T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KURUTULMUŞ DOLMALIK BİBER VE PATLICANIN REHİDRASYON KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

ZEYNEP KERVANCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. İBRAHİM DOYMAZ

İSTANBUL, 2015

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KURUTULMUŞ DOLMALIK BİBER VE PATLICANIN REHİDRASYON KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Zeynep KERVANCI tarafından hazırlanan tez çalışması 14 / 01 / 2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAŞLAR

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Gıdaların rehidrasyonu, kurutulmuş gıdaların kalite özelliklerinin belirlenmesinde oldukça önemli bir prosestir. Rehidrasyon prosesinin modellenmesi, mühendislerin en uygun çalışma koşullarını belirleyebilmelerine olanak sağlar. Böylelikle ideal ürünü elde edebilmek için gereken sıcaklık, zaman ve derişim vb. nitelikler tespit edilmiş olur. Bu çalışmada, kurutulmuş dolmalık biber ve dolmalık patlıcanın farklı sıcaklıklarda ön işlemli ve ön işlemsiz rehidrasyonları incelenmiş ve prosesin modellemesi gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her konuda yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan değerli hocam Sayın Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitim sürecim ve deneysel çalışmalarım boyunca desteğiyle yanımda olan sevgili meslektaşım ve değerli dostum Medine GENÇ ŞAHİN'e çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca benden sevgisini ve desteğini esirgemeyen ve her daim yanımda olan babam Yalçın KERVANCI'ya, annem İlmiye KERVANCI'ya, kardeşim Maral KERVANCI'ya, amcam Yavuz KERVANCI ve değerli eşi Nuran KERVANCI'ya; ayrıca her konuda desteğini gördüğüm meslektaşım ve çok değerli dostum Hande Neriman YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Ocak, 2015

Zeynep KERVANCI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

BÖLÜM 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 1
1.3 Orjinal katkı 2

BÖLÜM 2

BİBER ve PATLICAN HAKKINDA 3

2.1 Biber 3
2.1.1 Biber bitkisinin yetiştirilmesi 5
2.1.1.1 İklim isteği 5
2.1.1.2 Toprak isteği 5
2.1.1.3 Su isteği 6
2.1.1.4 Fide yetiştirme 6
2.1.2 Biberin insan sağlığına yararları 7
2.1.3 Türkiye ve dünyada biber üretimi 8
2.2 Patlıcan 10
2.2.1 Patlıcan bitkisinin yetiştirilmesi 11
2.2.1.1 İklim istekleri 11
2.2.1.2 Toprak istekleri 12
2.2.1.3 Su istekleri 12
2.2.1.4 Fide yetiştirme 12

2.2.2 Patlıcanın insan sağlığına yararları 13
2.2.3 Türkiye ve dünyada patlıcan üretimi 14

BÖLÜM 3

GIDALARDA KURUTMA 15

3.1 Gıdaların Kurutulmasında Kullanılan Çeşitli Teknikler 16
3.1.1 Güneşte ve açık havada kurutma 16
3.1.2 Yapay kurutma 17
3.2 Gıdaları Kurutarak Muhafaza Etmenin Avantaj ve Dezavantajları 19
3.3 Sebze ve Meyvelerin Kurutulmasına Örnekler 21
3.3.1 Sebzelerin kurutulması 21
3.3.2 Meyvelerin kurutulması 22

BÖLÜM 4

REHİDRASYON 24

4.1 Kurutma Şartlarının Rehidrasyon Üzerine Etkisi 25
4.2 Rehidrasyon Şartları ve Proses Kinetiğine Etkileri 25
4.3 Rehidrasyon Ölçümleri ve Matematiksel Modellemesi 26
4.3.1 Rehidrasyon terimleri 26
4.3.2 Matematiksel modelleme 26
4.3.2.1 Difüzyon model 27
4.3.2.2 Ampirik ve yarı-ampirik model 27
4.4 Rehidrasyon ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar 28

BÖLÜM 5

MATERYAL ve YÖNTEM 38

5.1 Yöntemler 38
5.1.1 Rehidrasyon sistemi 38
5.1.2 Nem tayini 39
5.1.3 Rehidrasyon denemeleri 39
5.1.3.1 Kurutulmuş dolmalık biber ve patlıcanın rehidrasyonu 39
5.1.3.2 Matematiksel modelleme 41
5.1.3.3 Regresyon analizi 42

BÖLÜM 6

BULGULAR ve TARTIŞMA 43

6.1 Dolmalık Biberin Rehidrasyonu 43
6.1.1 Ön işlemin rehidrasyon oranına etkisi 43
6.1.2 Sıcaklığın rehidrasyon oranına etkisi 48
6.1.3 Rehidrasyon eğrilerinin matematiksel modellenmesi 53
6.2 Dolmalık Patlıcanın Rehidrasyonu 60
6.2.1 Ön işlemin rehidrasyon oranına etkisi 60
6.2.2 Sıcaklığın rehidrasyon oranına etkisi 65
6.2.3 Rehidrasyon eğrilerinin matematiksel modellenmesi 68

BÖLÜM 7

SONUÇ ve ÖNERİLER 76
KAYNAKLAR 78
ÖZGEÇMİŞ 83

SİMGE LİSTESİ

a_w	Su aktivitesi
D_{eff}	Suyun etkin difüzyon katsayısı
J_x	Akış
k_1	Peleg denkliği hız sabiti
k_2	Peleg denkliği kapasite sabiti
k_r	Rehidrasyon oranı
L	Dilim kalınlığı
M_t	t zamanındaki nem içeriği
M_o	Başlangıçtaki nem içeriği
M_e	Denge anındaki nem içeriği
M_s	Yüzeydeki nem içeriği
N	Ölçüm sayısı
n_1, n_2	Çözünenin ve çözücünün mol sayısı
P, P_0	Çözeltinin ve çözücünün buhar basıncı
P_1, P_2	Eksponensiyel model denklem sabitleri
P_3	Başlangıçtaki sorpsiyon oranıyla ilişkili Peleg denklem sabiti
P_4	Denge nem içeriğiyle alakalı Peleg denklem sabiti
P_5	Rehidrasyon oranını belirten First-order kinetik model denklem sabiti
R^2	Regrasyon katsayısı
R_g	Geometrik faktör
S	Yüzey alanı
t	Zaman
V	Hacim
W_t	t zamanındaki nem içeriği
W_o	Başlangıçtaki nem içeriği
W_∞	t_∞ zamanındaki nem içeriği
x	Uzaysal koordinat
x_0	Başlangıçtaki nem içeriği
x_t	t zamanındaki nem içeriği
x_e	Denge anındaki nem içeriği
χ^2	khi-kare
z	Denklem sabiti sayısı
α	Başlangıçtaki su absorbsiyon hızıyla ilişkili şekil parametresi
β	Şekil parametresi

KISALTMA LİSTESİ

cm	Santimetre
°C	Santigrat derece
dak	Dakika
DHC	Kuru Madde Tutma Kapasitesi
g	Gram
IU	İnternasyonel Birim
kg	Kilogram
m	Metre
mg	Miligram
RA	Rehidrasyon Kabiliyeti
RMSE	Tahmini Standart Hatası
RR	Rehidrasyon Oranı
s	Saniye
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
WAC	Su Absorbsiyon Kapasitesi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Biber bitkilerine örnekler....4
Şekil 2.2 Türkiye'de yetiştirilen biber çeşitleri....5
Şekil 2.3 Biber fidesi....6
Şekil 2.4 Patlıcan bitkisi....10
Şekil 2.5 Patlıcan bitkisi yaprakları....11
Şekil 2.6 Patlıcan fidesi....12
Şekil 3.1 Güneşte kurutma yöntemi....16
Şekil 3.2 Kombine kurutucu....17
Şekil 3.3 Yapay kurutucu tipleri....19
Şekil 3.4 Sebze kurutma aşamalarına örnekler....21
Şekil 3.5 Sebze kurutma üretim akış şeması....22
Şekil 3.6 Meyve kurutma üretim akış şeması....22
Şekil 5.1 Dolmalık biber ve patlıcanın rehidrasyonunda kullanılan etüvün görünüşü....38
Şekil 5.2 Mettler marka terazinin genel görünüşü....39
Şekil 5.3 Precisa marka terazinin genel görünüşü....40
Şekil 5.4 Kurutulmuş dolmalık biber ve patlıcanların rehidrasyon öncesi ve sonrası görünümleri....40
Şekil 6.1 Dolmalık biberin ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 25°C'de rehidrasyon eğrileri....44
Şekil 6.2 Dolmalık biberin ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 45°C'de rehidrasyon eğrileri....45
Şekil 6.3 Dolmalık biberin ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 65°C'de rehidrasyon eğrileri....46
Şekil 6.4 Dolmalık biberin ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 85°C'de rehidrasyon eğrileri....47
Şekil 6.5 Dolmalık biberin farklı sıcaklıklarda ön işlemsiz rehidrasyon eğrileri....49
Şekil 6.6 Dolmalık biberin farklı sıcaklıklarda ön işlemli (%1 NaCl) rehidrasyon eğrileri....50
Şekil 6.7 Dolmalık biberin farklı sıcaklıklarda ön işlemli (%1 şeker) rehidrasyon eğrileri....51
Şekil 6.8 Dolmalık biberin 25°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları....56
Şekil 6.9 Dolmalık biberin 45°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları....57
Şekil 6.10 Dolmalık biberin 65°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları....58
Şekil 6.11 Dolmalık biberin 85°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları....59

Şekil 6.12 Dolmalık patlıcanın ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 25°C'de rehidrasyon eğrileri..... 61
Şekil 6.13 Dolmalık patlıcanın ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 45°C'de rehidrasyon eğrileri..... 62
Şekil 6.14 Dolmalık patlıcanın ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 65°C'de rehidrasyon eğrileri..... 63
Şekil 6.15 Dolmalık patlıcanın ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 85°C'de rehidrasyon eğrileri.....64
Şekil 6.16 Dolmalık patlıcanın farklı sıcaklıklarda ön işlemsiz rehidrasyon eğrileri.....65
Şekil 6.17 Dolmalık patlıcanın farklı sıcaklıklarda ön işlemli (%1 NaCl) rehidrasyon eğrileri..... 66
Şekil 6.18 Dolmalık patlıcanın farklı sıcaklıklarda ön işlemli (%1 şeker) rehidrasyon eğrileri..... 67
Şekil 6.19 Dolmalık patlıcanın 25°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları 72
Şekil 6.20 Dolmalık patlıcanın 45°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları 73
Şekil 6.21 Dolmalık patlıcanın 65°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları 74
Şekil 6.22 Dolmalık patlıcanın 85°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları 75

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Biberin besin değerleri 7
Çizelge 2.2 Dünya yaş sebze üretiminde ilk 10 ürün 8
Çizelge 2.3 Yaş sebze üreticisi ülkeler 9
Çizelge 2.4 Patlıcanın besin değerleri 13
Çizelge 3.1 Kurutmanın avantaj ve dezavantajları 20
Çizelge 3.2 Kükürtleme işleminin avantaj ve dezavantajları.....23
Çizelge 4.1 Yaygın olarak kullanılan ampirik modeller 28
Çizelge 6.1 Biber için hesaplanan R^2, χ^2 ve RMSE değerleri 54
Çizelge 6.2 Biber için hesaplanan R^2, χ^2 ve RMSE değerleri 55
Çizelge 6.3 Patlıcan için hesaplanan R^2, χ^2 ve RMSE değerleri 70
Çizelge 6.4 Patlıcan için hesaplanan R^2, χ^2 ve RMSE değerleri 71

ÖZET

KURUTULMUŞ DOLMALIK BİBER ve PATLICANIN REHİDRASYON KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Zeynep KERVANCI

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ

Kurutma, gıda endüstrisi için oldukça önemli bir muhafaza yöntemidir. Kurutulmuş ürünler, yemeğe hazır gıdalar olarak da ifade edilmektedir ve taze gıdalara göre taşıma, depolama, hazırlama ve kullanım aşamalarında birçok avantaja sahiptirler. Bazı kuru ürünler, tüketim öncesinde rehidrasyona ihtiyaç duyar. Böylelikle kuru ürünün tekrar su alma kabiliyeti gözlemlenerek, kurutmanın kalitesi üzerinde de yorum yapılabilir. Rehidrasyonla su almış ürünün kalite özellikleri, kurutma koşullarından ve yararlanılan rehidrasyon prosesinden etkilenir. Kurutma prosesi boyunca dokusal ve yapısal değişiklikler, çözünür madde göçü, uçucu madde kaybı gibi nitelikleri içeren fizikokimyasal değişiklikler tersinmez bir oluşumla meydana gelerek elde edilen ürünün kalitesi üzerinde belirleyici rol oynar. Kurutma ve rehidrasyon şartları, en uygun rehidrasyon özelliklerini elde edebilmek için optimize edilmeye ihtiyaç duyar. Rehidrasyon oranı, kuru ürünün önemli bir kalite parametresidir. Bunun için gıdalar, daha az hasara maruz kalmaları ve daha kısa sürede rehidre olabilmeleri için optimum koşullar altında işleme alınırlar.

Rehidrasyon teknolojisinin en önemli yönü, rehidrasyon prosesinin matematiksel modellenmesidir. Bunun amacı, mühendislerin en uygun çalışma şartlarını seçebilmelerini sağlamaktır. Bu çalışmada, kurutulmuş dolmalık biber ve patlıcanın rehidrasyonu ve modellenmesi incelenmiştir. Ön işlemin (%1 şeker ve %1 tuz katkısı) rehidrasyon oranına etkisi gözlemlenmiş ve 25, 45, 65 ve 85°C'lerde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre, tüm sıcaklıklar için en yüksek rehidrasyon oranına ön işlemsiz deneyde ulaşıldığı görülmüştür. Bunu sırasıyla %1 şeker katkılı rehidrasyon ve %1 tuz katkılı rehidrasyon takip

etmiştir. Ayrıca, sıcaklığın rehidrasyon oranına etkisini gözlemlemek amacıyla, ön işlemli ve ön işlemsiz rehidrasyonlar için ayrı ayrı grafikler oluşturulmuş ve hepsi için en yüksek rehidrasyon oranına 85°C'de ulaşılmıştır. Böylelikle, sıcaklık artışının rehidrasyon oranı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Dolmalık biber ve patlıcanın rehidrasyon kinetiğinin belirlenmesi için, elde edilen deneysel verilere Peleg, Weibull, First-order ve Eksponensiyel modeller uygulanarak en uygun model belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Peleg modelinin dolmalık biber ve patlıcanın rehidrasyon davranışını diğer modellerden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dolmalık biber, dolmalık patlıcan, rehidrasyon, Peleg modeli, ön işlem.

ABSTRACT

EXAMINATION OF REHYDRATION CHARACTERISTICS OF DRIED BELL PEPPER and EGGPLANT

Zeynep KERVANCI

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Drying is an important preservation method for the food industry. Dried products are also named as ready-made foods and they have more advantages like transportation, storage, preparation and usage rather than fresh foods. Some dried products need rehydration process before consumption. Herewith, dried products' water absorption capacity can be examined and also the quality of drying method can be commentated. The quality properties of rehydrated product are effected by the drying and rehydration process. Physicochemical changes, including textural structural modifications, migration of solutes and loss of volatiles are happened as an irreversible manner and play an important role on the quality during the drying process. Drying and rehydration conditions need to be optimizing to obtain the most suitable rehydration properties. The rehydration ratio is an important quality parameter so foods are processed in optimum conditions for preventing the food injuries and providing the shortest time of rehydration.

The most important point of rehydration technology is mathematical modeling of rehydration process. The purpose of modeling is helping design engineers to choose the most suitable operation conditions for the process. In this study, rehydration modeling of dried bell pepper and eggplant was examined. The effect of pre-treatment (with 1% sugar and 1% salt) was determined and according to the results of all the experiments at 25, 45, 65 and 85°C, the highest rehydration ratio was calculated in untreated process. Besides, rehydration graphics were drew for both untreated and pre-treated experiments to saw the

effects of temperature on rehydration process. For all the experiments, the results showed that rehydration at 85°C has the highest rehydration ratio at the end of the experiments. The increasing of rehydration temperature has a positive effect on rehydration ratio. To evaluate the rehydration kinetics of bell pepper and eggplant, the obtained experimental data were applied to Peleg, Weibull, First-order and Exponential models and the best model fit was determined. According to the results, Peleg model is superior to the other models for explaining rehydration behavior of bell pepper and eggplant.

Keywords: Bell pepper, eggplant, rehydration, Peleg, pre-treatment.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Gıdaların hemen hepsi belirli oranlarda su içerirler. Bunun sonucu olarak da mikrobiyal ve enzimatik reaksiyonların önüne geçebilmek için bir takım muhafaza yöntemleri geliştirilmiştir. Gıda maddelerinin muhafazası için kullanılan en eski yöntemlerden birisi kurutmadır. Kurutma, su içeriğinin azaltılması olarak ifade edilebilir. Kurutma işlemi gerçekleştirilmeden önce bir takım ön işlem uygulamaları gerçekleştirilir. Bunlar; seçme, ayıklama, sınıflandırma, yıkama, çekirdek çıkarma, kabuk soyma, dilimleme, doğrama, kükürtleme ve haşlama gibi işlemlerdir. Böylelikle, kurutma sonrasında elde edilecek ürünün kalite niteliğinin de yüksek olması sağlanmış olur.

Kurutulmuş ürünün kalitesini gösteren bir başka özellik de, rehidrasyon kabiliyetidir. Kuru ürün, tüketim öncesinde rehidrasyona ihtiyaç duyar. Rehidrasyon, kuru maddenin nemlendirilme işlemidir ve genellikle kuru maddeyi suya daldırarak ıslatma şeklinde gerçekleşir. Rehidrasyon teknolojisi için en uygun koşulların belirlenebilmesi için, rehidrasyon prosesinin doğru bir şekilde modellenmesi gerekir. Modellemenin ilkesi de, rehidrasyon sistemini tanımlayan parametreleri elde etmektir.

1.2 Tezin Amacı

Kurutulmuş dolmalık biber ve patlıcan için en uygun rehidrasyon koşullarının belirlenebilmesi amaçlanmıştır. Bunun için rehidrasyon prosesi farklı sıcaklıklarda (25°C, 45°C, 65°C ve 85°C) ve farklı çözünen katkılarıyla (%1 şeker ve %1 tuz) gerçekleştirilerek, kıyaslama yapılabilmesi için uygun koşullar sağlanmıştır. Elde edilen

deneysel verileri belirlenen ampirik modellere (Peleg, Weibull, First-order ve Eksponensiyel modelleri) uygulayarak, rehidrasyon prosesine uyum sağlayan en elverişli model belirlenmek istenmiştir.

1.3 Orjinal Katkı

Kurutulmuş dolmalık biber ve patlıcanın farklı sıcaklıklarda (25°C, 45°C, 65°C ve 85°C) ve farklı çözünen katkılarıyla (%1 şeker ve %1 tuz) yapılan rehidrasyon işlemleri sonrasında görülmüştür ki, rehidrasyon sıcaklığının artmasıyla rehidrasyon oranında artış meydana gelmiştir. Ayrıca, saf suda gerçekleştirilen rehidrasyon işleminde gözlemlenen rehidrasyon oranının, %1'lik şeker ve %1'lik tuz katkısıyla yapılan rehidrasyon işlemlerine göre daha yüksek olduğu kaydedilmiştir. Deneysel verilerin dört adet modelleme denkliğine (Peleg, Weibull, First-order ve Eksponensiyel modelleri) uygulanmasıyla elde edilen R^2, khi-kare ve RMSE değerleri kıyaslanarak, her iki sebze için gerçekleştirilen rehidrasyon prosesine, Peleg modelinin en fazla uyum sağladığı tespit edilmiştir.

BÖLÜM 2

BİBER ve PATLICAN HAKKINDA

Kök, gövde, sürgün, yaprak, çiçek, meyve ve tohumlar gibi çeşitli yerlerinden gıda olarak faydalanılan bir kısım bitkilere sebze adı verilir [1].

Sebze üretimi ülkemizin hemen her bölgesine yayılmış olmakla birlikte, bölgenin ekolojik yapısına ve büyüklüğüne bağlı olarak toplam üretim içindeki oranı değişmektedir. Ancak, ticari amaçla yapılan sebze üretimi bazı bölgelerde yoğunlaşmıştır. Ege, Akdeniz ve Marmara bölgeleri sebze üretiminin en fazla yapıldığı bölgeler olup, tür ve çeşit yönünden de en zengin bölgeleri oluşturmaktadır [1].

2.1 Biber

Anavatanı Güney Amerika (Brezilya) olan, 16. Yüzyılın ortalarında, Kristof Kolomb'un keşif yolculuğundan geri getirdiği biber, ilk olarak Akdeniz ülkelerine daha sonra diğer kıtalara yayılmıştır. A ve C vitaminlerince oldukça zengin ve düşük kalorili olan biber, insan sağlığı üzerinde önemli bir yere sahiptir [2].

Biber, taze olarak kullanıldığı gibi, yemekleri de yapılır. Salçalık biberlerden yapılan biber salçası da yemeklere renk ve tad verir. Ayrıca tatlı ve acı biberlerden yapılan turşu da yaygın olarak tüketilir. Bölgelerimize göre çeşitli şekillerde hazırlanmış toz biberler de yemeklerde kullanılır. Toz halinde kullanılan biberlerin üretim miktarı taze üretime göre daha fazladır. Bunların dışında kış aylarında kullanılmak üzere tatlı ve acı dolmalık biberler ipe dizilerek kurutulur [3]. Ayrıca biber, ilaç sektöründe de kullanılır [4].

Latince adı *Capsicum annuum* olan biber, patlıcangillerdendir [2]. Dolmalık biberler de *Capsicum* familyasının *Solanacae* türündendir. Bu familya 25 tür içerse de, çoğu dolmalık biber *Capsicum annuum*'a benzer sıcaklık ve alanlarda yetiştirilir [5]. Ülkemizde yıllık meyve veren bir bitki türüdür. Tropikal bölgelerde ise birkaç yıl gelişebilir. Şekil 2.1'de biber bitkilerine örnekler görülmektedir. Bitki yaprakları uzun, oval, yuvarlak, kenarları düz veya dalgalı, parlak veya tüylü olabilmektedir. Yaprak veya dal koltuklarında bir ya da birden fazla çiçek bulunabilir. Erselik yapıdadır. Erkek ve dişi organ aynı çiçek üzerindedir. 5-7 taç yaprak, 5 erkek organ ve bir dişi organdan oluşur. Tohumdan fide üretimi yoluyla çoğaltılır ve sebze bahçesinde, serada veya saksıda yetişitirilebilir. Çimlenme 20°C ila 30°C arasında gerçekleşir. Çimlenme için humuslu, drenajlı ve geçirgen bir toprak ister. Bitkinin yüksekliği 50–200 cm arasındadır. Yaz mevsimi boyunca çiçeklenme dönemi geçirir. Çiçeklerinin rengi beyazdır. Tohum ekildikten 5 ay sonra hasat gerçekleştirilir. Temmuz sonunda başlayan hasat, ilk don gerçekleşinceye kadar devam eder. Bitki başına ortalama 500 g biber hasat edilir. Tohumlar 4 yıl süreyle çimlenme güçlerini korurlar [2].



Şekil 2.1 Biber bitkilerine örnekler [8]

Türkiye'de yetiştirilen biber çeşitleri şekil ve kullanım amaçlarına göre 5 grup altında toplanır (Şekil 2.2). Bunlar:

- Dolmalık Biberler,
- Sivri Biberler,
- Çarliston Biberler,
- Sanayiye Uygun Biberler,
- Küçük Meyveli ve Acı Biberlerdir.



Şekil 2.2 Türkiye'de yetiştirilen biber çeşitleri [7]

2.1.1 Biber bitkisinin yetiştirilmesi

2.1.1.1 İklim isteği

Biber sıcağı seven bitkiler grubundandır. Optimal gelişme; sıcaklık, kısmen ışık yoğunluğu, toprak ve hava nemi gibi çevre faktörlerine bağlıdır [8].

Biberin optimal gelişme sıcaklığı 18-26°C olmakla beraber optimum hava oransal nemi %60-70'tir. Biber erken devrelerde daha fazla sıcaklığa ihtiyaç duyar. Toprak neminin fazla, besin maddelerince yeterli ve hava sıcaklığının 24-26°C olduğu zamanlar iyi gelişim gösterir. Gündüz sıcaklık 32°C'nin üzerine çıktığında bitki büyümesi yavaşlar ve 32 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda çiçek dökülmeleri olur. 38°C'nin üzerinde ise döllenme olmaz [6].

2.1.1.2 Toprak isteği

Organik maddece zengin, çeşitli besin maddelerini içeren, tınlı, tınlı-kumlu, su tutma kapasitesi iyi, çabuk ısınabilir, derin, geçirgen ve iyi drene edilmiş topraklar biber için uygundur. Ağır-killi ve fazla su tutan topraklar ile tamamen kumlu topraklar biber tarımına uygun değildir. Toprak pH'sı optimum 5,6-6,8 olmalıdır. pH değeri 5,2'den

düşük topraklar iyi değildir. Yüksek pH durumunda ise P, Fe, Mn, Zn ve Cu gibi mikro elementlerin alınabilirliği azalır. Biber toprak tuzluluğuna oldukça duyarlıdır [6].

2.1.1.3 Su isteği

Biber suyu çok seven bir bitkidir. Optimum toprak neminin tarla kapasitesinin %70-80'i civarında, hava oransal neminin %60-70 civarında olması istenir. Suyun düzenli ve belirli aralıklarda verilmesi gerekmektedir. Kökler fazla suya da çok duyarlıdır. Çabuk çürür ve hastalanır. Saçak kök yapısı nedeniyle biber az ve sık su ister. Sıcak havalarda, kumlu topraklarda her 2-3 günde bir, ağır topraklarda 3-7 günde bir sulama yapılmalıdır [8].

2.1.1.4 Fide yetiştirme

Çiftçiler kendi yetiştireceği fide için ortam olarak genellikle çiftlik gübresi, torf, kompost, toprak ve kum gibi ortamlar kullanırken, fide yetiştiren kuruluşlar genellikle torf, perlit ve vermikulit gibi materyaller kullanırlar. Fide yetiştirilecek ortam materyallerinin havalanma ve drenaj özelliği iyi ve pH değeri 6-7 oranında olmalı, hastalık, zararlı ve yabancı ot tohumları bulundurmamalıdır. Son yıllarda çiftçiler fideyi kendileri üretmek yerine hazır fide kullanımına yönelmektedirler. Hazır fide (Şekil 2.3) işçilikten tasarruf sağlar; hızlı büyür; standart boyda olurlar ve dikim yapıldığı zaman hepsi aynı anda çiçeklenme gösterir. Bu nedenle verim artar [6,8].



Şekil 2.3 Biber fidesi [8]

2.1.2 Biberin insan sağlığına yararları

Biber, çok sayıda yararlı içeriğiyle insan sağlığı üzerinde oldukça etkilidir. 100 g dolmalık ya da sivri taze biberin besin değerleri Çizelge 2. 1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Biberin besin değerleri [8]

İçindekiler	Besin Değerleri	İçindekiler	Besin Değerleri
Protein	1,5 g	Vitamin A	338 IU*
Yağ	0,1 g	Vitamin B_1	0,053 mg
Karbonhidrat	5,4 g	Vitamin B_2	0,035 mg
Demir	0,88 mg	Vitamin B_6	0,303 mg
Fosfor	15 mg	Vitamin C	111,4 mg
Kalsiyum	4 mg	Enerji	38 kalori

*Vitamin A için; 1 IU (internasyonel birim)= $0.3x10^{-3}$ mg retinol veya $0.6x10^{-3}$ mg beta-karoten

Bu değerler sonucunda, biberin insan sağlığına faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Biberler, içerdikleri antioksidan ve diğer maddelerle bedenin birçok kanser türüne ve kalp hastalıklarına yakalanma riskini azaltır; felç geçirme ve katarakta tutulma tehlikesini en aza indirger.
- C vitamini yönünden zenginliği sayesinde biberler, bedenin hastalıklara direncini artırır, soğuk algınlığının ilk aşamasında iyileştirici olur.
- Biberler, içerdiği yüksek orandaki lif nedeniyle kabızlığa iyi gelir.
- Özellikle acı biberler akciğerlerin ilacıdır. Balgam söktürücü işlevleri vardır. Kronik bronşit ile anfizemi önler ve hafifletir. Solunum zorluklarını giderir. Damarlarda pıhtılaşmış kanı çözer, ağrı geçirir ve hastaların kendisini iyi duyumsamalarını sağlar.
- Tüm biberler mideyi uyarır ve sindirim salgılarını artırır. İştahı açar ve sindirimi kolaylaştırır.

Ancak, acı biber aşırı olarak alınırsa, mide ve bağırsaklarda tahrişlere yol açabilir, hatta böbreklerde, karaciğerde rahatsızlanmalara neden olabilir [6].

2.1.3 Türkiye ve dünyada biber üretimi

Biberler taze, pişmiş, konserve, salça, turşu, sos, ketçap, konsantre domates çorbaları, hazır çorbalar, sucuk, tarhana, pastırma, çocuk maması, zeytinlerin içinde, peynirlerde dondurulmuş gıda olarak, kurutularak, toz ve pul biber yapımında, boya sanayinde, ilaç sanayinde vb. gibi çeşitli alanlarda kullanılır [8].

