ve enerji verimliliğini arttırdığını tespit etmişlerdir. Bu tez çalışmasında da benzer şekilde temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemler ozmotik kurutmada enerji verimliliğini arttırmıştır.

4.4.1.3 Özgül nem uzaklaştırma oranı (ÖNUO) değişimi

Özgül nem uzaklaştırma oranı, ön işlemler nedeniyle toplam enerji ihtiyacına karşılık nem uzaklaştırma hızındaki değişimi ifade etmek amacıyla belirlenmiştir. Ön işlemlerin uygulanması amacıyla ek enerji artışı olmaktadır.

Ancak ön işlemler ozmotik kurutma süresinde değişikliğe neden olmakta ve ozmotik kurutma için gerekli toplam enerji miktarında da değişime neden olabilmektedir. Diğer yandan ön işlemlerin etkisiyle birim süredeki nem kaybındaki değişim de dikkate alındığında ÖNUO değeri değişmektedir. ÖNUO değeri ile işlemlerin verimliliğinin yorumlanması da mümkün olabilmektedir (İçier et al., 2008). Tüm koşullar için ÖNUO hesaplanırken standart bir ozmotik kurutma süresinin seçilmesi amacıyla % 30 TKM değerine kadar olan ozmotik kurutma süresi alınmıştır. Tüm ön işlem uygulanmış örneklerde, % 30 TKM değerine kadar olan ozmotik kurutma süresinin nem uzaklaştırma oranı üzerine etkisinin daha belirgin olduğunun deneysel olarak belirlenmesi nedeniyle temel olarak % 30 TKM değerine gelme süreleri dikkate alınmıştır. Kontrol grubu için ÖNUO değeri 5.58 ± 0.62 olarak tespit edilmiştir. TEİ ve ÇEİ uygulanan elma dilimleri için ÖNUO değerindeki değişim izleyen alt başlıklar halinde verilmiştir.

Temaslı elektriksel ön işlem

TEİ uygulaması ozmotik kurutma süresinde ve ozmotik kurutma için gerekli toplam enerjide değişikliğe neden olmaktadır. Birim süredeki nem kaybındaki değişime bağlı olarak ÖNUO değerlerinin değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.43).

ÖNUO değeri üzerine voltaj gradyanı ve elektriksel işlem süresinin etkili olduğu ($p < 0.05$) ancak voltaj gradyanı $\times$ elektriksel işlem süresi etkileşiminin etkili olmadığı ($p > 0.05$) tespit edilmiştir (Ek-34). Elektriksel ön işlem koşulları içinde en yüksek ÖNUO değeri 36 V/cm – 35 s koşulunda tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Voltaj gradyanı ve uygulama süresi arttıkça ÖNUO değerinin arttığı belirlenmiştir ($p < 0.05$). Genel olarak değerlendirildiğinde, elektriksel ön işlemlerin ÖNUO değerlerinin kontrol grubundan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Başka bir deyişle temaslı elektriksel ön işlem uygulamanın enerji verimliliğini arttırdığı şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 4.43 TEİ koşullarının elma dilimlerin ozmotik kurutma sırasında özgül nem uzaklaşma oranı değerleri üzerine etkisi

Uygulanan voltaj gradyanı (V/cm)	Uygulanan işlem süresi (s)	Özgül nem uzaklaştırma oranı (kg uzaklaşan nem/Js)*10 ⁻¹³
12	15	6.37±0.72
	25	7.32±0.40
	35	14.90±3.70
24	15	8.58±4.37
	25	8.30±2.41
	35	14.90±3.70
36	15	13.07±2.10
	25	13.78±3.03
	35	22.03±1.51

Çözelti içinde elektriksel ön işlem

ÇEİ uygulaması ozmotik kurutma süresinde ve ozmotik kurutma için gerekli toplam enerjide değişikliğe neden olmaktadır. Birim süredeki nem kaybındaki değişime bağlı olarak ÖNUO değerlerinin değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.44).

ÖNUO değeri üzerine voltaj gradyanı ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin etkili olduğu ($p<0.05$), elektriksel işlem süresinin etkili olmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir (Ek-35). Elektriksel ön işlem koşulları içinde en yüksek ÖNUO değerleri 12V/cm işlem koşullarında tespit edilmiştir ($p<0.05$). Genel olarak değerlendirildiğinde 12 V/cm ve 36 V/cm işlem koşullarındaki ÖNUO değerlerinin kontrol grubundan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Başka bir deyişle 12 V/cm ve 36 V/cm ÇEİ uygulamanın enerji verimliliğini arttırdığı söylenebilir.

Çizelge 4.44 ÇEİ koşullarının elma dilimlerin ozmotik kurutma sırasında özgül nem uzaklaşma oranı değerleri üzerine etkisi

Uygulanan voltaj gradyanı (V/cm)	Uygulanan işlem süresi (s)	Özgül nem uzaklaştırma oranı (kg uzaklaşan nem/Js)*10 ⁻¹³
12	15	22.33±4.40
	25	18.57±3.74
	35	25.92±4.20
24	15	9.31±4.04
	25	8.70±1.43
	35	8.17±2.09
36	15	10.55±3.06
	25	18.53±4.89
	35	15.08±2.39

Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemin karşılaştırılması

TEİ ve ÇEİ'nin ÖNUO üzerine etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). TEİ uygulanan örneklerde en yüksek ÖNUO değerleri 36 V/cm voltaj gradyanında, ÇEİ'de ise 12 V/cm voltaj gradyanında tespit edilmiştir ($p<0.05$). TEİ'de 15 s ve 25 s elektriksel ön işlem süresindeki ÖNUO değerlerinin birbirinden farklı olmadığı ($p>0.05$), 35 s işlem süresindeki ÖNUO değerlerinden düşük olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). ÇEİ'de ise elektriksel işlem süreleri arasında ÖNUO değerleri bakımından fark olmadığı bulunmuştur ($p>0.05$). Bu sonuçlara göre elektriksel ön işlem uygulamanın kontrol grubuna kıyasla birim enerji başına nem uzaklaştırma özelliğini arttırdığı söylenebilir.

4.4.1.4 Özgül kurutma süresi değişimi

Uygulanan ön işlemin ozmotik kurutma süresinde ve toplam enerjide sağladığı azalışın oranı olarak özgül kurutma süresi değişimi değeri ifade edilmiştir. Özgül kurutma süresi hesaplanırken % 30 TKM değerine ulaşma süresi

kullanılmıştır. Özgöl kurutma süresinin artması, birim enerji artışına göre kurutma süresindeki azalışın daha fazla olduğunu belirteceği için ön işlemin sağlayacağı kazancı ifade etmektedir. Farklı ön işlem koşullarının ozmotik kurutma süresi üzerine etkilerinin yanı sıra birim enerji artışına göre sağlayacakları süre kazançları da karşılaştırılmıştır. Kontrol grubu için % 30 TKM değerine ulaşıırken harcanan enerji 433066.686 J olarak bulunmuştur.

Temaslı elektriksel ön işlem

Temaslı elektriksel ön işlem koşullarının elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasındaki özgöl kurutma süresi değişimi üzerine etkisi Çizelge 4.45’de verilmiştir. Özgöl kurutma süresi üzerine voltaj gradyanının etkili olduğu ($p<0.05$), elektriksel işlem süresi ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin etkili olmadığı ($p>0.05$) belirlenmiştir (Ek-36). Genel olarak değerlendirildiğinde 36 V/cm ve 24 V/cm voltaj gradyanlarındaki özgöl kurutma süresi değerlerinin birbirinden farklı olmadığı ($p>0.05$), 12 V/cm voltaj gradyanından yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte elektriksel işlem süresi arttıkça özgöl kurutma süresi artmıştır ($p<0.05$). Bu sonuçlara göre temaslı elektriksel ön işlemlerin uygulanmasıyla kontrol ozmotik işlemine kıyasla sürede azalma ve enerjide azalış gerçekleşmiştir. Sağlanan fayda ortalama J başına 0.01208 s düzeyindedir. İşlemin toplam enerjisinde ortalama 144655 J azalış olduğu düşünülürse sağlanan fayda 1747 s (yaklaşık 29 dak)’dır. Başka bir deyişle temaslı elektriksel ön işlem uygulamanın ozmotik kurutma açısından enerji kazancına neden olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 4.45 TEİ'nin elma dilimlerinin özgül kurutma süresi değişimi üzerine etkisi

Uygulanan voltaj gradyanı (V/cm)	Uygulanan işlem süresi (s)	Sürede azalma (Δt) (s)	Enerjide azalış (ΔE) (J)	Özgül kurutma süresi değişimi ($\Delta t/\Delta E$) (s/J) *
12	15	980±330	81247±27419	0.01206±0.000005
	25	1480±604	122691±50114	0.01206±0.000006
	35	2640±334	218890±27722	0.01206±0.000001
24	15	1260±120	104382±9969	0.01207±0.000004
	25	1240±695	102637±57694	0.01209±0.000014
	35	1260±692	104180±57376	0.01211±0.000033
36	15	2000±302	165674±24992	0.01207±0.000003
	25	2060±481	170484±39821	0.01208±0.000003
	35	2800±308	231708±25410	0.01208±0.000006

Cözelti içinde elektriksel ön işlem

ÇEİ koşullarının elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasındaki özgül kurutma süresi değişimi üzerine etkisi Çizelge 4.46'de verilmiştir. Özgül kurutma süresi üzerine voltaj gradyanı ve elektriksel işlem süresinin etkili olduğu ($p<0.05$), voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin etkili olmadığı ($p>0.05$) belirlenmiştir (Ek-37). Genel olarak değerlendirildiğinde 36 V/cm ve 24 V/cm voltaj gradyanlarındaki özgül kurutma süresi değerlerinin birbirinden farklı olmadığı ($p>0.05$), 12 V/cm voltaj gradyanından yüksek olduğu belirlenmiştir. 15 s ve 25 s elektriksel işlem süresindeki özgül kurutma süresi değerlerinin birbirinden farklı olmadığı ($p>0.05$), 35 s elektriksel işlem süresinden düşük olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre ÇEİ işlemlerinin uygulanmasıyla kontrol grubu ozmotik işlemine kıyasla sürede azalma ve enerjide azalış gerçekleşmiştir. Sağlanan fayda ortalama J başına 0.01208 s düzeyindedir. İşlemin toplam enerjisinde ortalama 176477 J azalış olduğu düşünülürse sağlanan fayda 2132 s (yaklaşık 36 dak)'dır. Başka bir deyişle ÇEİ uygulamanın ozmotik kurutma açısından enerji kazancına neden olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 4.46 ÇEİ'nin elma dilimlerinin özgül kurutma süresi değişimi üzerine etkisi

Uygulanan voltaj gradyanı (V/cm)	Uygulanan işlem süresi (s)	Sürede azalma (Δt) (s)	Enerjide azalış (ΔE) (J)	Özgül kurutma süresi değişimi ($\Delta t/\Delta E$) (s/J) *
12	15	2740±362	227250±30005	0.01206±0.000000
	25	2720±271	225545±22447	0.01206±0.000001
	35	3060±240	253707±19910	0.01206±0.000001
24	15	1500±780	124277±64744	0.01208±0.000018
	25	1140±120	94298±9901	0.01209±0.000004
	35	1440±120	119075±9880	0.01209±0.000005
36	15	1640±485	135709±40230	0.01209±0.000009
	25	2600±330	215120±27408	0.01209±0.000004
	35	2340±240	193317±19901	0.01210±0.000005

Temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlemin karşılaştırılması

TEİ ve ÇEİ uygulanarak % 30 TKM değerine ulaşma süresinde azalma ve % 30 TKM değerine ulaşmak için harcanan enerjide kontrol grubu ozmotik işlemine kıyasla azalış gerçekleşmiştir. Bu iki değerlerin oranı olan özgül kurutma süresi her iki ön işlemde de 36 V/cm ve 24 V/cm voltaj gradyanlarında birbirinden farklı olmayıp ($p>0.05$), 12 V/cm voltaj gradyanında daha düşüktür ($p<0.05$). TEİ ve ÇEİ'de elektriksel işlem süresi arttıkça özgül kurutma süresi de artmıştır. Sağlanan fayda TEİ ve ÇEİ'de J başına 0.01208 s düzeyindedir. TEİ uygulanarak sağlanan fayda yaklaşık 29 dak iken ÇEİ uygulanarak sağlanan fayda yaklaşık 36 dak'dır.

4.4.2 Ekserji analizi

Bu tez çalışmasının deneysel aşamasında elde edilen veriler kullanılarak, farklı voltaj gradyanlarında uygulanan TEİ ve ÇEİ ile ozmotik kurutma işleminde ekserji girdi-çıktıları, ekserji verimlilikleri ve sistem performans geliştirme potansiyeli (IP) değerlerindeki değişim tespit edilmiştir.

4.4.2.1 TEİ ve ÇEİ işlemlerinin ekserji analizi

TEİ ve ÇEİ işlemlerinde ekserji verimliliği, kayıp ekserji, ekserji verimi ve geliştirme potansiyeli (IP) üzerine voltaj gradyanı, elektriksel işlem süresi, voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu tespit edilmiştir ($P<0.05$) (Ek-38).

TEİ ve ÇEİ işlemlerinde voltaj gradyanı ve süre arttıkça kayıp ekserji ve IP değerlerinin arttığı, ekserji veriminin ise azaldığı tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek kayıp ekserji TEİ 36 V/cm'de, en düşük kayıp ekserji ise ÇEİ 12 V/cm voltaj gradyanında tespit edilmiştir. Genel olarak ÇEİ işlemindeki kayıp ekserji miktarının aynı işlem koşullarında TEİ işlemindekinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Şekil 4.31).

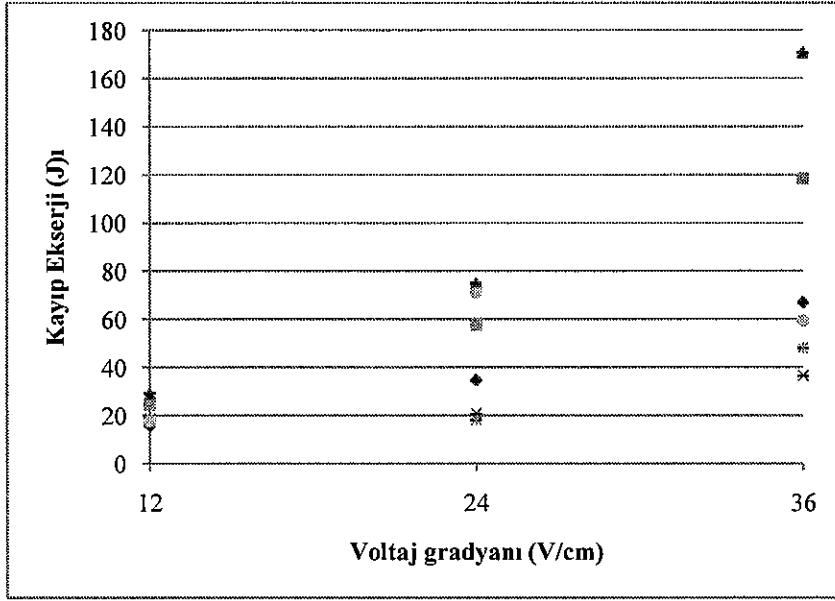
En yüksek IP değeri ÇEİ 36 V/cm'de, en düşük IP değeri ise TEİ 12 V/cm'de bulunmuştur. Genel olarak aynı işlem koşulunda IP değerlerinin ÇEİ işleminde TEİ işlemine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Şekil 4.32).

En yüksek ekserji verimi ÇEİ 12 V/cm'de, en düşük ekserji verimi ise TEİ 36 V/cm'de tespit edilmiştir. Genel olarak aynı işlem koşullarında ÇEİ işleminde ekserji verimi TEİ işlemine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$) (Şekil 4.33).

Voltaj gradyanı arttıkça artan işlem süresine bağlı olarak sistemdeki kayıplar artmaktadır. Uygulanan elektriksel işlemin ısısal amaçlı olmamasından dolayı bu sonucun elde edildiği düşünülmektedir. Sistemdeki kayıpların artmasıyla kayıp ekserji miktarı ve bu miktar ile doğru orantılı olduğu için Sistemin geliştirilme potansiyeli (IP) artmıştır. Bununla birlikte bu iki değer tersine voltaj gradyanı arttıkça ekserji verimliliği azalmıştır.

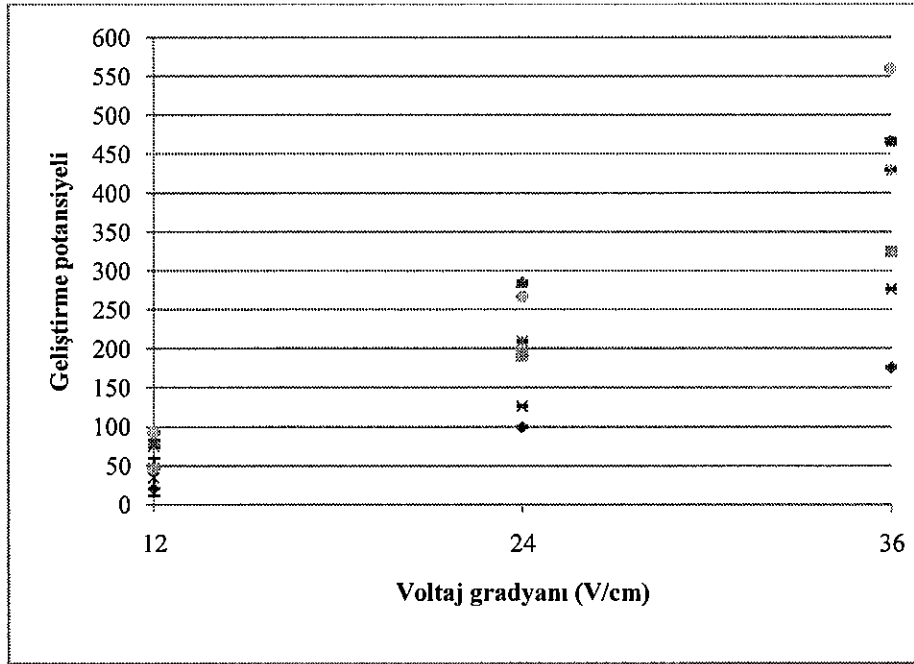
Genel olarak TEİ ve ÇEİ'de tüm işlem koşulları için elde edilen ekserji verimliliklerinin enerji verimliliğinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. TEİ'de enerji verimlilikleri 42.64 ± 0.58 ile 87.26 ± 0.19 arasında iken ekserji verimliliği değerleri ise 18.03 ± 0.34 ile 63.56 ± 0.39 arasında değişmektedir. Benzer şekilde ÇEİ'de enerji verimlilikleri 94.35 ± 0.00 ile 99.39 ± 0.00 arasında iken ekserji verimliliği değerleri ise 66.54 ± 0.04 ile 98.70 ± 0.94 arasında değişmektedir. Ekserji verimliliğinde sistemdeki tersinmezlikleri de dikkate alındığı için bu değerlerin enerji verimliliğinden düşük olması mantıklıdır. Bu durum, ekserji verimliliğinin sistem performansı hakkında daha gerçekçi bilgi vermesi anlamına gelmektedir.

Bozkurt and İçier (2010), farklı yağ içeriğindeki (% 2, % 9 ve % 15) kıyma örneklerine uygulanan ohmik pişirme işlemi sırasındaki enerjetik ve ekserjetik performans değerlendirmesini yapmışlardır. Pişirme işlemi 3 farklı voltaj gradyanında gerçekleştirilmiştir (20, 30 ve 40 V/cm). Kısa işlem süresinde sistemdeki enerji kayıplarının azaldığını ve dolayısıyla ekserjetik verimliliğinin arttığını rapor etmişlerdir. Voltaj gradyanı arttıkça enerji verimliliğinin ve ekserji verimliliğinin arttığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte bulunan enerji verimliliklerinin, bu tez çalışmasında da belirlendiği gibi, ekserji verimliliklerinden yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bu tez çalışmasında uygulanan elektriksel işlemlerin ısısal amaçlı olmaması nedeniyle enerji ve ekserji verimliliklerindeki değişimin voltaj gradyanının artmasıyla doğru orantılı değişim göstermediği tahmin edilmektedir. Bu durum, uygulanan yöntem kısa süreli olduğu için verimliliklerde doğrusal bir değişimin gözlenmediği şeklinde yorumlanmaktadır.



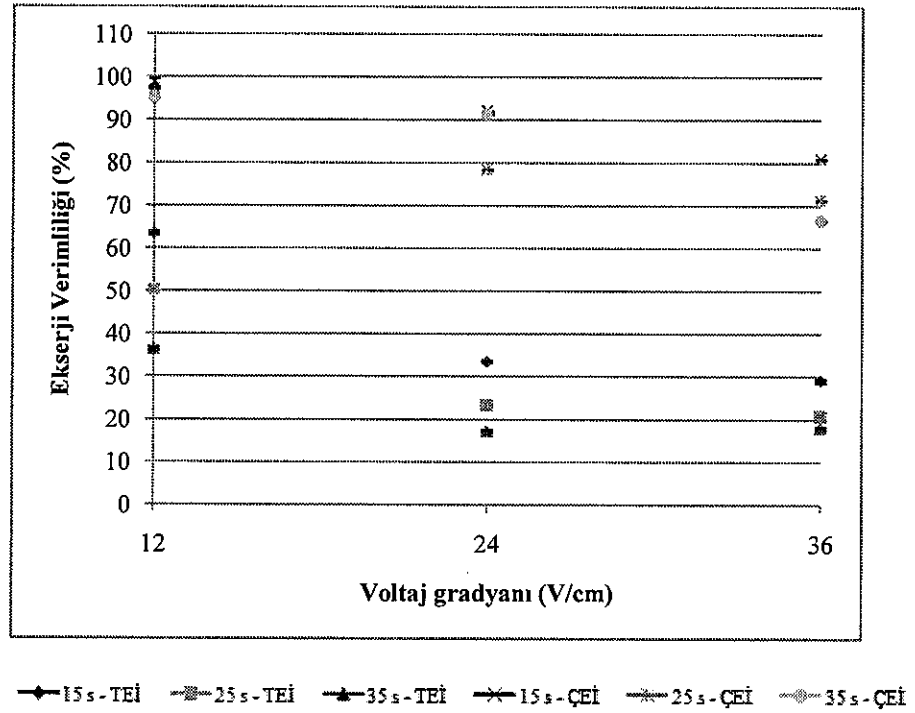
—●— 15 s - TEİ —○— 25 s - TEİ —▲— 35 s - TEİ —×— 15 s - ÇEİ —*— 25 s - ÇEİ —◇— 35 s - ÇEİ

Şekil 4.31 TEİ ve ÇEİ için kayıp ekserji (J)



—●— 15 s - TEİ —○— 25 s - TEİ —▲— 35 s - TEİ —×— 15 s - ÇEİ —*— 25 s - ÇEİ —◇— 35 s - ÇEİ

Şekil 4.32 TEİ ve ÇEİ için geliştirme potansiyeli değerleri



Şekil 4.33 TEİ ve ÇEİ için ekserji verimliliği

4.4.2.1 Ozmotik kurutma

Ozmotik kurutmada ilk 30 dak için kayıp ekserji, ekserji verimi ve geliştirme potansiyeli (IP) üzerine voltaj gradyanı ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu ($P<0.05$), ancak elektriksel işlem süresinin etkili olmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir (Ek-39).

Genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek ekserji verimi, en düşük kayıp ekserji miktarı ve en düşük IP değeri ÇEİ 36 V/cm'de tespit edilmiştir. ÇEİ işlemi uygulanan ozmotik kurutmada ilk 30 dak için ekserji veriminin TEİ uygulanan ozmotik kurutmadan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bununla birlikte TEİ uygulanan ozmotik kurutmada ilk 30 dak'da kayıp ekserji miktarı ve IP değerlerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ozmotik kurutmada 30 dak ile 160 dak arasındaki kayıp ekserji miktarı üzerine voltaj gradyanı, elektriksel işlem süresi ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin etkili olduğu belirlenmiştir ($p>0.05$). IP ve ekserji verimi üzerine ise voltaj gradyanı ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin istatistiksel olarak önemli düzeyde

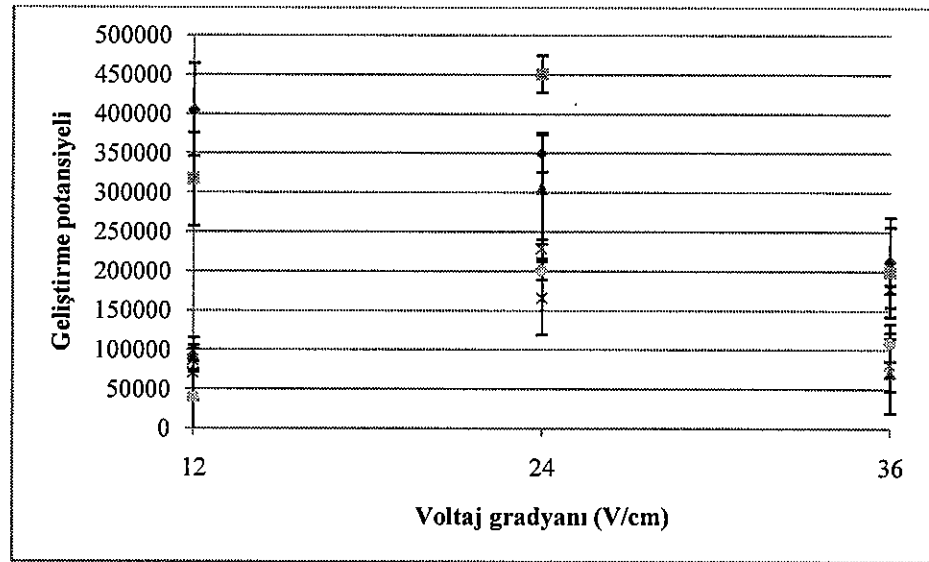
etkili olduğu ($P<0.05$), ancak elektriksel işlem süresinin etkili olmadığı ($p>0.0$) tespit edilmiştir (Ek-40). Genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek ekserji verimi ve en düşük IP değeri kontrol grubunda tespit edilmiştir.

Ozmotik kurutmada ilk 30 dak ve 30–160 dak arası için bulunan ekserji verimlilikleri, IP değerleri ve kayıp ekserji miktarları arasında istatistiksel olarak farklılık olmasına karşın değerlerin birbirine çok yakın olduğu göze çarpmaktadır. Ozmotik kurutmanın ilk 30 dak'sı için ekserji verimi ortalama 27.19 ± 0.94 , IP değerleri ortalama 205856 ± 10526 ve kayıp ekserji miktarı da ortalama 61464 ± 20716 J olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde 30–160 dak arası için ekserji verimi ortalama 6.21 ± 0.10 iken, IP değerleri ortalama 1465406 ± 1430 ve kayıp ekserji miktarı da 235615 ± 85974 J olarak elde edilmiştir. Bu duruma ozmotik kurutma sürelerinin eşit olması ve sisteme verilen enerjinin eşit olmasının neden olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi arasındaki ekserji verimlilikleri, IP değerleri ve kayıp ekserji miktarları bulunmuştur. Böylece ozmotik kurutmada işlem koşullarının bu değerler üzerine etkilerinin daha kolay görüleceği öngörülmüştür.

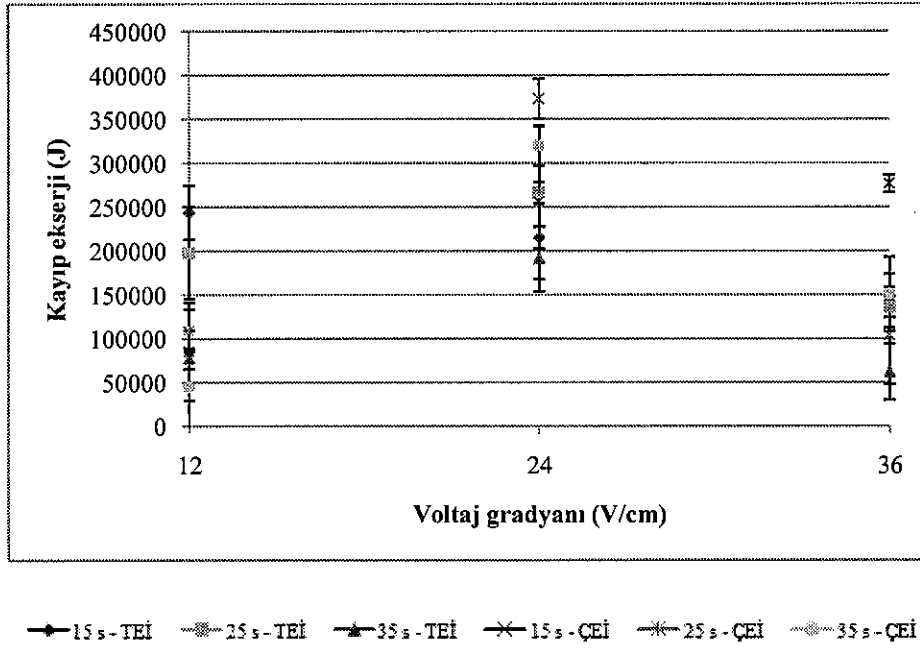
Yapılan istatistiksel analiz sonucunda voltaj gradyanı, elektriksel işlem süresi ve voltaj gradyanı×elektriksel işlem süresi etkileşiminin bu değerler üzerine etkili olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Ek-41). Genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek ekserji verimi, en düşük IP değeri ve en düşük kayıp ekserji miktarı ÇEİ 12 V/cm'de en düşük ekserji verimi, en yüksek IP değeri ve en yüksek kayıp ekserji miktarı ise kontrol grubunda tespit edilmiştir ($p<0.05$). Aynı voltaj gradyanında ÇEİ uygulanan ozmotik kurutmadaki ekserji verimliliğinin 12 V/cm voltaj gradyanı dışında TEİ uygulanan ozmotik kurutma ile benzer olduğu belirlenmiştir ($p>0.05$). 12 V/cm voltaj gradyanında ÇEİ işleminin ekserji verimliliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Bunun nedeninin 12 V/cm'de ÇEİ işleminin TEİ'ye göre daha hızlı olarak % 30 TKM'ye gelmesini sağlamasıdır. Genel olarak elektriksel işlem süresi arttıkça ekserji verimliliği artarken, kayıp ekserji miktarı ve IP değerleri azalmıştır. Kontrol grubu için 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi arasındaki ozmotik kurutmada ekserji verimi $\% 13.43\pm0.82$, IP değeri 597354.14 ± 50451.53 ve 344151.54 ± 25668.38 kayıp ekserji miktarı da 688303.08 ± 51336.76 olarak tespit edilmiştir. ÇEİ ve TEİ uygulanan ozmotik kurutma 30 dak ile % 30 TKM'ye gelme süresi arasındaki süre için ekserji verimi Çizelge 4.47'de gösterilmiştir. IP değerleri ve kayıp ekserji miktarları da Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.47 TEİ ve ÇEİ uygulanan ozmotik kurutmada 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi arasındaki süre için ekseji verimi

Voltaj gradyanı	Elektriksel işlem uygulama süresi (s)	Ekserji verimliliği (%)	
		TEİ	ÇEİ
12	15	17.46±1.65	44.75±13.97
	25	21.21±4.27	37.35±4.09
	35	39.83±3.79	64.90±26.14
24	15	19.07±0.90	24.46±6.08
	25	15.81±0.54	18.55±0.67
	35	21.06±3.50	20.61±0.93
36	15	27.12±4.17	22.41±0.46
	25	27.25±1.70	40.27±10.72
	35	47.72±12.46	32.43±4.80



Şekil 4.34 TEİ ve ÇEİ uygulanan ozmotik kurutmada 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi arasındaki sürede elde edilen geliştirme potansiyeli değerleri



Şekil 4.35 TEİ ve ÇEI uygulanan ozmotik kurutmada 30 dak ile % 30 TKM değerine gelme süresi arasındaki sürede elde edilen kayıp ekserji değerleri

Genel olarak ozmotik kurutmada tüm işlem koşulları için elde edilen ekserji verimliliklerinin enerji verimliliğinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. TEİ'de enerji verimlilikleri 28.73 ± 0.83 ile 65.68 ± 11.53 arasında iken ekserji verimliliği değerleri ise 15.81 ± 0.54 ile 47.72 ± 12.46 arasında değişmektedir. Benzer şekilde ÇEI'de enerji verimlilikleri 32.87 ± 0.99 ile 78.07 ± 14.66 arasında iken ekserji verimliliği değerleri ise 18.55 ± 0.67 ile 64.90 ± 26.14 arasında değişmektedir. Kontrol grubu için de enerji verimliliği 24.88 ± 1.32 iken, ekserji verimliliği 13.43 ± 0.82 olarak elde edilmiştir. Ekserji verimliliğinde sistemdeki tersinmezlikler de dikkate alındığı için bu değerlerin enerji verimliliğinden düşük olması mantıklıdır. Bu durum, ekserji verimliliğinin sistem performansı hakkında daha gerçekçi bilgi vermesi anlamına gelmektedir.

