

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**KIZILÖTESİ DESTEKLİ KIRINIM PENCERELİ KURUTMA SİSTEMİNDE
YÜKSEK KALİTELİ SOĞAN TOZU ÜRETİMİ**

Ecem VURAL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2024

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**KIZILÖTESİ DESTEKLİ KIRINIM PENCERELİ KURUTMA SİSTEMİNDE
YÜKSEK KALİTELİ SOĞAN TOZU ÜRETİMİ**

Ecem VURAL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KIZILÖTESİ DESTEKLİ KIRINIM PENCERELİ KURUTMA SİSTEMİNDE
YÜKSEK KALİTELİ SOĞAN TOZU ÜRETİMİ

Ecem VURAL
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından FDK-2022-5890 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEMMUZ 2024

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KIZILÖTESİ DESTEKLİ KIRINIM PENCERELİ KURUTMA SİSTEMİNDE
YÜKSEK KALİTELİ SOĞAN TOZU ÜRETİMİ

Ecem VURAL
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 24/07/2024 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayhan TOPUZ (Danışman)
Prof. Dr. Numan HODA
Prof. Dr. Serkan SELLİ
Prof. Dr. Erkan KARACABEY
Doç. Dr. Mehmet TORUN

ÖZET

KIZILÖTESİ DESTEKLİ KIRINIM PENCERELİ KURUTMA SİSTEMİNDE YÜKSEK KALİTELİ SOĞAN TOZU ÜRETİMİ

Ecem VURAL

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Temmuz 2024; 80 sayfa

Soğan (*Allium cepa* L.), biyoaktif bileşikler açısından çok zengin olan ve dünya çapında farklı gıdaların hazırlanmasında kullanılan önemli bir tarımsal üründür. Bu ürün taze olarak tüketiminin yanı sıra kurutulmuş, yarı kurutulmuş ve dondurulmuş olarak endüstriyel hazır gıda üretiminde ana girdilerden biri olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla uygulanan geleneksel kurutma yöntemleri çevresel kontaminasyonlara ve oksidasyona sebep olduğu için üründe önemli renk, aroma ve besin kayıplarına yol açmaktadır. Ayrıca tüm dünyada karbon salınımını ve enerji girdilerini düşürmeye yönelik tedbirleri içeren uluslararası yeşil mutabakata hizmet edebilecek yeni kurutma yöntem ve yaklaşımları önem kazanmıştır. Bu amaçla geleneksel ve modern kurutma tekniklerini birleştiren yenilikçi hibrit kurutma yaklaşımları öne çıkmaya başlamıştır. Bu çalışmada, pirometre kontrollü kızılötesi lamba kullanılarak yenilikçi kurutma yöntemlerinden biri olan kırınım pencereci kurutma sistemi hibrit bir teknolojiye dönüştürülmüştür. Projenin hedef ürünü olan yüksek aroma içereki soğan tozu püre haline getirilmiş soğanın kontrollü koşullarda kızılötesi destekli kırınım pencereci hibrit kurutma sistemiyle kuruma koşulları optimize edilmiştir. Bu optimum kurutma koşullarında ayrıca püreye taşıyıcı ekleyerek kurutma ve köpük kurutma yaklaşımları denenmiştir.

Optimizasyon çalışmasında Design-Expert sürüm 13 yazılımında (Design-Expert for Windows, Stat-Ease Inc., ABD) Box-Behnken deney tasarımı kullanılmış olup, bağımsız değişkenler olarak sirkülasyon suyu sıcaklığı (75-95°C), püre yüzey sıcaklığı (30-40°C) ve hava hızı (0-1.2 m/s) seçilmiştir. İstenilen aroma bileşen miktarı (maksimum toplam alan), istenmeyen aroma bileşen miktarı (minimum toplam alan), kuersetin miktarı (maksimum), esmerleşme indeksi (minimum) ve kurutma süresi (minimum) bağımlı değişkenler olarak seçilmiş ve Yanıt Yüzey Metodolojisi ile optimize edilmiştir. Optimum koşullarda soğan püresinin daha hızlı bir şekilde kurutulurken istenen biyoaktif bileşenlerin korunması ve istenmeyenlerin bileşenlerin ve değişimlerin azaltılması hedeflenmiştir. Tüm örnekler, 2 mm kalınlığında serilerek 3.5 ± 0.5 son nem içeriğine ulaşana kadar kurutulmuş olup, kuruma süreleri kaydedilmiştir. Optimum kurutma koşulları; 89.71°C sirkülasyon suyu sıcaklığı, 30°C püre yüzey sıcaklığı ve 1.2 m/s hava hızı olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda kuruma süresi 14 dk. olarak kaydedilmiştir.

Soğan püresinin geliştirilen hibrit kurutucuda kurutulmasına yönelik belirlenen optimum koşullarda taşıyıcı eşliğinde karışım kompozisyon optimizasyonu da gerçekleştirilmiştir. Bu optimizasyon çalışması Design-Expert sürüm 13 yazılımı

(Design-Expert for Windows, Stat-Ease Inc., ABD) kullanılarak Karışım Optimal Deneysel tasarımıyla yürütülmüştür. Püre kuru maddesinin %50'si kadar (4 g) olacak şekilde taşıyıcı karışım kullanılması planlanmış ve bu karışım bileşenlerinin β -siklodekstrin (0-1 g), Na-aljinat (0-1 g), Maltodekstrin (0-4 g) ve Arap gamı (0-4 g) olması kararlaştırılmıştır. Yanıt olarak istenilen aroma bileşen miktarı (maksimum toplam alan), istenmeyen aroma bileşen miktarı (minimum toplam alan), kuersetin miktarı (maksimum), esmerleşme indeksi (minimum) ve kurutma süresi (minimum) seçilmiş ve optimum karışım içeriği 2.08 g maltodekstrin ve 1.92 g Arap gamı olarak tespit edilmiştir. Ancak optimum karışım eşliğinde gerçekleştirilen kurutma işleminde kuruma süresi 24 dk. olarak kaydedilmiştir.

Köpük püre kurutma yaklaşımı için öncelikle farklı miktarlarda çöven ekstraktı eklenerek farklı köpürtme sürelerinde oluşturulan soğan püresi köpüklerinin yoğunluğu ve stabilitesi incelenmiş, köpük oluşturma koşulları optimize edilmiştir. Minimum köpük yoğunluğunun ve maksimum köpük stabilitesinin %0,5 çöven ekstraktı eklenmiş pürenin 3 dk. boyunca köpürtülmesiyle elde edildiği tespit edilmiştir. Çöven ekstraktı eklenmeden önce soğan 1 dk. boyunca parçalanmış böylece hem enzim aktivitesine izin verilmiş hem de çöven ekstraktının parçalayıcı haznesinde kalması engellenmiştir. Köpük püre kurutma yaklaşımında kuruma süresi 10 dk.'ya düşmüştür.

Optimum koşullarda üretilen soğan tozu örneği, ticari olarak piyasada bulunan ithal ve yerli muadilleriyle farklı model gıda denemeleri yapılarak kıyaslanmıştır. Duyusal analiz sonuçları; geliştirilen hibrit teknoloji kullanılarak yerli soğandan üretilen soğan tozlarının ticari örneklerden daha çok beğenildiğini ortaya koymuştur.

Konvektif kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kıyaslandığında; tez çalışmasındaki kurutma yaklaşımlarının hem kurutma süresinin saatlerden dakikalara düşürerek önemli ölçüde kısalttığı tespit edilmiş, hem de istenilen niteliklere uygun, yüksek kalitede soğan tozu elde edildiği görülmüştür. Özellikle katkısız sade soğan tozu üretimi için yeni geliştirilen hibrit sistem olan pirometre kontrollü kızılötesi destekli kırım pencereci kurutucu, çoğu fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri bakımından yaygın kullanılan geleneksel yöntem olan konvektif kurutmaya üretilen soğan tozundan daha nitelikli ürün elde edilmesini sağlamıştır.

Elde edilen sonuçlar geliştirilen hibrit kurutma yöntemiyle kısa sürede daha yüksek kalitede ve yüksek aroma içeriğinde soğan tozu üretiminin sağlandığını göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELE: *Allium cepa* L., Kırım pencereci kurutma, Köpük püre kurutma, Pirometre kontrollü kızılötesi lamba, Soğan, Taşıyıcı eklenmiş soğan püresi.

JÜRİ: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Prof. Dr. Numan HODA

Prof. Dr. Serkan SELLİ

Prof. Dr. Erkan KARACABEY

Doç. Dr. Mehmet TORUN

ABSTRACT

HIGH QUALITY ONION POWDER PRODUCTION USING INFRARED ASSISTED REFRACTANCE WINDOW DRYING SYSTEM

Ecem VURAL

PhD Thesis in Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

July 2024; 80 pages

Onion (*Allium cepa* L.) is a significant agricultural product rich in bioactive compounds and is used globally in the preparation of various foods. Besides being consumed fresh, it is also used in the industrial production of processed foods in dried, semi-dried, and frozen forms. Traditional drying methods applied for this purpose cause significant color, aroma, and nutrient losses due to environmental contamination and oxidation. Additionally, new drying methods and approaches that can contribute to the international green deal, which includes measures to reduce carbon emissions and energy inputs worldwide, have gained importance. In this regard, innovative hybrid drying approaches that combine traditional and modern drying techniques have started to emerge. In this study, the diffraction window drying system, one of the innovative drying methods, was transformed into a hybrid technology using an infrared lamp controlled by a pyrometer. The target product of the project, high-aroma onion powder, was processed by optimizing the drying conditions of onion puree using an infrared-assisted diffraction window hybrid drying system under controlled conditions. In these optimal drying conditions, drying and foam drying approaches were also tested by adding a carrier to the puree.

In the optimization study, Response Surface Methodology Box-Behnken experimental design was used in Design-Expert version 13 software (Design-Expert for Windows, Stat-Ease Inc., USA). Circulation water temperature (75-95°C), puree surface temperature (30-40°C), and airspeed (0-1.2 m/s) were selected as independent variables. Desired aroma active component amount (maximum total area), undesired aroma active component amount (minimum total area), quercetin amount (maximum), browning index (minimum), and drying time (minimum) were selected as dependent variables. The aim was to ensure the preservation of desired bioactive components and the reduction of undesired ones under conditions expected to provide rapid drying of onion puree. All samples were dried by spreading them in 2 mm thickness until they reached a final moisture content of $3.5 \pm 0.5\%$, and drying times were recorded. The optimal drying conditions were determined as 89.71°C circulation water temperature, 30°C puree surface temperature, and 1.2 m/s airspeed. The drying time under optimal conditions was recorded as 14 minutes.

Under the optimal conditions determined for drying onion puree in the developed hybrid dryer, mixture composition optimization with a carrier was also performed. This optimization study was conducted using the Mixture Optimal Experimental Design in Design-Expert version 13 software (Design-Expert for Windows, Stat-Ease Inc., USA).

The components selected in an amount equal to 50% of the puree dry matter (4 g) were: β -cyclodextrin (0-1 g), Na-alginate (0-1 g), maltodextrin (0-4 g), and Arabic gum (0-4 g). The desired response variables were the amount of desired aroma active compounds (maximum total area), the amount of undesired aroma active compounds (minimum total area), the amount of quercetin (maximum), browning index (minimum), and drying time (minimum). The optimal mixture content was determined as 2.08 g maltodextrin and 1.92 g Arabic gum. However, the drying time for the optimal mixture content was recorded as 24 minutes.

For the foam puree drying approach, the density and stability of onion puree foams created by adding different amounts of soapwort extract and at different foaming times were examined, and the foaming conditions were optimized. It was found that the minimum foam density and maximum foam stability were achieved by adding 0.5% soapwort extract and foaming the puree for 3 minutes. Before adding the soapwort extract, the onion was shredded for 1 minute, allowing enzyme activity and preventing the soapwort extract from remaining in the shredding chamber. The drying time in the foam puree drying approach was reduced to 10 minutes.

The onion powder sample produced under optimal conditions was compared with its commercial imported and domestic counterparts through different model food trials. Sensory analysis results revealed that the onion powders produced from domestic onions using the developed hybrid technology were preferred more than commercial samples.

Compared to convective drying and freeze-drying methods, the drying approaches in the thesis significantly reduced the drying time from hours to minutes and produced high-quality onion powder that meets the desired characteristics. Specifically, for the production of additive-free plain onion powder, the newly developed hybrid system, a pyrometer-controlled infrared-assisted diffraction window dryer, produced a final product that was superior in many physical and chemical quality attributes compared to onion powder produced using the commonly used traditional method of convective drying.

The results obtained demonstrated that the developed hybrid drying method enabled the production of high-quality onion powder with a rich aroma content in a short time.

KEYWORDS: *Allium cepa* L., Carrier-added onion puree, Foam puree drying, Onion, Pyrometer-controlled infrared lamp, Refractance window drying.

COMMITTEE: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Prof. Dr. Numan HODA

Prof. Dr. Serkan SELLİ

Prof. Dr. Erkan KARACABEY

Doç. Dr. Mehmet TORUN

ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında, soğanın püre forma getirilerek kurutulabileceği böylece soğanın hem aroma hem de biyoaktif bileşenlerini oluşturan enzim ve substratın bir araya gelmesiyle bu bileşenlerce zengin bir ürün elde edilebileceği ve tasarlanan hibrit bir kurutma teknolojisiyle bu bileşenlerce zengin ve nitelikli soğan tozu elde edilmesi amaçlanmıştır. Son yıllarda geliştirilmeye devam edilen ve kullanımı yaygınlaştırılan kırım pencereless kurutma teknolojisinin bazı modifikasyonlarla daha etkin hale getirilmesi planlanmıştır. Kuruma süresini kısaltmayı ve böylece bileşen kaybını en aza indirmeyi sağlamak adına mevcut sistem; pirometre kontrollü bir kızılötesi lamba ve yeni bir havalandırma sistemi ile modifiye edilmiştir. Pirometre sayesinde lamba gücü püre yüzey sıcaklığına bağlı olarak kontrol edilebildiği için kızılötesi lambanın kullanıldığı diğer hibrit sistemlere göre avantajlı hale getirilmiştir. Ürün yüzeyinde kabuk oluşumunun ve yanmaların önüne geçilmiştir. Ayrıca ürün yüzeyinde oluşturulan yüksek hava sirkülasyonu ile nemli havanın yüzeyden hızla uzaklaşması ve kurumanın daha da hızlanması sağlanmıştır. Modifikasyon sonrası, pirometre kontrollü kızılötesi destekli kırım pencereless kızılötesi destekli kurutma sistemi geliştirilmiş ve bu sistemde farklı kurutma yaklaşımları optimize edilmiştir. Öncelikle soğan püresinin kurutma koşulları optimize edilmiş, optimum koşullar belirlendikten sonra taşıyıcı ekleyerek kurutma ve köpük kurutma yaklaşımları denenmiş ve her ikisinin de işlem koşulları ayrı ayrı optimize edilmiştir. Tez sonuçlarının konu ile ilgili araştırmacılara ve sektöre faydalı olmasını dilerim.

Tez konumun belirlenmesinde beni yönlendiren çok değerli hocam sayın Prof. Dr. Ayhan TOPUZ'a Yüksek lisans ve Doktora öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek, anlayış ve katkısından dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmalarım süresince değerli katkılarıyla çalışmalarına yön veren Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof. Dr. Feramuz ÖZDEMİR'e ve Prof. Dr. Numan Hoda'ya, ayrıca Tez Savunma Jürisi üyeleri Prof. Dr. Serkan SELLİ, Prof. Dr. Erkan KARACABEY ve Doç. Dr. Mehmet TORUN'a yapıcı yorumları, katkı ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Tezimle aynı adı taşıyan FDK-2022-5890 nolu projeye maddi destek sağlayan Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne, doktora öğrenimimi destekleyen 2211-a doktora başarı bursu için TÜBİTAK'a ve 100/2000 doktora programı bursu için YÖK'e teşekkür ederim.

Çalışmalarımın çeşitli aşamalarında benden yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Yusuf YILMAZ'a, Doç. Dr. İsmail TONTUL'a, Öğr. Gör. Emrah EROĞLU'na, Gıda Yüksek Mühendisi Handan BAŞÜNAL GÜLMEZ'e, Arş. Gör. Serenay AŞIK AYGÜN'e, Gıda Yüksek Mühendisi Tuğçe ATBAKAN'a, Gıda Yüksek Mühendisi Nida Pınarbaşı'na, Gıda Yüksek Mühendisi Gülderen COŞGUN'a, Gıda Yüksek Mühendisi Keziban Kübra GÜNGÖR'e ve ayrıca çalışmalarım boyunca maddi ve manevi yardımlarını benden hiçbir zaman esirgemeyen dostlarım Dr. Öğr. Üyesi Negin AZARABADI'ye, Öğr. Gör. Atike Nur DURAK'a ve Dr. Sinem SALMAN'a teşekkür ederim. Ayrıca bölümümüzün tüm hocalarına ve bölümümüzde lisansüstü eğitim alan

tüm arkadaşlarıma her ihtiyaç duyduğumda desteklerini esirgemedikleri için çok teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca yanımda olup maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, bu çalışmanın başından sonuna kadar her anlamda bana yardımcı olan sevgili annem Belgin VURAL'a, canım kardeşim Anıl VURAL'a ve isimlerini teker teker sayamadığım tüm aile bireylerime ve arkadaşlarıma yürekten teşekkür ederim.

Son olarak bu tezi; hayattaki en büyük şansım olan, varlığını her an ruhumda hissettiğim, tezimi yaparken ihtiyaç duyduğum tüm gücü damarlarımda akan kanından ve masamda duran fotoğrafımızdan aldığım merhum babam Ahmet VURAL'a armağan ediyorum.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.)	3
2.2. Kurutma İşlemlerinin Deneysel Tasarımı	8
2.2.1. Sıcak hava ile kurutma	10
2.2.2. Dondurarak kurutma.....	10
2.2.3. Kırınım pencereli kurutma.....	10
2.2.4. Köpük kurutma	12
2.3. Enkapsülasyon yaklaşımı	13
3. MATERYAL VE METOT	15
3.1. Materyal	15
3.2. Metot	15
3.2.1. Kırınım pencereli kurutma sisteminin modifikasyonu	15
3.2.2. Kurutma işlemlerinin deneysel tasarımı	17
3.2.3. Soğan püresinin hazırlanması	17
3.2.4. Kurutma koşullarının optimizasyonu	18
3.2.5. Taşıyıcı kompozisyonu optimizasyonu	20
3.2.6. Köpük eldesi optimizasyonu	21
3.2.7. Köpük kurutma	22
3.2.8. Dondurarak ve sıcak hava akımında kurutma	22
3.2.9. Model gıda denemeleri	24
3.2.10. Analizler	27
3.2.10.1. Su aktivitesi ve nem içeriği	27
3.2.10.2. Esmerleşme indeksi.....	27
3.2.10.3. Parçacık boyutu dağılımı	27

3.2.10.4. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akabilirlik değeri.....	28
3.2.10.5. Hidroksimetilfurfural analizi.....	28
3.2.10.6. Toplam fenolik madde analizi.....	29
3.2.10.7. Antioksidan madde analizi.....	30
3.2.10.8. Kuersetin analizi	31
3.2.10.9. Uçucu bileşiklerin SPME kullanılarak ekstraksiyonu ve GC-MS ile analizi	32
3.2.10.10. İstatistiksel analizler.....	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	34
4.1. Kırınım Pencereleli Kurutma Sisteminin Modifikasyonu	34
4.2. Soğan Püresinin Kurutma Koşullarının Optimizasyonu	35
4.3. Taşıyıcı Kompozisyonu Optimizasyonu	45
4.4. Köpük Kurutma Optimizasyonu	52
4.5. Model Gıda Denemeleri.....	53
4.6. Farklı Kurutma Yöntemleriyle Üretilen Soğan Tozlarının Karşılaştırmalı Analiz Sonuçları.....	58
5. SONUÇLAR	71
6. KAYNAKLAR	73
7. EKLER.....	79
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Kızılötesi Destekli Kırınım Pencereli Kurutma Sisteminde Yüksek Kaliteli Soğan Tozu Üretimi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

24/07/2024

Ecem VURAL

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C	Santigrat derece
%	Yüzde
cm	Santimetre
d/dk.	Devir/dakika
dk.	Dakika
g	Gram
m	Metre
µm	Mikrometre
nm	Nanometre
w/w	Kütle/Kütle
A	Absorbans
λ	Dalga boyu
N	Normalite
mmHg	Milimetre civa basıncı
L	Litre
mL	Mililitre
MW	Molekül ağırlığı
S _f	Seyreltme faktörü
E	Eksponansiyel

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CAC	Uluslararası Gıda Kodeks Komisyonu (Codex Alimentarius Commission)
DPPH	2,2-Difenil-1-pikrilhidrazil
Eİ	Esmerleşme indeksi
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)
FDA	Gıda ve İlaç Dairesi (The Food and Drug Administration)
GC-MS	Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (Gas Chromatography-Mass spectrometry)
HH	Hava hızı
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (High Performance Liquid Chromatography)
IR	Kızılötesi (Infrared)
İAB	İstenilen aroma bileşen
İMAB	İstenmeyen aroma bileşen
KD	Kızılötesi destekli
K	Kuersetin içeriği
KPK	Kırınım pencereci kurutucu (Refractance Window Dryer)
SSS	Sirkülasyon suyu sıcaklığı
LC-MS-MS	Sıvı Kromatografisi-Kütle-Kütle Spektrometresi (Liquid Chromatography tandem-Mass Spectrometry)
NA	Mevcut değil
No	Numara
PID	Oransal-integral-türevsel (Proportional-integral-derivative)
PKKD	Pirometre kontrollü kızılötesi destekli
ppm	Milyonda bir birim (Parts per million)
PYS	Püre yüzey sıcaklığı

rpm	Dakikadaki dönme sayısı (Revolutions per minute)
SAS	İstatistik Analiz Sistemi (Statistical Analysis System)
t	Kuruma süresi
TEAA	Troloks eşdeğeri antioksidan aktivite
UV	Ultraviyole
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
YH	Yeterlilik Hassasiyeti (Adequate Precision)

*Tezde ondalık ayırıcı olarak nokta (.) kullanılmıştır.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Soğandaki temel bileşik grupları	4
Şekil 2.2. Sarımsak ve soğanın allinaz enzimi aktivitesi yönünden farklılığı	5
Şekil 2.3. Soğanda allinaz enzimi etki mekanizması (Imai vd. 2002, Majewski 2014)	6
Şekil 2.4. Dünyada kuru soğan üretimi ve üretim alanı (Anonim 2022).....	7
Şekil 2.5. Türkiye’de kuru soğan üretimi ve üretim alanı (Anonim 2022)	7
Şekil 2.6. KPK sistemi çalışma prensibi (Trivedi vd. 2017, Parmar ve Dhamsaniya 2023)	11
Şekil 2.7. Köpük oluşumuyla artan yüzey alanı (Çınar ve Erafşar 2018).....	13
Şekil 3.1. Mevcut kırınım pencereli kurutma cihazının şeması (Baeghbali ve Niakousari 2018) (uyarlama)	15
Şekil 3.2. Kızılötesi lamba ve pirometre.....	16
Şekil 3.3. Modifiye edilmiş kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma sistemi	16
Şekil 3.4. Soğan tozu üretimine ait iş akış şeması	17
Şekil 3.5. Bütün halde, baş-kök kısmı kesilmiş ve parçalara ayrılmış soğan	18
Şekil 3.6. Soğanın püre haline getirilmesi ve kurutucu yüzeyine serilmesi	18
Şekil 3.7. Kuruma sırasında ve kurutma sonunda PKKD-KPK sisteminde kurutulan soğan püreleri.....	19
Şekil 3.8. Farklı taşıyıcılarla gerçekleştirilen kurutma ön denemeleri	20
Şekil 3.9. Soğan püresi köpüğü stabilite analizleri	21
Şekil 3.10. Köpük formdaki pürenin kurutulması (kurutma öncesinde, kurutma sırasında ve kurutma sonrasında, sırasıyla).....	22
Şekil 3.11. Dondurarak kurutulan dilim ve püre formda soğan örnekleri	23
Şekil 3.12. Sıcak havada kurutulan dilim ve püre formda soğan örnekleri	24
Şekil 3.13. Dip sos duyusal paneli	25
Şekil 3.14. Soğan çorbası malzemeleri ve duyusal paneli	25
Şekil 3.15. Duyusal analiz formu.....	26

Şekil 3.16. Hidroksimetilfurfural standart eğrisi	29
Şekil 3.17. Gallik asit standart eğrisi	30
Şekil 3.18. Troloks standart eğrisi	31
Şekil 3.19. Kuersetin standart eğrisi	32
Şekil 4.1. Film yüzeyinde homojen sıcaklık dağılımını gösteren görüntüler; normal kamera görüntüsü, termal kameranın "beyaz mod" ve "gökkuşağı mod" ayarları ile çekilen görüntüler (sırasıyla).....	34
Şekil 4.2. Fan gücüne karşılık hava hızı grafiği.....	35
Şekil 4.3. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, püre yüzey sıcaklığının ve hava hızının istenen aroma bileşen miktarına etkisi (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri sabit olarak orta noktasında tutulmuştur).....	40
Şekil 4.4. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, püre yüzey sıcaklığının ve hava hızının istenmeyen aroma bileşen miktarına etkisi (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri sabit olarak orta noktasında tutulmuştur).....	41
Şekil 4.5. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, püre yüzey sıcaklığının ve hava hızının kuersetin içeriği üzerine etkisi (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri sabit olarak orta noktasında tutulmuştur)	42
Şekil 4.6. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, püre yüzey sıcaklığının ve hava hızının esmerleşme indeksi üzerine etkisi (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri sabit olarak orta noktasında tutulmuştur)	43
Şekil 4.7. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, püre yüzey sıcaklığının ve hava hızının kuruma süresi üzerine etkisi (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri sabit olarak orta noktasında tutulmuştur)	44
Şekil 4.8. β -siklodektrin, Na-aljinat, Maltodekstrin, ve Arap gamı miktarının İAB miktarı üzerine etkisi (grafiklerde A: β -siklodektrin, B: Na-aljinat, C: Maltodekstrin, D: Arap gamını ifade etmektedir)	47
Şekil 4.9. β -siklodektrin, Na-aljinat, Maltodekstrin, ve Arap gamı miktarının İMAB miktarı üzerine etkisi (grafiklerde A: β -siklodektrin, B: Na-aljinat, C: Maltodekstrin, D: Arap gamını ifade etmektedir)	48
Şekil 4.10. β -siklodektrin, Na-aljinat, Maltodekstrin, ve Arap gamı miktarının K miktarı üzerine etkisi (grafiklerde A: β -siklodektrin, B: Na-aljinat, C: Maltodekstrin, D: Arap gamını ifade etmektedir)	49
Şekil 4.11. β -siklodektrin, Na-aljinat, Maltodekstrin, ve Arap gamı miktarının Eİ üzerine etkisi (grafiklerde A: β -siklodektrin, B: Na-aljinat, C: Maltodekstrin, D: Arap gamını ifade etmektedir)	50

Şekil 4.12. β -siklodektrin, Na-aljinat, Maltodekstrin, ve Arap gamı miktarının t üzerine etkisi (grafiklerde A: β -siklodektrin, B: Na-aljinat, C: Maltodekstrin, D: Arap gamını ifade etmektedir)	51
Şekil 4.13. Farklı oranlarda çöven ekstraktı eklenmiş ve farklı sürelerde köpürtülmüş soğan püresi köpüklerinin yoğunluk değişimi	53
Şekil 4.14. Farklı oranlarda çöven ekstraktı eklenmiş ve farklı sürelerde köpürtülmüş soğan püresi köpüklerinin stabilitesi	53
Şekil 4.15. Farklı soğan tozlarıyla hazırlanan dip sosların duyusal analiz sonuçları	54
Şekil 4.16. Farklı soğan tozlarıyla hazırlanan soğan çorbalarının duyusal analiz sonuçları	55
Şekil 4.17. “Doypack” ambalaj ile paketlenmiş bazı son ürün görselleri.....	59
Şekil 4.18. Konvektif kurutulmuş dilim soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı	62
Şekil 4.19. Konvektif kurutulmuş püre soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı	62
Şekil 4.20. Dondurarak kurutulmuş dilim soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı	62
Şekil 4.21. Dondurarak kurutulmuş püre soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı	62
Şekil 4.22. Köpük kurutulmuş soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı.....	63
Şekil 4.23. PKKD-KPK sisteminde kurutulmuş soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı	63
Şekil 4.24. Taşıyıcı eklenerek kurutulmuş soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kurutma koşullarının optimizasyonu için Box-Behnken deneme deseni	19
Çizelge 3.2. Taşıyıcı kompozisyonu optimizasyonu için Karışım Optimal deneme deseni.....	21
Çizelge 4.1. Kurutma optimizasyonu için kullanılan Box-Behnken deney tasarımı ve yanıtlar.....	37
Çizelge 4.2. Soğan tozlarında GC-MS ile tespit edilen bazı istenen/istenmeyen uçucu kükürtlü/kükürtsüz bileşikler	38
Çizelge 4.3. Yanıt yüzey yönteminde kullanılan modelin denklem katsayıları	39
Çizelge 4.4. PKKD-KPK kurutma sisteminin optimum kurutma koşulları	45
Çizelge 4.5. Taşıyıcı kompozisyonu için kullanılan Karışım Optimal Deneme Deseni ve sonuç verileri	46
Çizelge 4.6. Yanıt yüzey yönteminde kullanılan modelin denklem katsayıları	46
Çizelge 4.7. PKKD-KPK kurutma sisteminde taşıyıcı eklenmiş soğan püresinin optimum karışım içeriği	52
Çizelge 4.8. Farklı soğan tozlarıyla hazırlanan dip sosların duyuusal analiz verilerine ait t-testi sonuçları	54
Çizelge 4.9. Farklı soğan tozlarıyla hazırlanan dip sosların duyuusal analiz verilerine ait t-testinin varyans analizi sonuçları	55
Çizelge 4.10. Farklı soğan tozlarıyla hazırlanan soğan çorbalarının duyuusal analiz sonuçlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	56
Çizelge 4.11. Farklı soğan tozlarıyla hazırlanan soğan çorbalarının duyuusal analiz sonuçlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testine ait varyans analizi sonuçları	57
Çizelge 4.12. Soğanın (taze) fiziksel ve kimyasal özellikleri	58
Çizelge 4.13. Son ürünlerin esmerleşme indeksi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ve renk görselleri	59
Çizelge 4.14. Esmerleşme indeksi değerlerinin Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu	60
Çizelge 4.15. Açıklık, D_{43} ve D_{32} değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	61
Çizelge 4.16. Açıklık, D_{43} ve D_{32} değerlerinin Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu	61

Çizelge 4.17. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akabilirlik değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	65
Çizelge 4.18. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akabilirlik değerlerinin Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu	65
Çizelge 4.19. Toplam fenolik madde miktarı, antioksidan aktivite değerleri ve kuersetin miktarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	67
Çizelge 4.20. Toplam fenolik madde miktarı, antioksidan aktivite değerleri ve kuersetin miktarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu.....	68
Çizelge 4.21. İstenilen ve istenmeyen aroma bileşen pik alanlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	69
Çizelge 4.22. İstenilen ve istenmeyen aroma bileşen pik alanlarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu	69
Çizelge 4.23. PKKD-KPK ve taşıyıcılı KPK için validasyon test sonuçları	70

1. GİRİŞ

Soğan (*Allium cepa* L.), tarihi 5000 yıl öncesine kadar dayanan en eski kültür bitkilerinden biridir ve içerdiği sülfürlü bileşenler sayesinde sağlık açısından birçok faydası bulunmaktadır. Sülfürlü bileşenlerin yanı sıra soğanda baskın fenolik bileşen olarak bulunan kuersetinin de sağlık üzerine olumlu etkilerine katkısı büyüktür. Soğanın bütünlüğü bozulup parçalandığında yapısında bulunan allinaz enzimi isoalliin olarak adlandırılan soğana özgü bileşiklerle bir dizi tepkimeyi başlatır. Bu tepkimede ara ürünler olarak 1-propenilsülfenik asit, pürivik asit ve amonyak oluşur. Buradan sonra tepkime farklı kollara ayrılarak göz yaşartıcı faktör ve biyoaktif özelliği yüksek, insan sağlığına faydalı bir dizi sülfürlü bileşen oluşturur. Oluşan bileşenler soğana has keskin aromadan sorumlu olup insanlar tarafından diyetle tercih edilmesine sebep olan önemli lezzet bileşenleridir.

Soğan gerek kendine özgü aroması gerekse sağlık üzerine sayısız faydası nedeniyle dünya mutfağında kendine geniş yer bulmuştur. Sadece ana ürün olarak değil kurumuş halde granül ve toz formda da gıda sanayiinde önemli bir ara üründür. Baharat karışımlarında, hazır çorbalarda ve harçlarda, çeşnilerde, soslarda, cipslerde ve birçok gıda formülasyonunda yer almaktadır. Ülkemiz soğan üretiminde ihracatçı konumda olmasına rağmen soğan tozunu büyük oranda ithal etmektedir. Soğan ihracatının taze olarak yapılması yerine katma değeri yüksek, dondurulmuş ve işlenmiş ürünler olarak yapılması için teşvik edilmesi ve yönlendirilmesi ülkemiz ekonomisi açısından önem arz etmektedir. Soğan tozu, katma değeri yüksek ürünlere iyi bir örnek teşkil etmekte ve günümüzde büyük oranda Çin'den ithal edilmektedir. Soğan tozunun, ülkemizde yaygın olarak tarımı yapılan bu hammaddeden üstün kalitede, düşük maliyetle ve yerli imkanlarla üretilebilmesinin ekonomimize önemli miktarda katma değer sağlayacağı düşünülmektedir. Geleneksel olarak konvektif kurutucularda üretilen soğan tozlarında yüksek sıcaklık ve uzun kuruma süresi nedeniyle istenmeyen yanık aroma oluşmakta ve yüksek oranda esmerleşme meydana gelmektedir. Bu olumsuzlukları önlemek amacıyla yapılan çalışmalarda farklı kurutma yöntemleri kullanılmış ve bazı hibrit teknolojiler denenmiştir. Yine de sürekli üretime uygun, enerji maliyeti düşük ve kaliteli son ürün elde edilebilecek sistemlere olan gereksinim devam etmektedir.

Kırınım pencereli kurutma sistemi sıvı, püre veya ince dilimli formdaki gıda maddelerinin kurutulması amacıyla kullanılan ince tabaka bir kurutma yöntemidir. Yüksek ısı ve kütle aktarım hızlarına sahip olması nedeniyle kuruma süresi kısa ve son ürün kalitesi yüksektir. Bu yöntem, 1986 yılında Richard Magoon tarafından patentlenmiştir. Kırınım pencereli kurutma sisteminde nemli gıdaya aktarılan ısı enerjisini, polyester bir bant (Mylar film) altında yüksek sıcaklıklarda sirküle ettirilen su sağlar. Bandın üzerine serilmiş olan gıda maddesindeki nem, sıcak sudan bant boyunca geçen kızılötesi radyasyonun gıdaya ulaşmasına izin veren bir "pencere" oluşturur. Gıdanın içerisindeki su, aldığı enerji ile buharlaşmaya başlayıp ürün nemini kaybederken; "pencere" yavaş yavaş kapanır ve ısı transferi sadece konduksiyon ile devam eder. Kurutmanın son aşamasında bu şekilde yavaşlayan ısı transferi, üründe besin değeri ve kalite kaybının en düşük düzeyde tutulmasına olanak sağlar. Gıda içerisindeki su bu yolla uzaklaştırılarak kuru ürün elde edilir.