Çizelge 2.2 Dünya yaş sebze üretiminde ilk 10 ürün (Ton) [9]

Sıra	Ürün Adı	2010	2011	Değişim(%)
1	Domates	145.652.579	159.023.383	9,2
2	Karpuz	89.153.514	104.472.354	17,2
3	Kuru Soğan	74.220.950	85.375.125	15,0
4	Lahana	58.023.731	68.840.531	18,6
5	Hıyar ve Kornişon	57.556.880	65.334.911	13,5
6	Patlıcan	41.829.973	46.685.777	11,6
7	Havuç ve Şalgam	33.663.365	35.658.466	5,9
8	Biber	27.518.904	29.939.029	8,8
9	Marul ve Hindiba	23.612.763	27.295.907	15,6
10	Kabak	22.396.399	24.302.703	8,5
	Genel Toplam	**965.751.346**	**1.087.591.891**	**12,6**

Dünya yaş sebze üretimindeki ilk 10 ürün arasında biber sekizinci sıradadır (Çizelge 2.2). Dünyada üretilen 12.000.000 ton biberin yaklaşık %23'ü Çin de, %10'u Türkiye'de ve %9'u Nijerya'da üretilmektedir. Türkiye de yılda üretilen 1.200.000 ton biberin %60'ını sivribiber, %28'ini dolmalık biber, %4'ünü çarliston biber, %8'ini kaypa, domates biberi, kurutmalık biberler, pul biber elde etmeye uygun biberler teşkil eder

[6]. Ülkemiz, dünyada yaş sebze üretiminde 2011 yılı verilerine göre dördüncü sıradadır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 Yaş sebze üreticisi ülkeler (Ton) [9]

Sıra	Ülke Adı	2010	2011	Değişim(%)
1	Çin Halk Cumhuriyeti	473.094.711	561.744.784	18,7
2	Hindistan	99.680.370	105.795.436	6,1
3	A.B.D	35.293.556	34.670.383	-1,8
4	**Türkiye**	**25.831.193**	**27.406.622**	**6,1**
5	İran	18.678.490	25.961.062	39,0
6	Mısır	19.516.402	18.945.478	-2,9
7	Rusya Federasyonu	13.233.450	16.275.330	23,0
8	İtalya	13.499.277	13.287.938	-1,6
9	İspanya	12.125.391	12.408.559	2,3
10	Meksika	12.125.391	11.908.058	-1,8
11	Brezilya	10.032.406	11.611.033	15,7
12	Nijerya	11.055.900	11.439.588	3,5
13	Güney Kore	9.401.222	11.364.423	20,9
14	Japonya	11.034.200	10.859.391	-1,6
15	Ukrayna	8.911.100	10.608.400	19,0
	Genel Toplam	**965.751.348**	**1.087.591.892**	**12,6**

Ülkemizde, toplam biber üretiminde Samsun ilk sırada yer almaktadır. 2009 Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülke genelinde toplam üretilen 1.837.003 ton biberin 237.021 tonu Samsun'da, 231.893 tonu ise Antalya'da gerçekleştirilmiştir. Samsun'un tek başına biber üretimine katkı payı %12,9'dur. Samsun'un Türkiye salçalık biber üretimine katkı payı %10,8'dir. Samsun'da dolmalık ve sivri biberin önemli kısmı Çarşamba'da, salçalık biberin %98,7'si Bafra'da yetiştirilmektedir [10].

2.2 Patlıcan

Patlıcanın vatanı Hindistan'dır. Buradan bütün Asya ülkelerine, Anadolu üzerinden de Avrupa'ya kadar yayılmıştır. Ülkemizde patlıcanın 17. yüzyıl başlarından beri yetiştirilmekte olduğu sanılmaktadır. Ülkemizde Karadeniz, İç ve Doğu Anadolu bölgelerinin bazı yerleri dışında hemen her yerde yetiştirilmektedir [11].

Patlıcan, *Solanaceae* familyasının *Solanum* cinsine dahil olup ılık iklimlerde yıllık, tropik iklimlerde ise ufak bir ağaç şeklinde büyüyen birkaç yıllık bir kültür bitkisidir (Şekil 2.4). Bilimsel adı *Solanum melongena*'dır [14]. Raf ömrü 10-15°C civarında yaklaşık olarak 10 gündür [12].



Şekil 2.4 Patlıcan bitkisi [13]

Patlıcan, tohum çimlendiği zaman kazık kök oluşturur fakat ilerleyen devrelerde meydana gelen kökler kazık kök kadar gelişerek saçak köklü yapıyı alırlar. Yan kökler 80-100 cm derinliğe ve çevreye yayılabilir. Köklerde çok sayıda dallanma meydana gelir ve dallar üzerinde emici kıllar bulunur. Yaprakları küçük, dar, ince ve uzun veya büyük ve geniştir. Yaprak kenarları düz olduğu gibi, parçalı, hafif yırtmaçlı da olabilir (Şekil 2.5). Kenarları genelde düzdür. Yaprak ve gövde yeşil renklidir. Bazı çeşitlerde renk mora kadar dönüşür veya yer yer morluklar görülür [11].



Şekil 2.5 Patlıcan bitkisi yaprakları [13]

Ülkemizde en çok yetiştirilen ve tüketilen patlıcan çeşitleri [13]:

- Kemer patlıcanı
- Halkapınar patlıcanı
- Bostan patlıcanı
- Kirmastı patlıcanı
- Yalova patlıcanı
- Gönen patlıcanıdır.

2.2.1 Patlıcan bitkisinin yetiştirilmesi

2.2.1.1 İklim istekleri

Patlıcan tropik iklim bitkisi olduğu için sıcaklıklardan hoşlanır ve dolayısıyla optimum sıcaklık isteği yüksek olan bir sebzedir. 25-30°C hatta 35-40°C'de bile vejetatif gelişme

zararlanmadan devam eder. Ancak 35°C ve yukarısı çiçek oluşumu ve döllenmesi açısından sorunlar ortaya çıkarır. Patlıcan tohumlarının çimlenebilmesi için optimum sıcaklıklar 25-30°C, minimum 15°C'dir. Yetiştiricilik için en uygun hava nemi ise % 60-65'tir [11].

2.2.1.2 Toprak istekleri

Patlıcan toprak bakımından oldukça seçici bir sebzedir. Ağır ve rutubetli topraklarda kök çürüklüğü meydana gelir. Derin, yumuşak, geçirgen, organik madde ve besin maddesince zengin tınlı topraklarda iyi gelişir ve bol ürün verir. Yetiştirme yapılacak toprak pH değerinin 5,5-7 arasında olması istenir [11].

2.2.1.3 Su istekleri

Patlıcan yetiştiriciliğinde ilk can suyundan sonra, hava durumuna göre, 15-20 gün müddetle su verilmez. Çiçeklenme devresinde yersiz sulamadan kaçınılmalıdır. Patlıcan yetişme devresinde 7-8 günde bir sulanmalıdır; aksi takdirde gelişme yavaşlar mahsul azalır ve meyvelerde acılık başlar [14].

2.2.1.4 Fide yetiştirme

Günümüzde, daha ekonomik ve zamandan kazanılması açısından direkt tohum ekimi yerine Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, fide ile yetiştiricilik yapılmaktadır [14].



Şekil 2.6 Patlıcan fidesi [13]

Patlıcan tohumları sıcak yastıkta toprak sıcaklığı 25-30°C olduğu zaman 10-15 gün sonra çimlenmeye başlar. Tohumlar çimlendikten sonra sıra üzerinde 3-4 cm'de bir fide bırakılır. Bundan sonra yastıklardaki fidelere yapılacak bakım işleri, yabani otların ayıklanması, sulama, havalandırma ve hastalık ve zararlılarla mücadeledir [13].

Son yıllarda sıcak yastıklardaki üretim yerine viollerde topraklı fide yetiştiriciliği ve özel fideliklerde yetiştirilen fidelerin satın alınarak esas yerlerine dikilmesi yaygınlaşmaya başlamıştır [13].

2.2.2 Patlıcanın insan sağlığına yararları

100 g taze patlıcanın içerdiği önemli besin değerleri Çizelge 2.4'te verilmiştir:

Çizelge 2.4 Patlıcanın besin değerleri [14]

İçindekiler	**Besin Değerleri**	**İçindekiler**	**Besin Değerleri**
Enerji	24 kalori	Sodyum	1 mg
Protein	1,1 g	Potasyum	15 mg
Karbonhidrat	5,5 g	A vitamini	30 IU*
Kolesterol	-	B1 vitamini	0,05 mg
Yağ	2 g	B2 vitamini	0,04 mg
Lif	1 g	B3 vitamini	0,05 mg
Fosfor	37 mg	B6 vitamini	0,081 mg
Kalsiyum	15 mg	C vitamini	5 mg
Demir	1 mg		

*Vitamin A için; 1 IU (internasyonel birim)=$0.3x10^{-3}$ mg retinol veya $0.6x10^{-3}$ mg beta-karoten

Yukarıda sayılan besin değerlerinin ışığında patlıcanın insan sağlığı üzerindeki etkileri aşağıdaki gibidir:

- Damarları yüksek kolesterolün yarattığı kötü etkilerden korur.
- Patlıcan yedirilen hayvanlarda, özellikle mide kanserine çok seyrek rastlandığı gözlenmiştir ve insanlarda da aynı etkiyi yapıp yapmadığı araştırılmaktadır.
- Patlıcan, istemsiz kas kasılmalarını önleyen maddeler içermektedir.
- İçerdiği yüksek orandaki lifiyle hazımsızlığa iyi gelir.

Olgunlaşmamış patlıcanda solanin adlı bir madde bulunur. Böyle patlıcanları çiğ olarak yemek, bu madde nedeniyle zehirlenmelere yol açabilir. Ancak patlıcan pişirildiğinde bu madde parçalanarak yok olur. Ayrıca, güç sindirilen bir besin olduğundan çocukların beslenmesinde çokca tercih edilmez [14].

2.2.3 Türkiye ve dünyada patlıcan üretimi

Dünya yaş sebze üretimindeki ilk 10 ürün arasında patlıcan Çizelge 2.3'te görüldüğü gibi altıncı sıradadır. Dünyadaki en önemli patlıcan yetiştirici ülke 18 milyon ton üretime sahip olan Çin'dir. 8,5 milyon ton ile Hindistan ikinci sırada yer almaktadır. Bunu 1 milyon ton üretim ile Mısır takip etmektedir [15].

Ülkemiz 790 bin ton üretim ile dördüncü sıradadır. 32 milyon ton'luk dünya patlıcan üretiminin yaklaşık %92'si Asya'da, %4'ü Afrika'da, %2'si Avrupa'da yapılmaktadır. Ülkemiz dünya üretiminin yaklaşık %2'sini karşılamaktadır [15].

BÖLÜM 3

GIDALARDA KURUTMA

Gıda maddelerinin muhafazası için kullanılan en eski metotlardan birisi kurutmadır. Gıdaların hemen hemen hepsi belli oranlarda su içerir. Bu suyun uzaklaştırılması gıdaları, mikroorganizmaların gelişimiyle meydana gelen çürümelere, enzimatik reaksiyonlara ve oksidasyona karşı korur. Bunun haricinde, taşıma ve depolamada kolaylık sağlayacak daha düşük ağırlık ve hacim değerleri için olanak sağlar [12].

Gıdalardaki suyu uzaklaştırmak için uygulanan en eski yöntem gıdanın güneşte kurutulmasıdır. Özellikle üzüm, incir, erik, kayısı, elma ve armut gibi meyveler sıcak ve güneşli mevsimlerde güneşte kurutulmaktadır. Güneşte kurutma, geniş alanlar gerektirir. Fakat günümüzde güneş altında doğal olarak kurutmanın dışında pek çok ürünün kurutulmasında mekanik kurutuculardan yararlanılmaktadır [16].

Kurutma prosesi raf ömrünü büyük ölçüde uzatıyor olsa da, istenmeyen yapısal ve biyokimyasal değişimlerle karşılaşmamak için, geleneksel kurutma prosesi süresince duyusal kalite ve tat kalitesi göz önünde bulundurulur [17].

Gıdalar kurutma işleminden önce ön işlemlerden geçirilirler. Bu işlemler seçme, ayıklama, sınıflandırma, yıkama, çekirdek çıkarma, kabuk soyma, parçalama, bölme, dilimleme, doğrama, alkali çözeltilere batırma, kükürtleme ve haşlama gibi işlemlerdir. Öncelikle çürük ve bozuk meyve ve sebzeler ayrıldıktan sonra büyüklerine göre sınıflandırılır. Kurutma öncesinde uygulanacak yıkama işlemi meyve ve sebze üzerindeki kirleri ve kirlerle birlikte mikroorganizmaları uzaklaştırır; böylece mikrobiyal yük azalır [16].

3.1 Gıdaların Kurutulmasında Kullanılan Çeşitli Teknikler

Gıdalar genellikle iki şekilde kurutulurlar. Bunlar;

- Güneşte ve açık havada kurutma,
- Yapay kurutmadır.

3.1.1 Güneşte ve açık havada kurutma

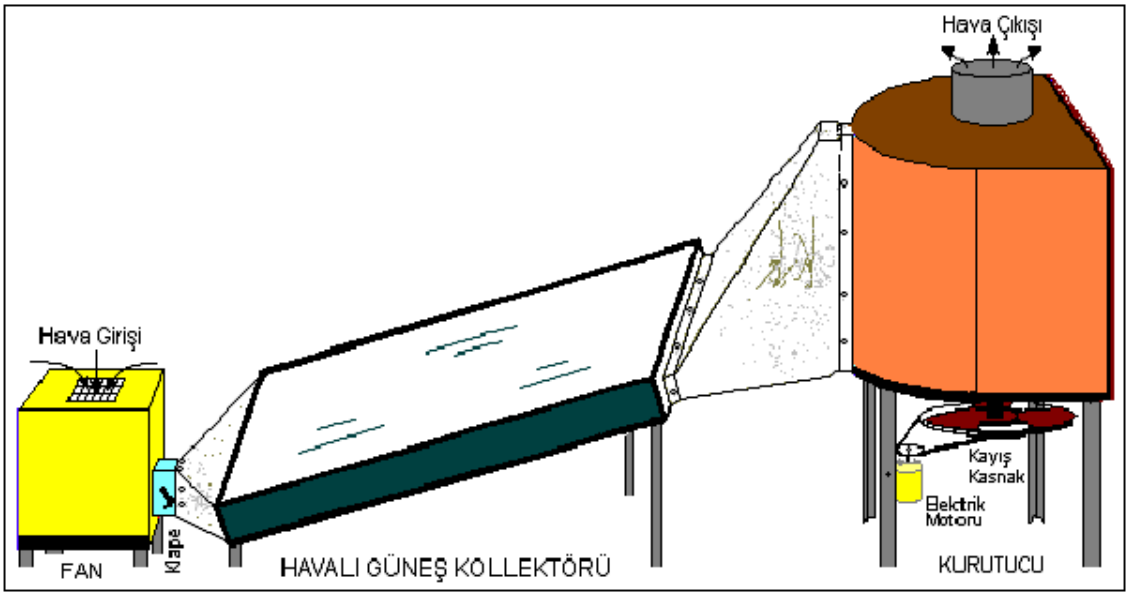
Güneşte kurutma çok eskiden beri uygulanan bir yöntemdir ve ürünler açık havada güneş veya gölgede doğal olarak kurutulur. Kurutulacak ürün doğrudan güneşe maruz bırakılır. Genellikle meyveler ve domates güneşte kurutulur. Ürün toprak veya beton üzerine serilecek branda veya temiz bezler üzerine serilerek kurumaya bırakılır. Şekil 3.1'de domatesin güneşte kurutulması gösterilmiştir. Bu yöntem gıdaların yapısında ve besin değerinde bazı kayıplara neden olabilmektedir. Doğrudan güneş ışığında kurutulan sebzelerin renkleri açılır; sertleşir ve tatlarında da bozulmalar olabilir. Bunu önlemek için kurutma sıcak, gölge ve rüzgârlı bir yerde yapılmalıdır. Açık havada yapılan kurutmalarda kurutma süresi uzadıkça gıdadaki besin kayıpları da artar [16].



Şekil 3.1 Güneşte kurutma yöntemi [18]

Ayrıca güneş kollektörlü kurutmayla da güneş enerjisinden yararlanılarak kurutma yapılmaktadır. Güneşli mevsimlerde güneş enerjisinden, güneş enerjisinin yeterli olmadığı günlerde ise katı, sıvı veya gaz yakıtlar kullanılarak hava ısıtılır. Bu kurutucular

küçük kapasiteli olduklarında köy tipi kurutucular olarak da isimlendirilmektedir. Fazla yatırım gerektirmediği ve kaliteli ürün elde etme imkanı olduğu için özellikle güneşte kurutmanın yerine tercih edilmektedir [19]. Bu sebeplerden dolayı güneş kollektörlü kurutucular, güneşte kurutma veya sıcak havada kurutmaya göre, özellikle hasat zamanlarında güneşten daha iyi yararlanılabilen bölgeler için alternatif bir yoldur. Türkiye'de de yaygın olarak kullanılması, yüksek güneş alma seviyesi ve güneş ışığı süresi ile ilişkilendirilmiştir [20]. Şekil 3.2'de havalı güneş kollektörlü bir kombine kurutucu şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.2 Kombine kurutucu [19]

3.1.2 Yapay kurutma

Kurutma süresini kısaltarak ürün kalitesini artırmak ve ürünü güneşin zararlı etkilerinden korumak için yapay kurutma teknikleri kullanılır. Böylece daha iyi görünüş ve lezzette ürünler elde edilebilir. Nem kontrolünün sağlanması, hijyen ve kalite kontrolünün de mümkün olması da yapay kurutma tekniklerinin avantajlarındandır. Yapay kurutma şekillerinden bazıları şunlardır: Püskürtmeli kurutucular, kabin kurutucular, vakum kurutucular, köpük kurutucular, tünel kurutucular, akışkan yatak kurutucular, döner kurutucular ve dondurarak kurutma [16]. Şekil 3.3'te farklı tip yapay kurutuculara örnekler görülmektedir.

Kabin kurutuculardа ürünü sıcak hava ile temas ettirmek için tepsiler kullanılır. Bu yöntemle kabin içindeki ürünü taşıyan tepsiler sıcak havaya maruz bırakılır ve bu şekilde ürün kurutulur [16]. Püskürtmeli kurutuculardа sıvı halinde veya çok ince katı parçacıklar halindeki gıda maddesi, zerreler halinde ısıtılmış hava içerisine püskürtülür. Kuruma çok kısa bir sürede tamamlandığından bu yöntem, ısıyla uzun temastan zarar görebilecek gıda maddeleri için çok uygundur. Süt tozu, peynir altı suyu tozu, çocuk mamaları ve maya özü gibi ürünlerin yapımında püskürtme ile kurutma yönteminden yararlanılır. Daha çok katı parçalı gıdaların kurutulmasında kullanılan yöntemlerden biri akışkan yatak kurutmadır. Akışkan yataklı kurutucuda kurutulacak gıda maddesi aşağıdan yukarı doğru çıkan sıcak hava akımı içerisinde, ağırlığı karşılanarak asılı bir şekilde duracak durumda tutulur. Gıda maddesini kurutucu boyunca taşımak için yatay bir hava akımı da bulunabilir. Havadan gıda maddesine ısı çoğunlukla konveksiyon yoluyla iletilir. Akışkan yataklı kurutucular bezelye, taze fasulye, havuç, soğan, patates, et, kahve, kakao, tuz ve şekerin kurutulmasında kullanılır [21].

Tünel kurutuculardа sıcak hava tünelin bir ucundan girerek ürün tablalarını taşıyan vagonlara doğru belli bir hızda hareket eder. Bu vagonlar kurutma için gereken süre boyunca belli hızda tünel içinde hareket eder. Ürün tablalarını taşıyan vagonların yönü kurutucu hava ile aynı veya ters yönde olabilir. Bunu kurutulmuş ürünün kalite özellikleri belirler. Ters akış sistemlerde etkin bir kurutma sağlanmasına rağmen ürün kalitesi bu tekniğin kullanımını sınırlandırır [16]. Döner kurutuculardа da gıda maddesi bir silindir içine verilir. Gıda maddesi bu silindir içinde ilerlerken, silindir boyunca verilen sıcak hava akımıyla veya ısıtılan silindir duvarlarından kondüksiyon yoluyla ısıtma işlemi yapılır [22].



(a) Kabin kurutucu (b) Tünel kurutucu (c) Akışkan yataklı kurutucu

Şekil 3.3 Yapay kurutucu tipleri [19]

Dondurarak kurutma yönteminde, gıdadaki suyun buz haline dönüşmesi için önce gıda dondurulur. Daha sonra su donmuş haldeyken süblimleşme (suyun katı halden gaz haline getirilmesi) olarak bilinen bir işlem ile uzaklaştırılır. Yöntem gıdanın dondurulması ve kurutulması olmak üzere iki aşamadan oluşur. Gıda -20 veya -30°C'lere kadar soğutulur. Daha sonra yine soğuk olan vakum kabinlerinde kurutulur. Netice olarak gıdanın içindeki su buz halinden su haline geçmeden direkt olarak su buharı haline gelir [16].

3.2 Gıdaları Kurutarak Muhafaza Etmenin Avantaj ve Dezavantajları

Gıdaları kurutarak muhafaza etmenin sağladığı avantajlar ve dezavantajlar Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Ayrıca sıralanan bu dezavantajları minimuma indirmek için bazı önlemler alınır. Bunlar:

- Uygulanması mümkün olan gıdalar için kükürtleme yapılması,
- Uygulanması mümkün olan gıdalar için haşlama işlemi yapılması,
- Uygulanması mümkün olan gıdalar için gıdalardaki indirgen şeker miktarının azaltılması,
- Nem oranının mümkün olduğunca düşük tutulması,
- Kurutulmuş gıdaların depolanması sırasında sıcaklık, nem ve pH'a dikkat edilmesidir (depo sıcaklığı arttıkça ya da pH yükseldikçe esmerleşme reaksiyonu hızlı biçimde artar) [16].

Çizelge 3.1 Kurutmanın avantaj ve dezavantajları [16]

Avantajları	**Dezavantajları**
▪ Ürünün taşıma maliyeti azalır. Ayrıca kurutulmuş ürünleri taşımak daha kolaydır. ▪ Aynı hacimdeki bir pakete taze ürüne kıyasla daha çok kurutulmuş ürün konulabilir, bu da paketleme üstünlüğü sağlar. ▪ Gıdaların muhafazasında kullanılan diğer yöntemlere göre daha uzun bir muhafaza süresi sağlar. ▪ Ambalaj hatalarından dolayı gıdaların bozulma oranı daha azdır. ▪ Kurutulmuş ürünler doğrudan tüketilebileceği gibi, ara ürün olarak veya yeni ürün karışımlarının yapımına uygundurlar. ▪ Kurutulmuş meyve ve sebzeler bu ürünlerin konservelerine nazaran daha ucuzdur ve kolay satılırlar. ▪ Gıdaların muhafazasında kullanılan diğer yöntemlere göre besin öğeleri yönünden konsantre bir özellik gösterirler.	▪ Kurutulmuş gıdalarda kurutma sırasında veya kurutulmuş gıdanın muhafazası sırasında enzimatik veya enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları oluşabilir. ▪ Kurutulmuş gıdalarda C vitamini kaybı ve karetenoidlerde değişimler meydana gelir. ▪ Yüksek sıcaklık uygulanarak yapılan kurutmalarda proteinler denatüre olur.

3.3 Sebze ve Meyvelerin Kurutulmasına Örnekler

3.3.1 Sebzelerin kurutulması

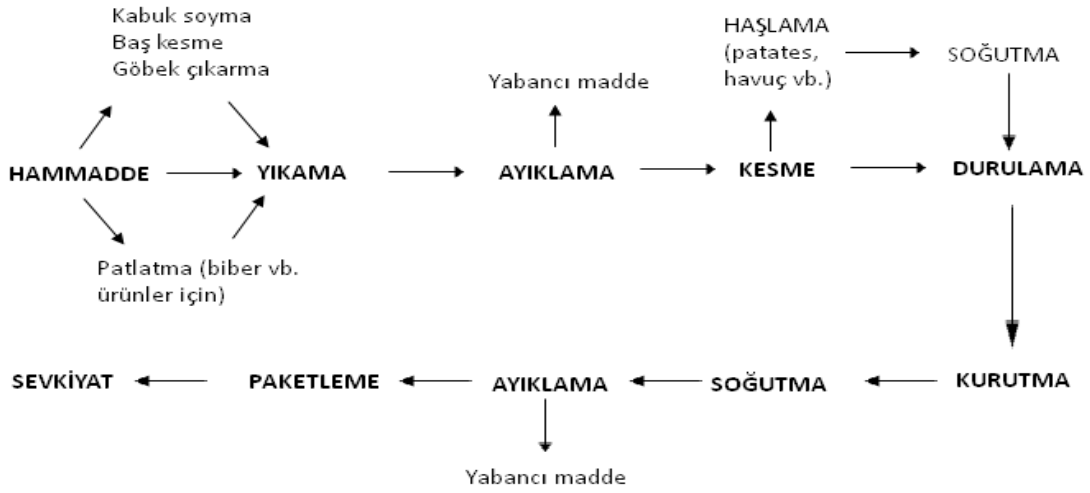
Sebzeler kurutulmadan önce ayıklama, yıkama, kabukların soyulması, doğrama ve haşlama gibi ön işlemlerden geçirilir ve bu işlemler için kullanılan cihazlara örnekler Şekil 3.4'te verilmiştir. Bu ön işlemlerden haşlama işlemi çok önemlidir. Çünkü haşlama işlemi kurumanın daha hızlı olmasını sağladığı gibi, enzimleri inaktif hale getirerek ürün renginin esmerleşmesini de önler. Kırmızı biber, soğan ve sarımsak gibi bazı sebzeler için haşlama işlemi yapılmaz [16].



(a) Yıkama (b) Ayıklama (c) Doğrama

Şekil 3.4 Sebze kurutma aşamalarına örnekler [19]

Haşlama işlemi sebzelerdeki enzimatik renk esmerleşmesini engellese de enzimatik olmayan esmerleşme hem kurutma sırasında yüksek sıcaklığın etkisiyle hem de uygun olmayan depolama şartlarında oluşabilir. Bu tür esmerleşmeyi önlemek için birçok meyve ve sebzelerde kükürtleme işlemi yapılır. Bu işlem esmerleşmeyi önlemenin yanında askorbik asit ve karoten kayıplarını da önlemede yarar sağlar. Kükürtleme işleminde genellikle sülfit ya da bisülfit çözeltileri kullanılır. Ön işlemlerden geçirilmiş sebzeler kabin, tünel ya da sonsuz bant kurutuculardа nem düzeyleri %7-10'a düşünceye kadar kurutulurlar. Daha sonra depo tipi kurutuculara alınarak nem düzeyleri %3-4'lere ininceye kadar kurutma işlemine devam edilirler [16]. Sebze kurutma üretim akış şeması Şekil 3.5'te verilmiştir.

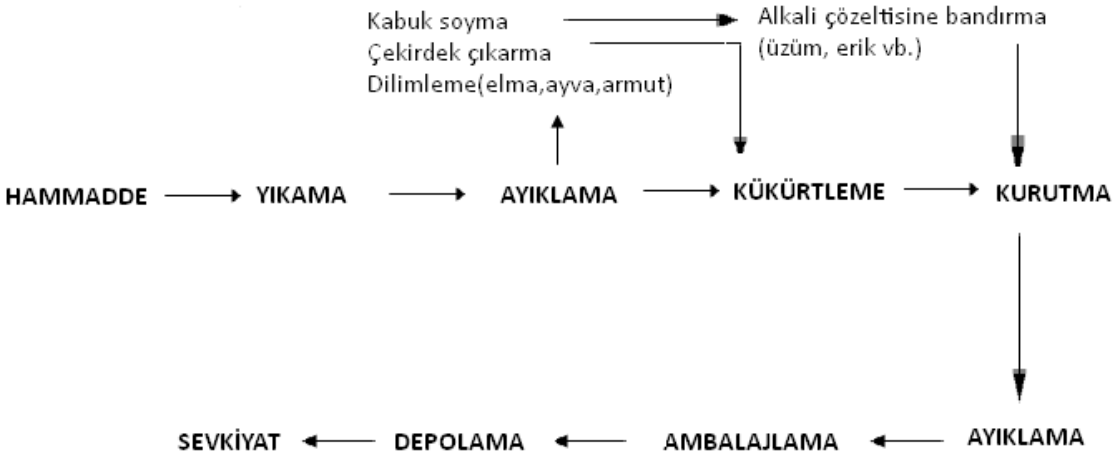


Şekil 3.5 Sebze kurutma üretim akış şeması [19]

Örneğin; dolmalık biberler sap kısımları kesilip içleri temizlendikten sonra iplere dizilerek güneşte kurutulabilir. Dolmalık yeşil biberler ve etli kırmızı biberler bir başka uygulama ile içleri temizlendikten sonra kükürtlenerek ilk olarak iki aşamalı tünel tipi kurutucularda nem oranları %10 oluncaya kadar, daha sonra da depo tipi kurutuculara alınarak nem düzeyleri %5'e ininceye kadar kurutulurlar [19].

3.3.2 Meyvelerin kurutulması

Kurutma yapılacak meyve; sağlam, çürüksüz, böcek yeniği bulundurmayan ve rengi ve tadı tam olarak olgunlaşmamış ürünler arasından seçilir. Ayrıca, ürünün bol olduğu mevsimde kurutma yapılmalıdır [23].



Şekil 3.6 Meyve kurutma üretim akış şeması [23]

Meyvelerin kurutulmasında da aynen sebzelerin kurutulmasında izlenen ön işlemler uygulanır. Meyve kurutma üretim akış şeması Şekil 3.6'da verilmiştir. Meyveden meyveye değişmekle birlikte genel olarak uygulanan ön işlemler, ayıklama, sınıflandırma, kabuk soyma, bölme-dilimleme-doğrama ve çekirdek çıkarma gibi işlemlerdir. Ayrıca elmada olduğu gibi bazı meyvelerde hafif bir haşlama, erik ve üzümlerde olduğu gibi bir alkali çözeltisine daldırma, elma, şeftali, üzüm ve kayısıda olduğu gibi kükürtleme işlemi uygulanmaktadır. Kükürtleme işleminin avantajları olduğu gibi, dezavantajları da mevcuttur ve Çizelge 3.2'de verilmiştir [20].