Bozkurt and İçier (2010), farklı yağ içeriğindeki (% 2, % 9 ve % 15) kıyma örneklerine uygulanan ohmik pişirme işlemi sırasındaki enerjetik ve ekserjetik performans değerlendirmesini yapmışlardır. Pişirme işlemi 3 farklı voltaj gradyanında gerçekleştirilmiştir (20, 30 ve 40 V/cm). yaparak; kısa işlem süresinde sistemdeki enerji kayıplarının azaldığını ve dolayısıyla ekserjetik verimliliğinin arttığını rapor etmişlerdir. Voltaj gradyanı arttıkça enerji verimliliğinin ve ekserji verimliliğinin arttığını tespit etmişlerdir. Bulunan enerji

verimliliklerinin bu çalışmada olduğu gibi ekserji verimliliklerinden yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Erbay and İçier (2009a), zeytin yapraklarının tepsili kurutucuda kurutulmasının yanıt yüzey metodu ile optimizasyonunu yapmışlardır. Optimizasyon faktörleri; sıcaklık (40-60 °C), hava hızı (0.5-1.5 m/s), işlem süresi (240-480 dak) olarak belirlenmiştir. Araştırılan yanıtlar; toplam fenolik madde içeriği (PC), antioksidan aktivitesi kaybı (AC), son nem içeriği (MC) ve ekserjetik verimlilik (η) olarak belirlenmiştir. Optimizasyonda istenen kriterler: minimum PC ve AC, maksimum η ve % 6'nın altında MC değeri olmalıdır. Bulunan optimum koşullar; sıcaklık 51.16 °C, hava hızı 1.01 m/s, işlem süresi 298.68 dak olarak tespit edilmiştir. Bu koşullardaki PC, AC, MC ve η değerleri sırasıyla % 10.25, % 41.88, % 6.0 and % 65.50 olarak bulunmuştur. Zeytin yapraklarının tepsili kurutucuda kurutulması işleminde η değerlerini % 56.09-75.26 arasında tespit etmişlerdir. Sistem başlangıcında ısı kaybı ve tersinmezliklerin daha yüksek çıktığını tespit etmişlerdir. Hava hızının artırılmasıyla η değerlerinin arttığını, sıcaklığın artmasıyla ise azaldığını tespit etmişlerdir. Bu nedenle yüksek η değerlerinin elde edilebilmesi için kurutma işleminin düşük sıcaklıkta ve uzun sürede gerçekleştirilmesi gerektiğini tespit etmişlerdir (Dinçer ve Şahin, 2004; Akpınar, 2004; Akpınar et al., 2005; Çolak ve Hepbaşlı, 2007; Corzo et al., 2008). Bu tez çalışmasında ise ozmotik kurutma süresi arttıkça enerji kaybının artmasından dolayı ekserji verimi düşmüştür. TEİ ve ÇEİ uygulanmasıyla ekserji verimi artmıştır. Bu sonuç ozmotik kurutmada ilk 30 dak ile % 30 TKM'ye gelme süresi arasında net bir şekilde gözlenektedir (Bkz. Çizelge 4.47).

İçier et al. (2010), brokolinin 3 farklı kurutucuda (Tepsili, ısı pompası, akışkan yatak) kurutulmasının ekserjetik performans değerlendirmesini yapıp karşılaştırmışlardır. Kurutucu havanın sıcaklığının ekserji verimi, ekserji yıkımı ve IP değeri üzerine etkisini incelemişlerdir. Tepsili ve ısı pompası kurutucuda 1.5 m/s hava hızında kurutucu hava sıcaklığı arttıkça ekserji yıkımının arttığı tespit edilmiştir. En yüksek ekserji verimi % 90.86 olarak akışkan yatak kurutucuda tespit edilmiştir. En yüksek IP değeri ise ısı pompası kurutucuda 45 °C hava sıcaklığında 1.0 m/s hava hızında tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında yapılan ozmotik kurutma sırasında sıcaklığın sabit olması ve kurutma sırasında diğer kurutma yöntemlerinden farklı olarak madde kaybının olmamasından dolayı bu faktörlerin ekserji verimine etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu ve bu nedenle ekserji verimini en çok etkileyen faktörün işlem süresi olduğu tahmin

edilmektedir. Başka bir deyişle belli bir % TKM değerine ulaşmak için gereken sürenin kısılmasıyla ekserji veriminin arttığı belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 4.47).

Bu çalışmada TEİ ve ÇEİ işlemlerinin uygulanmasıyla diğer kurutma yöntemlerinden farklı olarak kütle kaybı olmayan ve sabit sıcaklıkta gerçekleştirilen ozmotik kurutmada belli bir % TKM değerine gelme süresi kısaldığı için ekserji veriminin arttığı tespit edilmiştir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Elma dilimlerinin temaslı ve çözelti içinde elektriksel ön işlem uygulandıktan sonra ozmotik kurutulmasının deneysel ve kuramsal incelenmesi, elektriksel ve ozmotik sistemin enerji ve ekserji analizinin yapılması konulu bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıda genel olarak değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

TEİ ve ÇEİ işlemleri düşük voltaj gradyanında ve kısa işlem süresinde uygulandığı için elma dilimlerinde 1.1 °C'nin altında sıcaklık artışına neden olmuştur. Bu nedenle ısısal olmayan işlemler olarak kabul edilmiştir. Bu işlemlerin uygulanmasıyla elmanın ozmotik kurutulması sırasında kütle transferi hızlanarak su kaybı ve katı kazanımı artmıştır. Başka bir deyişle uygulanan TEİ ve ÇEİ işlemleriyle literatürdeki ohmik ısıtma etkisinin incelendiği çalışmalardan farklı olarak kütle aktarımı üzerine ısısal olmayan etkinin de olduğu belirlenmiştir.

TEİ ve ÇEİ işlemlerinin etkisi ilk 90 dak'da net bir şekilde % TKM değerlerindeki artışla tespit edilmiştir. Bu nedenle bu ön işlemlerin elma dokusunda kütle transferine olan direnci, dokuya hasar vererek ya da dokular arası gözeneklerin büyümesine neden olarak sağladığı yorumu yapılabilmektedir. Bunu tespit etmek için elektron mikroskopu ya da NMR görüntüleri alınarak incelenmesi konusunda çalışmaların yapılması önerilmektedir.

TEİ işleminde en yüksek voltaj gradyanında kütle transfer hızına sağlanan en olumlu etki, ÇEİ işleminde en düşük voltaj gradyanında sağlanmıştır. ÇEİ işleminde yüksek voltaj gradyanlarında, çözeltide gerçekleşen sıcaklık artışına bağlı olarak akımın çözelti ve elma diliminden homojen geçmemesi sebebiyle voltaj gradyanının kütle transferine etkisinin beklendiği gibi olmadığı düşünülmektedir.

Ağırlık kaybının en yüksek 90–140 dak aralığında gerçekleşmesi, bu ozmotik süre aralığında katı kazanımı ve su kaybı olmasının yanında boyutunun da küçülerek büzüşmenin fazla gerçekleştiğini göstermektedir. TEİ ve ÇEİ işlemleri uygulandığında, meyve ve sebzelerin ozmotik kurutma sırasında istenen % TKM miktarına daha hızlı ulaşacağı ve boyut kaybının daha az gerçekleşeceği öngörülmektedir. Meyve ve sebzeler çözeltiye daha az maruz kalacağı için görünüm olarak daha kaliteli ürünler elde edilebilecektir. İlerideki çalışmalarla kalite analizleri yapılarak bu durumun tespit edilmesi önerilmektedir.

Ozmotik kurutma sırasında su kaybının mümkün olduğunca yüksek, katı kazanımının ise düşük olması istenmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre elektriksel ön işlemin 160 dak boyunca su kaybının etkin hale gelmesini sağlaması ve katı kazanımını dolaylı olarak engellemesi bu istenen durumu gerçekleştirmektedir. Bu nedenle farklı çözeltilerle, farklı konsantrasyonlarla ve farklı sıcaklıklarla bu olumlu etkinin araştırılarak teyit edilmesi önerilmektedir.

Deneysel verilerden yararlanılarak hesaplanan efektif difüzyon katsayıları kullanılarak ozmotik kurutma işleminin modelleme ve simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbiriyle çok uyumlu çıkmıştır. Modelleme ile ilgili koşullar için bir elma diliminin istenen % TKM değerine ne kadar sürede ulaşacağı belirlenebilmektedir. Simülasyon ile elma dilimlerinin herhangi bir ozmotik süre sonundaki % TKM içeriği ve pozisyona göre dağılımı belirlenebilmektedir. Belirlenen ozmotik kurutma süresi aralığında (0–160 dak) herhangi bir ozmotik kurutma süresi için % TKM ve su içeriğinin deneysel çalışmalarla elde edilmesi oldukça güç olduğu için matematiksel modelleme ve simülasyon bu konuda fayda sağlamaktadır. Bununla birlikte yapılan bu çalışmaların daha da geliştirilerek 3 boyutta yapılması önerilmektedir. Ayrıca efektif difüzyon katsayılarının hesaplanmasında, modelleme ve simülasyonda bu çalışmada ihmal edilen boyut değişiminin hesaba katılarak daha gerçekçi sonuçların elde edileceği öngörülmektedir.

ÇEI'nin hem çözeltide hem de elma dilimlerinde sıcaklık artışına neden olması enerji veriminin daha yüksek olmasını sağlamıştır. TEİ ve ÇEI işlemlerinde voltaj gradyanının ve elektriksel işlem süresinin artmasıyla enerji veriminin düşmesinin sebebinin uygulanan elektriksel ön işlemlerin ısısal amaçlı olmamasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Ozmotik kurutmada yapılan enerji ve ekserji analizleri ile ÖNUO ve özgül kurutma süresinin tespit edilmesi ön işlemlerin verimliliğe etkisinin daha net belirlenmesini sağlamıştır. Elde edilen sonuçlara göre kütle transfer hızını en çok arttıran ön işlemler ozmotik kurutmada en yüksek enerji ve ekserji verimine ulaşılmasını sağlamıştır. Genel olarak tüm elektriksel ön işlemlerli ozmotik kurutmalarda elde edilen enerji ve ekserji verimi, ÖNUO oranı ve özgül kurutma süresi değişimleri kontrol grubu ozmotik kurutmadan daha yüksek tespit edilmiştir. ÇEI'de 12 V/cm voltaj gradyanının, tüm ön işlemlerle karşılaştırıldığında, ozmotik kurutmada en yüksek enerji ve ekserji verimi sağlaması ÇEI işleminin daha da geliştirilebileceğini göstermektedir. Bu durum

ÖNUO ve özgül kurutma sürelerinde de benzer sonuçların elde edilmesiyle pekiştirilmiştir.

ÇEI işleminin, düşük voltaj gradyanında TEİ'den daha yüksek enerji ve ekserji verimliliği sağlaması, ozmotik kurutma süresini kısaltması ve harcanan enerji miktarına göre daha yüksek verimlilik sağlaması nedeniyle sanayiye uygulanabilirlik açısından TEİ işlemine alternatif bir işlem olabilmektedir. Uygulanan voltaj gradyanları ve elektiksel ön işlem süreleri değiştirilerek ve kullanılan materyaller değiştirilerek ÇEI'nin etkisinin araştırılmaya devam edilmesi önerilmektedir.

Sanayiye uygulanabilmesi açısından bu tezde elde edilen verilerin ileride yapılacak çalışmalarla desteklenmesi önerilmektedir. Bu çalışmada uygulanan voltaj gradyanlarının kütle transferine ve enerji verimliliğine olan olumlu etkisinin pilot ve sanayi ölçeklerde de araştırılması ve maliyet analizinin yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abbasi Souraki, B., Ghavami, M., and Tondro, H.,** 2014, Correction of moisture and sucrose effective diffusivities for shrinkage during osmotic dehydration of apple in sucrose solution, *Food and Bioproducts Processing*, 92:1-8pp.
- Ade-Omowaye, B.I.O., Rastogi, N.K., Angersbach, A. and Knorr, D.,** 2001, Effects of high hydrostatic pressure or high intensity electrical field pulse pre-treatment on dehydration characteristics of red paprika, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2:1-7pp.
- Ade-Omowaye, B.I.O., Rastogi, N.K., Angersbach, A. and Knorr, D.,** 2002, Osmotic dehydration of bell peppers: influence of high intensity electric field pulses and elevated temperature treatment, *Journal of Food Engineering*, 54:35-43pp.
- Ade-Omowaye, B.I.O., Rastogi, N.K., Angersbach, A. and Knorr, D.,** 2003a, Combined effects of pulsed electric field pre-treatment and partial osmotic dehydration on air drying behaviour of red bell pepper, *Journal of Food Engineering*, 60:89-98pp.
- Ade-Omowaye, B.I.O., Talens, P., Angersbach, A. and Knorr, D.,** 2003b, Kinetics of osmotic dehydration of red bell peppers as influenced by pulsed electric field pretreatment, *Food Research International* 36:475-483pp.
- Ade-Omowaye, B.I.O., Taiwo, K.A., Eshtiaghi, N.M., Angersbach, A. and Knorr, D.,** 2003c, Comparative evaluation of the effects of pulsed electric field and freezing on cell membrane permeabilisation and mass transfer during dehydration of red bell peppers, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4:177-188pp.
- Akpınar, E.K.,** 2004, Energy and exergy analyses of drying of red pepper slices in a convective type dryer, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 31 (8):1165-1176pp.
- Akpınar, E.K., Midilli, A. and Bicer, Y.,** 2005, Energy and exergy of potato drying process via cyclone type dryer, *Energy Conversion and Management*, 46:2530-2552pp.
- Akpınar, E.K.,** 2006 Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of aromatic plants, *Journal of Food Engineering*, 77:864-870pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Allali, H., Marchal, L. and Vorobiev, E., 2010a,** Blanching of strawberries by ohmic heating: Effects on the kinetics of mass transfer during osmotic dehydration, *Food and Bioprocess Technology*, 3:406-414pp.
- Allali, H., Marchal, L. and Vorobiev, E., 2010b,** Effects of vacuum impregnation and ohmic heating with citric acid on the behaviour of osmotic dehydration and structural changes of apple fruit, *Biosystems Engineering*, 106:6-13pp.
- Amami, E., Vorobiev, E., Kechaou, N., 2006,** Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apple tissue pre-treated by pulsed electric field, *LWT*, 39:1014-1021pp.
- Amami, E., Fersi, A., Vorobiev, E., and Kechaou, N., 2007,** Osmotic dehydration of carrot tissue enhanced by pulsed electric field, salt and centrifugal force, *Journal of Food Engineering*, 83:605-613pp.
- Amami, E., Khezami, L., Jemai, A.B., and Vorobiev, E., 2014,** Osmotic dehydration of some agro-food tissue pre-treated by pulsed electric field: Impact of impeller's Reynolds number on mass transfer and color, *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 26:93–102pp.
- AOAC, 1995,** Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Method No. 941.15, Ed. K. Helrich, A.O.A.C, Inc., U.S.A.
- Azoubel, P.M. and Murr, F.E.X., 2003,** Optimisation of Osmotic Dehydration of Cashew Apple (*Anacardium occidentale* L.) in Sugar Solutions. *Food Sci Tech Int*, 9(6):0427–7pp.
- Azuara E., Cortes, R., Garc,a, H.S. and Beristain, C.I., 1992,** Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's Second Law, *International Journal of Food Science and Technology*, 27:409-418pp.
- Atares, L., Chiralt, A., Corradini, M.G., and Gonzalez-Martinez, C., 2009,** Effect of the solute on the development of compositional profiles in osmotic dehydrated apple slices, *LWT - Food Science and Technology*, 42:412–417pp.
- Baysal, T., 1997,** Gıda işlemede yeni ve gelişmekte olan teknolojiler. *Gıda Tek. Dergisi*, 2(2):40-45s.
- Baysal, T., İçier, F., ve Baysal, H., 2011,** Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri, Sidas Medya Yayınları, Seher Matbaacılık, Çankaya, İzmir, 352 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bozkurt, H., and İçier, F., 2010,** Exergetic performance analysis of ohmic cooking process, *Journal of Food Engineering*, 100:688-695pp.
- Brennan, J. G., 2006,** *Food Processing Handbook*, Wiley-VGH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, Germany.
- Carcel, J.A., Benedito, J., Rossello, C. and Mulet, A., 2007,** Influence Of Ultrasound Intensity On Mass Transfer In Apple Immersed In A Sucrose Solution, *Journal of Food Engineering*, 78:472-479pp.
- Castro-Giraldez, M., Fito, P.J., and Fito, P., 2011a,** Nonlinear thermodynamic approach to analyze long time osmotic dehydration of parenchymatic apple tissue, *Journal of Food Engineering*, 102:34-42pp.
- Castro-Giraldez, M., Tylewicz, U., Fito, P.J., Dalla Rosa, M., and Fito, P., 2011b,** Analysis of chemical and structural changes in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv Hayward) through the osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 105:599-608pp.
- Çengel, Y., and Turner, R., 2005,** *Fundamentals of Thermal Fluid Sciences*, Second Edition, McGraw-Hill, New York.
- Chenlo, F., Moreira, R., Fernandez-Herrero, C. and Vazquez, G., 2007,** Osmotic dehydration of chestnut with sucrose: mass transfer processes and global kinetics modelling, *Journal of Food Engineering*, 78:765-774pp.
- Chenlo, F., Moreira, R., Fernandez-Herrero, C. and Vazquez, G., 2006,** Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions, *Journal of Food Engineering*, 73:164-173pp.
- Colak, N., Hepbasli, A., 2007,** Performance analysis of drying of green olive in a tray dryer, *Journal of Food Engineering*, 20:1188-1193pp.
- Corzo, O., Bracho, N., Vasquez, A., Pereira, A., 2008,** Energy and exergy analyses of thin layer drying of coroba slices. *Journal of Food Engineering* 86:151-161pp.
- Crank, J., 1975,** *The Mathematics of Diffusion*, Clarendon Press, Oxford.
- Çınar, İ., 2009,** Ozmotik Dehidrasyon, Mekanizması ve Uygulamaları, *Gıda Dergisi*, 34, 5, 325-329s.
- Davies, L.J., Kemp, M.R. and Fryer, P.J., 1999,** The geometry of Shadows: effects of inhomogeneties in electrical field processing, *Journal of Food Engineering*, 40:245-258pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- De Halleux, D., Piette, G., Buteau, M.L. and Dostie, M.,** 2005, Ohmic cooking of processed meats: Energy evaluation and food safety considerations, *Canadian Biosystem Engineering*, 47:341-347pp.
- Derossi, A., Pilli, T.D., Severini, C., and McCarthy, M.J.,** 2008, Mass transfer during osmotic dehydration of apples, *Journal of Food Engineering*, 86:519-528pp.
- Diñçer, I. and Şahin, A.Z.,** 2004, A new model for thermodynamic analysis of a drying process, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47:645-652pp.
- Erbay, B., ve Küçüköner, E.,** 2008, Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri, Türkiye 10. Gıda Kongresi; 21-23 Mayıs, Erzurum.
- Erbay, F. and İçier, F.,** 2009a, Optimization of Hot Air Drying of Olive Leaves Using Response Surface Methodology, *Journal of Food Engineering*, 91:533-541pp.
- Erbay, Z. and İçier, F.,** 2009b, Energy and exergy analyses on drying of olive leaves (*Olea europaea* L.) in tray drier, *Journal of Food Process Engineering*, 34:2105-2123pp.
- Erbay, Z. and İçier, F.,** 2010, Thin layer drying behaviors of olive leaves (*Olea europaea* L.), *Journal of Food Process Engineering*, 33:287-308pp.
- Erle, U., and Schubert, H.,** 2000, Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries, *Journal of Food Engineering*, 49:193-199pp.
- Eren, İ.,** 2004, Patateslerin Ozmotik Dehidrasyonunun "Response Surface" Metodu Kullanılarak Optimizasyonu, (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eroğlu, E., ve Yıldız, H.,** 2011, Gıdaların Ozmotik Kurutulmasında Uygulanan Yeni Tekniklerin Enerji Verimliliği Bakımından Değerlendirilmesi, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 6:41-48s.
- Erüenal, S.,** 2010, Eriğin (*Prunus Domestica*) Ozmotik Dehidrayon Parametrelerinin ve Kurumaya Etkisinin İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ertekin, F. ve Sultanoğlu, M.**, 2000, Modelling of Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Apples, Journal of Food Engineering, 46:243-250pp.
- Evgin, T.**, 2012, Ozmotik İşleme Kısmi Kurutulmuş Kavun Dilimlerinin dondurulmasının Deneysel ve Kuramsal Olarak İncelenmesi, Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bornova, İzmir, 262 s.
- FAO**, " <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>" (Erişim tarihi: 1 Aralık 2014).
- FAO**, "<http://www.fao.org/docrep/v5030E/V5030E05.htm>" (Erişim tarihi: 1 Aralık 2014).
- Fellows, P.**, Food Processing Technology, Second Edition, Woodhead Publishing Limited and CRC Pres LLC, Cambridge, p: 210.
- Fu, W.R. and Hsieh, C.C.**, 1999, Simulation and Verification of Two-Dimensional Ohmic Heating in Static System, Journal of Food Science, 64:946-949pp.
- Geankoplis, C. J.**, 2003, Transport Processes and Seperation Process Principles, Pearson Eduction Inc., New Jersey, 1025.
- Gözügül, Ş.**, 2006, Gıda Muhafazası, Samsun Tarım İl Müdürlüğü. 12-13s.
- Güleç, A.H.**, 2006, Modern Gıda Muhafazasında Vurgulu Elektrik Alan ve Ultrason Uygulamaları, 9. Gıda Kongresi, Bolu-Türkiye.
- Halden, K., De Alwis, A.A.P., Fryer, P.J.**, 1990, Changes in the electrical conductivity of foods during ohmic heating, International Journal of Food Science and Technology, 25:9–25pp.
- Hancıoğlu, E. and Hepbaslı, A.**, 2007, Exergetic performance assessment of a ground-source heat pump drying system, International Journal of Energy Research, 31:760-777pp.
- Heinz, V., Toepfl, S., and Knorr, D.**, 2003, Impact Of Temperature On Lethality and Efficiency of Apple Juice Pasteurization by Pulsed Electric Fields Treatment, Innovative Food Science And Emerging Tech., 4:167-175pp.
- Hammond, G.P., Stapleton, A.J.**, 2001, Exergy analysis of the United Kingdom energysystem, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 215 (2):141-162pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Heldman, D. R. and Lund, D. B.,** 2007, Handbook of Food Engineering, CRC Press, New York, 511 þ.
- İcier, F.,** 2003, Gıdaların ohmik ısıtılmasının deneysel ve kuramsal olarak incelenmesi, (Doktora Tezi) Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- İcier, F., Çolak, N., Erbay, Z., Hancıoğlu, E. and Hepbaşlı, A.,** 2008, A Comparative Study on Exergetic Efficiencies of Two Different Drying Processes, Journal of Agricultural Machinery Science, 4(3):279-284pp.
- İcier F., Çolak N, Erbay Z, Kuzgunkaya E.H., Hepbasli A.,** 2010, A comparative study on exergetic performance assessment for drying of broccoli florets in three different drying systems, Drying Technology, 28(2):193–204pp.
- İcier, F., Yıldız, H., Eroğlu, S., Sabancı, S., Eroğlu, E.,** 2013. Ayva dilimlerinin ozmotik kurutulmasında elektriksel ve ozmotik ön işlemlerin etkileri. Akademik Gıda, 11(2):60-69s
- İspir, A.,** 2006, Kayısının Ozmotik Dehidrasyonu Ve Kurutmaya Etkisi, (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Jalae F., Fazeli A., Fatemian H., and Tavakolipour H.,** 2011 Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating, Food and Bioproducts Processing, 89: 367–374pp.
- Kaymak, F. ve Kıncal, S.,** 1989, Gıdalarda ozmotik dehidrayon işleminin modellenmesi ve kuruma üzerine etkileri, E.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 7(2):107.
- Khan, M.A.M., Ahrne, L., Oliveira, J.C., and Oliveira, F.A.R.,** 2008, Prediction of water and soluble solids concentration during osmotic dehydration of mango, Food and Bioproducts Processing, 86:7-13pp.
- Khin, M. M., Zhou, W. and Perera, C. O.,** 2006, A Study of the Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Coated Potato Cubes, Journal of Food Science Engineering, 77:84-95pp.
- Krokida, M.K., and Mavroulis Z.B.,** 1997, Effect of Drying Method on Shrinkage and porosity, Drying Technology: An International Journal, 15:10, 2441-2458p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Laurindo, J.B., Paes, S.S., and Stringari, G.B.**, 2007, Effect of vacuum and relaxation periods and solution concentration on the osmotic dehydration of apples, *International Journal of Food Science and Technology*, 42:441–447pp.
- Lenz, D.U., Arık, E.A., ve Us, F.**, 2006, Elmanın Glikoz, Fruktöz, Sakkaroz Çözeltilerinde Ozmotik Kurutulması. Türkiye 9. Gıda Kongresi ; 24-26 Mayıs, Bolu.
- Liu, Y., Zhao, Y. and Feng, X.**, 2008, Exergy analysis for a freeze-drying process, *Applied Thermal Engineering*, 28:675-690pp.
- Marra, F., Zell, M., Lyng, J. G., Morgan, D. J. and Cronin, D. A.**, 2009, Analysis of heat transfer during ohmic processing, *Journal of Food Engineering*, 91:56-63pp.
- Magee, T. R. A., Hassaballah, A. A., and Murphy, W. R.**, 1983, Internal mass transfer during osmotic dehydration of apple slices in sugar solutions. *International Journal of Food Science and Technology*, 1:177-178pp.
- MATLAB**, 2011, Release 7.12.0.635(R2011a) , The Mathwork Inc., U.S.
- Midilli, A. and Kucuk, H.**, 2003, Energy and exergy analyses of solar drying process of pistachio, *Energy*, 28:539-556pp.
- Mittal, G.S. and Griffiths, M.W.**, 2005, Pulsed Electric Field Processing of Liquid Foods and Beverages, *Emerging Technologies for Food Processing*, ed: Sun, D.W., Vol: 1, Elsevier- Academic Press, Italy, 99-139p.
- Matussek, A., Czukor, B., and Meresz, P.**, 2008, Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9:365–373pp.
- Mordoğan, N., ve Ergun S.**, 2002, Golden ve Starking Elma Çeşitlerinin Şeker İçerikleri ve Bitki Besin Elementleri ile Olan İlişkileri, *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 39(1):103-110s.
- Moreno, J., Simpson, R., Sayas, M., Segura, I., Aldana, O., and Almonacid, S.**, 2011a, Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv. Packham's Triumph), *Journal of Food Engineering*, 104:621–627pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Moreno, J., Simpson, R., Estrada, D., Lorenzen, S., Moraga, D., and Almonacid, S.,** 2011b, Effect of pulsed-vacuum and ohmic heating on the osmodehydration kinetics, physical properties and microstructure of apples (cv. Granny Smith), *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12:562-568pp.
- Moreno, J., Simpson, R., Baeza, A., Morales, J., Munoz, C., Sastry, S., and Almonacid, S.,** 2012a, Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmodehydration kinetics and microstructure of strawberries (cv. Camarosa), *LWT - Food Science and Technology*, 45:148-154pp.
- Moreno, J., Simpson, R., Pizarro, N., Parada, K., Pinilla, N., Reyes, J.E., and Almonacid, S.,** 2012b, Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the quality and microbial stability of osmotically dehydrated strawberries (cv. Camarosa), *Journal of Food Engineering* 110:310–316pp.
- Moreno, J., Simpson, Pizarro, N., Pavez, C., Dorvil, F., Petzold, G., and Bugueno, G.,** 2013, Influence of ohmic heating/osmotic dehydration treatments on polyphenoloxidase inactivation, physical properties and microbial stability of apples (cv. Granny Smith), *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20:198-207pp.
- Nieto, A.B., Salvatori D.M., Castro M.A., and Alzamora S.M.,** 2004, Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features, *Journal of Food Engineering*, 61:269-278pp.
- Ngadi, M.O., Gachovska, T.K., Simpson, M.V., and Raghavan, G.S.V.,** 2009, Pulsed electric field treatment of carrots before drying and rehydration *Journal of The Science of Food and Agriculture* 89:2372–2376pp.
- Oliveira, F.I.P., Gallão, M.I., Rodrigues, S., and Fernandes, F.A.N.,** 2010, Dehydration of Malay Apple (*Syzygium malaccense*) Using Ultrasound as Pre-treatment. *Food Bioprocess Technol*, 4:610–615pp.
- Özbek, İ.,** 2009, Balıklarda Ozmotik Dehidrasyon Tekniği ve Uygulamaları, (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı.
- Panades, G., Castro, D., Chiralt, A., Fito, P., Nunez and M., Jimenez, R.,** 2008, Mass transfer mechanisms occurring in osmotic dehydration of guava, *Journal of Food Engineering*, 87:386-390pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Porciuncula, B.D.A., Zotarelli, M.F., Carciofi, B.A.M., and Laurindo, J.B.,** 2013, Determining the effective diffusion coefficient of water in banana (Prata variety) during osmotic dehydration and its use in predictive models, *Journal of Food Engineering*, 119:490–496pp.
- Peiro, R., Dias, V.M.C., Camacho, M.M., and Martinez-Navarrete, N.,** 2006, Micronutrient flow to the osmotic solution during grapefruit osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 74:299–307pp.
- Prothon, F., Ahrné, L.M., Funebo, T., Kidman, S., Langton, M., and Sjöholm, I.,** 2000, Effects of Combined Osmotic and Microwave Dehydration of Apple on Texture, Microstructure and Rehydration Characteristics, *Lebensm. Wiss. Technol.*, 34:95–101pp.
- Ramaswamy, H. S., and Azarpazhooh, E.,** 2010, Modeling and Optimization of Microwave Osmotic Dehydration of Apple Cylinders Under Continuous-Flow Spray Mode Processing Conditions, *Food Bioprocess Technol*, DOI 10.1007/s11947-010-0471-9.
- Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., and Niranjana, K.,** 1997, Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Banana: Fickian Diffusion in Cylindrical Configuration, *Journal of Food Engineering*, 31:423–432pp.
- Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Niranjana, K., and Knorr, D.,** 2002, Recent Developments in Osmotic Dehydration: Methods to Enhance Mass Transfer, *Trends in Food Science & Technology*, 13:48–59pp.
- Rastogi, N.K., and Raghavarao, K.S.M.S.,** 2004a, Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Pineapple: Considering Fickian Diffusion in Cubical Configuration, *LWT*, 37:43–47pp.
- Rastogi, N.K., and Raghavarao, K.S.M.S.,** 2004b, Mass Transfer During Osmotic Dehydration Determination of Moisture and Solute Diffusion Coefficients from Concentration Profiles, *Food and Bioprocess Processing*, 82: 44–48pp.
- Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., and Niranjana, K.,** 2005, Developments in Osmotic Dehydration, *Emerging Technologies for Food Processing*, ed: Sun, D.W., Vol: 1, Elsevier- Academic Press, Italy.
- Sablani, S. S., Rahman, M. S. and Al-Sadeiri, D. S.,** 2002, Equilibrium distribution data for osmotic drying of apple cubes in sugar-water solution. *Journal of Food Engineering*, 52:193–199pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sarang, S., Sastry, S.K., and Knipe, L.,** 2008, Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating, *Journal of Food Engineering*, 87:351–356pp.
- Salengke, S. and Sastry, S.K.,** 2007, Models for ohmic heating of solid-liquid mixtures under worst-case heating scenarios, *Journal of Food Engineering*, 83:337-355pp.
- Sereno., A.M., Moreira, R., Martinez, E.,** 2001, Mass Transfer Coefficients During Osmotic Dehydration Of Apple In Single And Combined Aqueous Solutions of Sugar And Salt, *Journal of Food Engineering*, 47:43-49pp.
- SPSS,** 2007, Release 16.0.0 Version statistical package, SPSS Inc.
- Silva, W.P.D., Silva, C.M.D., Aires, J.E.F., and Junior, A.F.S.,** 2014, Osmotic dehydration and convective drying of coconut slices: Experimental determination and description using one-dimensional diffusion model, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13:162-168pp.
- Sutar, P.P., and Gupta, D.K.,** 2007, Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices, *Journal of Food Engineering* 78:90–97pp.
- Syahrul, S., Dincer, I. and Hamdullahpur, F.,** 2003, Thermodynamic modeling of fluidized bed drying of moist particles, *International Journal of Thermal Sciences*, 42:691-701pp.
- Tanaka, F., Morita, K., Iwasaki, K., Verboven, P., Scheerlinck, N., and Nicolai, B.,** 2006, Monte Carlo simulation of far infrared radiation heat transfer: theoretical approach, *Journal of Food Process Engineering*, 29:349-361pp.
- Tat Nişasta,** Frukutuz 30" <http://www.tatnisasta.com.tr/turkce/index.html>"(Erişim tarihi: 1 Aralık 2014).
- Tarhan, S., Ergüneş, G., Güneş, M., ve Mutlu, A.,** 2009, Farklı Kurutma Koşullarının Amasya Elmasının Kuruma Süresi ve Kalitesi Üzerine Etkileri, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 2 (2):1-6s.
- Taiwo, K.A., Angersbach A, and Knorr D.,** 2002, Influence of high intensity electric field pulses and osmotic dehydration on the rehydration characteristics of apple slices at different temperatures, *Journal of Food Engineering*, 52:185-192pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tedjo, W., Taiwo, K.A., Eshtiaghi, M.N., and Knorr, D.,** 2002, Comparison of pretreatment methods on water and solid diffusion kinetics of osmotically dehydrated mangos, *Journal of Food Engineering* 53:133-142pp.
- Toepfl, S., Heinz, V., and Knorr, D.,** 2005, Overview of Pulsed Electric Field Processing for Food, *Emerging Technologies for Food Processing*, ed: Sun, D.W., Vol: 1, Elsevier- Academic Press, Italy.
- Uysal, E.E.,** 2010, Atımlı Elektrik Akımı (PEF) Teknolojisinin Kırmızı Şarapların Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi, (Yüksek Lisans Tezi), Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Us, F.,** 2006, Ozmotik Kurutma, Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, Bolu.
- Wesierska, E., and Trziszka, T.,** 2007, Evaluation of the use of pulsed electrical field as a factor with antimicrobial activity, *Journal of Food Engineering*, 78:1320-1325pp.
- Yıldız, H., İçier, F., Evgin, T., and Eroglu, E.,** 2012, Effects of Ultrasonic and Electrical Pretreatments on Osmotic Dehydration of Pear Slices, *International Conference Bio & Food Electrotechnologies*. 26-28 September, Fisciano (SA), Italy.
- Yıldız, H., İçier, F., ve Altıntaş, G.,** 2013, Ultrason ve Elektriksel Ön İşlemlerinin Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasına Etkilerinin Deneysel ve Kuramsal İncelenmesi, TÜBİTAK proje raporu, Manisa.

ÖZGEÇMİŞ

Salih EROĞLU

Tel: 0 (546) 214 94 14

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

E-mail : salihheroglu48@gmail.com

Doğum Tarihi : 11.04.1989

Doğum Yeri : MUĞLA/TÜRKİYE

Uyruğu : T.C.

