



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜLERİ
ORTAK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seda SEZER

**SOĞAN DİLİMLERİNİN ÇEŞİTLİ
YÖNTEMLERLE KURUTMA
KARAKTERİSTİKLERİNİN VE KURUTMA
ESNASINDA MEYDANA GELEN
DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

OSMANİYE – 2017

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜLERİ
ORTAK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**SOĞAN DİLİMLERİNİN ÇEŞİTLİ YÖNTEMLERLE
KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN VE KURUTMA
ESNASINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLERİN
İNCELENMESİ**

Seda SEZER

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

**OSMANIYE
Nisan – 2017**

TEZ ONAYI

SOĞAN DİLİMLERİNİN ÇEŞİTLİ YÖNTEMLERLE KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN VE KURUTMA ESNASINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ

Seda SEZER tarafından Yrd. Doç. Dr. Hande DEMİR danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Gıda Mühendisliği** Ana Bilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hande DEMİR
GIDA Mühendisliği Ana Bilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Kenan Sinan DAYISOYLU
Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, KSÜ, Müh. ve Mim. Fak.

Üye: Yrd. Doç. Dr. Pınar KADİROĞLU
Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana BTÜ, Müh. ve Doğa Bil. Fak.

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Halil Zeki GÖK
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma O.K.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

BAP Proje No: OKÜBAP-2015-PT3-017

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Seda SEZER



ÖZET

SOĞAN DİLİMLERİNİN ÇEŞİTLİ YÖNTEMLERLE KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN VE KURUTMA ESNASINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ

Seda SEZER

Yüksek Lisans, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hande DEMİR

Nisan 2017, 77 sayfa

Bu çalışmada; soğan (*Allium cepa* L.) dilimlerinin taşınımına, vakum altında ve mikrodalga ile kurutulması, kurutma kinetiği açısından çeşitli koşullar altında incelenmiştir. Ön işlem (NaCl çözeltisinde bekletme) uygulanmış ve uygulanmamış olan 3 ve 7 mm kalınlığa sahip olan dilimlerin kuruma kinetikleri, taşınımına ve vakum altında kurutmada 50°C, 60°C ve 70°C’de, mikrodalga kurutmada ise 80 W, 240 W, 400 W’da çıkartılmıştır. Soğan örneklerinin kuruma davranışını en iyi tanımlayan modelin Sigmoid model olduğu belirlenmiştir. Difüzyon katsayıları taşınımına kurutma için $1,962 \cdot 10^{-9} - 1,372 \cdot 10^{-8}$ m²/s aralığında, vakum altında kurutma için $9,757 \cdot 10^{-9} - 1,723 \cdot 10^{-8}$ m²/s aralığında ve mikrodalga kurutma için ise $3,193 \cdot 10^{-8} - 9,139 \cdot 10^{-7}$ m²/s aralığında hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjilerine bakıldığında ise taşınımına ve vakum altında kurutma için 3,28 – 34,13 kJ/mol aralığı göze çarparken, bu değerler mikrodalga kurutmada 2,25 – 6,08 W/kg olmaktadır. Soğan dilimlerinin kurutulması esnasında uğradığı renk değişiminin en aza indirildiği işlem koşulları ise her üç kurutma yöntemi için deney tasarımı ve istatistiksel analiz yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre en düşük toplam renk değişimi (ΔE) değeri taşınımına kurutma yöntemi ile 40,72 °C sıcaklık, % 6,49 tuzluluk ve 2,87 mm dilim kalınlığı koşullarında elde edilmiştir. Elde edilen bulguların soğan dilimlerinin kurutulması için endüstriyel boyutta üreticilere kaynak oluşturması mümkündür.

Anahtar Kelimeler: *Allium cepa* L., kurutma, konveksiyonel, mikrodalga, vakum, renk

ABSTRACT

INVESTIGATION ON DRYING CHARACTERISTICS OF ONION SLICES BY VARIOUS METHODS AND THE CHANGES DURING DRYING

Seda SEZER
M.Sc., Department of Food Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hande DEMİR

April 2017, 77 pages

In this study; drying of onions by convective, vacuum and microwave methods in terms of drying kinetics were investigated at various conditions. Kinetics of intact and brined (dipped into NaCl solution) onion slices of 3 and 7 mm thicknesses dried at 50°C, 60°C, 70°C for convective and vacuum drying, and 80 W, 240 W, 400 W for microwave drying were obtained. Fitting of the experimental data to thirteen thin layer drying models resulted in Sigmoid model as the most suitable model for all investigated drying techniques. Diffusion coefficients varied between $1.962 \cdot 10^{-9}$ and $1.372 \cdot 10^{-8}$ m²/s for convective, $9.757 \cdot 10^{-9}$ and $1.723 \cdot 10^{-8}$ m²/s for vacuum and $3.193 \cdot 10^{-8}$ and $9.139 \cdot 10^{-7}$ m²/s for microwave drying. Activation energy values were in the range of 3.28 – 34.13 kJ/mole for convective and vacuum drying and 2.25 – 6.08 W/kg for microwave drying. The optimum conditions that minimize the color changes of onion slices during drying was obtained for each three drying method using experimental design and statistical analysis. The lowest total color change value (ΔE) was obtained by convective drying method at the conditions of 40.72 °C, 6.49 % (w/v) salt solution and 2.87 mm slice thickness. The results of this study are believed to enlighten the manufacturers for drying of onion slices at industrial scale.

Key Words: *Allium cepa* L., drying, convectional, microwave, vacuum, color

Aileme...



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütölmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hande DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Tez'e konu olan konveksiyonel kurutma deney düzeneği sisteminin kurulmasında ve çalıştırılmasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Hasan DEMİR hocama ve bölümdeki çalışmalarım süresince beni destekleyen Arş. Gör. Özge SÜFER'e ve Bölüm Hocalarıma teşekkür ederim. Tez çalışmam süresince desteklerini esirgemeyen aileme, İsmail BECERİKLİ ve Mustafa Kemal YILDIZ'a ayrıca teşekkür ederim.

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi BAP (2015-PT3-017) birimi tarafından desteklenmiştir. Adı geçen kuruma teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İTHAF SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1 Soğan.....	7
3.2 Kurutma Yöntemleri	7
3.2.1 Taşınım ile Kurutma.....	7
3.2.2 Mikrodalga Kurutma	8
3.2.3 Vakum Altında Kurutma	8
3.3 Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi	9
3.4 Etkin Nem Difüzyon hızı ve Aktivasyon Enerjisi	11
3.5 Renk Değerlerinin Belirlenmesi	12
3.6 Toplam Fenolik Madde Tayini	12
3.7 Deney Tasarımı ve İstatistiksel Analiz.....	13
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	16
4.1 Taşınım ile Kurutma Kinetiği.....	16
4.2 Mikrodalga Kurutma Kinetiği	19
4.3 Vakum Altında Kurutma Kinetiği	22
4.4 Etkin Nem Difüzyon hızı.....	25
4.5 Aktivasyon Enerjisi.....	26
4.6 Soğan Dilimlerinin Kurutulması Esnasında Renk Değişimine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi.....	27

4.6.1 Taşınımla Kurutma için Tarama Aşaması.....	27
4.6.2 Taşınımla Kurutma için Optimizasyon Aşaması	30
4.6.3 Taşınımla Kurutma için Doğrulama Aşaması	33
4.6.4 Mikrodalga Kurutma için Tarama Aşaması	35
4.6.5 Mikrodalga Kurutma için Optimizasyon Aşaması.....	38
4.6.6 Mikrodalga Kurutma için Doğrulama Aşaması.....	40
4.6.7 Vakumla Kurutma için Tarama Aşaması	41
4.6.8 Vakumla Kurutma için Optimizasyon Aşaması	43
4.6.9 Vakumla Kurutma için Doğrulama Aşaması.....	45
4.7 Soğan Dilimlerinin Kurutulması ile Toplam Fenolik Madde Değişimi.....	46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	48
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	58
EKLER.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Kurutma eğrilerine uygulanan kurutma modelleri.....	10
Çizelge 3.2 Kurutma koşullarının taranması için incelenen faktörler ve seviyeleri...	13
Çizelge 3.3 Taşınım ile kurutma koşullarının FCCD ile optimizasyonu için incelenen faktörler ve seviyeleri.....	14
Çizelge 3.4 Mikrodalga ile kurutma koşullarının FCCD ile optimizasyonu için incelenen faktörler ve seviyeleri	14
Çizelge 3.5 Vakum ile kurutma koşullarının FCCD ile optimizasyonu için incelenen faktörler ve seviyeleri.....	14
Çizelge 4.1 Kurutulmuş soğan dilimlerinin aktivasyon enerjisi değerleri.....	27
Çizelge 4.2 Taşınım ile kurutma koşullarının taranması için kullanılan deney planı ve elde edilen sonuçlar	28
Çizelge 4.3 Taşınım ile kurutmada tarama aşamasında toplam renk değişimi (ΔE) üzerine incelenen faktörlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu	29
Çizelge 4.4 Taşınım ile kurutma işlem koşullarının optimizasyonu için kullanılan merkezi kompozit deney planı ve elde edilen sonuçlar (kurutma süresi: 20 h).....	31
Çizelge 4.5 Taşınım ile kurutmanın optimizasyonu aşamasında toplam renk değişimi üzerine incelenen faktörlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu	32
Çizelge 4.6 Taşınım ile kurutma için doğrulama deney koşulları ve sonuçları	34
Çizelge 4.7 Mikrodalga kurutma koşullarının taranması için kullanılan deney planı ve elde edilen sonuçlar	36
Çizelge 4.8 Mikrodalga kurutmada tarama aşamasında toplam renk değişimi (ΔE) üzerine incelenen faktörlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu	36
Çizelge 4.9 Mikrodalga kurutma koşullarının optimizasyonu için kullanılan deney planı ve elde edilen sonuçlar	39
Çizelge 4.10 Mikrodalga kurutmada optimizasyon aşamasında toplam renk değişimi (ΔE) üzerine incelenen faktörlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu	39
Çizelge 4.11 Mikrodalga kurutma için doğrulama deney koşulları ve sonuçları.....	40
Çizelge 4.12 Vakum ile kurutma koşullarının taranması için kullanılan deney planı ve elde edilen sonuçlar	42

Çizelge 4.13 Vakumla kurutmada tarama aşamasında toplam renk değişimi (ΔE) üzerine incelenen faktörlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu	42
Çizelge 4.14 Vakumla kurutma işlem koşullarının optimizasyonu için kullanılan merkezi kompozit deney planı ve elde edilen sonuçlar (kurutma süresi: 5 h, tuzluluk: % 0).....	44
Çizelge 4.15 Vakumla kurutmanın optimizasyonu aşamasında toplam renk değişimi üzerine incelenen faktörlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu	44
Çizelge 4.16 Vakumla kurutma için doğrulama deney koşulları ve sonuçları.....	45



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Taşınımla kurutma ve kayıt alma düzeneği.....	8
Şekil 4.1 Taşınımla kurutulmuş soğan dilimlerinin zamana karşılık nem oranlarının değişimi a) önişlem uygulaması yapılmamış dilimler b) önişlem uygulaması yapılmış dilimler	18
Şekil 4.2 Mikrodalga ile kurutulmuş soğan dilimlerinin zamana karşılık nem oranlarının değişimi a) önişlem uygulaması yapılmamış dilimler b) önişlem uygulaması yapılmış dilimler	21
Şekil 4.3 Vakum altında kurutulmuş soğan dilimlerinin zamana karşılık nem oranlarının değişimi a) önişlem uygulaması yapılmamış dilimler b) önişlem uygulaması yapılmış dilimler	23
Şekil 4.4 Taşınımla kurutma tarama aşamasında incelenen dilim kalınlığı faktörünün toplam renk değişimi (ΔE) üzerine etkisi.....	29
Şekil 4.5 Optimizasyon aşamasında a) kalınlık – tuzluluk, b) kalınlık – sıcaklık etkileşimlerinin toplam renk değişimi üzerine etkisi.....	33
Şekil 4.6 Mikrodalga kurutma tarama aşamasında incelenen a) tuzluluk, b) mikrodalga gücü ve c) dilim kalınlığı faktörlerinin toplam renk değişimi (ΔE) üzerine etkisi	37
Şekil 4.7 Mikrodalga kurutmada optimizasyon aşamasında kalınlık – tuzluluk etkileşiminin toplam renk değişimi üzerine etkisi (sıcaklık: 60 °C).....	40
Şekil 4.8 Vakumla kurutma tarama aşamasında incelenen tuzluluk-sıcaklık etkileşim faktörlerinin toplam renk değişimi (ΔE) üzerine etkisi.....	43
Şekil 4.9 Optimizasyon aşamasında kalınlık – sıcaklık etkileşiminin toplam renk değişimi üzerine etkisi	45
Şekil 4.10 Soğan dilimlerinin kurutulması ile toplam fenolik madde değişimi.....	47

SİMGELER ve KISALTMALAR

L*	Aydınlık
a*	Kırmızılık, yeşillik
b*	Sarılık, mavilik
ΔE	Örneklerin toplam renk değeri farklılığı
FCCD	Yüzey Merkezli Merkezi kompozit tasarım (face-centred central composite design)
ANOVA	varyans analizi



1. GİRİŞ

Dünya’da en çok üretilen 7 ana sebze (soğan, sarımsak, karnabahar, bezelye, kabak, domates, yeşil fasulye) arasında 3. sırada yer alan kuru soğan, Türkiye İstatistik Kurumu’nun yayımlamış olduğu verilere göre, Türkiye’de son 5 yılda toplam 9,5 milyon ton, sadece 2013 yılında ise 1,9 milyon ton üretilmiştir. FAOSTAT (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu İstatistik Veritabanı) verilerine göre 2007-2011 yılları arasında Türkiye’den yaklaşık 100 bin ila 200 bin ton arası soğan ihracatı yapılmış olup, ithalat değerleri ise ihmal edilecek düzeyde azdır. Bu değerlere bakıldığında Türkiye’de üretilen soğanın yaklaşık %90’ının yurtiçinde değerlendirilmekte olduğu anlaşılmaktadır.

Kurutma; ham, yarı işlenmiş ya da işlenmiş katı, sıvı ve yarı sıvı gıdaların yapılarındaki su oranının azaltılması işlemi tanımlamakta kullanılır. Başlangıç su miktarı üründen ürüne farklı olduğu gibi kurutulmuş üründe kalan su miktarı da ürüne göre farklılık gösterir. Gıdaların korunmasında en eski yöntemlerden biri olan kurutma ile gıdalar bozulmadan çok uzun süre saklanabilmektedir. Bu yöntemle korumanın; nedeni su etkinliğinin (aktivitesinin) düşürülerek mikroorganizmanın bozulmaya neden olabilmesi için ihtiyaç duyduğu serbest suyun bulunmaması ve istenmeyen çeşitli kimyasal değişimlere neden olan enzimlerin susuz ortamda aktivite gösterememesidir. Gıda kurutmanın temel amacı kaliteyi ve istenen özellikleri etkilemeden, raf ömrü uzun ürünler elde etmektir. Kurutma sırasında ısı transferi, kondüksiyon (iletim), konveksiyon (taşınım) veya radyasyon (ışınım) ile olabilmektedir. Konveksiyonla kurutmada suyun buharlaşması için gerekli ısı, hava gibi bir gaz tarafından taşınır. Sıcak hava kurutulacak maddenin içinden, üzerinden ya da arasından geçirilir. Tünel, akışkan yatak ve püskürtmeli kurutucular bu yöntemin değişik uygulamalarıdır.

Gıda işleme ya da depolama sırasında tat veya renk gibi bir gıda bileşeninin kaybı ya da hasarının asgariye düşürülmesi için, indirgenme oranlarını tanımlamak ve ısı, nem muhtevası ve su aktivitesi gibi faktörlere bağlılığını kinetik modellerle açıklanmalıdır. Bu kinetik model kurutma ve depolama optimizasyon prosedürlerinin gelişmesi için gereklidir. Bu nedenle, kurutma ve depolama sırasında gıda bileşenleri

ve besin kayıpların degradasyon modelleri ile ilgili kinetik çalışmalar, son yıllarda giderek önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada; soğan (*Allium cepa* L.) dilimleri farklı ortam koşullarında (etüv, mikrodalga ve vakumlu etüv); farklı kalınlıklarda dilimlenerek nişleme (eşitli konsantrasyonlardaki tuz çözeltilerine belirli bir süre daldırma) tabi tutulmuş ve tutulmamış olarak kurutma süresi, kurutma hızı, difüzyon katsayısı vb. gibi kurutmaya ait özelliklerini tespit etmek ve aynı zamanda, kurutma esnasında en önemli fiziksel özelliklerden sayılan renginde meydana gelen değişimi belirlemek hedeflenmiştir. Kurutulmuş soğan gıda sanayiinde özellikle yemekilik sektörü ile hazır çorba, soslar, salata ve marine edilmiş çeşitli gıdalarda kullanım potansiyeli olan bir gıda maddesidir. Bu nedenle kurutma koşullarını optimum hale getirmek (fiziksel ve kimyasal kayıpları en aza indirerek), ürün kalitesinin arttırılabilmesinde önem teşkil etmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Soğan (*Allium cepa*) *Liliaceae* familyasına ait, dünya çapındaki en önemli sebzelerden biri olan ve içerdiği sülfürlü bileşiklerden dolayı kendine özgü tadı ve aroması ile bilinen bir bitkidir. Bu sebzenin mide ülseri, göz, kalp, diş, tümör hastalıkları ile çeşitli kanser türlerini önleme ve kolestrolü düşürme gibi saymakla bitmeyecek yararları bulunmaktadır (Mitra, vd., 2012; 2015). Son yıllarda, iyi kalite özelliklerine sahip olan kurutulmuş soğan gıda endüstrisinde tercih edilmekte (Rao, 1995; Sarsavadia, vd., 1999), kuru ürün ise dilimlenmiş, toz haline getirilmiş ve pulcuk şeklinde pazarda yerini almakta ve et ve tavuk ürünleri ile çorbalarda, turşularda ve salata soslarında kullanılmaktadır (Adam, vd., 2000).

Gıdaları fiziksel olarak korumakta kullanılan en eski yöntem kurutmadır ve bu proste gıda maddesinin nemi çeşitli yöntemlerle azaltılır (Moses, vd., 2014). Güneş altında, taşınım, mikrodalgayla, infrared ile, vakumla veya diğer kombine tekniklerle kurutma en yaygın olan kurutma şekilleridir ve son ürünün kalite özelliklerinin tanımlanmasında bu yöntemler çok önemli bir rol oynar. Bütün bu metotlara ek olarak, gıdaya kurutulmadan önce haşlama, çeşitli çözeltilere daldırma gibi bazı ön işlemler de uygulanabilir (Mujumdar ve Huang, 2007; Dev ve Raghavan, 2012).

Taşınım kurutmada, ısı ve kütle transferi eş zamanlı olarak gerçekleşir ve ortamdan suyun uzaklaşması difüzyon yardımıyla olur (Şahin ve Dinçer, 2005; Demiray ve Tülek, 2014). Ticari ölçekte, taşınım kurutma soğan kurutmada en çok tercih edilen yöntemdir (Mitra, vd., 2012), çünkü ekipman ve kurulum masrafları diğer yöntemlerden oldukça düşüktür. Ancak buna karşılık, kurutma süresi bu teknikte daha uzundur, işletme ve enerji masrafları oldukça fazladır, aynı zamanda üründe kalite kayıpları da bir hayli çok olabilmektedir. Bu olumsuz faktörlerin bazılarını azaltmak için, besin öğelerinin ve aroma bileşenlerinin gıda içinde tutulmasını sağlamak amacıyla vakum kurutmadan faydalanılabilmektedir (Pap, 1995; Are'valo-Pinedo ve Murr, 2006; Mitra, vd., 2011). Mikrodalga kurutmada ise, sıcak hava ve vakum altında kurutmaya kıyasla çok daha yüksek kurutma hızlarına erişilmektedir (Reyes, vd., 2007). Çift kutupsal dönüş ve iyonik iletim, gıda materyali içerisinde ısı

jenerasyonuna sebep olarak, hızlı bir nem transferinin gerçekleşmesini sağlar (Alibaş, 2007; Clary, vd., 2007; Orsat, vd., 2007; Varith, vd., 2007; Paengkanya, vd., 2015).