Çizelge 3.2 Kükürtleme işleminin avantaj ve dezavantajları [23]

Avantajları	**Dezavantajları**
▪ Enzimatik kararmaya hassas meyvenin tabii rengini korur. ▪ Mayalar ve küfler başta olmak üzere mikroorganizma faaliyetlerini önler. ▪ A ve C vitaminlerinin korunmasını sağlar. ▪ Sıcaklığı yükselttiğinden ürünün çabuk kurumasını sağlar. ▪ Böcek vb. zararlılardan ürünü korur.	▪ Üründe ve ekipmanda korozyona neden olur. ▪ Fazla uygulanması durumunda üründe kötü tat ve koku oluşabilir. ▪ B_1 vitamini gibi bazı vitaminlerin parçalanmasına neden olur. ▪ Fazlası sağlık açısından tehlikelidir.

BÖLÜM 4

REHİDRASYON

Kurutma işlemleri, gıda endüstrisi için oldukça önemli bir basamaktır. Gıda kurutmadaki temel amaç, mikrobiyal hasarın minimuma indirilebileceği seviyeye kadar gıda içerisindeki suyun uzaklaştırılmasıdır.

Kurutulan ürünler, günümüzde yemeğe hazır gıdalar olarak da ifade edilmektedir ve taze gıdalara göre taşıma, depolama, hazırlama ve kullanım aşamalarında birçok avantaja sahiptirler. Kuru ürün, tüketim öncesinde rehidrasyona ihtiyaç duyar. Rehidrasyon, kuru maddenin nemlendirilme işlemidir ve genellikle kuru maddeyi suya daldırarak ıslatma şeklinde gerçekleştirilir. Rehidrasyon boyunca üç adet proses meydana gelir. Bunlar, kuru maddenin içine gerçekleşen su emilimi, şişme ve çözünenin özütlenmesi aşamalarıdır. İşlem oldukça kompleks yapıda birçok fiziksel olgu içerir. Rehidrasyon prosesinde, zıt akışlı iki ana kütle akışı gerekir. Bunlardan biri rehidrasyon çözeltisinden ürüne doğru su akışı, diğeri de gıdadan çözeltiye doğru gerçekleşen çözünen (şekerler, asitler, mineraller ve vitaminler) akışıdır [24].

Rehidrasyon işlemi, birincil ve ikincil faktörler başlıkları altında iki temel faktörden etkilenir. Birincil faktörler; ürünün kimyasal bileşimi, kurutma öncesinde uygulanan ön işlemler, kurutma teknikleri ve koşulları olarak sayılabilir. İkincil faktörler ise sıcaklık, hidrodinamik koşullar ve daldırılan çözeltinin bileşimidir. Bu faktörlerden bazıları gıda dokusunda yapısal ve bileşimsel değişikliklere yol açtığından, rehidrasyon sonrası denge nemi içeriği kurutma öncesindeki ham maddenin başlangıçta sahip olduğu nem içeriğiyle aynı değerde olmamaktadır. Bu da kurutma işleminin tersinmez olduğunu gösterir. Kurutma boyunca meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler, kuru ürünün

kalitesini de etkiler ve su emdirilmesiyle başlangıçtaki ham maddenin özellikleri geri kazanılmaz [24].

Rehidrasyon teknolojisinin en önemli yönü, rehidrasyon prosesinin matematiksel modellenmesidir. Bunun amacı, tasarım mühendislerinin en uygun operasyon şartlarını seçebilmelerini sağlamaktır. Modellemenin ilkesi, rehidrasyon sistemini tanımlayan matematiksel denklemler elde etmektir. Bu denklemlerin çözümü, proses parametrelerinin zamanın bir fonksiyonu olarak tahmin edilebilmelerine olanak sağlar. Gıdalardaki bu su göçünü açıklayabilmek için birçok model vardır. Bunlar, teorik, ampirik, yarı-ampirik, eksponensiyel ve eksponensiyel olmayan modellerdir. Teorik modeller, kütle ve ısı transfer kurallarının genel teorilerine dayanır ve uygulanmaları diğer modellere göre daha kompleks bir yapıdadır [25].

4.1 Kurutma Şartlarının Rehidrasyon Üzerine Etkisi

Farklı proseslerdeki taşınım olaylarında, gıdaların yapısal özelliklerinin ve proses materyallerinin çok geniş bir etkisi vardır. Kurutulmuş ürünlerin boyutu ve geometrisi, kimyasal bileşimi ve fiziksel durumu, nem içeriği, gözenek yapısı ve yoğunluğu rehidrasyon prosesini etkileyen özelliklerdir. Bu özellikler, kurutma öncesi ön işlemlerden, kurutma metotları ve şartlarından etkilenir. Özellikle porozite, rehidrasyon üzerinde etkili olan en önemli kavramdır. Suyun transferi kurutma, depolama ve rehidrasyon süresince devam eden bir prosestir ve sonuçta kalite üzerinde de etkileyici rolü vardır. Önemli olan suyun gözenekli gıda içerisinde naklidir. Kurutulmuş maddedeki porozite her ürün için farklıdır ve kurutma derecesiyle, büzülme etkisiyle ve çökme ile ilişkilidir [26, 27].

4.2 Rehidrasyon Şartları ve Proses Kinetiğine Etkileri

Rehidrasyon proses koşulları, sonuçta elde edilecek ürünün karakteristiği ve dolayısıyla kalitesi üzerinde oldukça etkilidir. Sıcaklık, kullanılan rehidrasyon sıvısının bileşimi (yoğunluk ve viskozite), çözünmeyen maddelerin yapısı ve karıştırma rejimi gibi proses parametreleri kontrol edilebilir. Literatürde yapılan çalışmalar sonucunda sıcaklık rehidrasyon işlemlerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek sıcaklıkta yapılan işlemlerde yüksek rehidrasyon oranlarına ulaşılmaktadır. Sıcaklığın rehidrasyon üzerindeki bu

etkisiyle ayrıca daldırılan ortamın viskozitesi ve ürünün yapısına olan etkisi de azalmaktadır. Rehidrasyon prosesini etkileyen faktörlerden biri de, rehidrasyon sıvısının hidrodinamik koşullarıdır. Rehidrasyon işlemi genellikle herhangi bir karıştırma veya çalkalama işlemi olmadan yapılır. Kuru ortama doğru gerçekleşen su veya herhangi bir sıvı taşınımı, kendiliğinden gerçekleşen bir akışla meydana gelir [25, 27].

4.3 Rehidrasyon Ölçümleri ve Matematiksel Modellemesi

4.3.1 Rehidrasyon Terimleri

Rehidrasyon proseslerinde elde edilen deneysel sonuçlar değişik şekillerde ve farklı isimlerle ifade edilmişlerdir. Ancak, kuru gıdanın rehidrasyon oranı (RR) en yaygın olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$RR = \frac{W_t - W_0}{W_\infty - W_0} \tag{4.1}$$

Burada; W_t, t zamanındaki su içeriği; W_0, başlangıçtaki su içeriği ve W∞ ve t=∞'da iken maddedeki su içeriğidir [24, 25]. Rehidrasyon oranı zaman zaman rehidrasyon kabiliyeti olarak da ifade edilir.

Lewicki [24], kurutulmuş gıdaların rehidrasyon karakteristiklerini tanımlamak için üç adet terimden bahsetmiştir. Bunlar; su absorbsiyon kapasitesi (WAC), kuru madde tutma kapasitesi (DHC) ve rehidrasyon kabiliyeti (RA)'dır. Su absorbsiyon kapasitesi, materyalin kurutmada kaybedilen suya karşılık olarak absorplayabileceği su oranını; kuru madde tutma kapasitesi ise materyalin rehidrasyon sonrasında çözünen katı madde tutma kabiliyetini belirtir. Rehidrasyon kabiliyeti ise, kurutulmuş ürünün rehidrasyon eğilimini ifade eder ve kurutmayla materyalde meydana gelen hasarı gösterir.

4.3.2 Matematiksel modelleme

Farklı matematiksel modellerin kullanımı, proses karakteristiğinin yorumlanmasına olanak sağlar. Difüzyon modeli ve diğer ampirik modellemeler, rehidrasyon prosesini tanımlamak için açıklanmıştır.

4.3.2.1 Difüzyon modeli

Difüzyon modeli, fiziksel ve ampirik yaklaşımların bir kombinasyonudur ve birinci ve ikinci Fick yasasına dayandırılmıştır.

$$J_x = D_{eff} \frac{dW}{dx} \tag{4.2}$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial W}{\partial x^2} \tag{4.3}$$

Burada J_x, akış (kg su/m^2s); W, nem içeriği (kg su/m^3); x, uzaysal koordinat (m); t, zaman (dak) ve D_{eff}, suyun etkin difüzyon katsayısı (m^2/s) dır. $D_{eff,}$ 2. Fick yasasından çıkarılmıştır ve prosesin gerektirdiği tüm değerleri karşılamaktadır [24].

4.3.2.2 Ampirik ve yarı-ampirik model

Yaygın olarak kullanılan altı model vardır. Bunlar; Eksponensiyel model, Peleg modeli, First-order kinetik model, Becker modeli, Weibull fonksiyonu ve normalize Weibull modelidir [25].

Bu modellerden Weibull fonksiyonu, kurutulmuş gıdaların rehidrasyonunu tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüm bu ampirik modeller, temel eğrileri vermekte ve prosesin fiziksel özellikleri ve ortalama rehidrasyon koşullarının bir fonksiyonu olarak sunulmasına olanak sağlamaktadır. Yaygın olarak kullanılan ampirik modelleme denklikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Yaygın olarak kullanılan ampirik modeller [25]

Model	**Formül**
Eksponensiyel	$\frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-P_1 t^{P_2})$
Peleg	$M_t = M_0 + \frac{t}{(P_3 + P_4 t)}$
First-order Kinetik	$\frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-P_5 t)$
Becker	$M_t - M_0 = \Delta M_0 + \frac{2}{\sqrt{\pi}}(M_s - M_o)(S/V)\sqrt{D_{eff}}\sqrt{t}$
Weibull	$\frac{M_t}{M_e} = 1 - \exp[-(\frac{t}{\alpha})^{\beta}]$
Normalize Weibull	$\frac{M_t - M_0}{M_e - M_0} = 1 - \exp[-(\frac{tD_{eff}R_g}{L^2})^{\beta}]$

4.4 Rehidrasyon ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar

Doymaz ve İsmail [26], yeşil dolmalık biberin kurutma ve rehidrasyon davranışlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada yeşil dolmalık biberler konveksiyonel kurutucuda kurutulmuşlardır. Uygulama 55, 65 ve 75°C olmak üzere üç farklı kurutma sıcaklığında gerçekleştirilmiş ve kontrol numuneleri ile etil oleat çözeltisiyle ön işlem uygulanmış numuneler kıyaslanmıştır. Ön işlem uygulanan numuneler, kontrol numunelerine göre daha kısa sürede kurumuşlardır. Kurutma sıcaklığının artmasıyla, kurutma süresinde azalma görülmüştür. Ayrıca, ön işlem uygulanan numunelerin rehidrasyon oranı da kontrol numunelerine göre daha yüksek değer almışlardır. Yeşil dolmalık biberlerdeki nem transferi Fick difüzyon modeliyle tanımlanmış ve etkin difüzyon katsayısı (D_{eff}) hesaplanmıştır. Ön işlemli numuneler ve kontrol numunelerinin D_{eff} değerleri 0,705 ile 2,618x10^{-9} m^2/dak aralığında sonuç vermiştir. Aktivasyon enerjisi değerleri de 41,67-52,99 kJ/mol aralığında kaydedilmiştir.

Abu-Ghannam vd. [27], İrlanda'da yetişen kahverengi su yosunun farklı sıcaklıklarda rehidrasyonunun (20, 40, 60, 80 ve 100°C) nem içeriği, antioksidan kapasitesi ve yapısal özelliği üzerinde etkisini incelemişlerdir. Taze ve kurutulmuş su yosununun nem içerikleri sırasıyla 4,07 ve 0,07 g su/g kurumadde olarak belirtilmiş ve buradan da su içeriğinde %98,1'lik bir azalma olduğu görülmüştür. Rehidrasyon eğrilerinden yola çıkarak sıcaklık artışının rehidrasyon süresini kısalttığı sonucuna varmışlardır. 100°C'de yapılan rehidrasyonda denge nemine ulaşımı 40 dakika gibi kısa bir sürede gerçekleşmiştir. Weibull, Peleg, First-order ve Eksponensiyel model denklikleri deneysel verilere uygulanmış ve Peleg, First-order ve Eksponensiyel modeller için aktivasyon enerjileri sırasıyla 4,03, 4,28 ve 3,90 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Moreira vd. [28], havayla kurutulmuş dikdörtgen prizma şeklindeki (10x10x15 mm) kestanelerin rehidrasyon süresince su absorbsiyonu, yapı ve renk kinetiğini incelemişlerdir. Periyodik aralıklarla suya daldırmak suretiyle gerçekleştirilen ve toplamda 180 dakika süren rehidrasyon işlemi için 25, 45, 70 ve 100°C olmak üzere dört farklı sıcaklık uygulaması yapılmış ve sonuçta ulaşılan nem içerikleri sırasıyla 0,15, 0,24, 0,33 ve 0,66 kg su / kg kuru madde olarak kaydedilmiştir. Peleg modeli deneysel verilere uygulanarak rehidrasyon kinetiği modellenmiş ve 2. dereceden kinetik modelden yararlanılarak da yapı kinetiği tanımlanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, renk korunumu için düşük sıcaklıkta gerçekleştirilen rehidrasyon daha elverişlidir. Rehidrasyon sonrası numunelerin, taze numunelere göre daha koyu renkte ve yumuşak olduğunu gözlemlenmiştir.

Saguy vd. [29], kurutulmuş gözenekli gıdaların rehidrasyon süresince su emme kabiliyetleri üzerinde çalışmışlardır. Dondurularak kurutulmuş havuçların materyal olarak kullanıldığı bu çalışmada, havuç numunelerindeki şişme gözlemlenmiş ve ölçülmüştür. Tek boyutlu yanal genleşme hızı, birinci dereceden iki adet bağımsız kinetik prosesle modellenmiştir. Sonuç olarak, kurutulmuş gıdaların geçirgen kompozit madde olarak değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir.

Vega-Gálvez vd. [30], Aloe Veranın rehidrasyonu süresince meydana gelen kütle transferinin modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Bunun için, 60°C'de kurutulmuş Aloe Vera dilimleri 20, 40 ve 60°C'lik farklı sıcaklıklarda rehidre edilmiş ve rehidrasyon

süresince sıcaklığın kütle transfer kinetiği üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Rehidrasyon modellemesi için Fick, Peleg ve Weibull modellerinin yanı sıra bir de kendi önerdikleri bir modelden de yararlanmışlardır. Arrhenius denkliğine bağlı olarak, bütün modellemelere ait kinetik parametreler sıcaklıkla pozitif bir bağımlılık göstermişlerdir. Önerilen model ve Weibull modeli, rehidrasyon eğrileriyle en uygun sonuçları vermiştir.

Özbek vd. [31], kurutma şartlarının mikrodalgayla kurutulmuş ıspanağın rehidrasyonu üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca farklı rehidrasyon sıcaklıklarının rehidrasyon kinetiği üzerine etkilerini de incelemişler ve elde ettikleri deneysel verileri Peleg ve Weibull modellerine uygulayarak kinetik parametrelere ulaşmışlardır. Peleg modelindeki kinetik hız sabiti ve mikrodalga çıkış gücü oranı arasındaki ilişki incelenmiş ve eksponensiyel denkliklere ulaşılmıştır. Ayrıca, rehidrasyon kinetiğine ait aktivasyon enerjisi, Arrhenius denkliği kullanılarak 23,84 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Martínez-Monzó vd. [32], havayla kurutulmuş mantar başlıklarını, konvansiyonel ve vakum tekniklerini kullanarak farklı sıcaklıklarda (30, 40, 50 ve 80°C) ve sürelerde (1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 120, 150 ve 210 dakika) rehidre etmişlerdir. Rehidrasyon prosesini modellemek için birinci dereceden kinetik, Peleg ve Weibull modellerinden yararlanmışlardır. Sıcaklık ve basıncın mantar başlıkları üzerindeki etkisini saptamak için, rehidre olmuş numunelerin yapısal özellikleri incelenmiştir. 80°C'deki rehidrasyonda, rehidrasyon kapasitesinde kayıp meydana gelmiş ve bu durum yapısal bozulmayla ve havayla kurutma esnasında hücrelerde meydana gelen büzülme etkisiyle ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak, kurutulmuş mantar başlıklarının vakum rehidrasyonunun, konvansiyonel rehidrasyondan daha uygun bir alternatif ve düşük emilim zamanı gerektiren bir proses olduğunu belirtmişlerdir.

Rastogi vd. [33], osmotik ön işlem uygulanarak kurutulmuş soğanların rehidrasyon karakteristiğini incelemişlerdir. 25-65°C aralığında rehidrasyon uygulamışlar ve ön işlem uygulanmamış kontrol numunesiyle kıyaslama yapmışlardır. Fick difüzyon yasası dikkate alınarak, su ve çözünen madde için efektif difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Osmotik ön işlem uygulanması sonucunda, rehidrasyon esnasında suyun difüzyon katsayısında azalma, çözüneninkinde ise artma olmuştur. Suyun difüzyon katsayısındaki

azalma, osmotik işlemler nedeniyle beliren büzülme etkisiyle ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, çözünenin difüzyon katsayısındaki artış da osmotik ön işlem uygulanan numunelerin rehidrasyonunda daha yüksek oranda gözlemlenmiştir.

Agnieszka vd. [34], osmotik ön işlem uygulanan dondurarak kurutulmuş çileklerin rehidrasyon ve sorpsiyon karakteristiği üzerine çalışmışlardır. Çalışmanın amacı, osmotik dehidrasyon ve osmotik çözelti çeşidinin dondurarak kurutulmuş çileklerin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini gözlemlemektir. Donmuş Senga-Sengana çilekleri osmotik çözeltide (su aktivitesi 0,9 olan sükroz, glikoz çözeltisi ve nişasta şurubu) dehidre edilmişlerdir. Dehidre edilmiş meyveler 30°C'de 24 saatte kurutulmuşlardır. Dondurarak kurutulmuş çileklerin rehidrasyon, sorbsiyon izotermleri ve adsorbsiyon hızları incelenmiştir. Sükroz ve glikoz çözeltilerinde dehidre edilmiş kuru çileklerin rehidrasyon kapasitesinde ve adsorbsiyon hızlarında düşüş gözlenmiştir. Glikoz çözeltisiyle osmotik dehidrasyonda elde edilen sorbsiyon izotermleri, sükroz çözeltisi ve nişasta şurubuna kıyasla daha yatay bir seyir göstermişlerdir.

Lewicki [35], kurutulmuş bazı gıdaların rehidrasyonu üzerinde çalışmıştır. Rehidrasyon kabiliyetini hesaplayabilmek için yeni bir metot geliştirmek istemiştir. Rehidrasyon kabiliyetinin, kurutulmuş maddenin su absorblama kabiliyetine ve çözünür maddelerin matriks içerisinde tutulmasına dayandığını ifade etmiştir. Kurutulmuş patates, elma ve maydanoz kökünün rehidrasyon özelliklerini, literatür çalışmaları ve geliştirdiği yeni metot yoluyla tanımlamıştır. Kuru madde kaybı, rehidrasyon kapasitesi gibi kavramlarla rehidrasyonu formüllendirmiştir.

Marques vd. [36], dondurarak kurutulmuş ananas, mango, guava, acerola ve papayanın rehidrasyon davranışını incelemişlerdir. Vakum şartlarında (13 kPa) ve -30°C'lik ilk sıcaklığında gerçekleştirilen dondurarak kurutma işlemlerinden sonra meyveler, 6 saat boyunca 25°C'deki distile su içerisinde rehidre edilmişlerdir. Lineer olmayan regresyon analizi kullanılarak, eksponensiyel, Peleg ve Weibull denklemleri deneysel verilere uygulanmıştır. Sonuç olarak Weibull denkliği rehidrasyon kinetiğini tanımlamada bütün meyveler için en yüksek kararlılık sabiti (R^2) değerini ve en düşük standart sapma (SEE) ve yüzde sapma (MRD) değerlerini verdiğinden, en uygun model olarak saptanmıştır. Absorbe edilen su miktarı ve eriyik madde kaybı miktarını hesaplayarak, dondurarak

kurutulmuş tüm meyveler için rehidrasyon karakteristiğinin tam olarak incelenmesini mümkün kılmışlardır. Meyvelerin su tutma kapasitesinin, yalnızca kurutma esnasında meydana gelen incinmelerden değil, ayrıca rehidrasyon prosesinin sebep olduğu yapısal çökmelerden de etkilendiğini belirterek camsı geçiş olarak adlandırdıkları bir kavramdan bahsetmişlerdir. Camsı geçiş sıcaklığı, maddenin camsı özelliğini kaybedip viskoz özellikler kazanmaya başladığı sıcaklıktır ve erime sıcaklığından düşüktür.

Lewicki vd. [37], kurutulmuş elmaların rehidrasyonu boyunca yapılarında meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir. Bu inceleme, kurutulmuş elma küplerinin yüksekliklerinin düzenli ölçümlerle gözlemlenmesi şeklinde yapılmıştır. Rehidrasyonun ilk basamaklarında yüksekliğin azaldığı ve minimuma ulaşıldıktan sonra da kübün şişmeye başladığı gözlemlenmiştir. Bu da göstermiştir ki, elmaların kurutulma işleminin son basamaklarında amorf yapıda bir matriks oluşumu vardır. Rehidre olan su, bu camsı matriksi sündürür ve bu esnada yapısal çökme gözlemlenir.

Gou vd. [38], kurutulmuş etin 5 ve 15°C'deki rehidrasyon kinetiğini Peleg ve Weibull modellerini kullanarak incelemişlerdir. Kurutulmuş numunelerin yüzey yapısı elektron mikroskopisiyle analiz edilmiş ve rehidrasyon kinetiğiyle ilişkilendirilmiştir. Dengedeki su içeriği sıcaklıkla azalmış ve NaCl oranı ile artmış ancak; ilk durumdaki su içeriğinden etkilenmemiştir. Başlangıçtaki rehidrasyon hızı su içeriğiyle azalmıştır ve 5°C'de 15°C'dekinden daha yüksek sonuç vermiştir; ancak bunun da NaCl içeriğiyle bağlantılı olmadığı belirtilmiştir. Çalışmaya göre dengedeki su içeriği sıcaklıkla ters ve NaCl içeriğiyle doğru orantılı olarak etki verse de, başlangıçtaki su içeriğiyle alakalı değildir. Kurutmanın yüksek basamaklara kadar gerçekleştirilmesinin, daha zarar görmüş ve gözenekli bir yapıya sebebiyet verdiğini ve bu yapının da rehidrasyon prosesini hızlandırmada etkili olabileceğini belirtmişlerdir.

Vega-Gálvez vd. [39], 50 ve 80°C arasındaki dört hava sıcaklığında kurutulmuş kırmızı dolmalık biberleri 30°C'de rehidre etmişlerdir. Çalışmanın amacı, hava kurutma sıcaklığının kalite üzerindeki etkisini ve rehidre olmuş ürünün mikroyapısal özelliğini incelemektir. Ayrıca, kurutma prosesi üzerinde ön işlemin etkilerini gözlemlemek için 70°C'deki kurutmadan önce örnekler NaCl, $CaCl_2$ ve $Na_2S_2O_5$ içeren farklı çözeltilere daldırılmışlardır. Rehidrasyon prosesinin sonucunda rehidrasyon oranı, su tutma

kapasitesi, renk, C vitamini içeriği ve sertlik gibi bir takım kalite parametreleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak, en yüksek kalitede ürünün kurutmadan önce ön işlem uygulanan numunelerden elde edildiği gözlemlenmiştir. Rehidre olmuş biber numunelerinin mikroskobik incelenmesi sonucunda, hücresel yapı bozunmalarının ön işlem uygulanarak minimize edilebildiğini ve C vitamini tutma, renk, sertlik gibi özellikler açısından nispeten daha iyi sonuçlara ulaşıldığını belirtmişlerdir.

Krokida vd. [40], kurutulmuş ürünlerin rehidrasyonu üzerinde çalışmışlardır. Kurutulmuş çeşitli meyve ve sebzelerin (domates, elma, patates, havuç, muz, biber, mantar, soğan, sarımsak, şeftali, mısır, pırasa ve bal kabağı) farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen rehidrasyon işlemleri süresince rehidrasyon kinetikleri incelenmiştir. Numuneler 70°C'deki hava kurutucuda %10 nem içeriğine dek kurutulmuşlar ve 40, 60, 80°C'deki su banyolarında rehidre edilmişlerdir. Prosesin modellenmesi için birinci dereceden kinetik model denkliklerinden yararlanmışlardır. Sonuç olarak, sıcaklık artışının rehidrasyon hızını ve rehidre ürünün denge nemi içeriğini artırdığını belirtmişlerdir.

Allaf vd. [41], ürünün kurutma ve rehidrasyon prosesi boyunca davranışlarını kıyaslayabilmek amacıyla yeşil Moroccan biberine farklı kurutma metotları (sıcak havayla ve dondurarak kurutma) uygulamışlardır. Ayrıca, kurutma ve rehidrasyon işlemleri esnasında suyun efektif difüzyon katsayısını da hesaplamışlardır. Kurutulmuş biberlerin su tutma kapasiteleri de hesaplanarak, dondurarak kurutma ve sıcak havayla kurutma prosesleri arasında kıyaslama yapılmıştır. Proseslerdeki bağımlı parametreler kurutma ve rehidrasyonun başlama yatkınlığı W_s (g su/g kurumadde), efektif difüzyon katsayısı D_{eff} (m^2/s) ve kurutma zamanı t_d (dakika) olarak belirtilmiştir. Sıcak havayla kurutma ile kıyaslandığında, düşük basınçta gerçekleştirilen ön işlemle prosesin başlama yatkınlığı ve suyun etkin difüzyon katsayısında artış gözlemlenmiştir.

Balasublamanian vd. [42], farklı kurutma sıcaklıklarının kurutma prosesine etkilerini incelemişlerdir. Bunun için asma yaprakları 50, 60 ve 70°C'lerde tünel kurutucu ve kabin kurutucuda kurutulmuşlardır. Kabin kurutucudan elde edilen ürünün renk değerleri, tünel kurutucudan elde edilen ürüne göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Çalışmada on bir kurutma modeli deneysel verilere uygulanarak karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, en iyi renk kalitesinin 60°C'de tünel kurutucuda ve 50°C'de de kabin kurutucuda elde edildiği ve ürün için en uygun rehidrasyon sıcaklığının da 40°C olduğu belirtilmiştir.

Bobic vd. [43], sebze parçalarının akışkan yataklı kurutucuda kurutulması üzerinde çalışmışlardır. Bunun için farklı boyutlarda patates, havuç, maydanoz kökü ve kereviz kökü numuneleri kullanılmıştır. Başlangıçtaki su içerikleri patates için %78, maydanoz kökü için %85,1, kereviz kökü için %93,6 ve havuç için %88,6 olarak kaydedilmiştir. Akışkanlaştırma işlemi 60-100°C arasında, nem içeriği %6-10 oranında ve rehidrasyona en uygun yapıda olacak şekilde yapılmıştır. Deneysel veriler ışığında yapılan hesaplamalar göstermiştir ki sebzeleri akışkan yataklı proseste kurutmak, daha kısa sürede daha kaliteli ürün elde etmek için yaygın olarak kullanılan diğer yöntemlerden daha elverişlidir.

Kumar vd. [44], rehidrasyon kinetiğinin Peleg modeli kullanılarak tanımlanması üzerinde çalışmışlardır. Nem sorpsiyon kapasitesi, başlangıçtaki nem kaldırma oranı, denge nemi konsantrasyonu ve kinetik hız sabiti değerlerini öncelikle ikinci dereceden kinetik denklem ile hesaplamışlardır. Daha sonra da kinetik sabiti ve başlangıçtaki reaksiyon oranını Peleg rehidrasyon modelini kullanarak hesaplamışlar ve elde edilen sonuçları ikinci dereceden kinetik denkleme göre kıyaslamışlardır.

Planinic vd. [45], Peleg modelini kullanarak havucun kurutma ve rehidrasyon kinetiğini incelemişlerdir. Havuçlar akışkan yataklı ve halojen kurutucuda kurutulmuş ve daha sonra da oda sıcaklığındaki suya daldırılmıştır. Tüm kurutuculardaki deneyler için Peleg modeli uygun sonuçlar vermiştir. Kurutma prosesi boyunca Peleg hız sabiti (K_1) sıcaklıktan etkilenmiştir. Kurutma sıcaklığı artıkça, K_1 değeri azalmıştır. Ayrıca her iki rehidrasyon sabiti olan K_1 ve K_2 değerleriyse sıcaklık artışıyla doğru orantı sergilemiştir. Başlangıçtaki rehidrasyon oranı değeri ve su kaldırma oranı da, kurutma sıcaklığı artıkça azalmıştır.

Russo vd. [46], kurutulmuş ve rehidre edilmiş patlıcanların fiziksel özellikleri üzerinde kurutma sıcaklığının etkisini incelemişlerdir. Kurutma prosesi genellikle gıdada hacimsel ve yüzeysel değişikliğe sebep olur. Bu çalışmada, dört farklı sıcaklıkta (40, 50, 60 ve 70°C) havayla konvektif kurutma işlemi yapılmıştır. Ayrıca kurutma ve rehidrasyon

eğrileri de incelenmiştir. Porozite ve gözenek boyutu gibi fiziksel özellikler ve dokusal değişiklikler gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, kurutma sıcaklığının artması ile kurutma süresinde azalma meydana geldiği ifade edilmiştir. Porozite, hava sıcaklığıyla artış göstermiş ancak en uygun yapısal sonuç 60°C'de elde edilmiştir. 70°C'de elde edilen numunelerse, rehidrasyon prosesinin en kısa sürede gerçekleştiği numuneler olarak belirtilmiştir.