Medeni Hali : Bekar

Eğitim Durumu :

2011 – 2014 **Yüksek Lisans Eğitimi**

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

2007 – 2011 **Lisans Eğitimi**

Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü

GNO : 3.33/4.00

Yabancı Dil :

İngilizce (İleri Seviye)

Bilgisayar:

Ansys, Matlab, SPSS, Design Expert, Autocad, Microsoft Office (Word, Excell, Power Point)

Yüksek lisans Tezi :

Elektriksel Ön İşlemin Ozmotik Kurutma İşleminde Kütle Transferine Etkisinin Deneysel ve Kuramsal Olarak İncelenmesi

Görev Aldığı Projeler:

- 2011-2012, Kırsalda Ekonomik Çeşitlilik ve Mali Destek Programı, İzmir Kalkınma Ajansı Projesi, Beydağ'a Kestane Unu Yağıyor, Proje Yürütücüsü.
- 2012-2013, Araştırma Projesi, Ultrason ve Elektriksel Ön İşlemlerinin Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasına Etkilerinin Deneysel ve Kuramsal İncelenmesi, TUBİTAK Projesi, Bursiyer.

Yayınlar

- İçier, F., Baysal, T., Rayman, A., Özkan, G., Eroğlu, S., ve Aydın, A. (2013). Domates Suyu Üretiminde Ilımlı Elektrik Uygulaması: 1. İşlem Koşullarının Optimizasyonu. Academic Food Journal/Akademik GIDA, 11(1).
- İçier, F., Yıldız, H., Eroğlu, S., Sabancı, S., ve Eroğlu, E. (2013). Ayva Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasında Elektriksel ve Ultrasonik Ön İşlemlerin Etkileri. Academic Food Journal/Akademik GIDA, 11(2).

Ulusal ve Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

- Arı, P., Eroğlu, S., İçier, F., Karagözlü, C. ve Obuz, E., Farklı Yağ İçeriklerine Sahip Kefirlerin İnkübasyonu Süresince Reolojik Özellikleri ve pH Değerlerindeki Değişimin İncelenmesi, Konya 3. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 10-12 Mayıs, 2012, Konya.
- Yıldız, H., İçier, F., Dağci, G. ve Eroğlu, S., Meyvelerin Ozmotik Kurutulma Hızına Elektriksel ve Ultrasonik Ön İşlemlerin Etkisi, TARGID, 2-4 Ekim, 2013, Niğde.
- Eroğlu, S. and İçier, F. The Effect of Electrical Pretreatments Applied by Contacted and Contactless Modes on Osmotic Dehydration Rate of Apple Slices, NAFI International Food Congress, May 26-29, 2014, Kuşadası.

EKLER

Ek-1 Örnek Hazırlama Ve Kullanılan Sistemler İle İlgili Görseller

Ek-2 Ozmotik Kurutma İşleminde Konsantrasyon Dağılımının Simülasyonuna Ait Görseller

Ek-3 Farklı Tuz Konsantrasyonu İçeren Çözeltilere 24 V/cm ve 36 V/cm Elektriksel İşlem Uygulanması Sırasında Akım Değerlerinin Süre İle Değişimi

Ek-4 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Sırasında İşlem Koşullarının Elektriksel İletkenlik, Güç ve Akım Değerleri Üzerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-5 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Sırasında İşlem Koşullarının Sıcaklık Değerleri Üzerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-6 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Sırasında İşlem Koşullarının Elektriksel İletkenlik, Güç Ve Akım Değerleri Üzerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-7 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Sırasında İşlem Koşullarının Sıcaklık Değerleri Üzerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-8 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlemler Sırasında İşlem Koşullarının Elektriksel İletkenlik, Güç Ve Akım Değerleri Üzerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-9 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlemler Sırasında İşlem Koşullarının Sıcaklık Değerleri Üzerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-10 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutma Boyunca % TKM Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-11 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutma Boyunca % TKM Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-12 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin % 30 TKM Değerine Ulaşma Süresi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-13 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin % 30 TKM Değerine Ulaşma Süresi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-14 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması Sırasındaglikoz-Fruktoz Çözeltisinin % SÇKM Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-15 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması Sırasında Glikoz-Fruktoz Çözeltisinin % SÇKM Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-16 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması Sırasında % Ağırlık Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-17 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması Sırasında % Ağırlık Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-18 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması Sırasında % Katı Kazanımı Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-19 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması Sırasında % Su Kaybı Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-20 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması Sırasında % Katı Kazanımı Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-21 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması Sırasında % Su Kaybı Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-22 Temaslı elektriksel ön işlem koşullarının ozmotik kurutulan elma dilimlerinin su aktivitesi değerlerine etkisinin istatistiksel analiz sonuçları

Ek-23 Çözelti içinde elektriksel ön işlem koşullarının ozmotik kurutulan elma dilimlerinin su aktivitesi değerlerine etkisinin istatistiksel analiz sonuçları

Ek-24 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutulan Elma Dilimlerinin Katı Ve Su Efektif Difüzyon Katsayıları Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-25 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Uygulanan Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasının Modellenmesi (MK Sonuçları)

Ek-26 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Uygulanmış Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasının Modellenmesi (AS Sonuçları)

Ek-27 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutulan Elma Dilimlerinin Katı Ve Su Efektif Difüzyon Katsayıları Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-28 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Uygulanan Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasının Modellenmesi (MK Sonuçları)

Ek-29 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Uygulanmış Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasının Modellenmesi (AS Sonuçları)

Ek-30 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Enerji Verimliliği Ve Kayıp Enerji Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-31 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutmada İlk 30 Dak'daki Enerji Verimliliği Ve Kayıp Enerji Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-32 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutmada İlk 30 Dak İle 160 Dak Arasındaki Süredeki Enerji Verimliliği Ve Kayıp Enerji Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-33 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutmada İlk 30 Dak İle % 30 TKM'ye Gelme Süresi Arasındaki Süredeki Enerji Verimliliği Ve Kayıp Enerji Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-34 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının ÖNUO Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-35 Çözelti içinde elektriksel ön işlem koşullarının ÖNUO değerlerine etkisinin istatistiksel analiz sonuçları

Ek-36 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Özgül Kurutma Süresi Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-37 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Özgül Kurutma Süresi Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-38 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının TEİ Ve ÇEİ'de Ekserji Verimliliği, Kayıp Ekserji Miktarı Ve IP Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-39 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutmada İlk 30 Dak İçin Ekserji Verimliliği, Kayıp Ekserji Miktarı Ve IP Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-40 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutmada İlk 30 Dak İle 160 Dak Arası İçin Ekserji Verimliliği, Kayıp Ekserji Miktarı Ve IP Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-41 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutmada İlk 30 Dak İle % 30 TKM'ye Gelme Süresi Arası İçin Ekserji Verimliliği, Kayıp Ekserji Miktarı Ve IP Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Ek-1 Örnek Hazırlama Ve Kullanılan Sistemler İle İlgili Görseller

Ek-1.1 Elmaları belirtilen boyutlarda şekillendirmek için kullanılan kalıp ve dilimleyici



Ek-1.2 Elektriksel işlem sistemi



EK-1.3 Ozmotik kurutma işleminin gerçekleştirildiği çalkalamalı inkübatörler



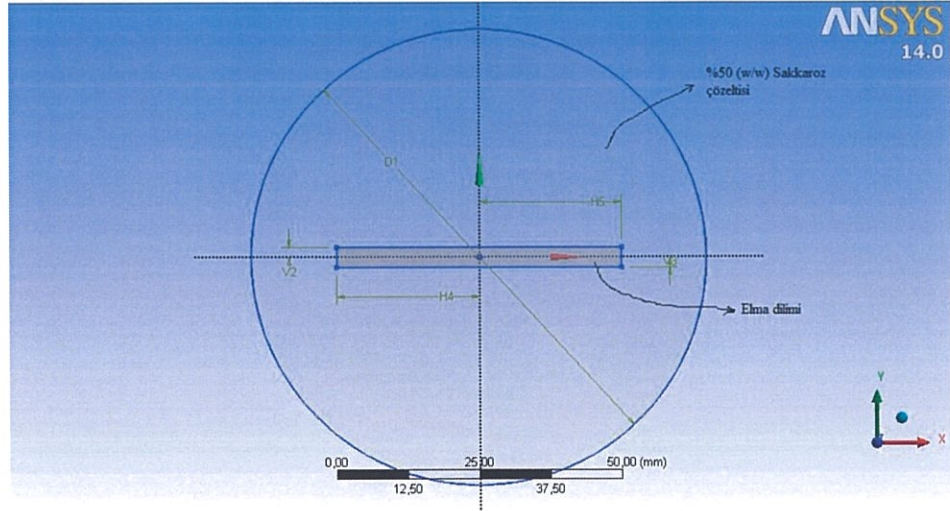
EK-1.4 Glikoz–fruktoz şurubunun özellikleri*

Kimyasal özellikleri		
Briks	%	78.0–81.0
Yoğunluk	g/mL	1.4001–1.4200
Dekstroz eşdeğeri	%	min. 71
pH	-	4.00–6.00
SO ₂	ppm	max. 10
Sülfat külü	%	max. 0.1
Renk	Icumsa	max. 20
Karbonhidrat profili		
Dekstroz	%	27.0–35.0
Fruktoz	%	21.0–25.0
Ağır metaller		
Arsenik	ppm	max. 1.0
Bakır	ppm	max. 5.0
Kurşun	ppm	max. 0.5
Mikrobiyolojik analiz		
Mezofilik bakteri	/g	max. 1000
Küf	/g	max. 100
Maya	/g	max. 100
Fiziksek özellikler		
Fiziksel durumu	Koyu sıvı	
Renk	Renksizden açık sarıya kadar değişebilen renktedir	
Koku	Kokusuz	
Tat	İstenmeyen tat olmamalı	

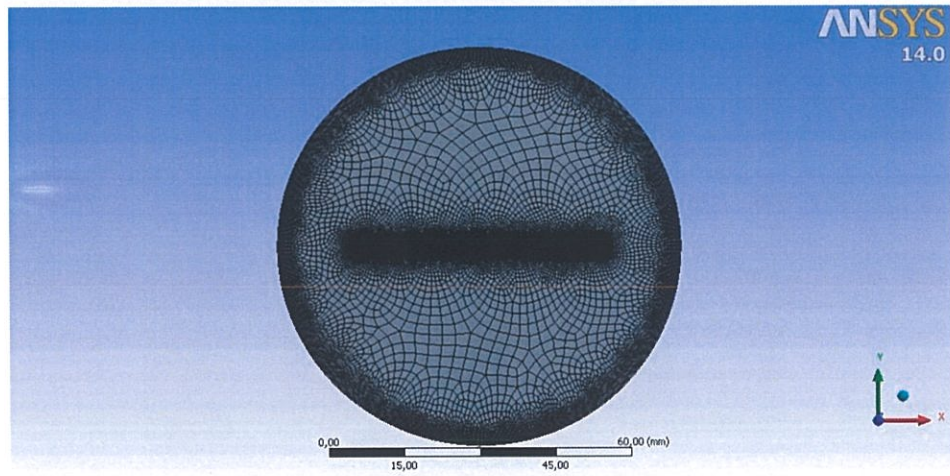
* Ürün bilgileri Tat Nişasta (Fruktoz 30, Türkiye) ürün kataloğundan alınmıştır.

Ek-2 Ozmotik Kurutma İşleminde Konsantrasyon Dağılımının Simülasyonuna Ait Görseller

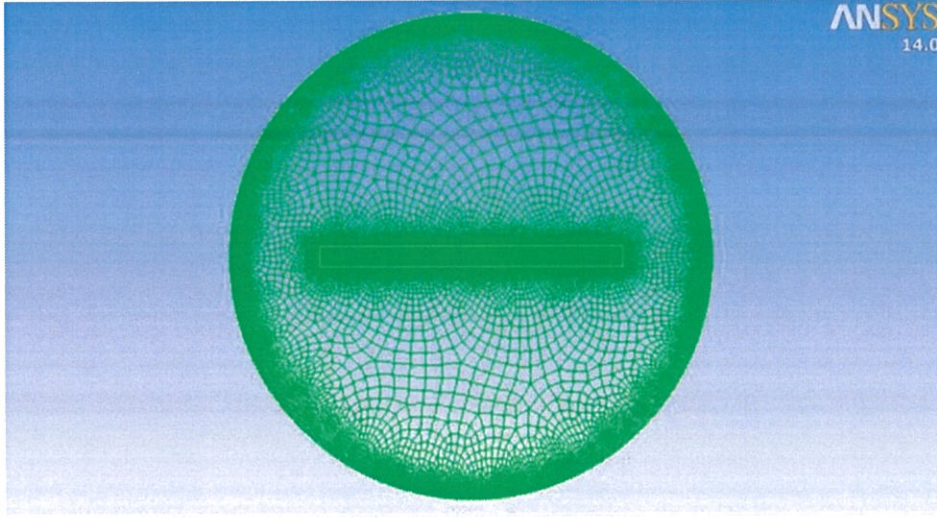
Ek-2.1 Geometrinin oluşturulması



Ek 2.2 Nod oluşturulması (meshing)

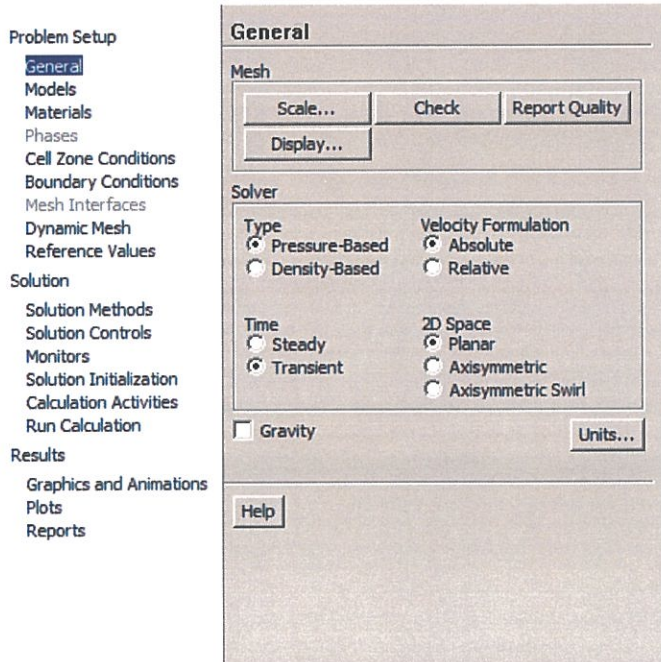


Ek-2.3 Fluent görüntüsü

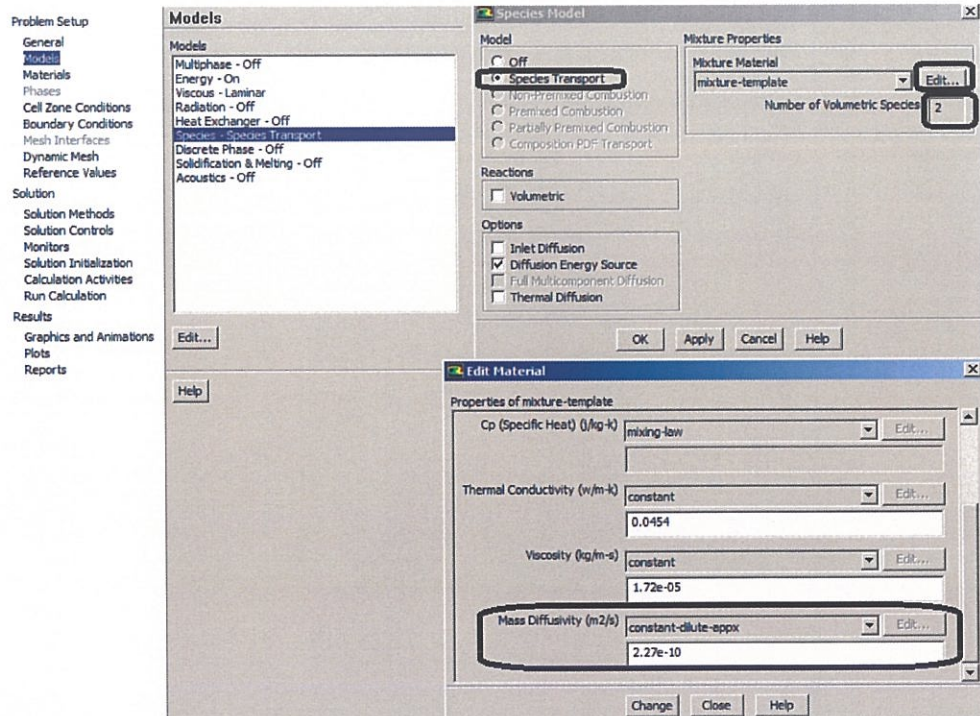


Ek-2.4 Simülasyonun çözümü

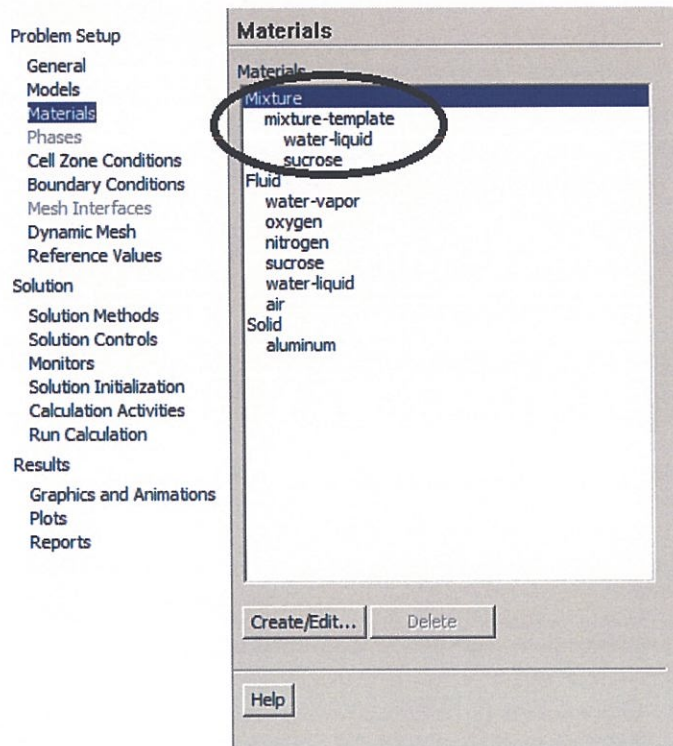
Genel ayarlar;



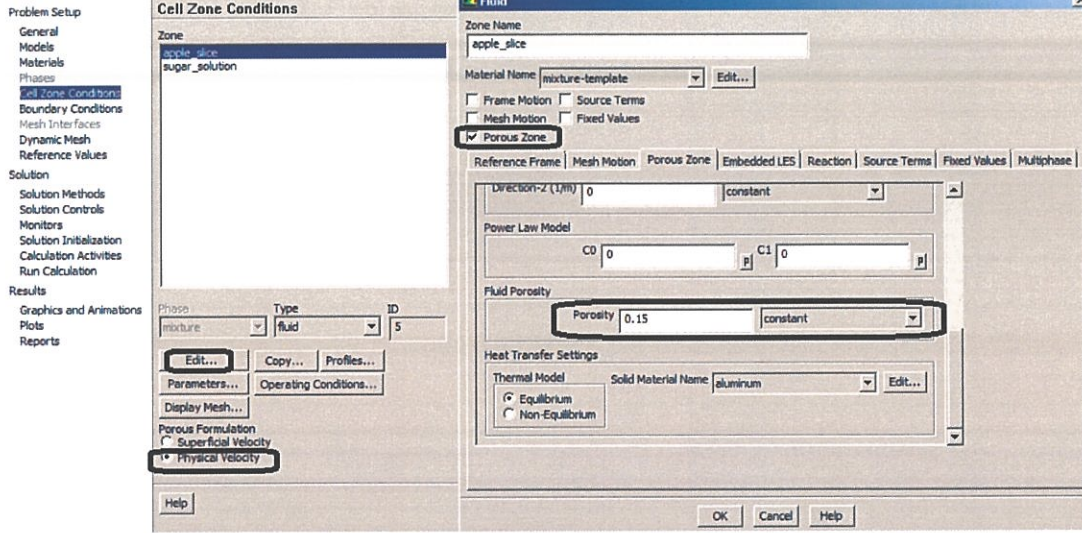
Model ayarları;



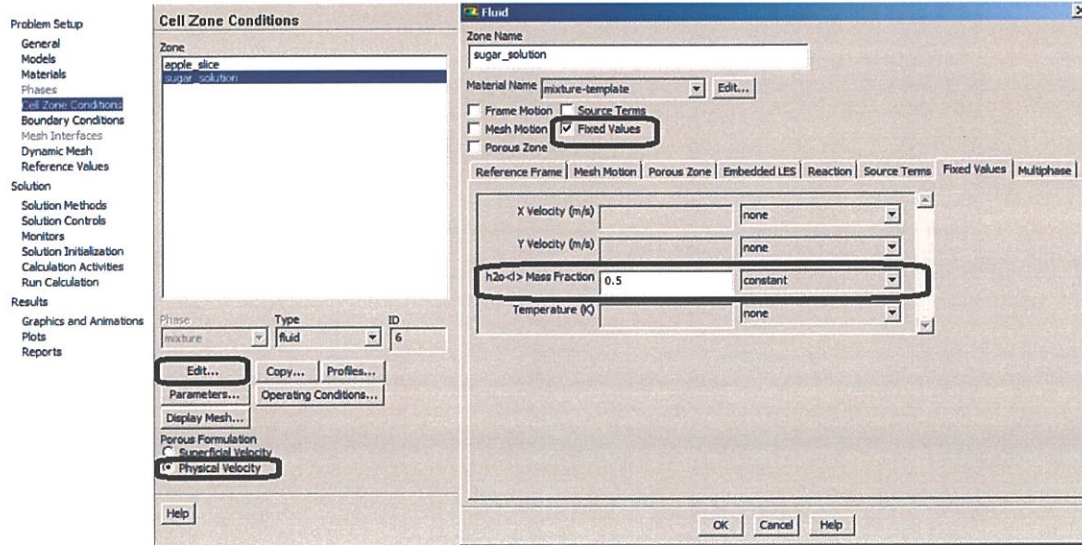
Maddeler;



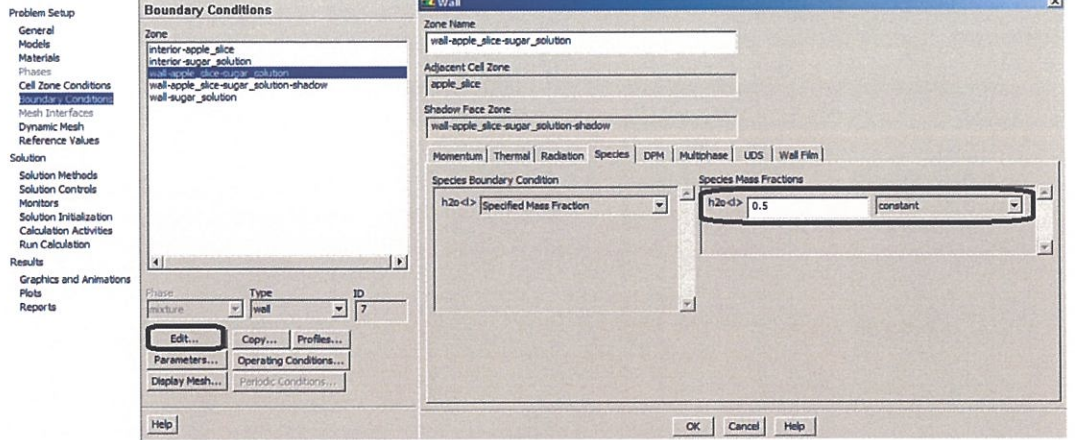
Hücre bölgesi koşulları;
Elma dilimi için;



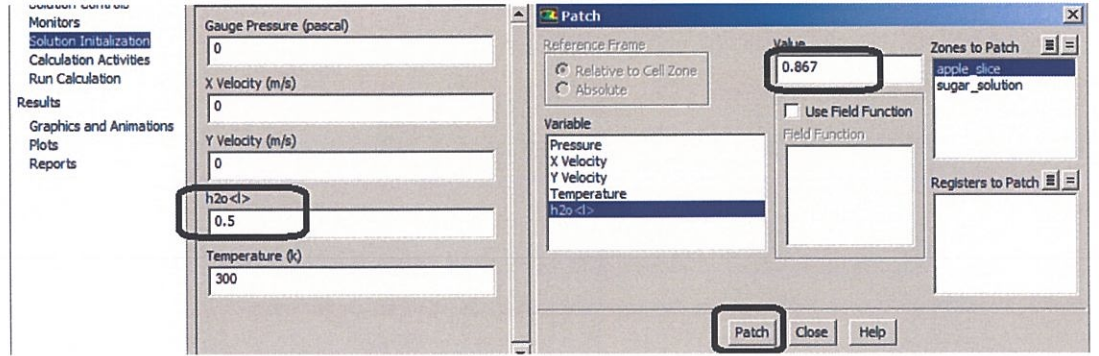
Glikoz-fruktoz çözeltisi için;



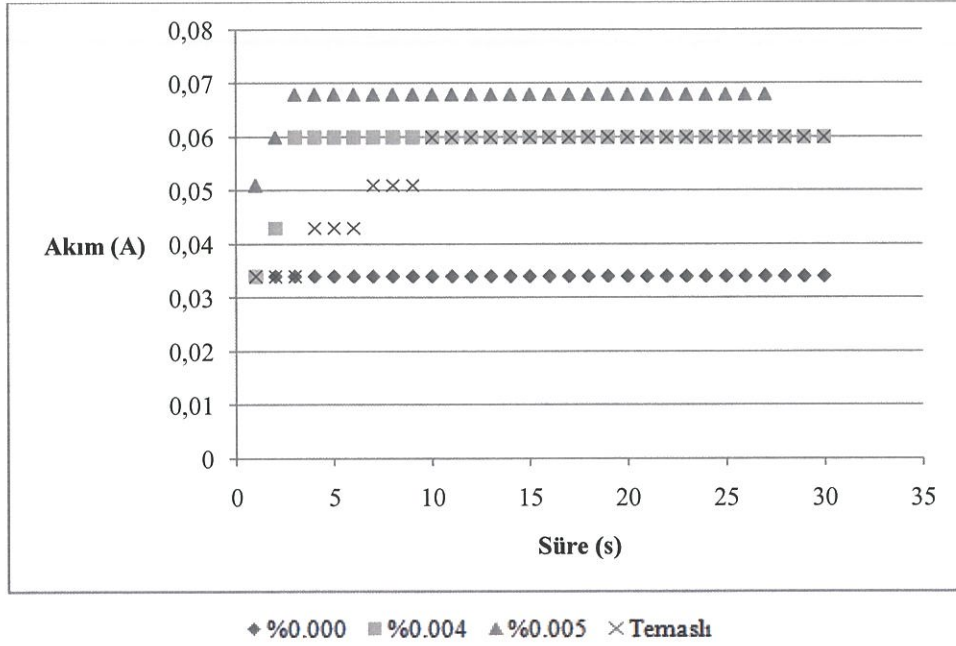
Sınır koşulları;



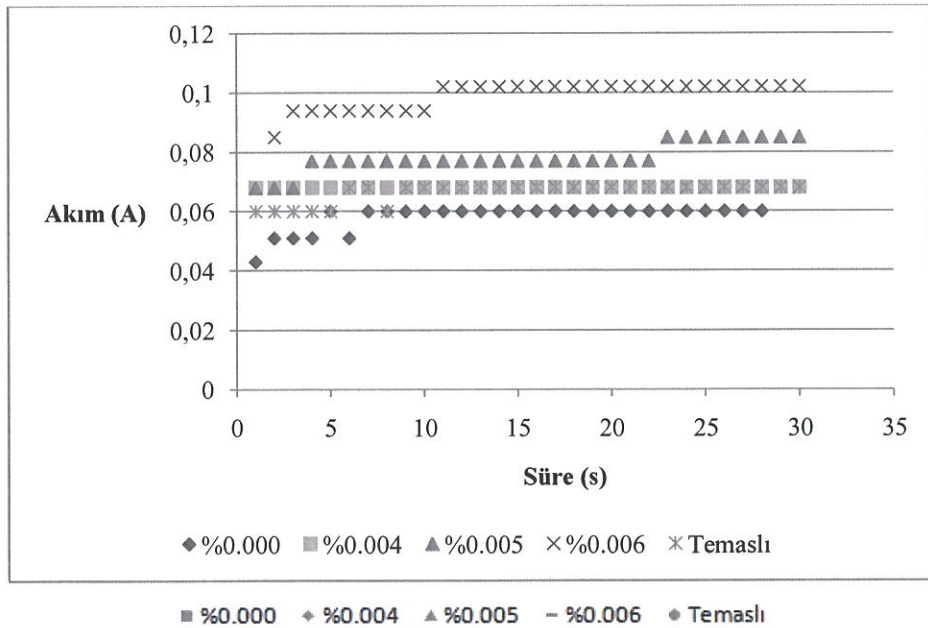
Çözüm başlatma;



Ek-3 Farklı Tuz Konsantrasyonu İçeren Çözeltilere 24 V/cm ve 36 V/cm Elektriksel İşlem Uygulanması Sırasında Akım Değerlerinin Süre İle Değişimi



Ek-3.1 Farklı tuz konsantrasyonu içeren çözeltilere 24 V/cm elektriksel işlem uygulanması sırasında akım değerlerinin süre ile değişimi



Ek-3.2 Farklı tuz konsantrasyonu içeren çözeltilere 36 V/cm elektriksel işlem uygulanması sırasında akım değerlerinin süre ile değişimi

Ek-4 Temash Elektriksel Ön İşlem Sırasında İşlem Koşullarının Elektriksel İletkenlik, Güç ve Akım Değerleri Üzerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	EC	,003 ^a	2	,001	8,097	,020
	güc	254,619 ^b	2	127,309	16,618	,004
	akim	,001 ^c	2	,001	2,673	,148
Intercept	EC	,076	1	,076	440,468	,000
	güc	941,843	1	941,843	122,941	,000
	akim	,058	1	,058	231,016	,000
voltajgrad	EC	,003	2	,001	8,097	,020
	güc	254,619	2	127,309	16,618	,004
	akim	,001	2	,001	2,673	,148
Error	EC	,001	6	,000		
	güc	45,966	6	7,661		
	akim	,002	6	,000		
Total	EC	,080	9			
	güc	1242,428	9			
	akim	,061	9			
Corrected Total	EC	,004	8			
	güc	300,585	8			
	akim	,003	8			

a. R Squared = ,730 (Adjusted R Squared = ,640)

b. R Squared = ,847 (Adjusted R Squared = ,796)

c. R Squared = ,471 (Adjusted R Squared = ,295)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

EC

Duncan

voltagegrad	N	Subset	
		1	2
36	3	,072200	
24	3	,088633	
12	3		,115000
Sig.		,177	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,000.

güc

Duncan

voltagegrad	N	Subset		
		1	2	3
12	3	3,781700E0		
24	3		1,009937E1	
36	3			1,680840E1
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 7,661.

akim

Duncan

voltagegrad	N	Subset
		1
12	3	,06400
24	3	,08400
36	3	,09333
Sig.		,072

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,000.

Ek-5 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Sırasında İşlem Koşullarının Sıcaklık Değerleri Üzerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: sicaklik

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2,275(a)	8	,284	24,770	,000
Intercept	2,836	1	2,836	246,976	,000
voltajgrad	1,137	2	,568	49,508	,000
sure	,840	2	,420	36,589	,000
voltajgrad * sure	,298	4	,075	6,492	,002
Error	,207	18	,011		
Total	5,318	27			
Corrected Total	2,482	26			

a R Squared = ,917 (Adjusted R Squared = ,880)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

sicaklik

Duncan

	N	Subset		
voltajgrad	1	2	3	1
12	9	,0889		
24	9		,2944	
36	9			,5889
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,011.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

sicaklik

Duncan

	N	Subset		
sure	1	2	3	1
15	9	,1278		
25	9		,2889	
35	9			,5556
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,011.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b Alpha = ,05.

**Ek-6 Çözültü İçinde Elektriksel Ön İşlem Sırasında İşlem Koşullarının Elektriksel İletkenlik,
Güç Ve Akım Değerleri Üzerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları**

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	EC	,005 ^a	2	,003	24,697	,001
	güç	543,068 ^b	2	271,534	149,721	,000
	akım	,003 ^c	2	,002	19,826	,002
Intercept	EC	,081	1	,081	788,166	,000
	güç	1528,917	1	1528,917	843,029	,000
	akım	,062	1	,062	804,879	,000
voltajgrad	EC	,005	2	,003	24,697	,001
	güç	543,068	2	271,534	149,721	,000
	akım	,003	2	,002	19,826	,002
Error	EC	,001	6	,000		
	güç	10,882	6	1,814		
	akım	,000	6	7,744E-5		
Total	EC	,087	9			
	güç	2082,866	9			
	akım	,066	9			
Corrected Total	EC	,006	8			
	güç	553,949	8			
	akım	,004	8			

a. R Squared = ,892 (Adjusted R Squared = ,856)

b. R Squared = ,980 (Adjusted R Squared = ,974)

c. R Squared = ,869 (Adjusted R Squared = ,825)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

EC

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
		1	2
36	3	,073600	
24	3	,082867	
12	3		,127933
Sig.		,305	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,000.

Duncan

voltajgrad	N	Subset		
		1	2	3
12	3	4,573533E0		
24	3		1,119520E1	
36	3			2,333263E1
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1,814.

akim

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
		1	2
12	3	,06367	
24	3	,07800	
36	3		,10800
Sig.		,093	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 7,74E-005.

**Ek-7 Çözültü İçinde Elektriksel Ön İşlem Sırasında İşlem Koşullarının Sıcaklık Değerleri
Üzerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: sicaklik

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,853(a)	8	,107	20,571	,000
Intercept	1,333	1	1,333	257,143	,000
voltajgrad	,420	2	,210	40,500	,000
sure	,349	2	,174	33,643	,000
voltajgrad * sure	,084	4	,021	4,071	,016
Error	,093	18	,005		
Total	2,280	27			
Corrected Total	,947	26			

a R Squared = ,901 (Adjusted R Squared = ,858)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

sicaklik

Duncan

voltajgrad	N	Subset		
	1	2	3	1
12	9	,0889		
24	9		,1889	
36	9			,3889
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,005.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

sicaklik

Duncan

sure	N	Subset		
	1	2	3	1
15	9	,0889		
25	9		,2111	
35	9			,3667
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,005.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b Alpha = ,05.