Köpük kurutma, sıvı formdaki gıdaların çeşitli köpük yapıcı ajanlar yardımıyla stabil köpüklü bir yapıya dönüştürüldükten sonra kurutulduğu bir yöntemdir. Bu

yöntemle; kuruma süresi oldukça kısaldığı için gıda bileşenleri sıcak havaya daha az maruz kalır. Başarılı bir köpük kurutma prosesinin ilk gereksinimi kararlı ve düşük yoğunlukta bir köpük oluşumudur. Bu köpük yapısının oluşmasında zamlar, proteinler ve çeşitli emülgatörler köpük yapıcı ajan olarak kullanılmaktadır. Köpük kurutma yönteminde; içerisine belli miktarda köpük yapıcı ajan eklenmiş sıvı ya da püre gıda maddesi, parçalayıcı (blender) veya özel olarak tasarlanmış çırpıcı cihazlarla stabil köpük yapısı elde edilene kadar çırpılmaktadır. Elde edilen köpük formundaki püre, kurutucuya ince bir tabaka halinde serilmekte ve diğer kurutma yöntemlerinde olduğu gibi belli bir nem içeriğine kadar kurutulmaktadır. Gıdaların köpük formuna getirildikten sonra kurutulduğunda kuruma süresinin kısılmasının ana nedeni, oluşturulan köpüğün geniş bir yüzey alanına sahip olması ve dolayısıyla suyun hızlı bir şekilde buharlaşmasıdır. Kısılan kuruma süresi ile son üründe kimyasal, mikrobiyal ve biyokimyasal reaksiyonlar kısıtlanmakta ve böylece ürün kalitesi artmaktadır.

Mevcut doktora tez çalışmasında soğanın püre forma getirilerek kurutulabileceği böylece bahsi geçen enzim ve substratın bir araya gelmesiyle biyoaktif bileşenlerce zengin yani olası sağlık yararları yüksek bir ürün elde edilebileceği hibrit bir kurutma teknolojisi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Son yıllarda kullanımı artan nispeten yeni bir kurutma teknolojisi olan kırım pencere kurutma metodu bazı modifikasyonlarla geliştirilmiştir. Kuruma süresini kısaltmayı ve böylece bileşen kaybını en aza indirmeyi sağlamak adına mevcut sistem; pirometre kontrollü bir kızılötesi lamba ve yeni bir havalandırma sistemi ile modifiye edilmiştir. Pirometre sayesinde lamba gücü püre yüzey sıcaklığına bağlı olarak kontrol edilebildiği için kızılötesi lambanın kullanıldığı diğer hibrit sistemlere göre avantajlı hale getirilmiştir. Ürün yüzeyinde kabuk oluşumunun ve yanmaların önüne geçilmiştir. Ayrıca ürün yüzeyinde oluşturulan yüksek hava sirkülasyonu ile nemli havanın yüzeyden hızla uzaklaşması ve kurumunun daha da hızlanması sağlanmıştır. Modifikasyon sonrası, pirometre kontrollü kızılötesi destekli kırım pencere kurutma sistemi geliştirilmiş ve bu sistemde farklı kurutma yaklaşımları optimize edilmiştir. Öncelikle soğan püresinin kurutma koşulları optimize edilmiş, optimum koşullar belirlendikten sonra taşıyıcı ekleyerek kurutma ve köpük kurutma yaklaşımları denenmiş ve her ikisinin de işlem koşulları ayrı ayrı optimize edilmiştir.

Optimum koşullarda üretilen soğan tozu örneği, ticari olarak piyasada bulunan ithal ve yerli muadilleriyle farklı model gıda denemeleri yapılarak kıyaslanmıştır. Duyusal analiz sonuçları; geliştirilen hibrit teknoloji kullanılarak yerli soğandan üretilen soğan tozlarının ticari örneklerden daha çok beğenildiğini ortaya koymuştur.

Konvektif kurutma ve donuk kurutma yöntemleriyle kıyaslandığında; tez çalışmasındaki kurutma yaklaşımlarının hem kurutma süresinin saatlerden dakikalara düşürerek önemli ölçüde kısalttığı tespit edilmiş, hem de istenilen niteliklere uygun, yüksek kalitede soğan tozu elde edildiği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar geliştirilen hibrit kurutma yöntemiyle kısa sürede yüksek kalitede ve yüksek aroma içeriğinde soğan tozu üretiminin sağlandığını göstermiştir.

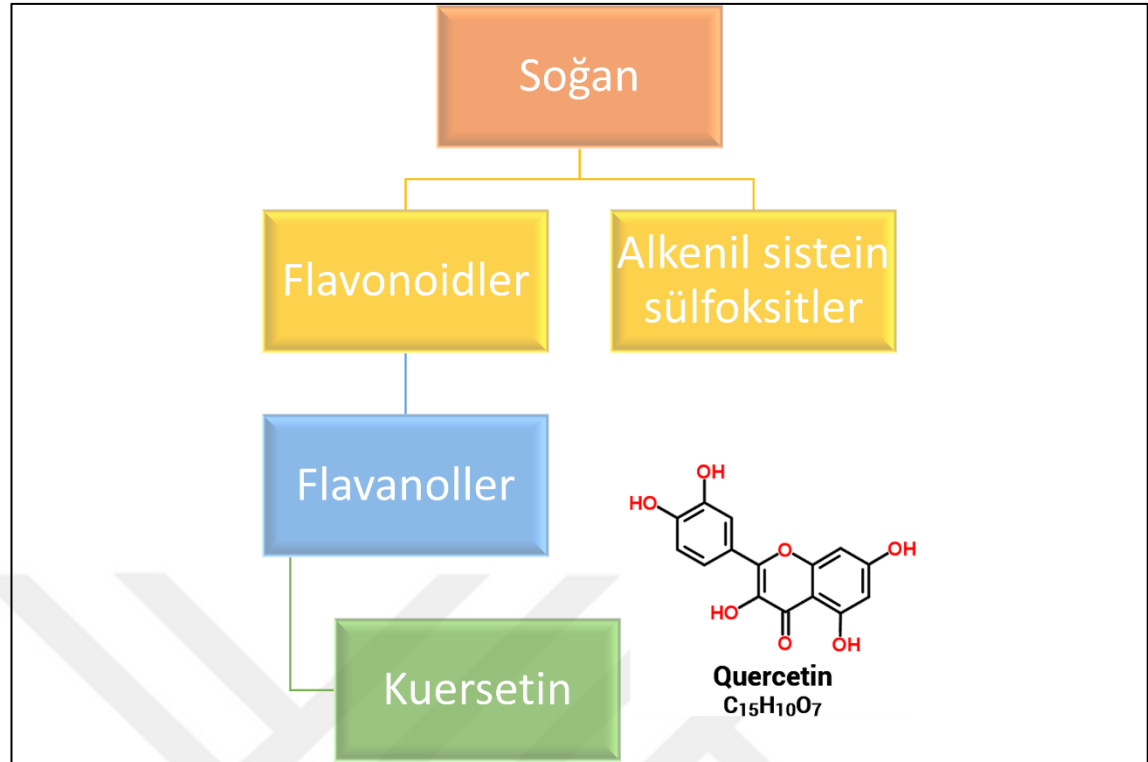
2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Soğan (*Allium cepa* L.)

Soğan (*Allium cepa* L.) Alliaceae familyasının *Allium* cinsine ait, tarihi 5000 yıl öncesine dayanan en eski kültür bitki türlerindendir ve dünya genelinde 100'den fazla ülkede yetiştirilmektedir (Kumar vd. 2010, Rajkumar vd. 2015, Farooq vd. 2021). Yapısındaki karotenoidler, antosiyaninler, fenolik asitler, tiyosülfınatlar ve alkenil sistein sülfoksitler, terpenoidler, fitoöstrojenler, amino asitler, vitaminler ve mineral maddeler gibi birçok biyoaktif bileşenler sayesinde antioksidan, antikolesterojen, antikanserojen ve antienflamatuar aktiviteye sahiptir ve diyetle önemli bir yeri vardır (Kumar vd. 2010, Rajkumar vd. 2015, Pareek vd. 2017, Akdeniz vd. 2018, Taşçı ve Koca 2019, Sagar vd. 2022).

Soğan; yapısındaki karotenoidler, antosiyaninler, fenolik asitler, tiyosülfınatlar ve alkenil sistein sülfoksitler, terpenoidler, fitoöstrojenler, amino asitler, vitaminler ve mineral maddeler gibi birçok biyoaktif bileşenler sayesinde beslenmede önemli bir yere sahiptir (Kumar vd. 2010, Rajkumar vd. 2015, Pareek vd. 2017, Akdeniz vd. 2018, Taşçı ve Koca 2019, Sagar vd. 2022). Ulusal gıda kompozisyonu verilerine göre sarı kuru soğanın yenilebilir kısmının 100 g'ında genel olarak 88.94 g su, 7.88 g karbonhidrat, 1.16 g protein, 0.18 g yağ, 1.23 g besinsel lif, potasyum (176 mg), kalsiyum (31 mg), fosfor (36 mg) ve L-askorbik asit (6.5 mg) bulunmaktadır. Soğanın yapısındaki karbonhidratların büyük kısmını früktoz (2.52 g), glikoz (2.52 g), sakaroz (0.63 g) ve düşük moleküler ağırlıklı fruktooligosakkaritler oluşturur (Peter ve Shylaja 2012, Teshika vd. 2019, Türkomp 2024).

Soğan, flavonoidler ve alkenil sistein sülfoksitler olmak üzere 2 temel kimyasal bileşik grubunu içerir. Flavonoidlerden olan antosiyaninler, bazı soğan türlerinin kırmızı-mor rengini verirken, kuersetin ve onun türevleri gibi flavanoller ise soğanların sarı ve kahverengi renklerini vermektedir (Taşçı ve Koca 2019). Soğan, flavonoidlerin en zengin ve en fazla tüketilen kaynaklarından. Soğandaki başlıca flavonoid bileşikler flavonoller olup içerdiği başlıca flavonol, çok güçlü bir antioksidan olan kuersetindir (Şekil 2.1). Soğanda kuersetin; aglikon, kuersetin 4'-O-glukozit ve kuersetin-3,4'-O-diglukozit olmak üzere üç temel formda bulunmaktadır. Bunlardan kuersetin-3,4'-O-diglukozit en fazla miktarda bulunandır (Islek vd. 2015, Taşçı ve Koca 2019).

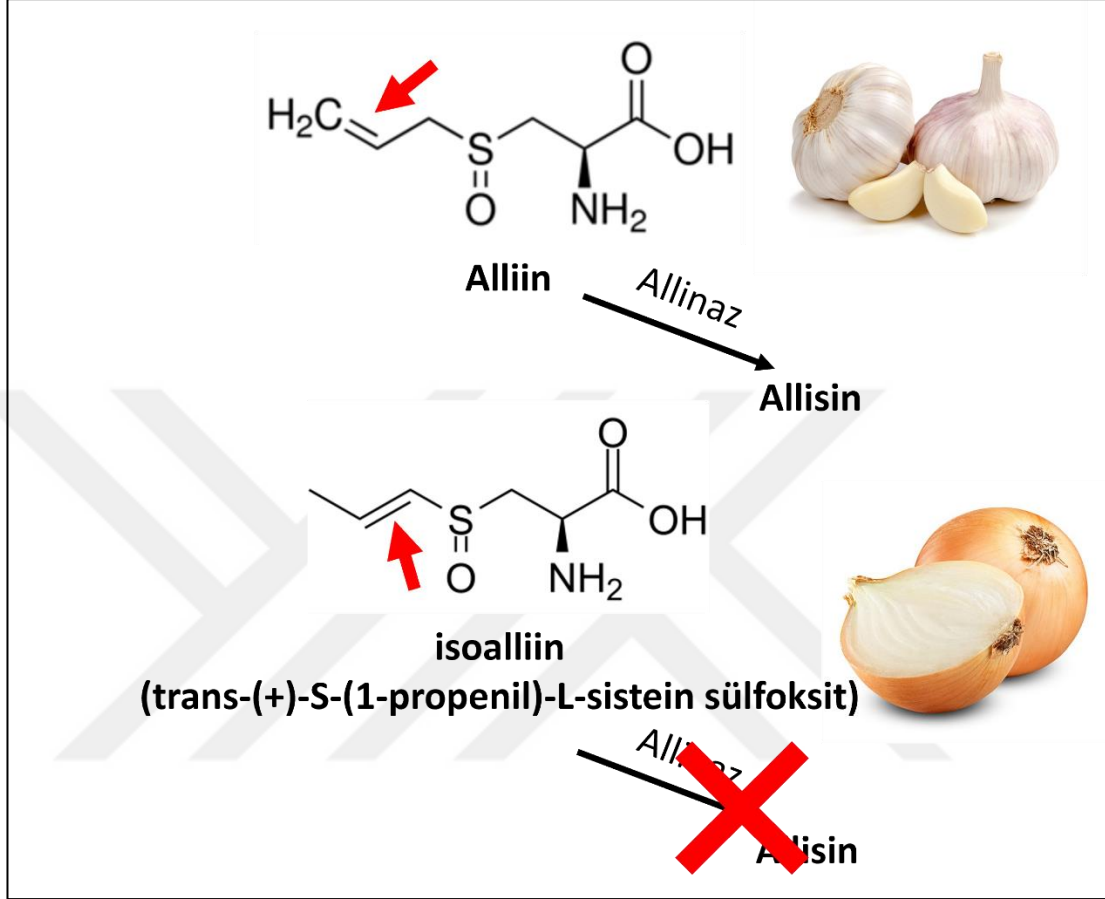


Şekil 2.1. Soğandaki temel bileşik grupları

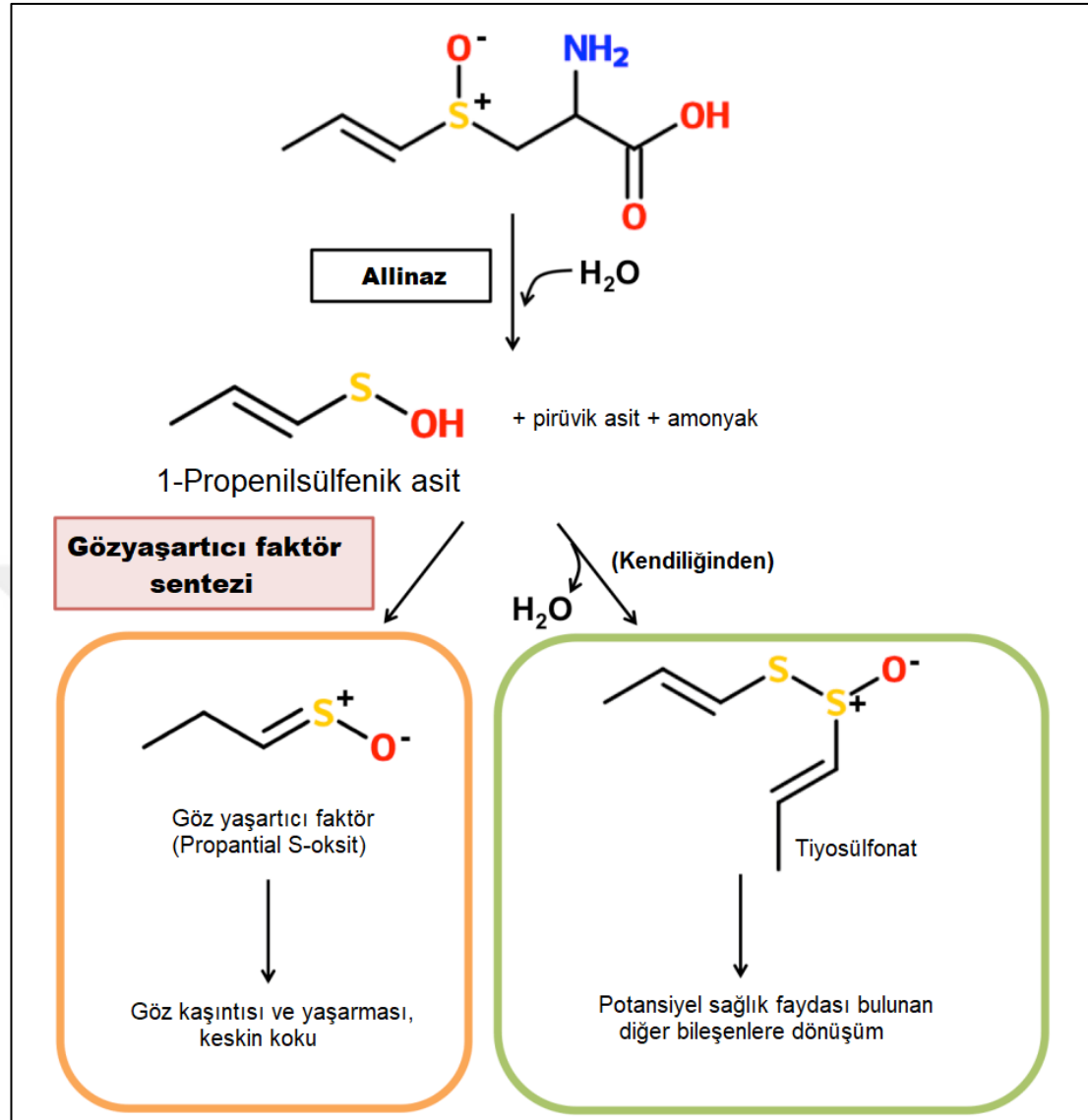
Çok sayıda hayvan araştırması ve klinik çalışmaya göre soğan; astım, kanser, diyabet, hipokolesterolemik ve osteoporoz gibi çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde kullanılmaktadır. Soğan kabuğu ayrıca anti-astım etkisi, antikanserojenik, hipokolesterolemik ve iyi bir kardiyovasküler ajan gibi çeşitli sağlık yararlarına da sahiptir. Soğanda en fazla bulunan fenolik olan kuersetinin güçlü antioksidan aktivitesi nedeniyle tüm bu sağlık yararlarında yer aldığı düşünülmektedir. Bu nedenle soğan ve yan ürünleri, doğal antioksidanlar, koruyucular ve katkı maddeleri gibi fonksiyonel gıdaların bir bileşeni olarak kullanılma potansiyeline sahiptir (Sagar vd. 2022).

Allinaz enzimi, alliin sarımsağın karakteristik kokusundan sorumlu bileşen olan allisine dönüştürürken; soğanda bu durum farklıdır. Soğanda trans-(+)-S-(1-propenil)-L-sistein sülfoksit (isoalliin) bulunur. Kimyasal olarak alliin ile aynı olan bu bileşen doğrudan kükürde bağlı olan çift bağın konumu nedeniyle yapısal olarak farklılık gösterir (Şekil 2.2). Bu madde göz yaşartıcı uçucu bileşenlerin öncülü olarak bilinir ve soğan parçalandığında allinaz enzimi etkisiyle göz yaşartıcı faktör olarak tanımlanan kompleks bir bileşik karışımına dönüşür. 50'den fazla farklı kimyasal yapıya sahip bu bileşenlerin kapalı formülü C_5H_6SO 'dur. Ayrıca enzimler soğanda bulunan birçok substrata etki eder. Bu substratlar soğanda bulunan bir amino asit olan sistein ile başlayıp bir dizi kimyasal reaksiyonla sentezlenen kükürt içeren maddelerdir. Allinaz enzimi bunlardan sülfenik asit bileşikleri (R-SOH) üretir. Burada R radikali alil, 1-propenil, metil veya propil olabilir. Reaksiyonların yan ürünleri ise piruvat ve amonyaktır (Block 1985, Imai vd. 2002, Taşçı ve Koca 2019, Sasmaz vd. 2024) (Şekil 2.3). Sağlık üzerine olumlu etkiler yalnızca izoalliin ve tiyosülfonatlardan değil, bunların bitkideki uçucu olmayan bileşenlerle sinerjik etkisinden de kaynaklanmaktadır (Lanzotti 2006). Doku parçalanmadığında enzim ve substrat bir araya gelemmez ve dolayısıyla potansiyel sağlık faydası olan

bileşikler oluşamaz. Mevcut tezin hipotezlerinden biri de geleneksel olarak dilimlendikten sonra kurutulup toz haline getirilen soğana kıyasla püre forma getirildikten sonra kurutulan soğanın, aroma bileşenlerince zengin ve sağlık üzerine faydalı bileşenleri daha fazla içeren bir son ürün olacaktır.

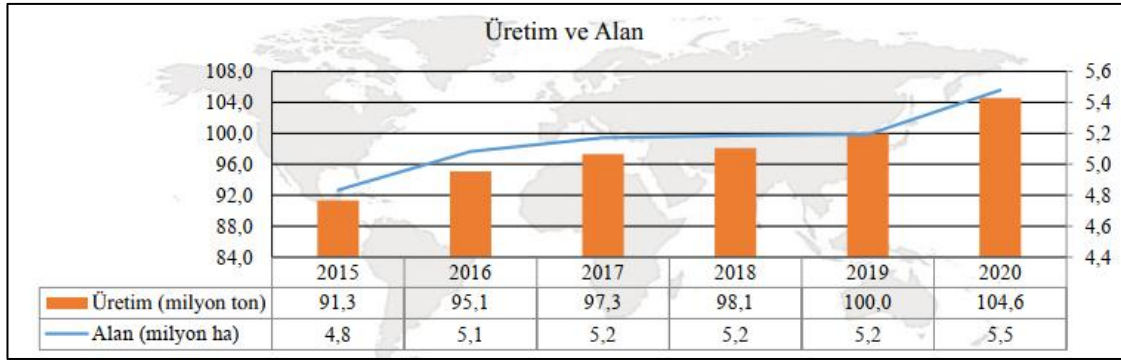


Şekil 2.2. Sarımsak ve soğanın allinaz enzimi aktivitesi yönünden farklılığı

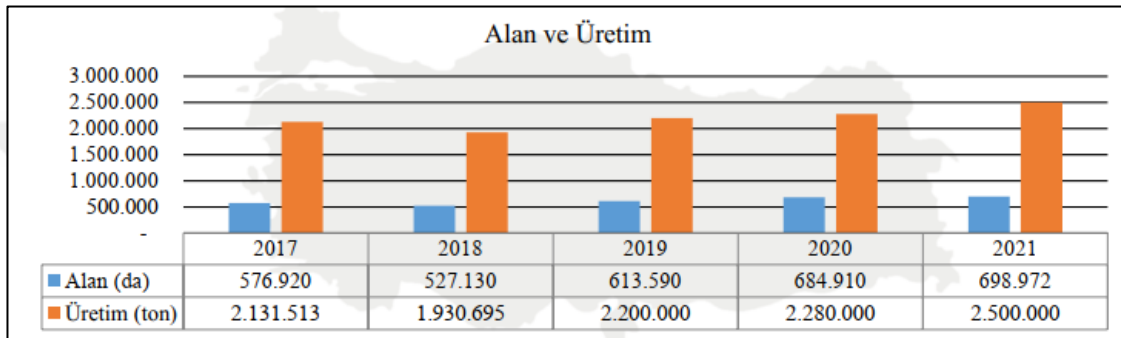


Şekil 2.3. Soğanda allinaz enzimi etki mekanizması (Imai vd. 2002, Majewski 2014)

Soğan taze olarak tüketimlerinin yanı sıra endüstriyel olarak işlenmiş formlarının hem evlerde hem de gıda sanayiinde ara ürün ve son ürün olarak kullanım imkânının bulunmasıyla da tüm dünyada en çok tüketilen sebzelerdendir (Islek vd. 2015, Karaaslan vd. 2016). Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verileriyle hazırlanan Mayıs 2022 tarihli soğan bültenine göre 2020 yılı soğan üretimi; 138 ülkede yaklaşık 5.5 milyon ha alanda, 105 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (Şekil 2.4). Üretim genel olarak artış eğiliminde olup bir önceki yıla göre bu artış üretim alanı olarak %6, üretim miktarı olarak ise %5 düzeyindedir (Şekil 2.5). FAO 2020 yılı verilerine göre Türkiye, dünya kuru soğan ekim alanında 12. sırada, üretimde ise 5. sırada yer almaktadır. Dünya kuru soğan verimi 1.908 kg/da iken Türkiye verimi 3.244 kg/da olup dünya ortalamasından yüksektir. Türkiye 221 bin ton ihracatla 10. sırada yer almaktadır. Üretim miktarı dikkate alındığında Türkiye, kuru soğanda kendine yeten ve ihracatçı konumunda olan bir ülkedir (Anonim 2022).



Şekil 2.4. Dünyada kuru soğan üretimi ve üretim alanı (Anonim 2022)



Şekil 2.5. Türkiye’de kuru soğan üretimi ve üretim alanı (Anonim 2022)

Soğan ihracatının taze olarak yapılması yerine katma değeri yüksek, dondurulmuş ve işlenmiş ürünler olarak yapılması için teşvik edilmesi ve yönlendirilmesi ülkemiz ekonomisi açısından önem arz etmektedir. Soğan tozu, katma değeri yüksek ürünlere iyi bir örnek teşkil etmekte ve günümüzde büyük oranda Çin’den ithal edilmektedir (Anonim 2022). Soğan tozunun, ülkemizde yaygın olarak tarımı yapılan bu hammaddeden üstün kalitede, düşük maliyetle ve yerli imkanlarla üretilebilmesinin ekonomimize önemli miktarda katma değer sağlayacağı düşünülmektedir.

Literatürde farklı kurutma yöntemleriyle soğanın, soğan kabuğunun ve/veya bunların ekstraktlarının kurutulması soğan tozu elde edildiği ve çeşitli fizikokimyasal özelliklerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur. Soğanın ön işlem uygulanarak ya da ön işlemsiz olarak kullanıldığı bu çalışmalarda yaygın olarak açık havada kurutma, sıcak hava akımıyla kurutma, vakumda kurutma, mikrodalga ile kurutma ve donuk kurutma teknikleri tek başına ya da kombine olarak kullanılmıştır. En yaygın kullanılanları geleneksel yöntem olarak açık havada güneşte/gölgede kurutma ve sıcak hava akımıyla kurutma yöntemleridir. Kurutma yönteminin, kuersetin içeriği ve antioksidan aktivite üzerine anlamlı bir etkisinin olduğu ayrıca soğan yapısındaki sülfürlü bileşiklerin miktarında kayba neden olduğu bildirilmiştir (Gao vd. 2019, Taşçı ve Koca 2019). Sonuçlar, sıcak havayla kurutulmuş soğanın, donuk ve vakumla kurutulmuş soğandan daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir. Donuk ve vakumla kurutulmuş soğanların daha fazla kuersetin glikozit içerdiğini, buna karşılık sıcak havayla kurutulmuş soğanın aglikon içeriğinin baskın olduğu HPLC analiziyle ortaya konmuştur. Sıcak hava ile kurutulmuş soğanda güçlü bir hücre proliferasyon inhibisyon aktivitesi gözlemlenirken, donuk kurutulmuş ve vakumla kurutulmuş soğan nispeten orta düzeyde

inhibisyon sağlamıştır (Fu ve Huang 2003). Ayrıca güneşte kurutma ve sıcak hava kurutma sistemlerinde soğan tozu üretimi sırasında artan sıcaklıkla birlikte sadece fenolik bileşen kayıpları (%60-85 oranında) değil, aynı zamanda antioksidan aktivite kayıpları da (%78-85 oranında) oluşmaktadır (Edith vd. 2018, Seifu vd. 2018). Yapılan çalışmalarda vakum kurutmanın diğer yöntemlere kıyasla kısa sürede ve kalite özelliklerini muhafaza ederek kuruma sağladığı (Shende ve Datta 2019), açık havada kurutma işleminin ise uzun sürdüğü ve ürün kalitesindeki kayıpların yüksek olduğu bildirilmiştir (Çetin 2014). Donuk kurutma yönteminin (24 saat) açık havada kurutma (5 gün) ve etüvde kurutma (2-4 gün) yöntemlerine kıyasla kısa sürse de maliyetin yüksek olduğu ve tek seferde kurutulan ürün miktarının çok düşük olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca vakum kurutma ve donuk kurutma yöntemlerinde renk kayıplarının nispeten daha düşük olduğu bildirilmiştir (Kang vd. 2007, Ndisanze 2017). Çalışmalar; kaliteyi koruyarak en az maliyetle kurutulmuş ürün eldesini hedeflemiş olup son üründe fonksiyonel bileşen kaybı, istenmeyen renk ve aroma oluşumu sorunlarıyla karşılaşmıştır. Bu kayıpları en aza indirmek ve enerji tüketimini azaltarak maliyeti düşürmek amacıyla hammaddeye çeşitli ön işlemler uygulanmış; ön santrifüj işlemiyle suyun %60'ının uzaklaştırılmasının ardından 70°C'de sıcak havada kurutulması, kuruma süresini ve enerji tüketimini ön işlemsiz kurutma işlemine kıyasla istatistiki olarak anlamlı düzeyde ($p<0.5$) azaltmıştır (Colak vd. 2010, Çetin 2014, Sezer 2017, Süfer vd. 2017).

2.2. Kurutma İşlemlerinin Deneysel Tasarımı

Kurutma bilinen en eski gıda muhafaza yöntemlerinden biridir ve 18. yüzyıldan sonra endüstriyel olarak uygulandığı bilinmektedir. Kurutma, tarımsal ürünlerin veya gıda maddelerinin nem içeriğinin azaltılması işlemi olup mevcut ürünü güvenli olarak daha uzun süre muhafaza etmek için kullanılır. Bu yöntem sayesinde, meyve ve sebzeler uzun süre bozulmadan korunmakta ve üretim dönemlerinin dışında da tüketilebilmektedir. Kurutulmuş ürünler doğrudan tüketilebildiği gibi endüstriyel olarak üretilen pek çok gıda maddesinde hammadde veya ara ürün olarak da yüksek miktarlarda kullanılmaktadır. Kurutma; gıdalardaki suyun uzaklaştırılarak, bozulmaya neden olan mikroorganizmaların gelişimini ve biyokimyasal reaksiyonları teşvik eden enzim faaliyetlerini sınırlandırma işlemidir. Bu işlem, genel olarak suyun buharlaşma gizli ısısının gıdaya verilerek suyun gıdadan uzaklaştırılmasını kapsar. Gereken buharlaşma gizli ısı; iletim, taşınım ve ışıınım olmak üzere üç farklı yolla gıdaya yüklenebilmektedir. Günümüzde bu temel prensiplerle çalışan farklı tip kurutma sistemleri geliştirilmiş olup bu düzenekler meyve ve sebzelerin kurutulmasında endüstriyel olarak yaygın kullanılmaktadır (Geankoplis 1993, Menges ve Ertekin 2006, Cemeroğlu 2009).

Kurutma prosesinin hızı ve etkinliği; yalnız gıdanın kapiller yapısına, nem difüzyon durumuna, yoğunluğuna, özgül ısısına ve ısı iletim özelliklerine değil kurutma ortamının kütle ve ısı iletim özelliklerine de bağlıdır. Ayrıca kurutma sırasında uzaklaştırılması gereken su miktarı gıdadan gıdaya farklılık arz etmektedir. Sabit koşullarında çoğu meyve ve sebzeden suyun uzaklaştırılma süreci gıdanın kuruma koşullarına kadar ısınması, sabit hızda gıdanın yüzeyindeki suyun uzaklaşması ve difüzyon ile gıdanın iç kısımlarındaki suyun difüzyonla yüzeye taşınarak uzaklaştırılması olmak üzere üç periyotta gerçekleşmektedir. Genel olarak; gıdadan birim zamanda uzaklaştırılan su miktarının sabit kaldığı ilk süreç “sabit kuruma periyodu”, uzaklaştırılan su miktarının giderek azaldığı süreç “azalan hızda kuruma periyodu”, kuruma hızının

değiştirdiği anda gıdanın nem miktarı ise “kritik nem” olarak isimlendirilmektedir (Geankoplis 1993).

Tarihte 19. Yüzyıla kadar gıdaların kurutulması için güneş ışığı ve rüzgâr gibi doğal enerji kaynakları kullanılmıştır. Ancak bu yöntemlerin; uzun işlem süresi, hijyen problemi, homojen ve istenilen kalitede son ürün elde edilememesi gibi dezavantajları vardır. Bu nedenle ilerleyen yıllarda, gıdaların kurutulmasında sıcak hava ile kurutma, vakum kurutma, donuk kurutma, kırımın pencereleli kurutma vb. yöntemler geliştirilmiş, ayrıca son yıllarda da farklı teknolojilerin bir arada kullanıldığı hibrit sistemlere yönelim artmış ve kurutma olgusu farklı bir boyut kazanmıştır (Hayashi 1989). Özellikle fosil yakıt kullanımı nedeniyle artan karbon emisyonuna bağlı iklim krizi sonrası yeşil mutabakata uyumlu endüstriyel gıda işlem süreçleri önem kazanmış ve teşvik edilmeye başlamıştır. Hızlı, düşük enerji girdili ve yenilenebilir enerji kullanan ve yüksek kalitede kurutulmuş ürün üretimini destekleyen gıda kurutma sistemleri geliştirilmesi son yılların öncelikli araştırma konuları olmuş ve bu kapsamda farklı elektromanyetik enerji destekli hibrit kurutma sistemlerinin geliştirilmesi önemli araştırma konuları haline gelmiştir (Wang 2014, Tuncer vd. 2019, Anonymous 2020)

Mikrodalga destekli hibrit sıcak hava tünel kurutma sisteminin soğan dilimlerinin kurutulmasında kullanıldığı bir çalışmada yalnızca sıcak hava kurutmaya kıyasla mikrodalga kullanımıyla kurutma süresi %90'dan fazla azalmış ve enerji verimliliği de 3,0-16,0 kat artırmıştır. Ayrıca, kurutulmuş üründe renk, lezzet, antioksidan aktivite ve fenolik bileşikler daha iyi korunmuştur (Maftoonazad vd. 2022).

Yeşil soğanın kurutulması için fotovoltaiik modül destekli doğrudan güneş enerjisi destekli kurutucu sistemi geliştirilmiş, doğal ve zorlanmış konveksiyonla kurutma yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bu sistemde fotovoltaiik modül, ekipmanın içindeki havanın yenilenmesini sağlayan sekiz fana elektrik enerjisi sağlamış ve sonuç olarak zorlamalı konveksiyonda enerji verimliliği daha yüksek bulunurken ürün kalitesinde belirgin bir fark gözlenmemiştir (Hidalgo vd. 2021).

Soğanların endüstriyel ölçekli kurutma koşulları ve nihai ürünün kalite parametreleri dikkate alınarak vurgulu elektrik alan teknolojisinin ön işlem olarak uygulanabilirliği araştırılmıştır. Ön işlem uygulanan örnekler, proses verimliliği ve kalite açısından daha başarılı sonuçlar vermiştir (Ostermeier vd. 2020)

Elma dilimlerinin uzak kızılötesi (FIR-Far Infrared) destekli kırımın pencereleli kurutma sistemiyle kurutulması yaklaşımında, kırımın pencereleli kurutmanın ürün kalınlığı ile ilgili kısıtlamasını aşp ısı ve kütle transferini artırması planlanmıştır. Sonuçlar bu tekniğin meyvelerin daha kısa sürede kurutulmasında, aroma ve besinlerin daha iyi korunmasında ve enerji verimliliğinin artırılmasında potansiyel bir teknik olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir (Rajoriya vd. 2020). IR ısıtmanın, yüksek ısı transfer hızı, homojen ısıtma, düşük işleme süresi, yüksek verimlilik (80–90%), düşük enerji tüketimi, düşük enerji maliyetleri ve nihai ürün yapısını, gözenekliliğini ve kalitesini iyileştirme gibi birçok avantajı bulunduğu bildirilmektedir (Salehi 2020).