Sanjuán vd. [47], brokoli çiçekçiklerinin rehidrasyon prosesinin modellenmesi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmanın amacı, numunelerin farklı sıcaklıklardaki rehidrasyonunun kinetiğinin incelenmesidir. Sıcaklık artışıyla birlikte rehidrasyon oranı da artmıştır. Denge nemi içeriğiyse sıcaklıktaki artışla lineer bir azalma göstermiştir. Her sıcaklık için difüzyon katsayısı ve denge nemi içeriği hesaplanmıştır. D_{eff} üzerinde sıcaklığın etkisi, Arrhenius ilişkisiyle tanımlanmış ve aktivasyon enerjisi 89,73 kJ/mol olarak kaydedilmiştir.

Tortoe vd. [48], haşlama ve osmotik ön işlem uygulamalarının kurutma kinetiği, büzülme etkisi ve rehidrasyon kinetiği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bal kabağı numuneleri konvektif kurutma metoduyla kurutulmuştur. Sonuç olarak, kurutma prosesini tanımlamada kullanılacak en uygun modelin Henderson ve Pabis olduğu saptanmıştır. Etkin difüzyon katsayısı 1,09–1,30x10^{-8} m^2/s aralığında değerler alacak şekilde hesaplanmış ve 270 dakika süren rehidrasyon prosesi süresince hesaplanan en düşük rehidrasyon oranları osmotik ön işlemli numunelerde, en yüksek rehidrasyon oranları ise haşlama yapılmış numunelerde gözlemlenmiştir.

Vega-Gálvez vd. [49], proses sıcaklığının rehidrasyon kapasitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. 60°C'de sıcak havayla kurutulmuş papaya dilimleri 20, 40, 60 ve 80 °C'lerde rehidre edilmiştir. Deneysel rehidrasyon eğrileri, difüzif ve ampirik modellere deneysel veriler uygulanarak elde edilmişlerdir. Tüm parametreler, sıcaklığa bağımlı davranış göstermişlerdir. Arrhenius denkliğinden yola çıkarak aktivasyon enerjilerini hesaplamışlardır. Uygulanan modellerden verilere en uygun olanının Weibull modeli olduğu saptanmıştır. Ayrıca, rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi analiz edilmiş ve her iki değer de rehidrasyon sıcaklığının artmasıyla azalma göstermiştir. Bunun sebebi

olarak da çok yüksek sıcaklık uygulamasının, papaya dilimlerinin hücre yapısında meydana getirdiği deformasyonlar gösterilmiştir.

Vega-Gálvez vd. [50], kurutma sıcaklığının siyah üzümlerin rehidrasyon özellikleri ve yapısı üzerine etkisini incelemişlerdir. Kurutma işlemi, 50-90°C aralığında gerçekleştirilmiştir. Kurutma sıcaklığındaki artışın, kurutma hızını da doğrusal olarak etkilediği görülmüştür. Kurutulan siyah üzümlerin rehidrasyonu sonucu en düşük rehidrasyon oranı değerine 50 °C'de ulaşılmıştır.

Vergeldt vd. [51], dondurarak kurutulmuş havuçların rehidrasyon kinetiğini incelemişlerdir. Kurutma öncesinde numuneler, farklı sıcaklıklarda ön işlemlere maruz kalmışlardır. Haşlama yapılan numuneler, haşlama yapılmadan kurutulan numunelere göre daha hızlı rehidre olmuşlardır. Haşlama yapılmayan numunelerden de -28°C'de dondurulanlar, -150°C'de dondurulanlardan daha hızlı rehidre olmuşlardır.

Wallach vd. [52], gözenekli gıda materyallerinin rehidrasyon modellemesi üzerinde çalışmışlardır. Karakteristik sorpsiyon izotermlerinin saptanabilmesi için materyallerin suyla temas ve dengeye gelme süresinin geniş bir zaman dilimine yayılması gerektiğini ve böylelikle şişme ve fiziksel deformasyon gibi yapısal özelliklerin incelenebileceğini belirtmişlerdir. Örnek gıda materyallerinin rehidrasyonlarıyla kaydedilen ölçümleri kıyaslamışlar ve Richard denkliğiyle simüle etmişlerdir.

Saguy vd. [53], normalize Weibull denkliğiyle rehidrasyon modellemesi yapmışlardır. Weibull denkliğindeki şekil parametresi olan β'nın geometri ve su kaldırma kapasitesine göre değişik değerlerde olabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca Weibull modelinin difüzyon, dış direnç ve yumuşama proseslerini kıyaslamada kullanılabileceğini de ifade etmişlerdir.

Zhao vd. [54], kalamar filetolarına ısı pompasıyla, dondurarak ve sıcak havayla kurutma yöntemlerini uygulamışlardır. Bu kurutma metotlarının, protein yapısı, hücresel yapı ve fizikokimyasal özelliklere etkisini incelemişlerdir. Nükleer magnetik rezonans analizleri göstermiştir ki su, numunenin bulunduğu çevreden merkez bölgeye doğru yol almaktadır. Dondurarak kurutulmuş ürünlerin 60 dakikalık rehidrasyonu sonrasında ortamdaki nükleer manyetik sinyal şiddeti yüksek, merkezdeki nükleer manyetik sinyal şiddeti ise düşük olarak kaydedilmiştir. Ancak, ısı pompalı kurutma ve sıcak havayla

kurutma uygulanan numunelerde bu sinyal şiddetlerinin eş değerde olduğunu gözlemlemişlerdir. Sıcak havayla kurutmanın numunede sıkı bir yapı oluşmasına sebep olurken, dondurarak kurutmanın ise filetolarda daha gözenekli bir yapı oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Vega-Gálvez vd. [55], rehidrasyon sıcaklığının gıdadaki antioksidan kapasitesi ve elma dilimlerinin yapısal karakteristiği üzerine etkisini incelemişlerdir. 60°C'de kurutulmuş elma dilimleri 20, 40 ve 60°C'lerde rehidre edilmişlerdir. Difüzyon katsayısı proses sıcaklığıyla birlikte $1,36x10^{-9}$ m^2/s'den $2,37x10^{-9}$ m^2/s'ye yükselmiştir. Deneysel verilerle yapılan hesaplamalar, istatistiksel değerler ve khi-kare değerlerinin karşılaştırılması sonucunda Weibull modelinin en uygun model olduğunu saptamışlardır. Rehidrasyon boyunca numunede renk geri kazanımı olmamakla beraber, en uygun sonucun düşük sıcaklıkta alındığını ifade etmişlerdir. Rehidrasyon sıcaklığının artmasıyla birlikte rehidrasyon oranı da artmıştır. Sıcaklığın artışı ayrıca, camsı geçiş sıcaklığı ve sertlik değerlerinde de düşüşe sebep olmuştur. Yüksek rehidrasyon sıcaklıklarında antioksidan aktivitesinin yüksek olduğunu da ifade etmişlerdir.

BÖLÜM 5

MATERYAL ve YÖNTEM

Rehidrasyon deneylerinde kullanılan kurutulmuş dolmalık biber *(Capsicum annuum)* ve patlıcanlar *(Solanum melongena)*, Tekirdağ'da bir marketten temin edilmiş ve deneylerde kullanılana dek, oda sıcaklığında, nem almayacak şekilde muhafaza edilmiştir. Çözeltiler için gerekli tuz (sofra tuzu) ve şeker (sakkaroz) de İstanbul'da bir süpermarketten edinilmiştir.

5.1 Yöntemler

5.1.1 Rehidrasyon sistemi

Kurutulmuş dolmalık biber ve patlıcanın rehidrasyonu, J.P.SELECTA (Barselona, İspanya) firması yapımı etüv içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan bu etüvün genel görünümü Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Kurutulmuş dolmalık biber ve patlıcanın rehidrasyonunda kullanılan etüvün görünüşü

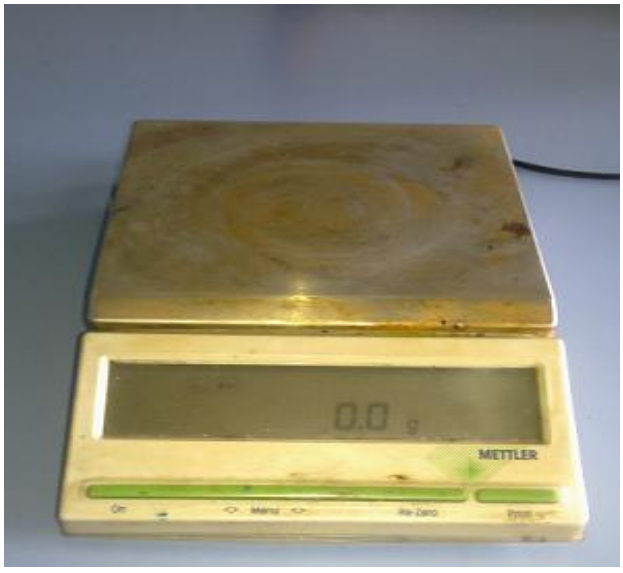
5.1.2 Nem tayini

Rehidrasyonu gerçekleştirilecek olan ürünlerin nem içeriklerinin tayini, etüvde kurutma yöntemiyle yapılmıştır. Bu yöntem, belli bir sıcaklık altında örnekteki suyun uçurulması ve ağırlık kaybından nem miktarının bulunması ilkesine dayanır. Örnekteki nem uçurulduktan sonra geriye kalan kurumaddedir. Darası önceden belirlenmiş ve sabit tartıma getirilmiş örnek kaplarında yaklaşık 3 gram dolayında tartılan örnekler 105°C'ye ayarlanmış etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur.

5.1.3 Rehidrasyon denemeleri

5.1.3.1 Kurutulmuş dolmalık biber ve patlıcanın rehidrasyonu

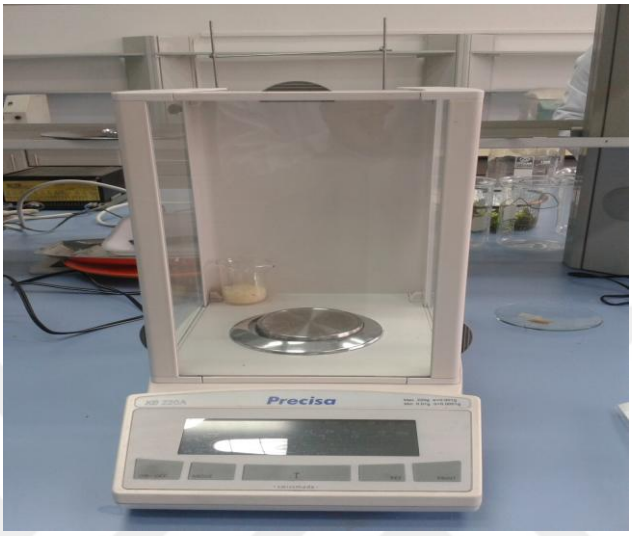
Rehidrasyon oranını, çözelti sıcaklığını veya derişimini değiştirerek artırıp azaltmak mümkündür. Bu amaçla, kurutulmuş dolmalık biber ve patlıcanların 25, 45, 65 ve 85°C'de, kontrol çözeltisi ve %1'lik (1:100) tuz ve şeker çözeltilerinde rehidrasyonu gerçekleştirilmiştir. Rehidrasyon denemeleri için kullanılacak çözeltiler, Şekil 5.2'de gösterilen Mettler marka (model BB3000, Grefensee, İsviçre) terazi ile ölçüm yapılarak hazırlanmıştır.



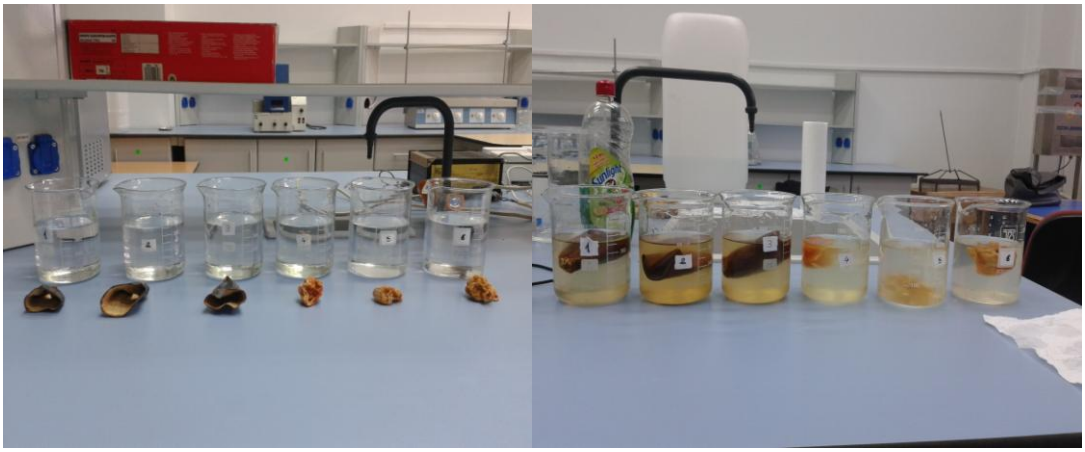
Şekil 5.2 Mettler marka terazinin genel görünüşü

Rehidrasyon denemelerinde kullanılan kurutulmuş dolmalık biber ve patlıcanlar, Şekil 5.3'te görülen Precisa (XB 220 A model, Precisa Instruments AG, Dietikon, İsviçre)

marka hassas terazide tartılmış ve sırasıyla numaralandırılmış kontrol, %1'lik tuz ve %1'lik şeker çözeltilerine daldırılarak etüve yerleştirilmiştir. Şekil 5.4'te gösterilen numuneler, her 30 dakikada bir çözeltiden çıkarılarak kuruma kağıdıyla kurutulup tartım alınmak suretiyle 6 saat boyunca rehidre edilmişlerdir. Deneyler iki kez tekrarlanmış ve kaydedilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.



Şekil 5.3 Precisa marka terazinin genel görünüşü



(a) (b)

Şekil 5.4 Kurutulmuş dolmalık biber ve patlıcanların (a) rehidrasyon öncesi ve (b) rehidrasyon sonrası görünümleri

5.1.3.2 Matematiksel modelleme

Yapılan çalışmanın rehidrasyon modellemesi için Peleg, Weibull, First-order ve Eksponensiyel modelleme denkliklerinden yararlanılmış, en uygun modelin saptanması için gerekli veriler kaydedilmiştir.

Peleg modelinde, nem sorpsiyon eğrilerini tarif etmek için iki parametre kullanılır:

$$x_t = x_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t} \tag{5.1}$$

Burada x_0 ilk durumdaki su içeriğini (kg su/kg kuru madde); x_t, t zamanında su içeriğini (kg su/kg kuru madde); k_1 ve k_2, Peleg hız ve kapasite sabitlerini ve t, zamanı (dak) ifade etmektedir [45].

Rehidrasyon modellemesinde yaygın olarak kullanılan bir diğer model Weibull'dur ve denkliği aşağıdaki gibidir:

$$x_t = x_e + (x_0 - x_e)\exp(-(\frac{t}{\beta})^{\alpha}) \tag{5.2}$$

Burada x_0, ilk durumdaki su içeriğini (kg su/kg kuru madde); x_t, t zamanında su içeriğini (kg su/kg kuru madde); x_e, denge durumundaki su içeriğini (kg su/kg kuru madde); α, başlangıçtaki su absorbsiyon hızıyla ilişkili şekil parametresini ve β, hız parametresini ifade etmektedir [45].

Rehidrasyon esnasında meydana gelen nem transferini tanımlayan First-order kinetik modeli aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$-\frac{dx}{dt} = k_r(x - x_e) \tag{5.3}$$

Denklemdeki x, rehidrasyon esnasında maddedeki nem içeriğini (kg su/kg kuru madde); x_e, rehidre olmuş materyalin denge nemi içeriğini (kg su/kg kuru madde); k_r, rehidrasyon oranını (dak^{-1}) ve t, rehidrasyon süresini (dak) ifade etmektedir. t=0'da X, kuru materyaldeki başlangıç nemi içeriğine eşit olmakta ve yukarıdaki denklemin integrali alındıktan sonra aşağıdaki şekli almaktadır:

$$x = x_e - (x_e - x_i)e^{-k_r t} \tag{5.4}$$

Rehidrasyon modellemesi için çalışmada kullanılan son model eksponensiyel denklemdir. Bunun için, deneysel veriler aşağıdaki denkleme uygulanmıştır:

$$x = x_e[1 - e^{(-kt)}] \quad (5.5)$$

Burada da x, rehidrasyon esnasında maddedeki nem içeriğini (kg su/kg kuru madde); x_e, rehidre olmuş materyalin denge nemi içeriğini (kg su/kg kuru madde); t, rehidrasyon süresini (dak) ve k, denklem sabitini ifade etmektedir [27].

5.1.3.3 Regresyon analizi

Regresyon analizlerinde Statistica (Statsoft Inc., OK, ABD) programı kullanılmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) kurutulmuş ürünlerin rehidrasyon eğrilerini tanımlayan denklemi seçmek için ana parametre olarak alınmış ayrıca; tahmini ve deneysel rehidrasyon oranı verilerinden yararlanılarak tahmini standart hatası (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerleri de aşağıdaki formüllerden yararlanılarak hesaplanmıştır:

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(RR_{exp} - RR_{pre}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.6)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(RR_{exp} - RR_{pre})^2}{N - z} \quad (5.7)$$

Burada, RR_{exp} deneysel rehidrasyon oranı; RR_{pre} tahmin edilen rehidrasyon oranı; N, yapılan ölçüm sayısı ve z, denklemdeki sabit sayısıdır [27].

Tahmini standart hata değeri (RMSE), ampirik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı gösterir ve değer sıfıra yaklaştıkça olumlu olarak tanımlanır. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren khi-kare değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir [42].

BÖLÜM 6

BULGULAR ve TARTIŞMA

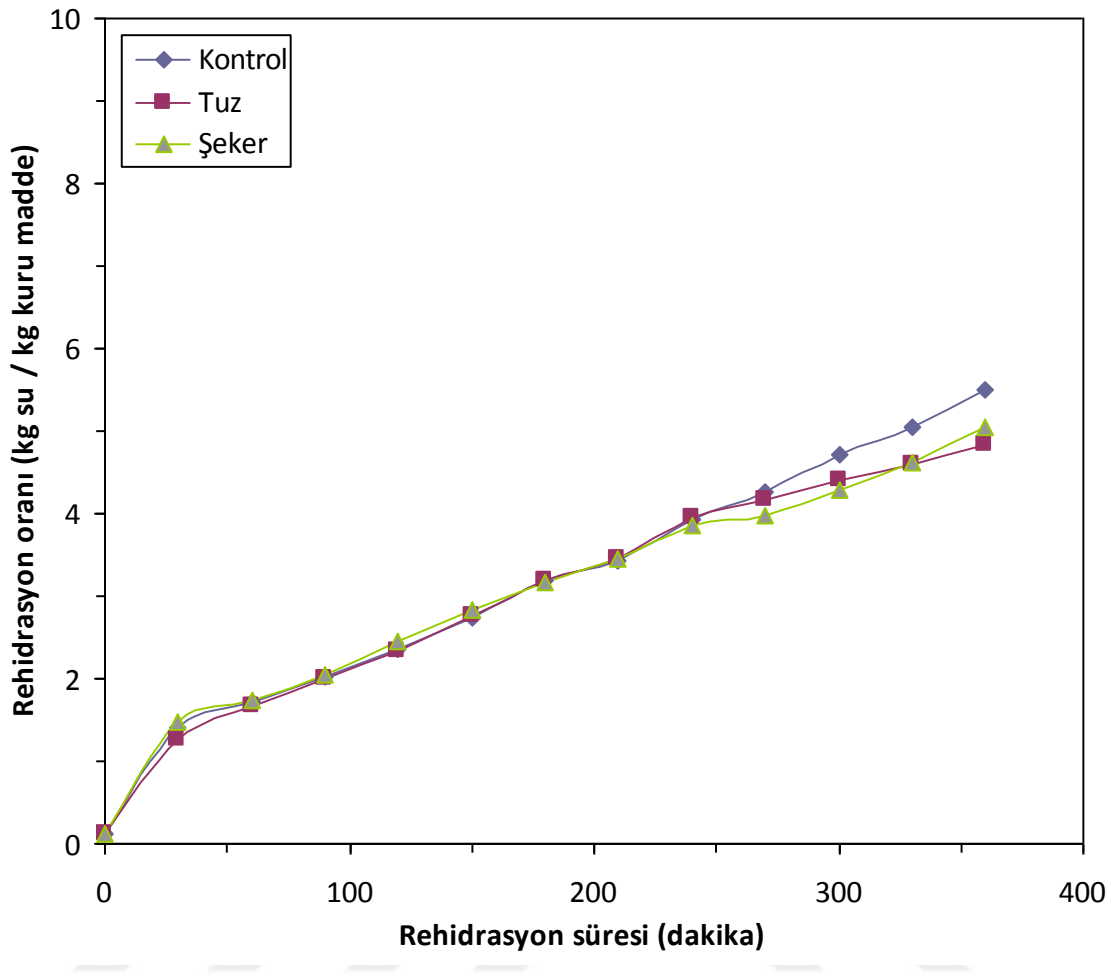
6.1 Dolmalık Biberin Rehidrasyonu

6.1.1 Ön işlemin rehidrasyon oranına etkisi

Deneylerde, dolmalık biberlerin rehidrasyon kinetiği 25, 45, 65 ve 85°C'lerde incelenmiştir. Kuru biberlerin nem içerikleri, nem tayini sonucunda %11 olarak belirlenmiştir. Rehidrasyona 6 saat boyunca devam edilmiş, bu süre diliminin sonunda proses sonlandırılmıştır. Rehidrasyon için saf su, %1'lik şeker (sakkaroz) ve %1'lik tuz (sofra tuzu) çözeltisi kullanılmıştır. Biberlerin rehidrasyon oranlarının rehidrasyon süresi ile değişimleri Şekil 6.1-6.7'de gösterilmiştir. Bu şekillerde görüldüğü gibi, örneklerin rehidrasyon oranı, rehidrasyon süresiyle birlikte artmaktadır.

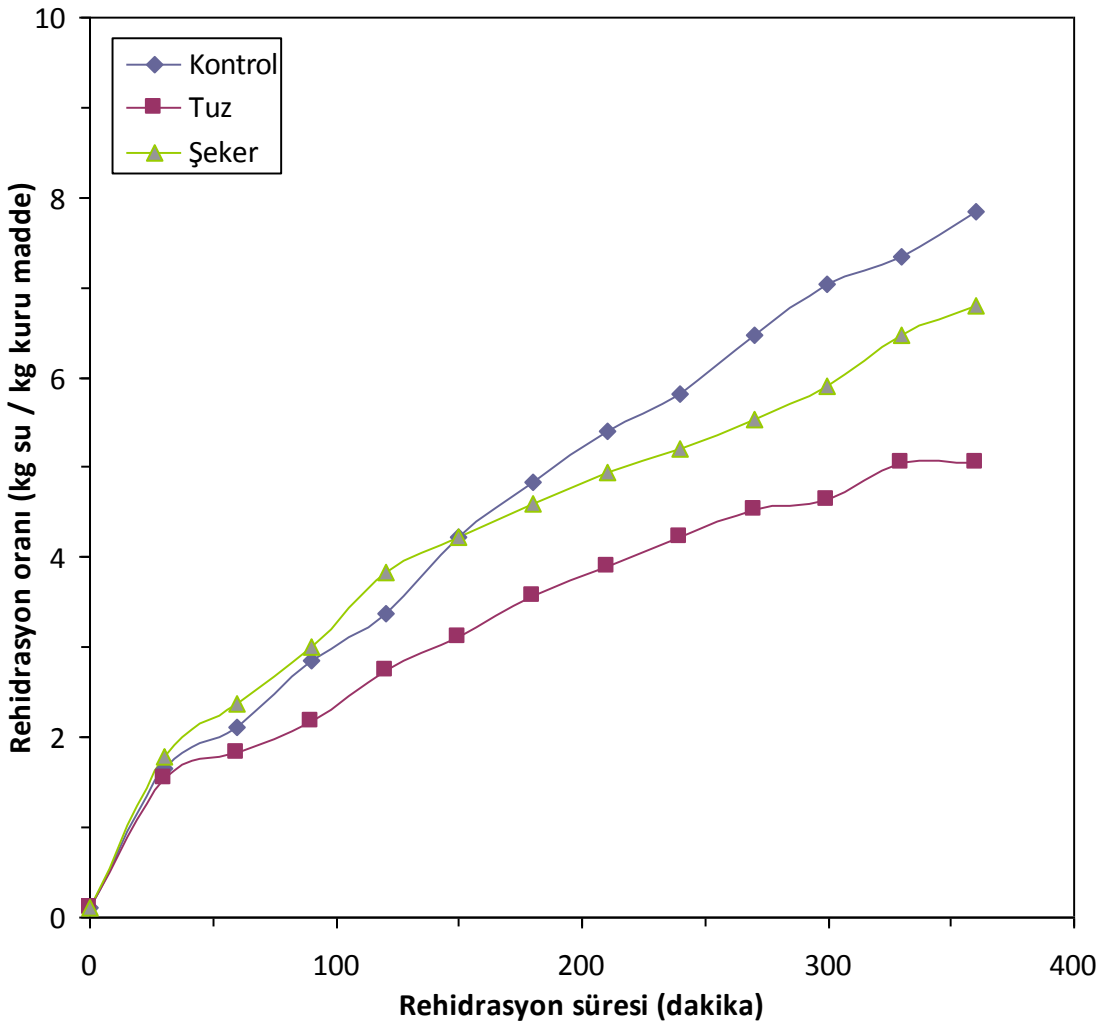
Ön işlemli ve ön işlemsiz olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilen rehidrasyon deneylerinde ön işlemin etkisini gözlemleyebilmek için rehidrasyon oranlarının zamana göre değişim eğrileri her bir sıcaklık için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 6.1-6.4'te görülmektedir.

Rehidrasyon, ön işlemler, kurutma metodu ve prosesi, fiziksel yapı ve kimyasal kompozisyon gibi parametrelerden etkilenen bir olgudur [46]. Viskoziteyi artırıcı etmenler ve ortamda katı partiküllerin varlığı, kuru sebzelerin rehidrasyon kinetiğini yavaşlatır. Lewicki [25], çözücü sıvının içerisindeki iyonik türlerin varlığının, kuru gıda moleküllerinin rehidre kabiliyetini azalttığını ifade etmiştir.



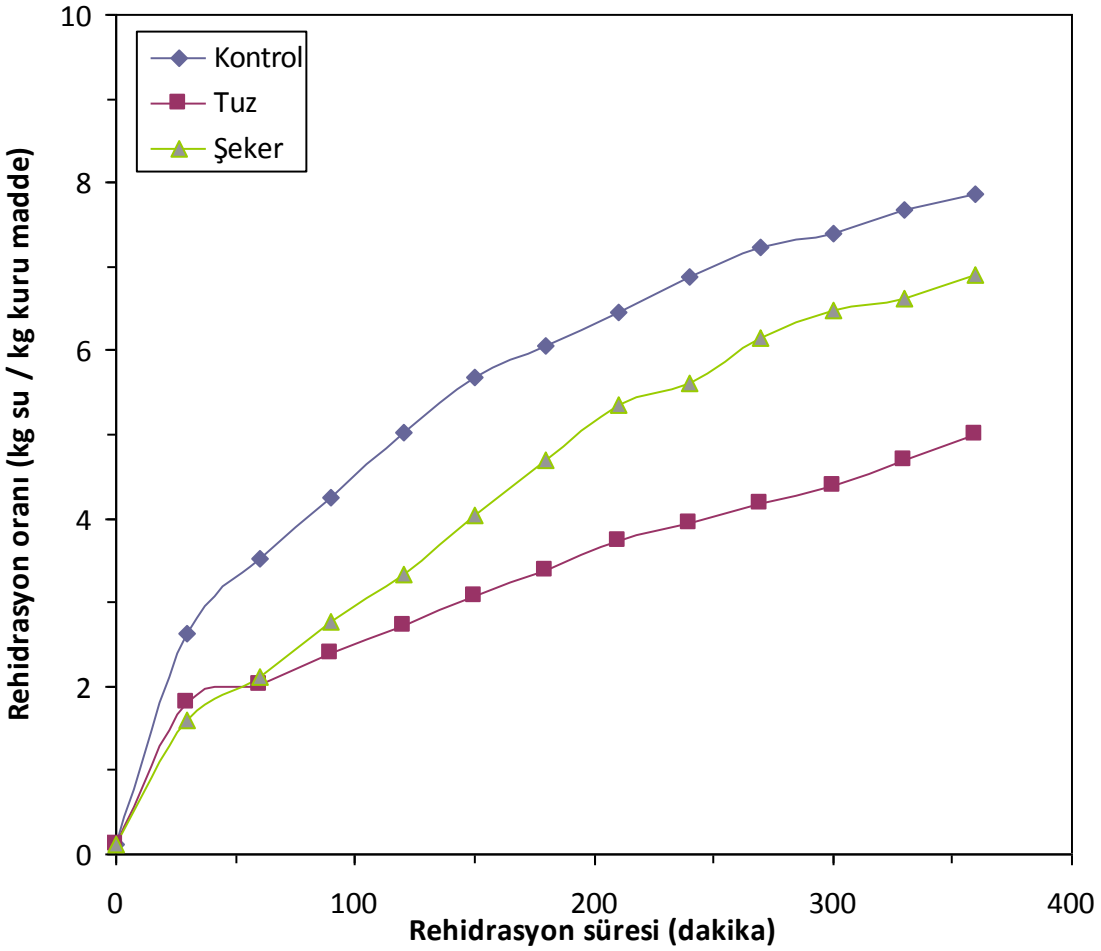
Şekil 6.1 Dolmalık biberin ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 25°C'de rehidrasyon eğrileri

Şekil 6.1'de görüleceği üzere, en yüksek rehidrasyon oranı seviyesine ön işlemsiz rehidrasyonda ulaşılmıştır. Bunu %1'lik şeker oranıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon ve daha sonra da %1'lik NaCl oranıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon verileri takip etmiştir. Her üç işlemde de rehidrasyon oranı ilk 30 dakika içerisinde hızlı bir artış gösterirken, daha sonra bir miktar yavaşlayarak 240. dakikaya kadar yakın değerlerde sonuçlar vermiş ve sonrasında tuz eğrisindeki artış daha da yavaşlamış ve en düşük rehidrasyon oranı değerine ulaşılmıştır.