Kurutma olayını tanımlayan matematik modeller; prosesin kolaylıkla kontrol edilmesinde ve ekipmanların tasarım ve işletilmelerinde yararlı olabilmektedir (Sharma, vd., 2005). Literatürdeki kinetik model çalışmaları genellikle taşınım ile kurutma sistemleri üzerinde yoğunlaşmıştır (Midilli, vd., 2002; Toğrul, 2006; Demiray ve Tülek, 2014) ve yeni ve/veya kombine kurutma yöntemlerini, çeşitli ön işlem uygulamaları ile konu edinmiş çalışmalara da olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Mitra, vd. (2011), farklı kalınlıklara sahip olan soğan dilimlerinin ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak 3 farklı sıcaklıkta vakum altında kurutulmasını incelemişler, elde ettikleri verileri dört farklı matematik modele fit etmişler ve kurutma sıcaklığı ile soğan dilimi kalınlığının, soğanın kuruması üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, Mota, vd. (2010), soğan dilimlerinin üç farklı sıcaklıkta taşınım ile kurutulması işlemine çalışmalarında yer vermişler, üç farklı matematik modeli kurutma verilerine entegre etmişlerdir.

Kumar, vd. (2005), infrared ve sıcak hava ile kurutma yöntemini kombine ederek soğan dilimlerini kurutmuşlar, kurutma sıcaklığının, dilim kalınlığının ve hava hızının soğan diliminin kuruma karakteristikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Soğan dilimlerinin kurutulması üzerinde yapılmış bir başka çalışma da Arslan ve Özcan'a (2010) aittir. Bu çalışmada, güneş altında, fırında (50 ve 70 °C) ve mikrodalgada (210 ve 700 W) kurutulmuş dilimlerin kuruma kinetikleri, sekiz farklı matematik model kullanılarak kıyaslanmıştır. Çalışılmış olan kurutma yöntemlerindeki temel eksikliğin; tek bir parametre üzerine (dilim kalınlığı ya da ön işlem) yoğunlaşmış olmasından kaynaklandığı ve bu çalışmanın, hem dilim kalınlığının hem de ön işlemin etkisini hesaba katan ve aynı zamanda üç farklı ve yaygın olarak kullanılan (taşınım ile, vakum altında ve mikrodalga ile) kurutma yöntemini konu edinen kapsamlı bir araştırma olduğu düşünülmektedir.

Soğan dilimlerinin kurutulması esnasında meydana gelen değişimlerin incelendiği bir başka çalışmada ise Sahoo, vd. (2015) ön işlem görmüş (tuz ve potasyum

metabisülfite) ve görmemiş soğan dilimlerini taşınım ile ısı ileten bir kurutucuda, ısı pompası yardımıyla ve taşınım ile ısı ileten bir kurutucuda ve mikrodalga yardımıyla ve taşınım ile ısı ileten bir kurutucuda farklı sıcaklık ve güç parametrelerinde kurutmuşlardır. Kalite kriterleri arasında rehidrasyon oranı, renk değişimi, prüvik ve askorbik asit içerikleri ve duyusal değerlendirmenin yer aldığı bu çalışmada, kalite kriterleri bakımından en iyi ürünün ısı pompası yardımıyla gerçekleştirilen taşınım ile ısı ileten kurutucuda elde edildiği görülmüştür. Diğer bir çalışmada ise Kaymak-Ertekin ve Gedik (2005) soğan dilimlerinin tepsili kurutucuda kurutulmaları esnasında enzimatik olmayan esmerleşme ve soğanın lezzet yoğunluğunun önemli bir göstergesi olan tiyosülfinat adlı maddenin zamana karşı değişimini incelemişlerdir.

Bir gıdanın difüzyon katsayısı, malzeme içindeki şartlara bağlı değerlendirilen bir materyal özelliğidir. Etkin nem difüzyon katsayısı gıda içindeki nem hareketinin; sıvı difüzyonu, buhar difüzyonu, yüzey difüzyonu, kılcal akış ve hidrodinamik akış gibi bütün olası mekanizmaları tarif eder (Pathare ve Sharma, 2006). Etkin nem difüzyon katsayısını belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, soğan dilimleri Pathare ve Sharma (2006) tarafından kızılötesi taşınımlı kurutucuda kurutulmuştur. Soğan dilimlerinin etkin nem difüzyon katsayılarının $0,25 \cdot 10^{-10}$ ile $0,32 \cdot 10^{-10}$ m²/s aralığında olduğunu ve kızıl ötesi taşınımlı kurutucuda kurutulan örneklerin geleneksel kurutucuya göre çok daha düşük aktivasyon enerjisine sahip olduklarını bulmuşlardır.

Laboratuvar tipi bir ince tabaka kurutucuda Akbari ve Patel (2006) kurutucu havanın sıcaklığı, havanın hızı ve dilim kalınlığı gibi faktörlerin, kuruma süresi, duyusal özellikler, rehidrasyon oranı ve bakteri sayısı üzerine olan etkilerini incelemek amacıyla merkezi kompozit deney tasarımı kullanmıştır. Söz konusu çalışma sonucunda 3 mm'lik örneklerde 76 °C sıcaklık, 27 m/dak hava akış hızı koşullarında en iyi kalitede ve kısa sürede kurutulmuş soğan elde edilebileceği belirtilmiştir.

Bu çalışmada, tüm koşullarda soğanın dehidrasyon davranışını en iyi tanımlayan matematik modeli seçmek ve etkin nem difüzyon katsayısı ile aktivasyon enerjisini hesaplayabilmek amacıyla; taşınım, vakum ve mikrodalga kurutma teknikleri

kullanılarak ön işlemler (tuz çözeltisine daldırarak bir süre bekletme şeklinde) ve ön işlemler olmadan kurutulmuş dilimlerin kuruma davranışı üzerine, dilim kalınlığının, kurutma sıcaklığının ve mikrodalga gücünün etkisi incelenmiştir. Soğanın kurutulmasında bu üç tekniğin kıyaslanması, matematik modellerle çalışılmasının (13 farklı ince tabaka kurutma modeli) ve etkili önemli parametrelerin belirlenmesinin en uygun kurutucunun tasarımı ve optimizasyonunda üreticiler için rehber niteliğinde olacağına inanılmaktadır.

Bunun yanında kurutulmuş soğanda en önemli duyu özelliklerinden biri olan renk özelliğinin taşınım, vakum ve mikrodalga kurutma yöntemleri için en düşük toplam renk değişimini veren optimum işlem koşullarının belirlenmesi ile birlikte soğan dilimlerinin kurutulması için bu 3 yöntemin yüzey metodu kullanılarak ilk kez karşılaştırılması söz konusu olacaktır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Soğan

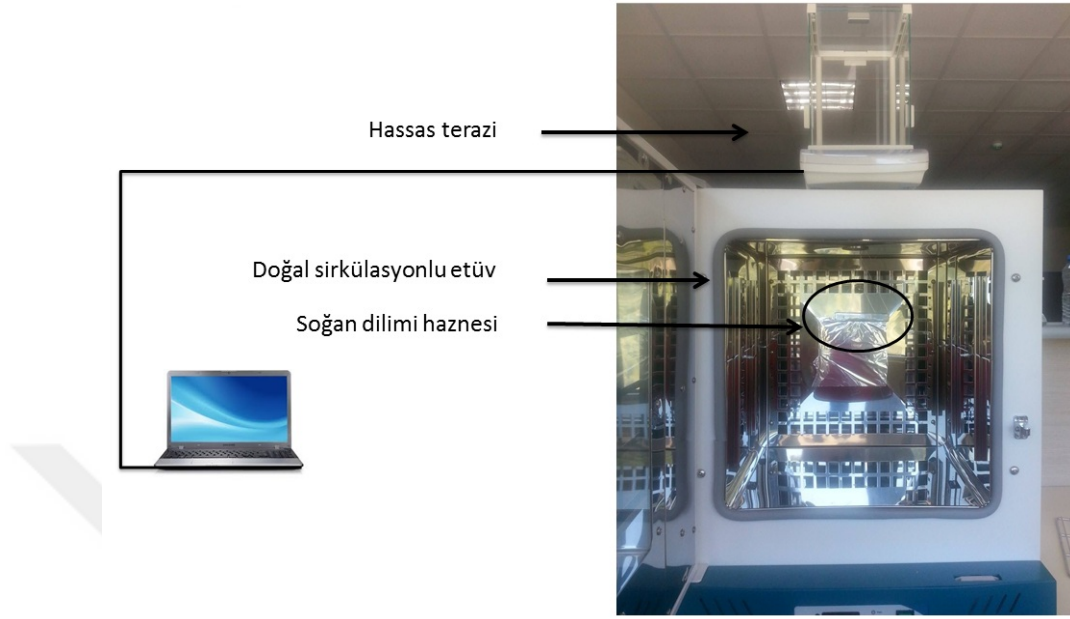
Soğan kurutma için gerekli olan soğanlar (*Allium cepa* L.) Osmaniye Sebze ve Meyve Hal'inden temin edildi. Satın alınan soğanlar evsel tüketime uygun olmadığı için boylama sırasında kategori dışı büyüklüğe sahip olan ve genel olarak yemekçilik sektörünün kullanımına sunulan gövde çapları yaklaşık 10 cm büyüklüğünde olan, olgun ve sarı kabuklu soğanlardır. Tedarik edilen soğanlar işlem görene kadar en çok 15 gün +4 °C'de muhafaza edildi. Soğan, el ile kabuklarından ayrıldı ve dijital bir kumpas kullanılarak istenilen kalınlıklarda dilimlendi. Ön işleme tabi tutulmayan soğan dilimleri hemen kurutuldu. Ön işlem uygulaması için ise, dilimler % 8'lik (w/v) NaCl çözeltisinde, oda sıcaklığında, bir petri kabı içerisinde 40 dakika bekletildi. Sonrasında dilimler çözelti içerisinde çıkarıldı, tartıldı ve bekletilmeden kurutuldu. Örneklerin başlangıç nem içerikleri (% 88,50 ± 0,5) belirlenirken AOAC'nin (1990) yöntemi kullanıldı. Ürünlerin son nem içerikleri yaş temel üzerinden hesaplandı ve kurutma deneylerine ürünün ağırlığında değişim gözlemlenmeyene kadar devam edildi. Tüm deneyler 3 tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirildi.

3.2 Kurutma Yöntemleri

3.2.1 Taşınım Kurutma

Kurutma için, 0-200 g aralığında 0.001 g duyarlılığa sahip dijital analitik bir terazi ile (Radwag, AS/X, Poland) kombine edilmiş laboratuvar tipi doğal konveksiyonlu bir fırın (JSR, JSON-250, USA) kullanıldı. Soğan örnekleri 120 × 17 mm boyutlarına sahip cam bir petri içerisine konuldu, petri üç farklı noktasından 4 mm çapındaki bakır tellerle bağlandı ve çengel oluşturacak şekilde dijital terazinin aparatına iliştilirdi (Şekil 3.1). Soğan dilimlerinin ağırlığındaki değişimler, 10 saniyelik zaman aralıklarıyla Pominar, Win 5 yazılımı kullanılarak, bilgisayar yardımıyla kaydedildi. Deneylerden önce, çalışma sıcaklığına erişebilmek için fırın, örneksiz bir şekilde 5-6 dakika çalıştırıldı. Çalışma sıcaklıkları 50, 60 ve 70 °C (± 0,3 °C)'dir. Kararlı

koşullara erişildikten sonra, soğan dilimleri petrilere konulmuş ve kurutma başlatıldı. Tüm kurutma deneylerinde hava hızı 0,5 m/s'dir.



Şekil 3.1 Taşınım ile kurutma ve kayıt alma düzeni

3.2.2 Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga kurutma deneylerini gerçekleştirmek için, $49,6 \times 29,4 \times 39,7$ cm boyutlarında, 17 L kapasiteye, 1200 W teorik güce ve 6 farklı güç seviyesine sahip mikrodalga fırın (Arçelik, MD 574, Turkey) kullanıldı. 120×17 mm boyutlara sahip petri içerisine konulmuş olan soğan dilimi, mikrodalga fırın içerisindeki 245 mm çapa sahip döner tabla üzerine yerleştirildi. Örneğin ağırlığı, belirli zaman dilimleri sonrasında fırının durdurularak petrinin sistem dışına alınıp, tartılmasıyla belirlendi. Tartım yaklaşık 10 s sürdü. Çalışılan güç değerleri 80, 240, 400 W olup, veri alma sıklıkları sırasıyla 180, 15, 10 saniyedir. Güç seviyesi arttıkça hedef nem içeriğine ulaşma süresi kısaldığından dolayı, veri alma sıklığı da azalmaktadır.

3.2.3 Vakum Altında Kurutma

Vakum altında kurutma, 111 L iç hazneye ve 40 mm entegre boruya sahip vakum fırını vasıtasıyla (Vacucell-111 standart, Germany) gerçekleştirildi. Fırın içerisindeki basınç, 0,37 kW motor gücüne, 2 L/s pompalama ve 1400 rpm dönüş hızına sahip

döner vana tipi vakum pompası (Zhejiang Sujing, Wx-2 model, China) yardımıyla 100 mbar seviyesine düşürüldü. 90 mm çapa sahip alüminyum petri kapları örneklerin kurutulması için kullanıldı ve kurutma verileri manuel olarak kaydedildi. Dijital terazi fırının hemen yanında yer aldı ve tartım süreci maksimum 10 saniyede tamamlandı.

Vakum fırını yaklaşık 90 dakika boş bir şekilde istenilen sıcaklığa gelene kadar çalıştırıldı. Çalışma sıcaklıkları 50, 60 ve 70 °C ($\pm 0,1$ °C)'dir. Fırın, kurutma sıcaklığına ulaştığında, soğan dilimi alüminyum petri içerisine konuldu. Sonrasında vakum pompası çalıştırıldı ve kurutma başlatıldı. Fırın içerisindeki hava hızı 1,5 m/s olup, veriler 30 dakikada bir kaydedildi.

3.3 Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi

Üç farklı kurutma prosesinden elde edilen kuruma eğrilerinin Çizelge 3.1'de verilen 13 ince tabaka kurutma modeline uyumu incelendi. Nem oranı (MR), denklem (3.1) yardımıyla hesaplandı;

$$MR = \frac{M - M_0}{M_0} \quad (3.1)$$

M_e : denge nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

M_0 : başlangıç nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

M_e değeri, M_0 ve M değerlerinin yanında oldukça küçük olduğundan dolayı, sıfır olarak kabul edildi (Doymaz, 2004; Kingsly ve Singh, 2007).

Çizelge 3.1 Kurutma eğrilerine uygulanan kurutma modelleri

Model İsmi	Denklem	Referans
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Bruce (1985)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Page (1949)
Modifiye Page	$MR = \exp(-kt)^n$	White, vd. (1981)
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis (1961)
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	Toğrul ve Pehlivan (2002)
Two-term	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Henderson (1974)
Midilli, vd.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Sharma ve Prasad (2004)
Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh (1978)
Weibull	$MR = \exp(-t^a)$	Corzo, vd. (2008)
Parabolik	$MR = a + bt + ct^2$	Sharma ve Prasad (2004)
Kübik	$MR = a + bt + ct^2 + dt^3$	Dalvand, vd. (2012)
Sigmoid	$MR = a +$	Figiel (2009)
Thompson	$t = a \ln(MR) + b [\ln(MR)^2]$	Thompson, vd. (1968)

Regresyon analizi, OriginPro 2016 (OriginLab, USA) yazılımı kullanılarak yapıldı. En uygun matematik modelin seçilmesinde korelasyon katsayısı (R^2) en önemli kriter olarak ele alındı (Özdemir ve Devres, 1999; Doymaz, 2004; Tülek, 2011). R^2 'nin yanısıra, indirgenmiş ki kare (χ^2) (denklem 3.2) ve karesel ortalama hata (RMSE) (denklem 3.3) önemli istatistiksel parametreler olarak kabul edilmektedir (Toğrul ve Pehlivan, 2004; Doymaz, 2007).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-z} \quad (3.2)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{1/2} \quad (3.3)$$

$MR_{exp,i}$: i 'deki deneysel nem oranı

$MR_{pre,i}$: i 'deki tahmin edilen nem oranı

N: deneysel verilerin sayısız: modeldeki sabit sayısı

3.4 Etkin Nem Difüzivitesi ve Aktivasyon Enerjisi

Etkin nem difüzivitesi Fick'in ikinci kanunundan yararlanılarak hesaplanmış olup, dilimlerin silindir geometriye sahip oldukları varsayıldı. Bu varsayımın dışında; soğanın homojen bir başlangıç nem içeriğine sahip, soğan diliminin merkezine göre simetrik bir kütle transferinin ve kütle transferine karşı önemsiz yüzey direncinin etkisinde olduğu ve difüzyon katsayısının tüm koşullarda sabit olduğu kabul edildi. Denklem (3.4), nem oranı ile difüzyon katsayısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Srikiatden ve Roberts, 2006):

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\pi^2 \frac{D_{eff} t}{r^2}\right) \quad (3.4)$$

D_{eff} : etkin nem difüzivitesi (m^2/s)

r: soğan diliminin yarıçapı (m)

Denklem (3.4)'in doğrusallaştırılmış formu, $\ln(MR)$ 'ye karşılık zaman grafiğinin eğimi etkin nem difüzivitesini vermektedir (Mota, vd., 2010).

Taşınım ve vakum altında kurutulan soğan örneklerinin aktivasyon enerjileri Arrhenius tip eşitlikle belirlenmiştir (Akpınar, vd., 2003). Bu eşitliğin (denklem (3.5)) doğrusallaştırılmış biçiminin eğimi aktivasyon enerjisini vermektedir.

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3.5)$$

E_a : Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)

R: Genel gaz sabiti (8.3143 J/mol K)

T: Ortam sıcaklığı (K)

D_0 : Üssel faktör (m^2/s)

Eşitlik (5), mikrodalga kurutma için Dadalı ve Özbek (2008) tarafından modifiye edilmiştir. Çünkü bu kurutma yönteminde sıcaklığın yerine mikrodalga gücü direkt bir parametre olarak görev yapmaktadır (Doymaz, 2012). Bu nedenle, denklem (3.5), denklem (3.6) biçiminde mikrodalga kurutma için aşağıdaki gibi ifade edildi;

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp \left(- \frac{E_a m}{p} \right)$$

(3.6)

E_a : Aktivasyon enerjisi (W/kg)

m : Soğan diliminin ağırlığı (kg)

p : Mikrodalga güç seviyesi (W)

3.5 Renk Değerlerinin Belirlenmesi

Soğan dilimlerinin renk değerleri Gıda Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Konika Minolta CR 400 model portatif renk ölçüm cihazı ile ölçüldü. Renk ölçüm cihazı ile bir dilimin 3 farklı noktasından ölçüm alındı ve ortalamaları hesaplandı. L^* (aydınlık), a^* (kırmızılık, yeşillik) ve b^* (sarılık, mavilik) değerleri elde edildi. Her bir örnek için üç paralel ölçüm alınarak ortalaması hesaplandı. Örneklerin toplam renk değeri farklılığı (ΔE) denklem 3.7'de verilen formül ile hesaplandı ve referans olarak (L_{ref} , a_{ref} , b_{ref}) yaş soğan dilimlerinden alınan renk ölçümleri kabul edildi.

$$\Delta E = \sqrt{[(L - L_{\text{ref}})^2 + (a - a_{\text{ref}})^2 + (b - b_{\text{ref}})^2]} \quad (3.7)$$

3.6 Toplam Fenolik Madde Tayini

Kurutma işleminden sonra soğan dilimleri ticari bir blender (Waring, Almanya) kullanılarak öğütüldü ve yaklaşık 2 mm çapa sahip olacak şekilde elendi. Polifenollerin ekstraksiyonu için Santas, vd. (2008)'in yöntemi modifiye edilerek kullanıldı. Solvent olarak sulu metanol kullanıldı. 3 g soğan tozu 30 mL %70 (v/v)'lik metanol ile karıştırıldı ve homojenizatör (Wise Tis, HG-15D, Çek

Cumhuriyeti) ile homojenize edildi. Bunu takiben, elde edilen ekstrakt 3000 rpm'de 15 dak santrifüj (Hettich Zentrifugen, Tuttlingen) ile santrifüjlendi. Tüplerden alınan süpernatant filtre edildi ve toplam fenolik madde analizi yapılmaya kadar 4 °C'de bekletildi.