2.2.1. Sıcak hava ile kurutma

Kurutma işlemi önceleri geleneksel olarak açık alana serilen ürünlerin doğal konveksiyonla kuruması gerçekleştirilirken, zamanla gelişen teknoloji ile birlikte bu yöntemin yerini daha hızlı, hijyenik ve homojen kuruma sağlayan sıcak hava ile kurutma teknolojisi almıştır (Tunde-Akintunde vd. 2005). Geleneksel yöntem; yoğun işçilik, düşük yatırım ve üretim maliyeti yanı sıra düşük ürün kalitesi olan bir uygulamadır. Sıcak hava ile kurutma ise, ürünleri dış etkilere koruyan, daha hızlı ve hijyenik bir kurutma yöntemidir. Bu nedenle sıcak hava ile kurutma, gıda maddelerinin kurutulmasında en yaygın tercih edilen ticari tekniktir ve literatürde bu konuda çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak, sıcak hava ile kurutmanın ana dezavantajları arasında kurutma süresinin uzaması, nihai ürünün duyu özelliklerinin ve besin değerinin azalması ve kabuk sertleşmesi, büzülmesi, esmerleşmesi yer almaktadır (Voda vd. 2012).

Ancak kurutma işleminin asıl amacının daha hızlı kurutmaktan çok, daha kaliteli bir ürün elde etmek olduğu ortadadır (Esper ve Mühlbauer 1998). Bu nedenle, yeni ve yenilikçi teknikler, hızlı kurutma oranları sağlamaları ve daha iyi kalite sunmaları nedeniyle son zamanlarda büyük ilgi görmüştür.

2.2.2. Dondurarak kurutma

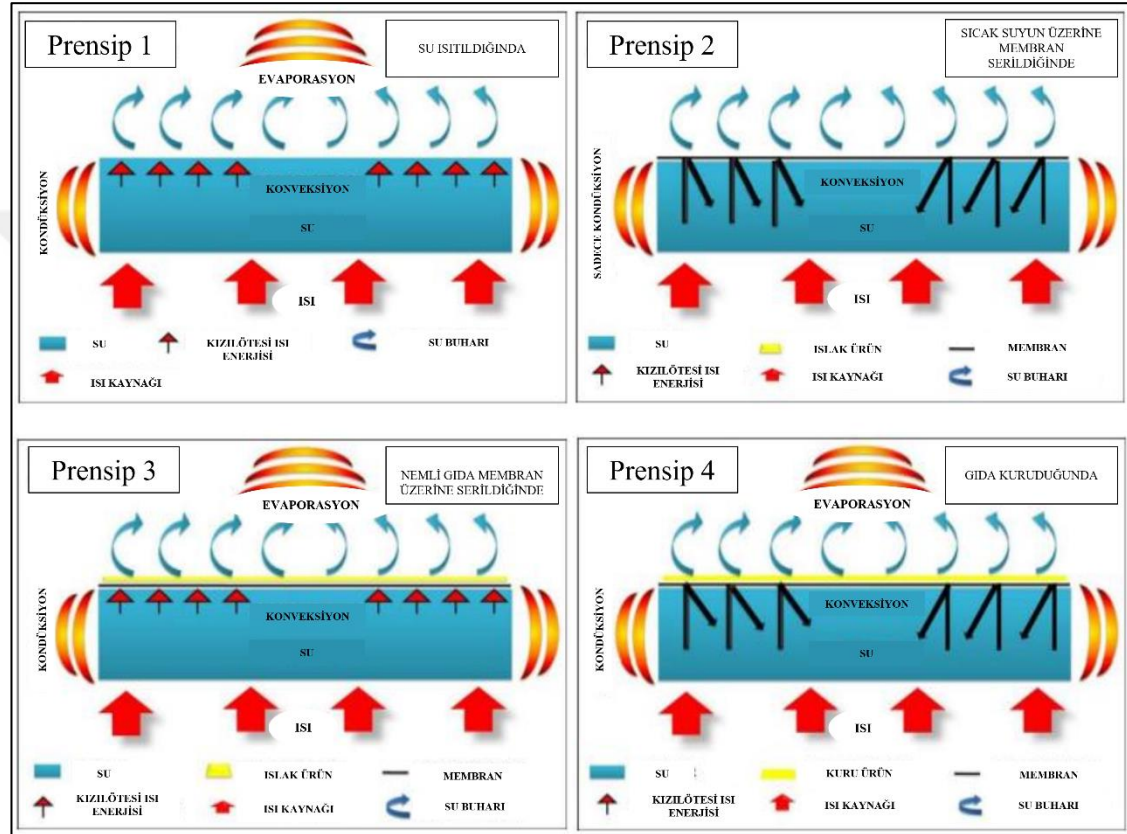
Liyofilizasyon olarak da bilinen donuk kurutma yöntemi vakum altında uygulanan kurutma yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, sıcak hava ile kurutma yöntemine kıyasla, katı madde hareketi en düşük seviyede olup kabuk sertleşmesi görülmez. Üründe büzülme ve yapısal değişimler çok düşük düzeydedir. Ürünün rengi, kokusu ve aroması korunur, bununla birlikte rehidrasyon yeteneği çok iyi olan son ürünler elde edilir. Ancak, kurutma maliyeti sıcak hava akımında kurutmaya kıyasla yaklaşık beş kat fazla olduğundan bu yöntemle ekonomik değeri daha yüksek olan hammaddelerin kurutulması daha yaygındır. Dondurarak kurutma genel olarak iki aşamadan oluşur. 1. aşamada ürün dondurulur, 2. aşamada ise indirgenmiş basınç altında süblimasyon ile donmuş haldeki üründe bulunan donmuş su üründen uzaklaştırılır (Vega-Mercado vd. 2001). Bu yöntemin dezavantajlarından biri olan çok uzun işlem süresini kısaltmak için, kızılötesi ve mikrodalga enerji destekleri ile kombine edilerek uygulandığı ve böylece kuruma hızının artırıldığı hibrit sistemler kullanılmaya başlamıştır (Mongpraneet vd. 2002).

Güneşte kurutma, sıcak havada kurutma, vakumda kurutma ve dondurarak kurutma işlemlerinin soğan tozlarının besinsel, fonksiyonel ve duyu kabul edilebilirliği üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan çalışmanın sonuçları; dondurarak kurutulmuş soğan tozunun diğer kurutma işlemlerine göre besin değeri, renk, doku, reolojik özellikleri ile yeniden hidrasyon oranının daha iyi olduğunu göstermektedir (Kumari vd. 2021).

2.2.3. Kırınım pencereli kurutma

Kırınım pencereli kurutma sistemi sıvı, püre veya ince dilimlenmiş gıda maddelerinin tek tabaka halinde kurutulduğu bir kurutma yöntemidir. Yüksek ısı ve kütle aktarım hızlarına sahip olması nedeniyle kuruma süresi kısa ve son ürün kalitesi yüksektir. Bu yöntem, 1986 yılında Richard Magoon tarafından patentlenmiştir (Shende ve Datta 2019). Kırınım pencereli kurutma sisteminde nemli gıdaya aktarılan ısı

enerjisini, polyester bir bant (Mylar film) altında yüksek sıcaklıklarda sirküle ettirilen su sağlar. Bandın üzerine serilmiş olan gıda maddesindeki nem, sıcak sudan bant boyunca geçen kızılötesi radyasyonun gıdaya ulaşmasına izin veren bir "pencere" oluşturur. Gıdanın içerisindeki su, aldığı enerji ile buharlaşmaya başlayıp ürün nemini kaybederken; "pencere" yavaş yavaş kapanır ve ısı transferi sadece kondüksiyon ile devam eder. Kurutmanın son aşamasında bu şekilde yavaşlayan ısı transferi, üründe besin değeri ve kalite kaybının en düşük düzeyde tutulmasına olanak sağlar. Gıda içerisindeki su bu yolla uzaklaştırılarak toz veya kuru ürün elde edilir (Nindo vd. 2007, Topuz vd. 2009, Waghmare 2021) (Şekil 2.6).



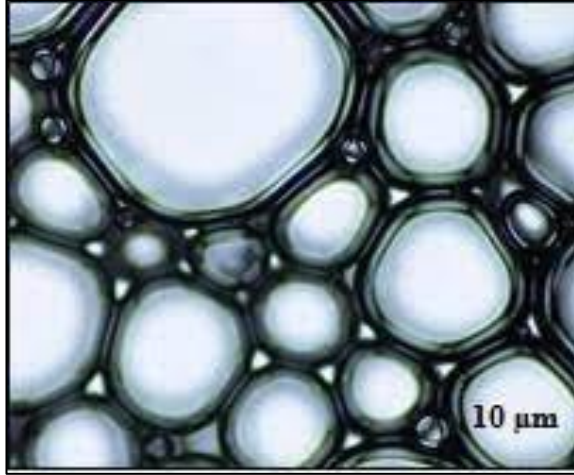
Şekil 2.6. KPK sistemi çalışma prensibi (Trivedi vd. 2017, Parmar ve Dhamsaniya 2023)

Literatürde beyaz ve mor soğanın kırınım pencereli kurutma sistemi kullanılarak kurutulduğu sadece iki çalışmaya rastlanmıştır. Farklı kalınlıklarda dilimlenmiş mor soğanın kurutulduğu ilk çalışmada, laboratuvar tipi (10x12x6 in, ebat) bir kırınım pencereli kurutucu kullanılmıştır. Kuruma kinetiğinin incelendiği bu çalışmada elde edilen toz ürünün sadece yığın yoğunluğu analizi yapılarak ticari ürünle karşılaştırılmıştır (Akinola vd. 2014). Diğer çalışmada ise kızılötesi-kırınım pencereli kurutma sisteminde beyaz soğan dilimleri kurutulmuş; enerji tüketimi, ısı verimliliği ve kalite özellikleri bakımından sadece son ürünlerdeki toplam renk değişimi incelenmiştir (Tayel vd. 2012). Bahsi geçen her iki çalışmanın dilimlenmiş soğanda uygulandığı, kurumanın belli bir aşamasından sonra bandın gıda ile temas eden yüzeyinde su filmi olmadığı için kurutma için gerekli olan enerjinin kondüksiyonla sağlanmaya devam etmiş olduğu için kuruma sürelerinin uzadığı dikkat çekmektedir. Ayrıca Akinola vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada kullanılan kurutucu laboratuvar ölçekli statik bir sistem olup endüstriyel

koşulları temsil etmemektedir. Tayel vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada ise kızıl ötesi destekli kırımın pencereli kurutucu tasarımı itibariyle farklılıklar içermektedir. Bant altında sirküle ettirilen bir sıvı bulunmayıp, kurutma için gerekli ısı enerjisi bant altında ve üstünde konumlandırılmış kızılötesi lambalarla ve bant üstündeki kabinde sirküle ettirilen 45°C sıcaklık ve %20 bağıl neme sahip havayla sağlanmaktadır. Bu nedenlerle her iki çalışma da mevcut tez çalışması hammadde yapısı, uygulanan teknik ve son ürün kalite hedefleri bakımında tamamen farklıdır. Soğanın püre halinde kızılötesi destekli kırımın pencereli kurutma teknolojisiyle kurutulması başlı başına özgün bir yaklaşımdır. Ayrıca literatürde soğanın kızılötesi destekli kırımın pencereli kurutucuda kurutulduğu herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.2.4. Köpük kurutma

Köpük kurutma, sıvı formdaki gıdaların çeşitli köpük yapıcı ajanlar yardımıyla stabil köpüklü bir yapıya dönüştürüldükten sonra kurutulduğu bir yöntemdir. Bu yöntemle; kuruma süresi oldukça kısaldığı için gıda bileşenleri sıcak havaya daha az maruz kalır. Başarılı bir köpük kurutma prosesinin ilk gereksinimi kararlı ve düşük yoğunlukta bir köpük oluşumudur. Bu köpük yapısının oluşmasında zamlar, proteinler ve çeşitli emülgatörler köpük yapıcı ajan olarak kullanılmaktadır. Köpük kurutma yönteminde; içerisine belli miktarda köpük yapıcı ajan eklenmiş sıvı ya da püre gıda maddesi, parçalayıcı (blender) veya özel olarak tasarlanmış çırpıcı cihazlarla stabil köpük yapısı elde edilene kadar çırpılmaktadır. Elde edilen köpük formundaki püre, kurutucuya ince bir tabaka halinde serilmekte ve diğer kurutma yöntemlerinde olduğu gibi belli bir nem içeriğine kadar kurutulmaktadır (Brygidyr vd. 1977, Sangamithra vd. 2015, Varhan ve Koç 2017, Aktas ve Tontul 2021). Gıdaların köpük formuna getirildikten sonra kurutulduğunda kuruma süresinin kısılmasının ana nedeni, oluşturulan köpüğün geniş bir yüzey alanına sahip olması ve dolayısıyla suyun hızlı bir şekilde buharlaşmasıdır (Şekil 2.7). Kısılan kuruma süresi ile son üründe kimyasal, mikrobiyal ve biyokimyasal reaksiyonlar kısıtlanmakta ve böylece ürün kalitesi artmaktadır (Kadam ve Balasubramanian 2011). Soğan pürelerinin köpük kurutma yöntemi ile sıcak hava ve mikrodalga kurutma sistemlerinde kurutulması ile ilgili bir çalışmada; köpük yapıcı ajan olarak dekstrin kullanılmış ve köpük kurutma yönteminin kuruma süresini kısalttığı ve son ürünün kalite özelliklerini iyileştirdiği bildirilmiştir (Fung 1976). Köpük formdaki soğan pürelerinin, köpük yapıcı ajan olarak soya proteini ve stabilizör olarak karboksil metil selüloz kullanılarak hazırlandığı ve bu karışımların sıcak hava tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda ve 3 mm kalınlığında kurutulduğu bir çalışmada köpük formda kurutma yaklaşımı, kuruma süresini 5 saat kadar kısaltmıştır (Farooq vd. 2021).



Şekil 2.7. Köpük oluşumuyla artan yüzey alanı (Çınar ve Erafşar 2018)

2.3. Enkapsülasyon yaklaşımı

Gıdaların kurutulmasında bileşenlerin korunması için kullanılan enkapsülasyon yaklaşımı, aktif bileşenlerin bir kapsül içine hapsedilerek korunmasını sağlar. Enkapsülasyon, gıdaların besin değerini, aroma ve lezzetini korumak ve stabilitesini artırmak için yaygın olarak kullanılır. Bu teknik, özellikle termal işlemler sırasında hassas bileşenlerin bozulmasını önlemek için etkilidir (Desai ve Jin Park 2005, Augustin ve Sanguansri 2015). Enkapsülasyon uygulamasının sağladığı çeşitli faydalar bulunmaktadır;

1. **Fiziksel Bariyer Oluşturma:** Enkapsülasyon, hassas bileşenleri çevresel faktörlerden izole eden bir fiziksel bariyer sağlar. Bu bariyer; bileşenleri yüksek sıcaklık, oksijen, nem ve ışık gibi zararlı etmenlerden korur.
2. **Isı İletiminin Azaltılması:** Duvar materyali, ısıнын çekirdek maddeye doğrudan iletilmesini yavaşlatır veya engeller. Bu, hassas bileşenlerin maruz kaldığı maksimum sıcaklığı azaltarak termal bozulmayı minimize eder.
3. **Koruyucu Atmosfer Sağlama:** Enkapsülasyon, hassas bileşenleri çevresel oksijenle temasını sınırlayarak oksidatif bozulmayı önler. Bazı enkapsülasyon yöntemleri, inert gazlar veya vakum altında gerçekleştirilerek oksijenin varlığını daha da azaltabilir.
4. **Kimyasal Stabilité Sağlama:** Duvar materyalleri, pH değişikliklerine karşı tampon etkisi göstererek hassas bileşenlerin kimyasal stabilitesini artırabilir. Ayrıca, antioksidan özelliklere sahip duvar materyalleri kullanılarak oksidatif hasar da azaltılabilir.
5. **Kontrollü Salınım:** Enkapsülasyon, bileşenlerin kontrollü bir şekilde salınmasını sağlar. Termal işlem sırasında bileşenlerin yavaş salınması, bileşenlerin daha az zarar görmesine ve istenilen etkinin korunmasına yardımcı olabilir.
6. **Koruyucu Maddeler İçerme:** Duvar materyali olarak kullanılan bazı maddeler, doğal antioksidanlar veya koruyucu ajanlar içerebilir. Bu maddeler, termal işlem sırasında hassas bileşenlerin korunmasına ek bir destek sağlar.

Bu mekanizmalar, termal işlemler sırasında hassas bileşenlerin korunmasını sağlayarak ürünün besin değerini, lezzetini ve fonksiyonel özelliklerini korur (F. Gibbs 1999, McClements 2004, Jafari ve Rashidinejad 2021).

Enkapsülasyonda kullanılan duvar materyalleri, aktif bileşenlerin korunması, serbest bırakılması ve stabilitesi açısından büyük önem taşır. Enkapsülasyonda kullanılan duvar materyalinde aranılan başlıca özellikler; çözünürlük ve dağılım, mekanik dayanıklılık, kimyasal kararlılık, gıda güvenliği ve uyumluluğu, görünüm ve tat, kontrollü salınım, yapışkanlık ve viskozitedir. Sayılan bu özellikleri sağlayan yaygın olarak kullanılan bazı duvar materyalleri şunlardır:

Maltodekstrin: Düşük viskozite, yüksek çözünürlük ve düşük higroskopiklik gibi özelliklere sahiptir.

Arap Gamı (Gum Arabic): Yüksek emülsifiye edici özelliklere ve iyi film oluşturma yeteneğine sahiptir.

Sodyum Aljinat: Jel oluşturma kabiliyeti yüksek olan doğal bir polisakkarittir.

Kazeinatlar: Süt proteinleri olup, iyi besin değeri ve mükemmel film oluşturma yeteneğine sahiptir.

Beta-siklodekstrin: Hidrofobik molekülleri kapsülleyebilen ve onları sulu ortamda stabil hale getirebilen bir karbonhidrattır.

Pektin: Jel oluşturma yeteneği yüksek, doğal bir polisakkarittir.

Soğan ve soğan ekstraktlarının kurutulması ve enkapsülasyonu üzerine yapılan çalışmalar, genellikle bu bileşenlerin biyolojik aktivitelerini ve fonksiyonel özelliklerini korumayı amaçlar. Bazı çalışmalar, soğan ekstraktlarının biyolojik aktivitesini ve raf ömrünü artırmak amacıyla maltodekstrin, Arap gamı ve diğer duvar materyalleri kullanarak mikroenkapsülasyon tekniklerini incelemiştir. Bu çalışmalar, mikroenkapsülasyonun ekstraktların antioksidan kapasitesini ve fenolik bileşenlerini koruduğunu göstermiştir. Bu tozların kurutulmuş ürünlerde kullanımı, soğanın taze özelliklerinin korunmasına yardımcı olmuştur (Desai ve Jin Park 2005, Horincar vd. 2019). Soğanın karakteristik kokusu ve tadı, kurutma işlemleri sırasında kaybolabilir. Bu nedenle, soğan aromalarının enkapsülasyonu, ürünlerin lezzet profilini korumak için önemli bir yaklaşımdır. Maltodekstrin ve Arap gamı gibi materyaller, soğan aromalarının mikroenkapsülasyonu için yaygın olarak kullanılmıştır (Krokida ve Philippopoulos 2005, Choi vd. 2017). Çalışmalar, enkapsülasyonun soğan ve soğan ekstraktlarının kurutulmasında ve korunmasında etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Enkapsülasyon, sadece besin değerlerini ve fonksiyonel özellikleri korumakla kalmaz, aynı zamanda raf ömrünü uzatır ve ürünlerin stabilitesini artırır. Bu, gıda endüstrisi için önemli bir avantajdır ve soğan gibi hassas bileşenlerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

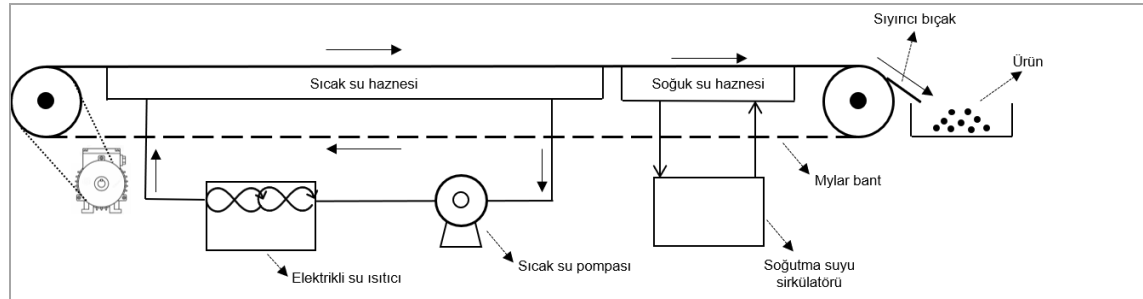
3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan soğanlar (*Allium cepa* L.) Antalya Yaş Sebze ve Meyve Toptancı Hali'nden 2022 ve 2023 yılı hasatının ürünlerinden temin edilmiştir. “Polatlı soğanı” olarak coğrafi işaret alan bu soğanlar, Türkiye'nin Ankara ilinde geleneksel yöntemlerle yetiştirilmektedir. Analizlerde kullanılan kimyasal maddeler ve soğan püresine taşıyıcı olarak giren katkıları Sigma-Aldrich ve Merck (Darmstadt, Almanya) firmalarından, köpük yapıcı ajan olarak çöven otu ekstraktı ise Tito (Türkiye) firmasından tedarik edilmiştir.

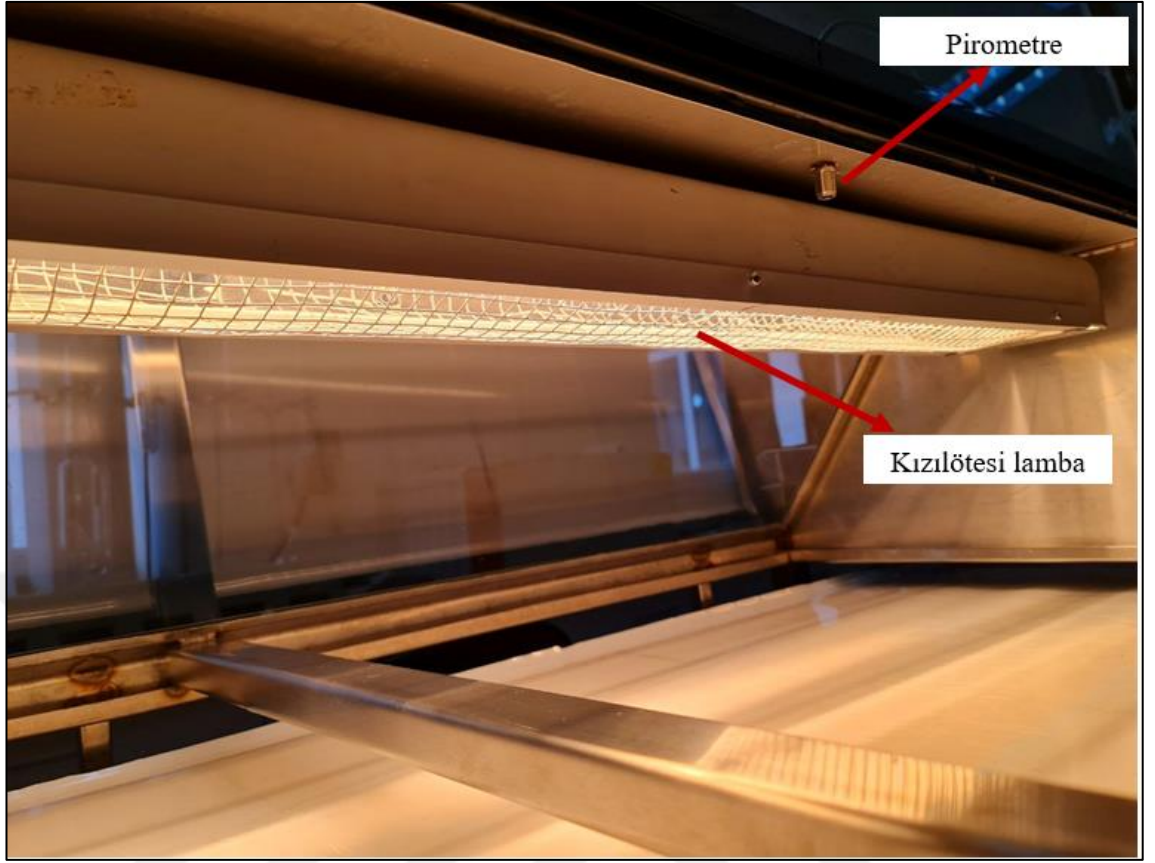
3.2. Metot

3.2.1. Kırınım pencereleli kurutma sisteminin modifikasyonu

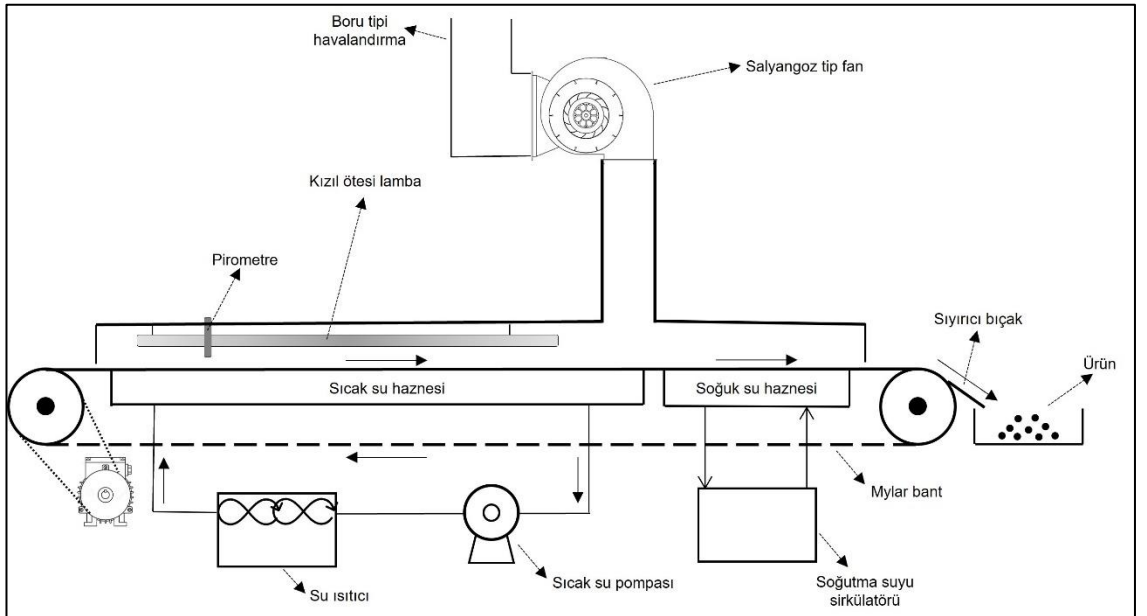
Laboratuvarımızda mevcut olan laboratuvar tipi bir kırınım pencereleli kurutma (KPK) sistemi (Tontul ve Topuz 2017) (Şekil 3.1), kızılötesi lamba (ELCON EIR Hızlı tepki orta dalga, 1100 mm, 235 V, maksimum 4000W), pirometre (OPTRIS OPTCSTCLT15) (Şekil 3.2) ve bir salyangoz tip fan (AYAS, OBRA-200-4K-T) ile güçlendirilmiş havalandırma sistemi ile desteklenerek modifiye edilmiştir (Şekil 3.3). Pirometre, ürünün yüzey sıcaklığına göre kızılötesi lambanın gücünü otomatik olarak ayarlamak için kullanılmış olup, lamba ile pirometre arasındaki iletişim bir ısı kontrol cihazı (ELCON P10 PID (Proportional-integral-derivative) (Orantısal-integral-türevsel)) ile sağlanmıştır. Sistemin doğruluk kontrolü, bir termal-çift (Extech Instruments 4-kanal Sıcaklık Ölçer SDL200) kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.1. Mevcut kırınım pencereleli kurutma cihazının şeması (Baeghbali ve Niakousari 2018) (uyarlama)



Şekil 3.2. Kızılötesi lamba ve pirometre

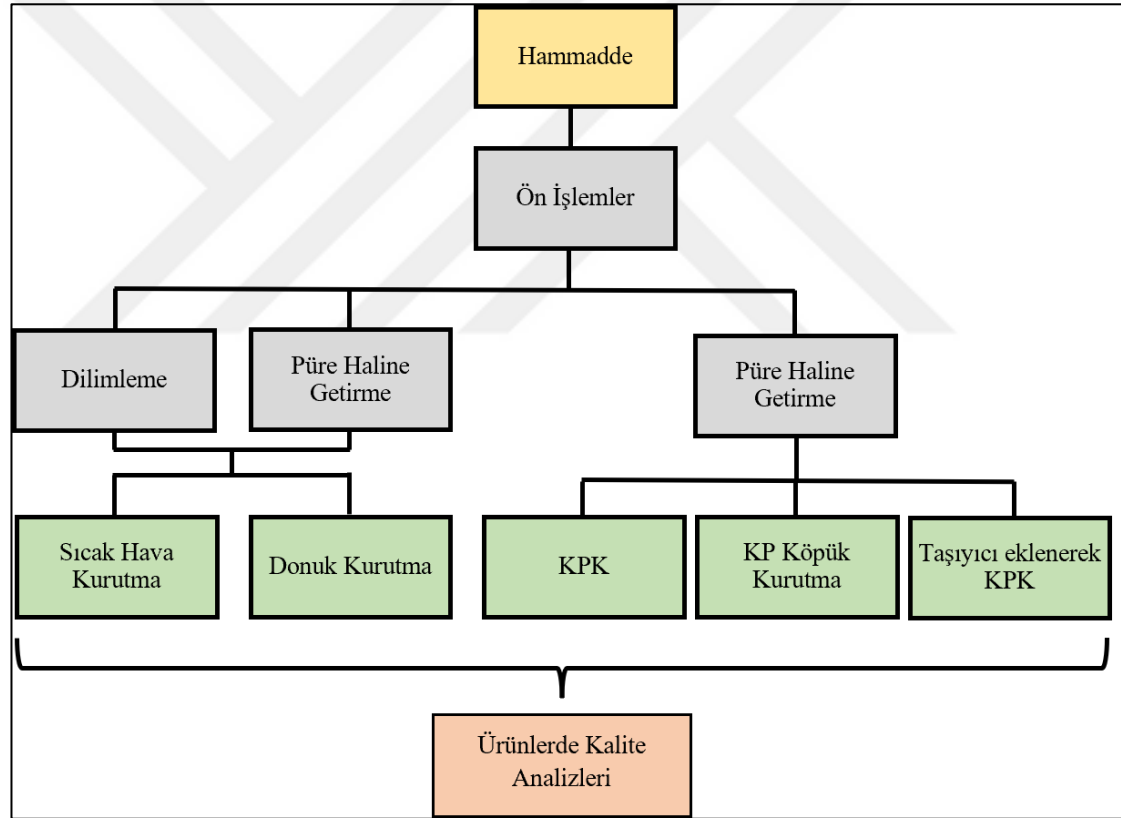


Şekil 3.3. Modifiye edilmiş kızılötesi destekli kırıyım pencereli kurutma sistemi

3.2.2. Kurutma işlemlerinin deneysel tasarımı

Çalışma kapsamında modifikasyonu tamamlanan pirometre kontrollü kızılötesi destekli KPK (PKKD-KPK) sisteminde soğan tozu eldesi için farklı yaklaşımlarla kurutma optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. Öncelikle soğan püresinin kurutulmasının işlem koşulları optimize edilmiş, ardından optimum koşullarda en uygun taşıyıcı kompozisyonu belirlenmiştir. Diğer bir kurutma yaklaşımı olarak optimum köpük eldesi koşulları belirlenmiş ve yine optimum kurutma koşullarında köpük formunda soğan püresi kurutulmuştur.

Ayrıca çalışma kapsamında PKKD-KPK dışında mevcutta uygulanan sıcak hava kurutma ve en az biyoaktif bileşen kaybı ile ürün elde edilebileceği öngörülen dondurarak kurutma yöntemleri de son ürünlerin karşılaştırılması amacıyla denenmiş olup, bu denemeler hem püre haline getirilmiş hem de dilimlenmiş soğanda gerçekleştirilmiştir. Soğan tozu üretimine yönelik uygulanan tüm bu kurutma yaklaşımlarını içeren üretim planına ait iş akış şeması Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Soğan tozu üretimine ait iş akış şeması

3.2.3. Soğan püresinin hazırlanması

Pürüzsüz bir püre formu elde etmek amacıyla ön denemeler yapılmış ve proses koşulları standardize edilmiştir. Ön işlem olarak soğanın baş, kök ve kabuk kısımları kesilip uzaklaştırıldıktan sonra, birkaç parçaya dilimlenmiş (Şekil 3.5) ve elde edilen bu dilimler ev tipi bir parçalayıcı (DS Produkte 3186-1 blender) kullanılarak püre haline getirilmiştir. Homojen bir püre elde etmek için gerekli doğrama süresi 2 dk. olarak

belirlenmiştir. Pürüzsüz serilebilmesi için 18 mesh (1 mm) elekten geçirilen püre, mikrometre ayarlı bir serme aparatı (BEVS 1806, BEVS Industrial Co., Guangzhou, Çin) kullanılarak polyester film (Mylar, D tipi şeffaf, 0.25 mm kalınlık) üzerine 2 mm kalınlığında ivedilikle serilerek kurutulmuştur (Şekil 3.6).



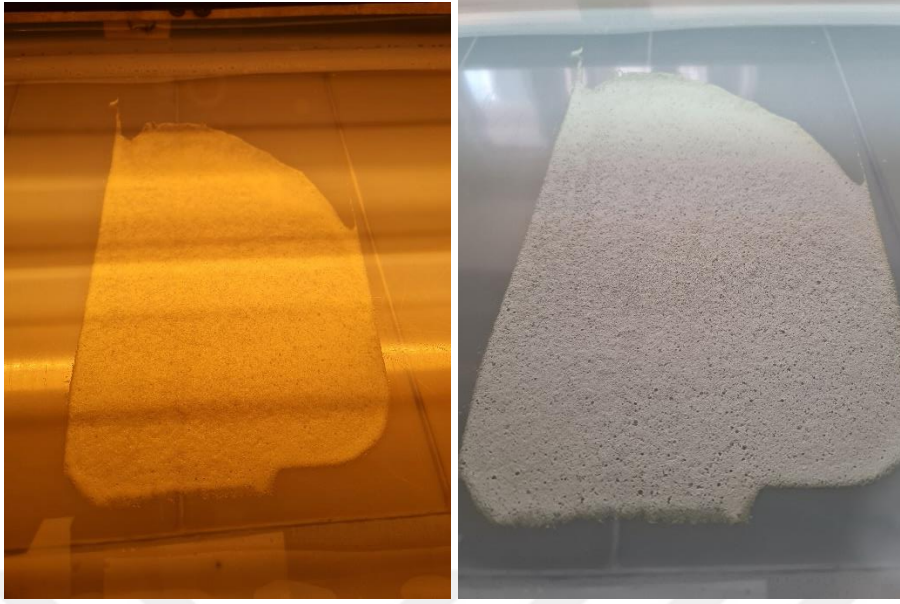
Şekil 3.5. Bütün halde, baş-kök kısmı kesilmiş ve parçalara ayrılmış soğan



Şekil 3.6. Soğanın püre haline getirilmesi ve kurutucu yüzeyine serilmesi

3.2.4. Kurutma koşullarının optimizasyonu

Optimizasyon çalışması, Design-Expert sürüm 13 yazılımı (Design-Expert for Windows, Stat-Ease Inc., ABD) kullanılarak Yanıt Yüzeyi Metodolojisi (RSM) ile Box-Behnken deneysel tasarımıyla yürütülmüştür. Bağımsız değişkenler olarak; sirkülasyon suyu sıcaklığı (75-95°C), pürenin yüzey sıcaklığı (30-40°C) ve havalandırma sisteminin hava hızı (0-1.2 m/s) seçilmiş (Raghavi vd. 2018, Baeghbali vd. 2019, Puente-Díaz vd. 2020), püre kalınlığı ise 2 mm olarak sabit tutulmuştur. Bağımlı değişkenler olarak da istenilen aroma bileşen miktarı (İAB) (maksimum toplam alan), istenmeyen aroma bileşen miktarı (İMAB) (minimum toplam alan), kuersetin içeriği (K) (maksimum), esmerleşme indeksi (Eİ) (minimum) ve kuruma süresi (t) (minimum) seçilmiştir (Çizelge 3.1). Tüm örnekler, 3.5 ± 0.5 son nem içeriğine ulaşana kadar kurutulmuş olup, kurutma süreleri kaydedilmiştir (Şekil 3.7). Bu nem içeriği yaklaşık $a_w < 0.4$ 'e karşılık gelmektedir.