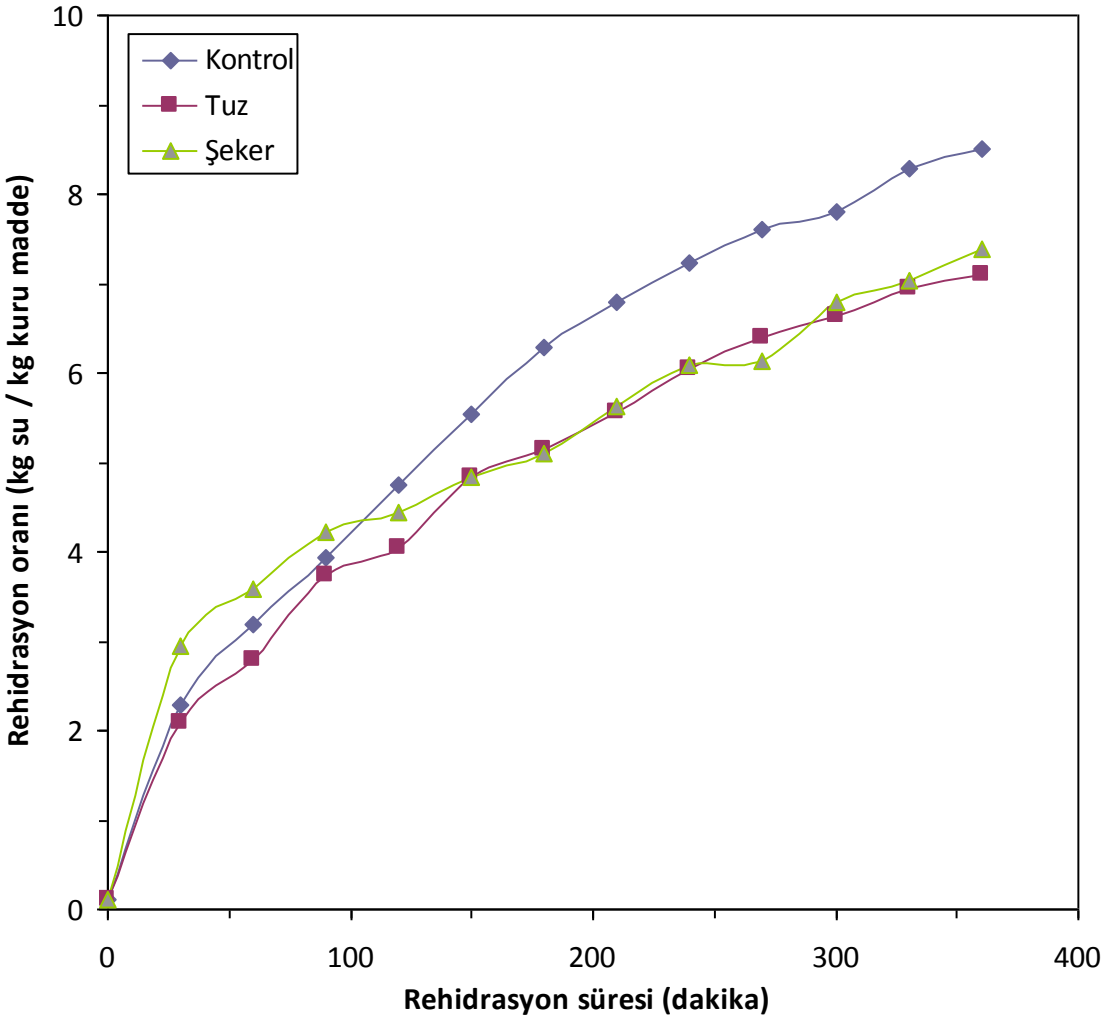
Şekil 6.2 Dolmalık biberin ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 45°C'de rehidrasyon eğrileri

Şekil 6.2'de de en yüksek rehidrasyon oranı seviyesine ön işlemsiz rehidrasyonda ulaşılmıştır. Bunu %1'lik şeker oranıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon ve daha sonra da %1'lik NaCl oranıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon verileri takip etmiştir. Her üç işlemde de rehidrasyon oranı ilk 30 dakika içerisinde hızlı bir artış göstermiş, sonrasında bu artış bir miktar yavaşlamıştır. 150. dakikaya kadar şeker eğrisinin rehidrasyon oranı en yüksek değerlerde seyretse de, bu dakikadan sonra ön işlemsiz rehidrasyon eğrisi daha yüksek hızda artış göstermiş ve en yüksek rehidrasyon oranı değerini vermiştir.



Şekil 6.3 Dolmalık biberin ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 65°C'de rehidrasyon eğrileri

Şekil 6.3'te de en yüksek rehidrasyon oranı seviyesine ön işlemsiz rehidrasyonda ulaşılmıştır. Bunu %1'lik şeker oranıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon ve daha sonra da %1'lik NaCl oranıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon verileri takip etmiştir. Her üç işlemde de rehidrasyon oranı ilk 30 dakika içerisinde hızlı bir artış göstermiş, sonrasında bu artış hızı bir miktar yavaşlamıştır. 360 dakikalık rehidrasyon işlemi süresince meydana gelen artış sonucunda, 65°C'deki eğrilerde de ön işlemsiz rehidrasyonda en yüksek rehidrasyon oranına ulaşıldığını göstermiştir.



Şekil 6.4 Dolmalık biberin ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 85°C'de rehidrasyon eğrileri

Şekil 6.4'te görüldüğü gibi, her üç işlem için rehidrasyon oranı ilk 30 dakika içerisinde hızlı bir artış göstermiş, sonrasında bu artış hızı bir miktar yavaşlamıştır. 150 ve 250. dakikalar arasında tuz ve şeker eğrileri yakın değerlerde seyretse de, 360 dakikalık rehidrasyon işlemi süresince meydana gelen artış sonucunda, 85°C'deki eğrilerde de ön işlemsiz rehidrasyonda en yüksek rehidrasyon oranına ulaşıldığı görülmüştür. Bunu sırasıyla şeker ve tuz ile ön işlem uygulanan rehidrasyon oranı değerleri takip etmiştir.

Şekil 6.1-6.4'te görülen rehidrasyon oranı eğrilerinde, en yüksek rehidrasyon oranına ön işlemsiz rehidrasyonda ve en düşük rehidrasyon oranına tuz çözeltisiyle ön işlemli rehidrasyonda ulaşılması, su aktivitesiyle ilişkilendirilebilir.

Su aktivitesi, bir gıdadaki suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı veya gıdaların atmosferden aldığı ya da verdiği suyun nispi nem

dengesinin 1/100'ü şeklinde tanımlanır ve 0 ile 1 arasında değişir. Saf suyun su aktivitesi değeri 1'dir. Suda çözünen madde miktarı artıkça su aktivitesi düşer. Hücreler serbest haldeki sudan faydalanabilirler. Sudaki çözünen madde miktarı artıkça serbest su miktarı azalır ve hücreler bu bağlı sudan faydalanamazlar [16].

İdeal çözeltilerdeki konsantrasyonla buhar basıncı arasındaki ilişki Raoult yasası ile tanımlanmaktadır. Bu yasaya göre çözücünün buhar basıncının bağıl olarak azalması katı maddenin mol fraksiyonuyla eşdeğerdir. P çözeltinin, P_0 da çözgenin buhar basıncı; n_1 katı maddenin ve n_2 çözgenin mol sayısı kabul edilirse Raoult yasası şu şekilde tanımlanmaktadır [56, 57]:

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \tag{6.1}$$

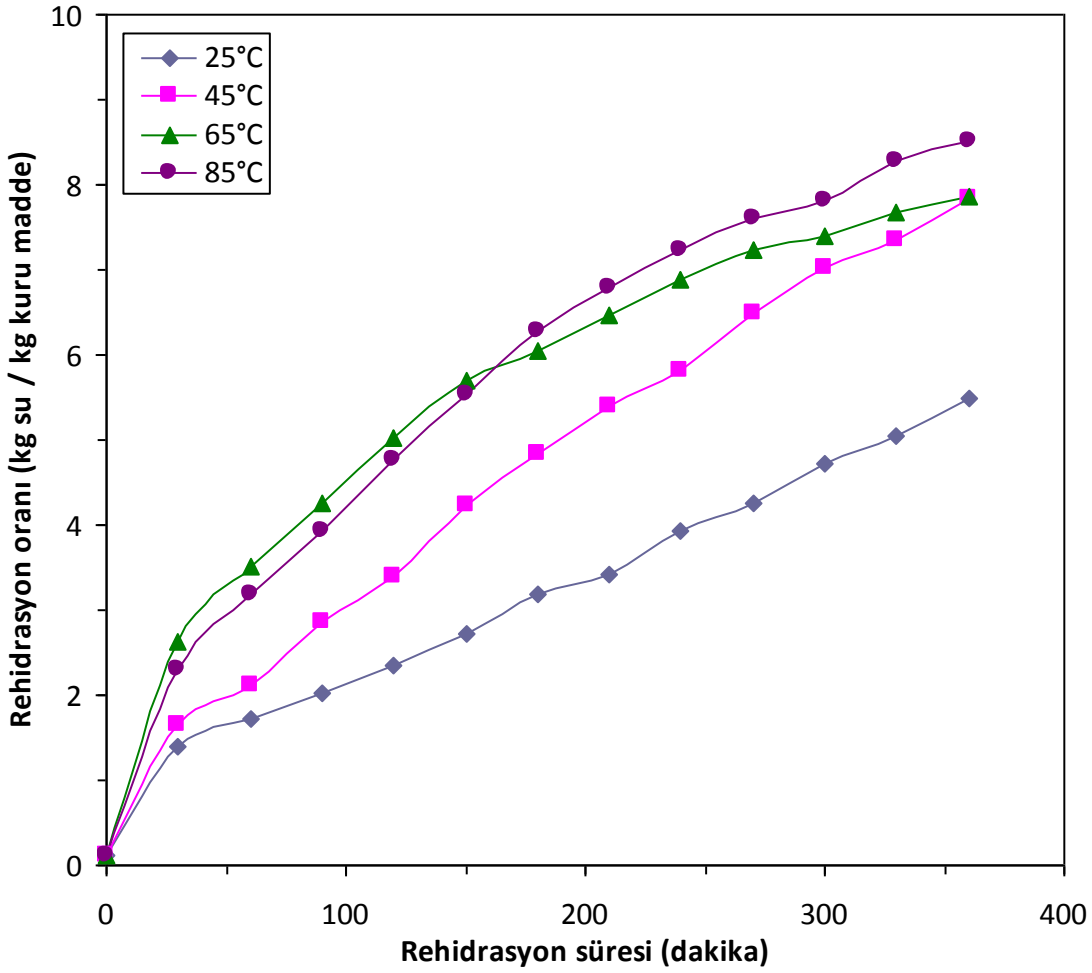
Bu bilgiler ışığında saf suyun, sakkarozun ve sofra tuzunun molar kütlelerinden yararlanılarak gerekli hesaplamalar yapıldığında, en yüksek su aktivitesinin saf suya ve en düşük su aktivitesinin de tuza ait olduğu görülür.

Agniezska vd. [34], çilekleri dondurarak kurutma öncesinde numunelere nişasta şurubu, sükroz ve glikoz çözeltileriyle ön işlem uygulayarak, ön işlemin rehidrasyon oranına etkisini incelemişler ve sonuç olarak en yüksek rehidrasyon oranına saf sudaki rehidrasyonda ulaşmışlardır. Bunu sırasıyla nişasta şurubu, sükroz çözeltisi ve glikoz çözeltisi takip etmiştir.

Tortoe vd. [48] bal kabağı numunelerine kurutma öncesinde haşlama ve tuzlu suyla ön işlem uygulayarak, ön işlemin rehidrasyon oranına etkisini incelemişler ve en yüksek rehidrasyon oranını haşlanmış numunelerde elde etmişlerdir. Bunu sırasıyla kontrol çözeltisi ve tuzlu su çözeltisi takip etmiştir.

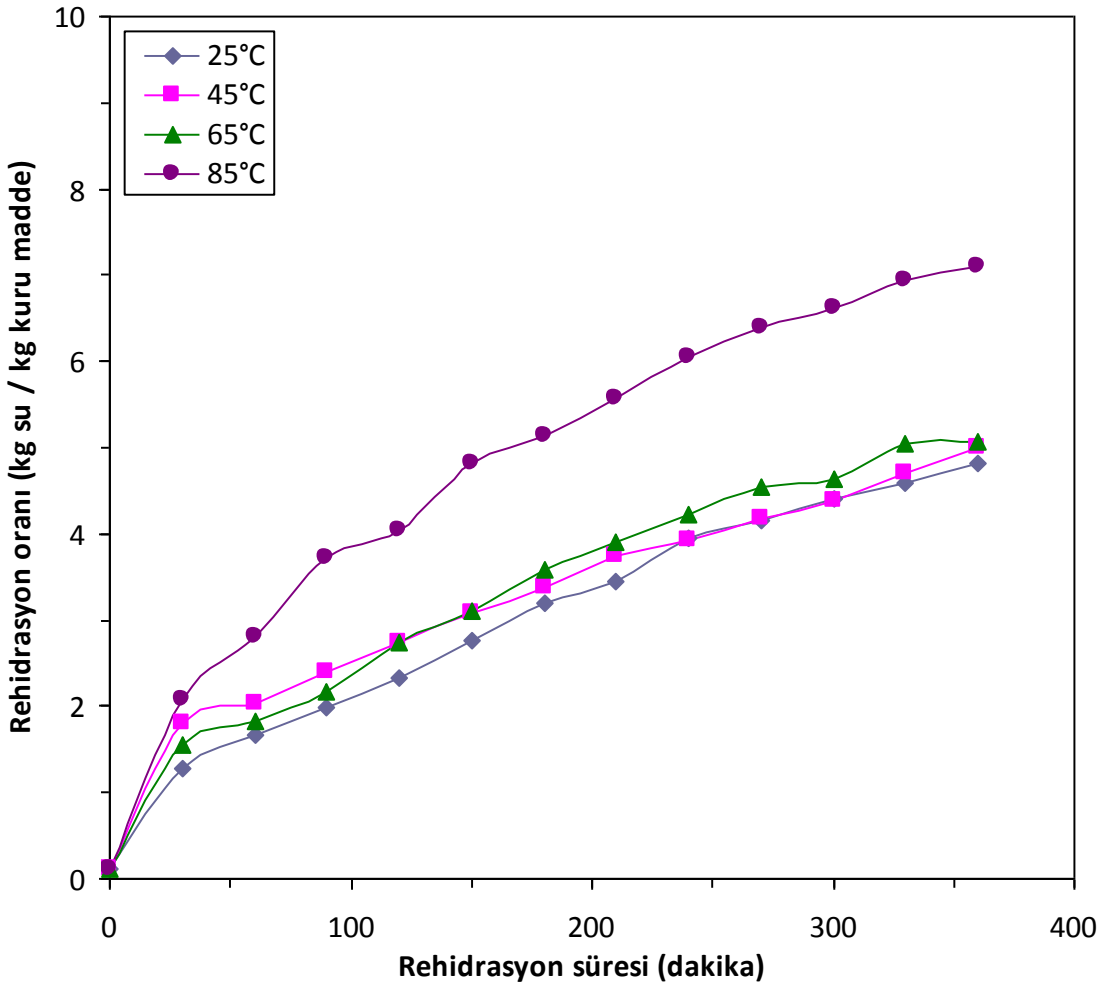
6.1.2 Sıcaklığın rehidrasyon oranına etkisi

Farklı sıcaklıklarda yapılan rehidrasyon denemelerinde, sıcaklığın etkisini kıyaslayabilmek için deneysel verilerden yola çıkarak hesaplanan rehidrasyon oranlarının zamana göre değişim eğrileri, her bir rehidrasyon çözeltisi için tüm sıcaklık eğrileri bir grafikte toplacak şekilde çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 6.5-6.7'de verilmiştir.



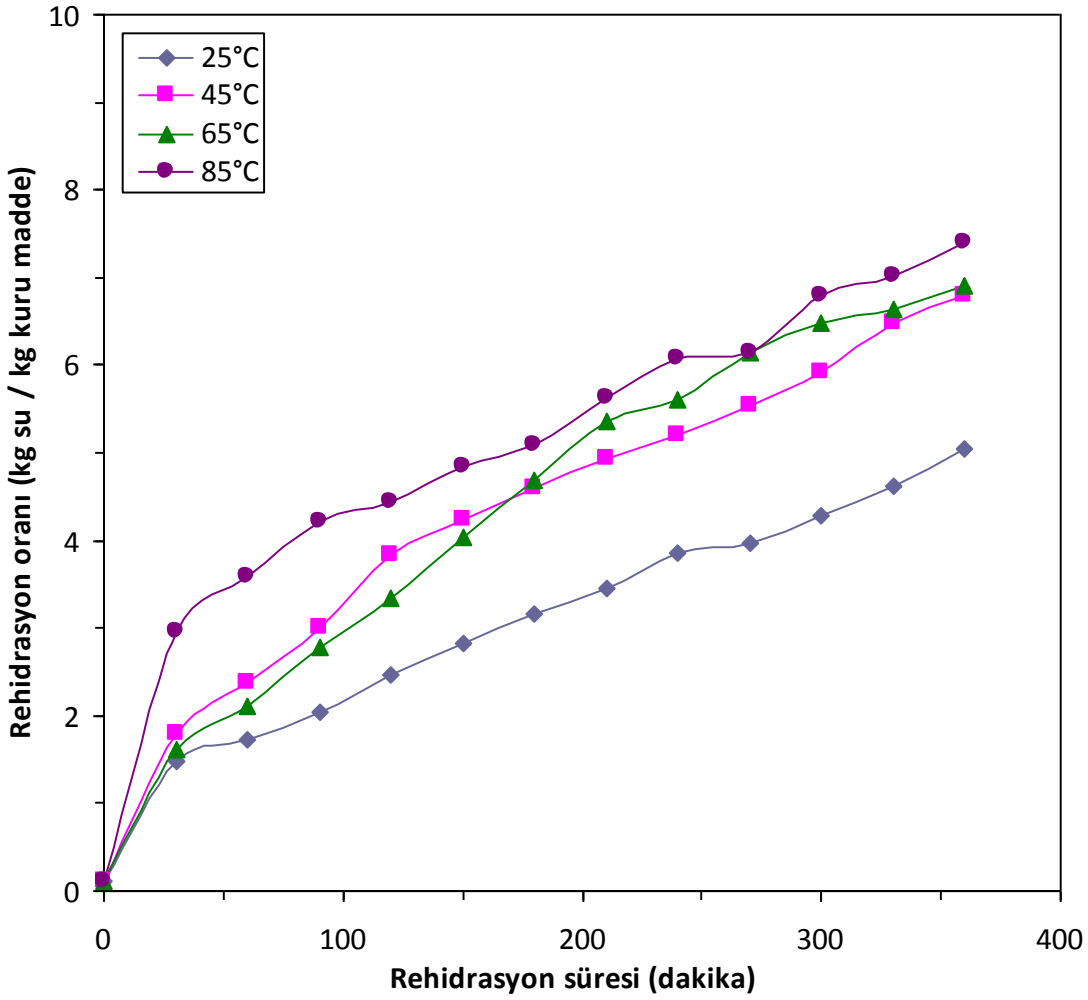
Şekil 6.5 Dolmalık biberin farklı sıcaklıklarda ön işlemsiz rehidrasyon eğrileri

Şekil 6.5'te, dolmalık biberin farklı sıcaklıklarda ön işlemsiz olarak gerçekleştirilen rehidrasyon eğrileri görülmektedir. Her dört sıcaklık için de, ilk 30 dakika boyunca rehidrasyon oranı değerleri hızlı bir artış göstermiştir. 25°C'deki rehidrasyon eğrisi için de bu artış hızı 30. dakikadan sonra bir miktar azalarak devam etmiştir; fakat 360 dakikanın sonunda en düşük rehidrasyon oranı değerine bu sıcaklıkta ulaşılmıştır. 45°C'de de rehidrasyon oranındaki artış rehidrasyon işlemi süresince devam etmiş ve 360 dakikanın sonunda 65°C ile çok yakın bir değere ulaşabilmiştir. 65°C ve 85°C'lerde de, 30. dakikadan sonra yavaşlayan artış hızı, yaklaşık 150. dakikadan sonra daha da azalmış ve en yüksek rehidrasyon oranına 85°C'de yapılan rehidrasyonla ulaşılmıştır.



Şekil 6.6 Dolmalık biberin farklı sıcaklıklarda ön işlemli (%1 NaCl) rehidrasyon eğrileri

Şekil 6.6'da dolmalık biberin %1'lik NaCl çözeltisiyle ön işlemli olarak gerçekleştirilen, farklı sıcaklıklardaki rehidrasyon eğrileri görülmektedir. Her dört sıcaklık için de, ilk 30 dakika boyunca rehidrasyon oranı değerleri hızlı bir artış göstermiştir. 45°C eğrisi 150. dakikaya kadar 65°C'den daha yüksek değerde rehidrasyon oranına ulaşsa da, bu dakikadan sonra artış hızı yavaşlamıştır. 240 ile 300. dakikalar arasında 25 ve 45°C eğrilerinin ulaştığı rehidrasyon oranı aynı değerlere ulaşsa da, 45°C eğrisi daha yüksek bir artış hızıyla daha yüksek rehidrasyon oranı sonucu vermiştir. 85°C'de ise rehidrasyon süresince rehidrasyon oranındaki artış ara ara yavaşlasa da, işlem boyunca devam etmiş sonuçta bu sıcaklıkta en yüksek rehidrasyon oranı değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 6.7 Dolmalık biberin farklı sıcaklıklarda ön işlemli (%1 şeker) rehidrasyon eğrileri

Şekil 6.7'de de, dolmalık biberin %1'lik şeker çözeltisiyle ön işlemli olarak gerçekleştirilen, farklı sıcaklıklardaki rehidrasyon eğrileri görülmektedir. Her dört sıcaklık için de, ilk 30 dakika boyunca rehidrasyon oranı değerleri hızlı bir artış göstermiştir. 25°C'deki rehidrasyon eğrisi için bu artış 30. dakikadan sonra bir miktar azalsa da, 360 dakikalık rehidrasyon işlemi boyunca rehidrasyon oranındaki artış devam etmiştir ancak en düşük rehidrasyon oranı değerlerine de bu sıcaklıkta ulaşılmıştır. 45°C'deki rehidrasyondan oranı verileri 170. dakikaya kadar 65°C'den daha yüksek değerlerde olsa da, bu dakikadan sonra rehidrasyon oranı artış hızında meydana gelen yavaşlama sebebiyle işlem sonunda 65°C'den daha düşük rehidrasyon oranı değerini vermiştir. Sonuç olarak en yüksek rehidrasyon oranına 85°C'de ulaşılmıştır.

Rehidrasyonda sıcaklığın etkisi, özellikle başlangıç basamaklarında ayırt edici rol oynar. Bu aşamada yüksek sıcaklık, rehidrasyon hızını artırıcı etkidedir [47]. Şekil 6.5-6.7'de,

ön işlemli ve ön işlemsiz tüm deneyler için oluşturulan rehidrasyon eğrileri incelendiğinde, sıcaklık artıkça rehidrasyon oranının da arttığı görülmüştür. Yüksek sıcaklık, absorbe edilen sıvı miktarı üzerinde artırıcı bir rol oynar [27,28]. Suyun sıcaklığı, rehidrasyon oranını ve denge nemi miktarını pozitif yönde etkiler [40]. Ancak, çok yüksek sıcaklıklarda yapılan rehidrasyon, su absorbsiyonuna engel olan yapısal deformasyonu da beraberinde getirebilir [32].

Şekil 6.5-6.7'de görüldüğü gibi, sıcaklık artıkça ön işlemli ve ön işlemsiz tüm rehidrasyon eğrilerinde ulaşılan en yüksek rehidrasyon oranı değeri de artmıştır. Bunun sebebi, sıcaklığın kütle aktarımı üzerindeki olumlu etkisidir. Bütün bu kütle aktarımı olaylarında moleküller, "itici kuvvet" olarak adlandırılan bir potansiyel nedeniyle bir konumdan diğer bir konuma taşınırlar. Moleküler yayınmanın nedeni, herhangi bir bileşenin farklı konumlarda farklı kimyasal potansiyele sahip olmasıdır, diğer bir deyimle itici kuvvet kimyasal potansiyel farkıdır. Herhangi bir bileşenin kimyasal potansiyelinin değişik iki konumda farklı olması, derişim farkı, basınç farkı, sıcaklık farkı ya da etki eden dış kuvvetlerin (yer çekimi, manyetik vb.) farklı olması gibi nedenlerden oluşabilir [58]. Gerçekleştirdiğimiz rehidrasyon deneylerinde derişim farkı faktörü etkilidir ve böylelikle difüzyon olayı meydana gelir. Difüzyon, herhangi bir maddenin moleküllerinin tek tek, bireysel ve rastgele hareketlerle derişim farkına bağlı olarak yoğun olarak bulundukları bir ortamdan daha az yoğun oldukları başka bir ortama doğru hareket etmesidir. Moleküllerin difüzyonu kinetik bir olaydır ve Fick kanunları ile matematiksel olarak ifade edilir. Sıcaklık artıkça moleküllerin kinetik enerjileri ve çarpışma sayıları artacağı için difüzyon hızı da artar [59].

Moreira vd. [28], kurutulmuş kestanelerle yaptıkları farklı sıcaklıklardaki (25, 45, 75 ve 100°C) rehidrasyon çalışmaları sonucunda en yüksek rehidrasyon oranına 100 °C'deki rehidrasyonda ulaşmışlardır. Vega-Gálvez vd. [30], kurutulmuş aloe vera dilimlerini 20, 40 ve 60°C'lerde rehidre etmişler ve rehidrasyon süresince sıcaklığın kütle transferi üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Sonuçta sıcaklığın rehidrasyon oranıyla pozitif bir bağımlılık gösterdiğini tespit etmişlerdir. Krokida vd. [40], kurutulmuş ürünleri (domates, elma, patates, havuç, muz, biber, mantar, soğan, sarımsak, şeftali, mısır, pırasa ve bal kabağı) 40, 60 ve 80°C'lerde rehidre etmişler ve sonuç olarak sıcaklık artışının rehidrasyon hızını ve rehidre ürünün denge nemi içeriğini artırdığını

belirtmişlerdir. Sanjuan vd. [47], brokoli çiçeklerini farklı sıcaklıklarda rehidre ederek, sıcaklık artışının rehidrasyon oranını artırdığını görmüşlerdir.

6.1.3 Rehidrasyon eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Deneysel verilerden yararlanarak lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla rehidrasyon oranı ile rehidrasyon süresinin değişimi eğrilerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Uygulanan modelleme denklikleri Denklem 5.1-5.5'te ve bu denkliklerin uygulanmasıyla elde edilen regresyon katsayıları (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahmini standart hatası (RMSE) değerleri kaydedilerek Çizelge 6.1–6.2'de verilmiştir. Bir modelin uygunluğunu saptayabilmek için regresyon katsayısı (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahmini standart hatası (RMSE) olmak üzere üç kritere ihtiyaç vardır. En yüksek R^2, en düşük χ^2 ve RMSE değerleri, proses için en uygun modeli ifade eder [42].

Dolmalık biber için R^2, χ^2 ve RMSE değerleri Çizelge 6.1-6.2'de verilmiştir. R^2 değerleri Peleg, Weibull, First-order ve Eksponensiyel modelleri için sırasıyla 0,9567-0,9952, 0,9516-0,9889, 0,9283-0,9865 ve 0,9223-0,9852 arasında değişmektedir. χ^2 değerleri Peleg, Weibull, First-order ve Eksponensiyel modelleri için sırasıyla 0,02636-0,06795, 0,06342-0,16336, 0,06704-0,28001 ve 0,06903-0,30368 arasında değişmektedir. RMSE değerleri Peleg, Weibull, First-order ve Eksponensiyel modelleri için sırasıyla 0,37163-1,17343, 0,66964-1,06665, 0,68926-1,42912 ve 0,74561-1,50025 arasında değişmektedir. Bu durumda dolmalık biber için Peleg modelinin R^2 değerleri diğer modellere göre daha yüksek ve χ^2 ve RMSE değerleri ise daha düşük bulunmuştur. Elde edilen verilere göre, Peleg denkleminin dolmalık biberin rehidrasyon prosesini tanımlamada diğer modelleme denkliklerine göre daha uygun olduğu saptanmıştır. Bu sonuçtan yola çıkarak, Peleg modeli ile tüm sıcaklıklar için elde edilen deneysel ve tahmini rehidrasyon oranı çizelgelerinden yararlanılarak Şekil 6.8-6.11 grafikleri oluşturulmuştur.