**Ek-8 Temaslı Ve Çözeltili İçinde Elektriksel Ön İşlemler Sırasında İşlem Koşullarının
Elektriksel İletkenlik, Güç Ve Akım Değerleri Üzerine Etkisinin İstatistiksel Analiz
Sonuçları**

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	akim	,004(a)	5	,001	5,405	,008
	güc	833,067(b)	5	166,613	35,171	,000
	EC	,008(c)	5	,002	11,480	,000
Intercept	akim	,121	1	,121	731,534	,000
	güc	2435,380	1	2435,380	514,089	,000
	EC	,157	1	,157	1139,836	,000
voltajgrad	akim	,004	5	,001	5,405	,008
	güc	833,067	5	166,613	35,171	,000
	EC	,008	5	,002	11,480	,000
Error	akim	,002	12	,000		
	güc	56,847	12	4,737		
	EC	,002	12	,000		
Total	akim	,127	18			
	güc	3325,294	18			
	EC	,166	18			
Corrected Total	akim	,006	17			
	güc	889,914	17			
	EC	,010	17			

a R Squared = ,693 (Adjusted R Squared = ,564)

b R Squared = ,936 (Adjusted R Squared = ,910)

c R Squared = ,827 (Adjusted R Squared = ,755)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

akim

Duncan

voltajgrad	N	Subset			
	1	2	3	4	5
CEI12	3	,06367			
TEI12	3	,06400			
CEI24	3	,07800	,07800		
TEI24	3	,08400	,08400		
TEI36	3		,09333	,09333	
CEI36	3			,10800	
Sig.		,097	,189	,187	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,000.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

glic

Duncan

voltajgrad	N	Subset			
	1	2	3	4	1
TEI12	3	3,781700			
CEI12	3	4,573533			
TEI24	3		10,099367		
CEI24	3		11,195200		
TEI36	3			16,808400	
CEI36	3				23,332633
Sig.		,664	,549	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 4,737.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

EC

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
	1	2	1
TEI36	3	,072200	
CEI36	3	,073600	
CEI24	3	,082867	
TEI24	3	,088633	
TEI12	3		,115000
CEI12	3		,127933
Sig.		,137	,202

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,000.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Ek-9 Temaslı Ve Çözeltili İçinde Elektriksel Ön İşlemler Sırasında İşlem Koşullarının Sıcaklık Değerleri Üzerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: sıcaklık

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3,269(a)	17	,192	23,072	,000
Intercept	4,029	1	4,029	483,472	,000
voltajgrad	1,697	5	,339	40,726	,000
sure	1,135	2	,567	68,072	,000
voltajgrad * sure	,437	10	,044	5,246	,000
Error	,300	36	,008		
Total	7,597	54			
Corrected Total	3,569	53			

a R Squared = ,916 (Adjusted R Squared = ,876)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

sıcaklık

Duncan

	N	Subset				
	1	2	3	4	5	1
CEI12	9	,0889				
TEI12	9	,0889				
CEI24	9		,1889			
TEI24	9			,2944		
CEI36	9				,3889	
TEI36	9					,5889
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,008.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

sıcaklık

Duncan

	N	Subset		
	1	2	3	1
15	18	,1083		
25	18		,2500	
35	18			,4611
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,008.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

b Alpha = ,05.

Ek-10 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Osmotik Kurutma Boyunca % TKM Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TKM

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8558,012 ^a	69	124,029	163,265	,000
Intercept	161184,377	1	161184,377	2,122E5	,000
voltajgrad	40,713	2	20,357	26,796	,000
sure	33,898	2	16,949	22,311	,000
ozmsure	7418,561	6	1236,427	1,628E3	,000
voltajgrad * sure	23,469	4	5,867	7,723	,000
voltajgrad * ozmsure	33,477	12	2,790	3,672	,000
sure * ozmsure	26,825	12	2,235	2,943	,001
voltajgrad * sure * ozmsure	40,572	24	1,690	2,225	,002
Error	112,433	148	,760		
Total	187668,510	218			
Corrected Total	8670,444	217			

a. R Squared = ,987 (Adjusted R Squared = ,981)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

TKM

Duncan

voltajgrad	N	Subset		
		1	2	3
0	22	2,710200E1		
12	67		2,852875E1	
24	64		2,854802E1	
36	65			2,941511E1
Sig.		1,000	,918	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,760.

sure

Homogeneous Subsets

TKM

Duncan

sure	N	Subset		
		1	2	3
0	22	2,710200E1		
15	66		2,844884E1	
25	65		2,856867E1	
35	65			2,947530E1
Sig.		1,000	,521	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,760.

ozmsure

Homogeneous Subsets

TKM

Duncan

ozmsure	N	Subset						
		1	2	3	4	5	6	7
0	38	1,649816E1						
30	30		2,578526E1					
60	30			2,938974E1				
90	30				3,153869E1			
120	30					3,277631E1		
140	30						3,364200E1	
160	30							3,419452E1
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,760.

Ek-11 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutma Boyunca % TKM Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TKM

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7056,929 ^a	69	102,274	129,432	,000
Intercept	161077,074	1	161077,074	2,038E5	,000
voltajgrad	119,212	2	59,606	75,433	,000
sure	1,172	2	,586	,741	,478
ozmsure	6305,565	6	1050,928	1,330E3	,000
voltajgrad * sure	27,530	4	6,882	8,710	,000
voltajgrad * ozmsure	21,358	12	1,780	2,252	,012
sure * ozmsure	16,466	12	1,372	1,737	,065
voltajgrad * sure * ozmsure	18,683	24	,778	,985	,489
Error	111,415	141	,790		
Total	188382,354	211			
Corrected Total	7168,344	210			

a. R Squared = ,984 (Adjusted R Squared = ,977)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

TKM

Duncan

voltajgrad	N	Subset			
		1	2	3	4
0	22	2,710200E1			
24	63		2,850693E1		
36	63			2,975758E1	
12	63				3,042272E1
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,790.

sure

Homogeneous Subsets

TKM

Duncan

sure	N	Subset	
		1	2
0	22	2,710200E1	
25	63		2,950165E1
15	63		2,951198E1
35	63		2,967359E1
Sig.		1,000	,403

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,790.

ozmsure

Homogeneous Subsets

TKM

Duncan

ozmsure	N	Subset						
		1	2	3	4	5	6	7
0	31	1,739720E1						
30	30		2,570362E1					
60	30			2,967437E1				
90	30				3,128270E1			
120	30					3,318481E1		
140	30						3,371013E1	
160	30							3,458523E1
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,790.

**Ek-12 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin % 30 TKM Değerine
Ulaşma Süresi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: yuzdeotuz

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5694,036 ^a	9	632,671	4,953	,001
Intercept	111417,308	1	111417,308	872,256	,000
sure	1105,670	2	552,835	4,328	,027
voltaj	1762,193	2	881,097	6,898	,005
sure * voltaj	593,879	4	148,470	1,162	,357
Error	2554,694	20	127,735		
Total	122017,780	30			
Corrected Total	8248,730	29			

a. R Squared = ,690 (Adjusted R Squared = ,551)

Post Hoc Tests

sure

Homogeneous Subsets

yuzdeotuz

Duncan

sure	N	Subset	
		1	2
35	9	49,6589	87,4600
25	9	63,0444	
15	9	63,4156	
0	3		87,4600
Sig.		,058	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 127,735.

voltaj

Homogeneous Subsets

yuzdeotuz

Duncan

voltaj	N	Subset		
		1	2	3
36	9	48,8978		
12	9	58,5367	58,5367	
24	9		68,6844	
0	3			87,4600
Sig.		,155	,136	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 127,735.

**Ek-13 Çözeltili İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin % 30 TKM
Değerine Ulaşma Süresi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: yuzdeotuz

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8752,595 ^a	9	972,511	11,211	,000
Intercept	101693,645	1	101693,645	1,172E3	,000
voltaj	4777,435	2	2388,717	27,538	,000
sure	41,398	2	20,699	,239	,790
voltaj * sure	1101,872	4	275,468	3,176	,036
Error	1734,850	20	86,742		
Total	112498,457	30			
Corrected Total	10487,444	29			

a. R Squared = ,835 (Adjusted R Squared = ,760)

Post Hoc Tests

voltaj

Homogeneous Subsets

yuzdeotuz

Duncan

voltaj	N	Subset		
		1	2	3
12	9	41,6667		
36	9	50,3500		
24	9		73,2056	
0	3			87,4600
Sig.		,122	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 86,742.

sure

Homogeneous Subsets

yuzdeotuz

Duncan

sure	N	Subset	
		1	2
35	9	54,0967	
15	9	54,3044	
25	9	56,8211	
0	3		87,4600
Sig.		,638	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 86,742.

**Ek-14 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması
Sırasındaglikoz-Fruktoz Çözeltisinin % SÇKM Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel**

Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:sckm

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	143,971 ^a	59	2,440	22,717	,000
Intercept	2557,676	1	2557,676	2,381E4	,000
voltajgrad	19,248	2	9,624	89,596	,000
sure	22,961	2	11,481	106,881	,000
ozmsure	59,689	5	11,938	111,138	,000
voltajgrad * sure	17,706	4	4,427	41,211	,000
voltajgrad * ozmsure	4,244	10	,424	3,951	,000
sure * ozmsure	1,195	10	,120	1,113	,358
voltajgrad * sure * ozmsure	11,093	20	,555	5,164	,000
Error	12,890	120	,107		
Total	2992,170	180			
Corrected Total	156,860	179			

a. R Squared = ,918 (Adjusted R Squared = ,877)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

sckm

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
		1	2
12	54	3,457417E0	
36	54		4,137113E0
0	18		4,211700E0
24	54		4,231050E0
Sig.		1,000	,256

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,107.

sure

Homogeneous Subsets

sckm

Duncan

sure	N	Subset			
		1	2	3	4
35	54	3,511543E0			
25	54		3,885496E0		
0	18			4,211700E0	
15	54				4,428541E0
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,107.

ozmsure

Homogeneous Subsets

sckm

Duncan

ozmsure	N	Subset					
		1	2	3	4	5	6
30	30	2,890717E0					
60	30		3,520767E0				
90	30			4,036803E0			
120	30				4,235580E0		
140	30					4,468980E0	
160	30						4,660217E0
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,107.

Ek-15 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması Sırasında Glikoz-Fruktoz Çözeltilisinin % SÇKM Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:sckm

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	228,499 ^a	59	3,873	30,060	,000
Intercept	2159,268	1	2159,268	1,676E4	,000
voltajgrad	76,117	2	38,058	295,395	,000
sure	1,700	2	,850	6,596	,002
ozmsure	74,626	5	14,925	115,844	,000
voltajgrad * sure	38,232	4	9,558	74,185	,000
voltajgrad * ozmsure	9,894	10	,989	7,679	,000
sure * ozmsure	3,712	10	,371	2,881	,003
voltajgrad * sure * ozmsure	6,445	20	,322	2,501	,001
Error	15,461	120	,129		
Total	2578,141	180			
Corrected Total	243,960	179			

a. R Squared = ,937 (Adjusted R Squared = ,905)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

sckm

Duncan

voltajgrad	N	Subset			
		1	2	3	4
12	54	2,961322E0	3,141311E0	4,211700E0	4,497020E0
24	54				
0	18				
36	54	1,000	1,000	1,000	1,000
Sig.					

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,129.

sure

Homogeneous Subsets

sckm

Duncan

sure	N	Subset		
		1	2	3
25	54	3,459969E0		
15	54	3,461609E0		
35	54		3,678076E0	
0	18			4,211700E0
Sig.		,985	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,129.

ozmsure

Homogeneous Subsets

sckm

Duncan

ozmsure	N	Subset				
		1	2	3	4	5
30	30	2,350107E0				
60	30		3,092427E0			
90	30			3,715010E0		
140	30				3,990560E0	
120	30				4,137443E0	4,137443E0
160	30					4,320850E0
Sig.		1,000	1,000	1,000	,116	,050

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,129.

**Ek-16 Temashlı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması
Sırasında % Ağırlık Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: wr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8509,851 ^a	59	144,235	9,076	,000
Intercept	82808,461	1	82808,461	5,211E3	,000
voltajgrad	2242,133	2	1121,066	70,543	,000
sure	350,577	2	175,288	11,030	,000
ozmsure	3465,215	5	693,043	43,610	,000
voltajgrad * sure	241,798	4	60,450	3,804	,006
voltajgrad * ozmsure	577,856	10	57,786	3,636	,000
sure * ozmsure	282,990	10	28,299	1,781	,071
voltajgrad * sure * ozmsure	856,503	20	42,825	2,695	,000
Error	1907,022	120	15,892		
Total	103565,480	180			
Corrected Total	10416,874	179			

a. R Squared = ,817 (Adjusted R Squared = ,727)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

wr

Duncan

voltajgrad	N	Subset		
		1	2	3
12	54	1,779798E1		
0	18		2,272261E1	
24	54		2,369218E1	
36	54			2,676383E1
Sig.		1,000	,304	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 15,892.

sure

Homogeneous Subsets

wr

Duncan

sure	N	Subset	
		1	2
15	54	2,072183E1	
0	18		2,272261E1
25	54		2,336993E1
35	54		2,416223E1
Sig.		1,000	,151

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 15,892.

ozmsure

Homogeneous Subsets

wr

Duncan

ozmsure	N	Subset			
		1	2	3	4
30	30	1,463432E1			
60	30		1,931268E1		
90	30			2,189785E1	
140	30				2,612247E1
120	30				2,700743E1
160	30				2,751598E1
Sig.		1,000	1,000	1,000	,205

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 15,892.

Ek-17 Çözeltili İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması Sırasında % Ağırlık Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: wr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6323,807 ^a	59	107,183	23,161	,000
Intercept	91566,780	1	91566,780	1,979E4	,000
voltajgrad	150,771	2	75,385	16,290	,000
sure	68,790	2	34,395	7,432	,001
ozmsure	3796,194	5	759,239	164,064	,000
voltajgrad * sure	312,602	4	78,150	16,888	,000
voltajgrad * ozmsure	533,113	10	53,311	11,520	,000
sure * ozmsure	318,315	10	31,832	6,878	,000
voltajgrad * sure * ozmsure	531,351	20	26,568	5,741	,000
Error	555,323	120	4,628		
Total	111229,157	180			
Corrected Total	6879,130	179			

a. R Squared = ,919 (Adjusted R Squared = ,880)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

wr

Duncan

	N	Subset	
		1	2
0	18	2,272261E1	2,444689E1
24	54	2,295227E1	
12	54		
36	54		
Sig.		,651	,101

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 4,628.

sure

Homogeneous Subsets

wr

Duncan

sure	N	Subset		
		1	2	3
0	18	2,272261E1		
35	54	2,357138E1	2,357138E1	
25	54		2,399623E1	
15	54			2,511627E1
Sig.		,097	,404	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 4,628.

ozmsure

Homogeneous Subsets

wr

Duncan

ozmsure	N	Subset				
		1	2	3	4	5
30	30	1,553086E1				
60	30		2,014511E1			
90	30			2,387333E1		
140	30				2,729386E1	
120	30				2,815969E1	
160	30					2,946171E1
Sig.		1,000	1,000	1,000	,122	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 4,628.

**Ek-18 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması
Sırasında % Katı Kazanımı Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:sg

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	648,653 ^a	59	10,994	5,244	,000
Intercept	9169,838	1	9169,838	4,374E3	,000
voltajgrad	64,555	2	32,278	15,396	,000
sure	16,203	2	8,101	3,864	,024
ozmsure	204,596	5	40,919	19,517	,000
voltajgrad * sure	59,660	4	14,915	7,114	,000
voltajgrad * ozmsure	76,316	10	7,632	3,640	,000
sure * ozmsure	49,389	10	4,939	2,356	,014
voltajgrad * sure * ozmsure	66,600	20	3,330	1,588	,066
Error	251,587	120	2,097		
Total	11159,211	180			
Corrected Total	900,240	179			

a. R Squared = ,721 (Adjusted R Squared = ,583)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

sg

Duncan

voltajgrad	N	Subset		
		1	2	3
24	54	6,872796E0		
36	54	7,337828E0	7,337828E0	
0	18		7,715411E0	7,715411E0
12	54			8,382424E0
Sig.		,176	,271	,053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2,097.

sure

Homogeneous Subsets

sg

Duncan

sure	N	Subset
		1
15	54	7,293250E0
35	54	7,321833E0
0	18	7,715411E0
25	54	7,977965E0
Sig.		,068

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2,097.

ozmsure

Homogeneous Subsets

sg

Duncan

ozmsure	N	Subset				
		1	2	3	4	5
30	30	5,243407E0				
60	30		7,029800E0			
120	30		7,532307E0	7,532307E0		
90	30			7,870877E0	7,870877E0	
140	30				8,506613E0	8,506613E0
160	30					9,113730E0
Sig.		1,000	,181	,367	,092	,107

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2,097.

**Ek-19 Temash Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması
Sırasında % Su Kaybı Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:wl

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9593,386 ^a	59	162,600	21,082	,000
Intercept	147175,421	1	147175,421	1,908E4	,000
voltajgrad	1686,022	2	843,011	109,302	,000
sure	421,208	2	210,604	27,306	,000
ozmsure	5167,815	5	1033,563	134,009	,000
voltajgrad * sure	200,255	4	50,064	6,491	,000
voltajgrad * ozmsure	366,855	10	36,685	4,757	,000
sure * ozmsure	127,585	10	12,759	1,654	,100
voltajgrad * sure * ozmsure	696,544	20	34,827	4,516	,000
Error	925,517	120	7,713		
Total	175860,415	180			
Corrected Total	10518,904	179			

a. R Squared = ,912 (Adjusted R Squared = ,869)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

wl

Duncan

voltajgrad	N	Subset		
		1	2	3
12	54	2,621343E1		
0	18		3,043803E1	
24	54		3,056498E1	
36	54			3,410165E1
Sig.		1,000	,847	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 7,713.

sure

Homogeneous Subsets

wl

Duncan

sure	N	Subset	
		1	2
15	54	2,801507E1	
0	18		3,043803E1
25	54		3,134789E1
35	54		3,151709E1
Sig.		1,000	,122

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 7,713.

ozmsure

Homogeneous Subsets

wl

Duncan

ozmsure	N	Subset				
		1	2	3	4	5
30	30	1,987772E1				
60	30		2,634248E1			
90	30			2,976872E1		
120	30				3,459920E1	
140	30				3,462908E1	
160	30					3,662973E1
Sig.		1,000	1,000	1,000	,967	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 7,713.

Ek-20 Çözeltili İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması Sırasında % Katı Kazanımı Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:sg

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	455,153 ^a	59	7,714	10,387	,000
Intercept	6512,482	1	6512,482	8,769E3	,000
voltajgrad	18,705	2	9,353	12,593	,000
sure	55,311	2	27,656	37,237	,000
ozmsure	88,569	5	17,714	23,851	,000
voltajgrad * sure	36,719	4	9,180	12,360	,000
voltajgrad * ozmsure	87,432	10	8,743	11,773	,000
sure * ozmsure	35,053	10	3,505	4,720	,000
voltajgrad * sure * ozmsure	62,418	20	3,121	4,202	,000
Error	89,122	120	,743		
Total	7518,835	180			
Corrected Total	544,275	179			

a. R Squared = ,836 (Adjusted R Squared = ,756)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

sg

Duncan

voltajgrad	N	Subset		
		1	2	3
36	54	5,746780E0		
24	54	5,945326E0		
12	54		6,546072E0	
0	18			7,533000E0
Sig.		,330	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,743.

sure

Homogeneous Subsets

sg

Duncan

sure	N	Subset			
		1	2	3	4
25	54	5,468530E0			
15	54		5,902874E0		
35	54			6,866774E0	
0	18				7,533000E0
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,743.

ozmsure

Homogeneous Subsets

sg

Duncan

ozmsure	N	Subset	
		1	2
30	30	4,541920E0	
90	30		6,340220E0
120	30		6,544860E0
140	30		6,566770E0
60	30		6,667473E0
160	30		6,687277E0
Sig.		1,000	,170

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,743.

Ek-21 Çözeltili İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulması Sırasında % Su Kaybı Değişimi Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: wl

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7063,911 ^a	59	119,727	33,491	,000
Intercept	147847,217	1	147847,217	4,136E4	,000
voltajgrad	161,021	2	80,510	22,521	,000
sure	66,622	2	33,311	9,318	,000
ozmsure	4822,516	5	964,503	269,798	,000
voltajgrad * sure	174,818	4	43,705	12,225	,000
voltajgrad * ozmsure	303,641	10	30,364	8,494	,000
sure * ozmsure	236,618	10	23,662	6,619	,000
voltajgrad * sure * ozmsure	534,574	20	26,729	7,477	,000
Error	428,989	120	3,575		
Total	173279,623	180			
Corrected Total	7492,900	179			

a. R Squared = ,943 (Adjusted R Squared = ,915)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

wl

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
		1	2
24	54	2,889760E1	
0	18		3,071978E1
12	54		3,099296E1
36	54		3,103150E1
Sig.		1,000	,514

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 3,575.

sure

Homogeneous Subsets

wl

Duncan

sure	N	Subset	
		1	2
25	54	2,946475E1	
35	54		3,043815E1
0	18		3,071978E1
15	54		3,101916E1
Sig.		1,000	,223

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 3,575.

ozmsure

Homogeneous Subsets

wl

Duncan

ozmsure	N	Subset				
		1	2	3	4	5
30	30	2,007279E1				
60	30		2,681258E1			
90	30			3,021355E1		
140	30				3,413913E1	
120	30				3,470457E1	
160	30					3,614897E1
Sig.		1,000	1,000	1,000	,249	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 3,575.

Ek-22 Temaslı elektriksel ön işlem koşullarının ozmotik kurutulan elma dilimlerinin su aktivitesi değerlerine etkisinin istatistiksel analiz sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: aw

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,001(a)	10	,000	7,085	,000
Intercept	30,767	1	30,767	1510983,588	,000
voltajgrad	6,85E-005	2	3,43E-005	1,683	,204
sure	3,19E-006	2	1,59E-006	,078	,925
voltajgrad * sure	7,68E-005	4	1,92E-005	,943	,453
Error	,001	29	2,04E-005		
Total	35,395	40			
Corrected Total	,002	39			

a. R Squared = ,710 (Adjusted R Squared = ,609)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

aw

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
	1	2	1
36	9	,935556	
0	3	,937000	
12	9	,937222	
24	9	,939444	
1	10		
Sig.		,165	,950500
			1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 2,04E-005.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,522.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

aw

Duncan

sure	N	Subset	
	1	2	1
0	3	,937000	
15	9	,937111	
35	9	,937222	
25	9	,937889	
1	10		,950500
Sig.		,749	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 2,04E-005.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,522.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Ek-23 Çözelti içinde elektriksel ön işlem koşullarının ozmotik kurutulan elma dilimlerinin su aktivitesi değerlerine etkisinin istatistiksel analiz sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: aw

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,002(a)	10	,000	9,561	,000
Intercept	29,205	1	29,205	1216863,693	,000
voltajgrad	1,36E-005	2	6,78E-006	,282	,756
sure	6,69E-005	2	3,34E-005	1,394	,267
voltajgrad * sure	,000	4	2,76E-005	1,148	,357
Error	,001	25	2,40E-005		
Total	32,248	36			
Corrected Total	,003	35			

a. R Squared = ,793 (Adjusted R Squared = ,710)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

aw

Duncan

voltajgrad	N	Subset		
	1	2	3	1
0	3	,93700		
36	9		,94322	
24	9		,94333	
12	9		,94478	
1	6			,96300
Sig.		1,000	,609	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 2,40E-005.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

aw

Duncan

sure	N	Subset		
	1	2	3	1
0	3	,93700		
25	9	,94211	,94211	
35	9		,94333	
15	9		,94589	
1	6			,96300
Sig.		,083	,219	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 2,40E-005.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Ek-24 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutulan Elma Dilimlerinin Katı Ve Su Efektif Difüzyon Katsayılarıdeğerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Dw	1,641 ^a	9	,182	4,140	,004
	Ds	30,657 ^b	9	3,406	,815	,609
Intercept	Dw	61,954	1	61,954	1,407E3	,000
	Ds	95,834	1	95,834	22,926	,000
voltajgrad	Dw	1,004	2	,502	11,394	,000
	Ds	8,444	2	4,222	1,010	,382
sure	Dw	,381	2	,191	4,329	,027
	Ds	8,902	2	4,451	1,065	,364
voltajgrad * sure	Dw	,171	4	,043	,969	,446
	Ds	12,172	4	3,043	,728	,583
Error	Dw	,881	20	,044		
	Ds	83,603	20	4,180		
Total	Dw	73,926	30			
	Ds	229,999	30			
Corrected Total	Dw	2,522	29			
	Ds	114,261	29			

a. R Squared = ,651 (Adjusted R Squared = ,494)

b. R Squared = ,268 (Adjusted R Squared = -,061)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

Dw

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
		1	2
24	9	1,37044	1,82489
0	3	1,38267	
12	9	1,48633	
36	9		
Sig.		,377	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,044.

Ds

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
		1	
36	9	1,33300	
0	3	1,37933	
12	9	2,05222	
24	9	2,70222	
Sig.		,301	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 4,180.

sure

Homogeneous Subsets

Dw

Duncan

sure	N	Subset	
		1	2
0	3	1,38267	
15	9	1,44600	
25	9	1,51133	1,51133
35	9		1,72433
Sig.		,328	,094

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,044.

Ds

Duncan

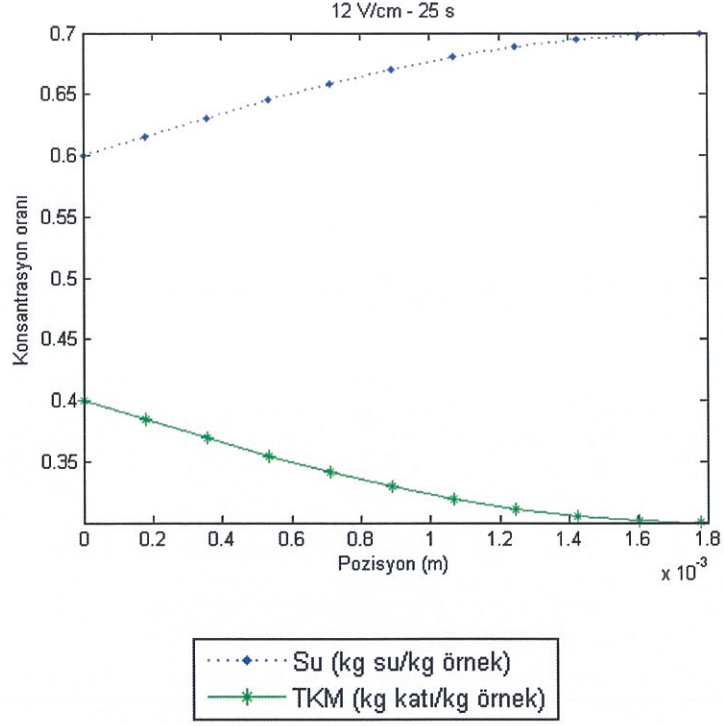
sure	N	Subset
		1
15	9	1,27556
0	3	1,37933
35	9	2,14400
25	9	2,66789
Sig.		,293

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

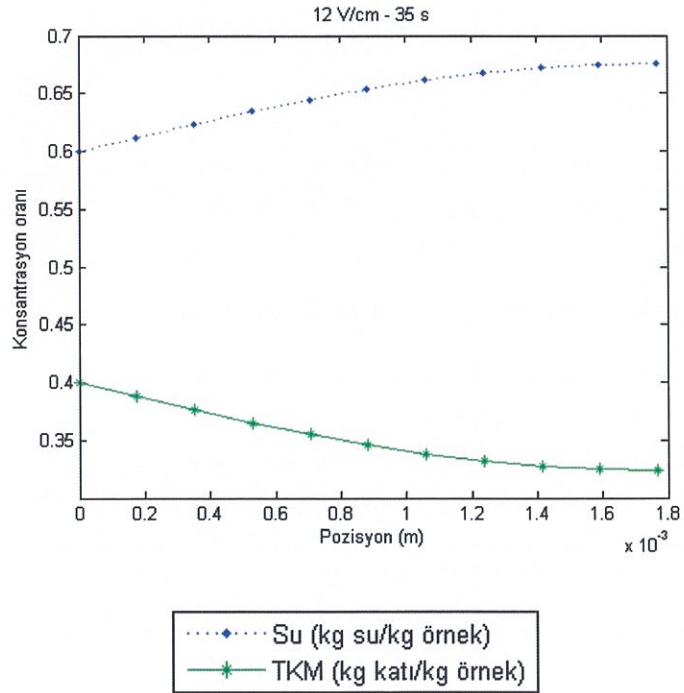
Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 4,180.

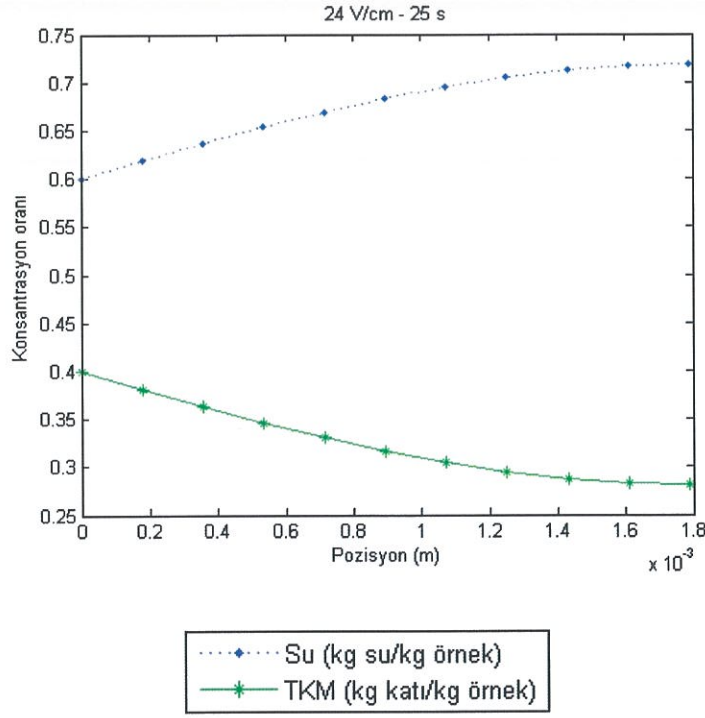
Ek-25 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Uygulanan Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasının Modellenmesi (MK Sonuçları)



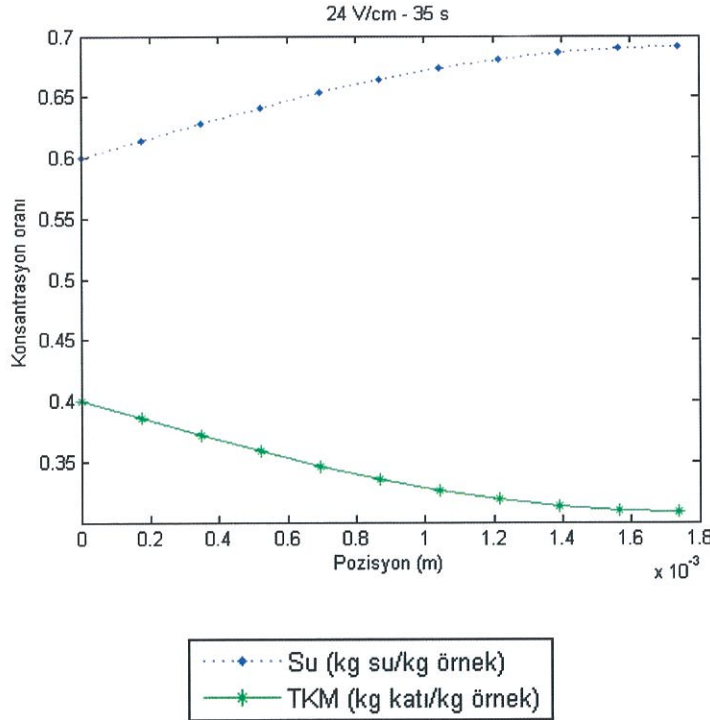
Ek-25.1 12 V/cm 25 s elektriksel ön işlem görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği (MK öngörülleri)



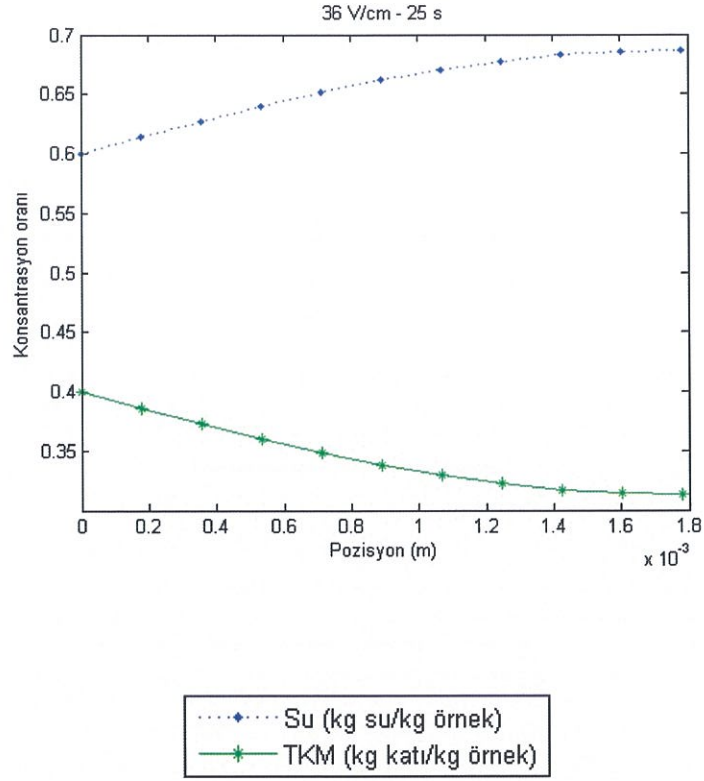
Ek-25.2 12 V/cm 35 s elektriksel ön işlem görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği (MK öngörülleri)