Toplam fenolik madde konsantrasyonu Sun, vd. (2015)'de belirtilen yöntem kullanılarak yürütüldü. Buna göre Folin–Ciocalteu reaktifi deiyonize su ile 10 kat seyreltildi ve 0,75 mL alınarak, 0,1 mL soğan tozu ekstraktı ile karıştırıldı. Bu karışım oda sıcaklığında 5 dakika bekletildi. Bu süre sonunda % 2 (w/v)'lik sodyum karbonat çözeltisinden 0,75 mL eklendi. Oda sıcaklığında ve karanlıkta 15 dak bekletilen karışımın spektrofotometre yardımı ile 750 nm'de absorbans değeri ölçüldü. Standart olarak 0, 50, 100, 150, 250 ve 500 mg/L gallik asit çözeltileri ile hazırlanan kalibrasyon eğrisi ile örnekler korele edildi.

3.7 Deney Tasarımı ve İstatistiksel Analiz

Konveksiyonel, mikrodalga ve vakumlu sistemler ile soğan dilimlerinin kurutulması esnasında bazı bağımsız değişkenlerden tüketici açısından en önemli kalite kriterlerinden biri olan renk üzerine olan etkisi incelendi. Bu amaçla, her bir kurutma yöntemi için, cevap değer olarak kabul edilen toplam renk değişimi (ΔE) değeri üzerine, kurutma sıcaklığı / gücü ($^{\circ}C$ veya W), tuzluluk (%) ve dilim kalınlığının (mm) etkisi tarama ve optimizasyon basamakları ile incelendi. Güvenlik seviyesi p-değeri 0,05 olarak alındı. Tarama basamağında 2 tekerrürlü 2^3 tam faktöriyel deney tasarımı kullanılmış olup, her bir kurutma yöntemi için incelenen faktörler ve seviyeleri Çizelge 3.2'de verildi.

Çizelge 3.2 Kurutma koşullarının taranması için incelenen faktörler ve seviyeleri

Faktör	Simge	Gerçek Seviyeler					
		Konveksiyonel kurutma		Mikrodalga kurutma		Vakumla kurutma	
		(-1)	(+1)	(-1)	(+1)	(-1)	(+1)
Tuzluluk (%)	X_1	0	8	0	8	0	8
Sıcaklık ($^{\circ}C$) ya da Güç	X_2	50	70	80	400	50	70

(W)							
Kalınlık(mm)	X ₃	3	7	3	7	3	7

Tarama aşamasından elde edilen sonuçlar doğrultusunda tasarlanan optimizasyon aşamasında her bir yöntem için toplam renk değişimi (ΔE) üzerine etki eden çeşitli faktörlerin ve seviyelerinin optimum noktalarının belirlenmesi için yüzey merkezli merkezi kompozit tasarım (face-centred central composite design, FCCD) deney tasarımı kullanıldı. Güvenlik seviyesi *P*-değeri 0,05 olarak alındı. Optimizasyon denemelerinde incelenen faktörler ve seviyeleri Çizelge 3.3'te özetlendi.

Çizelge 3.3 Taşınım ile kurutma koşullarının FCCD ile optimizasyonu için incelenen faktörler ve seviyeleri

Faktör	Simge	Gerçek Seviyeler		
		Konveksiyonel kurutma		
		(-1)	(0)	(+1)
Tuzluluk (%)	X ₁	0	6	12
Sıcaklık (°C)	X ₂	40	50	60
Kalınlık (mm)	X ₃	2	4	6

Çizelge 3.4 Mikrodalga ile kurutma koşullarının FCCD ile optimizasyonu için incelenen faktörler ve seviyeleri

Faktör	Simge	Gerçek Seviyeler		
		Konveksiyonel kurutma		
		(-1)	(0)	(+1)
Tuzluluk (%)	X ₁	0	6	12
Kalınlık (mm)	X ₂	2	4	6

Çizelge 3.5 Vakum ile kurutma koşullarının FCCD ile optimizasyonu için incelenen faktörler ve seviyeleri

Faktör	Simge	Gerçek Seviyeler		
		Konveksiyonel kurutma		
		(-1)	(0)	(+1)
Sıcaklık (°C)	X ₁	50	70	90

Kalınlık (mm)	X_2	3	6	9
---------------	-------	---	---	---

Deney tasarımı kapsamında elde edilen cevap değerleri ikinci-dereceden polimomiyel bir modele uyduruldu. Denklem 3.8’de verilmiş olan model denklemi bağımsız değişkenlerin lineer, kuadratik ve/veya etkileşim etkilerini tahmin etmek için kullanıldı (Selvamuthukumaran ve Khanum, 2014). Modeldeki kaydadeğer terimler elde edilen varyans analizi (ANOVA) çizelgeleri yardımı ile belirlendi. Deney tasarımı, varyans analizi ve grafik çizimleri için Design Expert 7.0.0 (Stat-Ease, 2005) yazılımı kullanıldı.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{13} X_1 X_3 \quad (3.8)$$

Bu denklemde β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , β_{11} , β_{22} , β_{33} , β_{12} , β_{23} , β_{13} ve X_1 , X_2 , X_3 sırasıyla regresyon katsayılarını ve bağımsız değişkenleri temsil etmektedir.

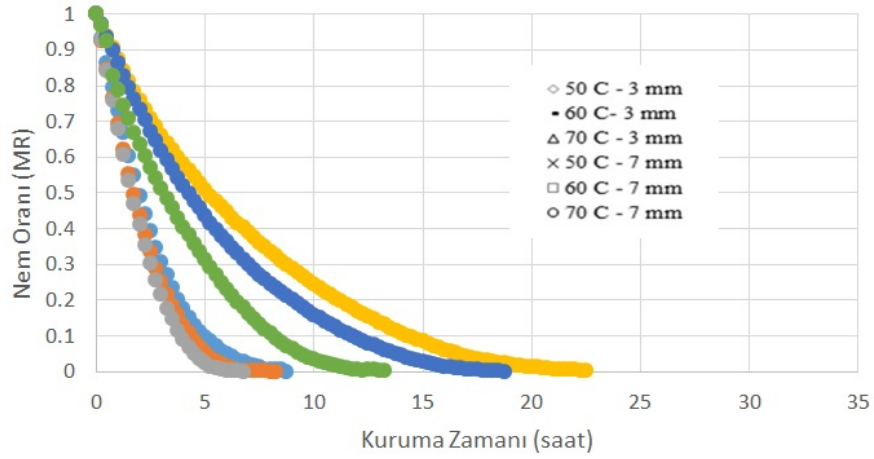
Doğrulama aşamasında ise bağımsız değişkenler “aralık içinde” (in range), toplam renk değişimi (ΔE) ise “minimize” olarak tercih edildi. Seçilen deneylerin istenilirlik (desirability) fonksiyonları 1,000’dir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

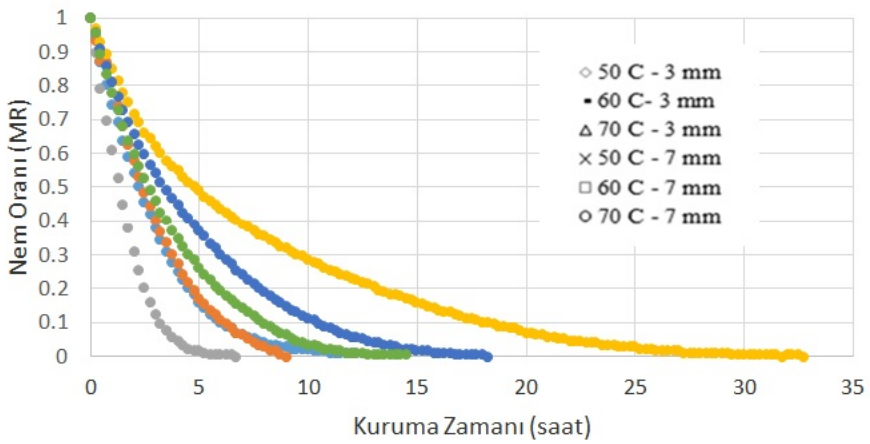
4.1 Taşınımınla Kurutma Kinetiği

Soğan örneklerinin 50, 60 ve 70 °C’de zamana karşı nem oranlarının değişimi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Dilimler, ağırlıklarında değişim gözlenmeyinceye kadar kurutulmuş olup, son nem içeriklerinin kuru maddesi başına 0,13 kg su olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, kurutma sıcaklığı arttıkça, nem transfer hızı artmakta ve böylelikle kuruma zamanı da azalmaktadır. Bu sonuçlar Kumar, vd.’nin (2005) yaptıkları çalışmayla da uyum göstermektedir. 3 mm’lik örnekler için 50, 60 ve 70 °C’de kuruma zamanları sırasıyla 585, 435, 255 dakika olurken, 7 mm’lik örnekler için ise bu değerler 1290, 1065, 705 dakika olarak sıralanmaktadır. Arslan ve Özcan (2010) çalışmalarında, 10 mm kalınlığa sahip olan dilimlerin 50 ve 70 °C’de kuruma zamanlarını 900 ve 660 dakika olarak belirlemişlerdir. Dilim kalınlığının artması, kuruma zamanında artışa sebep olmaktadır, çünkü nemin sistem dışına çıkabilmesi için soğan dilimi içerisindeki aldığı yol artmaktadır (Bebartta, vd., 2012). Aynı zamanda, tuz çözeltisi ile örneklerin muamele edilmiş olması da kuruma zamanını uzatmıştır. Şekil 4.1a ve b’de ön işlemde kaynaklanan bu etki görülmektedir. Ön işlem görmüş 3 mm kalınlığa sahip dilimler için 50, 60 ve 70 °C’de kuruma zamanları sırasıyla 645, 540, 345 dakika olurken bu değerler 7 mm’lik örnekler içinse 1540, 1260, 825 dakika olmaktadır. Çalışılan kurutma sıcaklıklarında, örneklerin tuz çözeltisi ile muamele edilmesi, 3 mm’lik dilimlerin kuruma zamanını % 10, 7 mm’lik dilimlerin kuruma zamanını ise % 20 arttırmıştır. Karathanos, vd. (1990) ile Rahman ve Mujumdar (2007) bu durumun sebebini ; gıda sistemlerindeki şeker ve tuz molekülleri, hücre çeperlerini tıkayarak, suyun uzaklaşmasını engeller ve dolayısıyla muamele edilmiş olan örneklerde kuruma süresi uzayabilir şeklinde belirtmişlerdir. Hareket eden tuz molekülleri, örneğin yüzeye yakın bölgelerinde birikebilir ve bu durum da “doku (yüzey) sertleşmesi” etkisine yol açabilir (Uzman ve Sahbaz, 2000). Bebartta, vd., (2012)’nin çalışmasına göre, küçük soğan parçalarının akışkan yatak kurutucuda kurutulması sırasında, örneklerin kalınlıklarının artması kuruma süresi üzerinde uzatıcı bir etkiye sahiptir. 1 m/s hava hızı ve 50 °C kurutma sıcaklığında 2 mm ve 6 mm kalınlığa sahip olan örneklerin kuruma zamanlarıyla sırasıyla 1427 ve 1858 dakika olarak belirlenmiştir. Mujaffar ve Sankat’ın (2015) araştırmalarında ise, kedi balığı (*Arius sp.*) (kalın) dilimlerinin

tuzlanmasının % 29 oranında ağırlık kaybına yol açtığı ve aynı zamanda tuzlanan (% 60,7 nem içeriği) ve tuzlanmayan (% 80,1 nem içeriği) kalın dilimlerin taşınımın geçerli olduğu bir kurutucuda aynı sürede kuruduğu belirtilmiştir (60 saat). Baroni ve Hubinger (1998), soğanın kurutulmasında ön işlem uygulamasının etkisini araştırmışlar ve iki farklı sonuca erişmişlerdir. 40 °C’de % 10’luk NaCl çözeltisi ile muamele edilen örneklerde kuruma hızının arttığını, ancak 50 ve 60 °C’de aynı ön işleme tabi tutularak kurutulan örneklerde ise kuruma hızlarında belirgin bir fark olmadığını açıklamışlardır. Doymaz (2004b) ise erik örneklerini etil oleatın alkali emülsiyonu ile muamele etmiş ve bu örnekleri 1,2 m/s hava hızına sahip olan laboratuvar tipi bir kurutucuda 65 °C’de kurutmuştur. Sonuç olarak, ön işleme uygulanan erik örneklerinin kuruma hızının uygulanmayanlara oranla % 29,4 daha kısa olduğunu bildirmiştir. Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçların bu denli farklı olmasının sebebi olarak, tuz çözeltisinin konsantrasyonlarının ve çözelti içerisinde örnekleri tutma sürelerinin farklı olması, örnek / çözelti oranının (Sutar ve Gupta, 2007), gıda maddesinin yapısının ve / veya deneysel ve enstrümental koşulların aynı olmaması gösterilebilir.



(a)



(b)

Şekil 4.1 Taşınımla kurutulan soğan dilimlerinin zamana karşılık nem oranlarının değişimi a) önışlem uygulaması yapılmamış dilimler b) önışlem uygulaması yapılmış dilimler

Çizelge A.1’de örneklerin zamana karşılık nem oranı verilerine uygulanan 13 farklı ince tabaka matematik modelinin verdiği sonuçlar içerisinde en iyi uyum gösteren modellerin sonuçları gösterilmiştir. Tüm taşınımla kurutma deneyleri için, R^2 , RMSE ve χ^2 değerleri sırasıyla, 0,8907-0,9999; 0,0002-0,1014 (Thompson model hariç) ve 0-0,0056 (Thompson model hariç) aralığında bulunmuştur. Thompson modele ait RMSE ve χ^2 değerleri oldukça yüksek olup sırasıyla, 6,2-112,7 ve 43,2-13052,8 aralığındadır. Bu yüksek katsayılar, R^2 değerleri oldukça iyi olmasına rağmen Thompson modelinin, nem oranı verilerine en iyi uyan model olmasını engellemiştir. Çizelge A.1’e göre Sigmoid model en yüksek R^2 ve en düşük RMSE ve χ^2

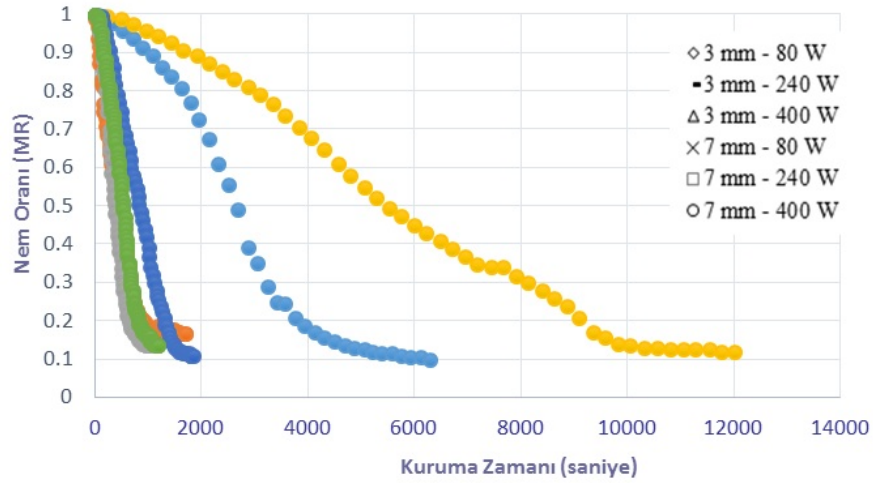
değerlerine sahiptir. Bu sebeplerden, Sigmoid model soğan dilimlerinin taşınımına kurutma karakteristiklerini en iyi tanımlayan model olarak seçilmiştir. Ayrıca, Midilli, Kübik ve Logaritmik modeller de Sigmoid modelden sonra kuruma verilerine en iyi uyum sağlayan modellerdendir. Mota, vd. (2010) çalışmalarında Newton, Modifiye Page ve Logaritmik modellerini test etmişler ve çalışılan kurutma sıcaklıklarında üç modelin de soğan dilimlerinin kuruma davranışını çok iyi açıkladığını belirtmişlerdir. Demiray ve Tülek (2014) ise sıcak hava üfleli bir kurutucuda sarımsak dilimlerinin kuruma kinetiğini araştırmışlar ve elde ettikleri deneysel verileri beş farklı matematik modele (Page, Modifiye Page, Henderson ve Pabis, Newton ve Logaritmik) fit etmişler ve sonuç olarak Page ve Modifiye Page modellerini diğer modellerin sonuçlarına oranla çok daha iyi bulduklarını açıklamışlardır.

4.2 Mikrodalga Kurutma Kinetiği

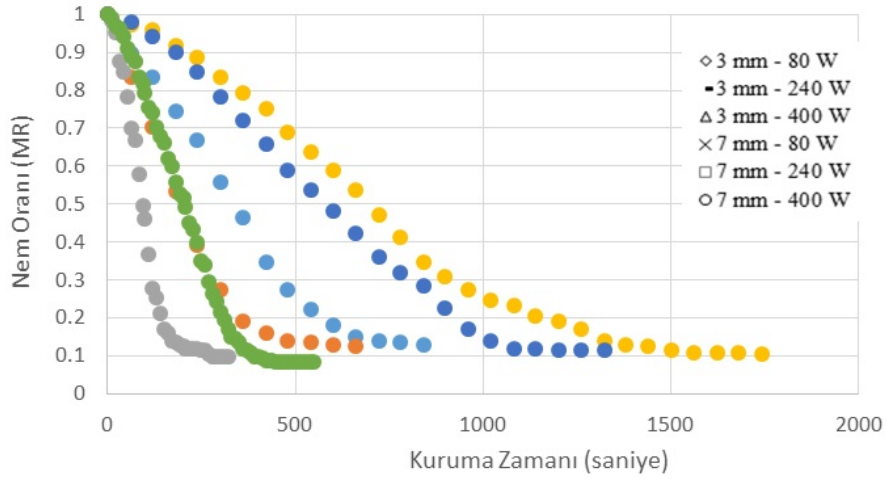
Nem oranının zamana karşı değişim grafiği incelendiğinde (Şekil 4.2), mikrodalga kurutmanın en hızlı kurutma yöntemi olduğu görülmektedir. Çünkü mikrodalgalar daha homojen ve konsantre bir enerji sağlamaktadır (Sachidananda Swain, vd. 2012). Son ürünlerin nem içeriği kuru temelde yaklaşık olarak 0,10 kg suya düşürülmüştür. 80, 240 ve 400 W'da 3 mm kalınlığa sahip önişlemsiz ve önişlemlili örneklerin kuruma süreleri sırasıyla 90, 20, 14 dakika ve 35, 8,5, 5 dakika; 7 mm kalınlığa sahip önişlemsiz ve önişlemlili örneklerin kuruma süreleri ise 132, 26, 15 dakika ve 50, 11,5 ve 7 dakikadır. Çalışılan sıcaklıklarda önişlem uygulaması 3 mm'lik örneklerin kuruma süresini % 58-% 66 oranlarında ve 7 mm'lik örneklerin kuruma sürelerini ise % 55-% 62 oranında kısaltmıştır. Önişlem uygulaması ile kuruma zamanlarında meydana gelen en yüksek değişiklikler, diğer kurutma teknikleriyle kıyaslandığında mikrodalga kurutmada gözlenmiştir. Mikrodalga güç seviyesi arttıkça kuruma zamanının kısaldığı belirlenmiştir. Çünkü gıda içindeki suyun ısınması ve buharlaşması mikrodalga gücünün absorpsiyonundan (emiliminden) etkilenmektedir ve böylelikle soğan diliminin merkezi ile yüzeyi arasında büyük bir buhar basıncı farklılığı oluşmaktadır (Amiri Chayjan, vd., 2015). Benzer olarak, Krishna Murthy ve Manohar (2012) önişlem uygulamasıyla mango zencefilinde % 50 ve % 90 oranlarında nem içeriğinde azalma olduğunu ve 315 W'da kuruma süresinin 3,1 ve 2,4 kat 800 W'daki kuruma süresinden fazla olduğunu belirtmişlerdir. Diğer bir

yandan, taşınım ve vakum altında kurutmada olduğu gibi dilim kalınlığı mikrodalga kurutmanın da kuruma süresi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Örnek kalınlığının artması, örnek miktarının da artmasına sebep olacağından kuruma süresi de uzamaktadır. Dadalı, vd. (2007) bamyanın kuruma kinetiği üzerinde örnek ağırlığının etkisini incelemişlerdir. Örnek ağırlığı arttıkça kuruma zamanının da bir o kadar arttığı sonucuna varmışlardır. Vakum altında kurutmada olduğu gibi, mikrodalga kurutmada da ön işlem uygulaması kuruma süresini azaltmıştır. Al-Harashneh, vd. (2009) yaptıkları çalışmalarında, domates posasının mikrodalgayla kurutulmasında ön işlem uygulamasının etkisini araştırmışlar ve 0,1 M NaCl konsantrasyonuna kadar kuruma hızının tuz çözeltisi konsantrasyonu ile doğru orantılı olduğu sonucuna varmışlardır.