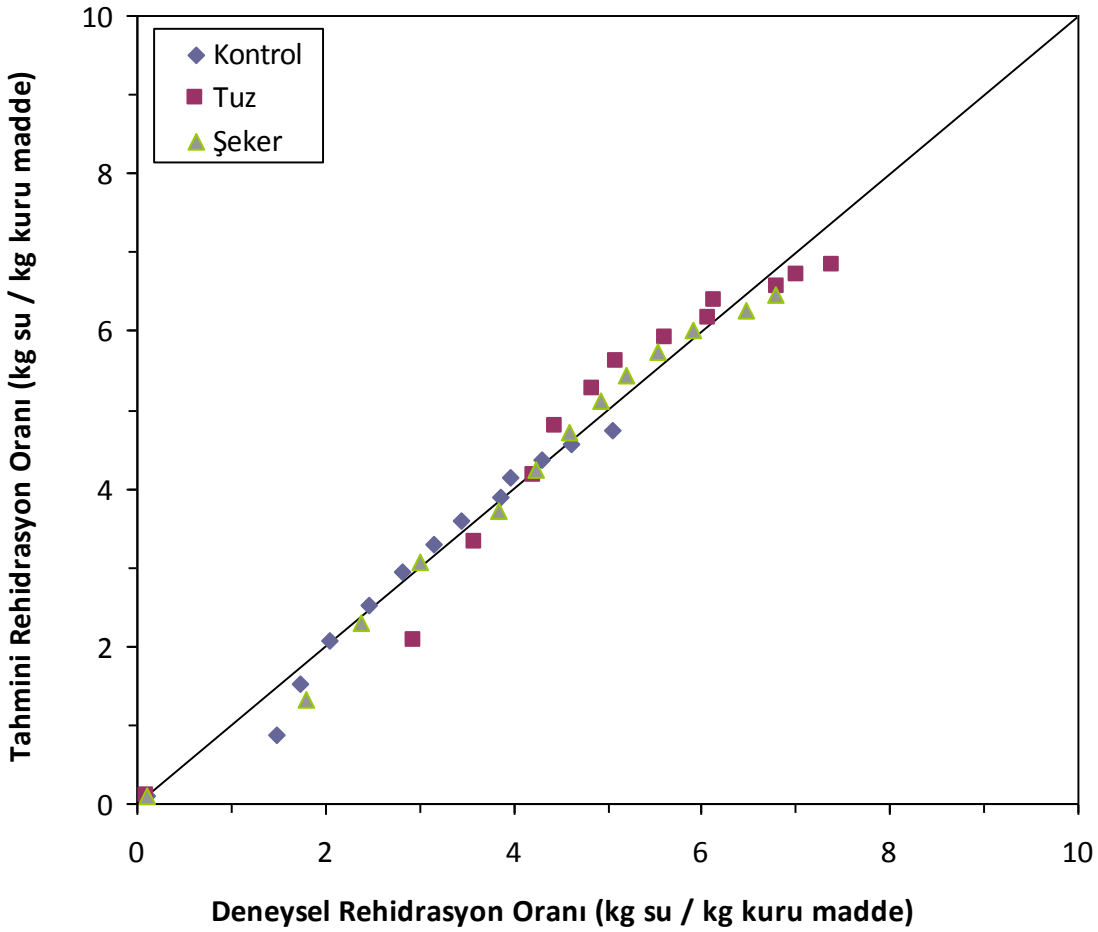
Çizelge 6.1 Biber için hesaplanan R^2, χ^2 ve RMSE değerleri

Model	Kod	Sıcaklık (°C)	Sabitler	R^2	χ^2	RMSE
Peleg	Kontrol	25	k=43,16261/c=0,07443	0,9762	0,05336	0,525818
		45	k=28,57837/c=0,05137	0,9942	0,035977	0,373865
		65	k=12,07340/c=0,09733	0,9941	0,033672	0,404836
		85	k=15,57613/c=0,07636	0,9952	0,034375	0,410419
	Tuz	25	k=37,11288/c=0,11133	0,9883	0,184448	1,173439
		45	k=29,96234/c=0,11817	0,9859	0,035605	0,387388
		65	k=25,26159/c=0,14836	0,9666	0,067954	0,604879
		85	k=16,85261/c=0,09806	0,9928	0,026363	0,371632
	Şeker	25	k=35,59268/c=0,09725	0,9754	0,050074	0,594948
		45	k=21,65380/c=0,09725	0,9879	0,064675	0,611759
		65	k=26,03842/c=0,07292	0,9940	0,03445	0,432244
		85	k=11,78037/c=0,11600	0,9567	0,030412	0,417088
Weibull	Kontrol	25	a=1,0048/b=167,6624	0,9621	0,082115	0,718472
		45	a=1,2661/b=175,9970	0,9771	0,144071	0,99937
		65	a=0,9150/b=110,2490	0,9889	0,063426	0,66964
		85	a=1,0629/b=133,2884	0,9867	0,095418	0,785159
	Tuz	25	a=1,1316/b=156,5262	0,972	0,163361	1,066657
		45	a=1,0872/b=141,2095	0,9709	0,073379	0,693302
		65	a=0,8619/b=138,7332	0,9618	0,077752	0,690254
		85	a=0,7300/b=114,6138	0,9616	0,063329	0,69934
	Şeker	25	a=0,9882/b=149,5065	0,9791	0,086557	0,73009
		45	a=1,1431/b=186,2447	0,9516	0,131283	0,964028
		65	a=0,9893/b=125,9132	0,9838	0,077571	0,728859
		85	a=1,2437/b=154,0785	0,9821	0,091073	0,789611

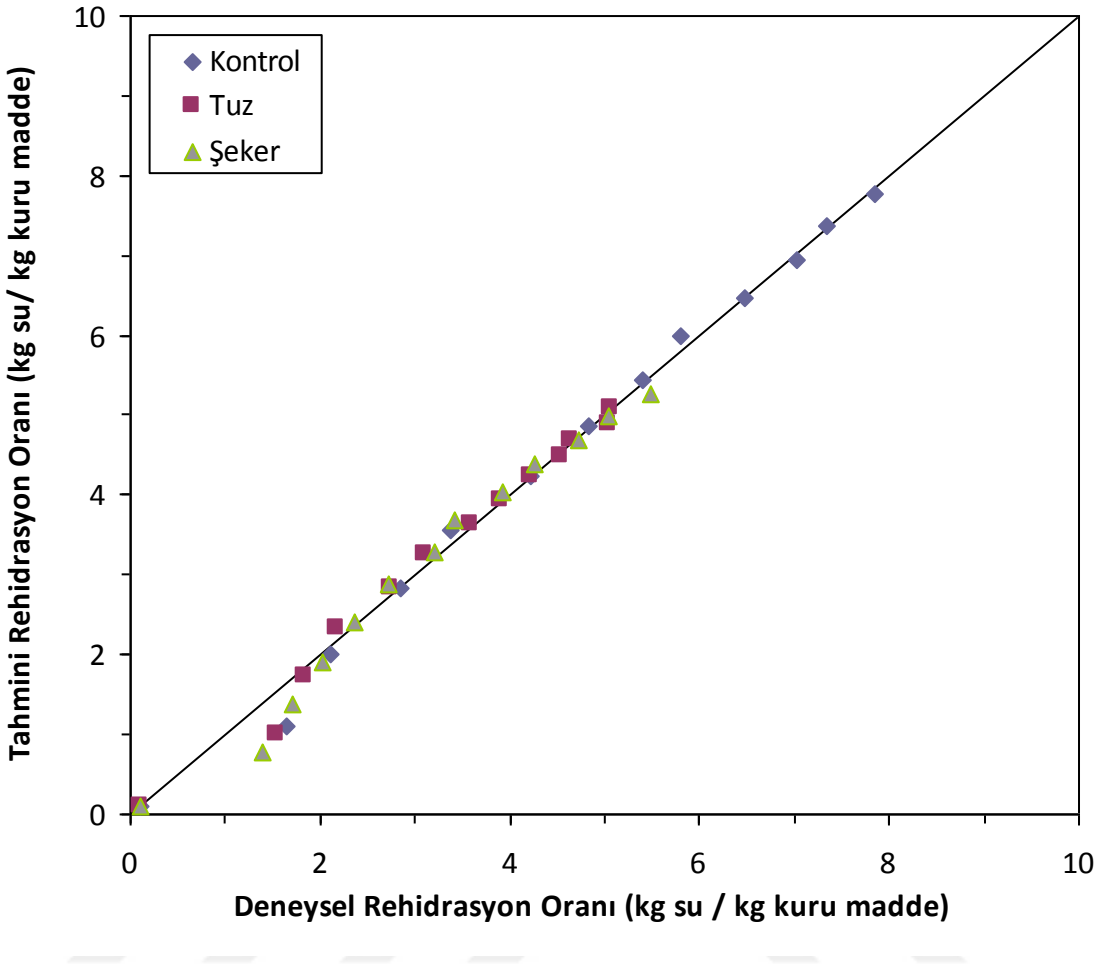
Çizelge 6.2 Biber için hesaplanan R^2, χ^2 ve RMSE değerleri

Model	Kod	Sıcaklık (°C)	Sabitler	R^2	χ^2	RMSE
First-order	Kontrol	**25**	k=0,005967	0,9621	0,075286	0,719302
		45	k=0,005786	0,9616	0,221219	1,360584
		65	k=0,008872	0,9865	0,070408	0,689262
		85	k=0,007588	0,9857	0,09458	0,829938
	Tuz	**25**	k=0,008012	0,9283	0,280017	1,429123
		45	k=0,007190	0,969	0,071794	0,741889
		65	k=0,007005	0,9547	0,084479	0,708651
		85	k=0,006498	0,9677	0,067045	0,782266
	Şeker	**25**	k=0,006677	0,9791	0,079514	0,736462
		45	k=0,005411	0,9466	0,13302	1,020004
		65	k=0,007924	0,9838	0,07126	0,735068
		85	k=0,006684	0,9694	0,143146	1,133189
Eksponensiyel	Kontrol	**25**	k=0,006114	0,9585	0,082528	0,772799
		45	k=0,005874	0,9627	0,215382	1,375074
		65	k=0,009001	0,9846	0,080327	0,745612
		85	k=0,007688	0,9852	0,097709	0,87292
	Tuz	**25**	k=0,008148	0,9223	0,303689	1,500257
		45	k=0,007352	0,9674	0,075395	0,772743
		65	k=0,007177	0,9481	0,096785	0,788128
		85	k=0,006656	0,9667	0,069037	0,820609
	Şeker	**25**	k=0,006796	0,9773	0,086094	0,797515
		45	k=0,005535	0,9452	0,136457	1,060189
		65	k=0,008051	0,9824	0,077605	0,796194
		85	k=0,006792	0,9703	0,139066	1,141597

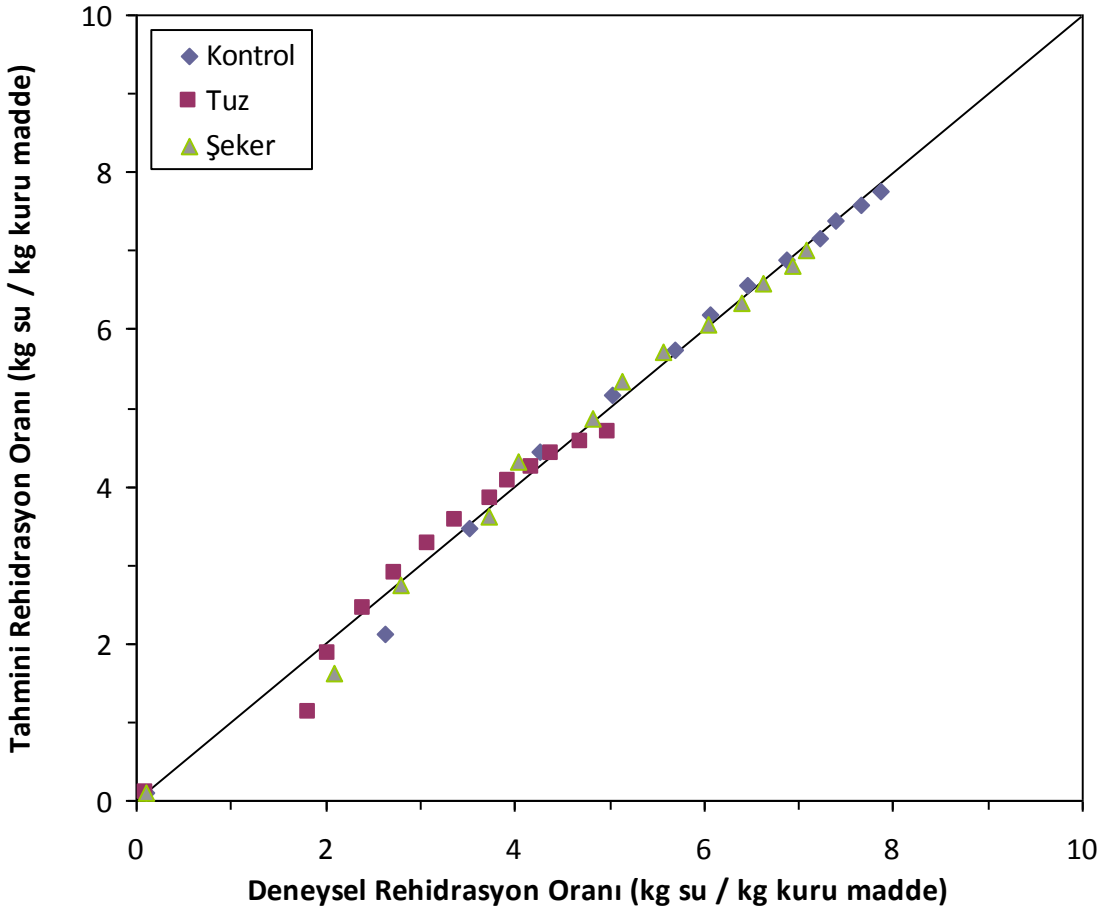
Dolmalık biberin rehidrasyon prosesi için en uygun model olduğu saptanan Peleg tahmini rehidrasyon oranı verilerinin deneysel rehidrasyon oranı verilerine karşılık çizilen eğriler Şekil 6.8-6.11'de gösterilmiştir. Bu grafiklerde görüldüğü üzere, 25, 45, 65 ve 85°C'lerde, ön işlemsiz ve ön işlemli deneyler için elde edilen değerler, diagonal eğri üzerinde yol izlemiş ve rehidrasyon prosesine uyumluluk göstermiştir.



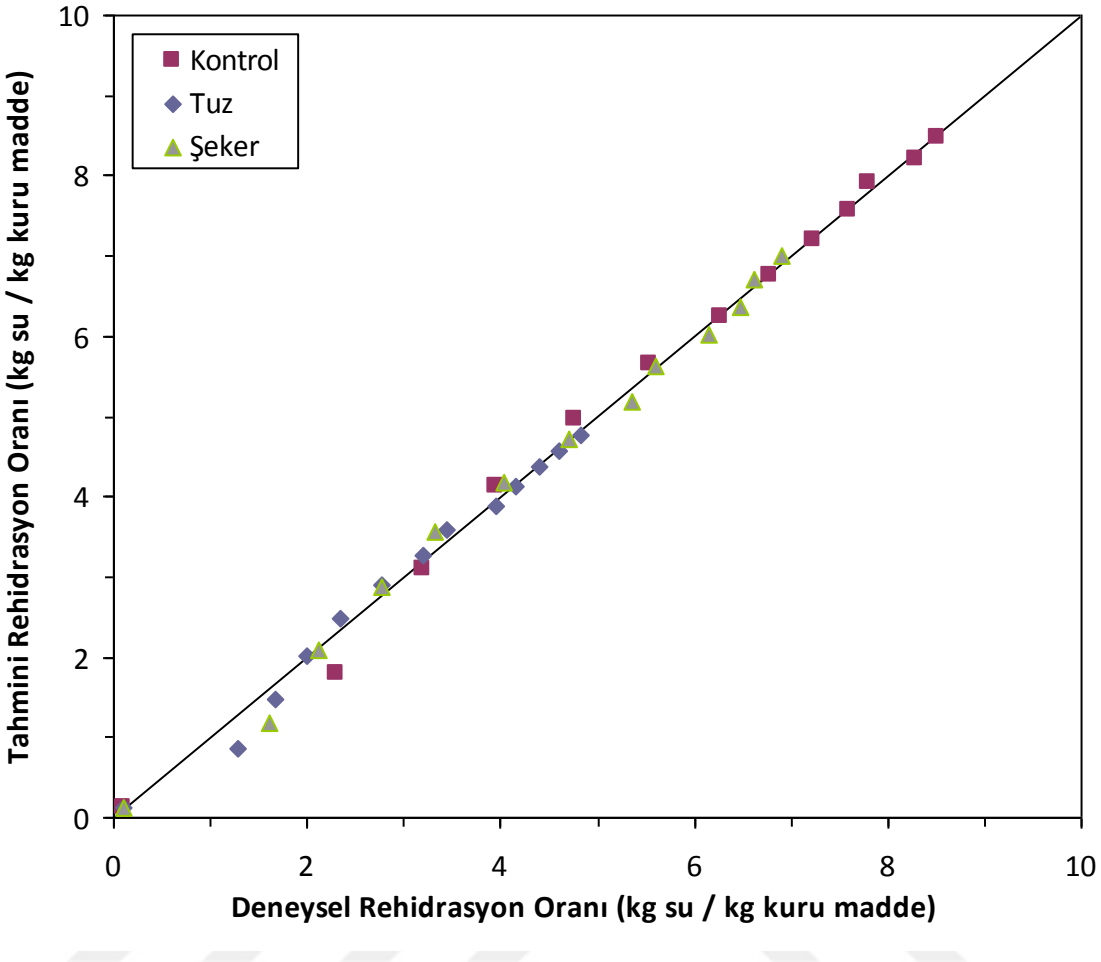
Şekil 6.8 Dolmalık biberin 25°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları



Şekil 6.9 Dolmalık biberin 45°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları



Şekil 6.10 Dolmalık biberin 65°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları



Şekil 6.11 Dolmalık biberin 85°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları

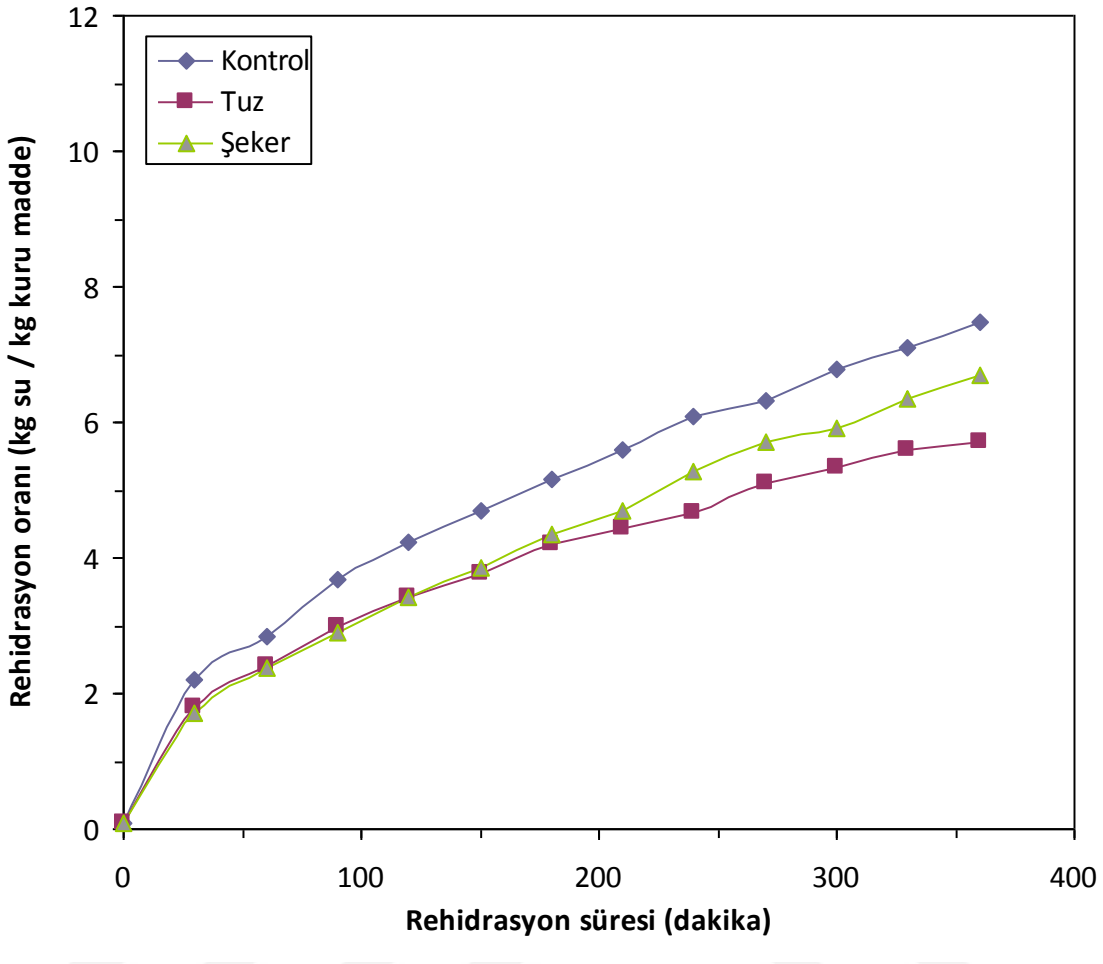
6.2 Dolmalık Patlıcanın Rehidrasyonu

6.2.1 Ön işlemin rehidrasyon oranına etkisi

Deneylerde, kurutulmuş patlıcanların rehidrasyon kinetiği 25, 45, 65 ve 85°C'lerde incelenmiştir. Kuru patlıcanların nem içerikleri, nem tayini sonucunda %10 olarak belirlenmiştir. Rehidrasyona 6 saat boyunca devam edilmiş, bu süre diliminin sonunda proses sonlandırılmıştır. Rehidrasyon için saf su, %1'lik şeker ve %1'lik NaCl çözeltisi kullanılmıştır. Patlıcanların rehidrasyon oranlarının rehidrasyon süresi ile değişimleri Şekil 6.12-6.18'de gösterilmiştir. Bu şekillerde görüldüğü gibi, örneklerin rehidrasyon oranı, rehidrasyon süresiyle birlikte artmaktadır.

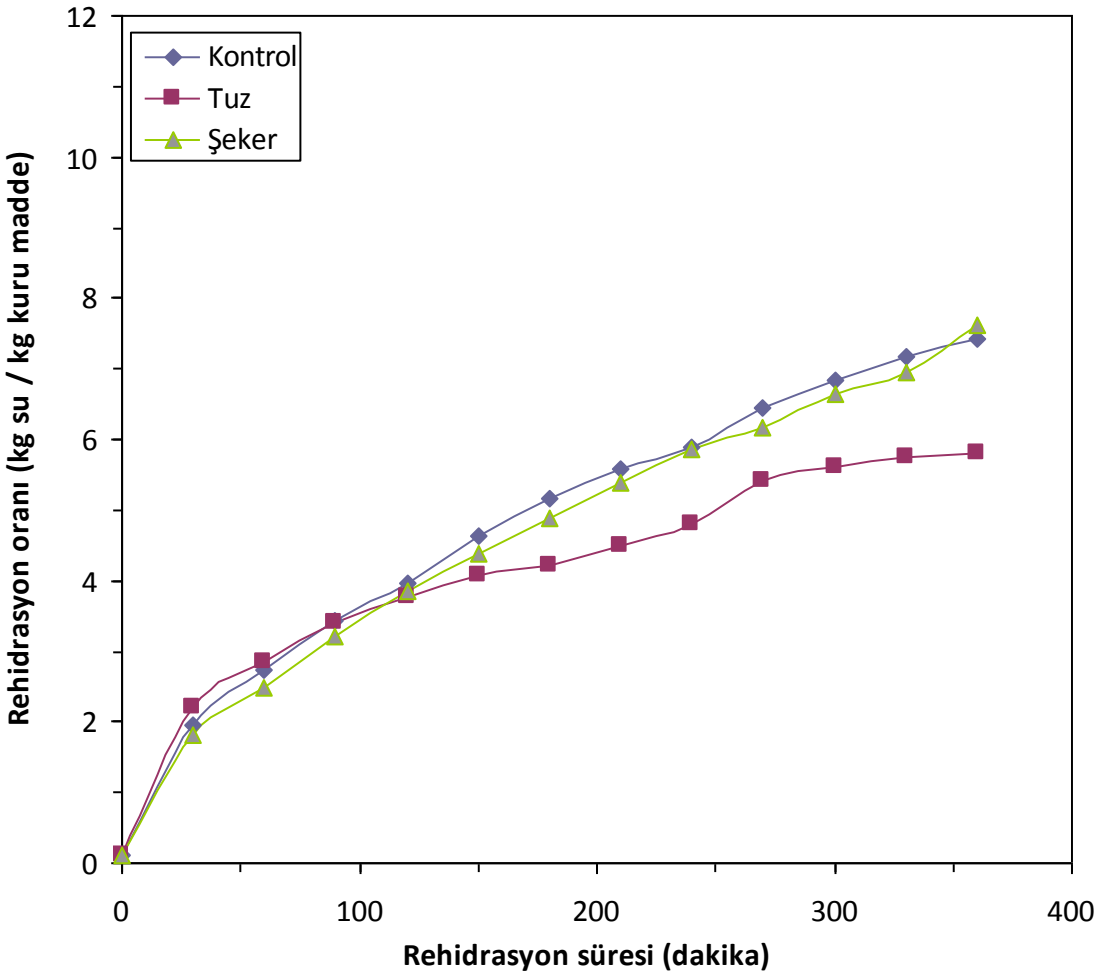
Ön işlemli ve ön işlemsiz olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilen rehidrasyon deneylerinde ön işlemin etkisini gözlemleyebilmek için rehidrasyon oranlarının zamana göre değişim eğrileri her bir sıcaklık için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 6.12-6.15'te görülmektedir.

Rehidrasyon, ön işlemler, kurutma metodu ve prosesi, fiziksel yapı ve kimyasal kompozisyon gibi parametrelerden etkilenen bir olgudur [46]. Viskoziteyi artırıcı etmenler ve ortamda katı partiküllerin varlığı, kuru sebzelerin rehidrasyon kinetiğini yavaşlatır. Lewicki [25], çözücü sıvının içerisindeki iyonik türlerin varlığının, kuru gıda moleküllerinin rehidre kabiliyetini azalttığını ifade etmiştir.



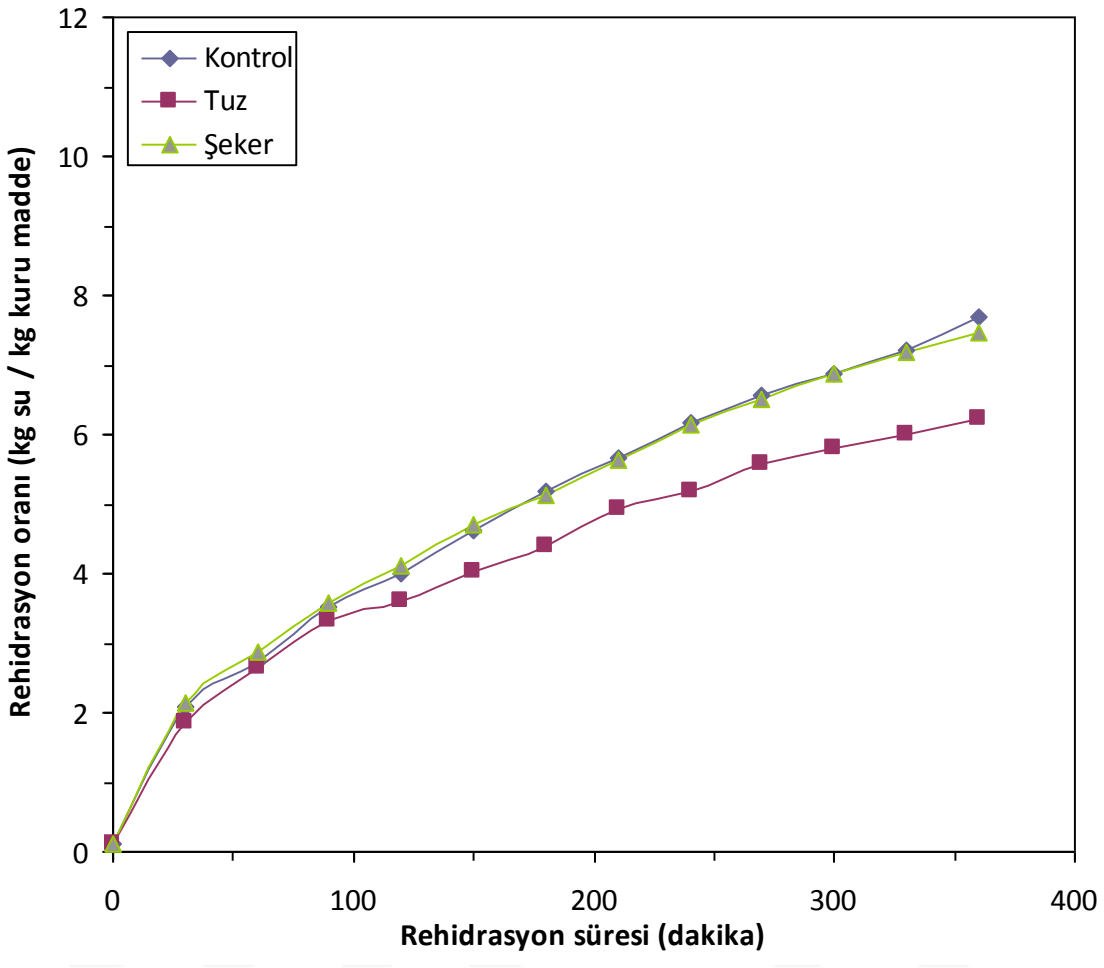
Şekil 6.12 Dolmalık patlıcanın ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 25°C'de rehidrasyon eğrileri

Şekil 6.12'de görüleceği üzere, en yüksek rehidrasyon oranı seviyesine ön işlemsiz rehidrasyonda ulaşılmıştır. Bunu %1'lik şeker katkısıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon ve daha sonra da %1'lik NaCl katkısıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon verileri takip etmiştir. Her üç işlemde de rehidrasyon oranı ilk 30 dakika içerisinde hızlı bir artış göstermiştir. Ön işlemli rehidrasyon oranları 150. dakikaya kadar yaklaşık aynı değerlerde seyretse de, 360 dakikanın sonunda %1'lik şeker çözeltisiyle işlem gören patlıcanların rehidrasyon eğrisinde de görüleceği gibi daha yüksek rehidrasyon oranına ulaşılmıştır.



