

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**YENİLİKÇİ KURUTMA YÖNTEMLERİYLE DOMATES TOZU ELDESİ, TOZ
ÜRÜNÜN KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE DEPOLAMA
STABİLİTESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Tuğçe ATBAKAN KALKAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**YENİLİKÇİ KURUTMA YÖNTEMLERİYLE DOMATES TOZU ELDESİ, TOZ
ÜRÜNÜN KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE DEPOLAMA
STABİLİTESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Tuğçe ATBAKAN KALKAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLİKÇİ KURUTMA YÖNTEMLERİYLE DOMATES TOZU ELDESİ, TOZ
ÜRÜNÜN KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE DEPOLAMA
STABİLİTESİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tuğçe ATBAKAN KALKAN
GIDA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**TEMMUZ 2025
ANTALYA**

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİLİKÇİ KURUTMA YÖNTEMLERİYLE DOMATES TOZU ELDESİ, TOZ
ÜRÜNÜN KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE DEPOLAMA
STABİLİTESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Tuğçe ATBAKAN KALKAN

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez 25/07/2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayhan TOPUZ (Danışman)

Prof. Dr. Mustafa KARHAN

Prof. Dr. Erkan KARACABEY

Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU

Doç. Dr. Alper KUŞÇU

ÖZET

YENİLİKÇİ KURUTMA YÖNTEMLERİYLE DOMATES TOZU ELDESİ, TOZ ÜRÜNÜN KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE DEPOLAMA STABİLİTESİNİN ARAŞTIRILMASI

Tuğçe ATBAKAN KALKAN

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof Dr. Ayhan TOPUZ

Temmuz 2025; 135 sayfa

Bu tez çalışması kapsamında, yenilikçi kurutma teknolojilerinden olan kızılötesi destekli kırımım pencereci kurutma (KDKPK) ve ultrases destekli kırımım pencereci kurutma (UDKPK) sistemleri ile domates salçası tozu üretimi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle bölümümüzde mevcut halde bulunan kırımım pencereci kurutma (KPK) sistemine pirometre kontrollü kızılötesi lamba (IR) desteği eklenmiştir. Literatürde domates salçasının KDKPK sisteminde kurutulmasına ilişkin bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu tez çalışmasında serilebilir kıvama getirilen salça 4 farklı kurutma yaklaşımıyla optimize edilmiş koşullarda (sıcak hava kurutma hariç) kurutularak karşılaştırılmış ve salçadan domates tozu üretimi için en uygun kurutuma yöntem ve yaklaşımı belirlenmiştir. KDKPK'ya ait optimum işlem koşullarının belirlenmesi amacıyla bağımsız değişkenler olan sirküle edilen su sıcaklığı (60-90 °C), salça serme kalınlığı (2-3 mm) ve ürün yüzey sıcaklığı (30-36 °C) optimize edilmiştir. Bu amaçla Design Expert paket programı kullanılarak oluşturulan deneysel tasarımda (Yanıt Yüzey Optimal Özel Tasarım) elde edilen bağımlı değişken olarak likopen içeriği, esmerleşme indeksi ve kuruma süresi test edilmiş, bağımsız değişkenlerin optimum değeri en yüksek likopen içeriği, en düşük esmerleşme indeksi ve en kısa kuruma süresini sağlayacak şekilde optimize edilmiştir. Optimum sirkülasyon suyu sıcaklığı, salça serme kalınlığı ve IR lambanın çalışması için gerekli yüzey sıcaklığı sırasıyla 82 °C sıcaklık, 2 mm serme kalınlığı ve 32 °C olarak belirlenmiştir.

KDKPK yönteminde kuruma süresini kısaltmak için optimize edilen kurutma koşullarında köpük kurutma (KK-KDKPK) yaklaşımıyla da salça kurutulmuştur. Köpük formunda kurutma yapabilmek için köpük yapıcı ajan olarak soya ve bezelye protein izolatları seçilmiş ve bu protein izolatları salça içerisinde toplamda % 1.5 olacak şekilde kullanılmıştır. Köpürtme amaçlı çırpma işleminin süresiyle birlikte bu protein izolatlarının en uygun oranları Design Expert paket programı yardımıyla oluşturulan kombine karışım tasarımı (optimal combined mixture design) kullanılarak maksimum köpük stabilitesi ve köpük kapasitesi oluşturan oran optimize edilmiştir. Gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda en uygun çırpma süresi 1 dk, salçaya katkılanarak en uygun protein oranları ise % 0.4 soya protein izolatı ve %1.1 bezelye protein izolatı olarak belirlenmiştir.