(a)



(b)

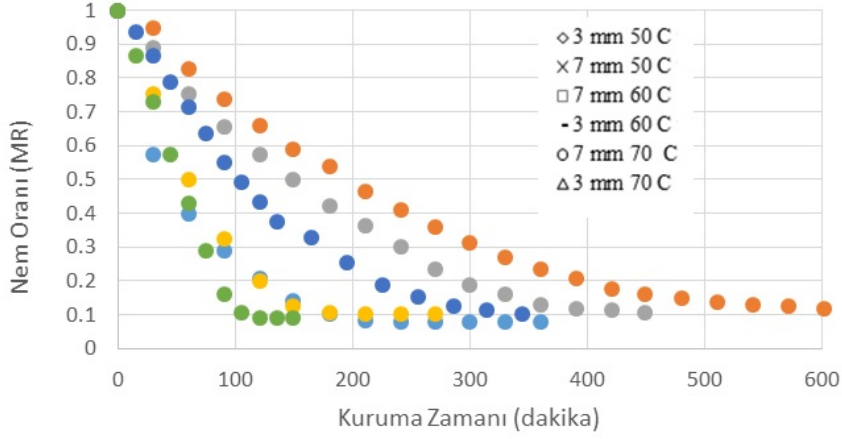
Şekil 4.2 Mikrodalga ile kurutulan soğan dilimlerinin zamana karşılık nem oranlarının değişimi a) önişlem uygulaması yapılmamış dilimler b) önişlem uygulaması yapılmış dilimler

Mikrodalga ile kurutulmuş önişlemlili ve önişlemsiz soğan dilimlerinin matematik model sonuçları Çizelge A.2’de verilmiştir. Tüm mikrodalga ile kurutma deneyleri için, R^2 , RMSE ve χ^2 değerleri sırasıyla, 0,8355-0,9996; 0,0041-0,0939 (Thompson model hariç) ve 0-0,0089 (Thompson model hariç) aralığında bulunmuştur. Taşınım ve vakum altında kurutmada olduğu gibi, Thompson modele ait RMSE ve χ^2 değerleri oldukça yüksek olup sırasıyla, 2,5-169,7 ve 6,7-29309,1 aralığındadır. Çizelge A.2’ye göre Sigmoid model en yüksek R^2 ve en düşük RMSE ve χ^2 değerlerine sahiptir. Bu sebeplerden, Sigmoid model soğan dilimlerinin mikrodalga ile kurutma kinetiğini en iyi tanımlayan model olarak seçilmiştir. Ayrıca, Midilli,

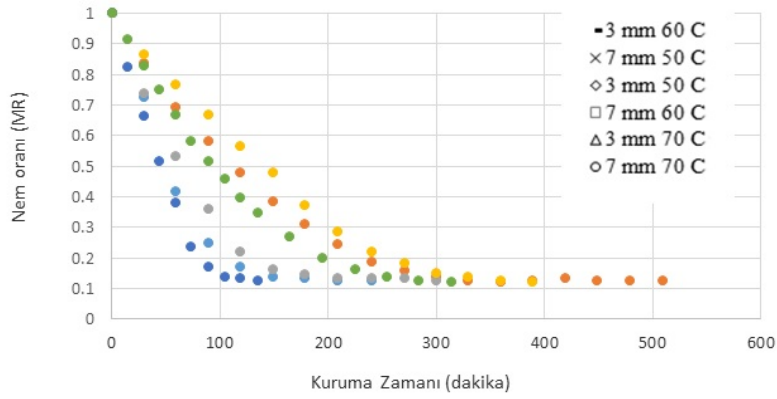
Kübik ve Logaritmik modeller de Sigmoid modelden sonra kuruma verilerine en iyi uyum sağlayan yarı-empirik modellerdendir. Arslan ve Özcan (2010) 210 ve 700 W mikrodalga güçlerinde soğan dilimlerini kurutmuşlar ve deneysel verileri sekiz farklı matematik modele fit etmişlerdir. Page, Modifiye Page ve Midilli ve Küçük modelleri en yüksek R^2 değerlerine sahip olan modeller olarak gösterilmiştir. Sorour ve El-Mesery (2014) ise, 200, 300 ve 400 W güç seviyelerinde soğan örneklerinin kurutma karakteristiklerini incelemişler ve Page, Modifiye Page, Henderson ve Pabis ve Newton modellerinin kuruma verilerine uygunluğunu analiz etmişlerdir. Sonuç olarak Page modelin en uygun sonuçları verdiği ileri sürmüşlerdir ($R^2 = 0,9980$, $\chi^2 = 0,0002$).

4.3 Vakum Altında Kurutma Kinetiği

Şekil 4.3'den de kolaylıkla görülebileceği gibi, taşınım ile kurutma ile kıyaslandığında aynı koşullarda vakum altında kurutmada daha kısa sürelerde kurutmanın sonlandığı tespit edilmiştir. Vakum altında kurutma, düşük basınç altında nemin gıdadan uzaklaşmasına olanak tanırken, şişkin bir yapının oluşmasını, alan / hacim oranının artmasını ve kuruma hızının yükselmesini sağlar (Jaya ve Das, 2003; Lee ve Kim, 2009a). Alibaş (2009), lahana yapraklarının hava akımı ve vakum altında kurutulmasında da benzer sonuçlara ulaşmıştır. Örneklerin son nem içerikleri kuru temel üzerinden 0,30 kg su olarak hesaplanmıştır. Vakum altında kuruma süreleri 50, 60 ve 70°C'de sırasıyla, ön işlem görmemiş 3 mm kalınlığa sahip olanların 360, 270, 150 dakika; ön işlem görmüş olanların ise 300, 240, 135 dakika; ön işlem görmemiş 7 mm kalınlığa sahip olanların 600, 450, 345 dakika ve ön işlem görmüş olanların ise 510, 390, 315 dakikadır. Çalışılan sıcaklıklarda, 3 mm'lik örnekler için ön işleme muamele kuruma süresini % 10 ile %17 arasında kısaltırken, 7 mm'lik örnekler için bu aralık % 10- % 15'tir. Taşınım ile kurutmada olduğu gibi, kurutma sıcaklığının artması kuruma süresinin kısalmasına sebep olmuştur. Çünkü, fırın içi sıcaklığın artması aynı zamanda örnek içerisindeki buhar basıncının artmasına sebep olmuş ve kuruma hızlanmıştır (Mitra, vd., 2011). Aynı zamanda, örneğin kalınlığı da kuruma süresi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir, kalınlık arttıkça süre de uzamaktadır (Jena ve Das, 2007).



(a)



(b)

Şekil 4.3 Vakum altında kurutulan soğan dilimlerinin zamana karşılık nem oranlarının değişimi a) önışlem uygulaması yapılmamış dilimler b) önışlem uygulaması yapılmış dilimler

Taşınım ile kurutmanın aksine, soğan dilimlerini tuz çözeltileri ile muamele etmek, kuruma sürelerinin kısalmasına neden olmuştur. Sham, vd., (2001) kalsiyum klorür çözeltilisinde önışleme maruz bırakılmış olan elma dilimi örneklerinin vakum altında kurutulurken şişkin bir yapıya kavuştuklarını ve bu nedenle geleneksel hava ile kurutma yöntemine göre daha düşük yoğunluğa sahip olduklarını söylemişlerdir. Buna dayanarak, çalışmamızdaki soğan dilimlerinin de vakum altında şişkinleştiği (puffing effect) ve tuz moleküllerinin kuruma esnasında kılcal kanallarda daha rahat yol aldığı ve bu nedenle taşınım ile kurutmanın tersine, vakumla kurutmada tuz çözeltilisi ile muamele etmenin kurutma süresini kısalttığı düşünülmektedir. Walde, vd., (2006) vakum altında düğme mantarlarını kuruttukları çalışmalarında,

örneklerini % 2'lik tuz çözeltisi ile 90 °C'de haşladıktan sonra mantarların kuruma süresini 570 dakika, kontrol örneği için 660 dakika olarak tespit etmişlerdir. Önişlemin kuruma süresini yaklaşık % 14 oranında azalttığını kanıtlamışlardır. Mitra, vd. (2011), vakum altında 50-70 °C sıcaklık aralığında hem önişlemlili (NaCl ve K₂S₂O₅ çözeltilerinde 15 dakika bekletme) hem önişlemsiz soğan dilimlerini kuruttukları araştırmalarında, 5 mm kalınlığa sahip dilimlerin 50 °C'deki kuruma sürelerinin muamele edilmiş örnekler için 375 dakika, muamele edilmemiş örnekler için 417 dakika olduğunu ve düşük kalınlıklarda önişlemin kuruma hızı üzerine herhangi bir önemli etkisi olmadığını, ancak kalınlık arttıkça önişlem uygulamasının kuruma hızı üzerinde paya sahip olduğunu belirtmişlerdir (Akgün ve Doymaz, 2005). Çizelge A.1'de vakum altında önişlemlili ve önişlemsiz olarak kurutulan soğan örneklerinin nem verilerine uygulanan çeşitli ince tabaka kurutma modellerinin sonuçları gösterilmektedir. Tüm vakum altında kurutma deneyleri için, R², RMSE ve χ^2 değerleri sırasıyla, 0,8689-0,9999; 0,0029-0,0576 (Thompson model hariç) ve 0-0.0038 (Thompson model hariç) aralığında bulunmuştur. Taşınımla kurutmada olduğu gibi, Thompson modele ait RMSE ve χ^2 değerleri oldukça yüksek olup sırasıyla, 13,6-48,2 ve 211,9-2618,3 aralığındadır. Çizelge A.1'e göre Sigmoid model en yüksek R² ve en düşük RMSE ve χ^2 değerlerine sahiptir. Bu sebeplerden, Sigmoid model soğan dilimlerinin vakum altında kurutma kinetiğini en iyi tanımlayan model olarak seçilmiştir. Ayrıca, Midilli, Kübik ve Logaritmik modeller de Sigmoid modelden sonra kuruma verilerine en iyi uyum sağlayan modellerdendir. Mitra, vd. (2011) tarafından vakum altında kurutulan soğan dilimlerinin nem oranı verilerine Lewis, Page, Logaritmik ve Fick'in difüzyon modelleri fit edilmiş ve Page modelin diğer modellere oranla verilere çok daha iyi uyum sağladığı belirtilmiştir. Lee ve Kim (2009a), soğan dilimlerinin 50-70 °C sıcaklık aralığında vakum altındaki kurutma verilerine dokuz farklı matematik modelin uygunluğunu test etmişler ve deneysel sonuçlar ile iki-terimli üssel modelin en iyi uygunluk sağladığını öne sürmüşlerdir. Wu, vd. (2007) ise, 2,5, 5 ve 10 kPa vakum basıncında, 30-50 °C sıcaklık aralığında patlıcan örneklerini kurutarak en sık kullanılan beş matematik modelin uygunluğunu analiz etmişler ve sonuç olarak Wang ve Singh modelinin en iyi olduğunu söylemişlerdir. Literatürde özellikle Sigmoid ve Kübik modeller, soğanın veya diğer sebzelerin kurutulmasını konu edinen herhangi bir çalışmada

kurutma verilerine uydurulmadığından dolayı, hiçbir zaman en uygun modeller olarak tayin edilememiştir.

4.4 Etkin Nem Difüvizitesi

Soğan dilimlerine ait, farklı koşullarda denklem (3.4) yardımıyla hesaplanan etkin nem difüvizitesi değerleri Çizelge A.3'te gösterilmiştir. Taşınım ile kurutmada, minimum D_{eff} değeri ($1,962 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) 7 mm kalınlığında önişlem görmüş $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuş soğan dilimine, maksimum D_{eff} değeri ise ($1,372 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) ise $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuş, önişlem görmemiş 3 mm kalınlığa sahip olan örneğe aittir. Taşınım ile kurutmada yüksek etkin nem difüvizitesi değerlerine erişebilmek; yüksek sıcaklığa ve düşük dilim kalınlığına bağlıdır. Önişlem uygulaması yapılmayan örnekler, yapılanlara kıyasla daha yüksek difüvizite değerlerine sahiptir. Xiao, vd. (2010) yüksek sıcaklıklarda, ısıtma enerjisindeki herhangi bir artışın suyun moleküler aktivitesinde artışa sebep olacağını ve sonuç olarak yüksek difüvizitenin ortaya çıkacağını belirtmişlerdir. Ayrıca, sebze hücrelerindeki yüksek tuz konsantrasyonu gıdadan suyun uzaklaşmasını zorlaştırabilir ya da engelleyebilir (Rahman ve Lamb, 1991). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Mota, vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada elde edilen verilerle uyumluluk göstermektedir. Önişlemsiz soğan dilimlerinin taşınım ile kurutulması sırasında difüzyon katsayıları $30 \text{ }^\circ\text{C}$ için $3,330 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $60 \text{ }^\circ\text{C}$ için $8,550 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak tahmin edilmiştir.

Vakum altında kurutmada, minimum D_{eff} değeri ($6,938 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) 7 mm kalınlığında önişlem görmemiş $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuş soğan dilimine, maksimum D_{eff} değeri ise ($1,723 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) ise $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuş, önişlem görmüş 3 mm kalınlığa sahip olan örneğe aittir. Yüksek kurutma sıcaklığı ve düşük dilim kalınlığı ile birlikte önişlem uygulamasının vakum altında kurutmada örneklerin nem difüvizitesini arttırdığı rahatlıkla söylenebilir. Çizelge A.3'e göre, vakum altında kurutma ile hesaplanan etkin nem difüvizitesi değerleri her durumda, taşınım ile kurutmada hesaplanan değerlerden yüksektir. Bu nedenle, Şekil 4.3a ve b'den de görülebileceği gibi, kuruma hızı daha fazladır ve kuruma zamanı daha düşüktür. Mitra, vd. (2011) vakum altında kurutulmuş soğan dilimlerinin difüvizite değerlerini $1,320 \cdot 10^{-10} - 1,090 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında belirtmişlerdir. Soğan dilimlerinin akışkan

yatak kurutucuda kurutulması işleminde ise, Bebartta, vd. (2012) nem difüzyon katsayılarını $2,148 \cdot 10^{-9} - 1,474 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında hesaplamışlardır.

Mikrodalga kurutmada, minimum D_{eff} değeri ($1,801 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) 7 mm kalınlığında önışlem görmemiş 80 W'da kurutulmuş soğan dilimine, maksimum D_{eff} değeri ($9,139 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) ise 400 W'da kurutulmuş, önışlem görmüş 3 mm kalınlığa sahip olan örneğe aittir. Vakum altında kurutmada olduğu gibi, yüksek kurutma sıcaklığı, tuz çözeltisi ile önışlem uygulaması ve düşük dilim kalınlığı mikrodalga kurutma etkin difüzyon katsayısının yüksek değerlere ulaşmasını sağlamıştır. Ayrıca, bu çalışma sonucunda elde edilen en yüksek difüzyon katsayısı değerleri, mikrodalgada kurutulmuş olan örneklerdir. Bunun sebebi olarak, mikrodalga kurutmada bipolar moleküllerin yüksek hızlarda dönmesi gösterilebilir (Sadeghi, vd., 2013). Arslan ve Özcan (2010) 210 ve 700 W'larda mikrodalgada kurutulmuş soğan örneklerinin nem difüzyon katsayılarını sırasıyla $4,009 \cdot 10^{-8}$ ve $4,869 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplamışlardır.

4.5 Aktivasyon Enerjisi

Taşınımla ve vakum altında kurutulmuş soğan örneklerinin aktivasyon enerjileri denklem (3.5) yardımıyla, mikrodalgada kurutulmuş örneklerinki ise denklem (3.6) yardımıyla hesaplanmıştır. Çizelge 4.1, soğan dilimlerinin tüm koşullarda hesaplanan aktivasyon enerjisi değerlerini göstermektedir. Sonuçlara göre, taşınımla, vakum altında ve mikrodalga kurutma ile elde edilen sonuçlar sırasıyla; 10,93-34,13 kJ/mol, 3,28-28,61 kJ/mol ve 2,25-6,08 W/kg'dır. Aghbashlo, vd. (2008) gıda ürünlerinin aktivasyon enerjilerinin 12-110 kJ/mol aralığında olması gerektiğini bildirmişlerdir, bu yüzden elde edilmiş olan veriler bu aralığa uygun düşmekte ve bu iddiayı doğrulamaktadır. Taşınımla kurutulmuş olan örneklerin aktivasyon enerjileri vakum altında kurutulmuş olan örneklerle oranla daha yüksektir. Buradan vakum altında kurutmanın, taşınımla kurutmaya göre daha kolay gerçekleştiği sonucuna varılabilir. Ayrıca, dilim kalınlığının artması aktivasyon enerjisini artırırken, önışlem uygulaması ise bu değeri azaltmıştır.

Yüksek R^2 değerleri aynı zamanda, örneklerin sıcaklığa olan bağımlılıklarını göstermektedir. Soğan sebzesinin aktivasyon enerjisi; yeşil fasulyeye (35,43 kJ/mol) (Doymaz, 2005), kırmızı turpa (15-40 kJ/mol) (Lee ve Kim, 2009b), havuca (22,43

kJ/mol) (Toğrul, 2006) ve duta (21,2 kJ/mol) (Maskan ve Gogus, 1998) yakınlık göstermektedir.

Çizelge 4.1 Kurutulmuş soğan dilimlerinin aktivasyon enerjisi değerleri

Önişlem	Dilim Kalınlığı (mm)	Taşınımla kurutma		Vakum altında kurutma		Mikrodalga kurutma	
		E _a (kJ/mol)	R ²	E _a (kJ/mol)	R ²	E _a (W/kg)	R ²
-	3	26,56	0,91	9,32	0,79	2,95	0,95
+	3	34,13	0,99	3,28	0,99	2,25	0,56
-	7	10,93	0,94	28,61	0,99	6,08	0,98
+	7	27,45	0,93	14,86	0,98	3,09	0,59

4.6 Soğan Dilimlerinin Kurutulması Esnasında Renk Değişimine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi

Kurutulmakta olan ve kurutulmuş ürünlerin renkleri L*; aydınlık, a*; kırmızılık-yeşillik, b*; sarılık-mavilik değerlerinin ölçülmesi ile takip edilir. Meyve ve sebzelerin kurutulması işleminde renk değişikliği genellikle enzimatik yolla ya da enzimatik olamayan yolla esmerleşme reaksiyonları sonucunda gerçekleşir. a- değerinin artışı daha kırmızı bir renk anlamına gelir ki bu da esmerleşme reaksiyonlarının göstergesi olarak kabul edilir. Mikrodalga kurutma kırmızılık (a) değerinde ufak bir miktar artışa sebep olur, bu da konveksiyonel kurutulmuş ürünlere göre ürünün daha az esmerleşmiş olduğu anlamına gelir (Vadiwambal ve Jayas, 2007). Bu tez kapsamında kurutulan soğan dilimlerinde en önemli duyusal kriterlerden biri olan renk kriteri yine L*, a* ve b* değerlerinin ölçümü ile takip edilmiş ve orijinal soğan dilimleri ile olan renk farkı ΔE ile ifade edilmiştir.