Şekil 3.7. Kuruma sırasında ve kurutma sonunda PKKD-KPK sisteminde kurutulan soğan püreleri

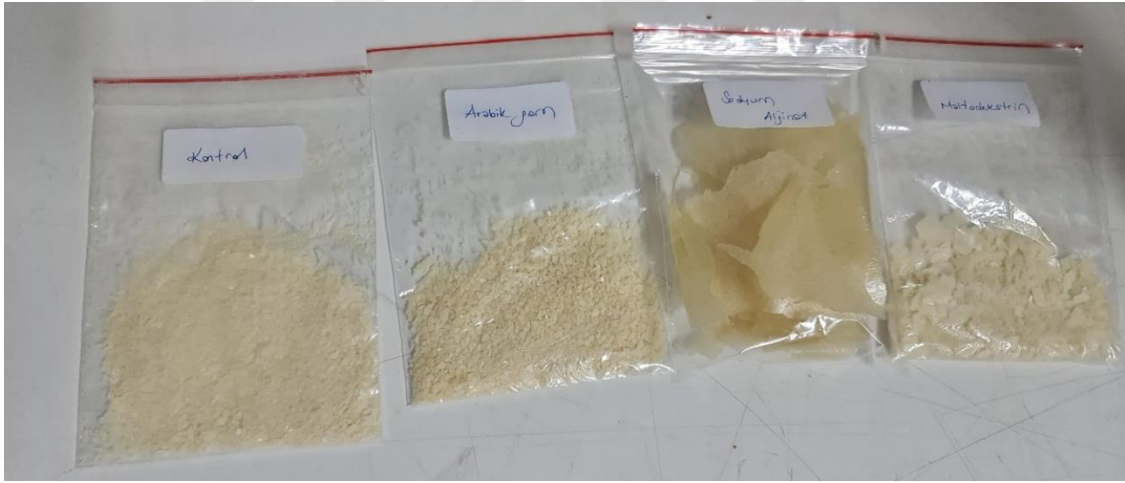
Çizelge 3.1. Kurutma koşullarının optimizasyonu için Box-Behnken deneme deseni

Deneme No	SSS (°C)	PYS (°C)	HH (m/s)	İAB (Alan)	İMAB (Alan)	K (ppm)	Eİ	t (dk.)
1	85	40	1.2					
2	85	35	0.6					
3	85	30	0					
4	95	35	0					
5	95	30	0.6					
6	85	40	0					
7	85	35	0.6					
8	75	30	0.6					
9	75	40	0.6					
10	85	35	0.6					
11	95	35	1.2					
12	75	35	0					
13	85	35	0.6					
14	75	35	1.2					
15	95	40	0.6					
16	85	35	0.6					
17	85	30	1.2					

Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra polyester filmden kazıyıcı ile alınan kurutulmuş örnekler bir öğütücü (Kiwi KSPG-4811, BMVA Elektronik Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye) kullanılarak ince toz haline getirilmiş ve 70-mesh elekten geçirilmiş, “Doypack” ambalaja alınıp ağzı kilitlendikten sonra +4°C’de muhafaza edilmiştir. Hedef nem ve parçacık boyutları uluslararası standartlara uygun olarak belirlenmiştir. Amerikan Kurutulmuş Soğan ve Sarımsak Derneği, kavrulmamış soğanın nem içeriğinin 4 ± 0.25 olması gerektiğini, ISO ise soğan tozunun nem içeriğinin maksimum %6 olabileceğini belirtmektedir. Kurutma sonrası parçacık boyutu için, Amerikan Kurutulmuş Soğan ve Sarımsak Derneği tarafından yayınlanan kalite derecesine dayalı bir çizelge mevcutken; ISO, kurutmadan sonra parçacıkların %95’inin 0.250 mm’den (60 mesh) küçük olması gerektiğini belirtmektedir.

3.2.5. Taşıyıcı kompozisyonu optimizasyonu

Kurutma sırasında ürün aktif bileşenlerin enkapsülasyonunu sağlayan ve bu amaçla yaygın kullanılan farklı taşıyıcıların kompozisyonunun optimizasyonu yine Design-Expert sürüm 13 yazılımı (Design-Expert for Windows, Stat-Ease Inc., ABD) kullanılarak Karışım Optimal Deneyisel tasarımıyla gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı olarak β -siklodekstrin (0-1 g), Na-aljinat (0-1 g), Maltodekstrin (0-4 g) ve Arap gamı (0-4 g) olarak seçilmiş ve bu taşıyıcılar kombine olarak toplamda püre kuru maddesinin %50'si oranında (4 g) kullanılması kararlaştırılmıştır. Taşıyıcı malzemelerin sınır değerlerine literatür bilgileri ve yapılan ön denemeler ışığında karar verilmiştir (Şekil 3.8). Bağımlı değişkenler ise İAB kazanımı (maksimum toplam alan), İMAB salınımı (minimum toplam alan), K miktarı (maksimum), Eİ (minimum) ve t (minimum) olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.2). Örneklere deneme numarasına uygun olan miktarda taşıyıcı eklenmeden önce 1 dk. süresince püre forma getirilmiş, ardından taşıyıcılar eklenmiş ve 1 dk. daha püre yapılmaya devam edilmiştir. Böylece hem parçalanma sırasında enzim aktivitesine bir süre izin verilmiş hem de taşıyıcı malzemelerin blender haznesine yapışmadan tamamının hammaddeyle temas etmesi sağlanmıştır. Tüm örnekler, 3.5 ± 0.5 son nem içeriğine ulaşana kadar kurutulmuş olup, kuruma süreleri kaydedilmiştir. Kurutma işleminden sonra örnekler 70 mesh elekten geçene kadar bir öğütücü (KSPG-4812, Kiwi) yardımıyla öğütülmüş ve “Doypack” ambalajlara konularak ağzı kilitlendikten sonra $+4^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.8. Farklı taşıyıcılarla gerçekleştirilen kurutma ön denemeleri

Çizelge 3.2. Taşıyıcı kompozisyonu optimizasyonu için Karışım Optimal deneme deseni

Deneme No	Taşıyıcı kompozisyonu				Bağımlı Değişkenler			
	β -siklodekstrin	Na-aljinat	Maltodekstrin	Arap gamı	İAB kazanımı (Aan)	İMAB salınımı (Alan)	K (ppm)	Eİ t (dk.)
1	0.00	0.00	2.90	1.10				
2	0.00	0.00	0.95	3.05				
3	0.54	0.52	2.94	0.00				
4	0.00	0.00	0.00	4.00				
5	0.00	0.48	1.57	1.96				
6	0.54	0.52	2.94	0.00				
7	0.00	0.48	1.57	1.96				
8	0.39	0.94	0.00	2.67				
9	0.45	0.00	1.63	1.92				
10	1.00	0.90	0.57	1.53				
11	1.00	0.00	2.13	0.87				
12	0.39	0.94	0.00	2.67				
13	0.54	0.52	2.94	0.00				
14	0.00	1.00	3.00	0.00				
15	0.00	0.00	4.00	0.00				
16	0.99	0.31	0.00	2.69				
17	0.45	0.00	1.63	1.92				
18	0.00	1.00	2.11	0.89				
19	1.00	0.00	3.00	0.00				
20	1.00	1.00	1.53	0.47				

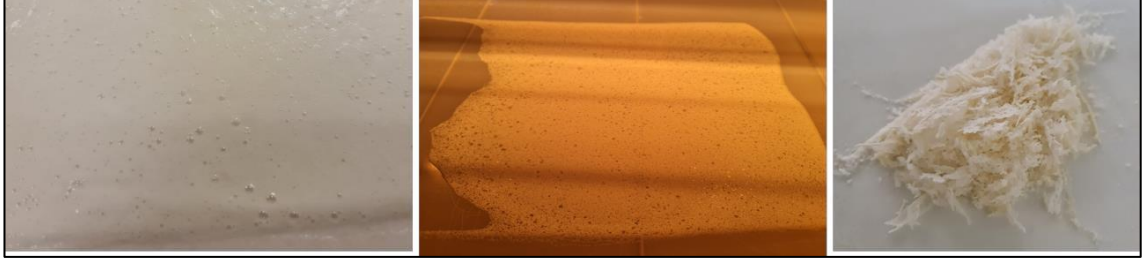
3.2.6. Köpük eldesi optimizasyonu

Köpük yapıcı ajan olarak çöven otu ekstraktı kullanılmış ve saponin içeriği ile ilgili yasal kısıtlamalar da göz önünde bulundurularak sınır değerler %0.01-0.5 olarak seçilmiştir. Farklı miktarlarda çöven ekstraktı eklenerek farklı köpürtme sürelerinde ev tipi bir parçalayıcı (smoothie yapıcı) kullanılarak oluşturulan soğan püresi köpüklerinin yoğunluğu (g/mL) ve stabilitesi (%) incelenmiştir (Şekil 3.9).

**Şekil 3.9.** Soğan püresi köpüğü stabilite analizleri

3.2.7. Köpük kurutma

Elde edilen köpük formdaki püre, çalışma kapsamında belirlenen optimum kurutma koşullarında 2 mm kalınlıkta serilerek hedef nem içeriği 3.5 ± 0.5 olana kadar kurutulmuş ve kuruma süresi kaydedilmiştir (Şekil 3.10). Köpük kurutma işleminden sonra örnekler öğütülüp 70 mesh elekten geçirildikten sonra “Doypack” ambalaja alınıp ağzı kilitlendikten sonra $+4^{\circ}\text{C}$ ’de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.10. Köpük formdaki pürenin kurutulması (kurutma öncesinde, kurutma sırasında ve kurutma sonrasında, sırasıyla)

3.2.8. Dondurarak ve sıcak hava akımında kurutma

Tez çalışması kapsamında son ürünlerin kalite karakteristikleri açısından diğer kurutma yöntemleri ile kıyaslama yapılabilmesi için püre haline getirilmiş soğan örnekleri hem dondurarak kurutma hem de sıcak hava akımında kurutma yöntemleriyle ayrı ayrı kurutulmuştur. Buna ilaveten örneklerin endüstriyel uygulamalarla elde edilen ürünlerle de kıyaslanabilmesi amacıyla dilimlenmiş halde soğanlar da yine aynı yöntemlerle kurutulmuştur. Bahsi geçen kurutma yöntemleri ve koşulları aşağıda özetlenmiştir.

Dondurarak kurutma

Dilimlenmiş (kalınlık 2 mm) ve püre haline getirilmiş örnekler ayrı ayrı -80°C ’de dondurulduktan sonra, laboratuvar tipi dondurarak kurutucuda (Operon FDU-7003, Güney Kore) 0,08-0,20 mmHg vakum altında hedeflenen son nem düzeyine (3.5 ± 0.5) kadar kurutulmuştur (Şekil 3.11). Hedef nem düzeyine ulaşılan kurutma süresi ön denemeler ile belirlenmiştir. Dondurarak kurutma işleminden sonra örnekler öğütülüp 70 mesh elekten geçirildikten sonra “Doypack” ambalaja alınıp ağzı kilitlendikten sonra $+4^{\circ}\text{C}$ ’de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.11. Dondurarak kurutulan dilim ve püre formda soğan örnekleri

Sıcak hava akımında kurutma

Sıcak hava akımında kurutma işleminde Seifu vd. (2018) tarafından uygulanan yöntem ve koşullar esas alınmıştır. Her iki ön işlemle (2 mm dilimlenmiş/püre) hazırlanan soğan örnekleri ayrı ayrı tepsilere serilerek bölümümüzde mevcut olan tepsili kurutma cihazında hedeflenen son nem düzeyine ($\%3.5 \pm 0.5$) düşene kadar kurutulmuştur (Şekil 3.12). Sıcak hava ile kurutma işleminden sonra örnekler öğütülüp 70 mesh elekten geçirildikten sonra “Doypack” ambalaja alınıp ağzı kilitlendikten sonra $+4^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.12. Sıcak havada kurutulan dilim ve püre formda soğan örnekleri

3.2.9. Model gıda denemeleri

Optimum koşullarda elde edilen soğan tozu, piyasada ticari olarak satılan yerli ve ithal muadilleriyle duysal olarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla model gıda olarak soğan çorbası ve cips sosu seçilmiştir.

Cips sosu da yaygın olarak uygulanan tarifler ve piyasada satılan ticari ürünlerin içeriğine bakılarak hazırlanmıştır. Bu sosun hazırlanmasında; yoğurt, soğan tozu, pul biber, nane, karabiber ve tuz kullanılmıştır. Baharatsız cips eşliğinde panelistlerin değerlendirmesine sunulmuş, böylece özellikle soğan tadının ayrı değerlendirilebilmesi amaçlanmıştır (Şekil 3.17).

Soğan çorbası; Küçükyıldız Gözelce (2022) tarafından verilen tarife göre bazı revizyonlar yapılarak hazırlanmıştır. Soğan tozları tereyağında karıştırılarak kavrulmuş, un eklenip biraz daha kavrulduktan sonra süt eklenerek kaynatılmıştır. Rondodan geçirildikten sonra tuz-karabiber eklenmiş ve tadıma ılık olarak sunulmuştur (Şekil 3.18).

Panelistler (12 kadın, 1 erkek, 23-36 yaş aralığında) Tanımlayıcı Test ve Kabul Testine tabi tutulmuştur. Bu doğrultuda, duysal analiz iki aşamada gerçekleştirilmiştir: İlk aşamada panelistlere soğan çorbası, ikinci aşamada ise cips sosu örnekleri sunulmuş böylelikle hem duysal analize tabii tutulmuş ve hem de genel kabul edilebilirliği belirlenmiştir. Her panelistten, aşağıdaki özellikleri 1'den 4'e kadar değişen ölçekte tanımlamaları istenmiştir: renk (1 = 'beyaz'; 2 = 'açık sarı'; 3 = 'sarı'; 4 = 'diğer'), koku (1

= 'düşük'; 2 = 'orta'; 3 = 'güçlü'), keskinlik (1 = 'düşük'; 2 = 'orta'; 3 = 'çok keskin'), tatlı tat (1 = 'düşük'; 2 = 'orta'; 3 = 'çok tatlı'), soğan lezzeti (1 = 'düşük'; 2 = 'orta'; 3 = 'güçlü') ve her örneğin genel kabul edilebilirliği de 1 (hiç beğenmedim) ile 9 (çok beğendim) arasında değişen bir Hedonik ölçek üzerinde belirlenmiştir. Ayrıca duyusal analiz panelistlerinin sosyo-antropolojik özelliklerini ortaya koymak amacıyla duyusal analiz formuna bazı sorular eklenmiştir (Şekil 3.19) (Edith vd. 2018).



Şekil 3.13. Dip sos duyusal paneli



Şekil 3.14. Soğan çorbası malzemeleri ve duyusal paneli

Duyusal Analiz Formu					
Adı:					
Soyadı:					
Tarih:					
Aşağıdaki özellikleri belirtilen ölçeklere göre puanlayınız.					
Örnek Kodu					
Renk 1 = 'beyaz' 2 = 'açık sarı' 3 = 'sarı'; 4 = 'diğer'					
Koku 1 = 'düşük' 2 = 'orta' 3 = 'güçlü'					
Keskinlik (pungency) 1 = 'düşük' 2 = 'orta' 3 = 'çok keskin'					
Tatlı tat 1 = 'düşük' 2 = 'orta' 3 = 'çok tatlı'					
Soğan lezzeti 1 = 'düşük' 2 = 'orta' 3 = 'güçlü'					
Genel beğeni 1-9 aralığında (hiç beğenmedim-çok beğendim)					
Sosyo-antropolojik test	Uygun olan seçenek veya seçenekleri işaretleyiniz				
Soğan tüketim sıklığınız	her gün	haftada 4-5	haftada 1-3	hiç	
Soğan tüketimi	yemeklerde		çiğ olarak		
Soğan tozu tüketimi	var		yok		

Şekil 3.15. Duyusal analiz formu

3.2.10. Analizler

3.2.10.1. Su aktivitesi ve nem içeriği

Soğan tozlarının su aktivitesi ve nem içeriği sırasıyla 25°C'de bir su aktivitesi ölçer (Aqualab 4TE: Decagon Devices, Pullman, Washington, ABD) ve 105°C'de bir nem analizörü (Kern DBS 60-3, Balingen, Almanya) kullanılarak ölçülmüştür. Analizler, cihazların kullanım kılavuzlarına göre gerçekleştirilmiştir.

3.2.10.2. Esmerleşme indeksi

Esmerleşme indeksini (EI) hesaplamak için soğan tozlarının renk değerleri, aydınlatıcı D65 ile donatılmış bir tristimülüs kolorimetresi (CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümlerden önce kolorimetre, sırasıyla siyah ve beyaz kalibrasyon plakaları ile kalibre edilmiştir. Daha sonra toz numune, cihazın haznesine doldurulmuş ve ölçüm üç farklı noktada gerçekleştirilmiştir. EI, Hunter skala parametreleri olan L* (aydınlık-karanlık), a* (yeşillik-kırmızılık) ve b* (mavilik-sarılık) kullanılarak, Eşitlik 1 ve 2 ile hesaplanmıştır (Choi vd. 2017, Wrolstad ve Smith 2017):

$$EI = \frac{100(x - 0.31)}{0.17} \quad (1)$$

$$x = \frac{a + 1.75L}{5.645L + (a - 3.012b)} \quad (2)$$

3.2.10.3. Parçacık boyutu dağılımı

Soğan tozlarının parçacık boyutu analizleri lazer difraksiyon prensibi ile çalışan parçacık boyut analiz cihazı (Malvern, Mastersizer 2000SR, İngiltere) ve bu cihaza bağlanan toz modülü (Malvern Hydro 2000S, İngiltere) kullanılarak yapılmıştır (Hunter 2001, Walstra 2003, McClements 2004). Sonuçlar ise cihazın yazılımı (Malvern Application Ver. 5.60) yardımıyla hacim ağırlıklı ortalama çap (De Brouckere), hacim-yüzey ortalama çap (Sauter) ve açıklık (Span) olarak değerlendirilmiştir. Sauter ortalama çap değeri, aynı hacim/yüzey oranına sahip kürelerin (parçacıkların) ortalama çapını; açıklık değeri ise, belirli bir yığın içerisinde bulunan partiküllerin dağılımını ifade etmektedir. Burada hacim ağırlıklı ortalama çap, hacim-yüzey ortalama çap ve açıklık değeri sırasıyla Eşitlik 3,4 ve 5'e göre hesaplanmıştır.

$$D_{43} = (\sum n_i d_i^4) / (\sum n_i d_i^3) \quad (3)$$

$$D_{32} = (\sum n_i d_i^3) / (\sum n_i d_i^2) \quad (4)$$

$$Açıklık = \frac{[d(v.90) - d(v.10)]}{d(v.50)} \quad (5)$$

- D₄₃: Hacim ağırlık ortalama çap (µm)
 D₃₂: Sauter ortalama çap (µm)
 n_id_i: d_i çapına sahip n_i tane parçacık
 d(v.10): %10 kümülatif hacme sahip eşdeğer hacimsel çap (µm)
 d(v.50): %50 kümülatif hacme sahip eşdeğer hacimsel çap (µm)
 d(v.90): %90 kümülatif hacme sahip eşdeğer hacimsel çap (µm)

3.2.10.4. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akabilirlik değeri

Soğan tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri, 10 mL’lik mezür içerisine yaklaşık 1 g örneğin hava boşluğu kalmayacak şekilde ancak herhangi bir basınç uygulanmaksızın doldurulması ve kütle/hacim oranının belirlenmesi ile hesaplanmıştır. Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ise içerisinde örnek bulunan aynı mezürün tabanının 30 mm mesafeden 30 kez tezgâha hafifçe vurulmasıyla örneğin maksimum düzeyde sıkışması sağlanmış ve son hacim kaydedilmiştir. Sonuçlar g/cm³ olarak ifade edilmiştir (Bhandari vd. 1999)

Akabilirlik değeri yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerinden hesaplanan boyutsuz bir değer olup, Carr indeks (CI) olarak ifade edilmiştir (Carr 1965). Soğan tozlarının akabilirlik değerlerini hesaplamak amacıyla Eşitlik 6 kullanılmıştır.

$$CI = \left(\frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \right) * 100 \quad (6)$$

Eşitlikte; ρ_b örneklerin yığın yoğunluğu değerlerini (g/cm³), ρ_t sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerlerini (g/cm³) belirtmektedir.

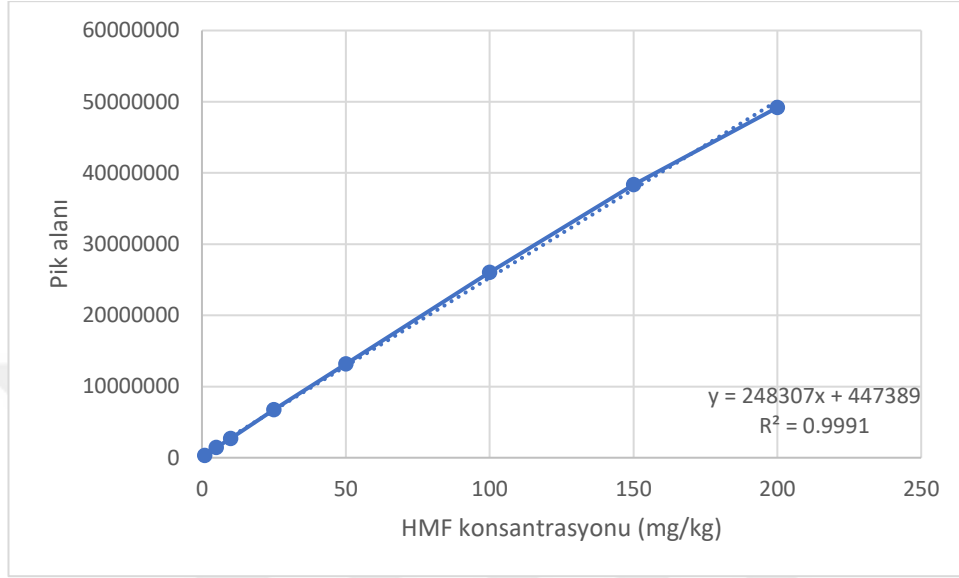
Carr (1965) yaptığı çalışmada, yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri üzerinden hesaplanan Carr Index (CI) değerlerini, 15’ten küçük olması durumunda çok iyi, 15-20 arasında ise iyi, 20-35 arasında ise zayıf, 35-45 arasında ise kötü ve 45’ten büyük ise çok kötü olarak belirtmiştir.

3.2.10.5. Hidroksimetilfurfural analizi

Örneklerin hidroksimetilfurfural (HMF) içerikleri Tontul (2017) tarafından kullanılan yöntemin modifiye edilmesiyle HPLC ile belirlenmiştir. Bu amaçla 1 g örneğe 10 mL saf su eklenmiş ve ultraturrex kullanılarak homojenize edilmiştir. Bu homojenat 10000 g’de 10 dk. santrifüj edildikten sonra 5 mL berrak kısımdan alınarak başka bir santrifüj tüpüne aktarılmış ve üzerine 0.5’er mL Carrez I ve Carrez II çözeltileri eklenmiştir. Aynı şartlarda tekrar santrifüj edilen karışımın berrak kısmı 0.45 µm membran filtreden süzöldükten sonra HPLC’de analiz edilmiştir. HPLC sistemi DGU-20A5 degaz ünitesi, LC-20AD pompa ünitesi, SIL-20AD otomatik örnekleyici, CTO-20AC kolon fırını ve SPD-20M20A diode array detektörden oluşmaktadır. Kolon sıcaklığı 32°C, akış hızı 0.6 mL/dk., enjeksiyon miktarı 20 µL, analiz süresi 20 dk, dalga boyu 280 nm olarak ayarlanmış ve mobil faz olarak asetonitril (%5) seçilmiştir. Sonuçlar, elde edilen pik alanları kullanılarak HMF çözeltileri ile oluşturulan standart eğri yardımıyla mg HMF/100 g kuru örnek ağırlığı cinsinden ifade edilmiştir (Şekil 3.13).

Carrez I çözeltisi: 150 g potasyum hekzasiyanoferrat (II) suda çözülür ve 1000 mL'ye tamamlanır.

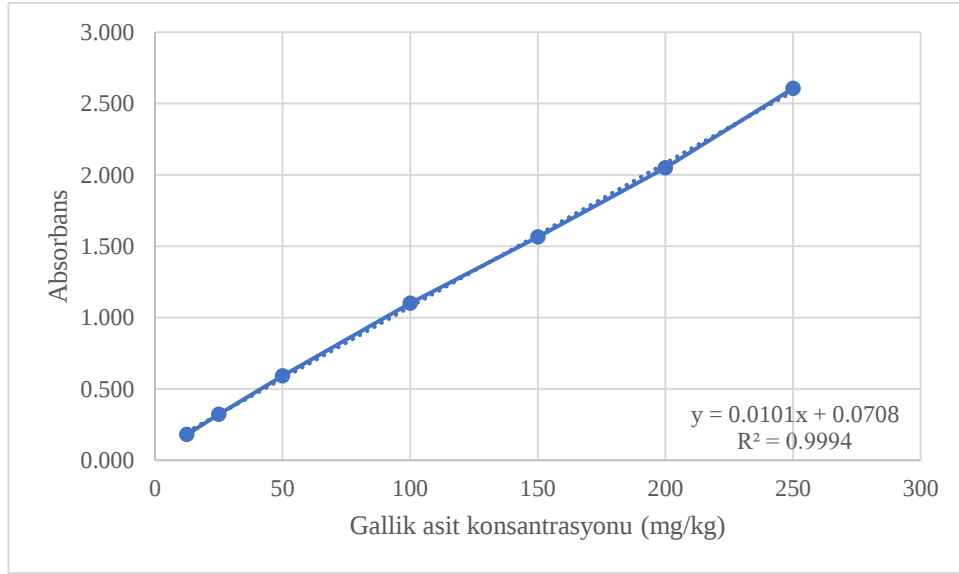
Carrez II çözeltisi: 300 g çinko sülfat heptahidrat suda çözülür ve 1000 mL'ye tamamlanır.



Şekil 3.16. Hidroksimetilfurfural standart eğrisi

3.2.10.6. Toplam fenolik madde analizi

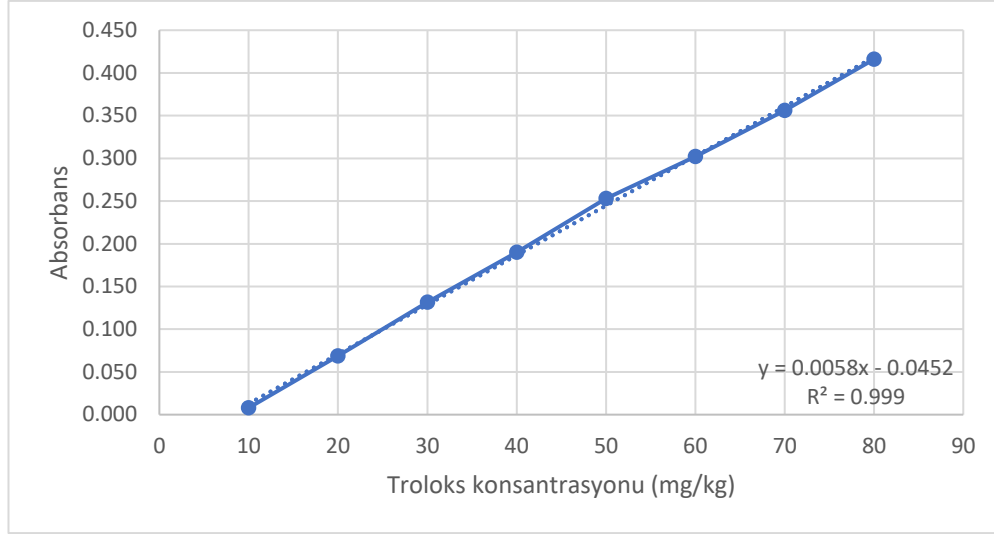
Toplam fenolik madde miktarın belirlenmesi amacıyla Dincer vd. (2012)'nin uyguladığı metoda göre örnekler uygun seyreltme faktörüne göre seyreltildikten sonra bu seyreltikten 0.5 mL tüplere aktarılmış, üzerine sırasıyla 2.5 mL 0.2 N Folin Cioceltau çözeltisi ve 2 mL Na₂CO₃ çözeltisi (%7.5) ilave edildikten sonra girdap karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra 50°C su banyosunda 5 dk. bekletilmiştir. Bu süre sonunda oda sıcaklığında soğutulularak, absorbansı aynı şartlarda ekstrakt yerine ekstraksiyon çözeltisi ile hazırlanmış köre karşı $\lambda=760$ nm dalga boyunda belirlenmiştir. Sonuçlar, elde edilen absorbans değerleri kullanılarak gallik asit çözeltileri ile oluşturulan standart eğri yardımıyla mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/100 g kuru örnek ağırlığı cinsinden ifade edilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.17. Gallik asit standart eğrisi

3.2.10.7. Antioksidan madde analizi

Toplam antioksidan aktivite tayininin belirlenmesinde DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radikalinin inhibisyonunu esas alan yöntem izlenmiştir. 1 g örneğin 25 mL %80'lik metanolde ultrasonik banyoda 25°C'de 60 dk boyunca sonikasyon işlemine tabii tutularak ekstrakte edilmiş(Velioglu vd. 1998), daha sonra bu ekstraktlar santrifüj tüpü içerisinde %80'lik metanol ile 10 kat metanol seyreltilmiştir. Seyreltilmiş örneklerden 50 µL alınıp üzerine taze hazırlanmış 950 µL DPPH çözeltisi (60 µM) ilave edilmiştir. Karışım vortekslendikten sonra karanlıkta ve oda sıcaklığında 30 dk. bekletilmiştir. DPPH çözeltisinin absorbansı bekleme süresinin başında saf metanole karşı 517 nm dalga boyunda okunmuştur. 30 dk. inkübasyon sonrası örneklerin absorbans ölçümü yapılarak DPPH çözeltisinin absorbansına göre farkları hesaplanmıştır. Örneklerin antioksidan aktivitesi farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış troloks çözeltisi ile elde edilen eğri (Şekil 3.15.) yardımıyla g troloks eşdeğer aktivite/100g kuru örnek ağırlığı cinsinden hesaplanmıştır.

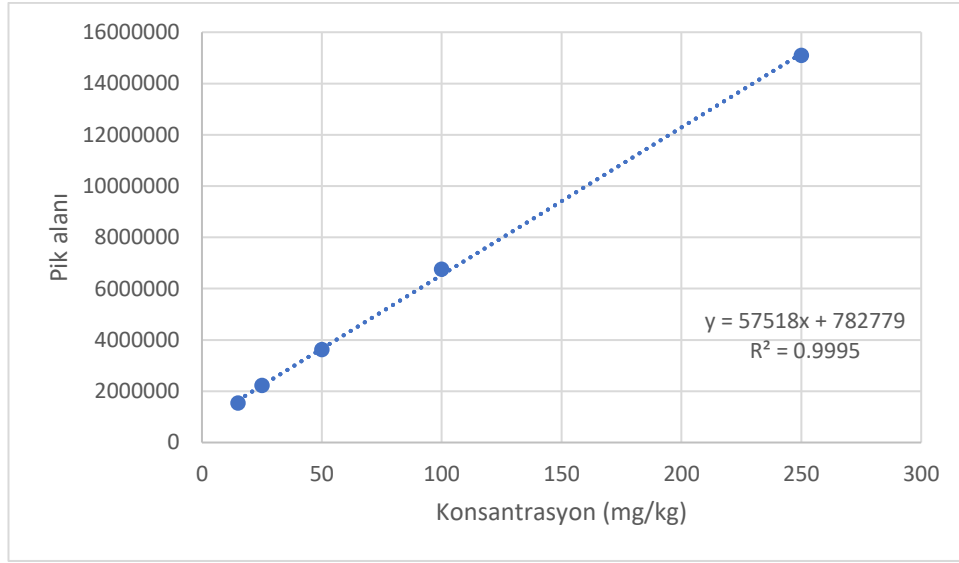


Şekil 3.18. Troloks standart eğrisi

3.2.10.8. Kuersetin analizi

Soğan tozundan 0.3 gram, 30 mL 1.2 N HCl (50:50 metanol-su) çözeltisi ile karıştırılmış ve Ultra-Turrax cihazı kullanılarak 10,000 rpm hızında 2 dakika boyunca homojenize edilmiştir. Çözeltinin hidrolizi için 90°C'de 60 dakika ısıtılmış, ardından hemen buz banyosunda 15 dakika süreyle soğutulmuştur. Numune, 0.45 µm'lik bir PTFE filtre ile filtre edilmiş ve HPLC sistemine enjekte edilmiştir. 15 ile 250 ppm arasında değişen kuersetin standart çözeltileri saf metanol çözeltisinde hazırlanmış ve standart eğri oluşturmak için kullanılmıştır (Lee vd. 2015).

Tüm ekstraktların HPLC analizi, çözücü besleme sistemi, otomatik numune alma cihazı ve 370 nm'ye ayarlanmış bir diyot dizi dedektörü (DAD) ile donatılmış bir HPLC sistemi (Shimadzu LC20 AD, Japonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kuersetin, C18 tipi bir koruyucu kolon Phenomenex (Torrance, CA, ABD) ile korunan ve parçacık boyutu 5 µm olan bir LiChrospher 100 R-18 kolonunda (250 mm × 4 mm) (Merck, Darmstadt, Almanya) ayrılmıştır. Kolon sıcaklığı 25°C'de sabit tutulmuştur. Mobil faz, suda hazırlanmış %0.1 triflorasetik asit (TFA) (çözelti A) ve metanolden (çözelti B) oluşmuştur. 0-10 dakika, %20 B; 10-15 dakika, %20-80 B; 15-22 dakika, %80-20 B gradient elüsyon programı kullanılmıştır. Akış hızı 1 mL/dak ve enjeksiyon hacmi 10 µL olarak ayarlanmıştır (Sharma vd. 2014). Kuersetin miktarı, pik alanının ilgili kuersetin standart kalibrasyon eğrisi ile karşılaştırılmasıyla hesaplanmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.19. Kueretin standart eğrisi

3.2.10.9. Uçucu bileşiklerin SPME kullanılarak ekstraksiyonu ve GC-MS ile analizi

Taze soğanın ve soğan tozlarının uçucu bileşiklerini ekstrakte etmek için SPME (Katı Faz Mikroekstraksiyon) aparatı, bir SPME fiberi ve tutucusu (Supelco, Pennsylvania, ABD) kullanılmıştır. Yaklaşık olarak 2.7 g dilimlenmiş taze soğan, 5 g taze soğan püresi ve 1 g soğan tozu örneği tartılarak (taşıyıcı eklenmiş örnek üzerine 10 mL su ile) PTFE septum ile kapatılmış 15 mL cam vialle yerleştirilmiştir. Uçucu bileşikler absorbe etmek için 50:30 µm DVB/CAR/PDMS SPME fiber (2cm) (Supelco, Pennsylvania, ABD) kullanılmıştır. İnkübasyon, 50°C'de ve 250 rpm karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. SPME işlemi 15 dakikalık ön ısıtma ve 30 dakikalık inkübasyon süreci ile başlatılmış, ardından başlangıç koşullarına dönmek ve dengelemek için ek 3 dakika daha eklenmiştir. Son olarak, SPME fiber üzerindeki uçucu bileşikler, GC-MS analizi için 4 dakika boyunca 250°C'de desorbe edilmiştir.