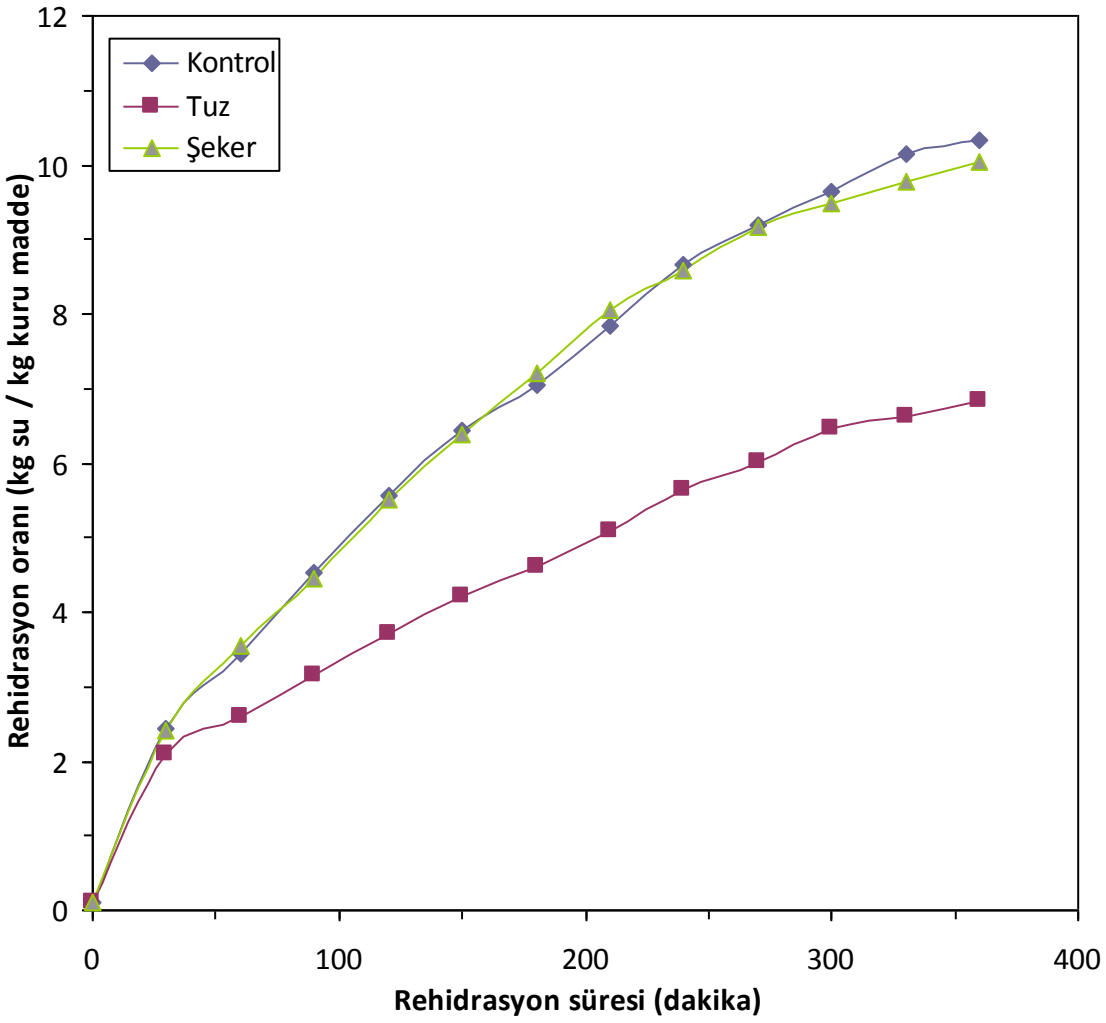
Şekil 6.13 Dolmalık patlıcanın ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 45°C'de rehidrasyon eğrileri

Şekil 6.13'te görüleceği gibi, en yüksek rehidrasyon oranı seviyesi, ön işlemsiz rehidrasyonda gözlemlenmiştir. Bunu %1'lik şeker oranıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon ve daha sonra da %1'lik NaCl oranıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon verileri takip etmiştir. Her üç işlemde de rehidrasyon oranı ilk 30 dakika içerisinde hızlı bir artış göstermiştir. %1'lik tuz ile ön işlemli eğride rehidrasyon oranı 110. dakikaya kadar en yüksek oranda seyrederken, sonrasında rehidrasyon oranındaki artış hızı yavaşlamıştır.



Şekil 6.14 Dolmalık patlıcanın ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 65°C'de rehidrasyon eğrileri

65 °C'de dolmalık patlıcanın ön işlemli ve ön işlemsiz çözeltiler ile rehidrasyonu sonucu elde edilen rehidrasyon oranlarının rehidrasyon süresi ile değişim eğrileri Şekil 6.14'te gösterilmiştir. Bu eğrilere göre, en yüksek rehidrasyon oranı seviyesi, ön işlemsiz rehidrasyonda gözlemlenmiştir. Bunu %1'lik şeker oranıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon ve daha sonra da %1'lik NaCl oranıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon verileri takip etmiştir. Her üç işlemde de rehidrasyon oranı ilk 30 dakika içerisinde hızlı bir artış göstermiştir. Rehidrasyon süresi boyunca ön işlemsiz ve şeker katkılı rehidrasyon eğrileri yakın değerlerde seyretmiş, 175. dakikadan itibaren ön işlemsiz rehidrasyon oranı verileri öne geçmiştir.



Şekil 6.15 Dolmalık patlıcanın ön işlemsiz ve ön işlemli çözeltilerle 85°C'de rehidrasyon eğrileri

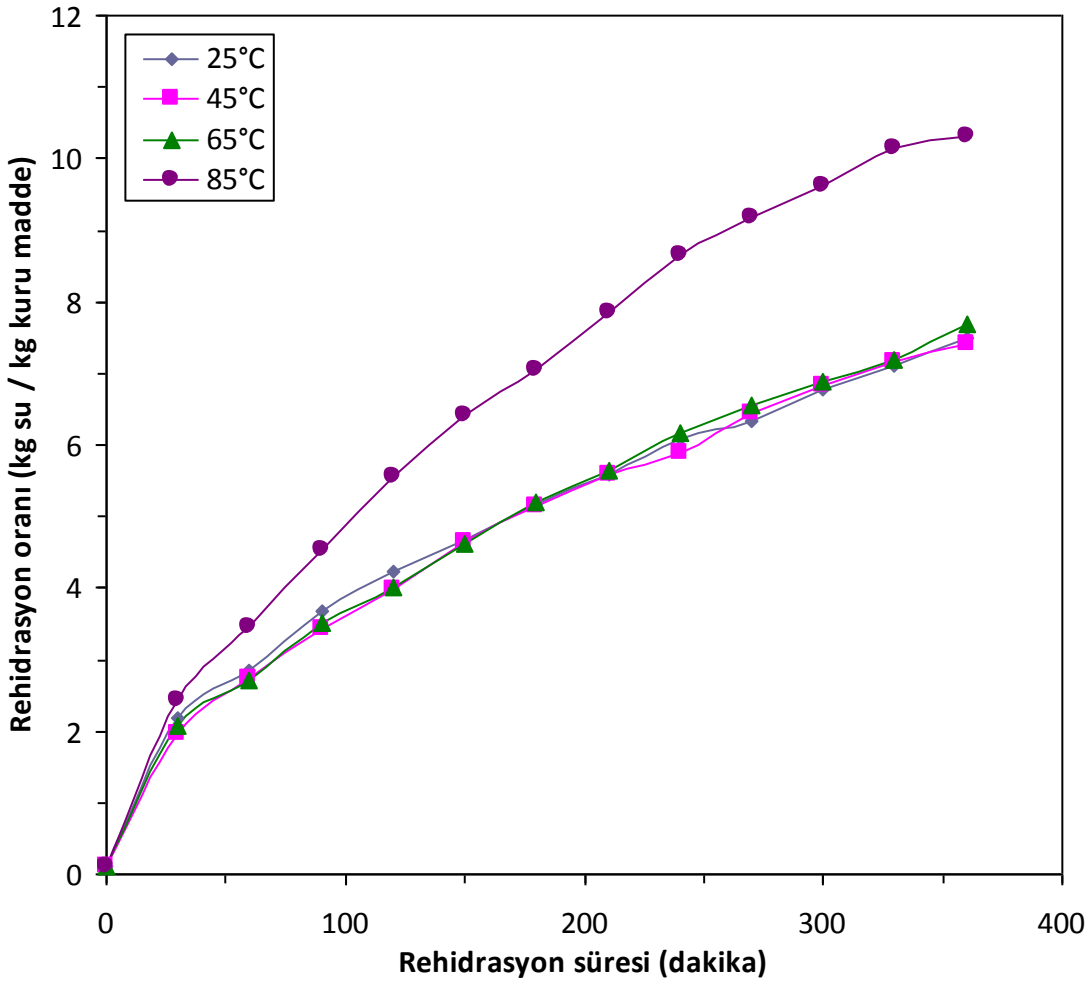
Şekil 6.15'te gösterilen rehidrasyon eğrilerine göre, en yüksek rehidrasyon oranı seviyesi ön işlemsiz olarak yapılan rehidrasyonda gözlemlenmiştir. Bunu %1'lik şeker oranıyla ön işlem uygulanan rehidrasyon ve daha sonra da %1'lik NaCl çözeltisiyle ön işlem uygulanan rehidrasyon verileri takip etmiştir. Her üç işlemde de rehidrasyon oranı ilk 30 dakika içerisinde hızlı bir artış gösterirken, rehidrasyon süresi boyunca ön işlemsiz ve şeker katkılı rehidrasyon eğrileri yakın değerlerde seyretmiş, yaklaşık 240. dakikada ön işlemsiz deneyin rehidrasyon oranındaki artış öne geçmiştir.

Şekil 6.12-6.15'te görülen rehidrasyon oranı eğrilerinde, en yüksek rehidrasyon oranına ön işlemsiz rehidrasyonda ve en düşük rehidrasyon oranına tuz çözeltisiyle ön işlemli rehidrasyonda ulaşılması, su aktivitesiyle ilişkilendirilebilir.

Dolmalık biberle gerçekleştirilen rehidrasyon deneyleri ışığında elde edilen sonuçlarda da belirtildiği gibi, dolmalık patlıcanın da ön işlemli ve ön işlemsiz rehidrasyonu için saf suyun, sakkarozun ve sofra tuzunun molar kütlelerinden yararlanılarak gerekli hesaplamalar yapıldığında, en yüksek su aktivitesinin saf suya ve en düşük su aktivitesinin de tuza ait olduğu görülür.

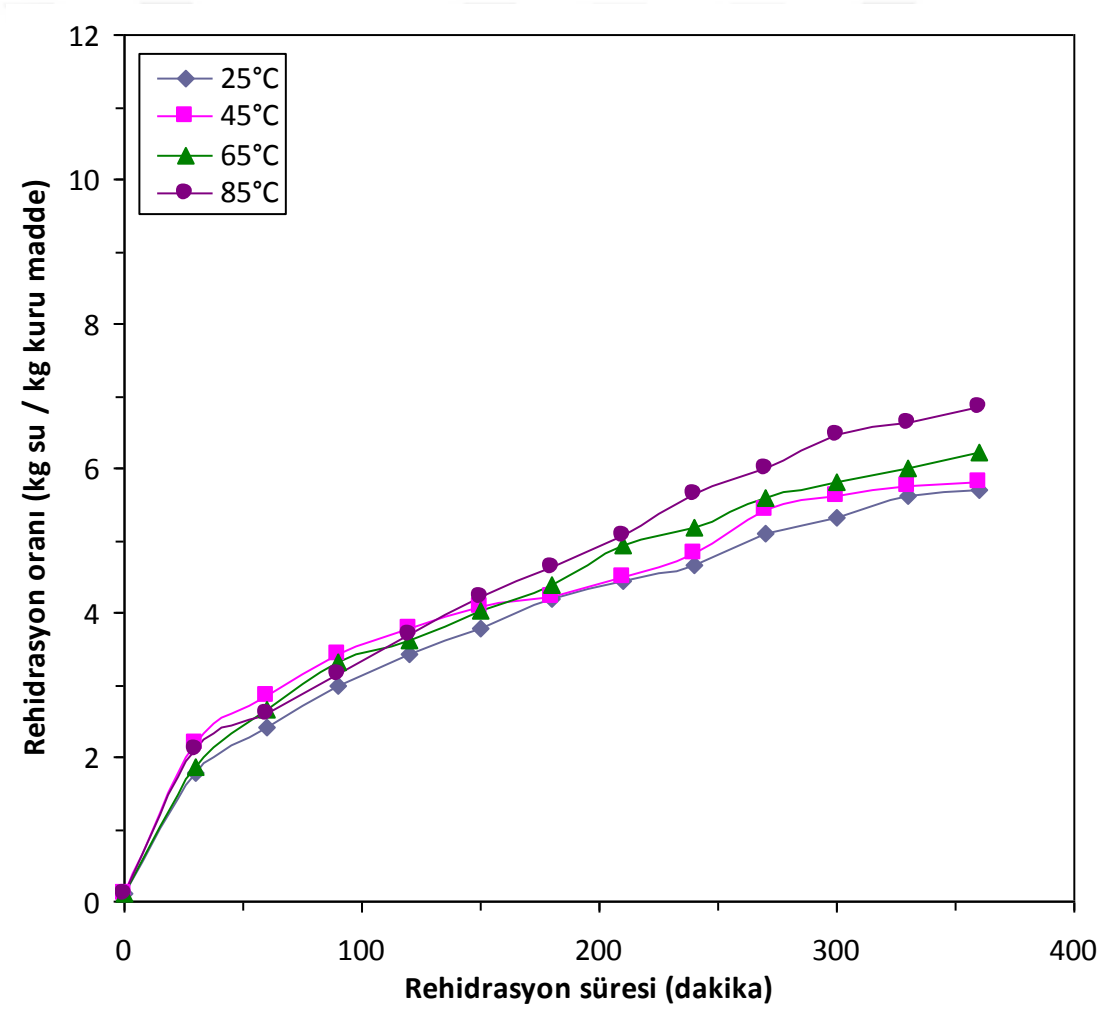
6.2.2 Sıcaklığın rehidrasyon oranına etkisi

Farklı sıcaklıklarda yapılan rehidrasyon denemelerinde, sıcaklığın etkisini kıyaslayabilmek için deneysel verilerden yola çıkarak hesaplanan rehidrasyon oranlarının zamana göre değişim eğrileri, her bir rehidrasyon çözeltisi için tüm sıcaklık eğrileri bir grafikte toplacak şekilde çizilmiştir. Bu grafikler de dolmalık patlıcan için Şekil 6.16-6.18'de verilmiştir.



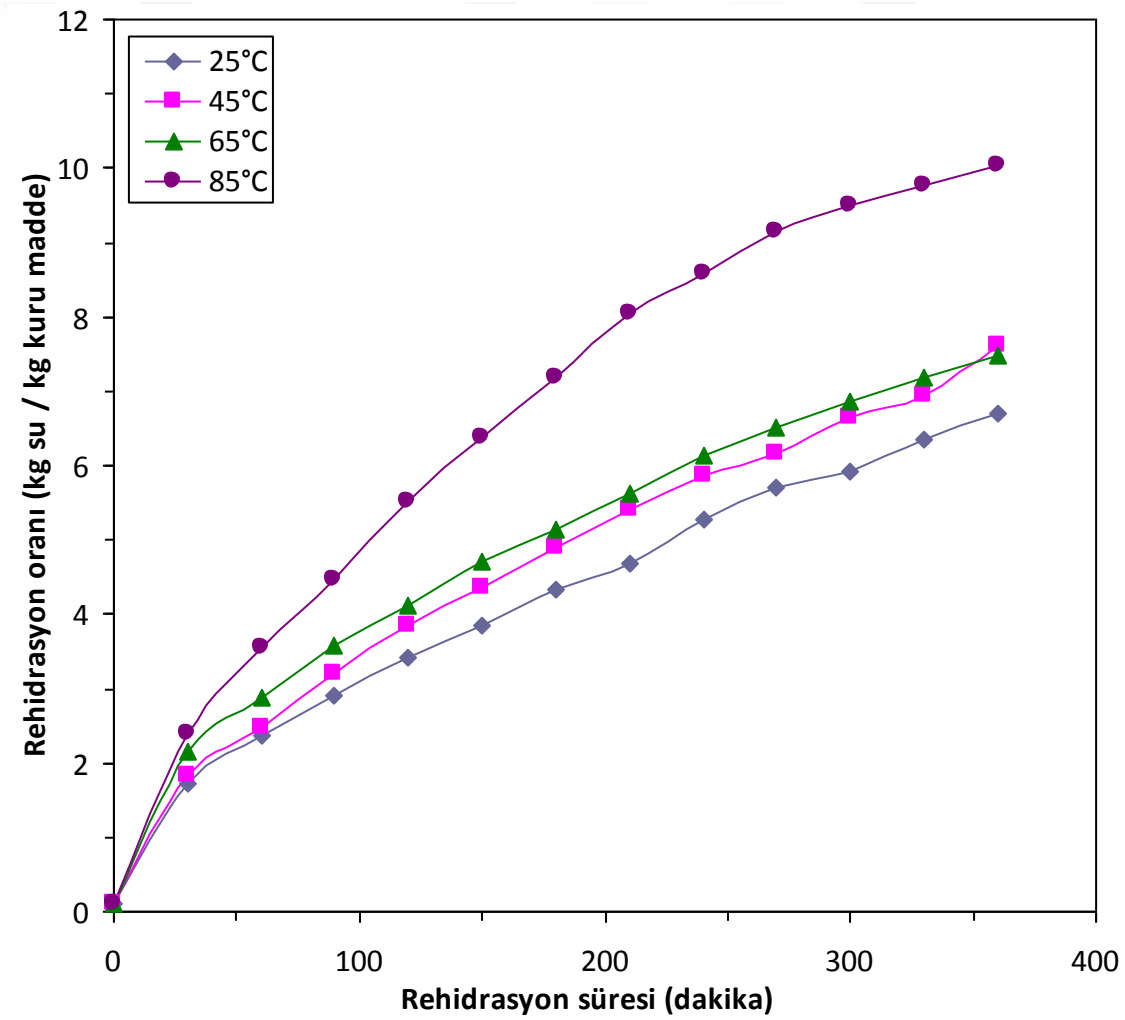
Şekil 6.16 Dolmalık patlıcanın farklı sıcaklıklarda ön işlemsiz rehidrasyon eğrileri

Şekil 6.16'da, dolmalık patlıcanın farklı sıcaklıklarda ön işlemsiz olarak gerçekleştirilen rehidrasyon eğrileri görülmektedir. Her dört sıcaklık için de, ilk 30 dakika boyunca rehidrasyon oranı değerleri hızlı bir artış göstermiştir. 25°C'deki rehidrasyon oranındaki artış 150. dakikaya kadar 45 ve 65°C'lerdeki rehidrasyon oranı verilerinden daha yüksek değerde seyretse de, özellikle 240. dakikadan sonra bu artış yavaşlamış ve 360 dakikanın sonunda en düşük rehidrasyon oranı değerine bu sıcaklıkta ulaşılmıştır. 45 ve 65°C'deki eğriler 215. dakikaya kadar yakın sonuçlar verseler de, sonrasında 65°C'de gerçekleştirilen deneyin rehidrasyon oranı verilerindeki artış öne geçmiştir. 85°C'deki rehidrasyon eğrisi, deney süresince artış göstermiştir ve sonuçta en yüksek rehidrasyon oranına bu sıcaklıkta ulaşılmıştır.



Şekil 6.17 Dolmalık patlıcanın farklı sıcaklıklarda ön işlemli (%1 NaCl) rehidrasyon eğrileri

Şekil 6.17'de görüleceği üzere, her dört sıcaklık için de, ilk 30 dakika boyunca rehidrasyon oranı değerleri hızlı bir artış göstermiştir. Tüm sıcaklıklardaki rehidrasyon eğrilerinde olduğu gibi, 25°C'deki rehidrasyon eğrisi için de bu artış 30. dakikadan sonra bir miktar azalarak devam etmiştir; fakat 360 dakikanın sonunda en düşük rehidrasyon oranı değerine bu sıcaklıkta ulaşılmıştır. 45°C'deki rehidrasyondan elde edilen verilere göre, 30. dakikadan 115. dakikaya kadar en yüksek değerlerde seyreden rehidrasyon oranındaki artış hızı, 125. dakikadan sonra yavaşlamıştır. 65°C'de de, diğer sıcaklıklarda olduğu gibi 30. dakikadan sonra rehidrasyon oranındaki artış bir miktar yavaşlasa da, altı saat boyunca devam etmiştir. Sonuçta en yüksek rehidrasyon oranı değerine 85°C'de ulaşılmıştır.



Şekil 6.18 Dolmalık patlıcanın farklı sıcaklıklarda ön işlemli (%1 şeker) rehidrasyon eğrileri

Şekil 6.18'de de görüleceği üzere, her dört sıcaklık için de ilk 30 dakika boyunca rehidrasyon oranı değerleri hızlı bir artış gösterirken, tüm sıcaklıklardaki rehidrasyon eğrileri için bu artış 30. dakikadan sonra bir miktar azalarak devam etmiş ve en yüksek rehidrasyon oranı değerine en yüksek sıcaklık olan 85°C'de ulaşılmıştır.

Rehidrasyonda sıcaklığın etkisi, özellikle başlangıç basamaklarında ayırt edici rol oynar. Bu aşamada yüksek sıcaklık, rehidrasyon hızını artırıcı etkidedir [47]. Şekil 6.16-6.18'de, ön işlemli ve ön işlemsiz tüm deneyler için oluşturulan rehidrasyon eğrileri incelendiğinde, sıcaklık artıkça rehidrasyon oranının da arttığı görülmüştür. Yüksek sıcaklık, absorbe edilen sıvı miktarı üzerinde artırıcı bir rol oynar [27,28]. Suyun sıcaklığı, rehidrasyon oranını ve denge nemi miktarını pozitif yönde etkiler [40]. Ancak, çok yüksek sıcaklıklarda yapılan rehidrasyon, su absorbsiyonuna engel olan yapısal deformasyonu da beraberinde getirebilir [32].

Dolmalık biberle farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen rehidrasyon deneylerinde olduğu gibi, dolmalık patlıcanın rehidrasyonunda da derişim farkı faktörü etkilidir ve böylelikle difüzyon olayı meydana gelir. Difüzyon, herhangi bir maddenin moleküllerinin tek tek, bireysel ve rastgele hareketlerle derişim farkına bağlı olarak yoğun olarak bulundukları bir ortamdan daha az yoğun oldukları başka bir ortama doğru hareket etmesidir. Moleküllerin difüzyonu kinetik bir olaydır ve sıcaklık artıkça moleküllerin kinetik enerjileri ve çarpışma sayıları artacağı için difüzyon hızı da artmıştır [59].

6.2.3 Rehidrasyon eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Deneysel verilerden yararlanarak lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla rehidrasyon oranı ile rehidrasyon süresinin değişimi eğrilerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Uygulanan modelleme denklikleri Denklem 5.1-5.5'te ve bu denkliklerin uygulanmasıyla elde edilen regresyon katsayıları (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahmini standart hatası (RMSE) değerleri kaydedilerek Çizelge 6.3–6.4'te verilmiştir. Bir modelin uygunluğunu saptayabilmek için regresyon katsayısı (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahmini standart hatası (RMSE) olmak üzere üç kritere ihtiyaç vardır. En yüksek R^2, en düşük χ^2 ve RMSE değerleri, proses için en uygun modeli ifade eder [42].

Çizelge 6.3–6.4'te görüleceği gibi, patlıcan için R^2 değerleri Peleg, Weibull, First-order ve Eksponensiyel modelleri için sırasıyla 0,9732-0,9966, 0,9687-0,9875, 0,9185-0,9821 ve 0,9108-0,9823 arasında değişmektedir. χ^2 değerleri Peleg, Weibull, First-order ve Eksponensiyel modelleri için sırasıyla 0,03324-0,07587, 0,05739-0,17573, 0,05744-0,21573 ve 0,06459-0,21352 arasında değişmektedir. RMSE değerleri Peleg, Weibull, First-order ve Eksponensiyel modelleri için sırasıyla 0,46210-0,65402, 0,52486-1,12826, 0,68425-1,40039 ve 0,73867-1,41620 arasında değişmektedir. Bu durumda, patlıcan için Peleg modelinin R^2 değerleri diğer modellere göre daha yüksek ve χ^2 ve RMSE değerleri ise daha düşük bulunmuştur. Elde edilen verilere göre, Peleg denkleminin dolmalık patlıcanın rehidrasyon prosesini tanımlamada diğer modelleme denkliklerine göre daha uygun olduğu saptanmıştır. Bu sonuçtan yola çıkarak, Peleg modeli denkliğinden tüm sıcaklıklar için elde edilen deneysel ve tahmini rehidrasyon oranı tablolarından yararlanılarak Şekil 6.19-6.22 grafikleri oluşturulmuştur.

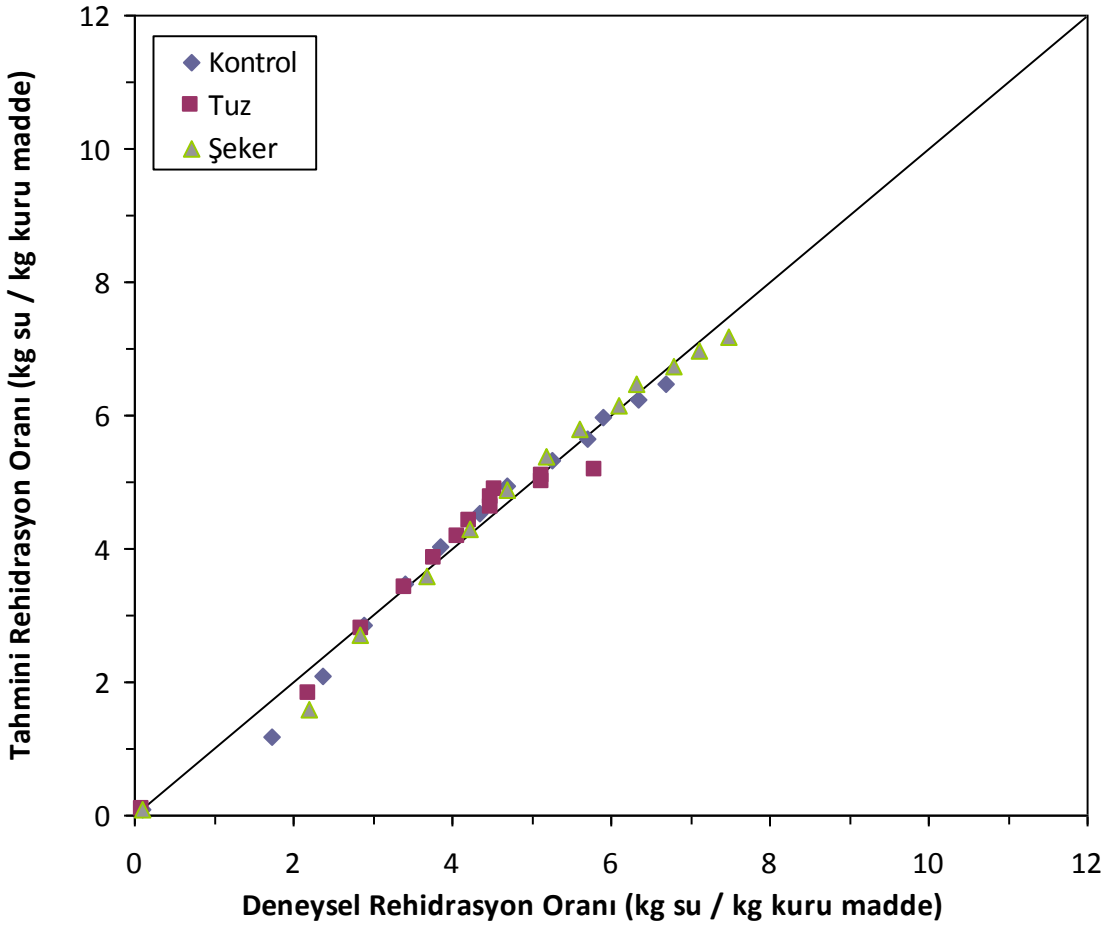
Çizelge 6.3 Patlıcan için hesaplanan R^2, χ^2 ve RMSE değerleri

Model	Kod	Sıcaklık (°C)	Sabitler	R^2	χ^2	RMSE
Peleg	Kontrol	25	k=17,38268/c=0,09273	0,9882	0,052122	0,569817
		45	k=19,47926/c=0,08536	0,9732	0,0468	0,501424
		65	k=19,58234/c=0,08196	0,9900	0,054798	0,522027
		85	k=15,08494/c=0,05522	0,9964	0,035871	0,505621
	Tuz	25	k=19,86832/c=0,12759	0,9888	0,075024	0,654021
		45	k=14,88061/c=0,13971	0,9732	0,033247	0,473536
		65	k=18,61415/c=0,11572	0,9890	0,038958	0,538166
		85	k=20,90628/c=0,09240	0,9829	0,075878	0,631915
	Şeker	25	k=25,00346/c=0,08718	0,9875	0,059161	0,60349
		45	k=22,49881/c=0,07736	0,9912	0,041985	0,510302
		65	k=18,10559/c=0,08882	0,9892	0,055977	0,568732
		85	k=14,35180/c=0,05948	0,9966	0,040035	0,462109
Weibull	Kontrol	25	a=1,0507/b=155,8496	0,9733	0,111916	0,900331
		45	a=1,0527/b=161,9588	0,9802	0,105245	0,797854
		65	a=1,0194/b=148,5709	0,9793	0,113636	0,854787
		85	a=1,1504/b=137,0859	0,9875	0,133751	1,008291
	Tuz	25	a=0,6711/b=112,0172	0,9753	0,059899	0,524861
		45	a=0,9273/b=124,0734	0,9806	0,057393	0,669831
		65	a=0,9369/b=125,9624	0,9808	0,068172	0,730448
		85	a=1,0086/b=139,8424	0,9687	0,138854	1,020773
	Şeker	25	a=0,9498/b=138,0554	0,9800	0,100766	0,793764
		45	a=1,0317/b=142,2375	0,9805	0,102736	0,892843
		65	a=0,9879/b=138,0059	0,9786	0,111478	0,89902
		85	a=0,9843/b=143,9255	0,9843	0,175734	1,128265