4.6.1 Taşınımla Kurutma için Tarama Aşaması

Soğan dilimlerinin taşınımla kurutulması esnasında meydana gelen en önemli değişimlerden biri olan toplam renk değişimi üzerine etki eden faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi için yapılan tarama denemesinde kurutma sıcaklığı (°C), tuzluluk (%) ve dilim kalınlığı (mm) faktörleri 2 tekerrürlü 2³ tam faktöriyel deney tasarımı ile incelenmiştir. Söz konusu denemeye ait deney planı ve elde edilen

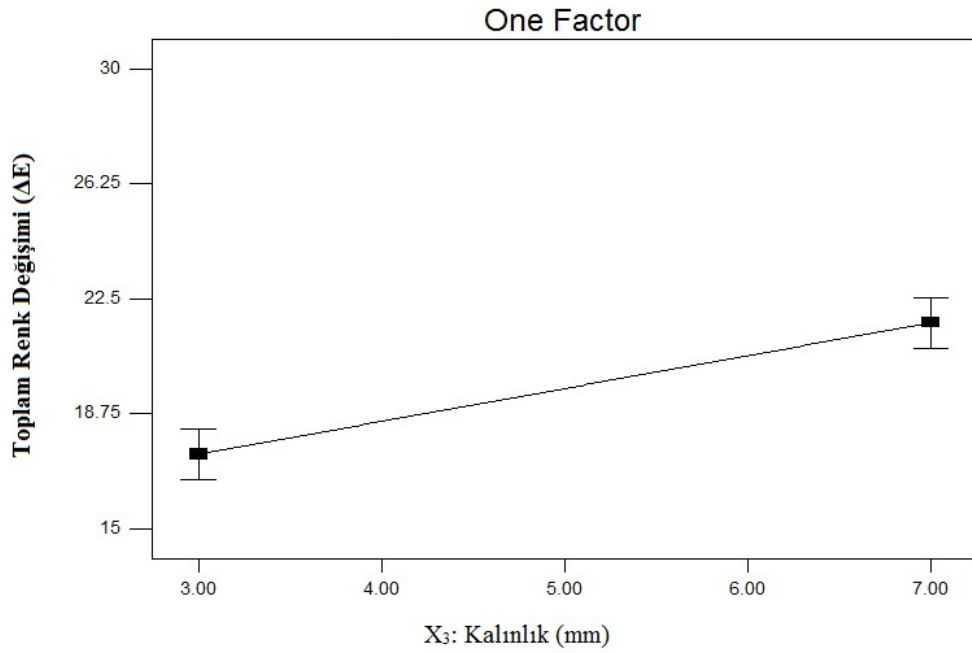
toplam renk değişimi (ΔE) değerleri izelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.2’de verilmekte olan toplam renk değişimi (ΔE) değerlerine bakıldığında oldukça yüksek (15,3 – 24,3) değerler elde edildiği görülmüştür. Çizelge 4.3’te verilmekte olan ANOVA tablosu incelendiğinde ise taşınımla kurutma işleminde toplam renk değişimi üzerine etki eden en önemli faktörün kalınlık ve diğer üç etkileşim terimleri olduğu görülmüştür. Şekil 4.4’e bakıldığında ise kalınlığın düşük olduğu seviyede toplam renk değişimi düşük elde edilmiştir. Bu nedenle optimizasyon aşamasında kalınlık; 2 - 6 mm seviyesine düşürülmüştür. Tuzluluk – sıcaklık ve tuzluluk – kalınlık grafiklerine bakıldığında ise düşük ΔE seviyesinin yüksek tuzluluk seviyesinde elde edildiği görülmüş olup, bu nedenle optimizasyon aşamasında tuzluluk seviyesi genişletilmiş % 12 seviyesine çıkılmıştır.

Çizelge 4.2 Taşınımla kurutma koşullarının taranması için kullanılan deney planı ve elde edilen sonuçlar

Deney no	Tuzluluk (%)	Sıcaklık (°C)	Dilim kalınlığı (mm)	Toplam renk değişimi (ΔE)
1	0	70	3	15,9
2	8	70	3	16,6
3	0	70	3	15,4
4	8	50	3	16,5
5	0	50	7	21,7
6	8	70	3	16,3
7	0	50	3	20,6
8	0	70	7	21,4
9	8	50	7	17,4
10	8	70	7	29,1
11	0	50	3	23,0
12	0	50	7	20,0
13	8	50	7	18,9
14	8	50	3	15,3
15	8	70	7	24,3
16	0	70	7	20,8

Çizelge 4.3 Taşınımla kurutmada tarama aşamasında toplam renk değişimi (ΔE) üzerine incelenen faktörlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	P-değeri
Model	201,1	6	0,0003
X ₁ -tuzluluk	1,1	1	0,4872
X ₂ -sıcaklık	2,5	1	0,3021
X ₃ -kalınlık	73,3	1	0,0002
X ₁ X ₂	56,2	1	0,0006
X ₁ X ₃	15,9	1	0,0227
X ₂ X ₃	52,2	1	0,0008
Kalıntı	19,0	9	
Matematiksel forma uygunluk	0,6	1	0,6318
Saf hata	18,4	8	
Toplam	220,1	15	
Std. Sapma	1,45	R ²	0,91
Ortalama	19,58	Düzeltilmiş R ²	0,86
C.V. %	7,42	Tahminlenmiş R ²	0,73
PRESS	60,10	Yeterli kesinlik	11,56



Şekil 4.4 Taşınımla kurutma tarama aşamasında incelenen dilim kalınlığı faktörünün toplam renk değişimi (ΔE) üzerine etkisi (X₁: %4, X₂: 60 °C)

4.6.2 Taşınımla Kurutma için Optimizasyon Aşaması

Tarama aşamasında elde edilen sonuçlar doğrultusunda minimum toplam renk değişimi (ΔE) değerini veren optimum koşulların belirlenmesi amacıyla yüzey merkezli merkezi kompozit tasarım (face-centred central composit design, FCCD) kullanılmış olup, kurutma süresi 20 saat olarak sabit tutulmuştur. Taşınımla kurutma işleminin optimizasyonu Çizelge 3.3'de verilmekte olan faktör seviyelerinde incelenmiştir. Bu amaçla 5 adet merkez nokta eklenerek uygulanan deney tasarımı ile elde edilen veriler Çizelge 4.4'te, bu verilerin varyans analizi (ANOVA) tablosu ise Çizelge 4.5'te verilmiştir.

ANOVA tablosuna göre soğan dilimlerinin taşınımla kurutulması işlemi üzerine etkili olan faktörler; sıcaklık ve tuzluluk faktörünün kuadratik formu olup, modele dâhil edilen terimler ile oluşturulan modelin denklemi denklem (4.1)'de verilmiştir. Söz konusu modele ait regresyon katsayısı 0,89 olarak elde edilmiştir. Şekil 4.5 a ve b incelendiğinde ise düşük toplam renk değişimi değeri için elde edilen bölgede tuzluluk oranının % 6, sıcaklığın 40 °C ve kalınlığın 2 mm seviyelerinde olduğu görülmüştür. Söz konusu seviyelerde deneysel olarak elde edilen toplam renk değişimi değeri, tarama aşamasında elde edilen (% 0, 70 °C, 3 mm koşullarında) değerler ile karşılaştırıldığında yapılan optimizasyon işlemi ile toplam renk değişiminde yaklaşık % 75'lik bir iyileşme sağlandığı söylenebilir.

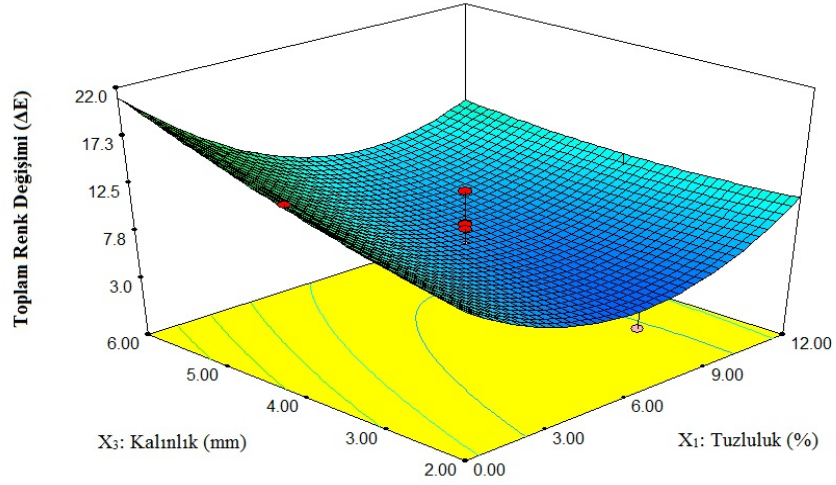
Çizelge 4.4 Taşınım ile kurutma işlem koşullarının optimizasyonu için kullanılan merkezi kompozit deney planı ve elde edilen sonuçlar (kurutma süresi: 20 h)

Deney no	Tuzluluk (%)	Sıcaklık (°C)	Dilim kalınlığı (mm)	Toplam renk değişimi (ΔE)
1	12	40	6	2,5
2	6	80	4	12,4
3	0	80	6	32,6
4	6	60	2	3,6
5	12	80	6	30,5
6	6	60	6	8,1
7	0	40	6	16,3
8	0	60	4	15,9
9	6	40	4	4,4
10	12	60	4	6,4
11	0	40	2	7,4
12	0	80	2	22,0
13	12	80	2	22,0
14	12	40	2	9,5
15	6	60	4	8,1
16	6	60	4	8,6
17	6	60	4	8,5
18	6	60	4	6,4
19	6	60	4	12,0

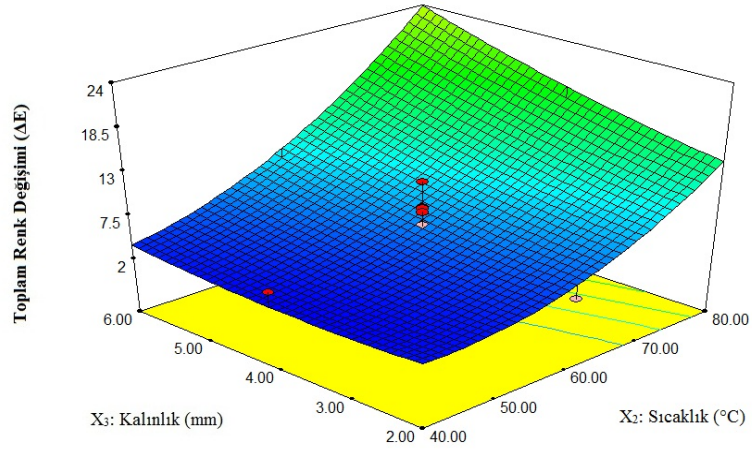
Çizelge 4.5 Taşınım ile kurutmanın optimizasyonu aşamasında toplam renk değişimi üzerine incelenen faktörlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	P-değeri
Model	1210,8	8	0,0006
X ₁ -tuzluluk	53,9	1	0,0828
X ₂ -sıcaklık	629,1	1	< 0,0001
X ₃ -kalınlık	65,0	1	0,0604
X ₁ X ₃	40,9	1	0,1242
X ₂ X ₃	36,7	1	0,1427
X ₁ ²	100,1	1	0,0253
X ₂ ²	31,2	1	0,1730
X ₃ ²	1,8	1	0,7293
Kalıntı	145,1	10	
Matematiksel forma uygunluk	128,6	6	0,0663
Saf hata	16,5	4	
Toplam	1355,9	18	
Std. Sapma	3,81	R ²	0,89
Ortalama	12,48	Düzeltilmiş R ²	0,81
C.V. %	30,51	Tahminlenmiş R ²	0,45
PRESS	740,48	Yeterli kesinlik	12,21

$$\begin{aligned} \text{Toplam renk değişimi} = & 7,09 - 2,32 \cdot X_1 + 7,93 \cdot X_2 + 2,55 \cdot X_3 - 2,26 \cdot X_1 X_3 + \\ & 2,14 \cdot X_2 X_3 + 6,05 \cdot X_1^2 + 3,38 \cdot X_2^2 + 0,82 \cdot X_3^2 \end{aligned} \quad (4.1)$$



(a)



(b)

Şekil 4.5 Optimizasyon aşamasında a) kalınlık – tuzluluk (sıcaklık: 60 °C), b) kalınlık – sıcaklık (tuzluluk: % 6) etkileşimlerinin toplam renk değişimi üzerine etkisi

4.6.3 Taşımınla Kurutma için Doğrulama Aşaması

Optimizasyon aşamasında toplam renk değişimi (ΔE) cevap değerleri için elde edilen model denkleminin (denklem 4.1) deneysel olarak doğrulanabilmesi için Çizelge 4.6'da verilmekte olan 3 adet deney gerçekleştirilmiştir. Söz konusu deneylere ait koşullar Design-Expert yazılımı tarafından belirlenmiş olup, bunun için bağımsız

değişkenler “aralık içinde” (in range), toplam renk değişimi (ΔE) ise “minimize” olarak tercih edilmiştir. Seçilen deneylerin istenilirlik (desirability) fonksiyonları 1,000’dir. Çizelge 4.6’da verilen sonuçlara bakıldığında taşınım ile kurutma için doğrulama deneyleri kapsamında elde edilen sonuçlar, modelin tahmin ettiği sonuçlara oldukça uzak kalmıştır. Söz konusu deneyler 3’er kez tekrarlanmış ve her seferinde benzer toplam renk değeri sonuçları elde edilmiştir. Deneysel sonuçların tahmini sonuçlardan yüksek olmasının nedeninin; özellikle b^* değerlerinin sarılık (+b) yönünde tarama ve optimizasyon aşamalarına göre oldukça yüksek çıkması olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeninin soğanların mevsimsel olarak değişiklik göstermesi olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak; soğan dilimlerinin taşınım ile kurutulması için denklem (4.1) ile verilmekte olan modelin tahmin gücünün oldukça düşük olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.6 Taşınım ile kurutma için doğrulama deney koşulları ve sonuçları

Deney no	Tuzluluk (%)	Sıcaklık (°C)	Dilim kalınlığı (mm)	Toplam renk değişimi (ΔE)		
				Tahmini	Deneysel	Hata (%)
1	6,46	42,12	2,61	2,5	12,6	80,1
2	6,49	40,72	2,87	2,5	11,3	77,9
3	5,56	40,08	2,92	2,5	12,8	80,5

Bunun yanında yine Çizelge 4.6’da verilmiş olan ve 11,3 - 12,8 aralığında olan deneysel sonuçlara bakıldığında söz konusu sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu, hatta bazı bulgulardan daha düşük olduğu söylenebilir. Kumar, vd. (2005) 60 °C, 2 mm ve 2 m/s hızla sıcak hava üfleyen bir sistemde 340 dakika boyunca kuruttukları soğan dilimlerindeki toplam renk değişimini 26,6 olarak elde etmişlerdir. Grewal, vd. (2015) ise 50 °C’de konveksiyonel olarak kuruttukları soğan dilimlerinde (3 mm) toplam renk değişimini 17,9 olarak tespit etmişlerdir. Sahoo, vd. (2015) sıcak hava ile 60 °C’de kurutma uyguladıkları işlem görmüş (% 5 tuz çözeltisi) ve görmemiş soğan dilimlerinde sırasıyla 12,8 ve 13,5 toplam renk değişimi gözlemlenmiştir.

4.6.4 Mikrodalga Kurutma için Tarama Aşaması

Soğan dilimlerinin mikrodalga ile kurutulması esnasında meydana gelen en önemli değişimlerden biri olan toplam renk değişimi üzerine etki eden faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi için yapılan tarama denemesinde mikrodalga gücü (W), tuzluluk (%) ve dilim kalınlığı (mm) faktörleri 2 tekerrürlü 2^3 tam faktöriyel deney tasarımı ile incelenmiştir. Söz konusu denemeye ait deney planı ve elde edilen toplam renk değişimi (ΔE) değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. Çizelge 4.7'de verilmekte olan toplam renk değişimi (ΔE) değerlerine bakıldığında elde edilen toplam renk değişimi değerlerinin oldukça geniş bir aralıkta olduğu söylenebilir.

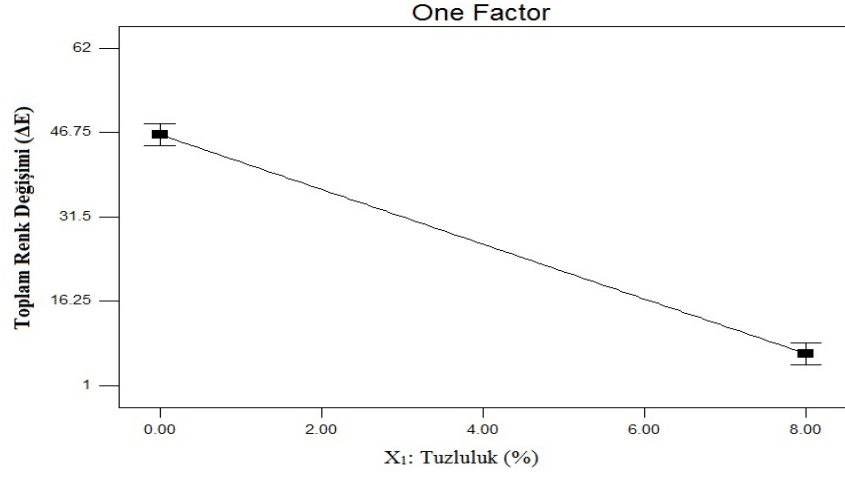
Çizelge 4.8'de verilmekte olan ANOVA tablosuna bakıldığında toplam renk değişimi üzerine etki eden önemli faktörlerin tuzluluk, mikrodalga gücü ve kalınlık olduğu görülmektedir. Şekil 4.6a'ya bakıldığında yüksek tuzluluk seviyesinde toplam renk değişimi düşük elde edilmiştir. Bu nedenle optimizasyon aşamasında tuzluluk seviyesi % 12'ye kadar genişletilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.6b'de görülebileceği gibi mikrodalga seviyesinin düşük olduğu 80 W güçte toplam renk değişimi değerleri düşüktür. Kullanılmakta olan mikrodalga fırında en düşük güç seviyesi 80 W olup, daha düşük bir güç seviyesini incelemek mümkün değildir. Bu durum nedeniyle optimizasyon aşamasında mikrodalga gücü bir bağımsız değişken olarak incelenmemiş ve 80 W'ta sabitlenmiştir. Şekil 4.6c ise kalınlık faktörünün düşük olduğu seviyede toplam renk değerinin düşük elde edildiğini göstermektedir, ki bu sonuç optimizasyonda kalınlık seviyesinin 2 – 6 mm aralığına kaydırılmasına sebep olmuştur.