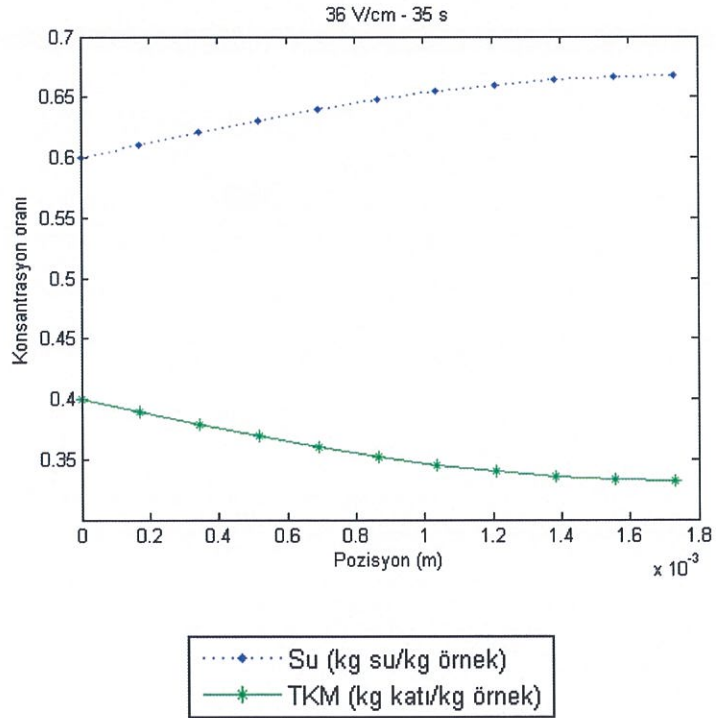
Ek-25.3 24 V/cm 25 s elektriksel ön işlem görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği (MK öngörülleri)



Ek-25.4 24 V/cm 35 s elektriksel ön işlem görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği (MK öngörülleri)

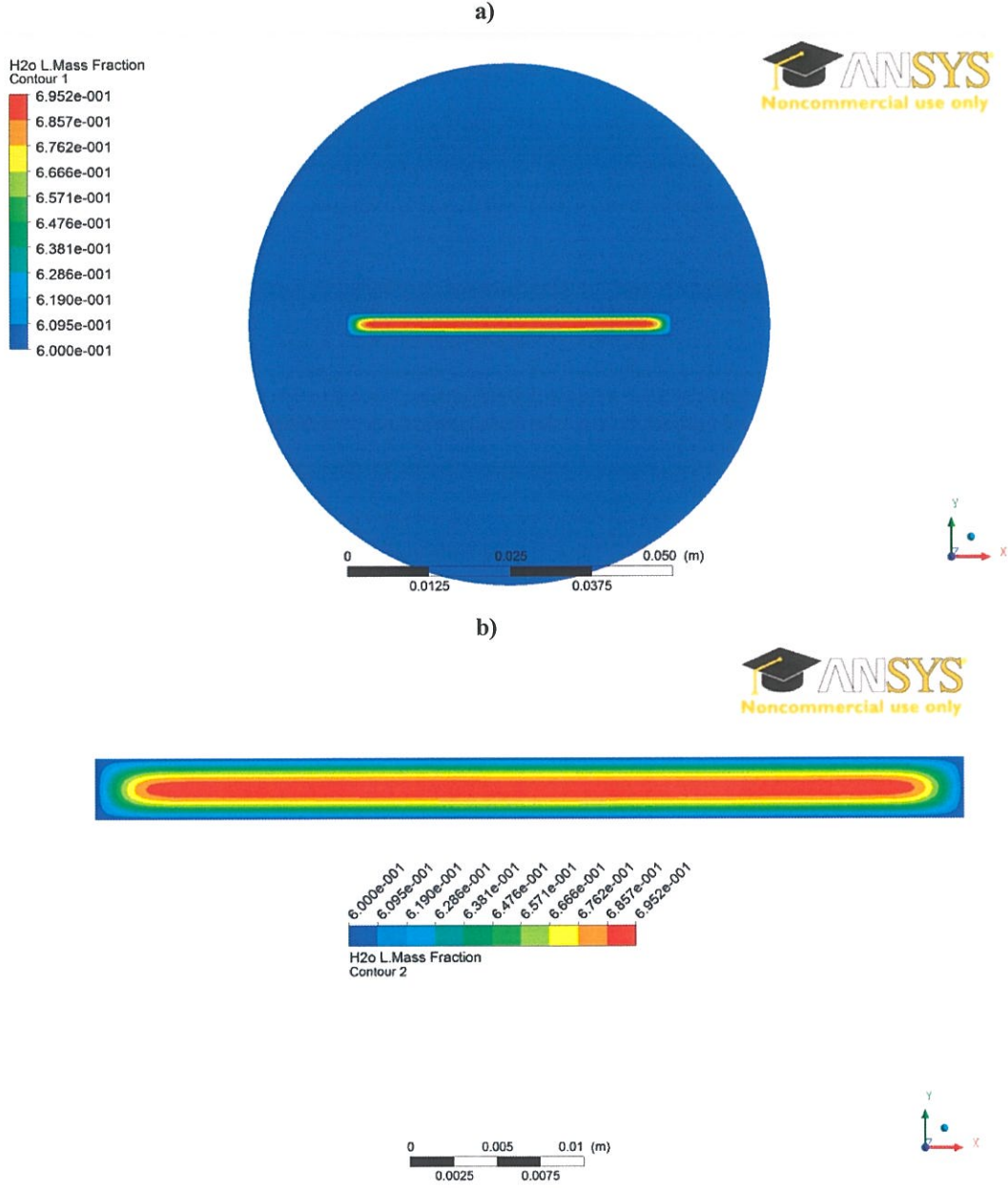


Ek-25.5 36 V/cm 25 s elektriksel ön işlem görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği (MK öngörülleri)

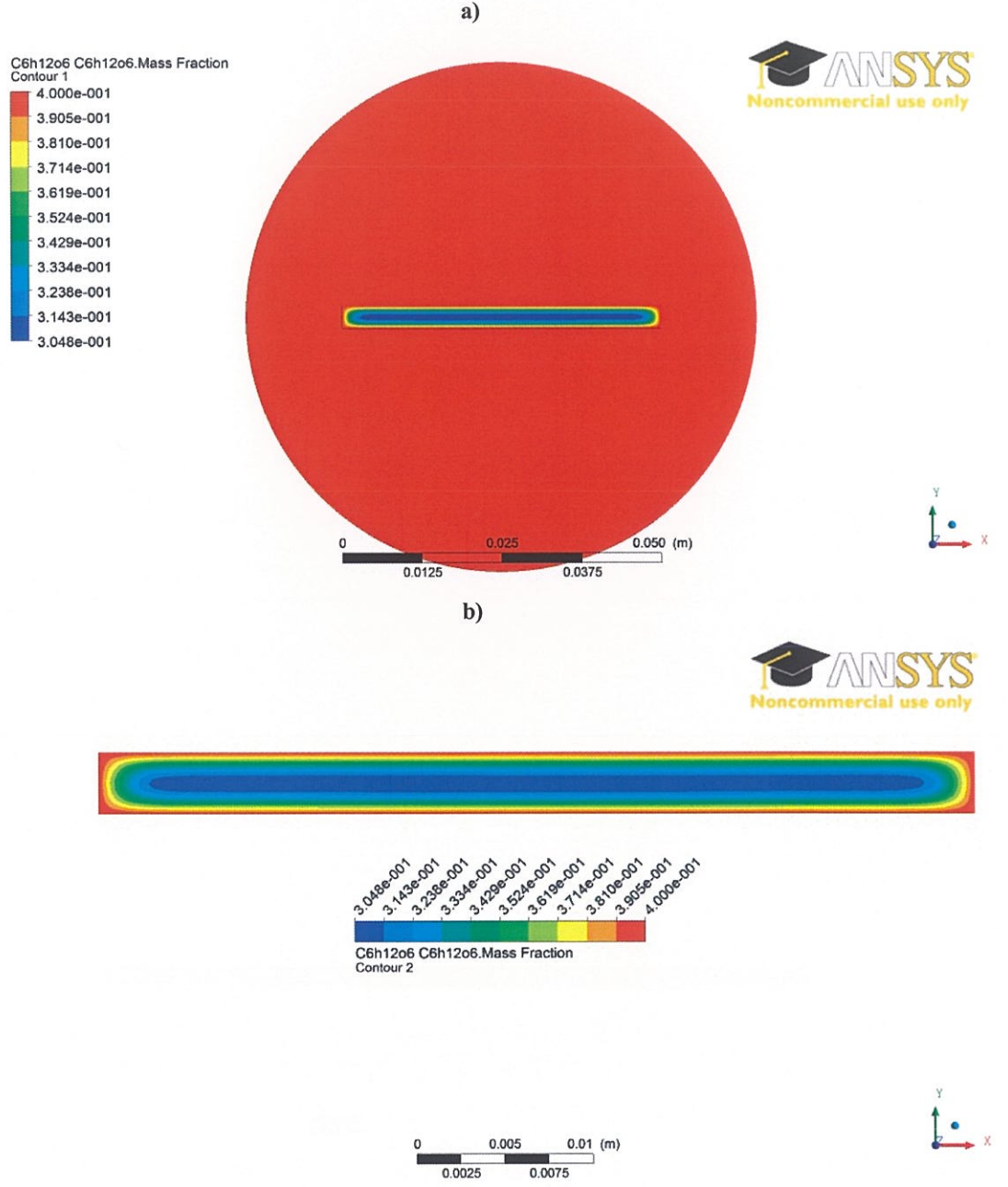


Ek-25.6 36 V/cm 35 s elektriksel ön işlem görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği (MK öngörülleri)

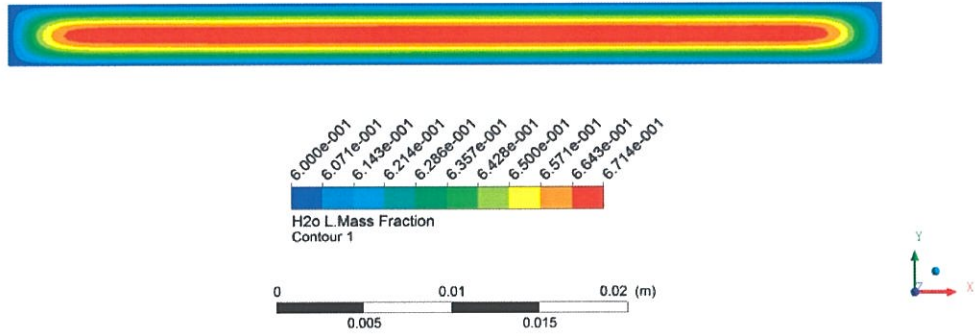
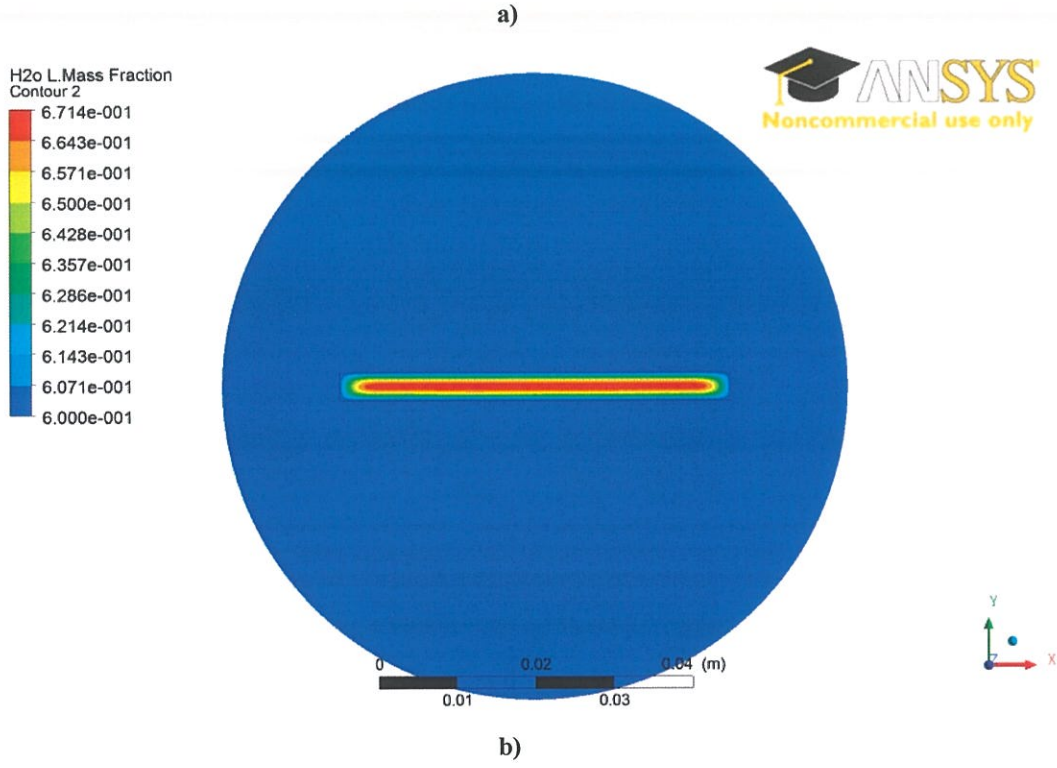
Ek-26 Temash Elektriksel Ön İşlem Uygulanmış Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasının Modellenmesi (AS Sonuçları)



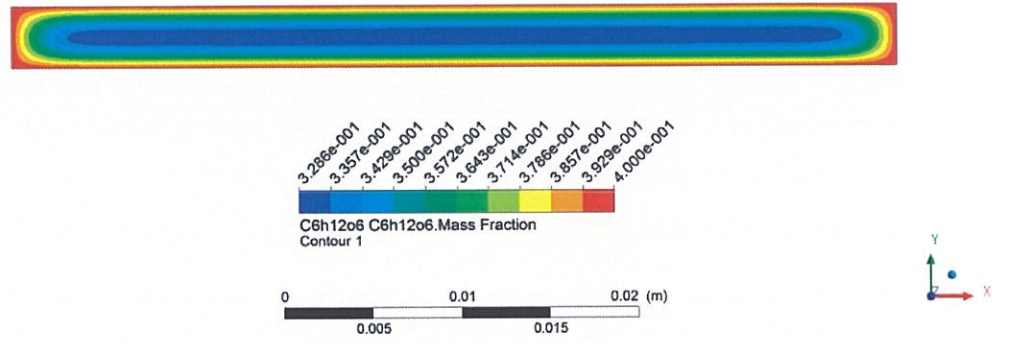
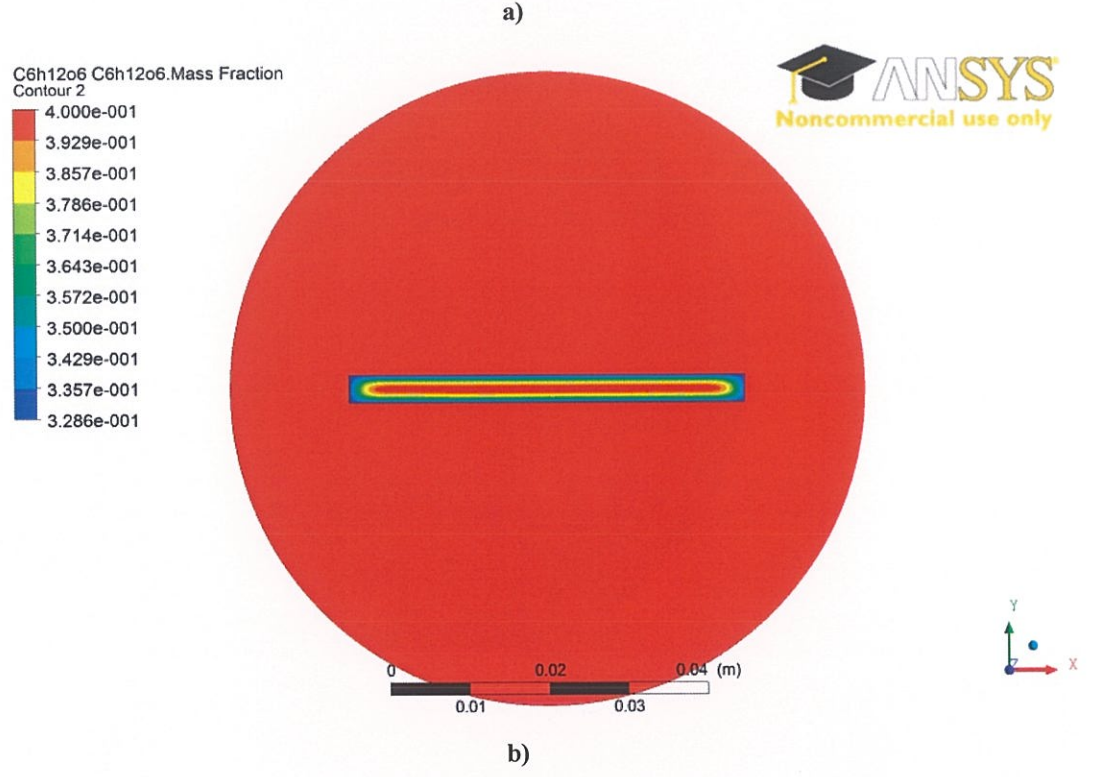
Ek-26.1 12 V/cm – 25 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği (AS öngörülleri)



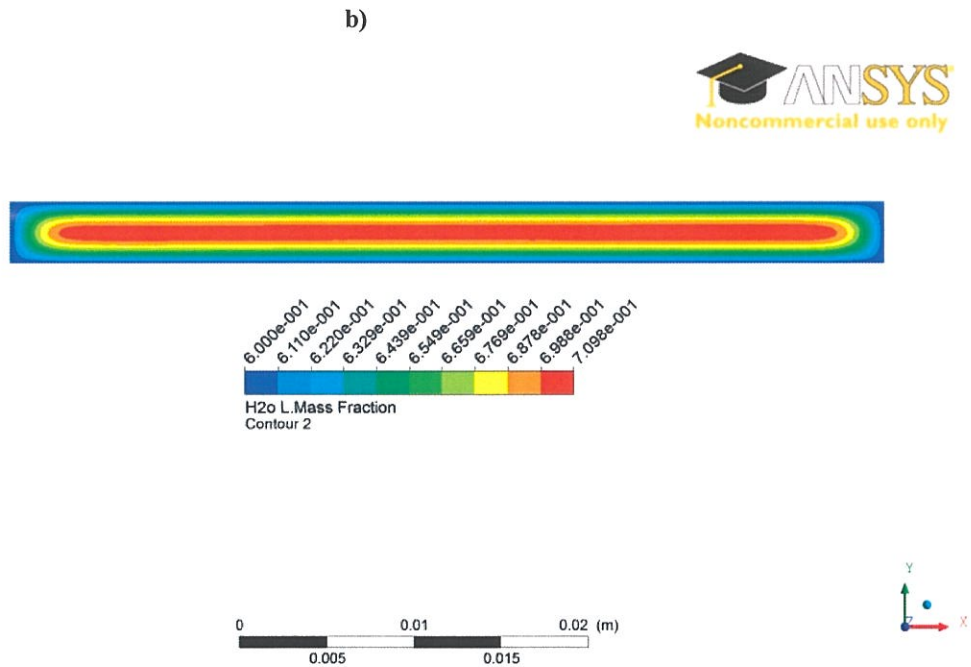
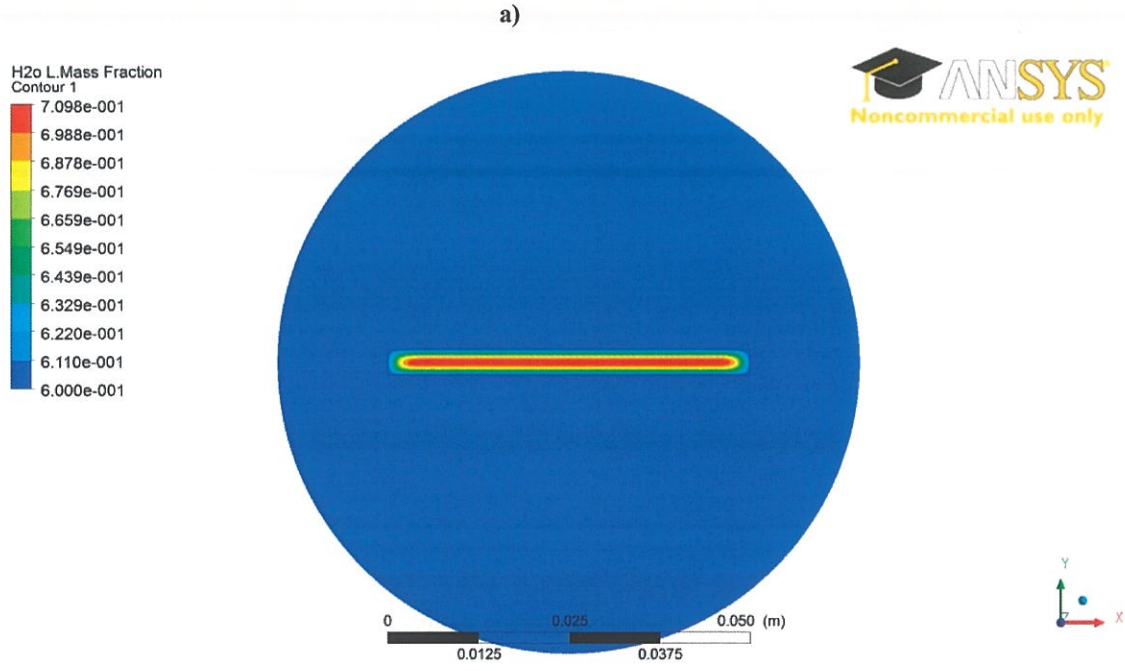
Ek-26.2 12 V/cm – 25 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği (AS öngörülleri)



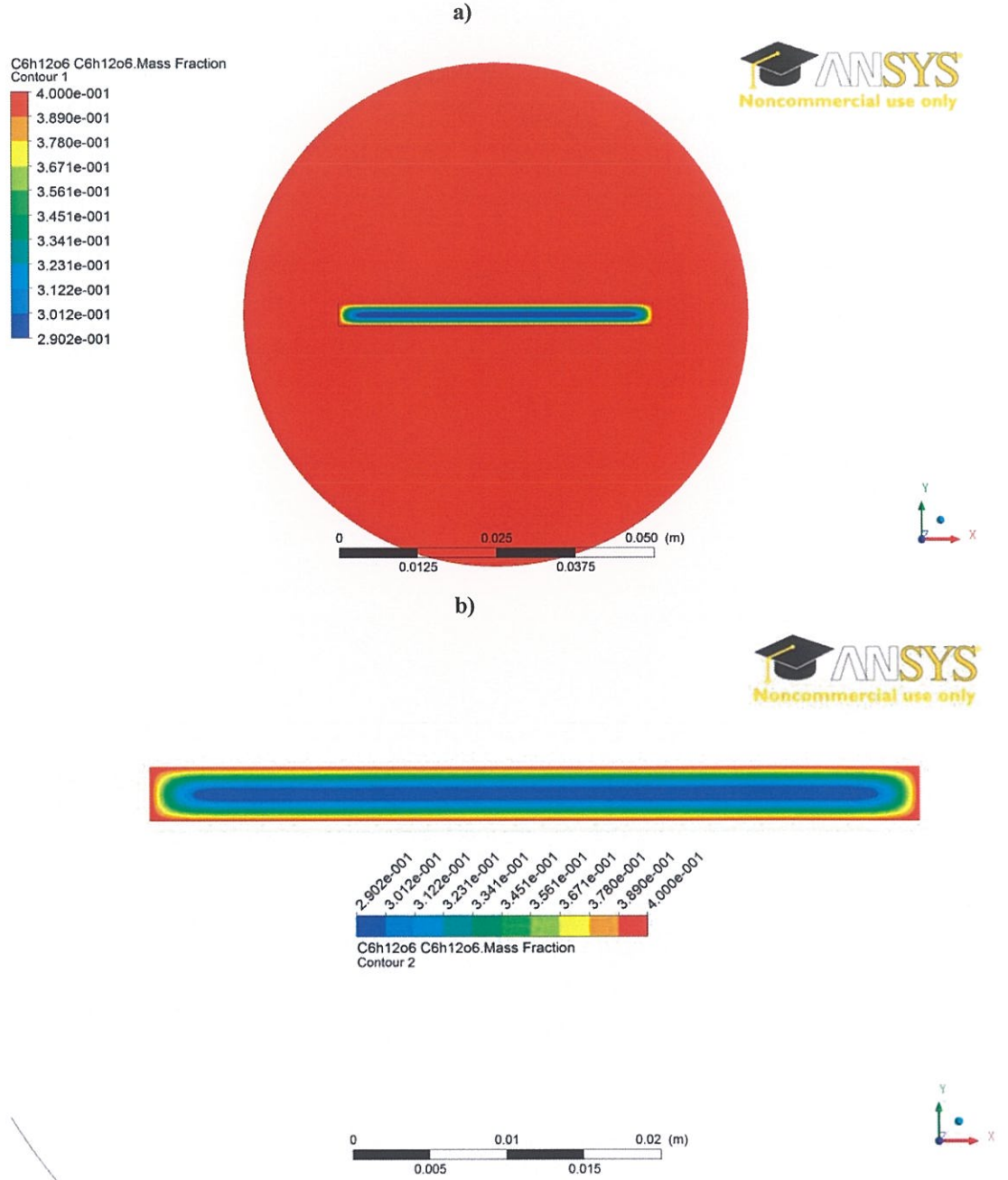
Ek-26.3 12 V/cm – 35 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği (AS öngörülleri)



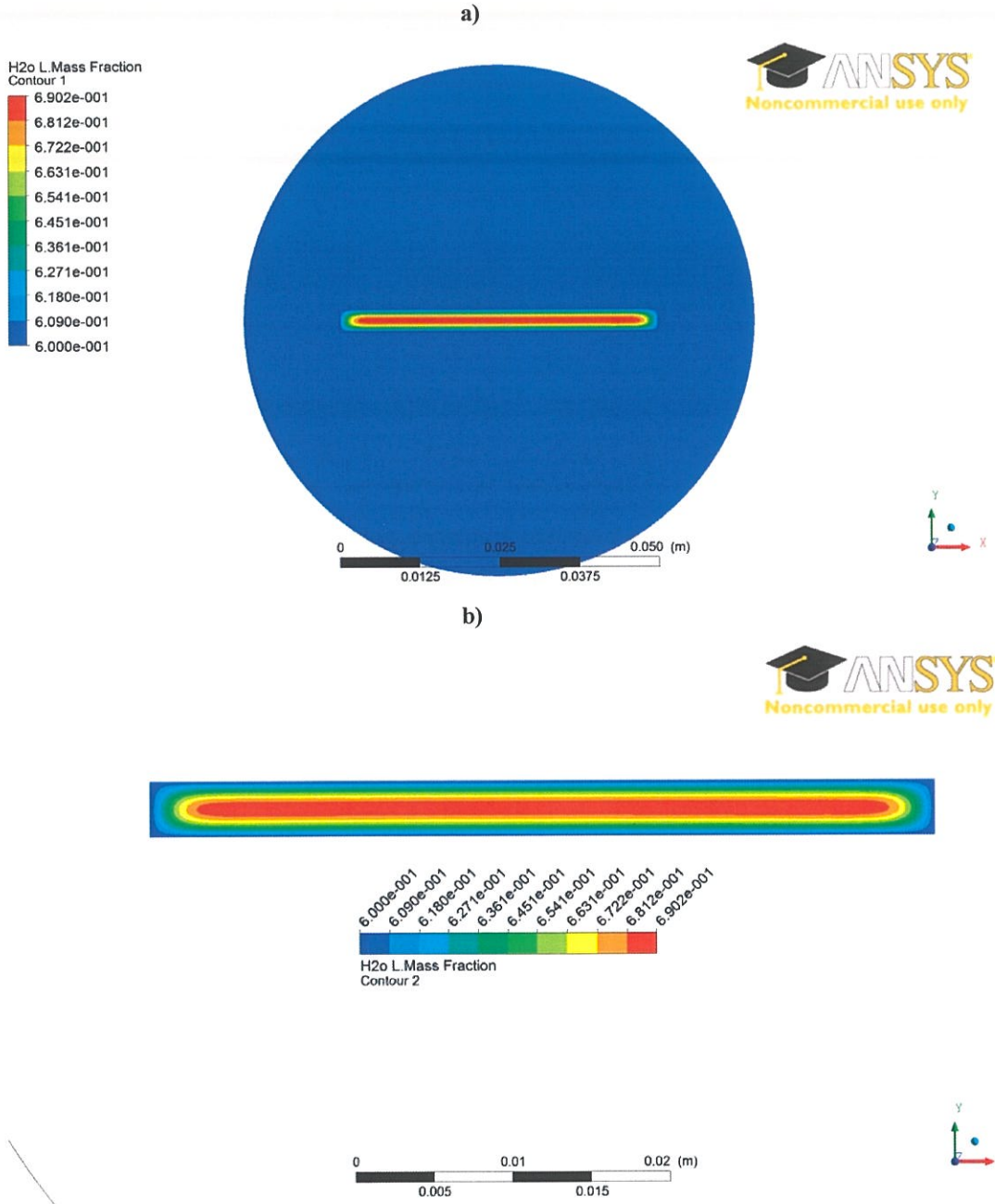
Ek-26.4 12 V/cm – 35 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği (AS öngörülleri)



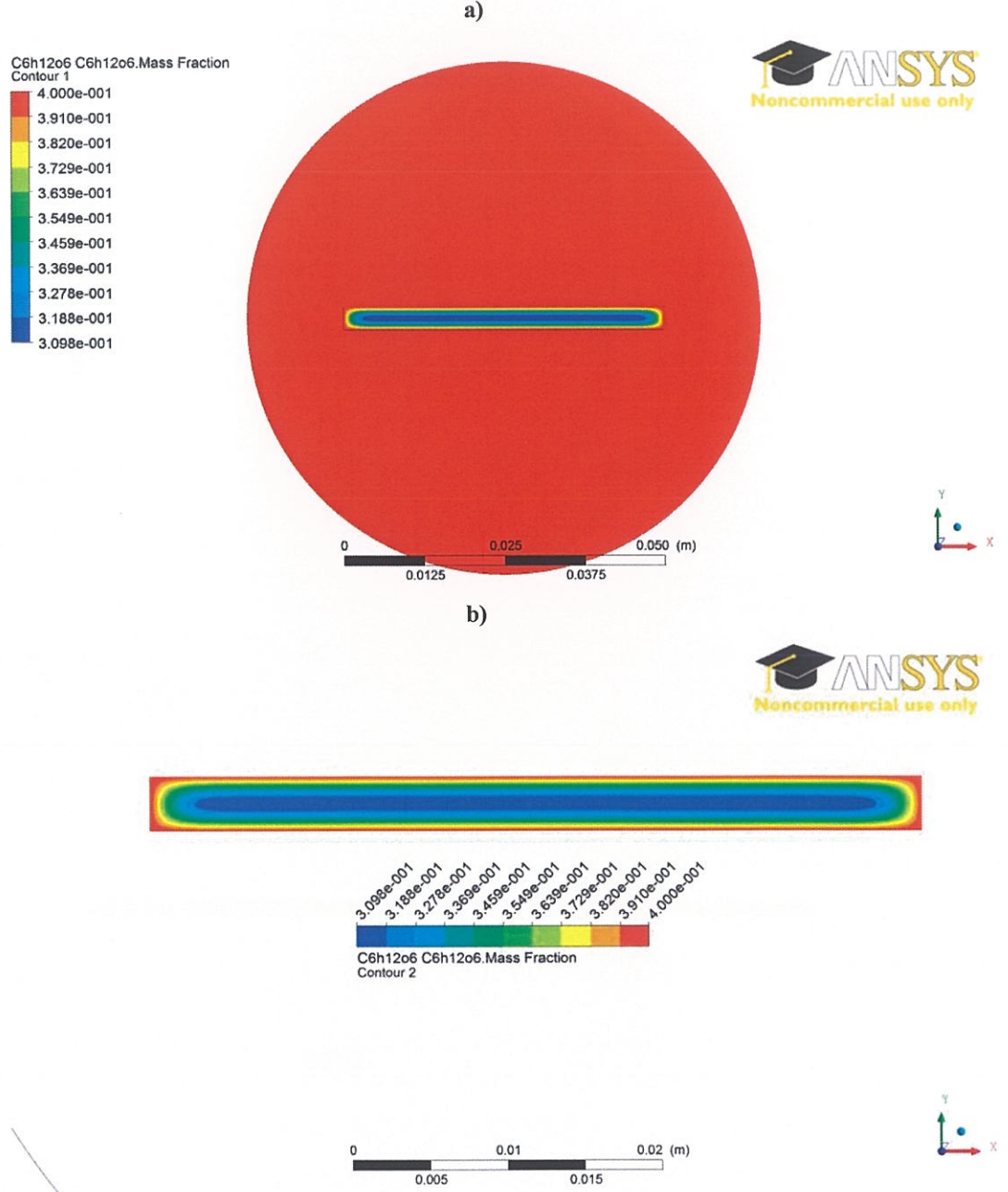
Ek-26.5 24 V/cm – 25 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği (AS öngörülleri)