KDKPK sisteminde domates tozunun esmerleşme reaksiyonlarını engellemek, aroma kayıpları azaltmak ve uçucu bileşenlerin stabilitesini arttırmak amacıyla iki ayrı deneme daha gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerin ilkinde serilen domates salçasına askorbik asit (% 0.5), ikincisinde ise β -siklodekstrin (%1) ilave edilerek optimum kurutma koşullarında domates tozu üretilmiştir.

Kızılötesi lamba desteğinin etkisini değerlendirebilmek amacıyla IR lamba açılmadan da kırımın pencereleli kurutma (KPK) sisteminde bir kontrol denemesi gerçekleştirilmiştir. UDKPK sistemi için de mevcut halde bulunan ultrases su banyosunun üzeri Mylar film ile kapatılarak, KDKPK sisteminde belirlenen optimum sıcaklık (82°C) ve serme kalınlığında (2mm), 37-38 kHz ultrases gücünde salça kurutulmuştur. Yenilikçi kurutma yöntemlerinin yanı sıra halihazırda kullanılan konveksiyonel kurutma (SHK) ile de salça kurutulmuş olup tez çalışması kapsamında uygulanan tüm kurutma yöntemleriyle elde edilen domates tozlarının bazı fizikokimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca 7 farklı uygulama ile elde edilen salça tozları 2 farklı sıcaklıkta (4 ve 25°C) depolanarak ürünlerin nem miktarı, su aktivitesi, renk, 5-hidroksimetilfurfural (HMF), toplam fenolik madde, likopen, antioksidan aktivite, pH-titrasyon asitliği, toplam şeker miktarı, askorbik asit ve uçucu bileşen kompozisyonu analizlerindeki değişimler izlenmiştir.

KDKPK, KK-KDKPK, UDKPK, KPK ve SHK yöntemlerinde kurutma süreleri sırasıyla 40 dk, 20 dk, 50 dk, 55 dk ve 180 dk olarak hesaplanmıştır. Domates tozlarının likopen içeriği 157.54 ve 257.53 mg/100 g KM arasında değişmiş olup en yüksek likopen içeriği KK-KDKPK ve UDKPK yöntemleriyle üretilen domates tozlarında belirlenmiştir. Domates tozlarına ait en düşük esmerleşme indeksi KK-KDKPK ve UDKPK yöntemleri ile üretilen tozlarda hesaplanmıştır. Domates tozlarında en yüksek antioksidan aktivite KDKPK sisteminde % 0.5 askorbik asit ilaveli olarak kurutulan örneklerde belirlenmiştir. Salça tozlarının çözünürlük, titrasyon asitliği ve toplam şeker miktarları üzerine kurutma uygulamalarının önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Salça tozlarının toplam fenolik madde içeriği ise KDKPK ile KPK ile elde edilen ürünlerde daha yüksek belirlenmiştir. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının depolama süresi boyunca likopen ve askorbik asit içeriği ile antioksidan aktivitelerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde azalışlar meydana gelmiş, özellikle 25 °C’de depolanan örneklerde bu azalış daha belirgin olmuştur. Depolama süresi boyunca örneklerin HMF ve toplam fenolik madde içerikleri artış göstermiştir. Karşılaştırılan kurutma uygulamaları ile elde domates tozlarında en fazla pik alanına sahip aroma bileşeninin 6-metil-5-hepten-2-on olduğu tespit edilmiştir. Depolama boyunca bu aroma bileşenlerinin pik alanları azalmış, özellikle 25°C’de depolanan örneklerde bu azalışın daha fazla olduğu belirlenmiştir. β -siklodekstrin katkısı domates tozlarının aroma bileşenlerin tutulması ve stabilitesini sağlamada yetersiz kalmıştır. Köpük kurutma yaklaşımı ile KDKPK sisteminde kurutulan örneklerin aroma aktif bileşenleri diğer kurutma yaklaşımlarına göre daha yüksek ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının bir göstergesi olan HMF içeriği ise daha düşük düzeyde tespit edilmiştir. Köpük kurutma yaklaşımı aroma stabilitesi açısından daha başarılı bulunmuştur.

KDKPK ve UDKPK sistemlerinde salçadan domates tozu üretiminde kurutma kinetiğinin belirlenmesi ve kuruma modellemesi ilk kez gerçekleştirilmiş olup her iki kurutma yönteminde de domates salçasının kurutulmasını en iyi ifade eden kurutma modelinin Newton modeli olduğu tespit edilmiştir.