Çizelge 4.7 Mikrodalga kurutma koşullarının taranması için kullanılan deney planı ve elde edilen sonuçlar

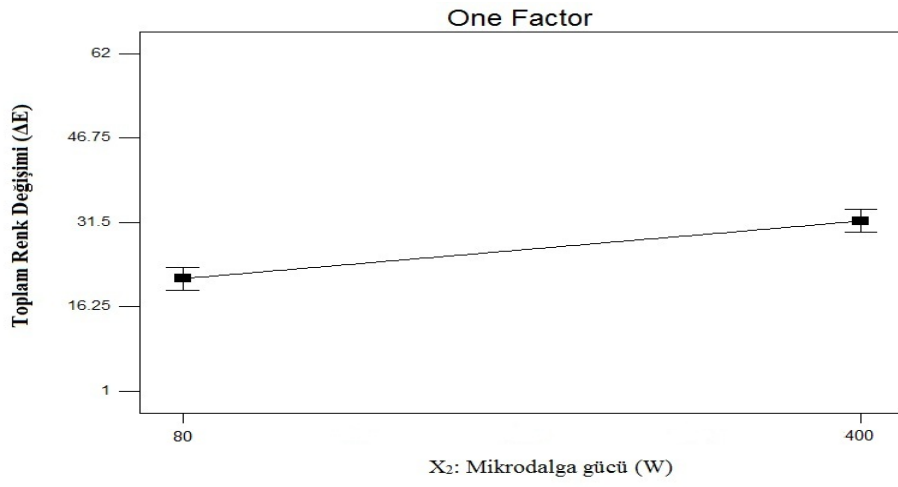
Deney no	Tuzluluk (%)	Mikrodalga gücü (W)	Dilim kalınlığı (mm)	Toplam renk değişimi (ΔE)
1	0	80	3	32,5
2	8	80	7	4,2
3	8	400	3	4,1
4	0	400	3	50,8
5	8	400	7	16,1
6	8	80	3	4,0
7	0	400	7	61,6
8	8	80	7	3,8
9	0	80	3	37,5
10	0	80	7	41,8
11	8	400	3	8,6
12	8	400	7	12,2
13	0	400	3	48,7
14	0	80	7	45,8
15	0	400	7	52,0
16	8	80	3	1,2

Çizelge 4.8 Mikrodalga kurutmada tarama aşamasında toplam renk değişimi (ΔE) üzerine incelenen faktörlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu

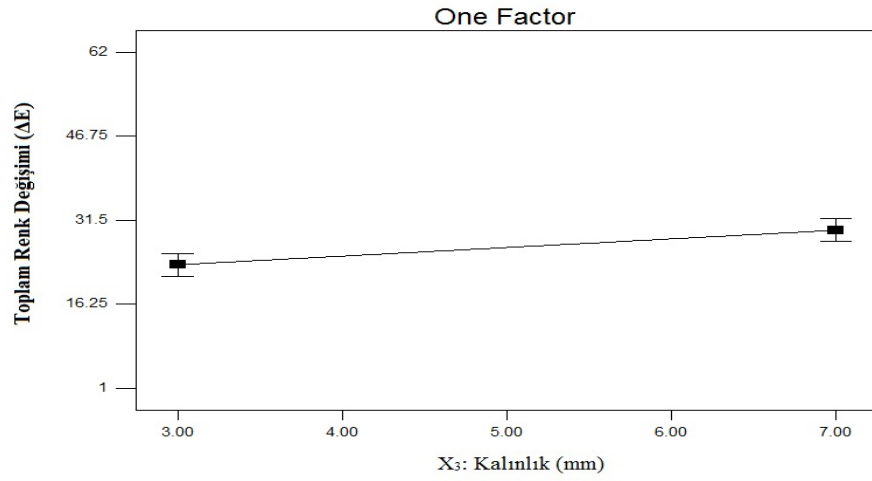
Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	<i>P</i> -değeri	
Model	6846,9	3	< 0,0001	
X ₁ -tuzluluk	6259,7	1	< 0,0001	
X ₂ -güç	430,9	1	0,0001	
X ₃ -kalınlık	156,3	1	0,0061	
Kalıntı	169,8	12		
Matematiksel forma uygunluk	79,9	4	0,2262	
Saf hata	89,9	8		
Toplam	7016,7	15		
	Std. Sapma	3,76	R ²	0,98
	Ortalama	26,55	Düzeltilmiş R ²	0,97
	C.V. %	14,17	Tahminlenmiş R ²	0,96
	PRESS	301,84	Yeterli kesinlik	29,88



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.6 Mikrodalga kurutma tarama aşamasında incelenen a) tuzluluk, b) mikrodalga gücü ve c) dilim kalınlığı faktörlerinin toplam renk değişimi (ΔE) üzerine etkisi

4.6.5 Mikrodalga Kurutma için Optimizasyon Aşaması

Tarama aşamasında elde edilen sonuçlar doğrultusunda minimum toplam renk değişimi (ΔE) değerini veren optimum koşulların belirlenmesi amacıyla yüzey merkezli merkezi kompozit tasarım (face-centred central composit design, FCCD) kullanılmış olup, kurutma süresi 35 dakika, mikrodalga gücü ise 80 W olarak sabit tutulmuştur. Çizelge 3.4'te mikrodalga kurutmada işleminin optimize edilmesi kapsamında incelenen bağımsız değişkenler ve seviyeleri özetlenmektedir.

Çizelge 4.9'da elde edilmiş olan toplam renk değişimi değerlerinin 9,7 ile 23,8 aralığında olduğu görülmektedir. Çizelge 4.10'da yer alan ANOVA tablosu incelendiğinde ise soğan dilimlerinin mikrodalga ile kurutulması işleminde toplam renk değişimi üzerine etki eden en önemli faktörler; dilim kalınlığı ve bu faktörün kuadratik formudur. İncelenen aralıklarda toplam renk değişimini ifade eden model denklik ise denklem (4.2)'de verilmektedir. Söz konusu model denklik ile oluşturulmuş ve Şekil 4.7'de verilmiş olan model grafiği; düşük toplam renk değişimi değerlerinin 2 mm dilim kalınlığı ve 3 ile 7 % tuzluluk oranlarında elde edildiğini göstermektedir. Bu seviyelerde deneysel olarak elde edilen ΔE değerleri 9,7 ve 13,5 olup, bu değerler tarama aşamasında ölçülen en düşük değerler olan 4,0 ve 1,2 (% 8 tuzluluk, 80 W, 3 mm) değerlerinden oldukça yüksektir. Optimizasyon aşamasında ΔE değeri beklenildiği şekilde düşük elde edilmemiştir. Bunun sebebinin ise kullanılan soğan partileri arasındaki renk farkı olduğu düşünülmektedir.

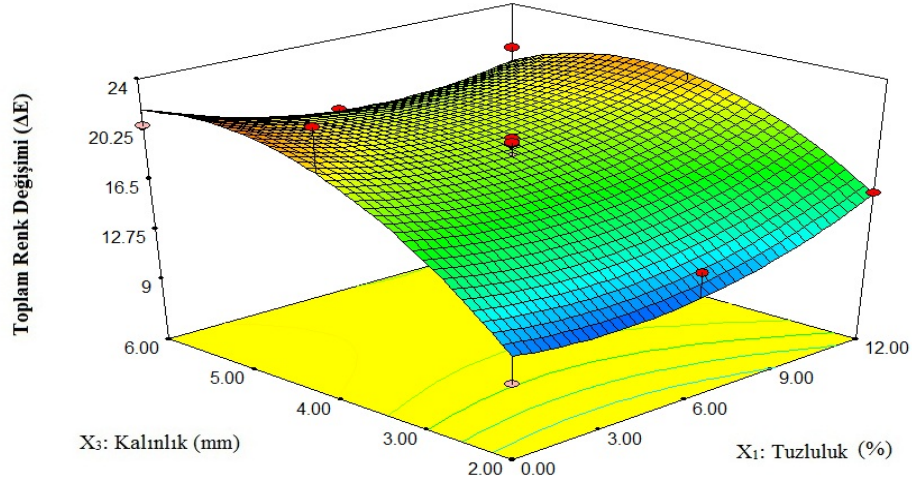
Çizelge 4.9 Mikrodalga kurutma koşullarının optimizasyonu için kullanılan deney planı ve elde edilen sonuçlar

Deney no	Tuzluluk (%)	Dilim kalınlığı (mm)	Toplam renk değişimi (ΔE)
1	12	6	20,5
2	6	2	13,5
3	6	6	18,7
4	12	2	15,7
5	6	4	15,8
6	6	4	19,7
7	6	4	18,4
8	0	2	9,7
9	6	4	19,3
10	12	4	20,3
11	0	6	20,6
12	0	4	23,8
13	6	4	19,4

Çizelge 4.10 Mikrodalga kurutmada optimizasyon aşamasında toplam renk değişimi (ΔE) üzerine incelenen faktörlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	P-değeri
Model	126,2	5	0,0235
X ₁ -tuzluluk	1,0	1	0,6621
X ₂ -kalınlık	73,5	1	0,0054
X ₁ X ₂	9,2	1	0,2018
X ₁ ²	12,0	1	0,1532
X ₂ ²	41,3	1	0,0206
Kalıntı	32,6	7	
Matematiksel forma uygunluk	22,3	3	0,1662
Saf hata	10,3	4	
Toplam	158,8	12	
Std. Sapma	2,2	R ²	0,79
Ortalama	18,1	Düzeltilmiş R ²	0,65
C.V. %	11,9	Tahminlenmiş R ²	0,39
PRESS	221,3	Yeterli kesinlik	6,95

$$\text{Toplam renk değişimi} = 18,94 + 0,40 \cdot X_1 + 3,50 \cdot X_2 - 1,52 \cdot X_1 X_2 + 2,08 \cdot X_1^2 - 3,87 \cdot X_2^2 \quad (4.2)$$



Şekil 4.7 Mikrodalga kurutmada optimizasyon aşamasında kalınlık – tuzluluk etkileşiminin toplam renk değişimi üzerine etkisi (sıcaklık: 60 °C)

4.6.6 Mikrodalga Kurutma için Doğrulama Aşaması

Denklem (4.2)'de verilmiş olan model denkleminin doğrulanması amacıyla DesignExpert yazılımının önerdiği 3 adet deney (istenilirlik (desirability) fonksiyonları 1,000) gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar Çizelge 4.11'de özetlemiştir. Buna göre elde edilen deney sonuçları ile modelin tahmin ettiği değerler arasındaki farkı ifade eden hata yüzdelerine bakıldığında söz konusu modelin incelenen seviye aralığında mikrodalga ile kurutma işleminde gerçekleşen toplam renk değişimini tahmin etme gücünün özellikle 2 mm dilim kalınlığına sahip olan soğan dilimleri için yüksek olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.11 Mikrodalga kurutma için doğrulama deney koşulları ve sonuçları

Deney no	Tuzluluk (%)	Dilim kalınlığı (mm)	Toplam renk değişimi (ΔE)		
			Tahmini	DeneySEL	Hata (%)
1	3,23	2,00	11,13	12,2	8,41
2	4,42	2,00	11,23	10,6	-6,31
3	7,61	6,00	18,41	23,4	21,18

Buna göre; soğan dilimlerinin mikrodalga ile kurutulması işleminde optimum koşullar; 80 W mikrodalga gücü, % 4,4 tuzluluk ve 2 mm dilim kalınlığı şeklinde

belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada; Sahoo, vd. (2015) mikrodalga ile 240 W güçte kurutma uyguladıkları işlem görmüş (% 5 tuz çözeltisi) ve görmemiş soğan dilimlerinde sırasıyla 13,7 ve 16,0 toplam renk değişimi gözlemlemiştirlerdir. Bu durumda bu tez kapsamında toplam renk değişimi bakımından Sahoo, vd. (2015) ile uyumlu bir sonuç elde edilmiş olup, bu renk değişimi Sahoo, vd. (2015)'e göre daha düşük bir güç seviyesi olan 80 W'ta elde edilmiştir. Roknul, vd. (2014) ise kuşkonmaz marulu dilimleri üzerine yaptıkları çalışmada sıcak hava destekli mikrodalga kurutma uygulaması (1200 W) sonrasında dilimlerdeki toplam renk değişimini 11,3 olarak belirlemiştirlerdir.

4.6.7 Vakumla Kurutma için Tarama Aşaması

Soğan dilimlerinin vakumla kurutulması esnasında meydana gelen en önemli değişimlerden biri olan toplam renk değişimi üzerine etki eden faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi için yapılan tarama denemesinde sıcaklık (°C), tuzluluk (%) ve dilim kalınlığı (mm) faktörleri 2 tekerrürlü 2³ tam faktöriyel deney tasarımı ile incelenmiştir. Söz konusu denemeye ait deney planı ve elde edilen toplam renk değişimi (ΔE) değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir. Çizelge 4.12'de verilmekte olan toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin 14,5 ile 23,7 arasında değiştiği görülmektedir.

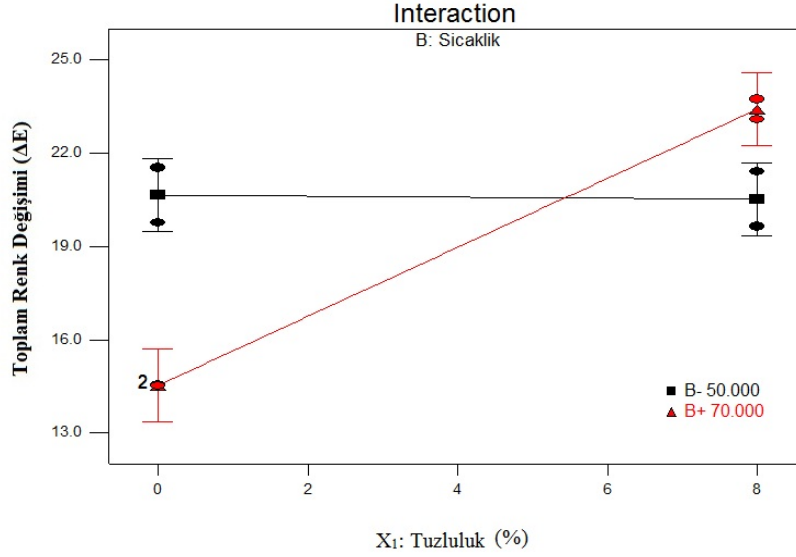
Çizelge 4.13'de verilmekte olan ANOVA tablosuna göre toplam renk değişimi üzerine etki eden önemli faktörlerin sıcaklık ve kalınlık esas terimlerinin yanısıra tuzluluk-sıcaklık, tuzluluk-kalınlık, tuzluluk-sıcaklık-kalınlık etkileşim terimleri olduğu görülmektedir. Şekil 4.8 incelendiğinde ise tarama aşamasında düşük renk değişiminin % 0 tuzluluk, 70 °C ve 7 mm kalınlık seviyelerinde (ΔE : 14,5 ve 14,6) elde edildiği görülmektedir. % 0 tuzluluk seviyesinde ΔE değerleri % 8 seviyesine oranla bariz bir şekilde düşük olduğundan optimizasyon aşamasında tuzluluk seviyesi % 0'da sabit tutulmuştur. Bunun yanında, tarama aşamasında 70 °C'de elde edilen düşük ΔE değerleri nedeniyle, optimizasyon aşamasında 70 °C'nin üzerine çıkılması gerektiği düşünülmüş ve sıcaklık seviyesi 90 °C'ye kadar genişletilmiştir. Benzer şekilde tarama aşamasında 7 mm kalınlık seviyesinde düşük ΔE elde edilmesi nedeniyle optimizasyon aşamasında 9 mm kalınlığın incelenmesine karar verilmiştir.

Çizelge 4.12 Vakumla kurutma koşullarının taranması için kullanılan deney planı ve elde edilen sonuçlar

Deney no	Tuzluluk (%)	Sıcaklık (°C)	Dilim kalınlığı (mm)	Toplam renk değişimi (ΔE)
1	8	50	3	21,0
2	8	70	3	17,9
3	8	70	3	20,7
4	8	50	3	20,9
5	0	70	3	20,4
6	8	50	7	21,4
7	8	70	7	23,1
8	8	70	7	23,7
9	0	70	7	14,5
10	8	50	7	19,6
11	0	50	7	19,8
12	0	50	3	23,6
13	0	50	7	21,5
14	0	50	3	24,7
15	0	70	3	21,3
16	0	70	7	14,6

Çizelge 4.13 Vakumla kurutmada tarama aşamasında toplam renk değişimi (ΔE) üzerine incelenen faktörlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	<i>P</i> -değeri
Model	118,8	7	0,0004
X ₁ -tuzluluk	3,9	1	0,0872
X ₂ -sıcaklık	16,8	1	0,0037
X ₃ -kalınlık	9,6	1	0,0155
X ₁ X ₂	28,2	1	0,0008
X ₁ X ₃	45,9	1	0,0002
X ₂ X ₃	0,8	1	0,4164
X ₁ X ₂ X ₃	13,6	1	0,0065
Saf hata	8,2	8	
Toplam	127,0	15	
Std. Sapma	1,01	R ²	0,94
Ortalama	20,55	Düzeltilmiş R ²	0,88
C.V. %	4,93	Tahminlenmiş R ²	0,74
PRESS	32,85	Yeterli kesinlik	13,46



Şekil 4.8 Vakumla kurutma tarama aşamasında incelenen tuzluluk-sıcaklık etkileşim faktörlerinin toplam renk değişimi (ΔE) üzerine etkisi (dilim kalınlığı: 7 mm)

4.6.8 Vakumla Kurutma için Optimizasyon Aşaması

Tarama aşamasında elde edilen sonuçlar doğrultusunda minimum toplam renk değişimi (ΔE) değerini veren optimum koşulların belirlenmesi amacıyla yüzey merkezli merkezi kompozit tasarım (face-centred central composite design, FCCD) kullanılmış olup, kurutma süresi 5 saat, tuzluluk seviyesi ise % 0 olarak sabit tutulmuştur. Çizelge 3.5’de vakumla kurutmada işleminin optimize edilmesi aşamasında incelenen bağımsız değişkenler ve seviyeleri özetlenmektedir.

Çizelge 4.14’de elde edilmiş olan toplam renk değişimi değerlerinin 9,5 ile 21,7 aralığında olduğu görülmektedir. Çizelge 4.15’de yer alan ANOVA tablosu incelendiğinde ise soğan dilimlerinin vakum ile kurutulması işleminde toplam renk değişimi üzerine etki eden en önemli faktörlerin sıcaklık ve sıcaklık ile kalınlığın etkileşimi olduğu görülmüştür. Denklem (4.3) ile ifade edilen modelin Şekil 4.9’da verilmekte olan model grafiğine bakıldığında düşük ΔE değerlerinin 5 ile 9 mm kalınlık ve 50 ile 55 °C sıcaklık aralığında yaklaşık 11,3 olarak tahminlendiği söylenebilmektedir.

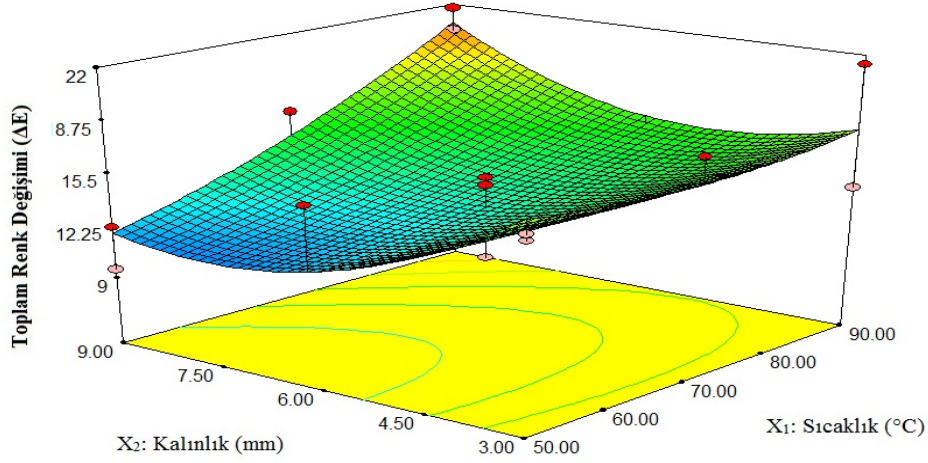
Çizelge 4.14 Vakumla kurutma işlem koşullarının optimizasyonu için kullanılan merkezi kompozit deney planı ve elde edilen sonuçlar (kurutma süresi: 5 h, tuzluluk: % 0)

Deney no	Sıcaklık (°C)	Dilim kalınlığı (mm)	Toplam renk değişimi (ΔE)
1	50	9	9,5
2	90	6	15,5
3	50	9	12,2
4	70	6	14,9
5	70	9	17,0
6	90	9	21,7
7	90	3	13,8
8	70	3	18,3
9	50	3	16,3
10	50	3	16,7
11	50	6	15,9
12	70	6	14,4
13	90	9	20,3
14	90	3	21,5
15	70	6	12,4
16	70	6	9,8
17	70	6	12,4

Çizelge 4.15 Vakumla kurutmanın optimizasyonu aşamasında toplam renk değişimi üzerine incelenen faktörlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	P-değeri
Model	134,2	5	0,0304
X ₁ - sıcaklık	49,0	1	0,0233
X ₂ - kalınlık	3,3	1	0,5089
X ₁ X ₂	40,0	1	0,0365
X ₁ ²	1,8	1	0,6218
X ₂ ²	22,4	1	0,1026
Kalıntı	77,7	11	
Matematiksel forma uygunluk	27,4	3	0,2977
Saf hata	50,3	8	
Toplam	211,9	16	
Std. Sapma	2,7	R ²	0,63
Ortalama	15,5	Düzeltilmiş R ²	0,47
C.V. %	17,2	Tahminlenmiş R ²	0,02
PRESS	208,6	Yeterli kesinlik	5,64

$$\text{Toplam renk değişimi} = 13,40 + 2,21 \cdot X_1 - 0,57 \cdot X_2 - 2,24 \cdot X_1 X_2 + 0,78 \cdot X_1^2 + 2,72 \cdot X_2^2 \quad (4.3)$$



şekil 4.9 Optimizasyon aşamasında kalınlık – sıcaklık etkileşiminin toplam renk değişimi üzerine etkisi

4.6.9 Vakumla Kurutma için Doğrulama Aşaması

Denklem (4.3)'de verilmiş olan model denkleminin doğrulanması amacıyla DesignExpert yazılımının önerdiği 3 adet deney (istenilirlik (desirability) fonksiyonları 1,000) gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar izelge 4.16'da özetlemiştir. Söz konusu çizelgeye bakıldığında deneysel sonuçların modelin tahmin ettiği sonuçlara en çok % 10,6 ve en az % 31,9 oranında yaklaştığı görülmektedir. Buna göre; dilim kalınlığı arttıķa, elde edilen modelin deneysel sonuçları tahmin etme gücü azalmıştır.