Taze soğan ve soğan tozu örneklerinin uçucu bileşikler, kütle spektrometresi ile donatılmış bir gaz kromatografi (GC/MS) (QP 2000, Shimadzu, Japonya) ve otomatik örnekleyici (Combi PAL, CTC Analytics, İsviçre) kullanılarak kromatografik olarak analiz edilmiştir. Uçucu bileşiklerin ayrımları, TRB5-MS (30 m x 0.25 mm iç çap x 0.25 mm film kalınlığı) kolonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı gaz olarak %99.99 saflıkta helyum, 1 mL/dk. sabit akış hızında kullanılmıştır. Sistem, 70 eV'de elektron darbe iyonizasyon modunda çalışarak 30 amu ile 500 amu arasındaki kütle aralığını taramıştır. Kolon sıcaklık programı şu şekilde ayarlanmıştır: 2 dakika boyunca 40°C, ardından 40°C'den 250°C'ye 5°C/dk. hızında artırılmış ve 250°C'de 10 dakika bekletilmiştir. Enjektör sıcaklığı 250°C'de tutulmuştur. Analiz 1:5 split modunda gerçekleştirilmiştir (Gao vd. 2019). Uçucu bileşikler, kütle spektral verilerinin; Wiley 10 ve NIST kütüphaneleri ile karşılaştırılması ve tutulma indeksleri üzerinden tanımlanmıştır. Optimizasyon çalışması için seçilen her bileşiğin pik alanı kullanılmıştır.

3.2.10.10. İstatistiksel analizler

KD-KPK optimizasyonu Design Expert 13 yazılımı (Stat-Ease Co., ABD) kullanılarak üç faktörlü bir optimizasyon test modeli olan Box–Behnken tasarımını takip edilerek ve yanıt yüzey metodolojisiyle gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı kompozisyonu optimizasyonu ise yine aynı paket program yardımıyla Karışım Optimal tasarımı kullanılarak yapılmıştır. Optimum verilerle ve farklı kurutma yöntemleriyle elde edilen ürünlerde gerçekleştirilen analizlerin sonuçları SAS 9.0 (Statistical Analysis System) paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş ve önemli bulunan farklılıklar t-testi ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile ortaya koyulmuştur. Üretimler tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve analizler paralelli olarak yapılmıştır.



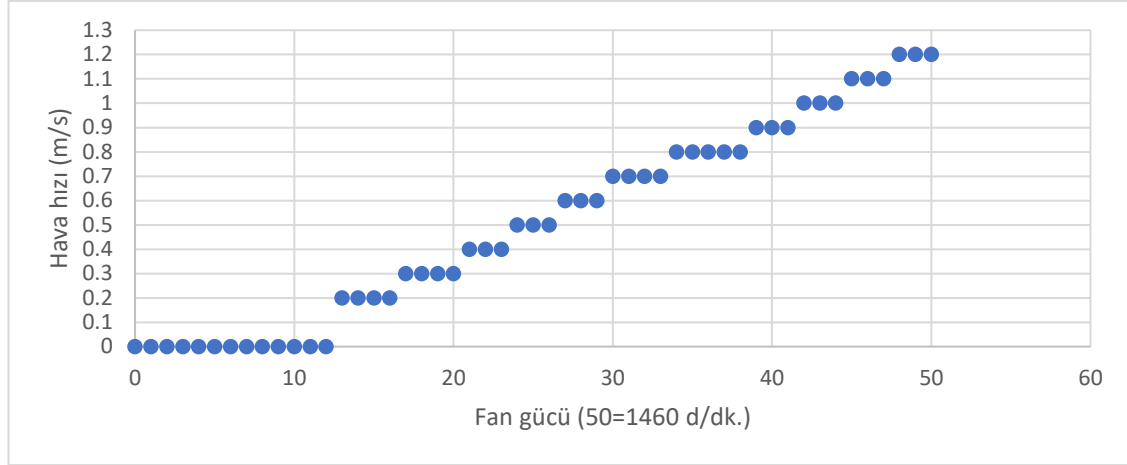
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kırınım Pencereli Kurutma Sisteminin Modifikasyonu

Mevcut laboratuvar tipi kırınım pencereli kurutma (KPK) sistemi (Tontul ve Topuz 2017) (Şekil 3.1); kızılötesi lamba, pirometre ve salyangoz tipi fan ile çalışan bir havalandırma sistemi ile modifiye edilmiştir (Şekil 3.3). Pirometre, ürünün yüzey sıcaklığına göre kızılötesi lambanın gücünü otomatik olarak ayarlamak için kullanılmış ve lamba ile pirometre arasındaki iletişim PID ısı kontrol cihazı ile sağlanmıştır. Kızılötesi lamba, Mylar film yüzeyinin 30 cm üzerine monte edilmiş ve film yüzeyindeki homojen ısı dağılımı, el tipi bir termal kamera (NOYafa Nf 521) kullanılarak doğrulanmıştır (Şekil 4.1). Yeni havalandırma sistemi tarafından ürün yüzeyinde oluşturulan hava akışı, bir anemometre (Extech Instruments Hydro Thermo-anemometer HD300) ile ölçülmüş ve seçilen her fan hızının ürettiği hava akışının hızı grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.2). Fan gücü 12'yi aşana kadar 0 (sıfır) m/s olarak grafik edilen hava hızı, anemometrenin ölçüm limitlerinin altında bir hava hızı olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.1. Film yüzeyinde homojen sıcaklık dağılımını gösteren görüntüler; normal kamera görüntüsü, termal kameranın "beyaz mod" ve "gökkuşağı mod" ayarları ile çekilen görüntüler (sırasıyla)



Şekil 4.2. Fan gücüne karşılık hava hızı grafiği

4.2. Soğan Püresinin Kurutma Koşullarının Optimizasyonu

Optimizasyon çalışması için, Yanıt Yüzey Metodolojisi Box-Behnken deney tasarımı kullanılmış olup, bağımsız değişkenler olarak KPK banyosundaki sirkülasyon suyu sıcaklığı (SSS) (75-95°C), püre yüzey sıcaklığı (PYS) (30-40°C) ve havalandırma sisteminin hava hızı (HH) (0-1.2 m/s) seçilmiştir. İstenilen aroma bileşen miktarı (İAB) (maksimum toplam alan), istenmeyen aroma bileşen miktarı (İMAB) (minimum toplam alan), kuersetin içeriği (K) (maksimum), esmerleşme indeksi (Eİ) (minimum) ve kurutma süresi (t) (minimum) bağımlı değişkenler olarak ölçülmüş ve bu sonuçlar üzerinden optimizasyon gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.1 ve Ek 1). Bağımsız değişkenlerin sınır değerleri belirlenirken literatür ve ön deneme verileri dikkate alınmıştır. Sirkülasyon suyu sıcaklığının minimum değeri, enzimin hızlı bir şekilde inaktive edilmesini sağlamakla kalmayıp aynı zamanda kurutma süresini önemli ölçüde uzatmayacak veya aşırı esmerleşmeye neden olmayacak en düşük sıcaklık olarak seçilmiştir; maksimum değer ise cihaz tarafından ulaşılabilecek en yüksek sıcaklık olarak seçilmiştir. Püre yüzey sıcaklığının sınır değerleri, ön denemelerde en kısa ve en uzun kurutma süreleri sırasında püre yüzeyinin ulaşabileceği minimum ve maksimum değerlere göre seçilmiştir. Böylece, minimum yüzey sıcaklığında yapılan deneylerde IR lamba neredeyse kurutma sırasında aktif olmazken; maksimum yüzey sıcaklığında yapılan deneylerde püre yüzeyi zaten sıcak olduğu için kurutmanın başlangıcında IR lamba devreye girmemiştir. Ancak, zamanla nem içeriğinin azalmasıyla konvektif ısı transferi yavaşladıkça ve dolayısıyla püre yüzeyinin sıcaklığı düştükçe, IR lambanın devreye girdiği gözlemlenmiştir. Kurutmanın sonuna doğru, maksimum yüzey sıcaklığına yaklaşıldıkça, PID tarafından lamba gücü %8 seviyesinin altına düşürülmüştür. Sonuç olarak, manuel kontrollü kızılötesi destekli sistemlerden farklı olarak, lamba gücü yüzey sıcaklığına bağlı olarak kontrol edilebilmiş, böylece hem nemin difüzyonunu engelleyen bir kabuk oluşumu önlenmiş ve hem de kurutma süresi boyunca sabit ve yüksek güçte çalışan IR lambanın ani esmerleşmeye ve yanmış aroma oluşumuna neden olması engellenmiştir. Yeni entegre edilen havalandırma sisteminin kurutma üzerindeki etkisini göstermek amacıyla, havalandırma sistemi kapalı iken deneyler yapılmış ve hava akış hızı test ekipmanının en alt ölçüm sınırı dışına çıktığı için film yüzeyine paralel hava akış hızı minimum 0 m/s olarak kaydedilmiştir. Maksimum hava hızı ise fan maksimum güçte çalıştığında elde edilen 1.2 m/s olarak seçilmiştir.

Toplam aromayı bağımlı değişken olarak değerlendirmek yerine istenilen ve istenmeyen aromaların ayrı ayrı değerlendirilmesinin nedeni, soğandaki sadece bazı kükürtlü ve kükürtsüz uçucu bileşiklerin lezzete ve genel tercihe olumlu katkıda bulunması; diğerlerinin ise aroma-aktif olmaması, yüksek eşik değerlerine sahip olması veya aroma üzerinde olumsuz etkiler yaratmasıdır (Freeman ve Mossadeghi 1970, Gocmen vd. 2004, Colina-Coca vd. 2013, Kebede vd. 2014, Villière vd. 2015, Choi vd. 2017, Koutidou vd. 2017). Soğan tozlarında belirlenen kükürtlü uçucu bileşikler ve literatürde aromaya olumlu ve olumsuz katkılar sağladığı bildirilen bileşenler ve dolayısıyla optimizasyonda değerlendirilen bileşenler Çizelge 4.2'de verilmiştir.



Çizelge 4.1. Kurutma optimizasyonu için kullanılan Box-Behnken deney tasarımı ve yanıtlar

Deneme No	SSS (°C)	PYS (°C)	HH (m/s)	İAB (Alan)	İMAB (Alan)	K (mg/g)	Eİ	t (dk.)
1	85	40	1.2	9.10E+06	5.01E+06	3.91175	22.2112	12
2	85	35	0.6	5.80E+06	2.66E+06	3.04495	22.6305	14
3	85	30	0	9.37E+06	1.77E+06	3.51921	21.0468	18
4	95	35	0	7.84E+06	1.17E+06	3.97665	34.4239	15
5	95	30	0.6	1.52E+07	2.43E+06	2.26687	37.6906	16
6	85	40	0	9.52E+06	1.99E+06	2.38443	22.6137	15
7	85	35	0.6	8.79E+06	3.53E+06	2.30326	23.6641	15
8	75	30	0.6	7.64E+06	6.22E+06	2.66855	18.0445	23
9	75	40	0.6	7.61E+06	5.23E+06	3.50382	22.1291	21
10	85	35	0.6	1.13E+07	2.29E+06	2.30326	18.8923	14
11	95	35	1.2	1.71E+07	5.17E+06	5.02867	32.0965	10
12	75	35	0	1.04E+07	3.41E+06	4.08835	20.7306	24
13	85	35	0.6	1.13E+07	2.29E+06	2.30326	18.8923	14
14	75	35	1.2	9.32E+06	8.25E+06	4.65401	21.6259	22
15	95	40	0.6	1.18E+07	2.23E+06	2.91125	32.188	8
16	85	35	0.6	1.28E+07	3.18E+06	2.85	25.6989	14
17	85	30	1.2	1.38E+07	5.71E+06	4.85872	22.2051	15

Değişkenlerin ikili etkileşimlerini gösteren üç boyutlu yüzey grafikleri Design Expert yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Beş değişkenin yanıt üzerindeki etkisi Şekil 4.3-7'de gösterilmiştir. Her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri, orta noktasında sabit tutulmuştur. Çizelge 4.3'te sunulan istatistiksel analize göre, İAB'i etkileyen ($P < 0.05$) faktörler SSS ve SSS ile HH'nın etkileşimi olarak belirlenmiştir. Şekil 4.3a-c'de verilen üç boyutlu yüzey grafiklerine göre, sabit hava akışı altında, İAB, püre yüzey sıcaklığı ve sirkülasyon suyu sıcaklığı arttıkça artmaktadır (Şekil 4.3a). Sonuç olarak, sirkülasyon suyu sıcaklığı ve hava hızının en yüksek olduğu noktada İAAC de yüksektir (Şekil 4.3b). Sabit (orta nokta) sirkülasyon suyu sıcaklığında, püre yüzey sıcaklığından bağımsız olarak, hava hızı arttıkça İAB artmaktadır (Şekil 4.3c). İMAB; SSS, HH ve bunların kendi aralarındaki etkileşimlerinden etkilenmiştir ($P < 0.05$). SSS ve HH'ndaki artış, İMAB oluşumuna yol açmış, ancak PYS bunun üzerinde etkili olmamıştır (Şekil 4.4a-c). PYS, K üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ($P < 0.05$). Sabit PYS ve SSS değerlerinde; K, HH'nın orta noktasında en düşük değerine inmiş ve en yüksek HH seviyesinde maksimum değerine ulaşmıştır (Şekil 4.5a-b). Kurutulmuş ürünlerdeki önemli değişimlerden biri de enzimatik ve kimyasal reaksiyonlar tarafından tetiklenen esmerleşmedir. Kurutulmuş ürünlerin Eİ değeri, kalite ile yakından ilişkili olduğu için optimizasyon yanıtlarından biri olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, örneklerin Eİ değerleri yalnızca SSS ve kendisiyle etkileşiminden etkilenmiştir ($P < 0.05$). SSS'nın üst sınırında esmerleşme en yüksek seviyeye ulaşmıştır (Şekil 4.6a-c). SSS x HH, PYS x HH ve PYS x PYS etkileşimleri hariç, tüm değişkenlerin kurutma süresi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Şekil 4.7a-c incelendiğinde, kurutma süresi, sabit bir PYS'nda SSS ve HH tarafından belirlenmiştir. Beklendiği gibi, SSS düşüldükçe kurutma süresi artmış, PYS ve HH değişiminde neredeyse sabit kalmıştır.

Çizelge 4.2. Soğan tozlarında GC-MS ile tespit edilen bazı istenen/istenmeyen uçucu kükürtlü/kükürtsüz bileşikler

RI			
TRB5-MS	Sülfürlü uçucu bileşenler	Koku tanımları	Kaynak
695	Dimetil sülfid	Sülfürlü	d,f
719	3-Metil bütanal	Aldehidik	d
723	2-Metil bütanal	Findıksı, yanık, soğan	f
758	Dimetil disülfid	Sülfürlü, tatlı, soğan	a,f
766	Metiltiyoetanal		
846	3,4-Dimetil tiyofen	Kavrulmuş soğan	d
853	2,5-Dimetil tiyofen	Taze soğan,	g,f
878	3-(Metiltiyo)-propanal,		
886	Metil-2-propenil disülfid		
900	Trans-Propenil metil disülfid		
919	1-(Etiltiyo)-2-metil-1-propen		
930	Dimetil trisülfid	Alliace familyasına ait	f
1009	Trans-2-Etil-3-metiltiyofen		
1032	Di-2-propenil tetrasülfid		
1061	2-Merkapto-3,4-dimetil-2,3-dihidrotiyofen		h,b
1066	Metil 2-propenil trisülfid		d
1076	Metil propil trisülfid		
1066	Allil metil trisülfid	Sülfürlü	d
1084-1088	Allil metil sülfid		
1127	Dimetil tetrasülfid		
1230	3,3'-Tiyobis-1-propen		
1267	Metil 2-propenil disülfid		
1290	3,5-Dietil- 1,2,4-Tritiyolan		
1406	4,6-Dietil-1,2,3,5-tetratiyolan		k
1414	1-Propil-2-(4-tiyohept-2-en-5-yl)disülfid		
	İstenmeyen aroma bileşenler		
698	<i>2-Metil propanal</i>	Keskin, istenmeyen	d,f
792	<i>Hekzanal</i>	Yeşil çimensi	f
817	<i>2-Metil-2-pentanal</i>	Yeşil çimensi, bitkisel, yeşil kaju	f

Kalın ve italik harflerle yazılan bileşikler sırasıyla İAB ve İMAB olarak optimizasyonda değerlendirilmiş olanlardır. Tanımlanan tüm uçucu bileşikler tabloda gösterilmemiştir.

a: (Cha vd. 1998)

b: (Lili vd. 2022)

c: (Gao vd. 2019)

d: (Villière vd. 2015)

e: (Gocmen vd. 2004)

f: (Choi vd. 2017)

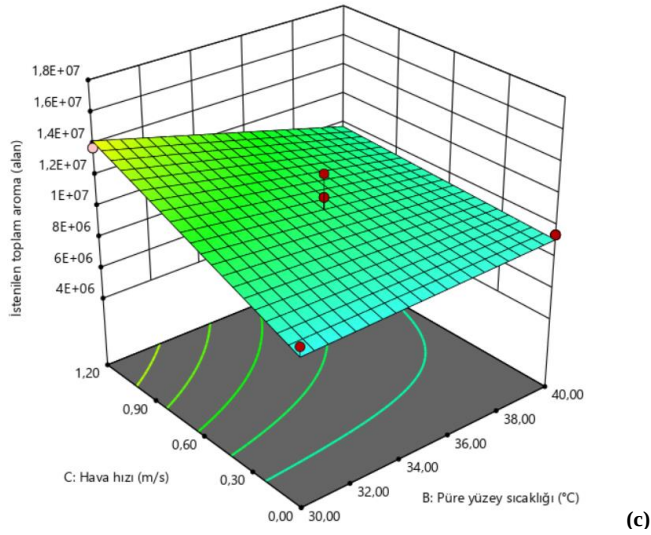
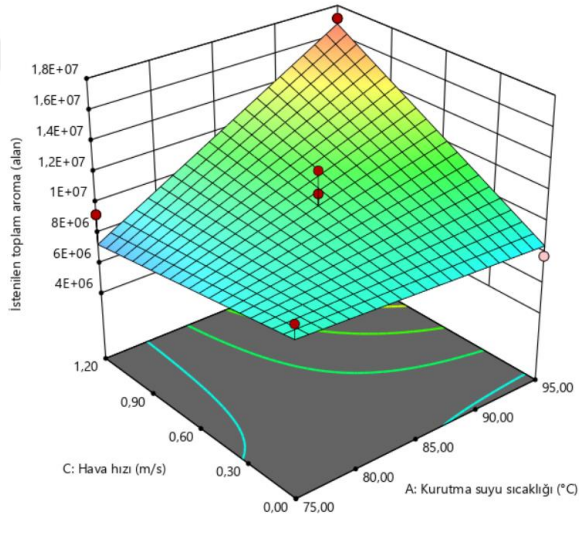
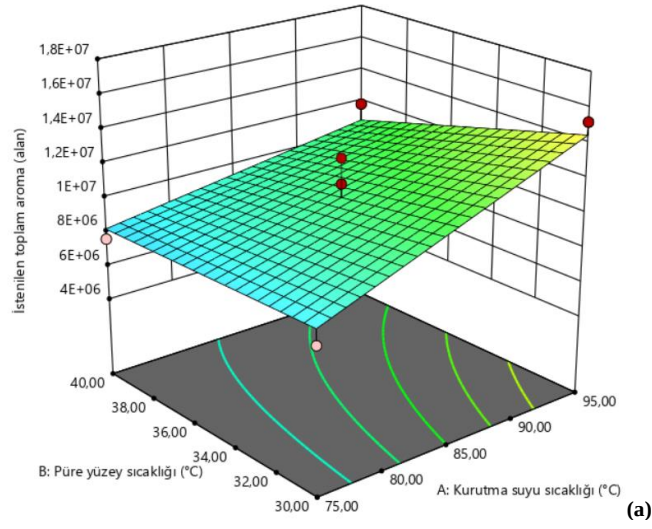
g: (Koutidou vd. 2017)

h: (Liu vd. 2022)

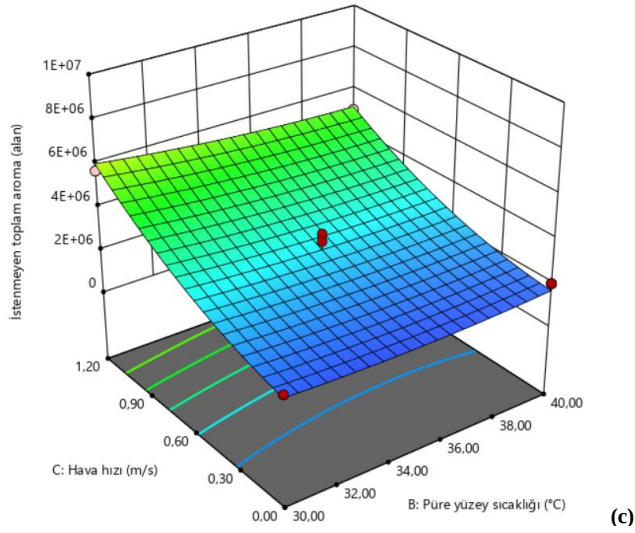
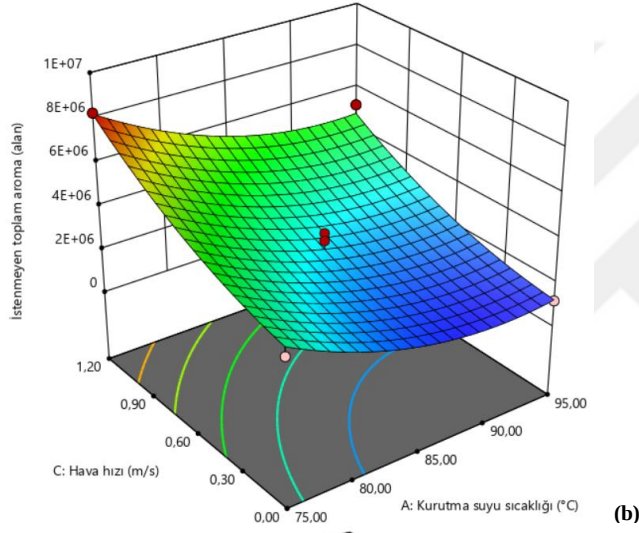
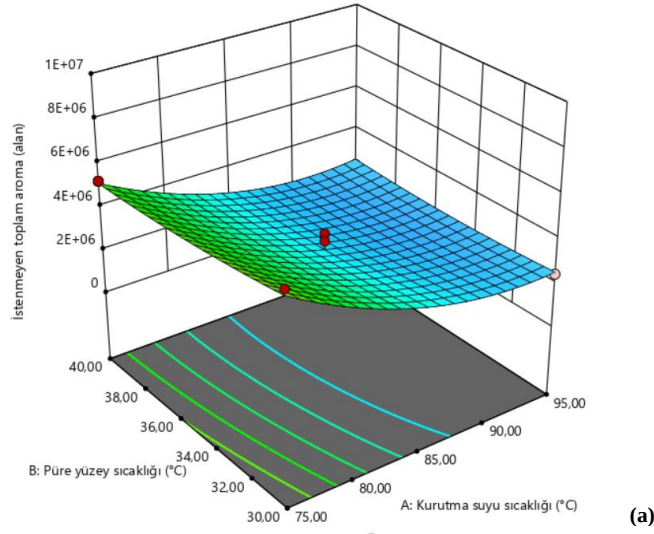
Çizelge 4.3. Yanıt yüzey yönteminde kullanılan modelin denklem katsayıları

		İAB		İMAB		K		EI		t	
		2FI		Kuadratik		İndirgenmiş Kuadratik		Kuadratik		Kuadratik	
		Katsayı	P değeri	Katsayı	P değeri	Katsayı	P değeri	Katsayı	P değeri	Katsayı	P değeri
β_0	Sabit	1.05E+07	0.0261*	2.79E+06	0.0002*	2.46	0.0004*	21.96	0.0035*	14.2	< 0.0001*
β_1	SSS	2.14E+06	0.0137*	-1.51E+06	< 0.0001*	-0.0914	0.6068*	6.73	0.0001*	-5.12	< 0.0001*
β_2	PYS	-9.98E+05	0.1936*	-2.09E+05	0.3055*			0.0194	0.9827	-2	< 0.0001*
β_3	HH	1.53E+06	0.0578*	1.98E+06	< 0.0001*	0.5606	0.0071*	-0.0845	0.9247	-1.63	0.0002*
β_{12}	SSSxPYS	-8.33E+05	0.4295*	1.99E+05	0.4809*			-2.4	0.0903	-1.5	0.0027*
β_{13}	SSSxHH	2.59E+06	0.0284*	-2.11E+05	0.455*			-0.8057	0.5303	-0.75	0.0573*
β_{23}	PYSxHH	-1.22E+06	0.2558*	-2.33E+05	0.4122*			-0.3902	0.7585	0	10.000*
β_{11}	SSSxSSS			1.06E+06	0.0048*	0.5096	0.0536*	5.38	0.0027*	2.77	< 0.0001*
β_{22}	PYSxPYS			1.77E+05	0.5181*			0.1787	0.8848	0.025	0.9402*
β_{33}	HHxHH			6.50E+05	0.0412*	1.34	0.0001*	-0.1151	0.9256	0.775	0.0468*
R^2	Düzenlenmiş R^2	0.7068	0.5309	0.9664	0.9232	0.8017	0.7356	0.9247	0.8278	0.9903	0.9778
YH	Tahmini R^2	7.2746	0.3987	17.0127	0.7579	9.4306	0.5886	9.7539	0.7374	30.3696	0.8813
	Uyumsuzluk		0.9414		0.532		0.2224		0.8882		0.1171

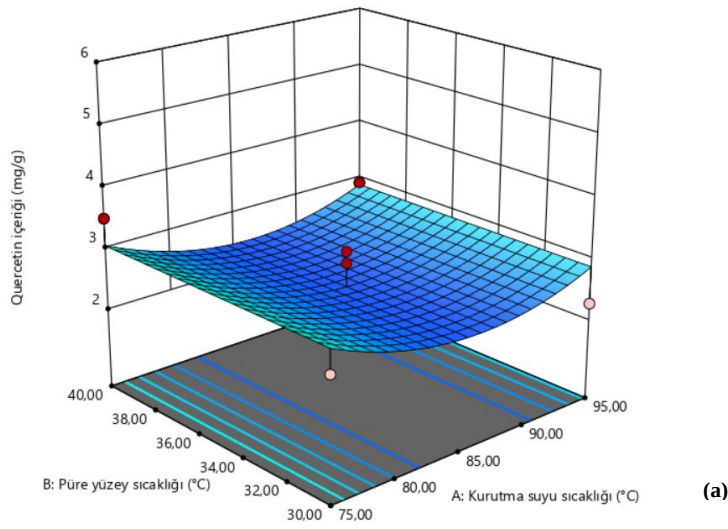
*P<0.05 düzeyinde istatistiksel farklılığı belirtmektedir



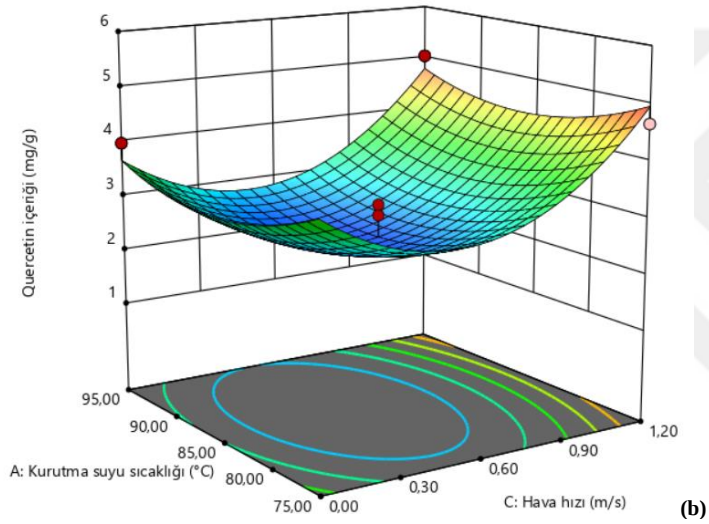
Şekil 4.3. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, püre yüzey sıcaklığının ve hava hızının istenen aroma bileşen miktarına etkisi (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri sabit olarak orta noktasında tutulmuştur)



Şekil 4.4. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, püre yüzey sıcaklığının ve hava hızının istenmeyen aroma bileşen miktarına etkisi (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri sabit olarak orta noktasında tutulmuştur)

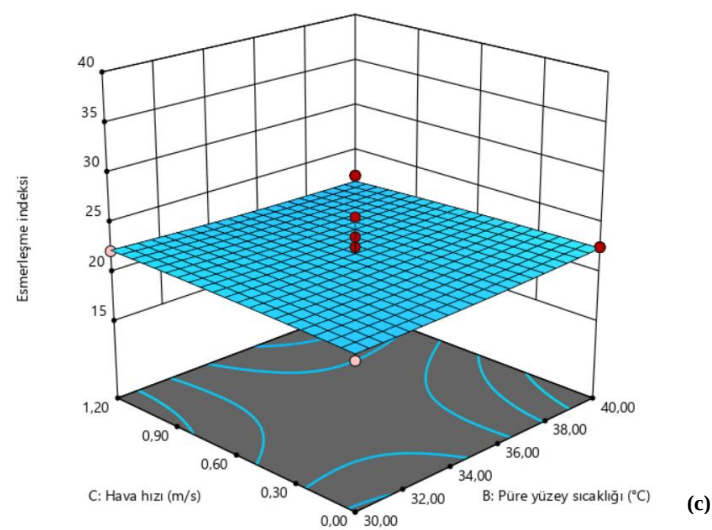
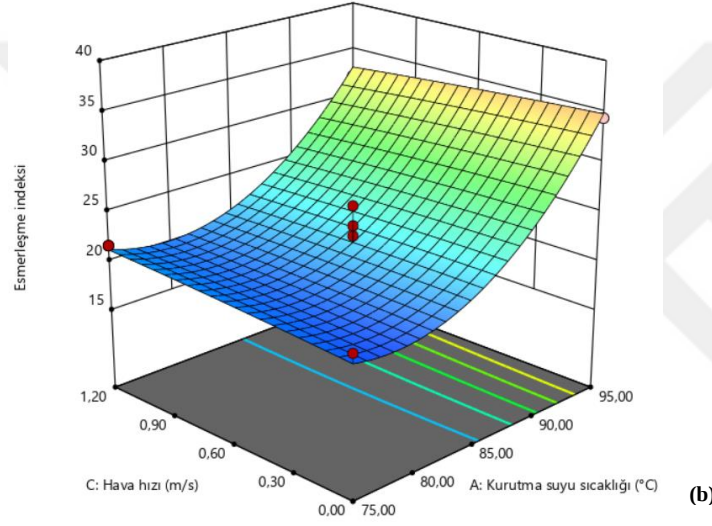
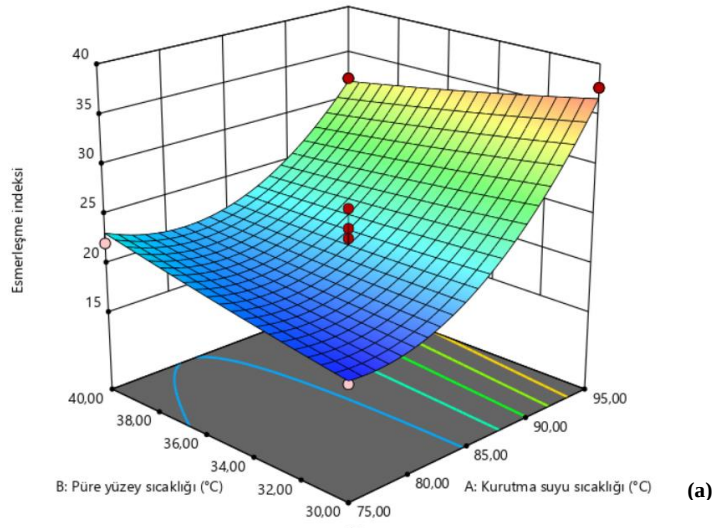


(a)

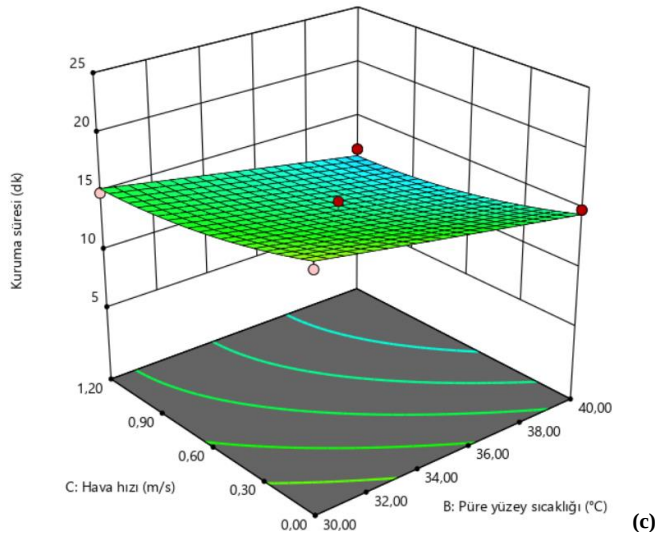
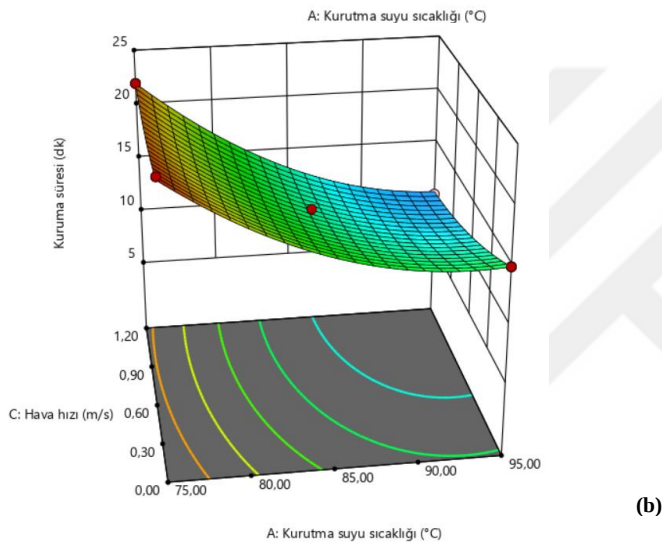
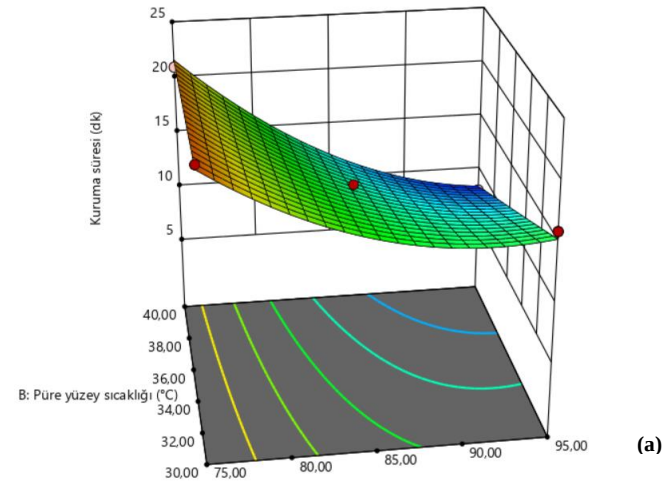


(b)

Şekil 4.5. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, püre yüzey sıcaklığının ve hava hızının kuersetin içeriği üzerine etkisi (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri sabit olarak orta noktasında tutulmuştur)



Şekil 4.6. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, püre yüzey sıcaklığının ve hava hızının esmerleşme indeksi üzerine etkisi (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri sabit olarak orta noktasında tutulmuştur)



Şekil 4.7. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, püre yüzey sıcaklığının ve hava hızının kuruma süresi üzerine etkisi (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri sabit olarak orta noktasında tutulmuştur)

Uyumsuzluk değerleri 0.05'ten büyük çıkarak göstermiştir ki; 2FI, indirgenmiş quadratic ve quadratic modeller deneysel verilere uyum göstermiştir. Analiz edilen verilere göre, istatistiksel olarak anlamlı faktörler en yüksek istenebilirliğe sahip fonksiyonu (D) hesaplamak için eşitliğe dahil edilmiştir. Etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunduğu için, istenirlik fonksiyonu tüm yanıtlara uygulanmıştır. Bu teknikle, ilk olarak her yanıt için bireysel istenirlik fonksiyonları hesaplanmıştır. Daha sonra değişkenler, eşitlik 7'de gösterildiği gibi genel tasarımın istenirliğini maksimuma çıkaracak şekilde seçilmiştir.

$$D = (d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdot \dots \cdot d_m)^{1/m} \quad (7)$$

m, yanıt sayısını göstermektedir.