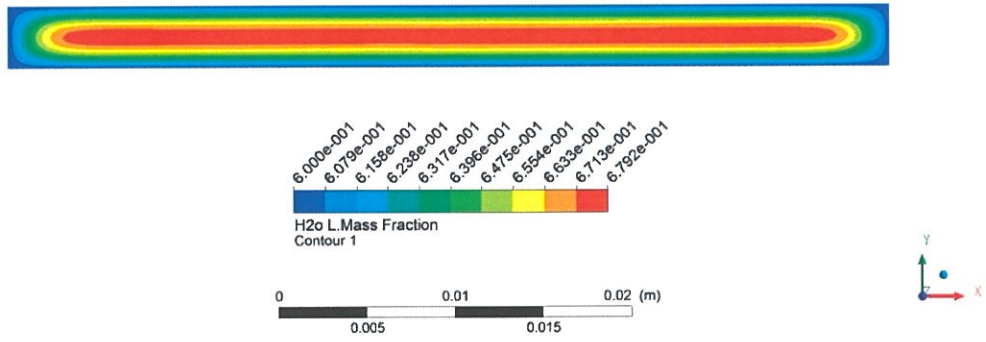
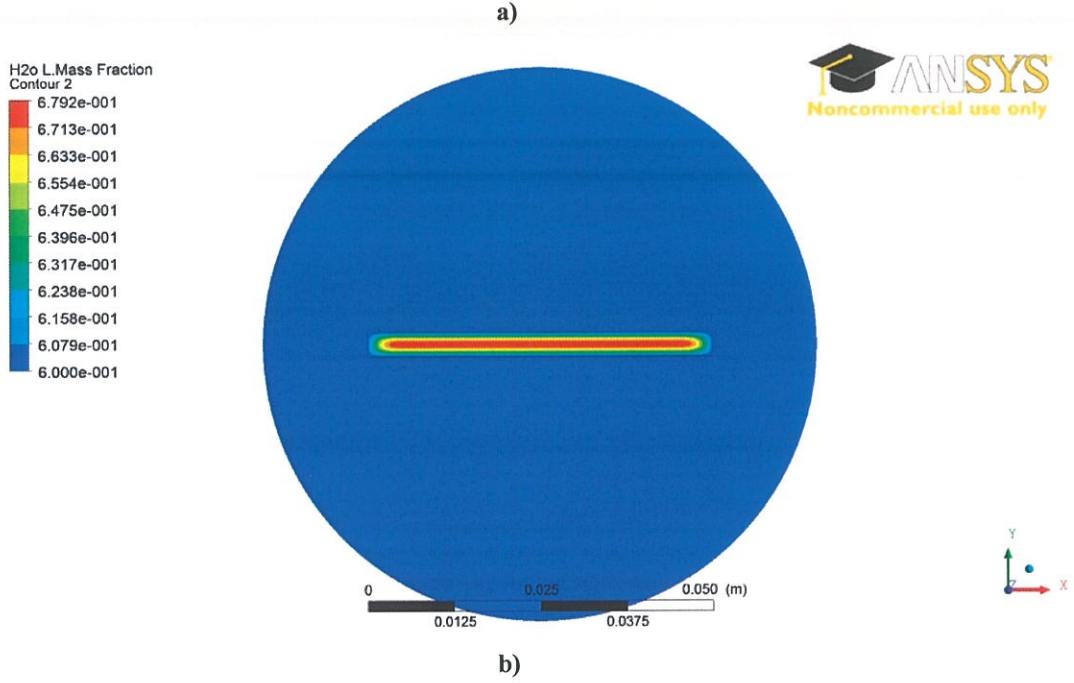
Ek-26.6 24 V/cm – 25 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği (AS öngörülleri)



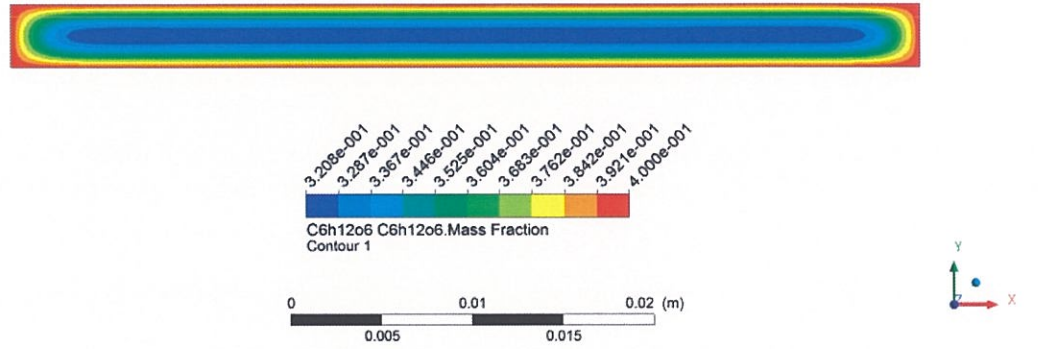
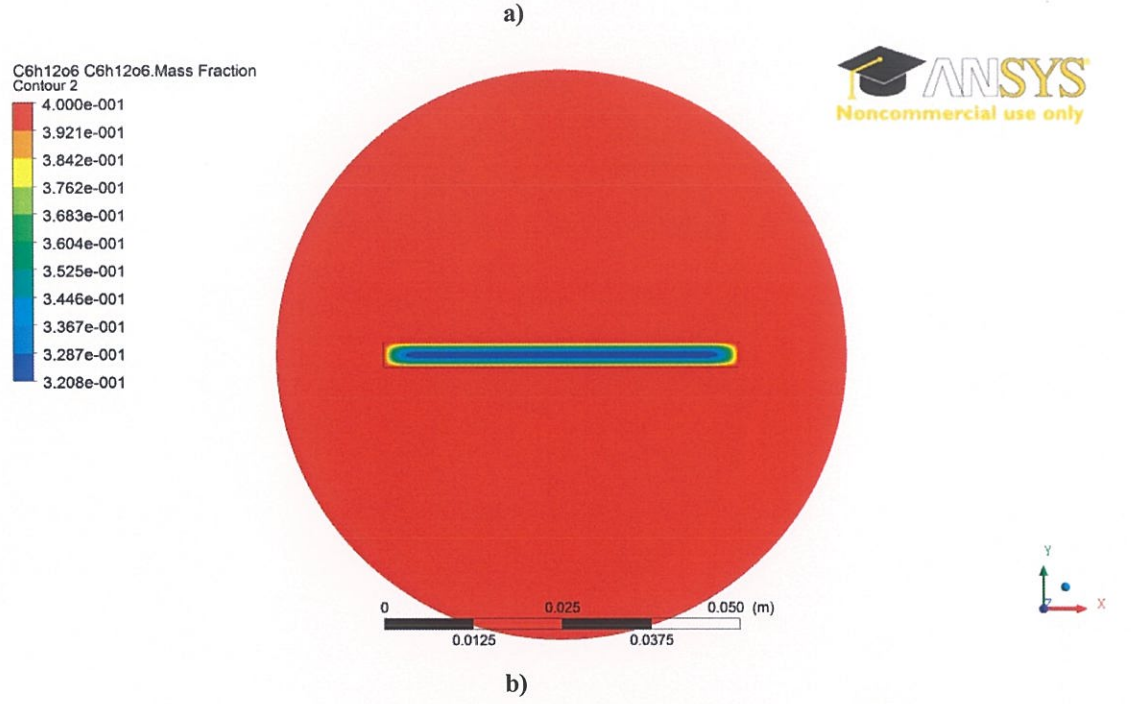
Ek-26.7 24 V/cm – 35 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği (AS öngörülleri)



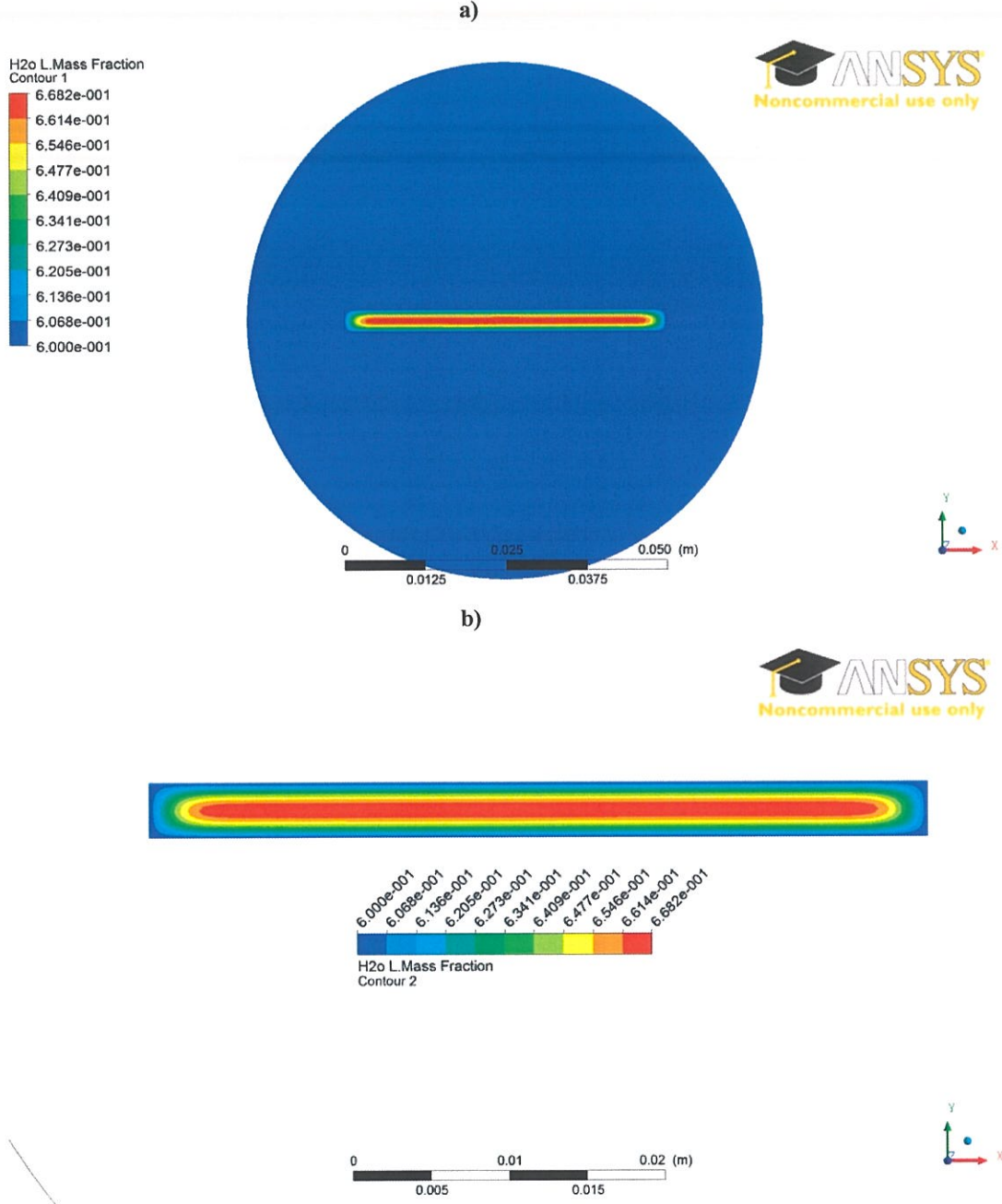
Ek-26.8 24 V/cm – 35 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği (AS öngörülleri)



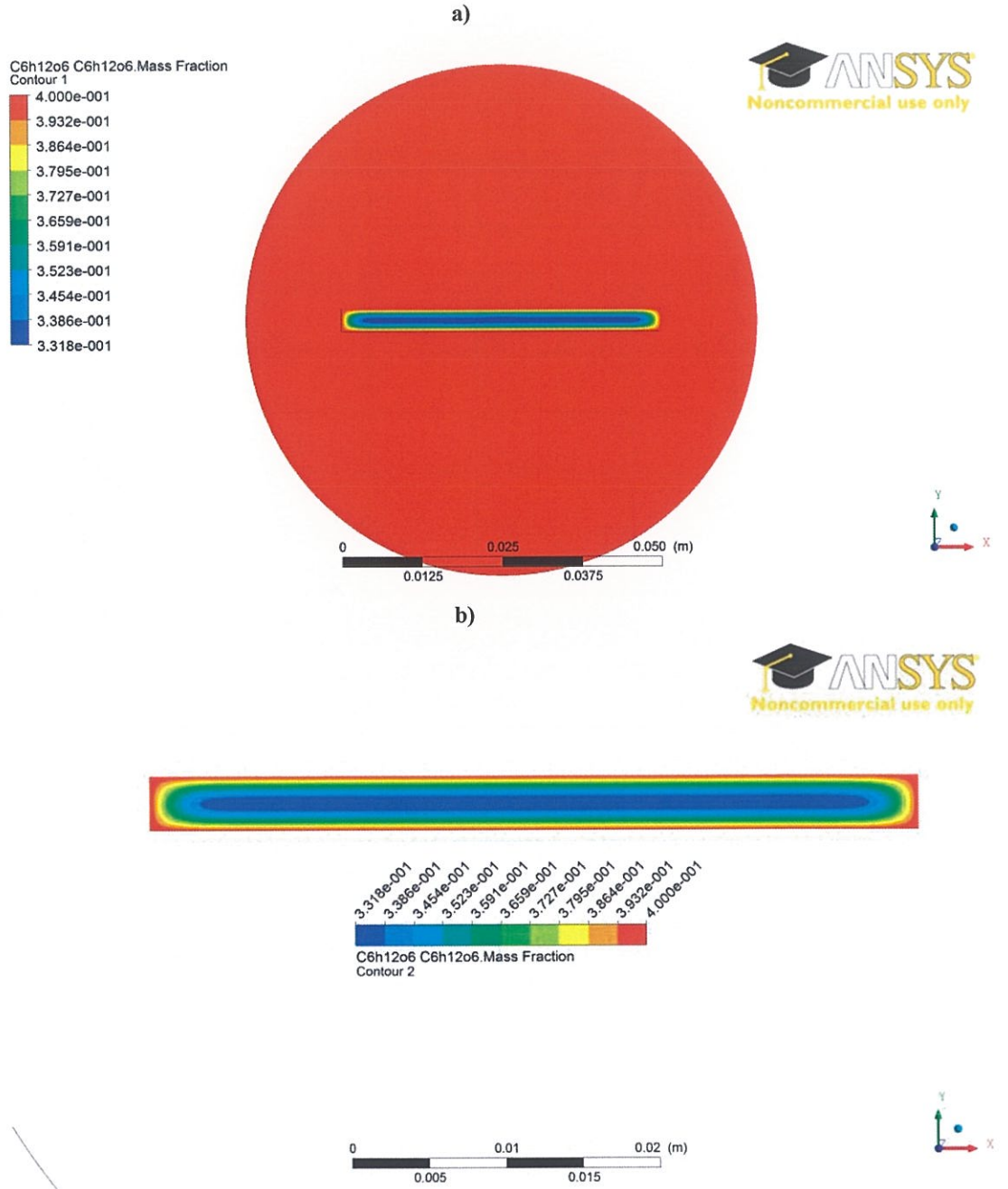
Ek-26.9 36 V/cm – 25 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği (AS öngörülleri)



Ek-26.10 36 V/cm – 25 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği (AS öngörülleri)



Ek-26.11 36 V/cm – 35 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği (AS öngörülleri)



Ek-26.12 36 V/cm – 35 s TEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği (AS öngörülür)

Ek-27 Çözültü İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutulan Elma Dilimlerinin Katı Ve Su Efektif Difüzyon Katsayıları Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Dw	1,179 ^a	9	,131	11,936	,000
	Ds	13,639 ^b	9	1,515	,763	,651
Intercept	Dw	62,555	1	62,555	5,700E3	,000
	Ds	107,489	1	107,489	54,094	,000
voltajgrad	Dw	,316	2	,158	14,411	,000
	Ds	4,470	2	2,235	1,125	,344
sure	Dw	,165	2	,082	7,501	,004
	Ds	1,739	2	,870	,438	,652
voltajgrad * sure	Dw	,603	4	,151	13,746	,000
	Ds	5,741	4	1,435	,722	,587
Error	Dw	,220	20	,011		
	Ds	39,742	20	1,987		
Total	Dw	73,579	30			
	Ds	184,553	30			
Corrected Total	Dw	1,399	29			
	Ds	53,380	29			

a. R Squared = ,843 (Adjusted R Squared = ,772)

b. R Squared = ,255 (Adjusted R Squared = -,080)

Post Hoc Tests

Voltajgrad

Homogeneous Subsets

Dw

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
		1	2
0	3	1,38267	
24	9	1,41767	
12	9		1,63167
36	9		1,66022
Sig.		,569	,642

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,011.

Ds

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
		1	
0	3	1,37933	
36	9	1,84567	
12	9	1,92078	
24	9	2,74389	
Sig.		,139	

Ds

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
		1	
0	3	1,37933	
36	9	1,84567	
12	9	1,92078	
24	9	2,74389	
Sig.		,139	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1,987.

sure

Homogeneous Subsets

Dw

Duncan

sure	N	Subset	
		1	2
0	3	1,38267	1,59911 1,64744
15	9	1,46300	
35	9		
25	9		
Sig.		,199	,434

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,011.

Ds

Duncan

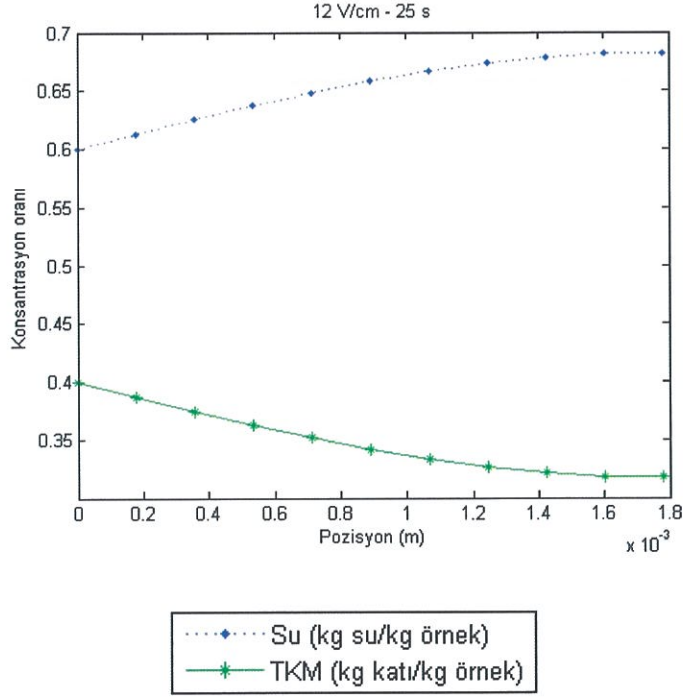
sure	N	Subset	
		1	
0	3	1,37933	
15	9	1,86944	
35	9	2,15067	
25	9	2,49022	
Sig.		,225	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

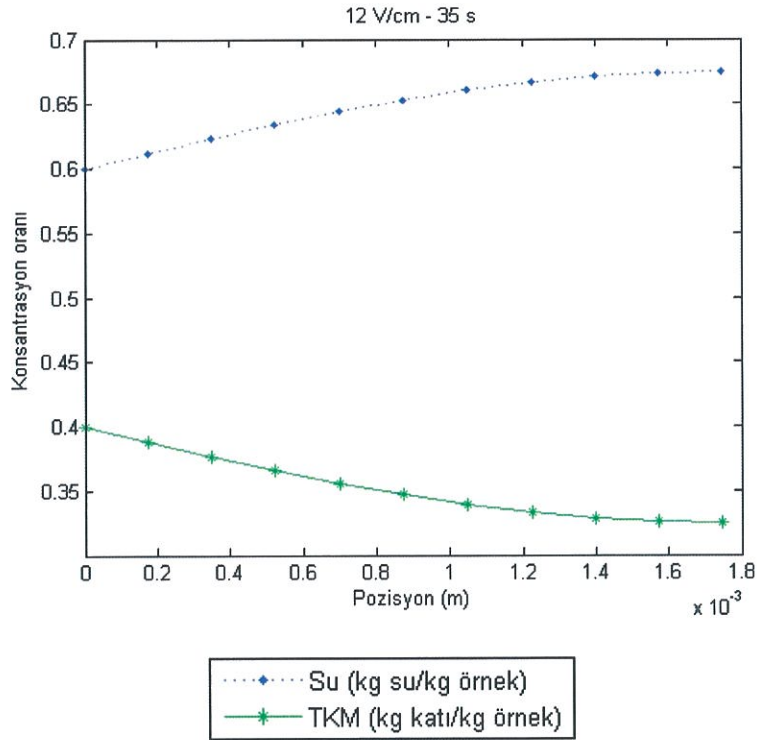
Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1,987.

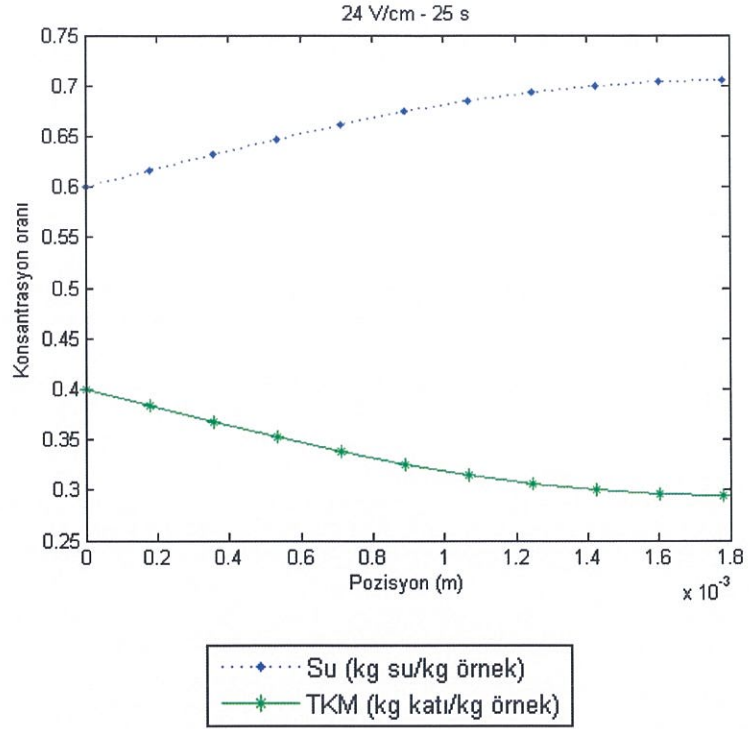
Ek-28 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Uygulanan Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasının Modellenmesi(MK Sonuçları)



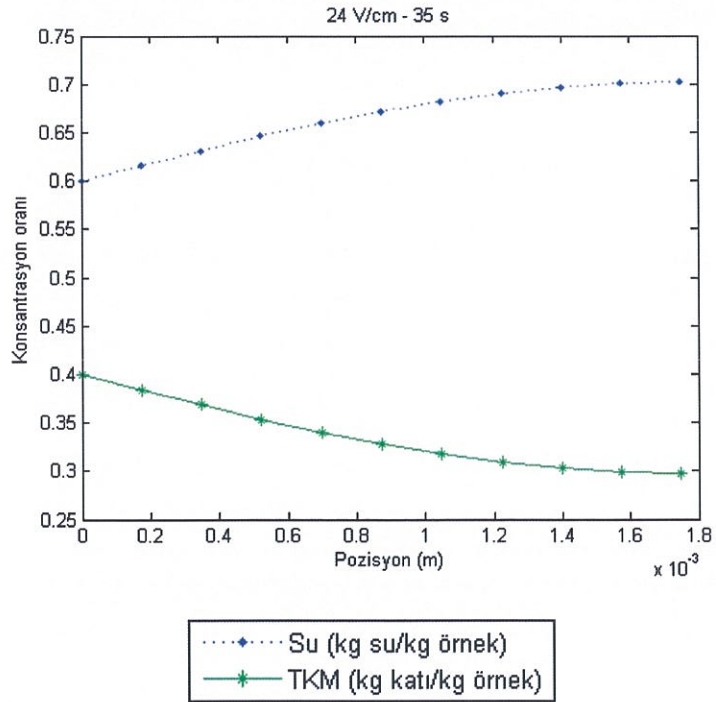
Ek-28.1 12 V/cm 25 s elektriksel ön işlem görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği (MK öngörülen)



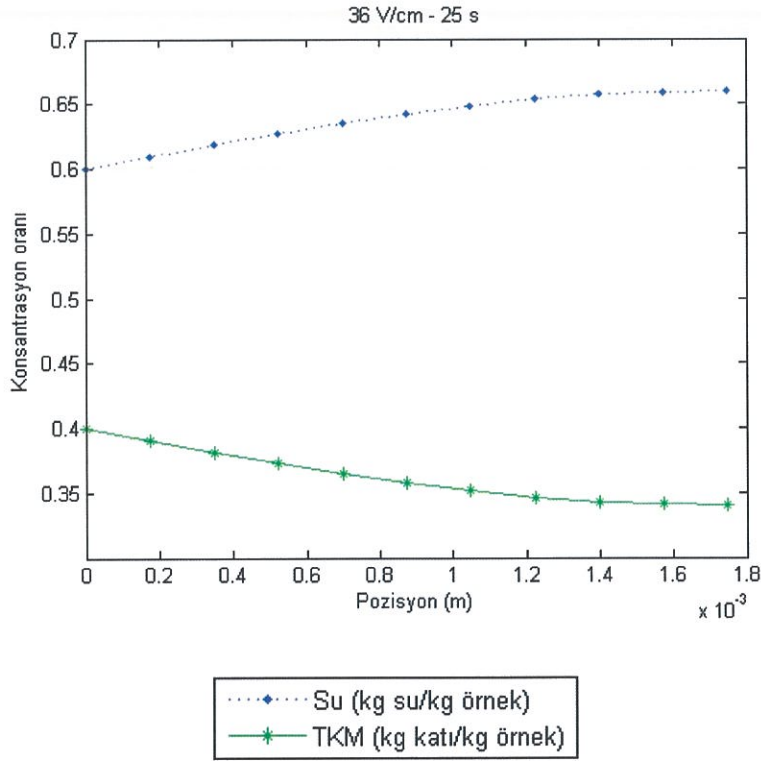
Ek-28.2 12 V/cm 35 s elektriksel ön işlem görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği (MK öngörülen)



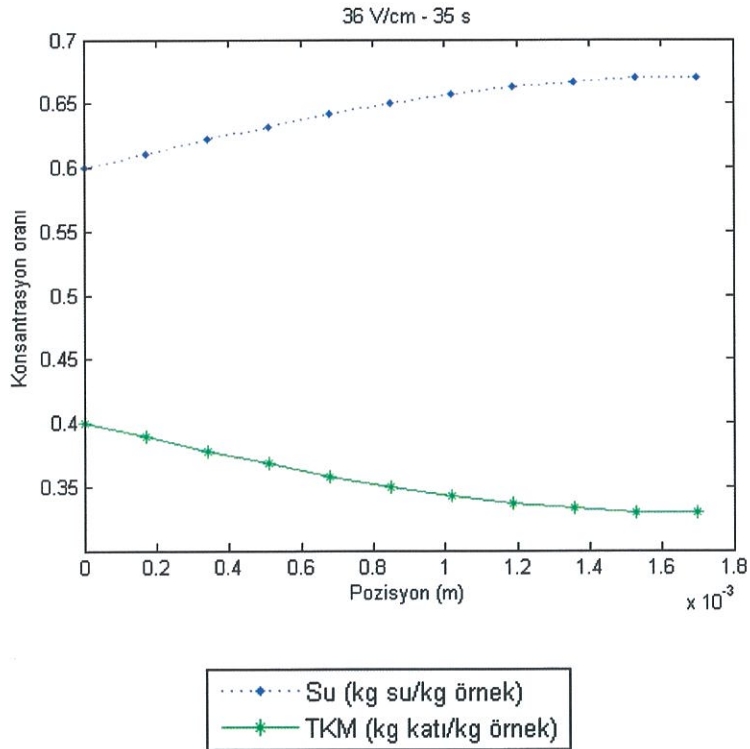
Ek-28.3 24 V/cm 25 s elektriksel ön işlem görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği (MK öngörülen)



Ek-28.4 24 V/cm 35 s elektriksel ön işlem görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği (MK öngörülen)

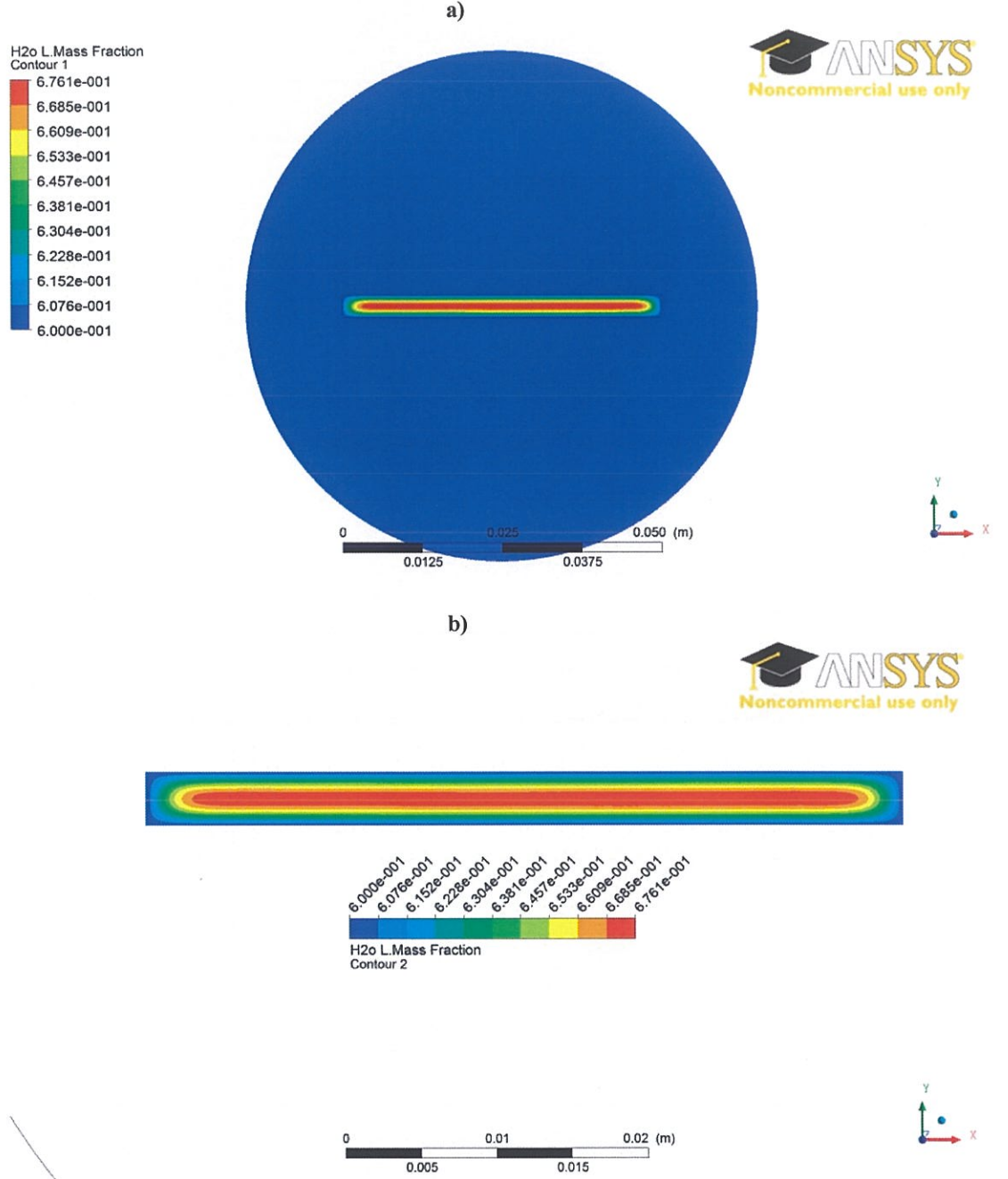


Ek-28.5 36 V/cm 25 s elektriksel ön işlem görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği (MK öngörülen)

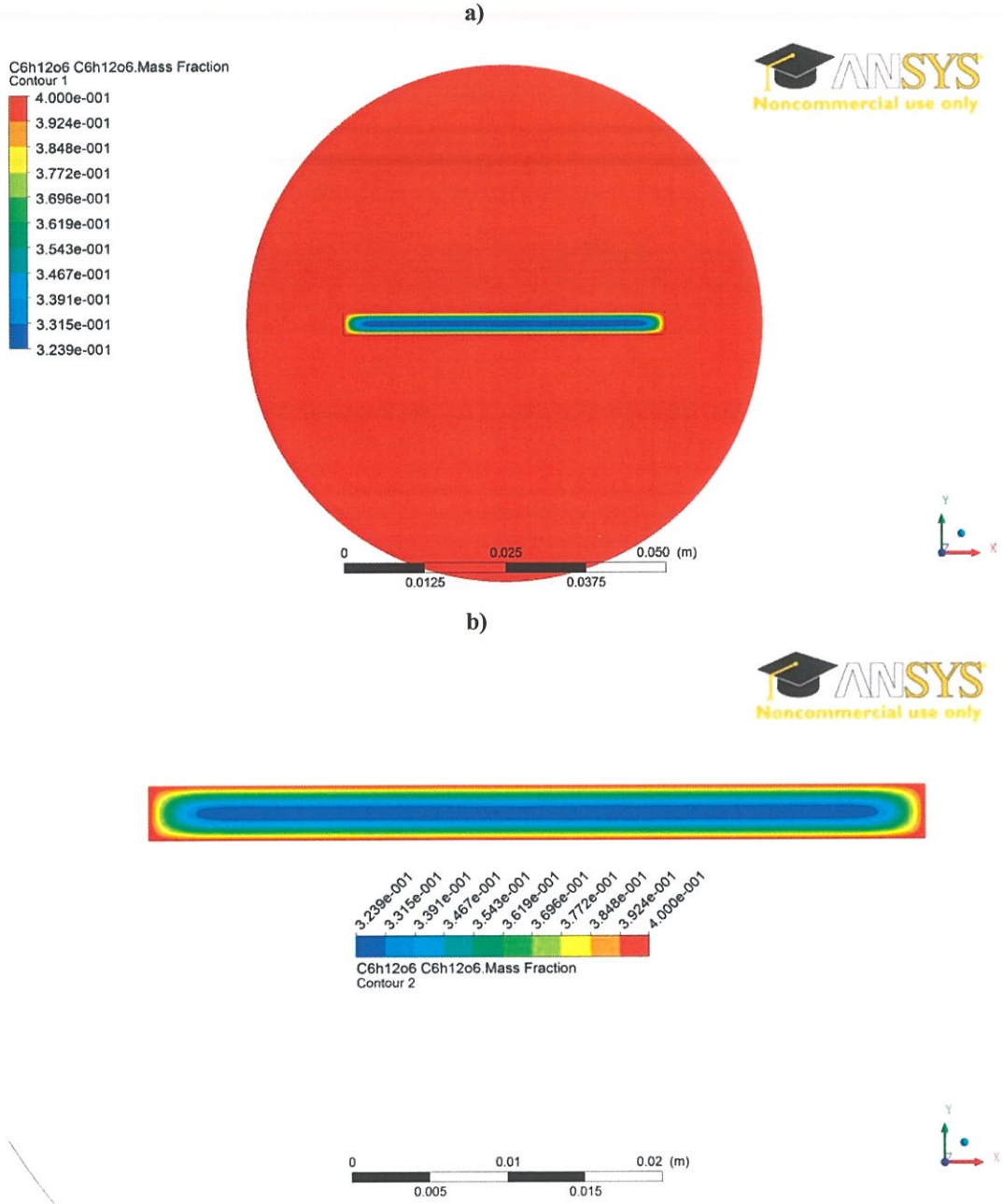


Ek-28.6 36 V/cm 35 s elektriksel ön işlem görmüş elma diliminin ozmotik kurutulması sonrası pozisyona göre su ve TKM içeriği (MK öngörülen)