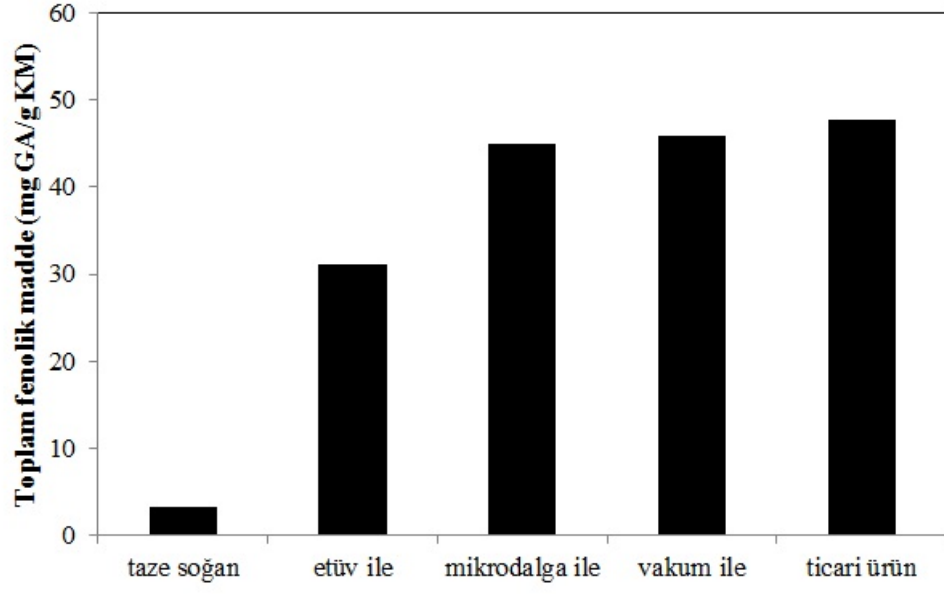
Çizelge 4.16 Vakumla kurutma için doğrulama deney koşulları ve sonuçları

Deney no	Sıcaklık (%)	Dilim kalınlığı (mm)	Toplam renk değişimi (ΔE)		
			Tahmini	Deneysel	Hata (%)
1	50	5,65	12,72	14,2	10,6
2	50	5,70	12,75	18,7	31,9
3	50	6,11	11,23	16,2	30,5

Şu halde soğan dilimlerinin vakumla kurutulmasında optimum koşullar; 50 °C sıcaklık, % 0 tuzluluk ve 5,65 mm dilim kalınlığı şeklinde tespit edilmiştir. Bu seviyelerde yapılan vakumla kurutma işlemi sonrasında soğan dilimlerinin toplam renk değişimi 14,2 olarak elde edilmiştir. Vakum altında soğan dilimi kurutan çalışmalarda toplam renk değişimi inceleyen bir çalışmaya rastlanılamamıştır. Bunun yanında, elma dilimlerini vakum altında (0,98 bar) kurutan Çelen (2010) incelediği en düşük sıcaklık olan 70 °C’de 5 mm’lik elma dilimlerindeki toplam renk değişimi 40,5 olarak hesaplamıştır.

4.7 Soğan Dilimlerinin Kurutulması ile Toplam Fenolik Madde Değişimi

Soğan dilimlerinin incelenen 3 yöntemin optimum koşullarında kurutulması sonucu toplam fenolik madde (mg Gallik asit/g kuru madde) değerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.10’da verilmiştir. Buna göre en yüksek fenolik maddenin açığa çıkmasını sağlayan kurutma yöntemi; vakum ile kurutma olmuştur. Bu yöntem ile kurutulan soğan dilimlerinin toplam fenolik madde içeriği ticari ürün ile benzerlik göstermektedir. Arslan ve Özcan (2010) etüvde 50 °C’de kuruttukları soğan dilimlerinde 512 mg/100 g, 210 W güçte mikrodalga ile kuruttukları soğan dilimlerinde ise 1664 mg/100 g toplam fenolik madde bulduklarını rapor etmiş fakat temel olarak hangi fenolik maddeyi eşdeğer tuttuklarını belirtmemişlerdir. Taze soğan için bulmuş olduğumuz 3,30 mg GA/g KM oranı ise, Lu, vd. (2011)’de sarı soğan için verilmiş olan 1,65 mg GA/g taze soğan değeri ile uyumludur.



Şekil 4.10 Soğan dilimlerinin kurutulması ile toplam fenolik madde değişimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, taşınımla, vakum altında ve mikrodalga ile kurutulan soğan dilimlerinin önişlemlili ve önişlemsiz ortamda kuruma davranışları incelenmiştir. Kuruma hızları ve difüzyon katsayıları artan sıcaklıkla veya güç seviyesiyle artmış, fakat dilim kalınlığıyla azalmıştır. Taşınımla kurutmada, önişlem uygulaması kuruma hızı üzerinde negatif bir etki göstermiş, ancak vakum altında ve mikrodalga ile kurutmada ise olumlu bir etkiye sebebiyet vermiştir. Sigmoid, Kübik ve Midilli modelleri yüksek korelasyon katsayısı ve düşük karesel ortalama hata ile ki-kare değerlerine sahip olduklarından, kuruma davranışlarını en iyi modelleyen eşitlikler olarak tespit edilmiştir. Sigmoid ve Kübik modellerin, soğanın kurutulmasını konu edinen literatürdeki hiçbir çalışma tarafından uygunlukları test edilmediğinden dolayı, bu çalışmanın ileriki araştırmalara bu noktada ışık tutacağı düşünülmektedir, Mikrodalgada ve vakum altında kurutulmuş önişlem uygulanmış örneklerin aktivasyon enerjileri, uygulanmamış örneklerden daha düşük kalmış ve üç farklı kurutma yönteminden elde edilen tüm örneklerin Arrhenius kuralına uyduğu görülmüştür, Bu detaylı çalışmanın sonuçlarının, soğan kurutma prosesinin tasarımı ve proses parametrelerinin optimizasyonu ile ilgilenen üreticilere fikir vereceğine inanılmaktadır.

Soğan dilimlerinin taşınımla kurutulması işleminde düşük toplam renk değişimi değerlerinin elde edildiği optimum koşullar 40,72 °C sıcaklık, % 6,49 tuzluluk ve 2,87 mm dilim kalınlığı olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda elde edilen toplam renk değişimi 11,3'dir. Mikrodalga ile kurutma işleminde ise düşük toplam renk değişimi değerlerinin elde edildiği optimum koşullar 80 W mikrodalga gücü, % 4,4 tuzluluk ve 2 mm dilim kalınlığı olup, bu optimum koşullarda soğan dilimlerinin rengi 12,2 düzeyinde değişmiştir. Vakumla yapılan kurutma işleminde ise düşük toplam renk değişimi değerlerinin elde edildiği optimum koşullar 50 °C sıcaklık, % 0 tuzluluk ve 5,65 mm dilim kalınlığı şeklinde tespit edilmiştir. Bu seviyelerde yapılan vakumla kurutma işlemi sonrasında soğan dilimlerinin toplam renk değişimi 14,2 olarak elde edilmiştir.

Taşınımla kurutma yönteminin optimum koşullarında kurutulan soğan dilimlerinin L^* , a^* , b^* değerleri sırasıyla $76,5 \pm 1,7$, $-0,4 \pm 0,6$ ve $1,2 \pm 1,7$ olup, söz konusu değerler ticari olarak satılmakta olan kurutulmuş granül soğanın laboratuvarımızda llen L^* , a^* , b^* değerleri ile karşılaştırıldığında (sırasıyla $74,4 \pm 1,1$, $2,7 \pm 0,1$ ve $34,1 \pm 1,4$) taşınım yöntemi ile optimum koşullarda kurutulan soğan dilimlerinin ticari olarak piyasaya sürülmüş olan bu ürüne parlaklık, yeşillik ve sarılık bakımından daha üstün olduğu söylenebilir.

Soğan dilimlerinin kurutulması için incelenmiş ve işlem koşulları optimize edilmiş olan 3 kurutma yöntemi birbiri ile karşılaştırıldığında, toplam renk değişiminin en düşük düzeyde elde edildiği kurutma yönteminin taşınımla kurutma olduğu görülmüştür. Bunun yanında 3 kurutma yönteminin de optimum noktalarında elde edilen toplam renk değişimi değerleri birbirine çok yakın değerlerdir. Bu da soğan dilimlerinin kurutulması işlemi için maliyetin en düşük olduğu kurutma yönteminin tercih edilebileceğine işaret etmektedir. Endüstriyel boyutta soğan dilimlerinin incelenen yöntemlerden herhangi biri ile kurutulabilmesi amacıyla gerekli olan cihaz tasarımının yapılması için bu tezde elde edilen verilerin temel oluşturduğuna inanılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Adam, E., Mühlbauer, W., Esper, A., Wolf, W., Spiess, W., Quality changes of onion as affected by the drying process, *Nahrung*, 44(1), 32–37, 2000.
- Aghbaslo, M., Kianmehr, M.H. Samimi-Akhijayani, H., Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin layer drying of beriberi fruit (*Berberidaceae*), *Energy Convers. Manage*, 49, 2865–2871, 2008.
- Akbari, S.H., Patel, N.C., Optimization of parameters for good quality dehydrated onion flakes, *J Food Sci Technol*, 43, 603-606, 2006.
- Akgün, N.A., Doymaz, I., Modelling of olive cake thin-layer drying process, *Journal of Food Engineering*, 68, 455–461, 2005.
- Akpınar, E., Midilli, A. and Biçer, Y., Single layer drying behavior of potato slices in a convective cyclone and mathematical modeling, *Energy Convers Manage*, 44, 1689–1705, 2003.
- Al-Harashseh, M., Al-Muhtaseb, A. H., Magee, T. R. A., Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effect of osmotic dehydration, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 48(1), 524–531, 2009.
- Alibaş, I., Microwave, air and combined microwave-air drying parameters of pumpkin slices, *LWT—Food Sci. Technol.*, 40 (8), 1445–1451, 2007.
- Alibaş, I., Microwave, vacuum and air drying characteristics of collard leaves, *Dry. Technol.* 27(11), 1266-1273, 2009.
- Amiri Chayjan, R., Kaveh, M. and Khayati, S., Modeling drying characteristics of hawthorn fruit under microwave-convective conditions, *J. Food Process. Preserv.*, 39, 239–253, 2015.
- AOAC, Official method of analysis. Association of official analytical chemists (No. 934.06), Arlington, VA, 1990.
- Are´valo-Pinedo, A., Murr, F.E.X., Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): modeling with shrinkage, *J Food Eng*, 76, 562–567, 2006.
- Arslan, D. and Özcan, M.M., Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices, *LWT - Food Sci. Technol.*, 43(7), 1121–1127, 2010.

- Baroni, A. F., Hubinger, M. D., Drying of Onion: Effects of Pretreatment on Moisture Transport, *Drying Technology*, 16(9-10), 2083–2094, 1998.
- Bebartta, J.P., Sahoo, N.R., Dash, S.K., Panda, M.K. and Pal, U.S., Kinetics modeling and moisture diffusivity of onion slices in fluidized bed drying, *J. Food Process. Preserv.*, 38(1), 193–199, 2012.
- Bebartta, J. P., Sahoo, N. R., Dash, S. K., Panda, M. K., Pal, U. S., Kinetics modeling and moisture diffusivity of onion slices in fluidized bed drying, *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 193–199, 2014.
- Bruce, D. M., Exposed-layer barley drying, three methods fitted to new data up to 150 °C, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 32(4), 337-347, 1985.
- Clary, C.D., Mejia-Meza, E., Wang, S., Petrucci, V.E., Improving grape quality using microwave vacuum drying associated with temperature control, *J. Food Sci.*, 72, 23–28, 2007.
- Corzo, O., Bracho, N., Pereira, A., Vásquez, A., Weibull distribution for modelling air drying of coroba slices, *LWT-Food Sci. Technol.*, 41, 2023-2028, 2008.
- Çelen, S., Mikrodalga ve vakum kurutucuda bazı gıda ürünlerinin kurutulması ve modellenmesi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Edirne, 152, 2010.
- Dadalı, G., Kılıç Apar, D., Özbek, B., Color change kinetics of okra undergoing microwave drying, *Drying Technology*, 25(5), 925–936, 2007.
- Dadalı, G., Ozbek, B., Microwave heat treatment of leek: Drying kinetic and effective moisture diffusivity, *Int. J. Food Sci. Tech.*, 43, 1443-1451, 2008.
- Dalvand, M.J., Mohtasebi, S.S., Rafiee, S., Determining the influence of drying conditions on EHD drying process, *J Agric Biol Sci*, 7, 396–401, 2012.
- Demiray, E., & Tülek, Y., Drying characteristics of garlic (*Allium sativum* L) slices in a convective hot air dryer, *Heat and Mass Transfer / Waerme- Und Stoffuebertragung*, 50(6), 779–786, 2014.
- Dev, S.R., Raghavan, V.G., Advancements in drying techniques for food, fiber, and fuel, *Dry Technol*, 30(11–12), 1147–1159, 2012.
- Doymaz, I., Effect of pre-treatments using potassium metabisulphite and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots, *Biosyst Eng*, 89, 281-287, 2004a.

- Doymaz, I., Effect of dipping treatment on air drying of plums, *Journal of Food Engineering*, 64(4), 465–470, 2004b.
- Doymaz, I., Drying behavior of green beans, *Journal of Food Engineering*, 69, 161–165, 2005.
- Doymaz, I., Air drying characteristics of tomatoes, *J Food Eng*, 78, 1291–1297, 2007.
- Doymaz, I., Drying of pomegranate seeds using infrared radiation, *Food Science and Biotechnology*, 21(5), 1269–1275, 2012.
- Figiel, A., Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices, *Journal of Food Engineering*, 94, 98–104, 2009.
- Grewal, M.K., Jha, S. N., Patil, R. T., Dhatt, A. S., Kaur, A., Jaiswal, P., A less energy intensive process for dehydrating onion, *J Food Sci Technol*, 52 (2), 1131–1137, 2015.
- Henderson, S. M., Pabis, S., Grain drying theory. 1. Temperature effects on drying coefficients, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(3), 169-174, 1961.
- Henderson, S. M., Progress in developing the thin layer drying equation, *Transactions of the ASAE*, 17(6), 1167-1172, 1974.
- Jaya, S., Das, H., A vacuum drying model for mango pulp, *Drying Technology*, 21, 1215–1234, 2003.
- Jena, S., Das, H., Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake, *Journal of Food Engineering*, 79, 92–99, 2007.
- Karathanos, V.T., Villalobos, G. and Saravacos, G.D., Corporation of two methods of estimation of the effective moisture diffusivity from drying data, *J. Food Sci.*, 55, 218–223, 1990.
- Kaymak-Ertekin, F., Gedik, A., Kinetic modelling of quality deterioration in onions during drying and storage, *Journal of Food Engineering*, 68, 443-453, 2005.
- Kingsly, R. P., Singh, D. B., Drying kinetics of pomegranate arils, *Journal of Food Engineering*, 79(2), 741–744, 2007.
- Krishna Murthy, T. P., Manohar, B., Microwave drying of mango ginger (*Curcuma amada* Roxb): Prediction of drying kinetics by mathematical modelling and artificial neural network, *International Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 1229–1236, 2012.

- Kumar, D.G.P., Hebbar, H.U., Sukumar, D., Ramesh, M.N., Infrared and hot air drying of onions, *Journal of Food Processing and Preservation*, 29(2), 132-150, 2005.
- Lee, J. H., Kim, H. J., Modeling of vacuum drying kinetics of onion slices, *Food Science and Biotechnology*, 18(5),1293-1297, 2009a.
- Lee, J. H., Kim, H. J., Vacuum drying kinetics of Asian white radish (*Raphanus sativus* L.) slices, *LWT - Food Science and Technology*, 42(1), 180–186, 2009b.
- Lu, X., Wang, J., Al-Qadiri, H.M., Ross, C.F., Powers, J.R., Tang, J., Rasco, B.A., Determination of total phenolic content and antioxidant capacity of onion (*Allium cepa*) and shallot (*Allium oschaninii*) using infrared spectroscopy, *Food Chemistry*, 129, 637–644, 2011.
- Maskan, M. Gogus, F., Sorption isotherms and drying characteristics of mulberry (*Morus alba*), *J. Food Eng.*, 37, 437–449, 1998.
- Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z., A new model for single layer drying, *Drying Technol*, 20, 1503–1513, 2002.
- Mitra, J., Shrivastava, S. L., Srinivasa Rao, P., Vacuum dehydration kinetics of onion slices, *Food and Bioproducts Processing*, 89(1), 1–9, 2011.
- Mitra, J., Shrivastava, S. L., & Rao, P. S., Onion dehydration: A review, *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 267–277, 2012.
- Mitra, J., Shrivastava, S. L., & Rao, P. S., Non-enzymatic browning and flavour kinetics of vacuum dried onion slices, *International Agrophysics*, 29(1), 91–100, 2015.
- Moses, J. A., Norton, T., Alagusundaram, K., & Tiwari, B. K., Novel drying techniques for the food industry, *Food Engineering Reviews*, 6(3), 43–55, 2014.
- Mota, C. L., Luciano, C., Dias, A., Barroca, M. J., & Guine, R. P. F., Convective drying of onion: Kinetics and nutritional evaluation, *Food and Bioproducts Processing*, 88(2-3), 115–123, 2010.
- Mujaffar, S., Sankat, C. K., Modeling the drying behavior of unsalted and salted catfish (*Arius* sp.) slabs, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1385–1398, 2015.