PKKD-KPK kurutma sisteminin optimum kurutma koşulları; 89.71°C sirkülasyon suyu sıcaklığı, 30°C püre yüzey sıcaklığı ve 1.2 m/s hava hızı olarak belirlenmiştir. Optimum kurutma koşulları ve karşılık gelen istenebilirlik faktörü, Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4. PKKD-KPK kurutma sisteminin optimum kurutma koşulları

	Minimum	Optimum	Maksimum
Sirkülasyon suyu sıcaklığı (°C)	75	89.71	95
Püre yüzey sıcaklığı (°C)	30	30.00	40
Hava hızı (m/s)	0	1.20	1.2
İstenilen aroma bileşen miktarı (Alan)	5.80E+06	1.69E+07	1.71E+07
İstenmeyen aroma bileşen miktarı (Alan)	1.17E+06	5.37E+06	8.25E+06
Kuersetin miktarı (mg/g)	2.27	4.43	4.86
Esmerleşme indeksi	18.04	27.40	37.69
Kuruma süresi (dk.)	8	13.93	23
İstenebilirlik (%)	-	0.734	-

4.3. Taşıyıcı Kompozisyonu Optimizasyonu

Modifiye edilen kurutucu için belirlenen optimum koşullarda taşıyıcı eklenmiş pürenin kurutulması için taşıyıcı madde kompozisyonu optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon çalışması Design-Expert sürüm 13 yazılımı (Design-Expert for Windows, Stat-Ease Inc., ABD) kullanılarak Karışım Optimal Deneysel tasarımıyla yürütülmüştür. Püre kuru maddesinin %50'si kadar (4 g) taşıyıcı eklenecek şekilde bileşenler: β -siklodekstrin (0-1 g), Na-aljinat (0-1 g), Maltodekstrin (0-4 g) ve Arap gamı (0-4 g) olarak seçilmiştir. Taşıyıcı malzemelerin sınır değerlerine literatür bilgileri ve yapılan ön denemeler ışığında karar verilmiştir (F. Gibbs 1999, McClements 2004, Desai ve Jin Park 2005, Jafari ve Rashidinejad 2021). Bağımlı değişkenler ise İAB kazanımı (maksimum toplam alan), İMAB salınımı (minimum toplam alan), K miktarı (maksimum), Eİ (minimum) ve t (minimum) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.5). Tüm örnekler, 3.5 ± 0.5 son nem içeriğine ulaşana kadar kurutulmuş olup, kuruma süreleri kaydedilmiştir.

Çizelge 4.5. Taşıyıcı kompozisyonu için kullanılan Karışım Optimal Deneme Deseni ve sonuç verileri

Deneme No	Taşıyıcı kompozisyonu				Bağımlı Değişkenler				
	β -cyclodextrin	Na-alginate	Maltodextrin	Gum Arabic	İAB kazanımı (Aan)	İMAB salınımı (Alan)	K (mg/g)	Eİ	t (dk.)
1	0.00	0.00	2.90	1.10	7.65E+07	2.66E+06	2.12246	23	23
2	0.00	0.00	0.95	3.05	6.72E+07	3.14E+06	2.93519	28	22
3	0.54	0.52	2.94	0.00	3.61E+07	2.31E+07	1.05916	27	35
4	0.00	0.00	0.00	4.00	8.22E+07	2.74E+06	1.20676	27	18
5	0.00	0.48	1.57	1.96	4.82E+07	7.01E+06	0.70543	30	33
6	0.54	0.52	2.94	0.00	3.47E+07	2.43E+07	1.16977	26	35
7	0.00	0.48	1.57	1.96	5.23E+07	8.14E+06	0.738652	31	33
8	0.39	0.94	0.00	2.67	4.34E+07	3.15E+07	0.744309	30	38
9	0.45	0.00	1.63	1.92	4.28E+07	3.66E+06	1.03543	21	16
10	1.00	0.90	0.57	1.53	4.04E+07	3.28E+07	1.75606	34	38
11	1.00	0.00	2.13	0.87	2.83E+07	8.37E+06	2.1366	20	24
12	0.39	0.94	0.00	2.67	4.96E+07	2.69E+07	0.48112	29	38
13	0.54	0.52	2.94	0.00	3.54E+07	2.37E+07	0.543337	27	35
14	0.00	1.00	3.00	0.00	8.28E+07	7.50E+06	1.37397	31	29
15	0.00	0.00	4.00	0.00	8.63E+07	7.24E+06	0.884659	21	20
16	0.99	0.31	0.00	2.69	3.56E+07	1.20E+07	0.868083	32	33
17	0.45	0.00	1.63	1.92	4.54E+07	3.47E+06	0.974737	20	17
18	0.00	1.00	2.11	0.89	1.01E+08	8.86E+06	0.959599	39	38
19	1.00	0.00	3.00	0.00	7.07E+07	7.05E+06	1.27098	20	20
20	1.00	1.00	1.53	0.47	1.86E+07	2.13E+07	0.2755	29	39

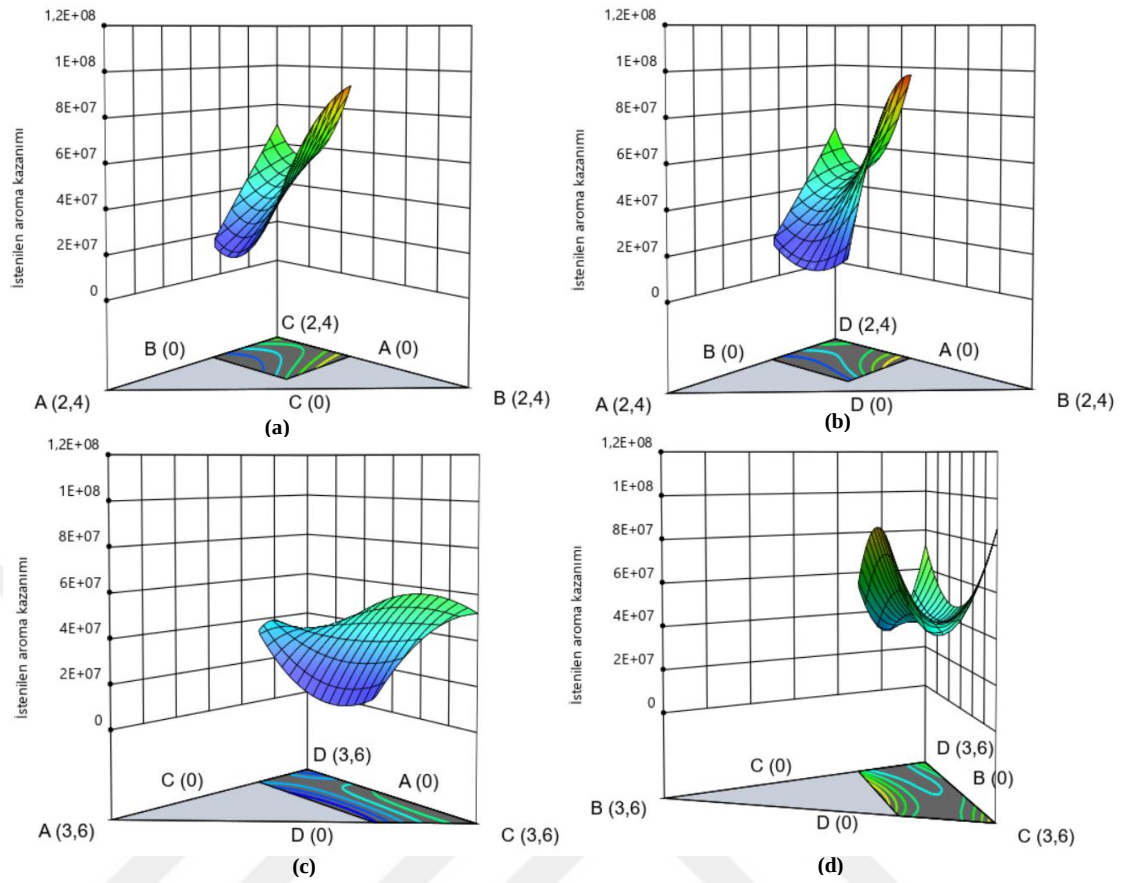
Çizelge 4.6’da sunulan istatistiksel analize göre tüm yanıtlar sadece AB ve ABD etkileşiminden $P<0.05$ düzeyinde etkilenmiştir.

Çizelge 4.6. Yanıt yüzey yönteminde kullanılan modelin denklem katsayıları

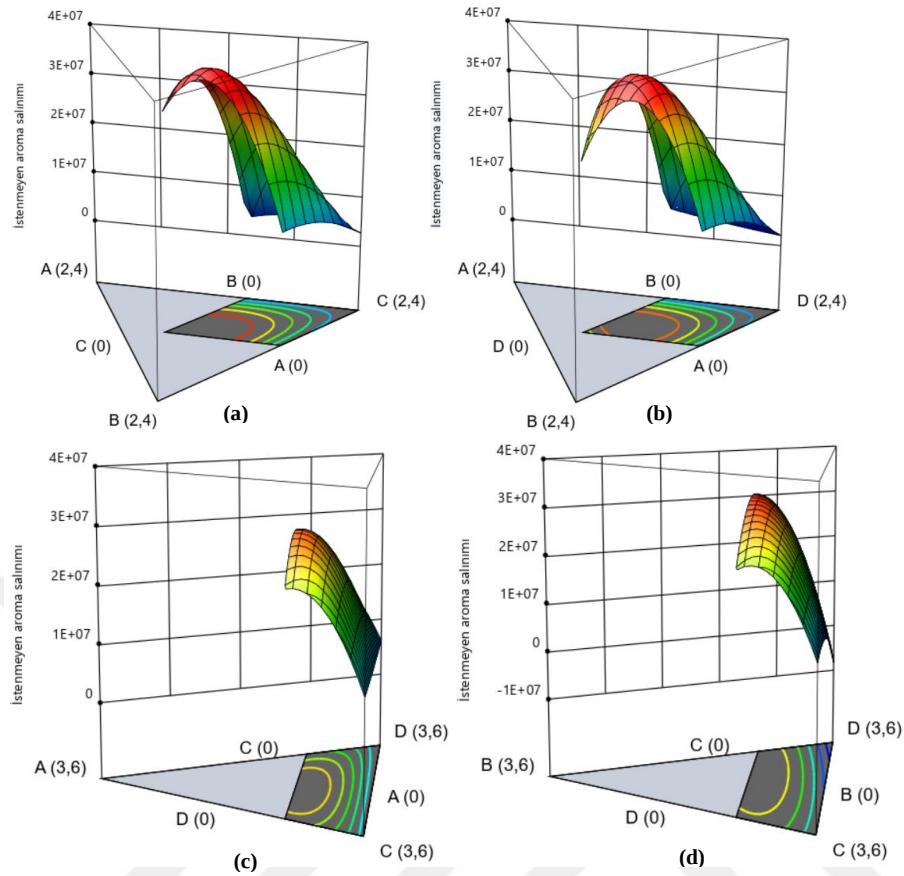
		İAB kazanımı		İMAB salınımı		K		Eİ		t	
		Özel kübik		Özel kübik		Özel kübik		Özel kübik		Kuadratik	
		Katsayı	P değeri	Katsayı	P değeri	Katsayı	P değeri	Katsayı	P değeri	Katsayı	P değeri
β_0	Sabit	0.00E+00	<0.0001*	0.00E+00	<0.0001*	0	0.0150*	0	<0.0001*	0	<0.0001*
β_{12}	AB	-3.76E+09	0.0144*	-1.54E+09	0.0296*	-464.76	0.0038*	-1575.18	0.0017*	-2328.89	<0.0001*
β_{13}	AC	4.07E+08	0.1303	-2.87E+07	0.8094	-91.55	0.0052*	-182.11	0.0258*	-512.21	<0.0001*
β_{14}	AD	3.19E+08	0.2321	-1.56E+08	0.2336	-109.94	0.0025*	-180.05	0.0305*	-510.97	<0.0001*
β_{23}	BC	-2.27E+09	<0.0001*	9.36E+07	0.4307	-44.21	0.0778	-191.49	0.0189*	-21.47	0.3515
β_{24}	BD	-2.65E+09	<0.0001*	1.04E+08	0.4066	-62.08	0.0299*	-292.77	0.0036*	31.48	0.2095
β_{34}	CD	-6.23E+07	0.0098*	-1.12E+07	0.2235	7.56	0.0027*	7.99	0.1229	18.51	<0.0001*
β_{123}	ABC	1.69E+09	0.3211	3.38E+09	0.0045*	577.84	0.0070*	2150.58	0.0021*	3883.36	<0.0001*
β_{124}	ABD	5.59E+09	0.0136*	4.42E+09	0.0014*	765.46	0.0022*	2685.95	0.0008*	3348.9	<0.0001*
β_{134}	ACD	-9.91E+08	0.0013*	3.56E+08	0.0061*	29.38	0.1191	-76.82	0.1510	75.57	0.0038
β_{234}	BCD	1.66E+09	0.0001*	9.77E+07	0.3296	-15.4	0.4072	386.38	0.0002*	147.6	0.0002
R^2	Düzenlenmiş R^2	0.9937	0.9801	0.9927	0.9770	0.9341	0.7914	0.9917	0.9737	0.9996	0.9987
YH	Tahmini R^2	31.0527	NA	23.4446	NA	9.4270	NA	27.3554	NA	89.4383	NA
	Uyumsuzluk		0.0868		0.3647		0.0763		0.1648		0.5434

* $P<0.05$ düzeyinde istatistiksel farklılığı belirtmektedir. A: β -siklodektrin, B: Na-aljinat, C: Maltodektrin, D: Arap gamı, NA: mevcut değil.

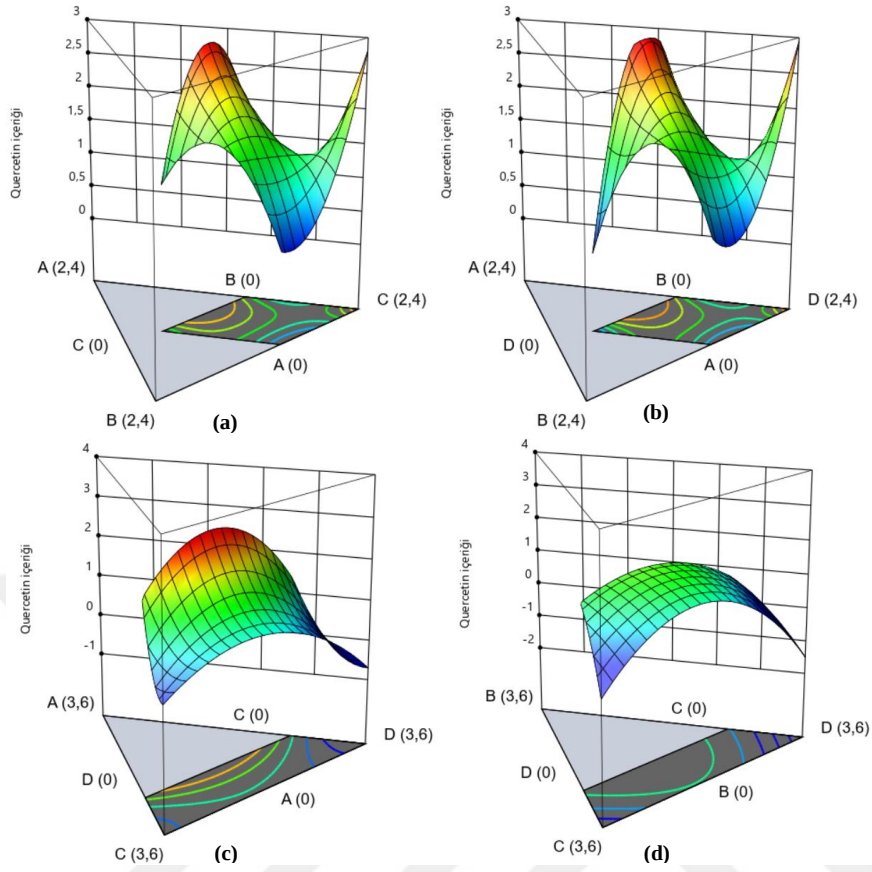
Değişkenlerin ikili ve üçlü etkileşimlerini gösteren üç boyutlu yüzey grafikleri Design Expert yazılımı kullanılarak oluşturulmuş ve beş değişkenin yanıt üzerindeki etkisi Şekil 4.8-12’de gösterilmiştir. İAB miktarının, maltodektrin ve Arap gamının formülasyonunda bulunmasından olumlu etkilendiği, bununla birlikte β -siklodektrin yokluğunda en yüksek seviyeye ulaştığı gözlenmiştir (Şekil 4.8). Bu durum, β -siklodektrinin öncül aroma bileşenlerini tutuklayarak istenen aroma bileşenlerin oluşumunun önüne geçmiş olabileceği olarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.9 incelendiğinde de β -siklodektrinin varlığının istenmeyen bileşiklerin miktarının artışıyla doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Kuersetin miktarı üzerine, maltodektrin ve arap gamı varlığı olumlu etki yaparken, Na-aljinat varlığında ciddi düşüşler görülmüştür (Şekil 4.10). Bu sonuç Na-aljinat içeren örneklerde kuruma sürelerinin uzaması (Şekil 4.12) nedeniyle kuersetin gibi ısıya hassas fenoliklerin zarar görmüş olabileceği ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca aynı sebepten ötürü Şekil 4.11’de görüleceği gibi Na-aljinat miktarındaki artış Eİ değerini de ciddi şekilde yükseltmiştir.



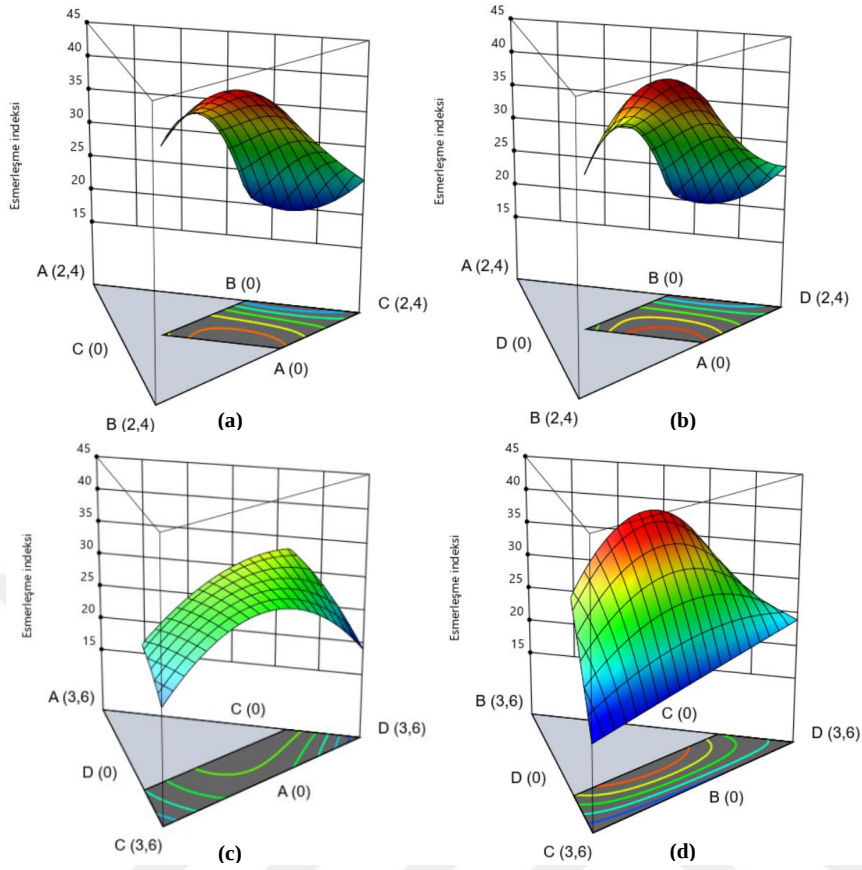
Şekil 4.8. β -siklodektrin, Na-aljinat, Maltodekstrin, ve Arap gamı miktarının İAB miktarı üzerine etkisi (grafiklerde A: β -siklodektrin, B: Na-aljinat, C: Maltodekstrin, D: Arap gamını ifade etmektedir)



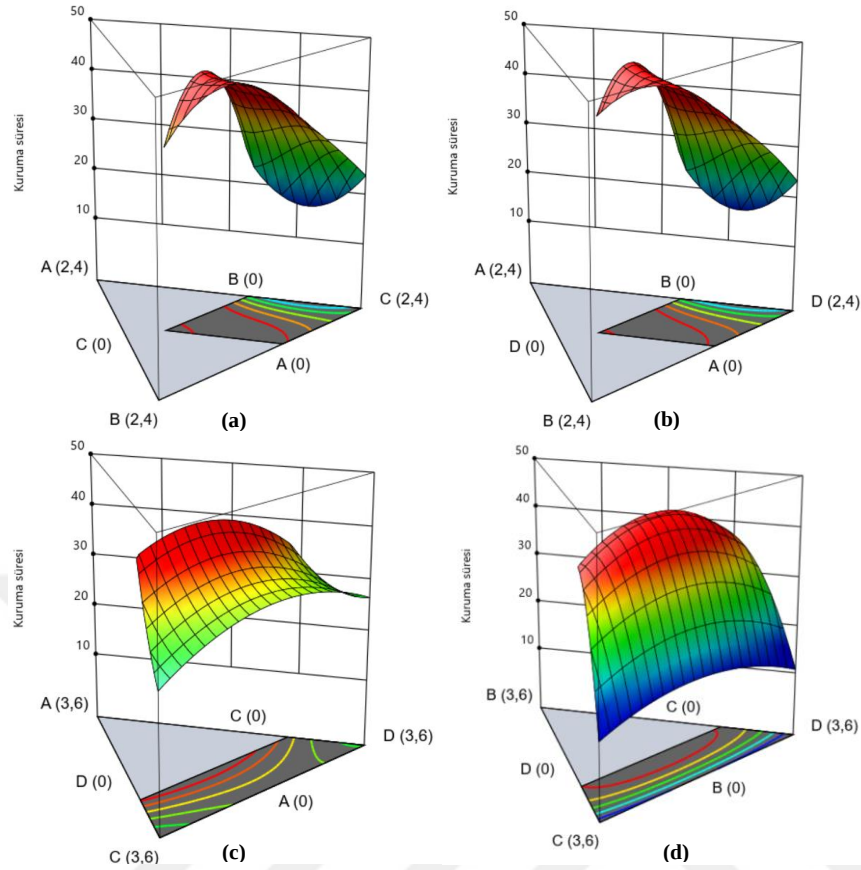
Şekil 4.9. β -siklodektrin, Na-aljinat, Maltodekstrin, ve Arap gamı miktarının İMAB miktarı üzerine etkisi (grafiklerde A: β -siklodektrin, B: Na-aljinat, C: Maltodekstrin, D: Arap gamını ifade etmektedir)



Şekil 4.10. β-siklodektrin, Na-aljinat, Maltodekstrin, ve Arap gamı miktarının K miktarı üzerine etkisi (grafiklerde A: β-siklodektrin, B: Na-aljinat, C: Maltodekstrin, D: Arap gamını ifade etmektedir)



şekil 4.11. β -siklodektrin, Na-aljinat, Maltodekstrin, ve Arap gamı miktarının Eİ üzerine etkisi (grafiklerde A: β -siklodektrin, B: Na-aljinat, C: Maltodekstrin, D: Arap gamını ifade etmektedir)



Şekil 4.12. β -siklodektrin, Na-aljinat, Maltodekstrin, ve Arap gamı miktarının t üzerine etkisi (grafiklerde A: β -siklodektrin, B: Na-aljinat, C: Maltodekstrin, D: Arap gamını ifade etmektedir)

Uyumsuzluk değerlerinin 0.05'ten büyük çıkması özel kübik ve quadratic modellerin deneysel verilerle uyumlu olduğunu göstermiştir. Analiz edilen verilere göre, istatistiksel olarak anlamlı faktörler en yüksek istenebilirliğe sahip fonksiyonu (D) hesaplamak için eşitliğe dahil edilmiştir. Etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunduğu için, istenirlik fonksiyonu tüm yanıtlara uygulanmıştır. Bu teknikle, ilk olarak her yanıt için bireysel istenirlik fonksiyonları hesaplanmıştır. Daha sonra değişkenler, Eşitlik 7'de gösterildiği gibi genel tasarımın istenirliğini maksimuma çıkaracak şekilde seçilmiştir.

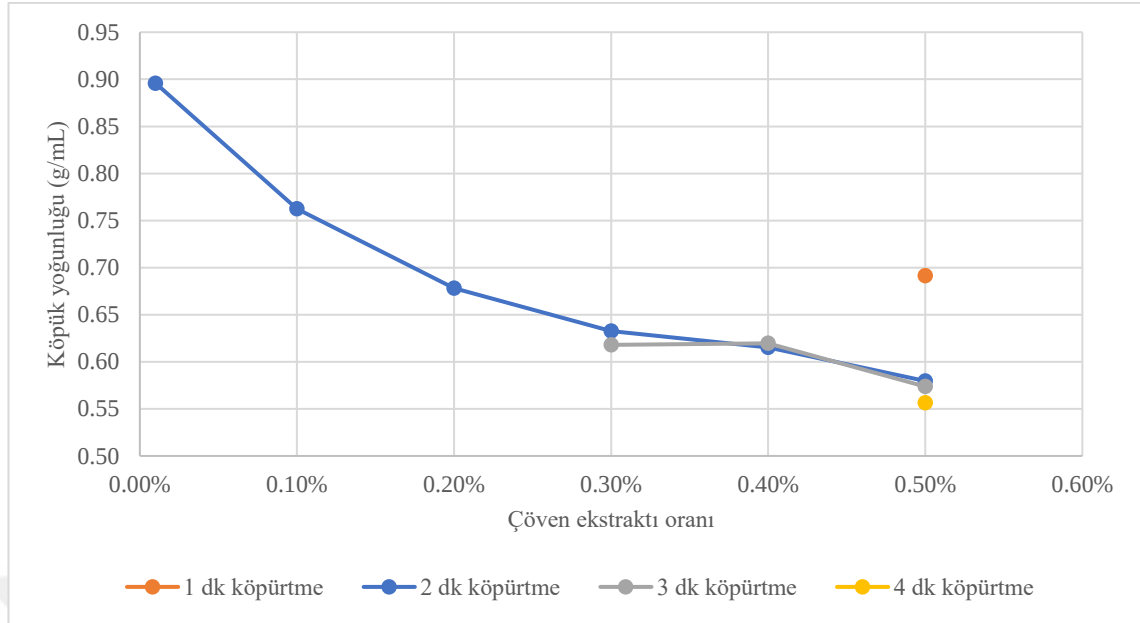
Optimum kurutma koşullarında tespit edilen en iyi taşıyıcı kompozisyonu püre kuru maddesinin toplam %50'sini oluşturacak şekilde 2.08 g maltodektrin ve 1.92 g Arap gamı olarak tespit edilmiştir. Bunun sebebinin; Na-aljinat miktarı arttıkça kuruma süresinin uzamasıyla birlikte kalite özelliklerinin olumsuz etkilenmesi ve β -siklodektrinin İAB oluşmadan önceki öncül bileşikler ile birlikte İMAB'yi de tutması, böylece aromaya olumsuz katkı sağlaması olduğu değerlendirilmiştir. Optimum taşıyıcı kompozisyonuna sahip örnek, hedef nem içeriğine 24 dk.'da ulaşmıştır (Çizelge 4.7) ve bu süre optimum kurutma koşullarındaki sürenin 2 katına yakındır. Taşıyıcı eklenmiş denemelerdeki en kısa süre olan 16 dk. dahi optimum kurutma süresi olan 14 dk.'dan uzundur. Bu durumun püreye çeşitli hidrokolloidlerin eklenmesinin onların yüksek su tutma kapasitesinden dolayı kuruma süresini uzatmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.7. PKKD-KPK kurutma sisteminde taşıyıcı eklenmiş soğan püresinin optimum karışım içeriği

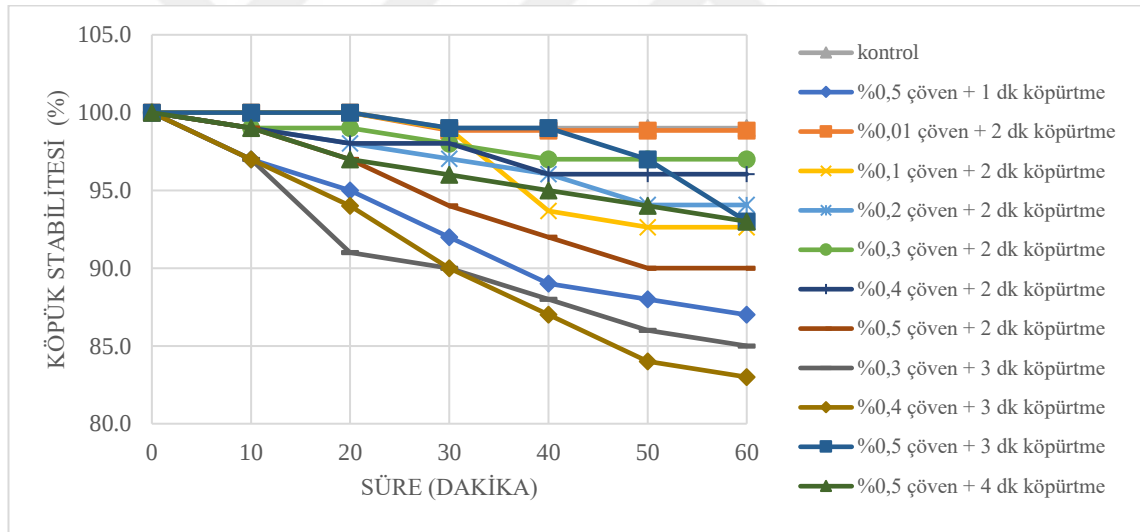
	Minimum	Optimum	Maksimum
β -siklodekstrin (g)	0	0	1
Na-aljinat (g)	0	0	1
Maltodekstrin (g)	0	2.08	4
Arap gamı (g)	0	1.92	4
İstenen aroma bileşen miktarı kazanımı (Alan)	1.86E+07	6.86E+07	1.01E+08
İstenmeyen aroma bileşen miktarı salınımı (Alan)	2.66E+06	2.33E+06	3.28E+07
Kuersetin miktarı (mg/g)	0.2755	2.935	2.93519
Esmerleşme indeksi	19.98	25.7	39.43
Kuruma süresi (dk.)	16	23.66	39
İstenebilirlik (%)	-	0.823	-

4.4. Köpük Kurutma Optimizasyonu

Köpük yapıcı ajan olarak çöven otu ekstraktı kullanılmış ve saponin içeriği ile ilgili yasal kısıtlamalar da göz önünde bulundurularak sınır değerler %0.01-0.5 olarak seçilmiştir. Farklı miktarlarda çöven ekstraktı eklenerek farklı köpürtme sürelerinde oluşturulan soğan püresi köpüklerinin yoğunluğu (Şekil 4.13) ve stabilitesi (Şekil 4.14) incelenmiştir. Artan köpürtme süresi köpük yoğunluğuna olumlu etki sağlasa da yoğunluğu çok düşük olan köpüklerin stabilitesinin de düşük olduğu gözlenmiştir. Minimum köpük yoğunluğunun ve maksimum köpük stabilitesinin %0,5 çöven ekstraktı eklenmiş pürenin 3 dk boyunca köpürtülmesiyle elde edildiği görülmüştür. Çöven ekstraktı eklenmeden önce soğan 1 dk. boyunca parçalanmış böylece hem enzim aktivitesine izin verilmiş hem de çöven ekstraktının parçalayıcı haznesinde kalması engellenmiştir. Elde edilen köpük formdaki püre, çalışma kapsamında belirlenen optimum kurutma koşullarında 2 mm kalınlıkta serilerek hedef nem içeriği 3.5 ± 0.5 olana kadar kurutulmuş ve kuruma süresi 8 dk. olarak kaydedilmiş ve dolayısıyla uygulanan köpük ajanı katkılı kurutma işleminin kuruma süresini belirgin olarak kısalttığını görülmüştür.



Şekil 4.13. Farklı oranlarda çöven ekstraktı eklenmiş ve farklı sürelerde köpürtülmüş soğan püresi köpüklerinin yoğunluk değişimi



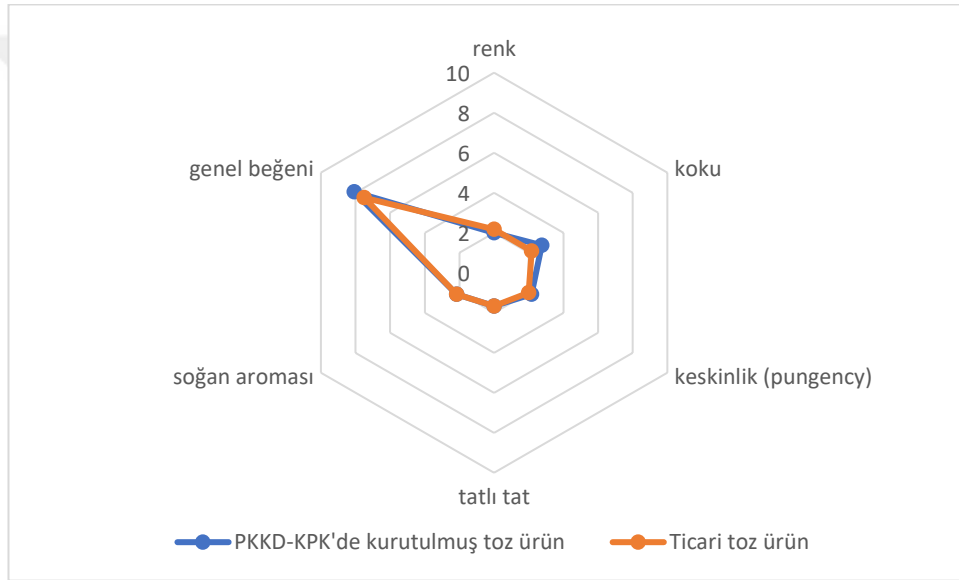
Şekil 4.14. Farklı oranlarda çöven ekstraktı eklenmiş ve farklı sürelerde köpürtülmüş soğan püresi köpüklerinin stabilitesi

4.5. Model Gıda Denemeleri

Optimum koşullarda elde edilen soğan tozu, piyasada ticari olarak satılan yerli ve ithal muadilleriyle duyusal olarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla model gıda olarak dip sos ve soğan çorbası seçilmiştir. Duyusal panel, iyi eğitilmiş 13 panelist (Akdeniz Üniversitesi Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı lisansüstü öğrencileri) ile gerçekleştirilmiştir. Panelistler 23-36 yaş aralığında olup, 12 kadın 1 erkek bireyden oluşmuştur. Soğan tüketim sıklıklarını; 4 kişi her gün, 5 kişi haftada 4-5 ve 4 kişi haftada 1-3 olarak bildirmiştir. Kişilerin tamamı soğanı yemeklerde kullanırken, 8'i çiğ olarak da

tükettiğini belirtmiş, ayrıca 11 kişi soğan tozu tüketmediğini söylerken sadece 2 kişi soğan tozu tüketiminin olduğunu ifade etmiştir.

PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürün ve ticari olarak piyasada satılan Hindistan menşeli olup ülkemizde paketlenen bir toz ürün ile hazırlanan dip soslar panelistlere sunulmuştur. Sonuçlar örümcek diyagramı radar grafiğe aktarılmış (Şekil 4.15) ve sonuçlar arası farklılıklar t-testi ile ortaya konmuştur (Çizelge 4.8-9). İki soğan örneği arasında yalnızca koku açısından istatistiki olarak anlamlı bir fark olduğu ($P<0.05$) görülmüş ve PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürünün kokusunun daha baskın olduğu panelistler tarafından değerlendirilmiştir. Ayrıca istatistiki olarak anlamlı bir fark ortaya koymasa da PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürünün genel beğeni puanı ticari üründen daha yüksek olmuştur. Bu sonuçların da ortaya koyduğu gibi PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürün piyasada ticari olarak yaygın satılan bir soğan tozundan koku yönüyle daha çok beğenilmiştir.



Şekil 4.15. Farklı soğan tozlarıyla hazırlanan dip sosların duyusal analiz sonuçları

Çizelge 4.8. Farklı soğan tozlarıyla hazırlanan dip sosların duyusal analiz verilerine ait t-testi sonuçları

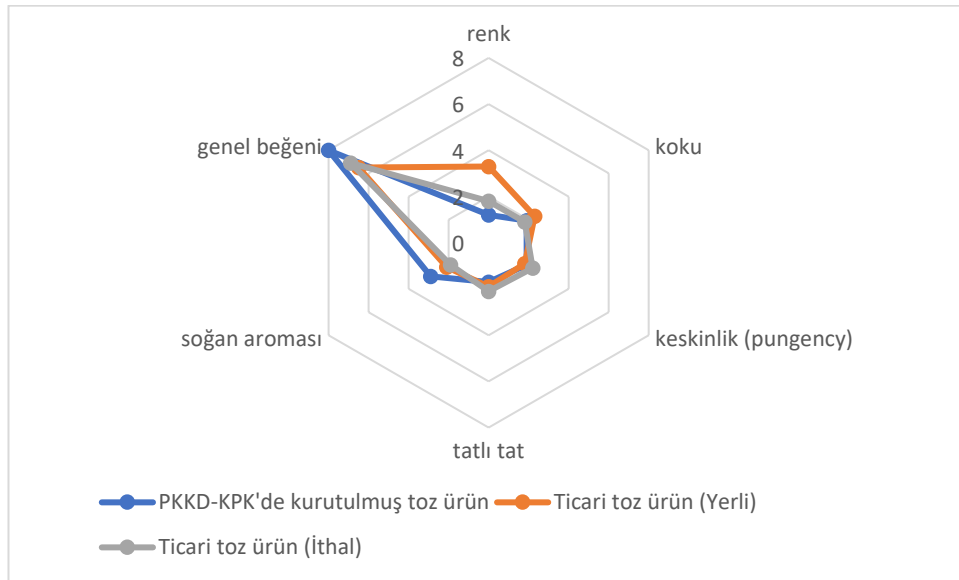
	renk	koku	keskinlik (pungency)	tatlı tat	soğan lezzeti	genel beğeni
PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürün	2.00 ± 0.39 ^a	2.75 ± 0.42 ^a	2.17 ± 0.36 ^a	1.67 ± 0.45 ^a	2.17 ± 0.53 ^a	8.08 ± 0.83 ^a
Ticari toz ürün	2.17 ± 1.10 ^a	2.17 ± 0.36 ^b	2.00 ± 0.78 ^a	1.67 ± 0.72 ^a	2.17 ± 0.77 ^a	7.50 ± 1.27 ^a

* Aynı sütundaki farklı harfler $P<0.05$ düzeyinde istatistiksel farklılığı belirtmektedir (n=13).

Çizelge 4.9. Farklı soğan tozlarıyla hazırlanan dip sosların duyuusal analiz verilerine ait t-testinin varyans analizi sonuçları

	renk t değeri (P-değeri)	koku t değeri (P-değeri)	Keskinlik t değeri (P-değeri)	tatlı tat t değeri (P-değeri)	soğan lezzeti t değeri (P-değeri)	genel beğeni t değeri (P-değeri)
PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürün	-0.46	3.39	0.62	0.00	0.00	1.23
Ticari toz ürün	(0.6558)	(0.0027)	(0.5470)	(1.0000)	(1.0000)	(0.2334)

PKKD-KPK'de kurutulmuş granül formda ürün ve ticari olarak piyasada satılan biri yerli diğeri Hindistan menşeli olup ülkemizde paketlenen granül ürünler ile hazırlanan soğan çorbaları da panelistlere sunulmuştur. Sonuçlar örümcek diyagramı radar grafiğe aktarılmış (Şekil 4.16) ve panel skorları arasındaki farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile ortaya konmuştur (Çizelge 4.10-11). Soğan örnekleri arasında yalnızca renk ve soğan lezzeti açısından istatistiki olarak önemli ($P<0.05$) bir fark olduğu görülmüş ve PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürünün renginin daha açık ve beyaza yakın olduğu, soğan lezzeti açısından da en kuvvetli örneğin PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürün olduğu panelistler tarafından değerlendirilmiştir. Ayrıca istatistiki olarak anlamlı bir fark ortaya koymasa da PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürünün genel beğeni puanı ticari üründen daha yüksek olmuştur. Bu sonuçların da ortaya koyduğu gibi PKKD-KPK'de kurutulmuş granül formdaki ürün piyasada ticari olarak satılan benzerlerinden üstün özellik göstermiştir.



Şekil 4.16. Farklı soğan tozlarıyla hazırlanan soğan çorbalarının duyuusal analiz sonuçları

Çizelge 4.10. Farklı soğan tozlarıyla hazırlanan soğan çorbalarının duyuşal analiz sonuçlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

	renk	koku	keskinlik (pungency)	tatlı tat	soğan lezzeti	genel beğeni
PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürün	1.20 ± 0.38 ^c	1.90 ± 0.79 ^a	1.90 ± 0.67 ^a	1.70 ± 0.74 ^a	2.90 ± 0.29 ^a	8.00 ± 0.95 ^a
Ticari toz ürün (Yerli)	3.30 ± 0.44 ^a	2.30 ± 0.61 ^a	1.80 ± 0.83 ^a	1.90 ± 0.90 ^a	2.10 ± 0.51 ^b	6.50 ± 2.14 ^a
Ticari toz ürün (İthal)	1.80 ± 0.38 ^b	1.80 ± 0.57 ^a	2.20 ± 0.57 ^a	2.10 ± 0.29 ^a	1.90 ± 0.67 ^b	6.90 ± 1.56 ^a

*Aynı sütundaki farklı harfler $P < 0.05$ düzeyinde istatistiksel farklılığı belirtmektedir (n=13).

Çizelge 4.11. Farklı soğan tozlarıyla hazırlanan soğan çorbalarının duyuşal analiz sonuçlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testine ait varyans analizi sonuçları

Renk	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	2	23.40	11.70	59.60	<0.0001
Hata	27	5.30	0.1963		
Toplam	29	28.70			
Koku	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	2	1.40	0.70	1.29	0.2905
Hata	27	14.60	0.5407		
Toplam	29	16.00			
Keskinlik	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	2	0.87	0.43	0.73	0.4927
Hata	27	16.10	0.5963		
Toplam	29	16.97			
Tatlı tat	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	2	0.80	0.40	0.68	0.5155
Hata	27	15.90	0.5889		
Toplam	29	16.70			
Soğan lezzeti	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	2	5.60	2.80	8.69	0.0012
Hata	27	8.70	0.3222		
Toplam	29	14.30			
Genel beğeni	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	2	12.07	6.03	1.86	0.1745
Hata	27	87.40	3.2370		
Toplam	29	99.47			

4.6. Farklı Kurutma Yöntemleriyle Üretilen Soğan Tozlarının Karşılaştırmalı Analiz Sonuçları

Soğanın püre formdaki bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.12’de verilmiştir. Kurutmalarda kullanılan pürenin nem değeri ortalama %92 ve su aktivitesi 0.9822 olarak bulunmuştur. Renk değerlerine bakıldığında pürenin kırık beyaza yakın bir renge sahip olduğu ve esmerleşme indeksinin yaklaşık 2 olduğu görülmüştür. Sonuçlar bu yönüyle literatür verileriyle uyumludur (Peter ve Shylaja 2012, Çetin 2014, Teshika vd. 2019, Türkomp 2024). Püre ve dilim soğan (taze) örneklerinde tespit edilen İAB ve İMAB pik alanları dikkate alındığında açıkça görülmektedir ki sadece dilimlenen soğanda hücre yapısı zarar görmediği için aroma bileşenleri yeterince açığa çıkmamakta ve allinaz enziminin katalizlediği tepkimeler sınırlı kalmaktadır.

Çizelge 4.12. Soğanın (taze) fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	Püre
Nem (%)	92.43 ± 0.38
Su aktivitesi (25.38°C)	0.9822 ± 0.0001
L*	52.05 ± 0.07
a*	-2.57 ± 0.01
b*	2.85 ± 0.01
Ton açısı (H°)	132.02 ± 0.19
Doygunluk (C*)	3.83 ± 0.00
Esmerleşme indeksi (Eİ)	1.85 ± 0.03
İstenen aroma bileşen toplamı (pik alanı)	1350225 ± 258415
İstenmeyen aroma bileşen toplamı (pik alanı)	1399445 ± 311806
	Dilim
İstenen aroma bileşen toplamı (pik alanı)	299215 ± 12359
İstenmeyen aroma bileşen toplamı (pik alanı)	245417 ± 25842

Tez çalışmasındaki kurutma yaklaşımlarıyla ve diğer kurutma yöntemleriyle hedef nem içeriğine (3.5±0.5) kadar kurutulmuş soğan tozlarının (Şekil 4.17) esmerleşme indeksi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ve bu testin varyans analizi tablosu sırasıyla Çizelge 4.13 ve 4.14’te verilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.13’te son ürünlerin renk değerlerinin bir renk uygulaması aracılığıyla tespit edildiği renk görselleri de bulunmaktadır. Taze formdaki soğanın esmerleşme indeksi değeri yaklaşık 2 olarak tespit edilirken (Çizelge 4.12), kurutma uygulamalarının esmerleşme indeksini istatistiki olarak önemli oranda ($P<0.05$) etkilediği görülmektedir. En yüksek Eİ değeri konvektif kurutulmuş soğan püresi örneğinde ve en düşük Eİ değeri dondurarak kurutulmuş dilim soğan örneğinde görülmüştür. Bu sonucun dondurarak kurutma prosesinde ürünün ısı

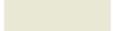
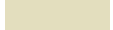
işleme maruz kalmamasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Köpük kurutma uygulanmış soğan püresinin Eİ değeri, dondurarak kurutulmuş soğan püresinden düşük olarak hesaplanmıştır. Bu durumun 8 dk. kadar kısa olan köpük kurutma prosesinin çok az esmerleşmeye neden olmasından ve püre formundaki soğan örneğinin 2 saatlik donma ve 24 saatlik kuruma sırasında renginde meydana gelen değişimlerden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Doğranmış kuru soğanların kurutma kinetiğinin ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak tespit edildiği bir çalışmada kabin kurutucuda 65°C sıcaklıkta kurutulan soğan örneklerinin son esmerleşme indeksi değeri yaklaşık 80 olarak bulunmuş ve çeşitli ön işlemlerle bu değerin 40 civarına düşürülebildiği tespit edilmiştir (Çetin 2014). Bu son değerin bile çalışmamızda elde edilen en yüksek değere eşit olduğu görülmektedir. Kuru ürünlerde ölçülen renk değerleri de literatür sonuçlarıyla uyumludur (Grewal vd. 2015) Çizelge 4.13).



Şekil 4.17. “Doypack” ambalaj ile paketlenmiş bazı son ürün görselleri

Çizelge 4.13. Son ürünlerin esmerleşme indeksi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ve renk görselleri

	Eİ	Renk
Konvektif kurutma dilim	28.81 ± 0.04 ^c	
Konvektif kurutma püre	40.50 ± 0.03 ^a	
Dondurarak kurutma dilim	8.91 ± 0.01 ^g	
Dondurarak kurutma püre	17.03 ± 0.03 ^e	
Köpük kurutma	15.43 ± 0.01 ^f	
PKKD-KPK	28.33 ± 0.02 ^d	
Taşıyıcılı KPK	29.66 ± 0.01 ^b	

Çizelge 4.14. Esmerleşme indeksi değerlerinin Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu

Açıklık	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	6	1391.788571	231.964762	391266	<0.0001
Hata	7	0.00415	0.000593		
Düzenlenmiş Toplam	13	1391.792721			

Son ürünlerin açıklık, D_{43} ve D_{32} değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ve buna ait varyans analizi Çizelge 4.15 ve 4.16’da verilmiştir. Bu parametreler, partikül boyutu dağılımını ve partiküllerin ortalama boyutlarını anlamak için kullanılır. Açıklık değeri, partikül boyutu dağılımının genişliğini ifade eder. Düşük açıklık değeri daha dar ve homojen bir dağılımı, yüksek açıklık değeri ise daha geniş ve heterojen bir dağılımı gösterir. Son ürünlerin açıklık değerleri göz önüne alındığında değerlerin 1.22 ile 2.19 arasında değiştiği ve oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu da ürünlerin parçacık dağılımının homojen olduğunu göstermektedir. Konvektif kurutulmuş dilim ve köpük kurutulmuş dilim ile diğer tüm örneklerin kendi aralarında istatistiki olarak anlamlı bir fark bulunmazken bu iki grup arasındaki fark anlamlı ($P<0.05$) bulunmuştur. D_{43} ağırlıkça ortalama partikül boyutunu ifade eder. Büyük partiküllerin dağılıma etkisini değerlendirir. En yüksek D_{43} değeri konvektif kurutulmuş dilim örneğinde, en düşük D_{43} değeri ise taşıyıcı eklenerek kurutulan örneklerde görülmüştür. D_{32} yüzey alanı ortalama partikül boyutunu ifade eder. Küçük partiküllerin dağılıma etkisini değerlendirir. Son ürünlerin D_{32} değerleri arasında istatistiki olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Şekil 4.18-24 incelendiğinde de benzer şekilde son ürünlerin partikül dağılımlarının homojen olduğu ve partiküllerin küçük olduğu değerlendirilmiştir. Sadece dondurarak kurutulmuş örneklerin parçacık dağılımları Şekil 4.19 ve 4.20’de görüldüğü gibi diğer örneklerden farklı bulunmuştur. Bunun nedeni, öğütülüp 70 mesh elekten elenmiş donuk kurutulan örneklerin su bağlama kapasiteleri çok yüksek olmaları sebebiyle topaklanma sorunu oluşmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Açıklık, D_{43} ve D_{32} değerlerinin paralelleri arasında çok varyasyon olduğu için Çizelge 4.15’te verilmemiştir. Şekil 4.18 ve 4.19’da ufak partiküllerin topaklanma sonucu büyüdüğü açık olarak görülmektedir.

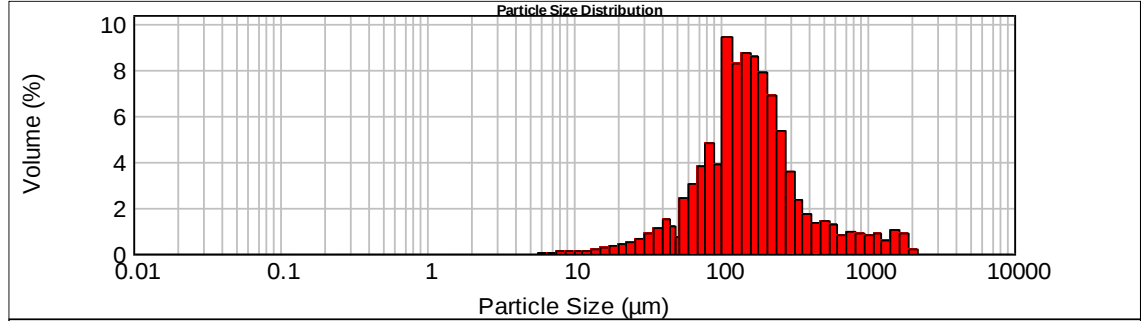
Çizelge 4.15. Açıklık, D_{43} ve D_{32} değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

	Açıklık	D_{43}	D_{32}
Konvektif kurutma dilim	2.19 ± 0.63^a	193.00 ± 46.15^a	102.68 ± 13.76
Konvektif kurutma püre	1.33 ± 0.04^b	147.55 ± 7.59^{ab}	107.80 ± 4.69
Dondurarak kurutma dilim	-	-	-
Dondurarak kurutma püre	-	-	-
Köpük kurutma	2.02 ± 0.36^a	173.88 ± 41.67^{ab}	82.65 ± 12.84
PKKD-KPK	1.49 ± 0.04^b	147.92 ± 8.87^{ab}	97.11 ± 11.07
Taşıyıcılı KPK	1.22 ± 0.04^b	130.40 ± 8.05^b	98.15 ± 4.46

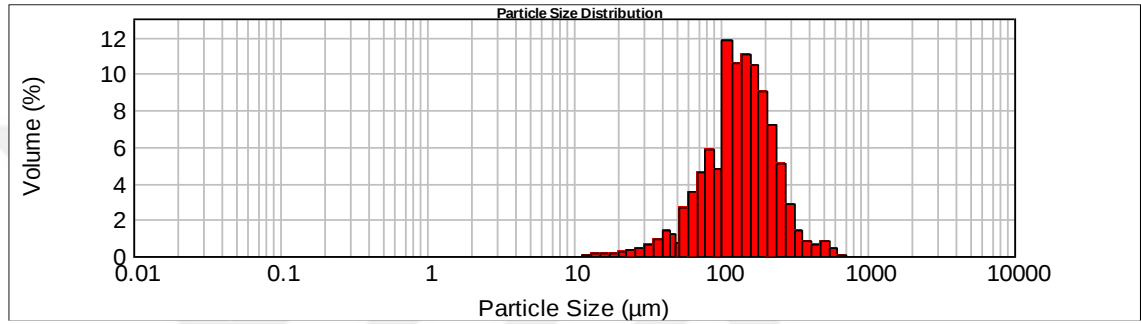
*Aynı sütundaki farklı harfler $P < 0.05$ düzeyinde istatistiksel farklılığı belirtmektedir.

Çizelge 4.16. Açıklık, D_{43} ve D_{32} değerlerinin Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu

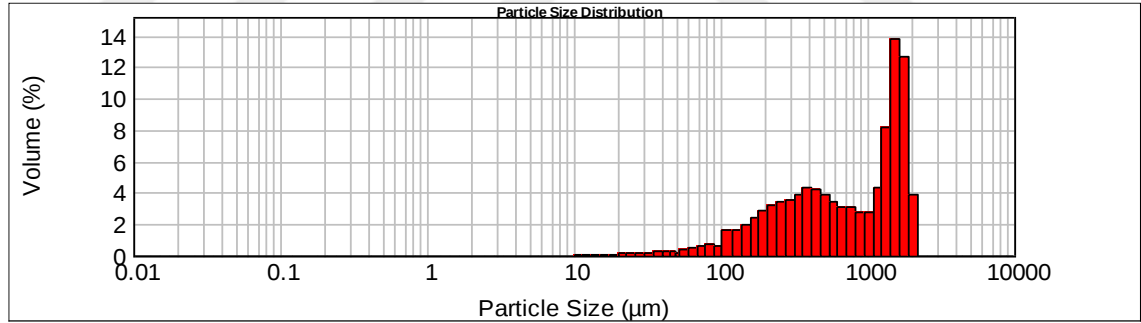
Açıklık	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	4	2.7914	0.6978	6.64	0.0033
Hata	14	1.4705	0.1050		
Düzenlenmiş Toplam	18	4.2619			
D_{43}	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	4	9545.41	2386.35	3.19	0.0465
Hata	14	10466.66	747.62		
Düzenlenmiş Toplam	18	20012.06			
D_{32}	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	4	1178.36	294.59	2.96	0.0574
Hata	14	1391.08	99.36		
Düzenlenmiş Toplam	18	2569.44			



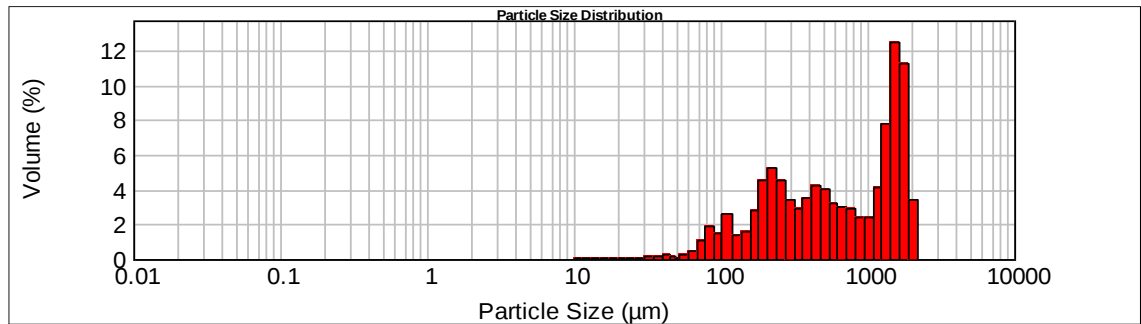
Şekil 4.18. Konvektif kurutulmuş dilim soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı



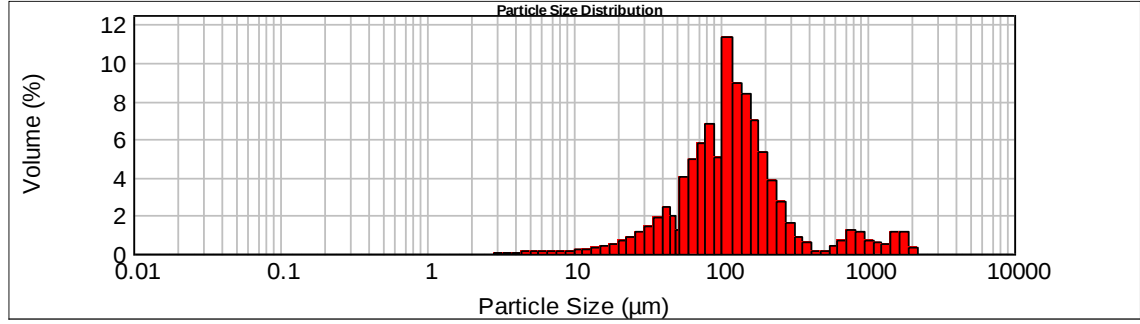
Şekil 4.19. Konvektif kurutulmuş püre soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı



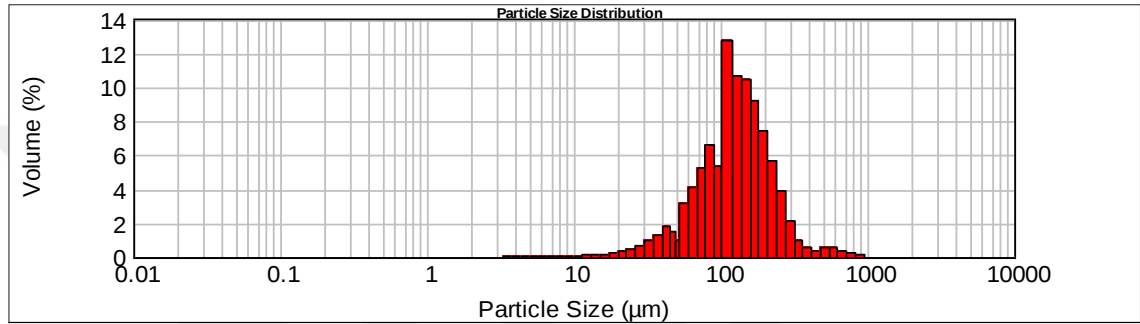
Şekil 4.20. Dondurarak kurutulmuş dilim soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı



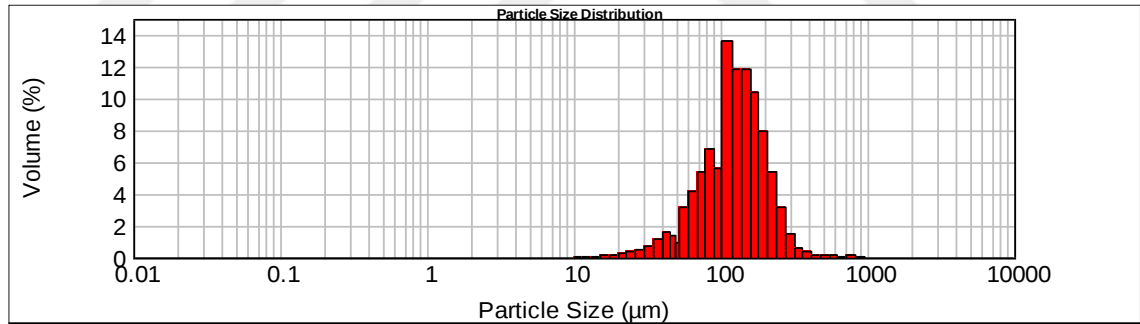
Şekil 4.21. Dondurarak kurutulmuş püre soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı



Şekil 4.22. Köpük kurutulmuş soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı



Şekil 4.23. PKKD-KPK sisteminde kurutulmuş soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı



Şekil 4.24. Taşıyıcı eklenerek kurutulmuş soğan örneklerinin öğütülüp elendikten sonraki parçacık boyutu dağılımı

Yığın yoğunluğu, bir tozun kütlesinin yığın hacmine oranıdır. Toz gıda ürünlerinin paketlenmesi, taşınması ve depolanması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yığın yoğunluğu; partikül boyutu, şekli ve dağılımı gibi faktörlerden etkilenir. Yüksek yığın yoğunluğu, daha kompakt bir tozu ifade eder ve bu, paketlenme hacmini ve taşıma maliyetlerini azaltabilir. Ancak, çok yüksek yığın yoğunluğu karışım ve çözünme sorunlarına yol açabilir (Higashitani vd. 2019). Son ürünlerin yığın yoğunlukları arasında istatistiki olarak anlamlı fark bulunurken en yüksek yığın yoğunluğu taşıyıcı eklenerek kurutulmuş örnekte, en düşük yığın yoğunluğu ise dondurarak kurutulmuş örnekte tespit edilmiştir. Soğan çeşidinin ve kurutma sıcaklığının kurutulmuş soğan tozunun fizikokimyasal kalitesi, fonksiyonel özelliği ve duyu kabul edilebilirliği üzerine etkisini araştıran bir çalışmada yığın yoğunluğu değerleri 0.75-0.88 g/cm³ değerleri

aralığında bulunmuş olup (Seifu vd. 2018) çalışmamızdan yüksek değerde olmasının öğütme prosesi koşullarının farklılığından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu, tozun mekanik olarak vurulması ile hacmi sabitlendikten sonra belirlenir. Bu ölçüm, tozun yerleşme ve paketlenme yeteneği hakkında bilgi verir. Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu genellikle yığın yoğunluğundan daha yüksektir çünkü toz partikülleri yerleştikçe hacim azalır. Bu parametre, tozun akış özelliklerini ve paketlenme verimliliğini anlamak için kritiktir (Higashitani vd. 2019). Son ürünlerin sıkıştırılmış yığın yoğunlukları 0.17 ile 0.66 arasında değişmekte olup, her bir değer arasında istatistiki olarak anlamlı bir farklılık ($P<0.05$) olduğu tespit edilmiştir. En düşük değer dondurarak kurutulmuş püreden elde edilen tozda en yüksek değer ise taşıyıcı eklenerek kurutulmuş tozda gözlenmiştir.

Carr İndeksi, toz gıdaların işleme ve taşıma sırasında nasıl davranacağını tahmin etmekte yardımcı olur. Daha düşük bir Carr İndeksi, tozun daha kolay akacağını ve üretim sırasında daha az sorun yaşanacağını gösterir. Carr İndeksi <15 ise mükemmel akış, $15-20$ ise iyi akış, $20-30$ ise orta akış, >30 ise zayıf akış özelliklerini gösterir. Carr İndeksi değerleri; 5.26 ile 34.48 arasında değişmekte olup (Higashitani vd. 2019), belirtilen skalaya göre konvektif kurutulmuş örnekler mükemmel akış özelliği, dondurarak kurutulmuş dilimden elde edilen toz örneği zayıf akış özelliği ve diğer örnekler orta akış özelliği göstermiştir.

Çizelge 4.17. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akabilirlik değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

	ρ_b (g/cm ³)	ρ_t (g/cm ³)	CI (%)
Konvektif kurutma dilim	0.44 ± 0.00 ^b	0.50 ± 0.00 ^b	13.04 ± 0.00 ^d
Konvektif kurutma püre	0.21 ± 0.00 ^e	0.22 ± 0.00 ^e	5.26 ± 0.00 ^e
Dondurarak kurutma dilim	0.16 ± 0.00 ^f	0.24 ± 0.00 ^d	34.48 ± 0.00 ^a
Dondurarak kurutma püre	0.14 ± 0.00 ^g	0.17 ± 0.00 ^g	21.43 ± 0.00 ^c
Köpük kurutma	0.27 ± 0.02 ^d	0.37 ± 0.01 ^c	27.94 ± 2.08 ^b
PKKD-KPK	0.39 ± 0.00 ^c	0.50 ± 0.01 ^b	20.45 ± 0.00 ^c
Taşıyıcılı KPK	0.53 ± 0.00 ^a	0.66 ± 0.00 ^a	20.00 ± 3.21 ^c

*Aynı sütundaki farklı harfler $P < 0.05$ düzeyinde istatistiksel farklılığı belirtmektedir.

Çizelge 4.18. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akabilirlik değerlerinin Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu

ρ_b	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	6	0.2675	0.04458	1248.33	<0.0001
Hata	7	0.00025	0.000036		
Düzenlenmiş Toplam	13	0.2677			
ρ_t	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	6	0.3956	0.06594	1846.33	<0.0001
Hata	7	0.00025	0.000036		
Düzenlenmiş Toplam	13	0.3959			
CI	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	6	1079.41	179.90	85.82	<0.0001
Hata	7	14.673	2.0961		
Düzenlenmiş Toplam	13	1094.08			

Son ürünlerin toplam fenolik madde değerleri ve antioksidan aktivite sonuçları Çizelge 4.19-20’de verilmiştir. En yüksek fenolik madde içeriği PKKD-KPK sisteminde kurutulmuş örnekte, en düşük değerler dondurarak kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. Doğranmış kuru soğanların kurutma kinetiğinin ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak tespit edildiği bir çalışmada kabin kurutucuda 65°C sıcaklıkta kurutulan soğan örneklerinin toplam fenolik madde içeriği 394-431 GAE/100 g aralığında tespit edilmiştir (Çetin 2014). Arslan ve Özcan (2010) etüvde 50 °C’de kuruttukları soğan dilimlerinde 512

mg/100 g KM toplam fenolik madde tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Kurutma işleminin üç çeşit soğan tozunun besinsel, fonksiyonel ve duyuşal özelliklerine etkisinin incelendiğı bir başka çalışmada toplam fenolik madde miktarı 67-1366 mg GAE/100 g KM olarak tespit edilmiştir (Edith vd. 2018). Tüm bu sonuçlar çalışmamızdaki sonuçlarla uyumludur. Soğan dilimlerinin çeşitli yöntemlerle kurutulduğu bir başka çalışmada bu değer 30-50 mg GAE/g KM aralığında tespit edilmiş olup çalışmamızdaki değerlerden nispeten yüksek olduğu görülmüştür (Sezer 2017).

Son ürünlerin antioksidan aktivite değerlerine bakıldığında en yüksek antioksidan aktivite sırasıyla, taşıyıcı eklenerek kurutulmuş örnekte ve PKKD-KPK sisteminde kurutulmuş örnekte, en düşük değer ise dondurarak kurutulmuş püre örnekte bulunmuştur. Değerler arasında istatistiki olarak anlamlı farklılıklar bulunsa da hepsi birbirine yakın ve 50 g TEAA/kg civarındadır. Bu sonuçlar literatür verileriyle uyumludur (Fu ve Huang 2003, Çetin 2014). Taşıyıcı eklenerek kurutulmuş örneğin en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olmasının içeriğindeki Arabik gamin da antioksidan aktivitesi olmasından kaynaklanmış olabileceğı değerlendirilmiştir (Mirghani vd. 2018, Aloqbi 2020).

Son ürünlerin analiz sonuçları incelendiğinde en yüksek kuersetin içeriğı sırasıyla, taşıyıcı eklenerek (6665.71 ± 3.68 mg/kg) ve PKKD-KPK sisteminde kurutulmuş örnekte (5236.57 ± 83.48 mg/kg), en düşük kuersetin içeriğı ise dondurarak kurutulmuş dilim örnekte (2580.21 ± 56.01 mg/kg) tespit edilmiştir. Bu sonuçların antioksidan aktivite değerleriyle de uyumlu olduğu görülmüştür. Soğan tozunun fizikokimyasal özellikleri ve yüksek yağlı diyetle beslenen sıçanlar üzerindeki anti-aterojenik etkisini inceleyen bir çalışmada kuersetin içerikleri 2.56-4.16 mg/g KM arasında belirlenmiştir (Hamauzu vd. 2011). Farklı ısıtma proseslerinin soğan tozunun sitotoksik ve antioksidan aktivite özelliklerine etkisini araştıran başka bir çalışmada soğan tozu örneklerinin kuersetin içerikleri 4466-4564 µg/g KM arasında tespit edilmiştir (Fu ve Huang 2003). Farklı sıcaklık ve ışık koşullarında depolanan dilimlenmiş ve kızartılmış sarı soğanların flavonoidlerindeki değişiklikleri inceleyen bir çalışmada ise kuersetin içeriğı 918.6-3129.4 µg/g KM olarak belirlenmiştir. Çalışmamızdaki kuersetin sonuçları literatür verileriyle uyumlu bulunmuştur.