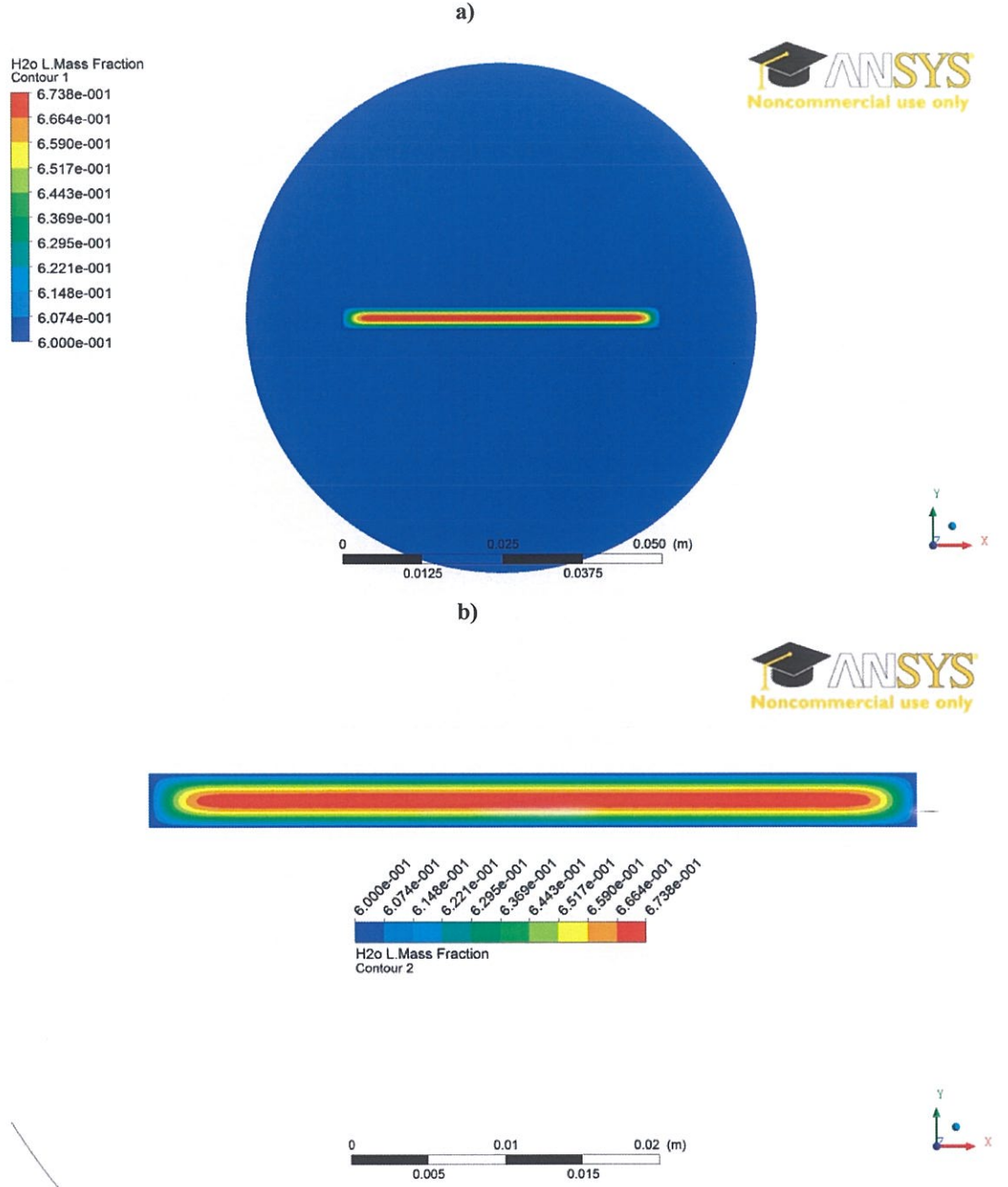
Ek-29 Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Uygulanmış Elma Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasının Modellenmesi (AS Sonuçları)



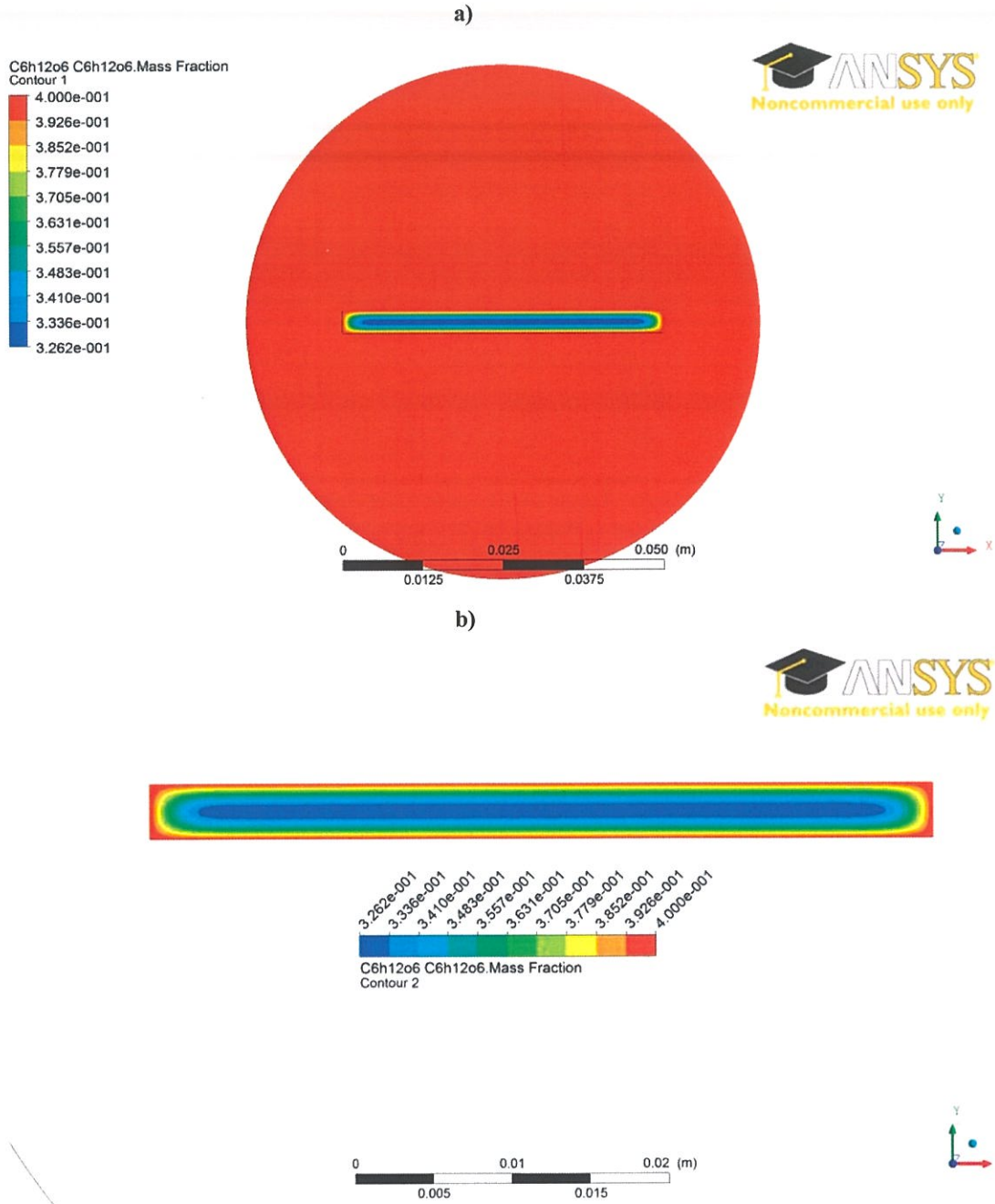
Ek-29.1 12 V/cm – 25 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği (AS öngörülleri)



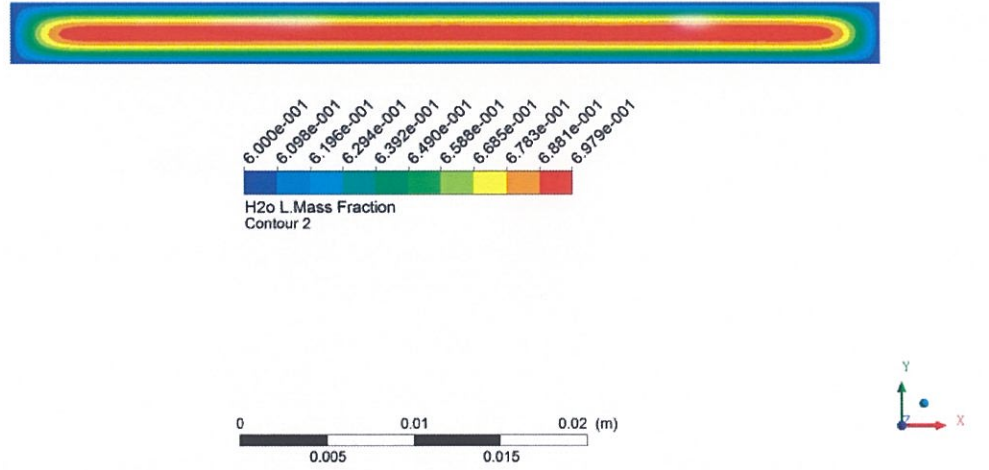
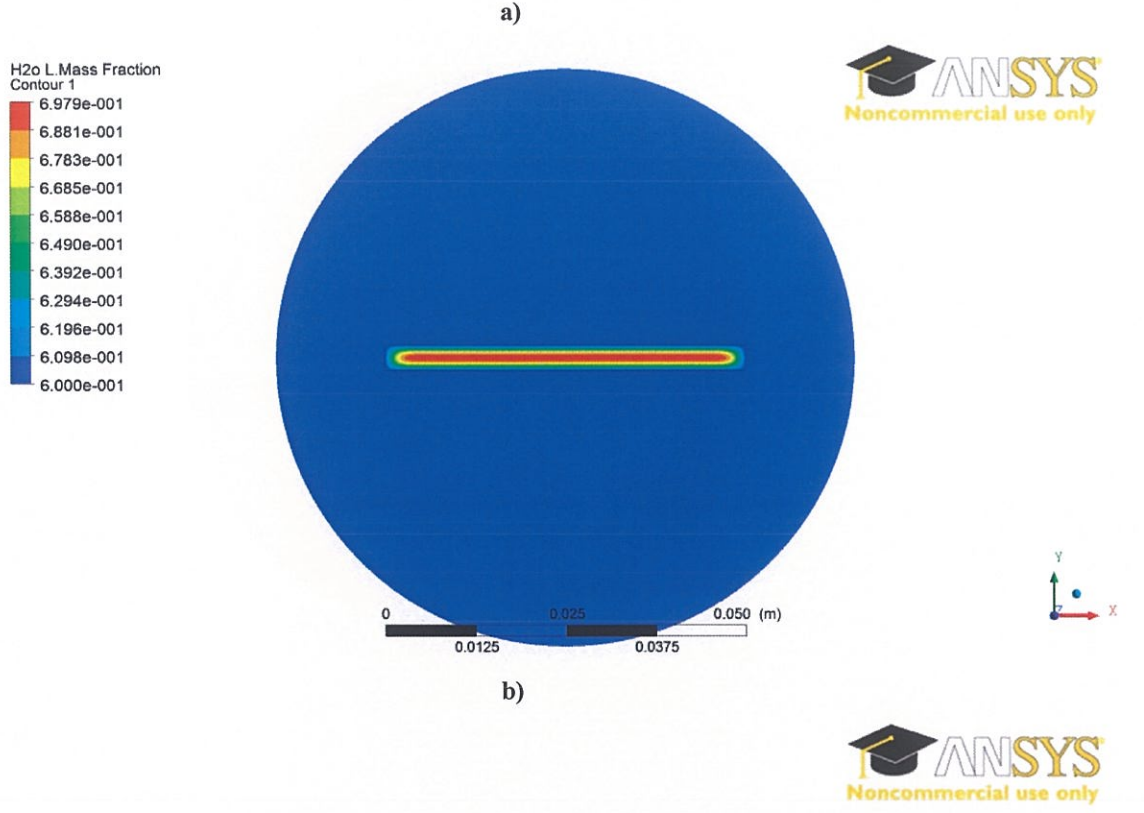
Ek-29.2 12 V/cm – 25 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği (AS öngörülleri)



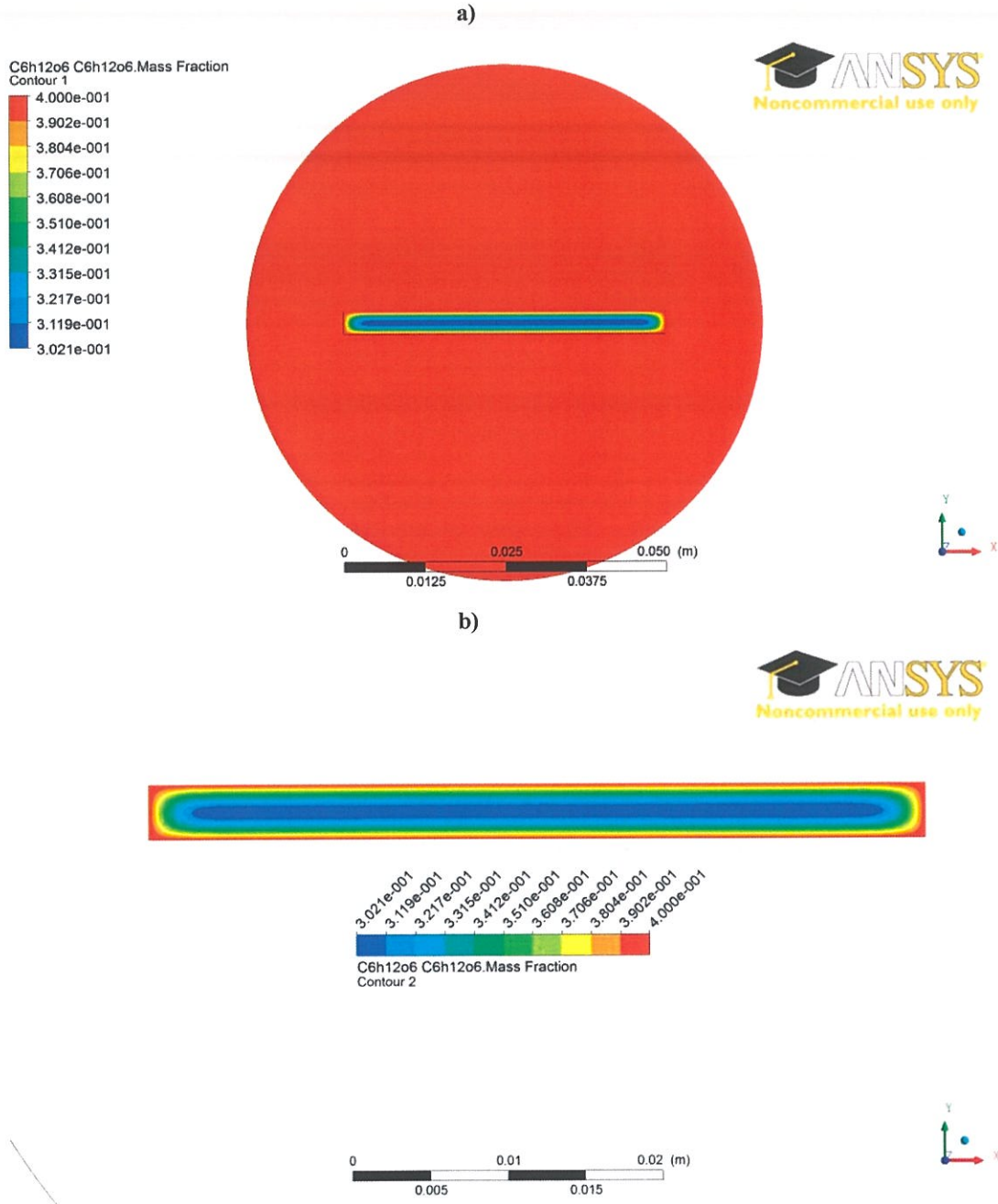
Ek-29.3 12 V/cm – 35 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği (AS öngörülleri)



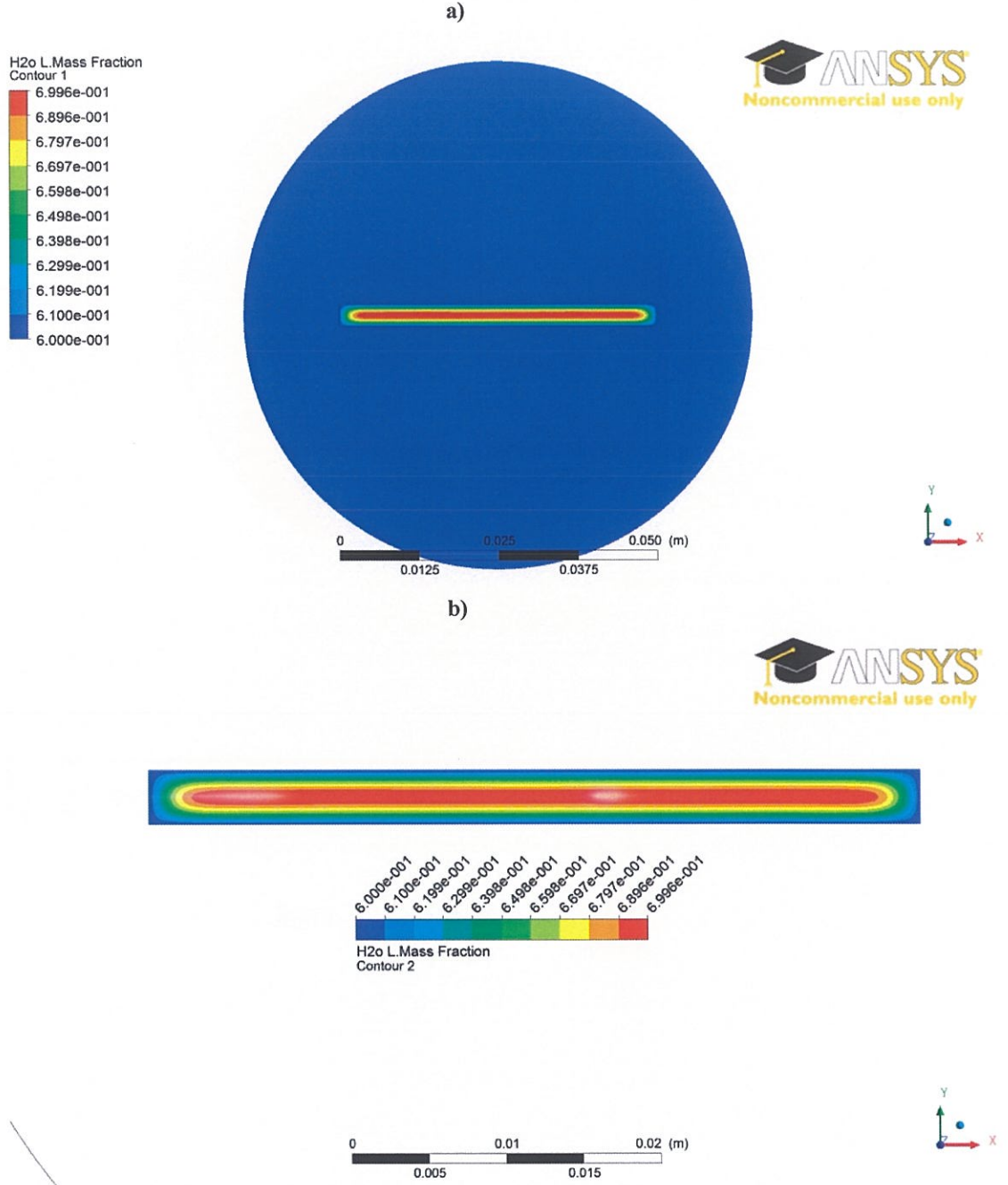
Ek-29.4 12 V/cm – 35 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği (AS öngörülleri)



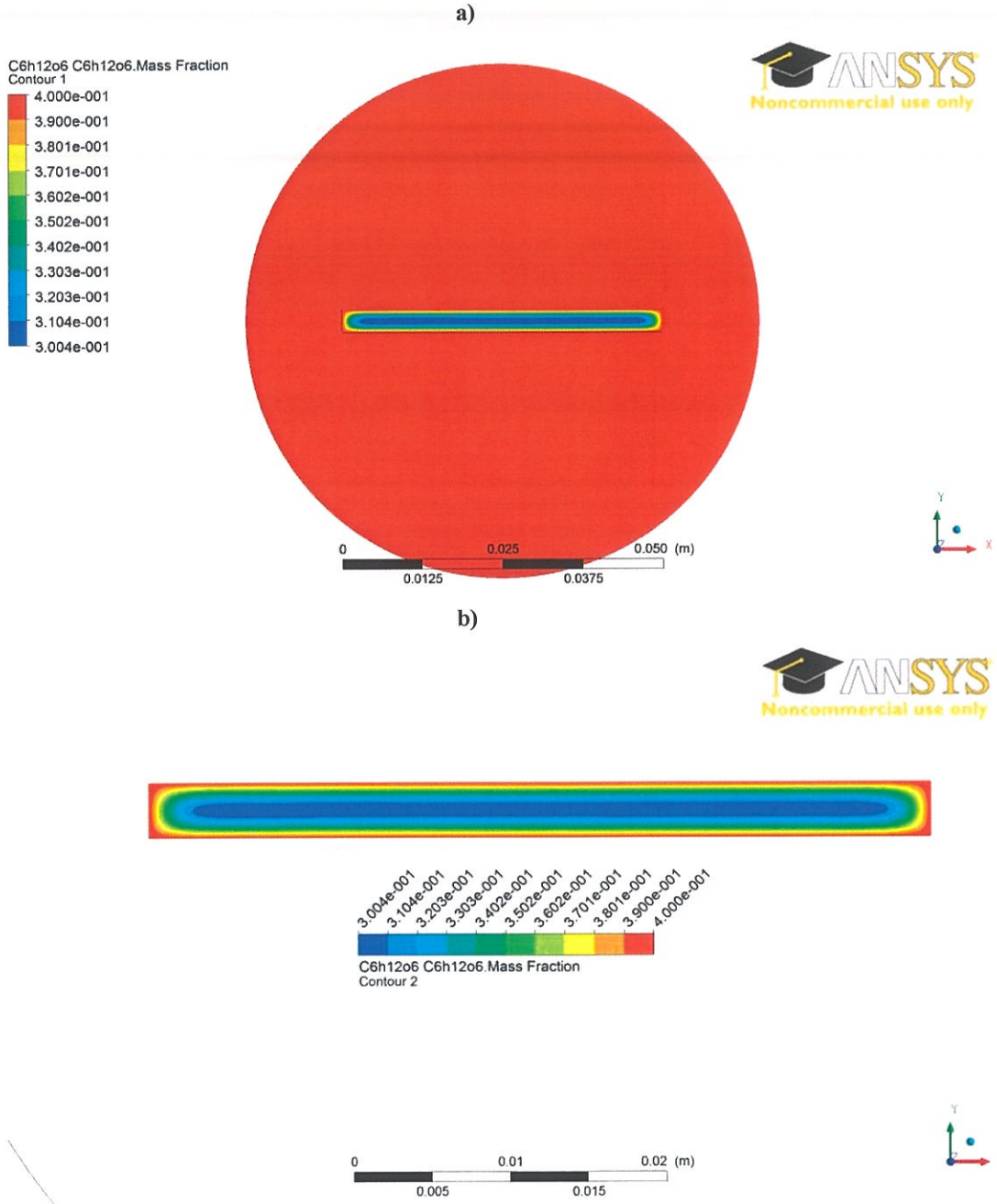
Ek-29.5 24 V/cm – 25 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği (AS öngörülleri)



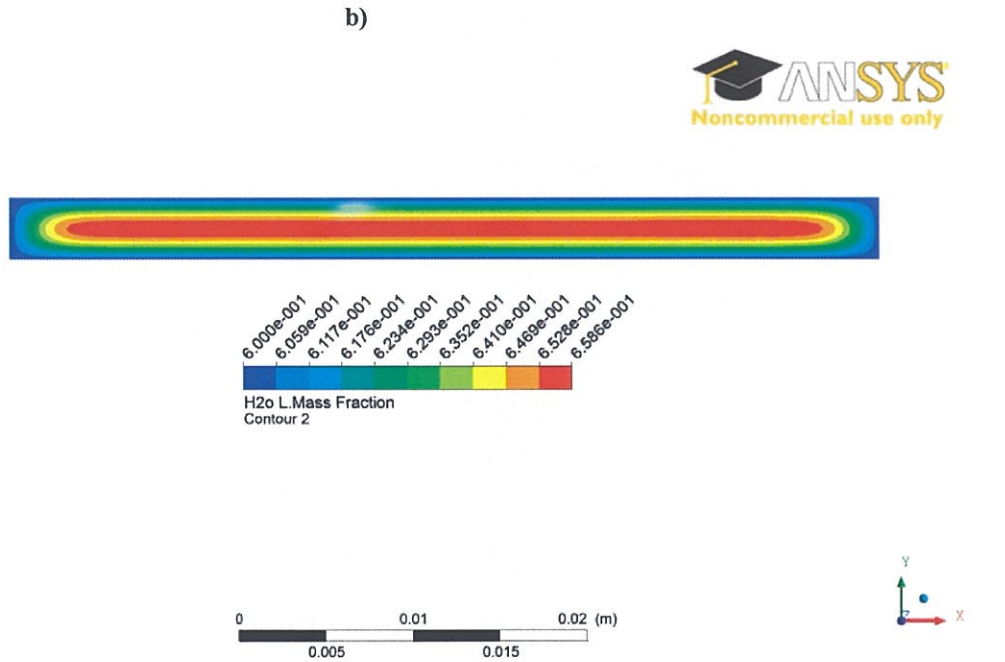
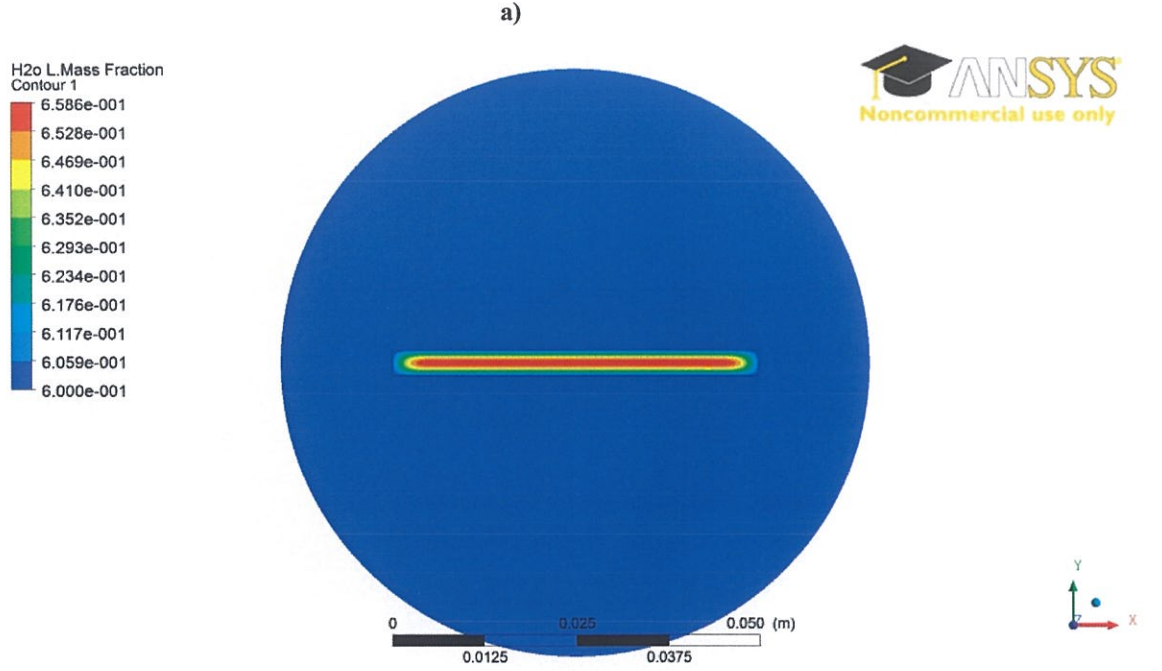
Ek-29.6 24 V/cm – 25 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği (AS öngörülleri)



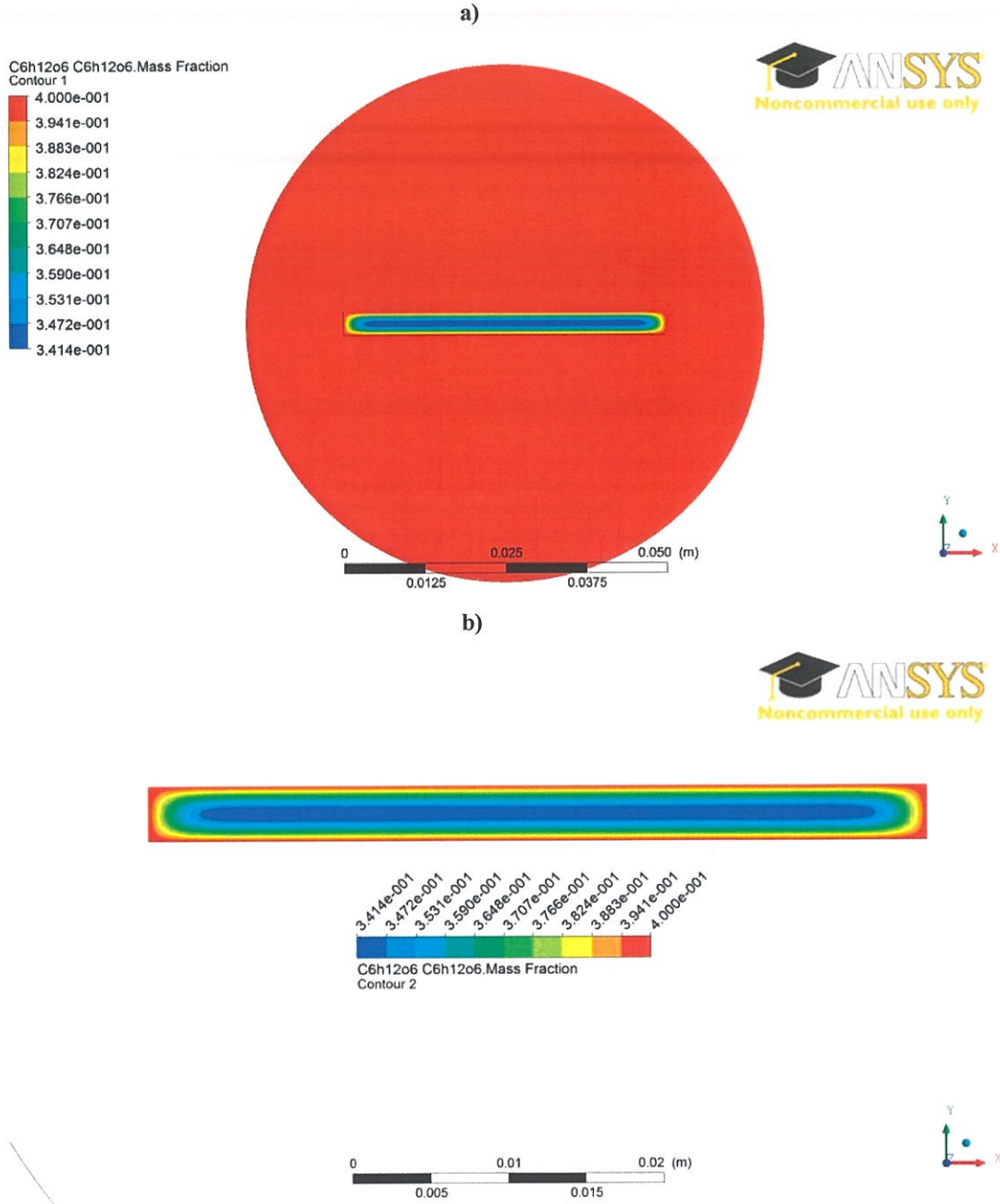
Ek-29.7 24 V/cm – 35 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği (AS öngörülleri)