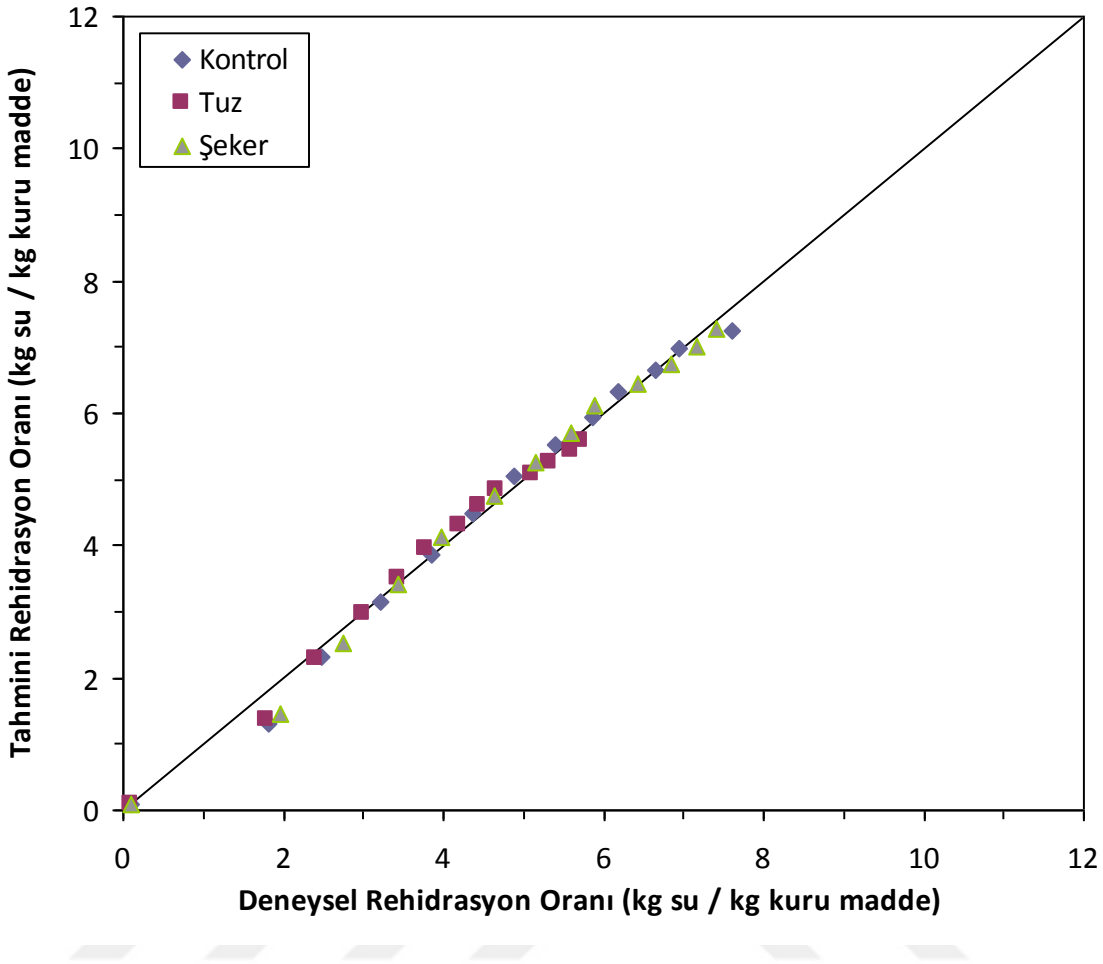
Çizelge 6.4 Patlıcan için hesaplanan R^2, χ^2 ve RMSE değerleri

Model	Kod	Sıcaklık (°C)	Sabitler	R^2	χ^2	RMSE
First-order	Kontrol	**25**	k=0,006460	0,9725	0,105445	0,927034
		45	k=0,006209	0,9794	0,100499	0,806055
		65	k=0,006750	0,9792	0,104741	0,864146
		85	k=0,007476	0,9821	0,175961	1,271707
	Tuz	**25**	k=0,008090	0,9185	0,181126	1,199599
		45	k=0,007925	0,9789	0,057447	0,68425
		65	k=0,007827	0,9795	0,066818	0,769373
		85	k=0,007162	0,9687	0,12737	1,023364
	Şeker	**25**	k=0,007176	0,9792	0,09627	0,840554
		45	k=0,007068	0,9802	0,095603	0,903846
		65	k=0,007230	0,9786	0,102407	0,895515
		85	k=0,007104	0,979	0,215736	1,400395
Eksponensiyel	Kontrol	**25**	k=0,006562	0,9714	0,109719	0,96822
		45	k=0,006296	0,9786	0,10405	0,85434
		65	k=0,006842	0,9781	0,110426	0,906745
		85	k=0,007549	0,9823	0,173438	1,283749
	Tuz	**25**	k=0,008255	0,9108	0,198299	1,277568
		45	k=0,008069	0,9762	0,064598	0,738677
		65	k=0,007957	0,9773	0,074041	0,823743
		85	k=0,007270	0,9671	0,134161	1,067526
	Şeker	**25**	k=0,007277	0,9773	0,104821	0,902528
		45	k=0,007166	0,9793	0,100034	0,947642
		65	k=0,007330	0,9771	0,109336	0,940151
		85	k=0,007172	0,9792	0,213527	1,416204

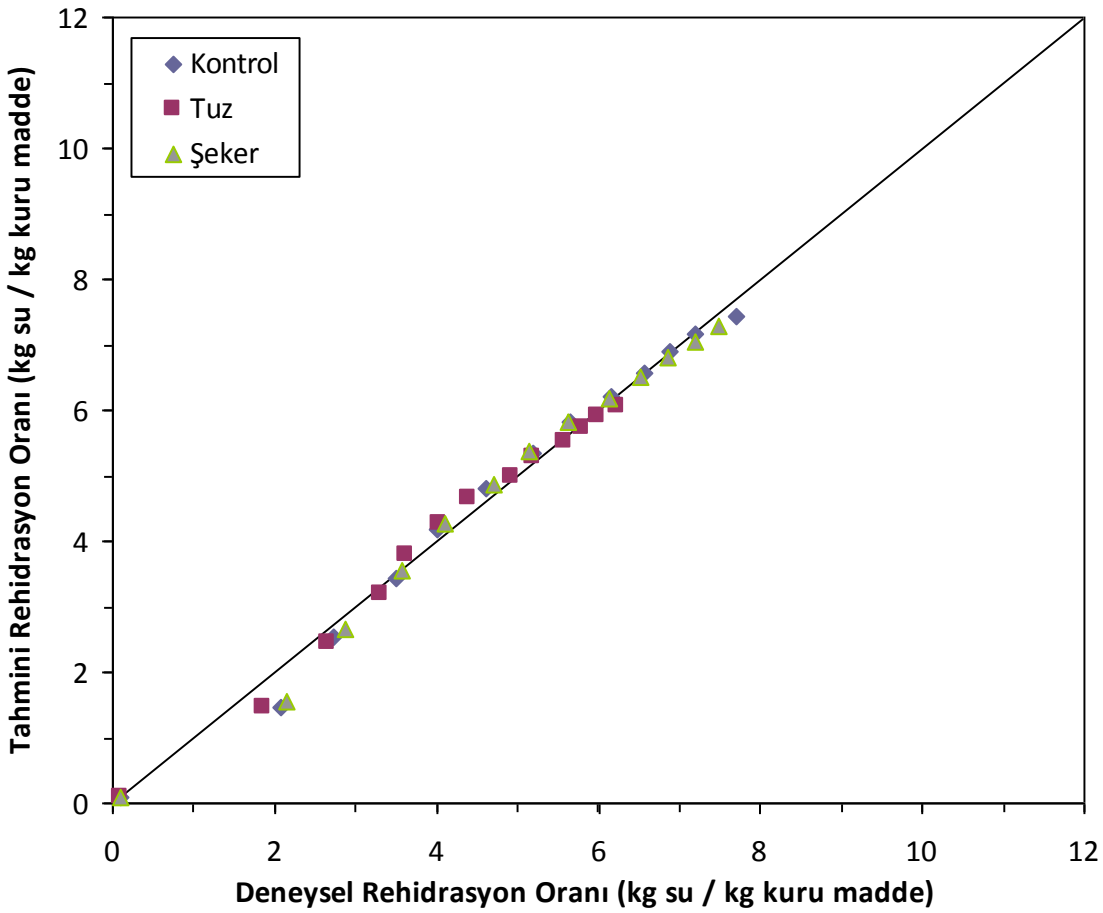
Dolmalık patlıcanın rehidrasyon prosesi için en uygun model olduğu saptanan Peleg tahmini rehidrasyon oranı verilerinin, deneysel rehidrasyon oranı verilerine karşılık çizilen eğriler Şekil 6.19-6.22'de gösterilmiştir. Bu grafiklerde görüldüğü üzere, 25, 45, 65 ve 85°C'lerde, ön işlemsiz ve ön işlemli deneyler için elde edilen değerler, diagonal eğri üzerinde yol izlemiş ve rehidrasyon prosesine uyumluluk göstermiştir.



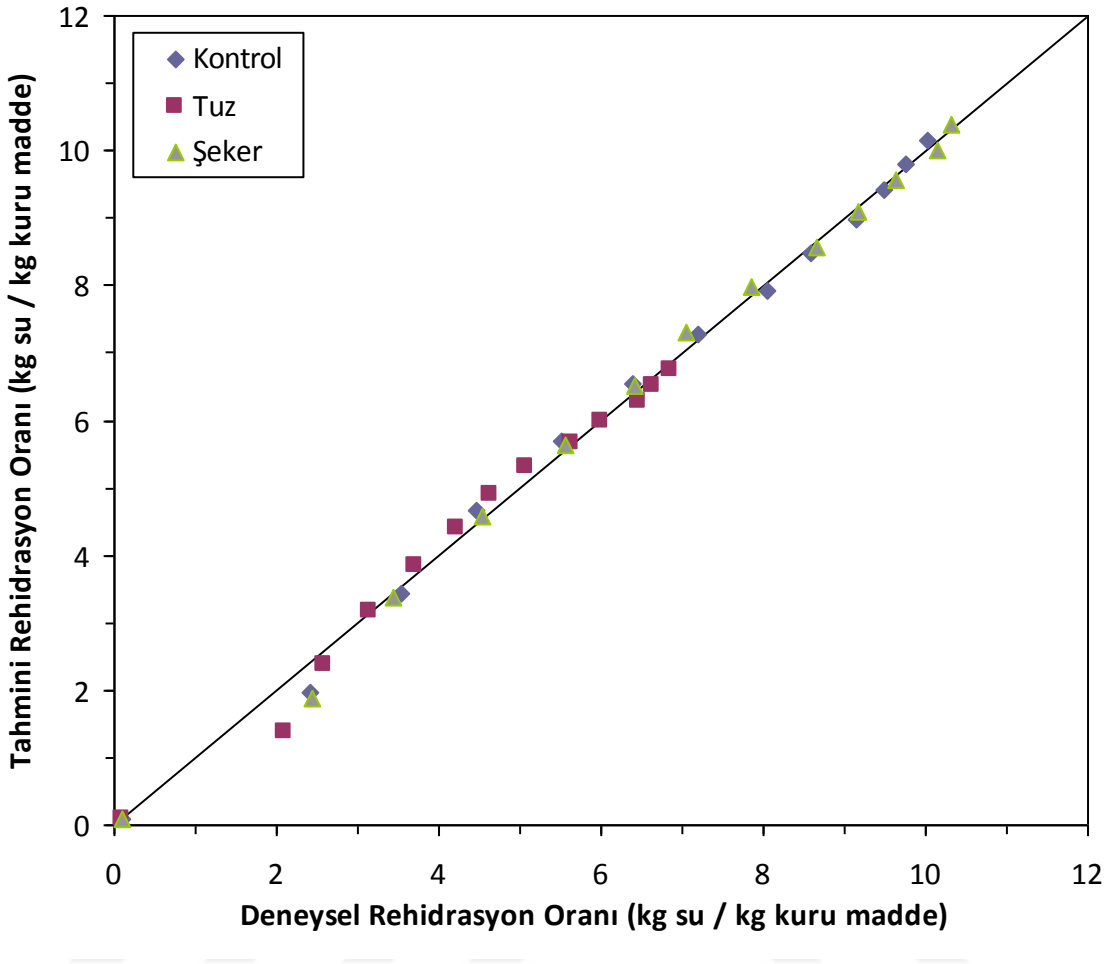
Şekil 6.19 Dolmalık patlıcanın 25°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları



Şekil 6.20 Dolmalık patlıcanın 45°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları



Şekil 6.21 Dolmalık patlıcanın 65°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları



Şekil 6.22 Dolmalık patlıcanın 85°C'de deneysel ve tahmini rehidrasyon oranları

BÖLÜM 7

SONUÇ ve ÖNERİLER

Gıdaların rehidrasyonu, kurutulmuş ürün su ile temasa girdiğinde, ürünün başlangıçtaki ham madde özelliklerine göre yeniden yapılanmasını amaçlayan bir prosestir ve materyalde kurutma esnasında meydana gelen yapısal deformasyonlar hakkında da bilgi verici bir rol oynar. Bir rehidrasyon çalışmasında hedef, ürünün en orijinal haline en kısa sürede ulaşmasıdır. Ancak rehidrasyonun, kurutmanın tam anlamıyla tersinir prosesi olduğu da söylenemez. Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon karakteristiği, kalite parametresi olarak kullanılmaktadır. Kurutma prosesi boyunca meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişiklikler ve bu değişikliklerin hangi kurutma koşullarında gerçekleştirildiği, ön işlemin varlığı gibi nitelikler, rehidrasyon karakteristiğini belirler.

Rehidrasyon prosesinin modellenmesi, mühendislerin en uygun çalışma koşullarını belirleyebilmelerine olanak sağlar. Böylelikle ideal ürünü elde edebilmek için gereken sıcaklık, zaman ve derişim vb. nitelikler tespit edilmiş olur.

Bu çalışmada, dolmalık biber ve dolmalık patlıcanın 6 saat boyunca 25, 45, 65 ve 85°C'lerde ön işlemli ve ön işlemsiz rehidrasyonu incelenmiş ve deneysel verilere Peleg, Weibull, First-order ve Eksponensiyel kinetik modelleri uygulanarak, prosese en uygun model saptanmıştır. Ayrıca ön işlemin ve sıcaklığın rehidrasyon oranına etkisi yorumlanmıştır.

a) Ön işlemin rehidrasyon oranına etkisi

Dolmalık biber ve patlıcan örneklerinin 25, 45, 65 ve 85°C'lerde ön işlemli (%1 şeker, %1 NaCl) ve ön işlemsiz olarak gerçekleştirilen rehidrasyon deneylerinden elde edilen verilere göre çizilen zamana karşı rehidrasyon oranı eğrilerinden yararlanarak tüm sıcaklıklar için en yüksek rehidrasyon oranına ön işlemsiz rehidrasyonda ulaşıldığı görülmüştür. Bunu sırasıyla şeker ve tuz çözeltileri ile ön işlem uygulanan rehidrasyon eğrileri takip etmiştir.

Bu sonuçlara göre, ön işlemsiz rehidrasyonda en yüksek rehidrasyon oranı sonuçlarına ulaşılmıştır. Viskoziteyi artırıcı etmenler ve ortamda katı partiküllerin varlığı, kuru sebzelerin rehidrasyon kinetiğini yavaşlatır.

b) Sıcaklığın rehidrasyon oranına etkisi

Dolmalık biber ve patlıcan örneklerinin 25, 45, 65 ve 85°C'lerde ön işlemli ve ön işlemsiz olarak gerçekleştirilen rehidrasyon deneylerinden elde edilen verilere göre sıcaklık artıkça rehidrasyon oranının da arttığı görülmüştür.

c) Rehidrasyonun modellenmesi

Deneysel verilerden yararlanarak lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla rehidrasyon oranı ile rehidrasyon süresinin değişimi eğrilerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Bu amaçla, deneysel verilere Peleg, Weibull, First-order ve Eksponensiyel modelleri uygulanmış ve elde edilen regresyon katsayıları (R^2), tahmini standart hatası (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerleri kaydedilmiştir. Dolmalık biber ve patlıcan örnekleri için Peleg modelinin R^2 değerleri diğer denklemlere göre daha yüksek; χ^2 ve RMSE değerleri ise daha düşük bulunmuştur ve Peleg modelinin dolmalık biber ve patlıcanın rehidrasyon prosesini tanımlamada diğer modelleme denkliklerine göre daha uygun olduğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR

[1] T.C. Milli Eğitim Müdürlüğü, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Sebzecilik, http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/bahcecilik/moduller/sebzecilik.pdf, 20 Aralık 2013.

[2] Organikoop, Biber ve Dolma Biberi, http://www.organikoop.com/biber-(capsicum-annuum)-, 20 Aralık 2013.

[3] Muş Tarım İl Müdürlüğü, Biber Yetiştiriciliği, http://www.mustarim.gov.tr/Biberyetistiricili%C4%9Fi.htm, 20 Aralık 2013.

[4] Guiné, R.P.F., Faustino, J.M.F. ve Barroca, M.J., (2007). ''Study of the Drying Kinetics of Green Bell Pepper and Chemical Characterization'', Food and Bioproducts Processing, 85:163-170.

[5] Arslan, D. ve Özcan, M.M., (2011). ''Dehydration of Red Bell Pepper (*Capsicum Annum L.*) : Change in Drying Behaviour, Color and Antioxidant Content'', Food and Bioproducts Processing, 89:504-513.

[6] Genç Ziraat, Açık Tarlada Biber Yetiştiriciliği, http://www.gencziraat.com/Bahce-Bitkileri/Acik-Tarlada-Biber-Yetistiriciligi-7.html, 20 Aralık 2013.

[7] Tarım Sanayi ve Ticaret A.Ş., Biber Çeşitleri, http://www.tasaco.com/Tohum.aspx?cesit=109, 15 Mart 2014.

[8] T.C. Milli Eğitim Müdürlüğü, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Biber Yetiştiriciliği, http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/bahcecilik/moduller/biber_yetistiriciligi.pdf, 20 Aralık 2013.

[9] T.C. Ekonomi Bakanlığı, Yaş Meyve ve Sebze Sektör Raporları, http://www.ibp.gov.tr/pg/sektorpdf/tarim/yasmeyvesebze.pdf, 18 Mart 2014.

[10] Koca, İ. ve Erdoğan, B., (2011). ''Samsun'da Kırmızı Biber Üretimi ve Değerlendirilmesi'', Samsun Sempozyumu, Samsun, 1-9.

[11] Ata, A., (2012). Patlıcan Yetiştiriciliği, Bahçe Kültürleri Araştırma İstasyonu Müdürlüğü, Mersin. http://www.alata.gov.tr/wpcontent/uploads/2012/09/Patl%C4%B1canYeti%C5%9Ftiricili%C4%9FiAAta.pdf, 23 Aralık 2013.

[12] Brasiello, A., Adiletta, G., Russo, P., Crescitelli, S., Albanese, D. ve Di Matteo, M., (2013). ''Mathematical Modelling of Eggplant Drying: Shrinkage Effect'', Journal of Food Engineering, 114:99-105.

[13] T.C. Milli Eğitim Müdürlüğü, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Patlıcan Yetiştiriciliği, http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/bahcecilik/moduller/patlican_yetistiriciligi.pdf, 20 Aralık 2013.

[14] Kömürcü, N., (2006). Patlıcan Yetiştiriciliği, T.C. Samsun İl Valiliği İl Tarım Müdürlüğü, Samsun. http://ayvaciktarim.gov.tr/teknikbilgiler/liftletler/bahce/patlican.pdf, 23 Aralık 2013.

[15] Topçu, V. ve Boyacı, H.F., Patlıcan Yetiştiriciliğinin Dünya ve Türkiye'deki Durumu. http://batem.gov.tr/yayinlar/bilimsel_makaleler/sebzecilik/yayin_sebzecilik.htm, 19 Şubat 2014.

[16] Susuz Alanyalı, F., Yılmaz Sarıözlü, N., Güven, A., Kıvanç, M., Yılmaz, M., Demirel, R., Güven, K. ve Mutlu, M.B., (2009). Gıda Muhafaza, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 118-227.

[17] Tagawa, A., Wu, L., Orikasa, T. ve Ogawa, Y., (2007). ''Vacuum Drying Characteristics of Eggplants'', Journal of Food Engineering, 83:422-429.

[18] Güneşte Kurutma Yöntemi, Kurutulmuş Domates Sergisi, http://forum.gidagundemi.com/kurutulmus-domates-sergisi-t2252.html, 15 Mart 2014.

[19] T.C. Milli Eğitim Müdürlüğü, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Sebzeleri Kurutma, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sebzeleri%20Kurutma.pdf, 10 Aralık 2013.

[20] Akpınar, E.K. ve Bicer, Y., (2008). ''Mathematical Modelling of Thin Layer Drying Process of Long Green Pepper in Solar Dryer and Under Open Sun'', Energy Conversion and Management, 49:1367-1375.

[21] Gürsel, Ö.L., (1986). Gıda İşleme Mühendisliği-II, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara, 9-33.

[22] Cemeroğlu, B., (2004), Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, 2. Baskı, Ankara, 479-599.

[23] T.C. Milli Eğitim Müdürlüğü, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Meyveleri Kurutma, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Meyveleri%20Kurutma.pdf, 10 Aralık 2013.

[24] Gornicki, K., Kaleta, A., Winiczenko, R., Chojnacka, A. ve Janaszek, M., (2013). Some Remarks on Modelling of Mass Transfer Kinetics During Rehydration of Dried Fruits and Vegetables, 1-20.

[25] Marabi, A. ve Saguy, I.S., (2009). ''Rehydration and Reconstitution of Foods'', Advances in Food Dehydration, 9:237-277.
[26] Doymaz, I. ve Ismail, O., (2010). ''Drying and Rehydration Behaviours of Green Bell Peppers'', Food Science and Biotechnology, 19:1249-1455.
[27] Abu-Ghannam, N., Cox, S. ve Gupta, S., (2012). ''Effect of Different Rehydration Temperatures on the Moisture, Content of Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and Textural Properties of Edible Irish Brown Seawed'', Food Science and Technology, 47:300-307.
[28] Moreira, R., Chenlo, F., Chaguri, L. ve Fernandes, C., (2008). ''Water Absorption, Texture and Color Kinetics Of Air-Dried Chestnuts During Rehydration'', Journal of Food Engineering, 86:584-594.
[29] Saguy, I.S., Marabi, A. ve Wallach, R., (2005). ''Liquid Imbibition During Rehydration of Dry Porous Foods'', Innovative Food Science and Emerging Technologies, 6:37-43.
[30] Vega-Gálvez, A., Notte-Cuello, E., Lemus- Mondaca, R., Zura, L. ve Miranda, M., (2009). ''Mathematical Modelling of Mass Transfer During Rehydration Process of Aloe Vera (*Aloe barbadensis Miller*)'', Food and Bioproducts Processing, 87:254-260.
[31] Özbek, B., Dadali, G. ve Emirhan, E., (2008). ''Effect of Drying Conditions on Rehydration Kinetics of Microwave Dried Spinach'', Food and bioproducts Processing, 86:235-241.
[32] Martinez-Monzó, J., García-Segovia, P. ve Andrés-Bello, A., (2011). ''Rehydration of Air-Dried Shiitake Mushroom (*Lentinus Edodes*) Caps: Comparison of Conventional and Vacuum Water İmmersional Processes, Food Science and Technology, 44:480-488.
[33] Rastogi, N.K., Debnath, S., Hemavathy, J. ve Bhat, K.K., (2004). ''Rehydration Characteristics of Osmotic Pretreated and Dried Onion'', Food and Bioproducts Processing, 82:304-310.
[34] Agnieszka, C. ve Andrzej, L., (2010). ''Rehydration and Sorption Properties of Osmotically Pretreated Freeze-Dried Strawberries'', Journal of Food Engineering, 97:267-274.
[35] Lewicki, P.P., (1998). ''Some Remarks on Rehydration of Dried Foods'', Journal of Food Engineering, 36:81-87.
[36] Marques, L.G., Prado, M.M. ve Freire, J.T., (2009). ''Rehydration Characteristics of Freeze-Dried Tropical Fruits'', Food Science and Technology, 42:1232-1237.
[37] Lewicki, P.P., Witrowa-Rajchert, D. ve Mariak, J., (1997). 'Changes of Structure During Rehydration of Dried Apples'', Journal of Food Engineering, 32:347-350.
[38] Gou, P., Muñoz, I., Garcia-Gil, N. ve Arnau, J., (2012). ''Rehydration Kinetics at 5 and 15˚C of Dry Salted Meat'', Journal of Food Engineering, 110:465-471.
[39] Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Saínz, C., Fito, P. ve Andrés, A., (2008). ''Effect of Air Drying Temperature on the Quality of Rehydrated Dried Red Bell Pepper (*Var. Lamuyo*)'', Journal of Food Engineering, 85:42-50.
[40] Krokida, M.K. ve Marinos-Kouris, D., (2003). ''Rehydration Kinetics of Dehydrated Products'', Journal of Food Engineering, 57:1-7.
[41] Allaf, K., Téllez-Pérez, C., Sabah, M.M., Montejano-Gaitán, J.G., Sobolik,V. ve Martínez, C.A., (2012). ''Impact of Instant Controlled Pressure Drop Treatment

on Dehydration and Rehydration Kinetics of Green Moroccan Pepper (*Capsicum annuum*)'', Procedia Engineering, 42:1077-1101.

[42] Balasublamanian, S., Sharma, R., Gupta, R.K. ve Patil, R.T., (2011). ''Validation of Drying Models and Rehydration Characteristics of Betel (*Piper Betel L.*) Leaves'', Journal of food Science Technology, 48:685-691.

[43] Bobić, Z., Bauman, I. ve Ćurić, D., (2002). ''Rehydration Ratio of Fluid Bed-Dried Vegetables'', 365-374.

[44] Kumar, K.V., Gupta, V.K. ve Souza, H.K.S., (2011). ''On the Initial Reaction Rate of Peleg's Model for Rehydration Kinetics'', Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 42:278-280.

[45] Planinić, M., Velić, D., Tomas, S., Bilić, M. ve Bucić, A., (2005). ''Modelling of Drying and Rehydration of Carrots Using Peleg's Model'', Eur Food Res Technology, 221:446-451.

[46] Russo, P., Adiletta, G. ve Matteo, M.D., (2013). ''The Influence of Drying Air Temperature on the Physical Properties of Dried and Rehydrated Eggplant'', Food and Bioproducts Processing, 91:249-256.

[47] Sanjuán, N., Cárcel, J.A., Clemente, G. ve Mulet, A., (2001). ''Modelling of the Rehydration Process of Brocolli Florets'', Eur Food Res Technology, 212:449-453.

[48] Tortoe, C. ve Akonor, P.T., (2014). ''Effect of Blanching and Osmotic Pre-Treatment on Drying Kinetics, Shrinkage and Rehydration of Chayote (*Sechium Edule*) During Convective Drying'', British Journal of Applied Science and Technology, 4:1215-1229.

[49] Vega-Gálvez, A., Zura, L., Uribe, E., Lemus-Mondaca, R., Saavedra-Torrico, J. ve Scala, K.D., (2013). ''Rehydration Capacity of Chilean Papaya (*Vasconcellea pubescens*): Effect of Process Temperature on Kinetic Parameters and Functional Properties'', Food Bioprocess Technology, 6:844-850.

[50] Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., Lemus-Mondaca, R., Martinez-Monzó, J., Quispe-Fuentes, I., Puente, L. ve Scala, K.D., (2013). ''Influence of Drying Temperature on Dietary Fibre, Rehydration Properties, Texture and Microstructure of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana L.*)'', Journal of Food Science and Technology, (baskıda).

[51] Vergeldt, F.J., Dalen, G., Duijster, A.J., Voda, A., Khalloufi, S., Vliet, L.J., As, H.V., Duynhoven, J.P.M. ve Sman, R.G.M., (2014). ''Rehydration Kinetics of Freeze-Dried Carrots'', Innovative Food Science and Emerging Technologies, (baskıda).

[52] Wallach, R., Troygot, O. ve Saguy, I.S., (2011). ''Modeling Rehydration of Porous Food Materials: I. Determination of Characteristic Curve From Water Sorption Isotherms'', Journal of Food Engineering, 105:408-415.

[53] Marabi, A., Livings, S., Jacobson, M. ve Saguy, I.S., (2003). ''Normalized Weibull Distribution for Modeling Rehydration of Food Particulates'', Eur Food Res Technology, 217:311-318.

[54] Zhao, Y., Deng, Y., Wang, Y., Yue, J., Liu, Z., Zhong, Y. ve Yang, H., (2014). ''Drying- induced Protein and Microstructure Damages of Squid Fillets Affected Moisture Distribution and Rehydration Ability During Rehydration'', Journal of Food Engineering, 123: 23-31.

[55] Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., Ah-hen, K., Garcia-Segovia, P. ve Lemus-Mondaca, R., (2013). ''Effect of Rehydration Temperature on Functional Properties, Antioxidant Capacity and Structural Characteristics of Apple (*Granny Smith*) Slices in Relation to Mass Transfer Kinetics'', Journal of Food Process Engineering, 36:559-571.

[56] Pala, M., Saygı, Y.B., (1983). Su Aktivitesi ve Gıda İşlemedeki Önemi, Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, 33-34.

[57] Certel, M., Ertugay, M.F., (1996). Gıdalarda Su Aktivitesini Kontrol ve Belirleme Yöntemleri-II, 307-310.

[58] Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Enerji Sistemleri Laboratuvarı II Deney Föyü, http://esm.erciyes.edu.tr/dosyalar/dokumanlar/Deney%20F%C3%B6yleri/Bahar%20D%C3%B6nemi/kutle_transferi.pdf, 21 Ocak 2015.

[59] Tırnaksız, F., Modern Farmasötik Teknoloji, http://www.e-kutuphane.teb.org.tr/pdf/tebakademi/modern_farmasotk/10.pdf, 21 Ocak 2015.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Zeynep KERVANCI

Doğum Tarihi ve Yeri : 08.09.1988/ İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : zeynepkrvnc@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lisans	Kimya Mühendisliği	Gazi Üniversitesi	2011
Lise	Fen	Tekirdağ Anadolu L.	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008	Trakya Birlik Yağ Entegre Tesisleri	Stajyer Mühendis
2009	Botaş LNG Tesisleri	Stajyer Mühendis