Son ürünlerin HMF sonuçları incelendiğinde en yüksek HMF içeriğı sırasıyla, konvektif kurutulmuş dilim (7.17 ± 0.06 mg/100 g) ve pürede (5.00 ± 0.05 mg/100 g), en düşük HMF içeriğı ise köpük kurutulmuş örnekte (0.38 ± 0.03 mg/100 g) tespit edilmiştir. Konvektif kurutulan örneklerdeki uzun işlem süresi bu örneklerde HMF oluşumunu artırmış olabileceğı; benzer sebeple en kısa kurutma süresine sahip köpük kurutmada ise düşük işlem süresi nedeniyle düşük HMF oluştuğı değerlendirilmiştir. Donuk kurutulmuş örneklerde herhangi bir ısıtma işlemi uygulanması olmadığı için HMF miktarı tespit limitlerinin altında kalmıştır. Türk Gıda Kodeksi'nde soğan tozu için bir HMF standardı olmamasına rağmen köpük kurutma ve PKKD-KPK yöntemleri ile kurutulmuş soğan tozları için bulunan değerler; bal (40 mg/kg), sıvı pekmez (75 mg/kg) ve katı pekmez (100 mg/kg) için bildirilen değerlerin altındadır.

Çizelge 4.19. Toplam fenolik madde miktarı, antioksidan aktivite değerleri ve kuersetin miktarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

	Nem (%)	Su aktivitesi	Toplam fenolik madde (mg GAE/100 g KM)	Antioksidan aktivite (g TEAA /kg KM)	Kuersetin miktarı (mg/kg KM)	HMF miktarı (mg/100 g)
Konvektif kurutma dilim	3.32	0.2093	576.20 ± 3.32 ^d	50.07 ± 0.57 ^c	3770.36 ± 0.84 ^d	5.00 ± 0.05 ^b
Konvektif kurutma püre	3.15	0.1681	602.16 ± 6.70 ^c	49.18 ± 1.17 ^c	3347.62 ± 15.66 ^e	7.17 ± 0.06 ^a
Dondurarak kurutma dilim	3.98	0.2185	451.55 ± 9.38 ^f	42.63 ± 0.82 ^e	2580.21 ± 56.01 ^g	-
Dondurarak kurutma püre	4.00	0.2199	446.25 ± 11.41 ^f	40.00 ± 0.28 ^f	3188.48 ± 3.13 ^f	-
Köpük kurutma	3.30	0.1775	520.63 ± 5.07 ^e	45.69 ± 0.29 ^d	4564.19 ± 4.63 ^c	0.38 ± 0.03 ^d
PKKD-KPK	3.38	0.2132	864.58 ± 1.68 ^a	61.35 ± 0.00 ^b	5236.57 ± 83.48 ^b	1.64 ± 0.07 ^c
Taşıyıcılı KPK	3.08	0.1652	687.29 ± 8.67 ^b	63.10 ± 0.00 ^a	6665.71 ± 3.68 ^a	6.99 ± 0.18 ^a

*Aynı sütundaki farklı harfler $P < 0.05$ düzeyinde istatistiksel farklılığı belirtmektedir.

Çizelge 4.20. Toplam fenolik madde miktarı, antioksidan aktivite değerleri ve kuersetin miktarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu

Toplam fenolik madde (mg/100 g)	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	6	259592.4931	43265.4155	801.82	<0.0001
Hata	7	377.7108	53.9587		
Düzenlenmiş Toplam	13	259970.2039			
Antioksidan aktivite (g TEAA /kg)	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	6	947.0176857	157.8362810	437.37	<0.0001
Hata	7	2.5261500	0.3608786		
Düzenlenmiş Toplam	13	949.5438357			
Kuersetin miktarı (mg/kg)	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	6	23689150.06	3948191.68	2658.27	<0.0001
Hata	7	10396.73	1485.25		
Düzenlenmiş Toplam	13	23699546.79			
HMF miktarı (mg/100 g)	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	4	76.81691631	19.204222908	2077.35	<0.0001
Hata	5	0.04622289	0.0092458		
Düzenlenmiş Toplam	9	76.86313920			

Son ürünlerin İAB ve İMAB pik alanlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ve buna ait varyans tablosu sırasıyla Çizelge 4.21 ve 4.22’de verilmiştir. Hem İAB pik alanları hem de İMAB pik alanlarının kendi aralarındaki farkları istatistiki olarak anlamlı ($P<0.05$) bulunmuştur. En yüksek İAB pik alanları sırasıyla konvektif kurutulmuş püreden ve PKKD-KPK sistemiyle elde edilen toz örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük İMAB pik alanları ise, aralarında istatistiki olarak anlamlı bir fark bulunmamakla birlikte, PKKD-KPK sistemiyle elde edilen toz örnekte ve taşıyıcı eklenerek kurutulan örnekte tespit edilmiştir. Böylece istenilen aroma bileşimi yönünden, yaygın kullanılan teknolojiyle rekabet edebilecek nitelikte; istenmeyen aroma bileşenlerinin azlığı yönünden ise en iyi son ürün elde edilmiştir.

PKKD-KPK ve taşıyıcılı KPK yaklaşımlarıyla yapılan optimizasyon çalışması verilerinin validasyon sonuçları Çizelge 4.23’te verilmiş ve programın önerdiği modelde tahminlenen değerlere oldukça yakın ve belirlenen hata değerinin %10’un altında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.21. İstenilen ve istenmeyen aroma bileşen pik alanlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

	İAB (pik alanı)	İMAB (pik alanı)
Konvektif kurutma dilim	20442484 ^f	22530238 ^b
Konvektif kurutma püre	109609066 ^a	9334710 ^d
Dondurarak kurutma dilim	6406677 ^g	10316532 ^c
Dondurarak kurutma püre	40851794 ^c	68873206 ^a
Köpük kurutma	23455148 ^e	4821035 ^e
PKKD-KPK	44865893 ^b	1764190 ^f
Taşıyıcı KPK	33577232 ^d	2361165 ^f

*Aynı sütundaki farklı harfler $P < 0.05$ düzeyinde istatistiksel farklılığı belirtmektedir.

Çizelge 4.22. İstenilen ve istenmeyen aroma bileşen pik alanlarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu

ρ_b	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	6	1.3414591E+16	2.2357652E+15	4442.33	<0.0001
Hata	8	4.0262949E+12	503286861935		
Düzenlenmiş Toplam	14	1.3418618E+16			
ρ_t	SD	KT	KO	F değeri	P değeri
Model	6	7.0596366E+15	1.1766061E+15	11854.8	<0.0001
Hata	8	794012663895	99251582987		
Düzenlenmiş Toplam	14	7.0604306E15			

Çizelge 4.23. PKKD-KPK ve taşıyıcılı KPK için validasyon test sonuçları

PKKD-KPK	İAB (pik alanı)	İMAB (pik alanı)	K (mg/kg)	Eİ	t (dk.)
Teorik	16873739	5367965	4428	27.40	13.93
Deneyssel	17913690	5523187	4819	27.95	14
Hata	6.16	2.89	8.83	2.01	0.5
Taşıyıcılı KPK	İAB kazanım (pik alanı)	İMAB salınım (pik alanı)	K (mg/kg)	Eİ	t
Teorik	68649569	2326918	2935	25.70	23.66
Deneyssel	73583218	2381030	3122	27.68	24
Hata (%)	7.19	2.33	6.37	7.70	1.44

5. SONUÇLAR

- Bu çalışmada mevcut kurutma sistemine kapsamlı bir modifikasyon yapılarak; gıda endüstrisindeki kurutma uygulamaları için, özellikle uzun süren ısıtma işlemi duyarlı ve püreye kolay işlenebilen hammaddeler için, toz formda nihai ürün elde etmek amacıyla, pirometre tarafından kontrol edilen bir kızıl ötesi destekli kırınım pencereci kurutma sistemi geliştirilmiş, kontrolleri yapılmış ve işlem koşulları optimize edilmiştir.
- Optimizasyonda Yanıt Yüzey Metodu Box-Behnken deneme deseni kullanılmış; bağımsız değişkenler olarak sirkülasyon suyu sıcaklığı, püre yüzey sıcaklığı, hava hızı ve bağımlı değişkenler olarak ise istenen aroma bileşen toplam alanı, istenmeyen aromabilesen toplam alanı, kuersetin miktarı, esmerleşme indeksi ve kuruma süresi seçilmiştir. Soğan püresi için optimize edilmiş parametreler, sirkülasyon suyu sıcaklığı için 89.71°C, püre yüzey sıcaklığı için 30°C ve hava hızı için 1.2 m/s olarak belirlenmiş, kuruma süresi 14 dk olarak kaydedilmiştir. İşlem koşulları değerlendirilirken, özellikle kurutma süresi ve ürün kalitesi açısından, yeni PKKD-KPK sistemi literatürde belirtilen diğer kurutma yöntemleriyle kıyaslandığında hem kurutma süresindeki ciddi düşüş, hem de nihai ürün kalitesi açısından daha avantajlıdır.
- Modifiye edilen kurutucu için belirlenen optimum koşullarda taşıyıcı eklenmiş pürenin kurutulması için taşıyıcı madde kompozisyonu optimizasyon çalışması Karışım Optimal Deneyisel tasarımıyla yürütülmüştür. Optimum kurutma koşullarında tespit edilen en iyi taşıyıcı kompozisyonu püre kuru maddesinin toplam %50'sini oluşturacak şekilde 2.08 g maltodektrin ve 1.92 g Arap gamı olarak belirlenmiştir. Ancak kuruma süresi 24dk.'ya yükselmiş, ürün kalitesine ve aroma tutulumuna olumlu bir katkı sağlanamamıştır.
- Köpük kurutma işlemi için optimum köpük eldesi koşulları da optimize edilmiştir. Farklı miktarlarda çöven ekstraktı eklenerek farklı köpürtme sürelerinde oluşturulan soğan püresi köpüklerinin yoğunluğu ve stabilitesi incelenmiştir. Minimum köpük yoğunluğunun ve maksimum köpük stabilitesinin %0,5 çöven ekstraktı eklenmiş pürenin 3 dk boyunca köpürtülmesiyle (1 dk. ön parçalama ardından) elde edildiği görülmüş, kuruma süresi 8 dk. olarak kaydedilmiş ve dolayısıyla köpük kurutma yaklaşımının kuruma süresini ciddi miktarda kısalttığı tespit edilmiştir.
- PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürün ve ticari olarak piyasada satılan Hindistan menşeli olup ülkemizde paketlenen bir toz ürün ile hazırlanan dip soslar arasında yalnızca koku açısından istatistiki olarak anlamlı bir fark olduğu ($P<0.05$) görülmüş ve PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürünün kokusunun daha baskın olduğu panelistler tarafından değerlendirilmiştir. Ayrıca istatistiki olarak anlamlı bir fark ortaya koymasa da PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürünün genel beğeni puanı ticari üründen daha yüksek olmuştur. Bu sonuçların da ortaya koyduğu gibi PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürün piyasada ticari olarak satılan toz formdaki ürünle rekabet edebilecek niteliktedir.
- PKKD-KPK'de kurutulmuş granül formda ürün ve ticari olarak piyasada satılan biri yerli diğeri Hindistan menşeli olup ülkemizde paketlenen granül ürünler ile hazırlanan soğan çorbaları arasında yalnızca renk ve soğan lezzeti açısından istatistiki olarak anlamlı bir fark olduğu ($P<0.05$) görülmüş ve PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürünün renginin daha açık ve beyaza yakın bir renk olduğu, soğan lezzeti açısından da en

kuvvetli örneğin PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürün olduğu panelistler tarafından değerlendirilmiştir. Ayrıca istatistiki olarak anlamlı bir fark ortaya koymasa da PKKD-KPK'de kurutulmuş toz ürünün genel beğeni puanı ticari üründen daha yüksek olmuştur. Bu sonuçların da ortaya koyduğu gibi PKKD-KPK'de kurutulmuş granül formdaki ürün piyasada ticari olarak satılan benzerlerinden birçok parametre açısından üstün özellik göstermiştir.

- Son ürün analiz sonuçları göstermektedir ki test edilen çoğu parametre açısından en üstün son ürün PKKD-KPK sistemiyle elde edilen toz örnek olarak tespit edilmiştir. Özellikle İAB ve İMAB pik alanını sırasıyla maksimize ve minimize eden yaklaşım sayesinde duyuşal özellikleri bakımından zengin bir son ürün eldesi hedefine ulaşılmıştır.



6. KAYNAKLAR

- Akdeniz, B., Sumnu, G. and Sahin, S. 2018. Microencapsulation of phenolic compounds extracted from onion (*allium cepa*) skin. *Journal of food Processing and Preservation*, 42 (7): e13648.
- Akinola, A., Lawal, S. and Osiberu, A. 2014. Refractance window™ drying of red onions (*allium cepa*).
- Aktas, R.N. and Tontul, I. 2021. Usability of soapwort and horse chestnut saponin extracts as foaming agents in foam mat drying of pomegranate juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101 (2): 786-793.
- Aloqbi, A.A. 2020. Gum arabic as a natural product with antimicrobial and anticancer activities. *Archives of pharmacy practice*, 11 (2-2020): 107-112.
- Anonim 2022. Ürün masaları kuru soğan bülteni. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/B%C3%BCItenler/MAYIS%202022/Kuru%20So%C4%9Fan%20May%C4%B1s%20B%C3%BCIteni.pdf> [Son erişim tarihi: 23.06.2024]
- Anonymous 2020. From farm to fork: How food systems can power climate action. <https://news.un.org/en/story/2020/09/1071412> [Son erişim tarihi: 19.07.2024]
- Arslan, D. and Özcan, M.M. 2010. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT-Food Science and Technology*, 43 (7): 1121-1127.
- Augustin, M.A. and Sanguansri, L. 2015. Challenges and solutions to incorporation of nutraceuticals in foods. *Annual review of food science and technology*, 6 (1): 463-477.
- Baeghbali, V. and Niakousari, M. 2018. A review on mechanism, quality preservation and energy efficiency in refractance window drying: A conductive hydro-drying technique. *Journal of Nutrition, Food Research and Technology*, 1 (2): 50-54.
- Baeghbali, V., Niakousari, M., Ngadi, M.O. and Hadi Eskandari, M. 2019. Combined ultrasound and infrared assisted conductive hydro-drying of apple slices. *Drying Technology*, 37 (14): 1793-1805.
- Bhandari, B.R., D'arc, B.R. and Padukka, I. 1999. Encapsulation of lemon oil by paste method using β -cyclodextrin: Encapsulation efficiency and profile of oil volatiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47 (12): 5194-5197.
- Block, E. 1985. The chemistry of garlic and onions. *Scientific american*, 252 (3): 114-121.
- Brygidyr, A., Rzepecka, M. and Mcconnell, M. 1977. Characterization and drying of tomato paste foam by hot air and microwave energy. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 10 (4): 313-319.
- Carr, R.L. 1965. Evaluating flow properties of solids.
- Cemeroğlu, B.S. 2009. Meyve ve sebze işleme teknolojisi 2. Cilt. Nobel Akademik Yayıncılık, 636 s.
- Cha, Y., Kim, H. and Cadwallader, K. 1998. Aroma-active compounds in kimchi during fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46 (5): 1944-1953.
- Choi, S.M., Lee, D.-J., Kim, J.-Y. and Lim, S.-T. 2017. Volatile composition and sensory characteristics of onion powders prepared by convective drying. *Food chemistry*, 231: 386-392.
- Colak, N., Balta, M.T., İçier, F., Kuzgunkaya, E., Hepbasli, A. and Erbay, Z. 2010. Exergy analysis of food drying processes. *Global Warming: Engineering Solutions*: 267-279.

- Colina-Coca, C., González-Peña, D., Vega, E., De Ancos, B. and Sánchez-Moreno, C. 2013. Novel approach for the determination of volatile compounds in processed onion by headspace gas chromatography–mass spectrometry (hs gc–ms). *Talanta*, 103: 137-144.
- Çetin, C. 2014. Farklı kurutma ön işlemleri ve metodlarının doğranmış kuru soğanların kurutma kinetiği ve kalitesi üzerine etkisi. Fen Bilimleri Enstitüsü, s.
- Çınar, İ. and Eraşar, F.K. 2018. Köpük kurutma tekniğinin meyve ve sebze İşlemede kullanımı. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2): 89-100.
- Desai, K.G.H. and Jin Park, H. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying technology*, 23 (7): 1361-1394.
- Dincer, C., Topuz, A., Sahin-Nadeem, H., Ozdemir, K.S., Cam, I.B., Tontul, I., Gokturk, R.S. and Ay, S.T. 2012. A comparative study on phenolic composition, antioxidant activity and essential oil content of wild and cultivated sage (*salvia fruticosa miller*) as influenced by storage. *Industrial Crops and Products*, 39: 170-176.
- Edith, D.M.J., Dimitry, M.Y., Richard, N.M., Armand, A.B., Léopold, T.N. and Nicolas, N.Y. 2018. Effect of drying treatment on nutritional, functional and sensory properties of three varieties of onion powders. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12: 2905-2915.
- Esper, A. and Mühlbauer, W. 1998. Solar drying-an effective means of food preservation. *Renewable energy*, 15 (1-4): 95-100.
- F. Gibbs, S.K., Intez Ali, Catherine N. Mulligan, Bernard 1999. Encapsulation in the food industry: A review. *International journal of food sciences and nutrition*, 50 (3): 213-224.
- Farooq, M., Iqbal, M.J., Shukat, R., Cristina, M., Ilyas, N., Solangi, I.A. and Yunyang, W. 2021. Drying of onion paste to develop powders by foam-mat drying process using soy protein as foaming agent. *Carpathian Journal of Food Science & Technology*, 13 (2):
- Freeman, G. and Mossadeghi, N. 1970. Effect of sulphate nutrition on flavour components of onion (*allium cepa*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 21 (12): 610-615.
- Fu, H.-Y. and Huang, T.-C. 2003. Effect of different heating processes on cytotoxic and free radical scavenging properties of onion powder. In: ACS Publications, pp.
- Fung, D.Y.-K. 1976. Foam-mat dehydration of onions.
- Gao, Y., Wu, S., Sun, Y., Cong, R., Xiao, J. and Ma, F. 2019. Effect of freeze dried, hot air dried and fresh onions on the composition of volatile sulfocompounds in onion oils. *Drying technology*, 37 (11): 1427-1440.
- Geankoplis, C.J. 1993. Transport processes and unit operations (3rd edition). Englewood Cliffs, NJ, USA, 150 s.
- Gocmen, D., Gurbuz, O., Rouseff, R.L., Smoot, J.M. and Fatih Dagdelen, A. 2004. Gas chromatographic-olfactometric characterization of aroma active compounds in sun-dried and vacuum-dried tarhana. *European Food Research and Technology*, 218: 573-578.
- Grewal, M.K., Jha, S., Patil, R., Dhatt, A., Kaur, A. and Jaiswal, P. 2015. A less energy intensive process for dehydrating onion. *Journal of food science and technology*, 52 (2): 1131-1137.
- Hamauzu, Y., Nosaka, T., Ito, F., Suzuki, T., Torisu, S., Hashida, M., Fukuzawa, A., Ohguchi, M. and Yamanaka, S. 2011. Physicochemical characteristics of rapidly

- dried onion powder and its anti-atherogenic effect on rats fed high-fat diet. *Food chemistry*, 129 (3): 810-815.
- Hayashi, H. 1989. Drying technologies of foods-their history and future. *Drying technology*, 7 (2): 315-369.
- Hidalgo, L.F., Candido, M.N., Nishioka, K., Freire, J.T. and Vieira, G.N.A. 2021. Natural and forced air convection operation in a direct solar dryer assisted by photovoltaic module for drying of green onion. *Solar Energy*, 220: 24-34.
- Higashitani, K., Makino, H. and Matsusaka, S. 2019. Powder technology handbook. CRC Press, s.
- Horincar, G., Aprodu, I., Barbu, V., Răpeanu, G., Bahrim, G.E. and Stănciuc, N. 2019. Interactions of flavonoids from yellow onion skins with whey proteins: Mechanisms of binding and microencapsulation with different combinations of polymers. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 215: 158-167.
- Hunter, R.J. 2001. Foundations of colloid science.
- Imai, S., Tsuge, N., Tomotake, M., Nagatome, Y., Sawada, H., Nagata, T. and Kumagai, H. 2002. An onion enzyme that makes the eyes water. *Nature*, 419 (6908): 685-685.
- Islek, M., Nilufer-Erdil, D. and Knuthsen, P. 2015. Changes in flavonoids of sliced and fried yellow onions (a llium cepa l. Var. Zittauer) during storage at different atmospheric, temperature and light conditions. *Journal of food processing and preservation*, 39 (4): 357-368.
- Jafari, S.M. and Rashidinejad, A. 2021. Spray drying encapsulation of bioactive materials. CRC Press, s.
- Kadam, D.M. and Balasubramanian, S. 2011. Foam mat drying of tomato juice. *Journal of food processing and preservation*, 35 (4): 488-495.
- Kang, N.-S., Kim, J.-H. and Kim, J.-K. 2007. Modification of quality characteristics of onion powder by hot-air, vacuum and freeze drying methods. *Korean Journal of Food Preservation*, 14 (1): 61-66.
- Karaaslan, M., Yıldırım, A. and Vardin, H. 2016. Farklı kurutma teknikleri ve ön işlem uygulamaları ile kurutulmuş soğanların rehidrasyon kapasitelerinin artırılması. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 20 (3): 192-203.
- Kebede, B.T., Grauwet, T., Mutsokoti, L., Palmers, S., Vervoort, L., Hendrickx, M. and Van Loey, A. 2014. Comparing the impact of high pressure high temperature and thermal sterilization on the volatile fingerprint of onion, potato, pumpkin and red beet. *Food Research International*, 56: 218-225.
- Koutidou, M., Grauwet, T., Van Loey, A. and Acharya, P. 2017. Impact of processing on odour-active compounds of a mixed tomato-onion puree. *Food chemistry*, 228: 14-25.
- Krokida, M. and Philippopoulos, C. 2005. Rehydration of dehydrated foods. *Drying Technology*, 23 (4): 799-830.
- Kumar, K.S., Bhowmik, D., Chiranjib, B. and Tiwari, P. 2010. Allium cepa: A traditional medicinal herb and its health benefits. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2 (1): 283-291.
- Kumari, A., Gautam, G., Chauhan, A.K., Singh, M. and Singh, A. 2021. Effect of different drying methods on nutritional and functional properties of onion powder. *The Indian Journal of Nutrition and Dietetics*: 301-316.

- Küçükyıldız Gözelce, D. 2022. Ömer azmi'nin hanım kitabında yer alan yemek tarifleri. *Turkish Studies-Language & Literature*, 17 (4):
- Lanzotti, V. 2006. The analysis of onion and garlic. *Journal of chromatography A*, 1112 (1-2): 3-22.
- Lee, E.J., Patil, B.S. and Yoo, K.S. 2015. Antioxidants of 15 onions with white, yellow, and red colors and their relationship with pungency, anthocyanin, and quercetin. *LWT-Food Science and Technology*, 63 (1): 108-114.
- Lili, Z., Guanying, S., Pengfei, J., Le, Z., Xuzeng, W. and Zhaogai, W. 2022. Identification of the key aroma components in toona sinensis using odor activity value and gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry. *Modern Food Science & Technology*, 38 (11):
- Liu, G., Wang, Y., Hu, L. and He, H. 2022. Characterization of the volatile compounds of onion with different fresh-cut styles and storage temperatures. *Foods*, 11 (23): 3829.
- Maftoonazad, N., Dehghani, M.R. and Ramaswamy, H.S. 2022. Hybrid microwave-hot air tunnel drying of onion slices: Drying kinetics, energy efficiency, product rehydration, color, and flavor characteristics. *Drying Technology*, 40 (5): 966-986.
- Majewski, M. 2014. Allium sativum: Facts and myths regarding human health. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 65 (1):
- Mcclements, D.J. 2004. Food emulsions: Principles, practices, and techniques. CRC press, s.
- Menges, H.O. and Ertekin, C. 2006. Thin layer drying model for treated and untreated stanley plums. *Energy Conversion and Management*, 47 (15-16): 2337-2348.
- Mirghani, M.E., Elnour, A.A., Kabbashi, N., Alam, M.Z., Musa, K.H. and Abdullah, A. 2018. Determination of antioxidant activity of gum arabic: An exudation from two different locations. *ScienceAsia*, 44 (3):
- Mongpraneet, S., Abe, T. and Tsurusaki, T. 2002. Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions. *Journal of food engineering*, 55 (2): 147-156.
- Ndisanze, M. 2017. The effect of different drying methods on antimicrobial and antioxidant activity of stinging nellte, celery, red onion, ginger and umuravumba.
- Nindo, C., Tang, J., Powers, J. and Takhar, P. 2007. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. *LWT-Food Science and Technology*, 40 (2): 292-299.
- Ostermeier, R., Parniakov, O., Töpfl, S. and Jäger, H. 2020. Applicability of pulsed electric field (pef) pre-treatment for a convective two-step drying process. *Foods*, 9 (4): 512.
- Pareek, S., Sagar, N.A., Sharma, S. and Kumar, V. 2017. Onion (allium cepa l.). *Fruit and vegetable phytochemicals: Chemistry and human health*, 2: 1145-1162.
- Parmar, A. and Dhamsaniya, N. 2023. Refractance window drying: A novel drying technique for quality retention.
- Peter, K. and Shylaja, M. 2012. Introduction to herbs and spices: Definitions, trade and applications. In: Handbook of herbs and spices, Elsevier, pp. 1-24.
- Puente-Díaz, L., Spolmann, O., Nocetti, D., Zura-Bravo, L. and Lemus-Mondaca, R. 2020. Effects of infrared-assisted refractance window™ drying on the drying kinetics, microstructure, and color of physalis fruit purée. *Foods*, 9 (3): 343.

- Raghavi, L., Moses, J. and Anandharamakrishnan, C. 2018. Refractance window drying of foods: A review. *Journal of food engineering*, 222: 267-275.
- Rajkumar, H., Ramagoni, R.K., Anchoju, V.C., Vankudavath, R.N. and Syed, A.U.Z. 2015. De novo transcriptome analysis of allium cepa l.(onion) bulb to identify allergens and epitopes. *PLoS One*, 10 (8): e0135387.
- Rajoriya, D., Shewale, S.R., Bhavya, M. and Hebbar, H.U. 2020. Far infrared assisted refractance window drying of apple slices: Comparative study on flavour, nutrient retention and drying characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66: 102530.
- Sagar, N.A., Pareek, S., Benkeblia, N. and Xiao, J. 2022. Onion (allium cepa l.) bioactives: Chemistry, pharmacotherapeutic functions, and industrial applications. *Food Frontiers*, 3 (3): 380-412.
- Salehi, F. 2020. Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A review. *International Journal of Fruit Science*, 20 (3): 586-602.
- Sangamithra, A., Sivakumar, V., John, S.G. and Kannan, K. 2015. Foam mat drying of food materials: A review. *Journal of food processing and preservation*, 39 (6): 3165-3174.
- Sasmaz, H.K., Uzlaşır, T., Selli, S. and Kelebek, H. 2024. Changes in bioactive compounds and antioxidant activity of gaziantep and kastamonu garlic during black garlic production. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 8 (1): 111-118.
- Seifu, M., Tola, Y.B., Mohammed, A. and Astatkie, T. 2018. Effect of variety and drying temperature on physicochemical quality, functional property, and sensory acceptability of dried onion powder. *Food science & nutrition*, 6 (6): 1641-1649.
- Sezer, S. 2017. Soğan dilimlerinin çeşitli yöntemlerle kurutma karakteristiklerinin ve kurutma esnasında meydana gelen değişimlerin incelenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, s.
- Sharma, K., Assefa, A.D., Kim, S., Ko, E.Y., Lee, E.T. and Park, S.W. 2014. Evaluation of total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of 18 korean onion cultivars: A comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94 (8): 1521-1529.
- Shende, D. and Datta, A.K. 2019. Refractance window drying of fruits and vegetables: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99 (4): 1449-1456.
- Süfer, Ö., Sezer, S. and Demir, H. 2017. Thin layer mathematical modeling of convective, vacuum and microwave drying of intact and brined onion slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41 (6): e13239.
- Taşçı, B. and Koca, İ. 2019. Mor soğanın (allium cepa l.) önemli bileşiği: Kersetin ve sağlık üzerine etkileri. *Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi*, 4 (2): 32-37.
- Tayel, S.A., Alkatary, H., Nagy, K. and Younes, O. 2012. Dehydration of onion slices using ir-refractance window drying system. *Misir Journal of Agricultural Engineering*, 29 (1): 409-428.
- Teshika, J.D., Zakariyyah, A.M., Zaynab, T., Zengin, G., Rengasamy, K.R., Pandian, S.K. and Fawzi, M.M. 2019. Traditional and modern uses of onion bulb (allium cepa l.): A systematic review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59 (sup1): S39-S70.
- Tontul, İ. 2017. Kırınım pencere (refractance window) ve mikrodalga destekli sıcak hava kurutma teknikleri ile fonksiyonel bileşenlerce zengin nar pestili üretimi.

- Tontul, I. and Topuz, A. 2017. Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT*, 80: 294-303.
- Topuz, A., Feng, H. and Kushad, M. 2009. The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *LWT-Food Science and Technology*, 42 (10): 1667-1673.
- Trivedi, M., D'costa, V., Shitut, J. and Srivastav, S. 2017. Refractance window technology: A promising drying technique for the food industry. *Int. J. Innov. Emerging Res. Eng*, 4: 6-16.
- Tuncer, A.D., Mavuş, R., Gökçe, C., Koşan, M. and Aktaş, M. 2019. Efficient energy systems models for sustainable food processing. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7 (8): 1138-1145.
- Tunde-Akintunde, T., Afolabi, T. and Akintunde, B. 2005. Influence of drying methods on drying of bell-pepper (capsicum annum). *Journal of Food Engineering*, 68 (4): 439-442.
- Türkomp 2024. Ulusal gıda veri tabanı. Soğan, sarı, kuru. <https://turkomp.tarimorman.gov.tr/food-230> [Son erişim tarihi: 23.06.2024]
- Varhan, E. and Koç, M. 2017. Drying of foods with foam mat drying method. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5 (6): 637-645.
- Vega-Mercado, H., Góngora-Nieto, M.M. and Barbosa-Cánovas, G.V. 2001. Advances in dehydration of foods. *Journal of food engineering*, 49 (4): 271-289.
- Velioglu, Y., Mazza, G., Gao, L. and Oomah, B. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46 (10): 4113-4117.
- Villière, A., Le Roy, S., Fillonneau, C., Guillet, F., Falquerho, H., Bousely, S. and Prost, C. 2015. Evaluation of aroma profile differences between sué, sautéed, and pan-fried onions using an innovative olfactometric approach. *Flavour*, 4: 1-19.
- Voda, A., Homan, N., Witek, M., Duijster, A., Van Dalen, G., Van Der Sman, R., Nijse, J., Van Vliet, L., Van As, H. and Van Duynhoven, J. 2012. The impact of freeze-drying on microstructure and rehydration properties of carrot. *Food Research International*, 49 (2): 687-693.
- Waghmare, R. 2021. Refractance window drying: A cohort review on quality characteristics. *Trends in Food Science & Technology*.
- Walstra, P. 2003. Physical chemistry of foods. Marcel dekker. Inc., New York:
- Wang, L. 2014. Energy efficiency technologies for sustainable food processing. *Energy efficiency*, 7 (5): 791-810.
- Wrolstad, R.E. and Smith, D.E. 2017. Color analysis. *Food analysis*: 545-555.

7. EKLER

Ek 1. Soğan püresinin kurutma koşullarının optimizasyonunda kullanılan İAB ve İMAB pik alanları

		Aroma bileşenlerine ait pik alanları*																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
İstenilen Aroma Bileşenler	Dimetil sülfid	-	-	0.74	0.81	-	-	-	-	0.59	1.69	1.11	-	-	-	-	0.52	-
	3-Metil bütanal	1.32	0.92	1.2	1.21	1.22	1.34	1.4	0.82	1.48	0.44	1.34	0.93	1.39	1.17	1.23	0.81	1.12
	2-Metil bütanal	0.50	0.42	0.34	0.44	0.59	0.47	0.48	0.32	0.34		0.47	0.40	0.33	0.34	0.72	0.22	0.55
	Dimetil disülfid	0.11	0.11	0.52		0.30	0.12	0.14	0.12	0.18	0.46	0.29	0.19	0.14	0.24	0.18		0.21
	3,4-Dimetil tiyofen	2.71	1.06	1.50	1.37	3.89	1.88	1.92	1.97	1.84	4.35	4.18	4.01	2.42	2.61	2.21	4.02	3.56
	2,5-Dimetil tiyofen	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	0.32	-	-	0.08	-	-	0.18	-
	Dimetil trisülfid	1.54	1.03	1.70	0.55	4.07	1.77	1.64	1.58	0.97	7.47	2.65	2.19	1.54	2.60	3.58	1.62	4.69
	2-Merkapto-3,4-dimetil-2,3-dihidrotiyofen	-	-	-	0.39	-	-	0.26	0.24	-	-	0.43	0.34	-	0.22	-	0.70	0.56
	Metil 2-propenil trisülfid	0.34	0.64	1.8	0.66	-	1.38	1.14	0.78	0.87		0.86	1.41	1.45	1.15	0.91	1.63	1.12
	Allil metil trisülfid	-	-	-	-	0.26	0.12	-	-	-	0.52	0.13	-	-	-	0.21	-	0.15
	4,6-Dietil-1,2,3,5-tetratiyolan	2.25	1.45	1.28	2.17	4.36	2.08	1.54	1.50	0.94	7.51	5.14	2.07	3.83	6.27	2.40	2.60	1.37
İstenmeyen Aroma Bileşenler	2-Metil propanal	0.92	0.69	0.10	0.18	0.56	0.52	0.57	0.37	-	-	0.09	0.33	0.23	0.42	0.56	-	0.31
	Hekzanal	0.79	0.83	0.92	0.34	0.37	0.81	1.03	1.64	1.75	1.12	0.94	1.25	0.65	1.75	0.54	0.83	1.57
	2-Metil-2-pentanal	3.12	1.07	0.69	0.62	1.41	0.59	1.82	3.97	3.31	3.94	3.98	1.69	1.34	5.77	1.06	2.26	3.62

*Pik alanı verileri 1 milyona bölünerek verilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

ECEM VURAL

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora	Akdeniz Üniversitesi
2017-2024	Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2014-2017	Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Uludağ Üniversitesi
2009-2013	Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1- Vural, E., & Topuz, A. (2023). Anthocyanin-Based Natural Food Colorant from Fresh Waste Carnation Flower Petals: Effect of pH, Temperature, and Drying Method on its Degradation Kinetics and its Use in Ice Cream. *Akademik Gıda*, 21(4), 312-322.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Poster- Vural. E, Topuz. A. ve Başünal Gülmez H. Fume Kuru Sebze Üretimi Antalya OSB Ar-Ge ve İnovasyon Proje Pazarı (26-27 Mayıs 2022)
- 2- Poster – Vural. E, Topuz A. and Başünal Gülmez H. The effects of liquid smoke flavouring on the sensory and chemical characteristic of dried red pepper, 1st International / 11th National Food Engineering Congress, Antalya, Turkey (November 7-9, 2019).

- 3- Sözlü sunum – Vural. E, Eroğlu E. and Topuz A. Extraction optimization of sunflower head pectin and determination some gel properties of the pectin, XIIIth International Conference of Food Physicists, O-36, 89, Antalya, Turkey (October 23-25, 2018)
- 4- Poster – Vural. E ve Topuz A. Karanfil çiçeğinden antosiyanin ekstraktı eldesi ve doğal gıda renklendiricisi olarak stabilitesinin incelenmesi, Antalya OSB Ar-Ge ve İnovasyon Proje Pazarı (29-30 Mart 2018)
- 5- Poster - Vural. E and Topuz A. A New Source of Natural Food Colorant: Dianthus caryophyllus L., 3rd International Congress on Food Technology, P283, Nevşehir, Turkey (October 10-12, 2018)
- 6- Poster - Vural E. ve Topuz A. Doğal Gıda Renklendiricisi Olarak Antosiyaninler. Türkiye 12. Gıda Kongresi, 399, Edirne, Türkiye (2016).