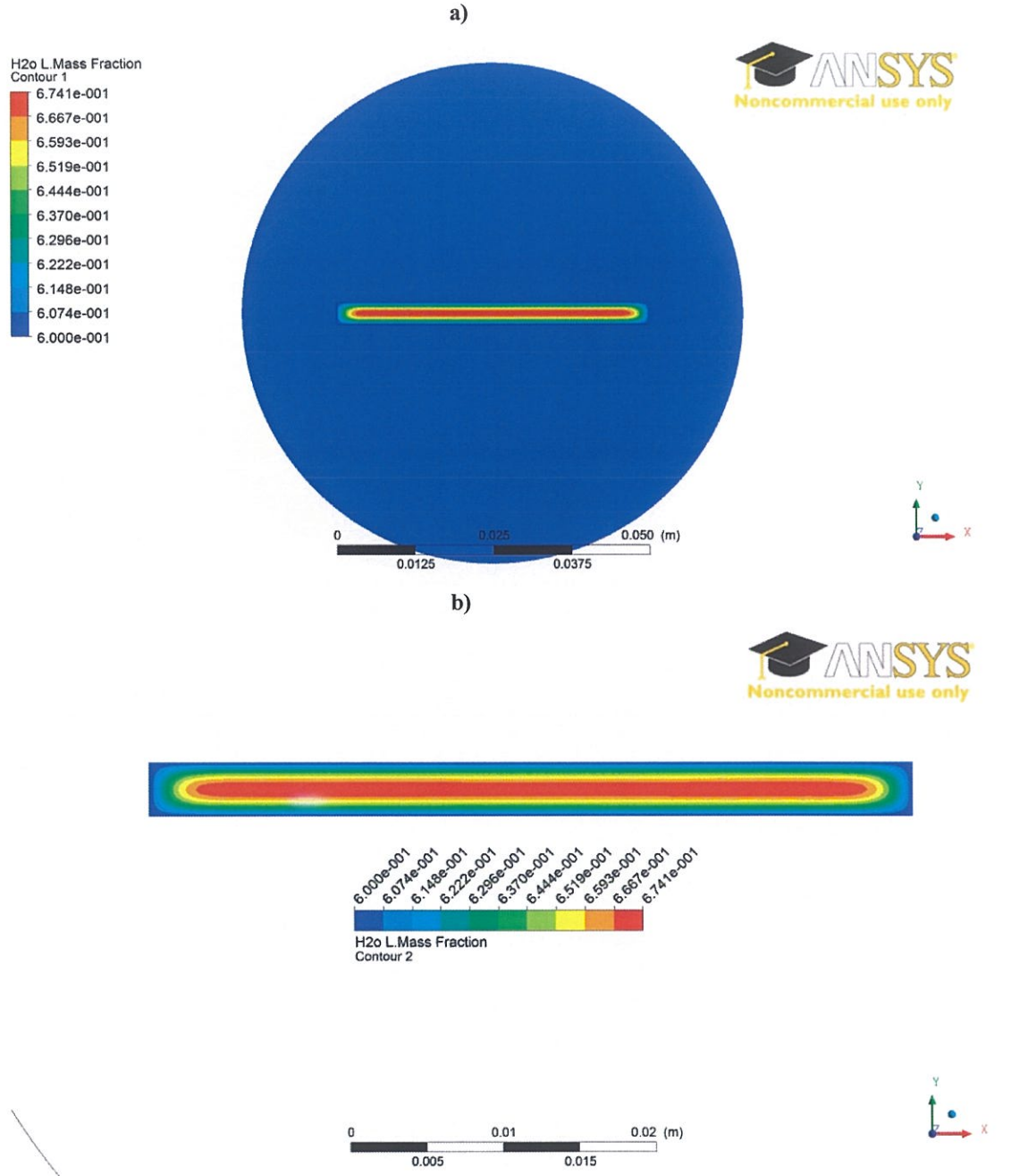
Ek-29.8 24 V/cm – 35 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği (AS öngörülleri)



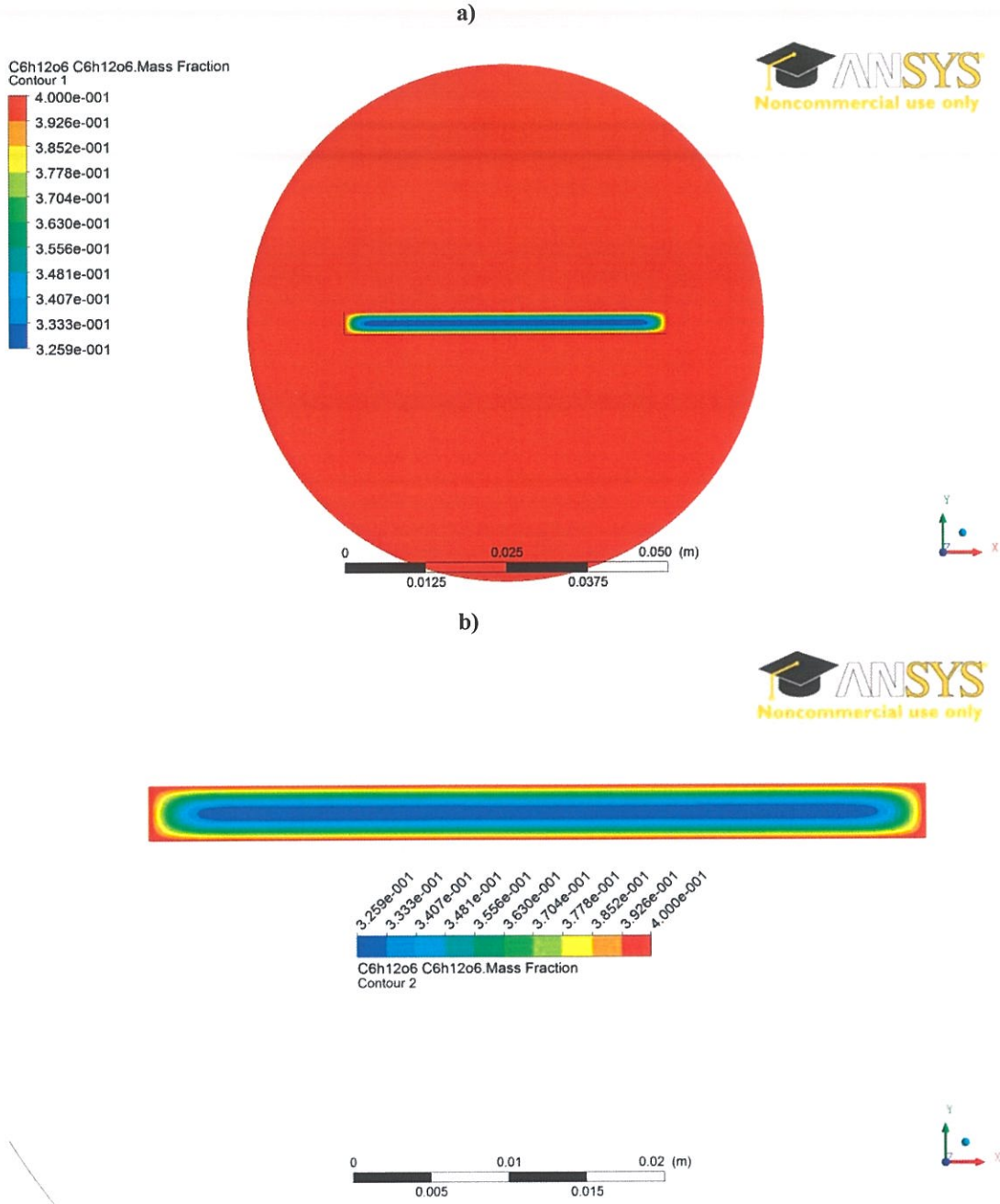
Ek-29.9 36 V/cm – 25 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği (AS öngörülleri)



Ek-29.10 36 V/cm – 25 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği (AS öngörülleri)



Ek-29.11 36 V/cm – 35 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki su içeriği (AS öngörülleri)



Ek-29.12 36 V/cm – 35 s ÇEİ uygulanmış elma dilimlerinin 160 dak sonundaki a) çözelti ile birlikte elma dilimindeki b) sadece elma dilimindeki katı madde içeriği (AS öngörülleri)

Ek-30 Temash Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Enerji Verimliliği Ve Kayıp Enerji Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Ekayip	1361173,345(a)	17	80069,020	4458330,665	,000
	Everim	21268,032(a)	17	1251,061	7151,793	,000
Intercept	Ekayip	3124451,297	1	3124451,297	173972867,129	,000
	Everim	351343,523	1	351343,523	2008484,680	,000
voltajgrad	Ekayip	995125,627	5	199025,125	11081936,767	,000
	Everim	19739,798	5	3947,960	22568,841	,000
sure	Ekayip	264608,047	2	132304,024	7366832,808	,000
	Everim	848,537	2	424,269	2425,367	,000
voltajgrad * sure	Ekayip	101439,670	10	10143,967	564827,185	,000
	Everim	679,697	10	67,970	388,554	,000
Error	Ekayip	,647	36	,018		
	Everim	6,297	36	,175		
Total	Ekayip	4485625,289	54			
	Everim	372617,852	54			
Corrected Total	Ekayip	1361173,992	53			
	Everim	21274,329	53			

a R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = 1,000)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

Ekayip

Duncan

voltajgrad	N	Subset					
	1	2	3	4	5	6	1
CEI12	9	76,8272					
TEI12	9		92,3595				
CEI24	9			200,2454			
TEI24	9				246,0960		
TEI36	9					407,7092	
CEI36	9						420,0117
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,018.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Everim

Duncan

voltagegrad	N	Subset					
	1	2	3	4	5	6	1
TEI36	9	51,1359					
TEI24	9		59,4919				
TEI12	9			80,3720			
CEI36	9				95,6682		
CEI24	9					98,0235	
CEI12	9						99,2807
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,175.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

Ekayip

Duncan

sure	N	Subset		
	1	2	3	1
15	18	153,6701		
25	18		242,8646	
35	18			325,0898
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,018.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Everim

Duncan

sure	N	Subset		
	1	2	3	1
35	18	76,1231		
25	18		80,0821	
15	18			85,7809
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,175.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Ek-31 Temaslı Ve Çözeltili İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutmada İlk 30 Dak'daki Enerji Verimliliği Ve Kayıp Enerji Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Everim	543,947(a)	18	30,219	38,550	,000
	Ekayip	7048892145,720(b)	18	391605119,207	38,566	,000
Intercept	Everim	22891,473	1	22891,473	29202,228	,000
	Ekayip	3689304567226,543	1	3689304567226,543	363325,079	,000
voltajgrad	Everim	395,447	5	79,089	100,893	,000
	Ekayip	5125502873,074	5	1025100574,615	100,953	,000
sure	Everim	2,516	2	1,258	1,605	,214
	Ekayip	32457886,825	2	16228943,412	1,598	,216
voltajgrad * sure	Everim	142,103	10	14,210	18,128	,000
	Ekayip	1840734633,393	10	184073463,339	18,128	,000
Error	Everim	29,788	38	,784		
	Ekayip	385862638,359	38	10154279,957		
Total	Everim	28700,257	57			
	Ekayip	4477252287899,838	57			
Corrected Total	Everim	573,735	56			
	Ekayip	7434754784,079	56			

a R Squared = ,948 (Adjusted R Squared = ,923)

b R Squared = ,948 (Adjusted R Squared = ,924)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

Everim

Duncan

	N	Subset				
		1	2	3	4	5
voltajgrad						
TEI36	9		18,7800			
TEI12	9			20,2189		
KG	3			21,1067	21,1067	
TEI24	9				21,4800	
CEI12	9				21,7100	
CEI24	9					24,5789
CEI36	9					
Sig.			1,000	,068	,237	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,784.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Ekayip

Duncan

voltagegrad	N	Subset				
	1	2	3	4	5	1
CEI36	9	263219,3922	271519,1422	281843,0344	284013,2833	292392,0178
CEI24	9					
CEI12	9					
TEI24	9					
KG	3			284013,2833	284013,2833	
TEI12	9				287218,0856	
TEI36	9					
Sig.		1,000	1,000	,237	,068	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 10154279,957.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

Everim

Duncan

sure	N	Subset	
	1	2	1
0	3	21,1067	
15	18		22,0417
35	18		22,2217
25	18		22,5622
Sig.		1,000	,275

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,784.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b Alpha = ,05

Ekayip

Duncan

sure	N	Subset	
	1	2	1
25	18	278780,5289	
35	18	280000,6661	
15	18	280650,8644	
0	3		284013,2833
Sig.		,276	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 10154279,957.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Ek-32 Temash Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutmada İlk 30 Dak İle 160 Dak Arasındaki Süredeki Enerji Verimliliği Ve Kayıp Enerji Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Everim	1,272(a)	18	,071	7,318	,000
	Ekayip	11365974,794(b)	18	631443,044	2,618	,006
Intercept	Everim	7189,548	1	7189,548	744692,418	,000
	Ekayip	114312433350188,100	1	114312433350188,100	473950926,057	,000
voltajgrad	Everim	,500	5	,100	10,348	,000
	Ekayip	3750865,150	5	750173,030	3,110	,019
sure	Everim	,055	2	,028	2,866	,069
	Ekayip	1865620,189	2	932810,094	3,868	,030
voltajgrad * sure	Everim	,302	10	,030	3,132	,005
	Ekayip	5665519,380	10	566551,938	2,349	,028
Error	Everim	,367	38	,010		
	Ekayip	9165236,797	38	241190,442		
Total	Everim	8683,569	57			
	Ekayip	138924412504735,200	57			
Corrected Total	Everim	1,639	56			
	Ekayip	20531211,591	56			

a R Squared = ,776 (Adjusted R Squared = ,670)

b R Squared = ,554 (Adjusted R Squared = ,342)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

Everim

Duncan

	N	Subset		
voltajgrad	1	2	3	1
TEI24	9	12,1144		
CEI36	9		12,3278	
TEI12	9		12,3433	
CEI12	9		12,3644	
TEI36	9		12,3667	
CEI24	9		12,4122	
KG	3			12,7033
Sig.		1,000	,160	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,010.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Ekayip

Duncan

voltagegrad	N	Subset	
	1	2	1
TEI12	9	1560718,2567	
TEI24	9	1560935,3344	1560935,3344
CEI36	9	1561228,0889	1561228,0889
CEI12	9	1561235,0511	1561235,0511
KG	3		1561338,6900
CEI24	9		1561409,9367
TEI36	9		1561474,1522
Sig.		,079	,078

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 241190,442.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

Everim

Duncan

sure	N	Subset	
	1	2	1
25	18	12,2833	
35	18	12,3194	
15	18	12,3617	
0	3		12,7033
Sig.		,140	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,010.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Ekayip

Duncan

sure	N	Subset
	1	1
15	18	1560927,7039
25	18	1561191,7678
0	3	1561338,6900
35	18	1561380,9383
Sig.		,099

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 241190,442.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05

Ek-33 Temash Ve Çözeltili İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutmada İlk 30 Dak İle % 30 TKM'ye Gelme Süresi Arasındaki Süredeki Enerji Verimliliği Ve Kayıp Enerji Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Everim	11441,302(a)	18	635,628	11,318	,000
	Ekeyip	1424267268996,068(b)	18	79125959388,670	23,556	,000
Intercept	Everim	86709,428	1	86709,428	1543,990	,000
	Ekeyip	6070103984940,370	1	6070103984940,370	1807,110	,000
voltajgrad	Everim	6357,220	5	1271,444	22,640	,000
	Ekeyip	635170982434,800	5	127034196486,960	37,819	,000
sure	Everim	1688,910	2	844,455	15,037	,000
	Ekeyip	142614931440,116	2	71307465720,058	21,229	,000
voltajgrad * sure	Everim	2084,756	10	208,476	3,712	,002
	Ekeyip	215550421217,140	10	21555042121,714	6,417	,000
Error	Everim	2134,054	38	56,159		
	Ekeyip	127642421704,717	38	3359011097,493		
Total	Everim	130144,377	57			
	Ekeyip	7367139786711,750	57			
Corrected Total	Everim	13575,356	56			
	Ekeyip	1551909690700,784	56			

a R Squared = ,843 (Adjusted R Squared = ,768)

b R Squared = ,918 (Adjusted R Squared = ,879)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

Everim

Duncan

	N	Subset					
		1	2	3	4	5	6
voltajgrad							
KG	3	24,8800					
TEI24	9	32,8722	32,8722				
CEI24	9		36,4822	36,4822			
TEI12	9			42,2489	42,2489		
CEI36	9				49,2822	49,2822	
TEI36	9					51,5067	
CEI12	9						65,7233
Sig.		,053	,373	,158	,087	,582	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 56,159.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b Alpha = ,05

Ekayip

Duncan

	N	Subset				
	1	2	3	4	5	1
CEI12	9	130270,0589				
TEI36	9		227257,8711			
CEI36	9		245141,8156			
TEI12	9			345983,3789		
CEI24	9			396081,3367	396081,3367	
TEI24	9				448749,6044	
KG	3					688303,0800
Sig.		1,000	,567	,114	,097	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 3359011097,493.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

Everim

Duncan

	N	Subset		
	1	2	3	1
0	3	24,8800		
15	18		41,8672	
25	18		42,9539	
35	18			54,2367
Sig.		1,000	,773	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 56,159.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b Alpha = ,05.

Ekayip

Duncan

	N	Subset		
	1	2	3	1
35	18	226331,3161		
25	18		331989,7428	
15	18		338420,9739	
0	3			688303,0800
Sig.		1,000	,826	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 3359011097,493.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Ek-34 Temaslı Elektriksel Ön İşlem Koşullarının ÖNUO Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ÖNUO

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	725,221 ^a	9	80,580	11,649	,000
Intercept	3080,940	1	3080,940	445,406	,000
voltajgrad	238,361	2	119,180	17,230	,000
sure	357,131	2	178,566	25,815	,000
voltajgrad * sure	6,264	4	1,566	,226	,920
Error	138,343	20	6,917		
Total	4805,346	30			
Corrected Total	863,564	29			

a. R Squared = ,840 (Adjusted R Squared = ,768)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

ÖNUO

Duncan

voltajgrad	N	Subset		
		1	2	3
0	3	5,3767		
12	9		9,5278	
24	9		10,5933	
36	9			16,2956
Sig.		1,000	,491	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 6,917.

sure

Homogeneous Subsets

ÖNUO

Duncan

sure	N	Subset		
		1	2	3
0	3	5,3767		
15	9		9,3433	
25	9		9,7978	
35	9			17,2756
Sig.		1,000	,768	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 6,917.

**Ek-35 Çözelti içinde elektriksel ön işlem koşullarının ÖNUO değerlerine etkisinin
istatistiksel analiz sonuçları**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ÖNUO

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1271,736 ^a	9	141,304	12,477	,000
Intercept	4654,749	1	4654,749	411,020	,000
voltajgrad	830,028	2	415,014	36,646	,000
sure	24,416	2	12,208	1,078	,359
voltajgrad * sure	154,621	4	38,655	3,413	,028
Error	226,497	20	11,325		
Total	7593,244	30			
Corrected Total	1498,233	29			

a. R Squared = ,849 (Adjusted R Squared = ,781)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

ÖNUO

Duncan

voltajgrad	N	Subset		
		1	2	3
0	3	5,3767		
24	9	8,7256		
36	9		14,7178	
12	9			22,2767
Sig.		,100	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 11,325.

sure

Homogeneous Subsets

ÖNUO

Duncan

sure	N	Subset	
		1	2
0	3	5,3767	
15	9		14,0622
25	9		15,2667
35	9		16,3911
Sig.		1,000	,270

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 11,325.

**Ek-36 Temash Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Özgül Kurutma Süresi Değişimi
Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: OZKS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5,047E-5 ^a	8	6,309E-6	4,032	,007
Intercept	39,379	1	39,379	2,517E7	,000
voltajgrad	2,955E-5	2	1,477E-5	9,442	,002
sure	1,021E-5	2	5,103E-6	3,261	,062
voltajgrad * sure	1,071E-5	4	2,678E-6	1,712	,191
Error	2,817E-5	18	1,565E-6		
Total	39,379	27			
Corrected Total	7,863E-5	26			

a. R Squared = ,642 (Adjusted R Squared = ,483)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

OZKS

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
		1	2
12	9	1,20628011E0	
36	9		1,20796500E0
24	9		1,20879456E0
Sig.		1,000	,177

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1,56E-006.

sure

Homogeneous Subsets

OZKS

Duncan

sure	N	Subset	
		1	2
15	9	1,20686844E0	
25	9	1,20781511E0	1,20781511E0
35	9		1,20835611E0
Sig.		,126	,371

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1,56E-006.

Ek-37 Çözültü İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Özgül Kurutma Süresi Değişimi
Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: OZKS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6,748E-5 ^a	8	8,435E-6	16,180	,000
Intercept	39,396	1	39,396	7,557E7	,000
voltajgrad	5,552E-5	2	2,776E-5	53,249	,000
sure	7,993E-6	2	3,997E-6	7,666	,004
voltajgrad * sure	3,969E-6	4	9,923E-7	1,903	,154
Error	9,384E-6	18	5,213E-7		
Total	39,396	27			
Corrected Total	7,686E-5	26			

a. R Squared = ,878 (Adjusted R Squared = ,824)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

OZKS

Duncan

voltajgrad	N	Subset	
		1	2
12	9	1,20593944E0	
24	9		1,20859011E0
36	9		1,20926067E0
Sig.		1,000	,064

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 5,21E-007.

sure

Homogeneous Subsets

OZKS

Duncan

sure	N	Subset	
		1	2
15	9	1,20730867E0	
25	9	1,20784778E0	
35	9		1,20863378E0
Sig.		,131	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 5,21E-007.

Ek-38 Temaslı Ve Çözümlü İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının TEİ Ve ÇEİ'de Ekserji Verimliliği, Kayıp Ekserji Miktarı Ve IP Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	exkayip	85135,274(a)	17	5007,957	3701354,701	,000
	IP	1279075,738(b)	17	75239,749	1519,468	,000
	exverim	47505,634(a)	17	2794,449	17309,735	,000
Intercept	exkayip	135667,940	1	135667,940	100271455,442	,000
	IP	2353795,975	1	2353795,975	47534,955	,000
	exverim	188655,159	1	188655,159	1168591,998	,000
voltajgrad	exkayip	59994,399	5	11998,880	8868308,433	,000
	IP	937217,254	5	187443,451	3785,424	,000
	exverim	45102,523	5	9020,505	55875,968	,000
sure	exkayip	13396,308	2	6698,154	4950570,027	,000
	IP	261359,828	2	130679,914	2639,083	,000
	exverim	1472,968	2	736,484	4562,023	,000
voltajgrad * sure	exkayip	11744,568	10	1174,457	868034,769	,000
	IP	80498,657	10	8049,866	162,567	,000
	exverim	930,143	10	93,014	576,161	,000
Error	exkayip	,049	36	,001		
	IP	1782,618	36	49,517		
	exverim	5,812	36	,161		
Total	exkayip	220803,263	54			
	IP	3634654,331	54			
	exverim	236166,605	54			
Corrected Total	exkayip	85135,323	53			
	IP	1280858,356	53			
	exverim	47511,446	53			

a R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = 1,000)

b R Squared = ,999 (Adjusted R Squared = ,998)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

exkayip

Duncan

	N	Subset					
voltajgrad	1	2	3	4	5	6	1
CEI12	9	18,3758					
TEI12	9		23,1452				
CEI24	9			36,6244			
CEI36	9				48,0289		
TEI24	9					55,8036	
TEI36	9						118,7633
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

IP

Duncan

voltagegrad	N		Subset				
	1	2	3	4	5	6	1
TEI12	9	49,4003	67,0753	191,5410	200,4092	322,5138	421,7366
CEI12	9						
TEI24	9						
CEI24	9						
TEI36	9		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
CEI36	9						
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 49,517.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

exverim

Duncan

voltagegrad	N		Subset				
	1	2	3	4	5	6	1
TEI36	9	22,6450	24,7194	50,1188	72,9121	87,2262	97,0194
TEI24	9						
TEI12	9						
CEI36	9						
CEI24	9		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
CEI12	9						
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,161.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

exkayip

Duncan

sure	N		Subset	
	1	2	3	1
15	18	32,2076	47,6192	70,5438
25	18			
35	18			
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

IP

Duncan

sure	N	Subset		
	1	2	3	1
15	18	121,9486		
25	18		212,1283	
35	18			292,2611
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 49,517.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

exverim

Duncan

sure	N	Subset		
	1	2	3	1
35	18	54,1067		
25	18		56,8989	
15	18			66,3148
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,161.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Ek-39 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutmada İlk 30 Dak İçin Ekserji Verimliliği, Kayıp Ekserji Miktarı Ve IP Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	kayıpekserji	22749258363,645(a)	18	1263847686,869	37,441	,000
	IP	5877449025,990(b)	18	326524945,888	37,983	,000
	ekserjiverim	45,682(c)	18	2,538	24,533	,000
Intercept	kayıpekserji	178327840045,208	1	178327840045,208	5282,855	,000
	IP	1990169207490,198	1	1990169207490,198	231503,625	,000
	ekserjiverim	34789,615	1	34789,615	336302,560	,000
voltajgrad	kayıpekserji	16583916761,047	5	3316783352,209	98,258	,000
	IP	4303782563,520	5	860756512,704	100,126	,000
	ekserjiverim	33,201	5	6,640	64,189	,000
sure	kayıpekserji	169478781,616	2	84739390,808	2,510	,095
	IP	14835024,202	2	7417512,101	,863	,430
	ekserjiverim	,022	2	,011	,105	,900
voltajgrad * sure	kayıpekserji	5985499102,173	10	598549910,217	17,732	,000
	IP	1553802180,297	10	155380218,030	18,074	,000
	ekserjiverim	11,806	10	1,181	11,413	,000
Error	kayıpekserji	1282726521,527	38	33755961,093		
	IP	326674927,677	38	8596708,623		
	ekserjiverim	3,931	38	,103		
Total	kayıpekserji	239370842141,375	57			
	IP	2421684696398,052	57			
	ekserjiverim	42176,441	57			
Corrected Total	kayıpekserji	24031984885,172	56			
	IP	6204123953,667	56			
	ekserjiverim	49,613	56			

a R Squared = ,947 (Adjusted R Squared = ,921)

b R Squared = ,947 (Adjusted R Squared = ,922)

c R Squared = ,921 (Adjusted R Squared = ,883)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

kayıpekserji

Duncan

	N	Subset				
	1	2	3	4	5	1
CEI36	9	30743,7422	47696,2200	63273,4933	74020,4967	84065,5556
CEI24	9					
KG	3					
TEI24	9					
CEI12	9			67019,0667	74020,4967	84065,5556
TEI12	9					
TEI36	9					
Sig.		1,000	1,000	,263	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 33755961,093.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

IP

Duncan

voltagegrad	N	Subset				
	1	2	3	4	5	1
CEI36	9	190395,5956	197808,8856			216590,1522
CEI24	9					
KG	3			207116,6200		
CEI12	9			208168,8267		
TEI24	9			209564,5656	209564,5656	
TEI12	9			212190,2200		
TEI36	9					
Sig.		1,000	1,000	,148	,102	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 8596708,623.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05

ekserjiverim

Duncan

voltagegrad	N	Subset			
	1	2	3	4	1
TEI36	9	26,4222	26,9800		28,4767
TEI24	9	26,5256			
TEI12	9	26,5911			
CEI12	9				
KG	3			27,6400	
CEI24	9			27,9678	
CEI36	9				
Sig.		,362	1,000	,064	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,103.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

kayıpskerji

Duncan

	N	Subset
sure	1	1
25	18	58957,0600
35	18	61964,8172
15	18	63169,8644
0	3	63273,4933
Sig.		,184

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 33755961,093.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

IP

Duncan

	N	Subset
sure	1	1
25	18	205090,3056
35	18	205913,7272
15	18	206355,0900
0	3	207116,6200
Sig.		,216

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 8596708,623.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

ekserjiverim

Duncan

	N	Subset	
sure	1	2	1
15	18	27,1333	
35	18	27,1672	
25	18	27,1811	
0	3		27,6400
Sig.		,782	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,103.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

**Ek-40 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutmada İlk
30 Dak İle 160 Dak Arası İçin Ekserji Verimliliği, Kayıp Ekserji Miktarı Ve IP Değerlerine
Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları**

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	kayıpekserji	390567819934,148(a)	18	21698212218,564	35,294	,000
	IP	91520031,357(b)	18	5084446,187	8,375	,000
	ekserjiverim	,404(c)	18	,022	8,222	,000
Intercept	kayıpekserji	2524405468077,683	1	2524405468077,683	4106,107	,000
	IP	100665020490097,400	1	100665020490097,400	165808498,432	,000
	ekserjiverim	1820,842	1	1820,842	667017,831	,000
voltajgrad	kayıpekserji	239842847344,688	5	47968569468,938	78,024	,000
	IP	35584334,469	5	7116866,894	11,722	,000
	ekserjiverim	,169	5	,034	12,378	,000
sure	kayıpekserji	6893498643,595	2	3446749321,797	5,606	,007
	IP	2767671,422	2	1383835,711	2,279	,116
	ekserjiverim	,011	2	,005	1,983	,152
voltajgrad * sure	kayıpekserji	140373358899,734	10	14037335889,973	22,833	,000
	IP	17570990,234	10	1757099,023	2,894	,009
	ekserjiverim	,076	10	,008	2,795	,011
Error	kayıpekserji	23362132231,560	38	614792953,462		
	IP	23070414,453	38	607116,170		
	ekserjiverim	,104	38	,003		
Total	kayıpekserji	3578259514266,150	57			
	IP	122402792120872,400	57			
	ekserjiverim	2196,675	57			
Corrected Total	kayıpekserji	413929952165,708	56			
	IP	114590445,810	56			
	ekserjiverim	,508	56			

a R Squared = ,944 (Adjusted R Squared = ,917)

b R Squared = ,799 (Adjusted R Squared = ,703)

c R Squared = ,796 (Adjusted R Squared = ,699)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

kayıpekserji

Duncan

voltajgrad	N		Subset		
	1	2	3	4	1
TEI24	9	178513,3833			
CEI36	9	181741,3156			
TEI12	9	200917,9078	200917,9078		
KG	3	202569,2933	202569,2933		
TEI36	9		224503,0911		
CEI24	9			269015,7244	
CEI12	9				370015,5000
Sig.		,105	,100	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 614792953,462.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

IP

Duncan

voltajgrad	N	Subset			
	1	2	3	4	1
KG	3	1462053,4367			
TEI36	9		1464615,1100		
CEI24	9		1465050,9622	1465050,9622	
CEI12	9		1465391,7856	1465391,7856	
TEI12	9			1465581,9567	
CEI36	9			1465693,2856	
TEI24	9				1467221,8267
Sig.		1,000	,085	,168	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 607116,170.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b Alpha = ,05.

ekserjiverim

Duncan

voltajgrad	N	Subset			
	1	2	3	4	1
TEI24	9	6,0800			
TEI12	9		6,1822		
CEI12	9		6,2033	6,2033	
CEI36	9		6,2178	6,2178	
TEI36	9		6,2411	6,2411	
CEI24	9			6,2467	
KG	3				6,4233
Sig.		1,000	,060	,165	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,003.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

kayipekserji

Duncan

sure	N	Subset	
	1	2	1
0	3	202569,2933	
25	18	221502,2233	221502,2233
35	18		244583,1294
15	18		246268,1083
Sig.		,135	,065

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 614792953,462.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.
b Alpha = ,05.

IP

Duncan

sure	N	Subset	
	1	2	1
0	3	1462053,4367	
15	18		1465354,1006
35	18		1465526,5911
25	18		1465896,7717
Sig.		1,000	,197

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 607116,170.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b Alpha = ,05

ekserjiverim

Duncan

sure	N	Subset	
	1	2	1
25	18	6,1761	
35	18	6,1994	
15	18	6,2100	
0	3		6,4233
Sig.		,229	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,003.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

Ek-41 Temaslı Ve Çözelti İçinde Elektriksel Ön İşlem Koşullarının Ozmotik Kurutmada İlk 30 Dak İle % 30 TKM'ye Gelme Süresi Arası İçin Ekserji Verimliliği, Kayıp Ekserji Miktarı Ve IP Değerlerine Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	kayıpekserji	533481014944,853(a)	18	29637834163,603	18,811	,000
	IP	1234113129505,202(b)	18	68561840528,067	35,501	,000
	ekserjiverim	9703,073(c)	18	539,060	7,900	,000
Intercept	kayıpekserji	1993674829032,485	1	1993674829032,485	1265,368	,000
	IP	3175021812677,635	1	3175021812677,635	1644,002	,000
	ekserjiverim	35513,186	1	35513,186	520,472	,000
voltajgrad	kayıpekserji	315957791714,747	5	63191558342,949	40,107	,000
	IP	533274506987,814	5	106654901397,563	55,225	,000
	ekserjiverim	5410,599	5	1082,120	15,859	,000
sure	kayıpekserji	43192584599,538	2	21596292299,769	13,707	,000
	IP	101341192814,809	2	50670596407,404	26,237	,000
	ekserjiverim	1579,310	2	789,655	11,573	,000
voltajgrad * sure	kayıpekserji	98329606681,031	10	9832960668,103	6,241	,000
	IP	145653560990,649	10	14565356099,065	7,542	,000
	ekserjiverim	1921,285	10	192,128	2,816	,010
Error	kayıpekserji	59871641563,678	38	1575569514,834		
	IP	73388505942,086	38	1931276472,160		
	ekserjiverim	2592,842	38	68,233		
Total	kayıpekserji	2634433154552,490	57			
	IP	4035764764744,549	57			
	ekserjiverim	61052,447	57			
Corrected Total	kayıpekserji	593352656508,531	56			
	IP	1307501635447,288	56			
	ekserjiverim	12295,914	56			

a R Squared = ,899 (Adjusted R Squared = ,851)

b R Squared = ,944 (Adjusted R Squared = ,917)

c R Squared = ,789 (Adjusted R Squared = ,689)

Post Hoc Tests

voltajgrad

Homogeneous Subsets

kayıpserji

Duncan

Bund					
voltage	N		Subset		
	1	2	3	4	1
CEI12	9	79481,4133			
TEI36	9	113628,9356			
TEI12	9		172991,6900		
CEI36	9		176989,5311		
TEI24	9			224374,8033	
CEI24	9				316280,4244
KG	3				344151,5400
Sig.		,116	,852	1,000	,197

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1575569514,834.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

IP

Duncan

voltage	N		Subset				
	1	2	3	4	5	6	1
CEI12	9	65135,0278					
CEI36	9		122570,9078				
TEI36	9		160398,6844	160398,6844			
CEI24	9			198040,6689			
TEI12	9				271969,7333		
TEI24	9					368367,4733	
KG	3						597354,1467
Sig.		1,000	,116	,117	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1931276472,160.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

ekserjiverim

Duncan

Duncan					
voltagegrad	N	Subset			
	1	2	3	4	1
KG	3	13,4333			
TEI24	9	18,6433	18,6433		
CEI24	9	21,2033	21,2033		
TEI12	9		26,1656	26,1656	
CEI36	9			31,7067	
TEI36	9			34,0322	
CEI12	9				49,0011
Sig.		,104	,115	,100	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 68,233.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 7,000.

b Alpha = ,05.

sure

Homogeneous Subsets

kayıpkserji

Duncan

sure	N	Subset		
	1	2	3	1
35	18	140752,1572		
25	18		197832,3900	
15	18		203288,8517	
0	3			344151,5400
Sig.		1,000	,785	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1575569514,834.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

IP

Duncan

sure	N	Subset		
	1	2	3	1
35	18	136505,4094		
25	18		226909,7572	
15	18		229826,0811	
0	3			597354,1467
Sig.		1,000	,895	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1931276472,160.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c Alpha = ,05.

ekserjiverim

Duncan

sure	N	Subset		
	1	2	3	1
0	3	13,4333		
15	18		25,8783	
25	18		26,7406	
35	18			37,7572
Sig.		1,000	,836	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 68,233.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b Alpha = ,05.