- Mujumdar, A.S., Huang, L.X., Global R&D needs in drying, *Dry Technol*, 25(4), 647–658, 2007.
- Orsat, V., Yang, W., Changrue, V., Raghavan, G.S.V., Microwave-assisted drying of biomaterials, *Food Bioprod. Process*, 85 (3), 255–263, 2007.
- Özdemir, M., & Onur Devres, Y., Thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting, *Journal of Food Engineering*, 42(4), 225–233, 1999.
- Paengkanya, S., Soponronnarit, S., & Nathakaranakule, A., Application of microwaves for drying of durian chips, *Food and Bioproducts Processing*, 96, 1–11, 2015.
- Page, G. E., Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers, M. S. Thesis, Purdue, USA: Department of Mechanical Engineering, Purdue University, 1949.
- Pap, L., Production of pure vegetable juice powders of full biological value, *Fruit Process*, 3, 55–60, 1995.
- Pathare, P.B., Sharma, G.P, Effective moisture diffusivity of onion slices undergoing infrared convective drying, *Biosystems Engineering*, 93(3), 285-291, 2006.
- Rahman, Md. S., Lamb, J., Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple, *Journal of Food Process Engineering*, 14(3), 163- 171, 1991.
- Rahman, S.M.A. and Mujumdar, A.S., Effect of osmotic treatment with concentrated sugar and salt solutions on kinetics and color in vacuum contact drying, *J. Food Process. Preserv.*, 31(6), 671–687, 2007.
- Rao, V.K.R., Onion exports, *Food Digest*, 18(2), 75, 1995.
- Rapusas, R.S., Driscoll, R.H., The thin layer drying characteristics of white onion slices, *Drying Technology*, 13(8-9), 1905-1931, 1995.
- Reyes, A., Cerón, S., Zúniga, R., Moyano, P., A comparative study of microwave-assisted air drying of potato slices, *Biosyst. Eng.*, 98, 310–318, 2007.
- Roknul, A.S.M., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Wang, Y., A comparative study of four drying methods on drying time and quality characteristics of stem lettuce slices (*Lactuca sativa* L.), *Drying Technology*, 32, 657–666, 2014.
- Sachidananda Swain, D.V.K., Samuel, L.M, Bal, A.K. Sahoo, G.P., Modelling of microwave assisted drying of osmotically pretreated red sweet pepper (*Capsicum annum* L.), *Food Sci. Biotechnol.*, 21 (4), 969-978, 2012.

- Sadeghi, M., Mirzabeigi Kesbi, O., Mireei, S. A., Mass transfer characteristics during convective, microwave and combined microwave-convective drying of lemon slices, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(3), 471–478, 2013.
- Sahoo, N.R., Bal, L.M., Pal, U.S., Sahoo, D., Impact of pretreatment and drying methods on quality attributes of onion shreds, *Food Technol. Biotechnol.*, 53 (1), 57–65, 2015.
- Santas, J., Carbo, R., Gordon, M.H., Almajano, M.P., Comparison of the antioxidant activity of two Spanish onion varieties, *Food Chemistry*, 107 , 1210–1216, 2008.
- Sarsavadia, P.N., Sawhney, R.L., D.R. Pangavhane, Singh, S.P., Drying behaviour of brined onion slices, *J Food Eng.*, 40, 219–226, 1999.
- Sham, P.W.Y., Scaman, C.H., Durance, T.D., Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety, *Journal of Food Science*, 66(9), 1341-1347, 2001.
- Selvamuthukumar, M., Khanum, F., Effect of modified atmosphere packaging on physicochemical, sensory and microbiological properties of spray-dried sea buckthorn fruit juice powder, *Journal of Food Quality*, 37, 149–156, 2014.
- Sharma, G.P., Prasad, S. (2004). Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying, *J. Food Eng.*, 65, 609-617, 2004.
- Sharma, G. P., Verma, R. C., Pathare, P., Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices, *Journal of Food Engineering*, 71(3), 282–286, 2005.
- Sorour, H., El-Mesery, H., Effect of Microwave and Infrared Radiation on Drying of Onion Slices, *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*, 2(5), 119–130, 2014.
- Srikiatden, J., Roberts, J. S., Measuring moisture diffusivity of potato and carrot (core and cortex) during convective hot air and isothermal drying, *Journal of Food Engineering*, 74, 143–152, 2006.
- Sun, Y., Shen, Y., Liu, D., Ye, X., Effects of drying methods on phytochemical compounds and antioxidant activity of physiologically dropped un-matured citrus Fruits, *LWT - Food Science and Technology*, 60, 1269-1275, 2015.

- Sutar, P. P., Gupta, D. K., Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices, *Journal of Food Engineering*, 78(1), 90–97, 2007.
- Şahin, A.Z., Dincer, I., Prediction of drying times for irregular shaped multi-dimensional objects, *J Food Eng*, 71, 119–126, 2005.
- Thompson, T. L., Peart, R. M. and Foster, G. H., Mathematical simulation of corn drying-a new model, *Transactions of ASAE*, 11(4), 582- 586, 1968.
- Toğrul, H., Suitable drying model for infrared drying of carrot, *J Food Eng*, 77, 610–619, 2006.
- Toğrul, I. T., Pehlivan, D., Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers, *Journal of Food Engineering*, 55, 209-216, 2002.
- Toğrul, I.T., Pehlivan, D., Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process, *J Food Eng*, 65, 413–425, 2004.
- Tülek, Y., Drying kinetics of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in a convective hot air dryer, *Journal Agricultural Science Technology*, 13, 655–664, 2011.
- Tülek, Y., Demiray, E., Drying characteristics of garlic (*Allium sativum* L) slices in a convective hot air dryer, *Heat Mass Transfer*, 50, 779–786, 2014.
- Uzman, D. and Şahbaz, F., Drying kinetics of hydrated and gelatinized corn starches in the presence of sucrose and sodium chloride, *J. Food Sci.*, 65, 115–122, 2000.
- Varith, J., DijkanarukkuL, P., Achariyaviriya, A. and Achariyaviriya, S., Combined microwave-hot air drying of peeled longan, *J. Food Eng.*, 81(2), 459-468, 2007.
- Vadivambal, R., Jayas, D.S., Changes in quality of microwave-treated agricultural products-a review, *Biosystems Engineering*, 98, 1–16, 2007.
- Walde, S.G., Velu, V., Jyothirmayi T. and Math, R.G., Effects of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom, *J. Food Eng.*, 74, 108-115, 2006.
- Wang, C. Y., & Singh, R. P., Use of variable equilibrium moisture content in modelling rice drying, *Transactions of the ASAE*, 11, 668-672, 1978.
- White, G. M., Ross, T. J., & Ponekert, R., Fully exposed drying of popcorn, *Transactions of the ASAE*, 24(2), 466-468, 1981.

Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y., Tagawa, A., Vacuum drying characteristics of eggplants, *Journal of Food Engineering*, 83(3), 422–429, 2007.

Xiao, H.W., Pang, C.L., Wang, L.H., Bai, J.W., Yang, W.X. and Gao, Z.J., Drying kinetics and quality of Monukka seedless grapes dried in an air-impingement jet dryer, *Biosys Eng.*, 105, 233–240, 2010.



ÖZGEÇMİŞ

- 1. Adı Soyadı** : Seda SEZER
2. Doğum Tarihi : 08.02.1992
3. Ünvanı : Gıda Mühendisi
4. Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Okul/Üniversite	Bitirme Yılı
Lise	Sayısal	Mersin Atatürk Lisesi	2010
Lisans	Gıda Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2014

5. Yayınlar

Süfer, Ö., Sezer, S., Demir, H., Thin layer mathematical modeling of convective, vacuum and microwave drying of intact and brined onion slices, *Journal of Food Processing and Preservation*, DOI: 10.1111/jfpp.13239

6. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

- Süfer, Ö., Demir, H., Sezer, S., Impact of microwave drying on total phenolic content and colour of onion slices, *3rd Global Congress on Microwave Energy Applications*, 25-29 July 2016, Cartagena, İspanya, p: 64 (poster).
- Sezer, S., Süfer, Ö., Demir, H., Konvektif ve mikrodalga fırında farklı sıcaklık ve sürelerde kurutulan soğan dilimlerinin matematiksel modellemesi ve bazı kalite özelliklerinin kıyaslanması. *Pamukkale Gıda Sempozyumu III – Kurutulmuş ve Yarı Kurutulmuş Gıdalar*, 13-15 Mayıs 2015, Denizli, Kongre kitabı s: 24-25 (sözlü sunum).

EKLER

EK-1: TAŞINIMLA VE VAKUM ALTINDA KURUTMA VERİLERİNE UYGULANAN BAZI MODEL EŞİTLİKLERİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZ SONUÇLARI

Model İsmi	Sıcaklık (°C)	Dilim Kalınlığı (mm)	Önişlem	Taşınım kurutma							Vakum altında kurutma									
				R ²	RMSE	χ ²	k (1/dak)	n	a	b	c	R ²	RMSE	χ ²	k (1/dak)	n	a	b	c	
Midilli	50	3	+	0,9939	0,0193	0,0004	0,0072	0,9387		0,0191			0,9859	0,0352	0,0018	0,0090	1,1697		0,0200	
			-	0,9977	0,0122	0,0001	0,0053	0,9913		0,0067			0,9956	0,0173	0,0003	0,0432	0,7734		0,0073	
		7	+	0,9994	0,0051	0,0000	0,0079	0,7736		0,0092			0,9898	0,0271	0,0008	0,0078	0,9991		0,0150	
			-	0,9951	0,0214	0,0006	0,0000	2,1358		-0,0084			0,9979	0,0125	0,0001	0,0023	1,1037		0,0053	
		60	3	+	0,9924	0,0195	0,0004	0,0123	0,9040		0,0268			0,9862	0,0334	0,0015	0,0113	1,0499		0,0176
			-	0,9968	0,0153	0,0002	0,0048	1,0731		0,0114			0,9930	0,0253	0,0009	0,0065	1,1863		0,0135	
	70	3	+	0,9968	0,0135	0,0001	0,0063	0,8824		0,0162			0,9951	0,0203	0,0005	0,0020	1,1943		0,0004	
			-	0,9950	0,0214	0,0006	0,0000	2,1358		-0,0084			0,9981	0,0122	0,0001	0,0025	1,1271		-0,0001	
		7	+	0,9947	0,0178	0,0003	0,0083	1,0452		0,0182			0,9933	0,0247	0,0008	0,0034	1,1944		0,0042	
			-	0,9985	0,0101	0,0001	0,0061	1,0439		-0,0002			0,9941	0,0248	0,0008	0,0009	1,4560		0,0035	
		7	+	0,9976	0,0116	0,0001	0,0081	0,8670		0,0143			0,9966	0,0165	0,0003	0,0007	1,3102		-0,0044	
			-	0,9950	0,0214	0,0006	0,0000	2,1358		-0,0084			0,9979	0,0135	0,0002	0,0003	1,4321		-0,0044	
Küçük*	50	3	+	0,9997	0,0036	0,0000			1,0121	-0,0039	0,0000	0,9955	0,0199	0,0007			1,0211	-0,0135	0,0001	
			-	0,9998	0,0032	0,0000			1,0055	-0,0044	0,0000	0,9840	0,0333	0,0016			0,9377	-0,0108	0,0000	
		7	+	0,9942	0,0169	0,0003			0,9363	-0,0014	0,0000	0,9992	0,0075	0,0000			1,0036	-0,0059	0,0000	
			-	0,9993	0,0062	0,0000			0,9808	-0,0018	0,0000	0,9991	0,0082	0,0008			1,0153	-0,0033	0,0000	
		60	3	+	0,9881	0,0244	0,0006			0,9565	-0,0042	0,0000	0,9980	0,0126	0,0002			1,0122	-0,0106	0,0000
			-	0,9998	0,0037	0,0000			1,0155	-0,0055	0,0000	0,9977	0,0145	0,0003			1,0184	-0,0111	0,0000	
	70	3	+	0,9991	0,0068	0,0000			0,9907	-0,0024	0,0000	0,9987	0,0101	0,0001			0,9935	-0,0039	0,0000	
			-	0,9992	0,0066	0,0000			0,9577	-0,0023	0,0000	0,9992	0,0076	0,0000			0,9979	-0,0041	0,0000	
		7	+	0,9967	0,0141	0,0002			0,9955	-0,0069	0,0000	0,9983	0,0124	0,0002			1,0020	-0,0060	0,0000	
			-	0,9995	0,0058	0,0000			0,9906	-0,0065	0,0000	0,9973	0,0166	0,0004			1,0090	-0,0046	0,0000	
		7	+	0,9988	0,0081	0,0000			0,9795	-0,0029	-0,0029	0,9983	0,0117	0,0001			0,9941	-0,0027	0,0000	
			-	0,9992	0,0069	0,0000			0,9854	-0,0029	0,0000	0,9990	0,0093	0,0001			1,0032	-0,0023	0,0000	
Sigmoid	50	3	+	0,9999	0,0022	0,0000	0,0078		1,6429	0,1308	13,6580	0,9999	0,0029	0,0000	0,0379		1,1303	0,1274	32,3262	
			-	0,9998	0,0030	0,0000	0,0086		1,7540	0,1139	1,2963	0,9962	0,0162	0,0003	0,0172		6,9467	0,0701	-517,0736	
		7	+	0,9970	0,0869	0,0193	0,0020		1,0542	0,0085	11,5358	0,9924	0,0233	0,0006	0,0130		1,4307	0,1109	34,9033	
			-	0,9997	0,0040	0,0000	0,0024		8,4251	0,0577	-864,2683	0,9988	0,0094	0,0001	0,0069		1,6718	0,0774	32,7418	
		60	3	+	0,9984	0,0088	0,0000	0,0087		2,6753	0,1292	-81,7266	0,9985	0,0109	0,0001	0,0259		1,2727	0,1215	29,9868
			-	0,9996	0,0050	0,0000	0,0112		1,5839	0,0791	28,7258	0,9993	0,0079	0,0001	0,0278		1,2595	0,0911	34,0546	
	70	3	+	0,9992	0,0067	0,0000	0,0037		4,5637	0,1070	-385,6718	0,9979	0,0133	0,0002	0,0123		1,2222	0,0809	82,9841	
			-	0,9995	0,0053	0,0000	0,0032		8,0532	0,0773	-660,3665	0,9985	0,0110	0,0001	0,0077		1,9607	0,0325	-4,2997	
		7	+	0,9995	0,0053	0,0000	0,0151		1,6032	0,0930	16,9665	0,9974	0,0153	0,0003	0,0199		1,1766	0,0941	57,6968	
			-	0,9992	0,0074	0,0000	0,0122		1,9930	0,0718	-13,3127	0,9978	0,0152	0,0003	0,0214		1,0758	0,0589	85,4766	
		7	+	0,9996	0,0042	0,0000	0,0042		8,6110	0,1010	-517,7150	0,9974	0,0145	0,0002	0,0069		1,5844	-0,0166	81,5510	
			-	0,9986	0,0091	0,0000	0,0056		1,9236	0,0697	-15,5693	0,9985	0,0114	0,0001	0,0069		1,4724	-0,0371	12	

*Küçük modelde yer alan “d” katsayısı tüm koşullarda sıfıra eşittir

EK-2: MİKRODALGA KURUTMA VERİLERİNE UYGULANAN BAZI MODEL EŞİTLİKLERİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZ SONUÇLARI

Model İsmi	Güç (W)	Dilim Kalınlığı (mm)	Önişlem	Mikrodalga kurutma									
				R ²	RMSE	χ ²	k (1/dak)	n	a	b	c	d	
Midilli	80	3	+	0,9844	0,0326	0,0011	0,1053	1,3172		0,0233			
			-	0,9878	0,0356	0,0013	0,0006	1,9551		0,0182			
		7	+	0,9901	0,0281	0,0008	0,0008	1,5078		0,0188			
			-	0,9985	0,0082	0,0000	0,0002	1,7464		-0,0011			
		240	3	+	0,9871	0,0323	0,0013	0,2323	1,1779		0,0190		
			-	0,9840	0,0313	0,0010	0,0027	0,9797		0,0257			
	7	+	0,9942	0,0241	0,0006	0,0007	1,5528		0,0080				
		-	0,9977	0,0149	0,0002	0,0000	1,6736		0,0036				
	400	3	+	0,9904	0,0305	0,0010	0,0008	1,5747		0,0178			
			-	0,9931	0,0256	0,0006	0,0001	1,5114		0,0189			
		7	+	0,9956	0,0208	0,0004	0,0001	1,6992		-0,0003			
			-	0,9927	0,0262	0,0007	0,0000	1,6247		0,0074			
Küçük		80	3	+	0,9881	0,0288	0,0009			1,0575	-0,1381	0,0065	-0,0001
				-	0,9656	0,0599	0,0038			1,1427	-0,0191	0,0001	0,0000
	7		+	0,9844	0,0354	0,0013			1,1081	-0,0078	0,0000	0,0000	
			-	0,9992	0,0060	0,0000			0,9935	-0,0005	-0,0001	0,0000	
	240		3	+	0,9938	0,0203	0,0005			1,0263	-0,2156	0,0163	-0,0004
			-	0,9953	0,0168	0,0003			1,0340	-0,0017	0,0000	0,0000	
	7	+	0,9964	0,0190	0,0004			1,0336	-0,0046	0,0000	0,0000		
		-	0,9991	0,0093	0,0000			1,0283	-0,0004	0,0000	0,0000		
	400	3	+	0,9823	0,0414	0,0019			1,0985	-0,0084	0,0000	0,0000	
			-	0,9908	0,0295	0,0009			1,0844	-0,0015	0,0000	0,0000	
		7	+	0,9985	0,0123	0,0001			1,0089	-0,0015	0,0000	0,0000	
			-	0,9966	0,0177	0,0003			1,0207	-0,0005	0,0000	0,0000	
Sigmoid		80	3	+	0,9986	0,0095	0,0001	0,4596		0,9579	0,1162	4,5947	
				-	0,9989	0,0105	0,0001	0,0923		0,9003	0,1012	41,1499	
	7		+	0,9993	0,0072	0,0000	0,0256		0,9596	0,0960	96,4257		
			-	0,9996	0,0041	0,0000	0,0350		0,8462	0,2163	72,0750		
	240		3	+	0,9947	0,0187	0,0004	0,6047		1,1202	0,1097	2,1527	
			-	0,9945	0,0182	0,0003	0,0043		1,1670	0,1579	211,2152		
	7	+	0,9979	0,0145	0,0002	0,0265		1,0264	0,0815	81,3960			
		-	0,9984	0,0125	0,0001	0,0029		1,0966	0,0533	689,5513			
	400	3	+	0,9984	0,0121	0,0001	0,0324		0,9631	0,1028	78,8835		
			-	0,9989	0,0099	0,0001	0,0075		0,9838	0,1313	307,2567		
		7	+	0,9979	0,0145	0,0002	0,0125		1,0512	0,0400	179,1872		
			-	0,9986	0,0115	0,0001	0,0059		0,9398	0,1162	451,5991		

EK-3: ÇEŞİTLİ YÖNTEMLERLE KURUTULAN ÖRNEKLERİN DİFÜZYON KATSAYILARI

Durum*	Önişlem	Taşınımla kurutma		Vakum altında kurutma		Mikrodalga kurutma	
		Dilim kalınlığı (mm)					
		3	7	3	7	3	7
1	-	$7,687 \times 10^{-9}$	$3,014 \times 10^{-9}$	$1,268 \times 10^{-8}$	$6,938 \times 10^{-9}$	$3,193 \times 10^{-8}$	$1,801 \times 10^{-8}$
	+	$3,460 \times 10^{-9}$	$1,962 \times 10^{-9}$	$1,605 \times 10^{-8}$	$1,081 \times 10^{-8}$	$1,290 \times 10^{-7}$	$1,222 \times 10^{-7}$
2	-	$8,811 \times 10^{-9}$	$3,585 \times 10^{-9}$	$1,288 \times 10^{-8}$	$9,757 \times 10^{-9}$	$1,177 \times 10^{-7}$	$1,098 \times 10^{-7}$
	+	$4,922 \times 10^{-9}$	$3,068 \times 10^{-9}$	$1,677 \times 10^{-8}$	$1,325 \times 10^{-8}$	$1,840 \times 10^{-7}$	$1,700 \times 10^{-7}$
3	-	$1,372 \times 10^{-8}$	$3,817 \times 10^{-9}$	$1,555 \times 10^{-8}$	$1,290 \times 10^{-8}$	$2,568 \times 10^{-7}$	$2,247 \times 10^{-7}$
	+	$7,259 \times 10^{-9}$	$3,549 \times 10^{-9}$	$1,723 \times 10^{-8}$	$1,491 \times 10^{-8}$	$9,139 \times 10^{-7}$	$6,175 \times 10^{-7}$

*Durum 1, taşınımla ve vakum altında kurutma için 50°C'yi, mikrodalga kurutma için 80 W'ı, Durum 2, taşınımla ve vakum altında kurutma için 60°C'yi, mikrodalga kurutma için 240 W'ı, Durum 3, taşınımla ve vakum altında kurutma için 70°C'yi, mikrodalga kurutma için ise 400 W'I ifade etmektedir.



İNTİHAL RAPORU