Tez kapsamında elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde KPK sistemine IR lamba entegrasyonu ile salçanın kuruma süresi kısalmıştır Bununla birlikte, IR lambanın neden olabileceği olumsuz renk değişimlerini sınırlamak amacıyla askorbik asit ilavesi ve köpük kurutma yaklaşımı uygulanmış olup bu yaklaşımlar ile daha yüksek kaliteli domates tozu üretilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Kızılötesi destekli kırıyım pencerele kurutma, Köpük kurutma, domates tozu, Ultrases

JÜRİ: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Prof. Dr. Mustafa KARHAN

Prof. Dr. Erkan KARACABEY

Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU

Doç. Dr. Alper KUŞÇU

ABSTRACT

OBTAINING TOMATO POWDER USING INNOVATIVE DRYING METHODS, DETERMINING THE QUALITY CHARACTERISTICS OF THE POWDERED PRODUCT AND INVESTIGATION OF ITS STORAGE STABILITY

Tuğçe ATBAKAN KALKAN

PhD Thesis in Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

July 2025; 135 pages

In this thesis study, the aim was to produce tomato paste powder using two innovative drying technologies: Infrared-Assisted Refractance Window Drying (IRRWD) and Ultrasound-Assisted Refractance Window Drying (USRWD). To achieve this, an existing Refractance Window Drying (RWD) system in the department was modified by integrating an infrared (IR) lamp controlled by a pyrometer. There is no previous study in the literature on drying tomato paste using the IRRWD system. In this study, tomato paste adjusted to a spreadable consistency was dried under optimized conditions using four different drying approaches (excluding hot air drying), and the most suitable method for producing tomato powder was determined. For IRRWD, the independent variables optimized were: circulating water temperature (60–90 °C), paste spreading thickness (2–3 mm), and product surface temperature (30–36 °C). A response surface methodology (Design Expert software, Optimal Custom Design) was used to optimize for maximum lycopene content, minimum browning index, and shortest drying time. The optimal conditions were determined as: water temperature 82 °C, spreading thickness 2 mm, and surface temperature 32 °C.

To shorten drying time in the IRRWD system, foam drying (FM-IRRWD) was also applied. For foam formation, soy and pea protein isolates were used as foaming agents at a total of 1.5% of the tomato paste. The ideal whipping duration and protein isolate ratios were optimized using Design Expert (optimal combined mixture design) to maximize foam stability and capacity. The optimal conditions were: 1-minute whipping time, 0.4% soy protein, and 1.1% pea protein.

To prevent non-enzymatic browning, reduce aroma loss, and improve volatile stability in IRRWD, two additional trials were conducted: one with 0.5% ascorbic acid and one with 1% β -cyclodextrin added to the paste before drying.

A control test was also performed using the RWD system without the IR lamp to assess the effect of IR. For the USRWD system, an existing ultrasonic water bath was

covered with Mylar film, and drying was carried out at the same optimal temperature (82 °C) and thickness (2 mm), using ultrasonic power at 37–38 kHz.

Conventional hot air drying (CHD) was also conducted for comparison. The physicochemical properties of tomato powders obtained from all methods were compared. The powders were stored at two different temperatures (4 °C and 25 °C), and changes in moisture content, water activity, color, HMF (5-hydroxymethylfurfural), total phenolics, lycopene, antioxidant activity, pH–titrable acidity, total sugars, ascorbic acid, and volatile compound composition were monitored.

The drying times were as follows: IRRWD (40 min), FM-IRRWD (20 min), USRWD (50 min), RWD (55 min), and CHD (180 min). Lycopene content ranged from 157.54 to 257.53 mg/100g dry matter, with the highest levels in FM-IRRWD and USRWD powders. The lowest browning index was also recorded in these two methods. The highest antioxidant activity was found in the IRRWD sample with 0.5% ascorbic acid. Drying method had little effect on solubility, titratable acidity, and total sugar content, while total phenolics were higher in IRRWD and RWD powders. During storage, lycopene, ascorbic acid, and antioxidant activity significantly decreased, especially at 25 °C. HMF and total phenolic content increased. The main volatile component in all samples was 6-methyl-5-hepten-2-one, which decreased over time, more so at 25 °C. β -cyclodextrin was ineffective in preserving aroma components. Foam drying in the IRRWD system resulted in better aroma compound retention and lower HMF levels, indicating better suppression of non-enzymatic browning reactions. This approach was found to be the most effective for aroma stability.

For the first time, drying kinetics and modeling were established for both IRRWD and USRWD systems using tomato paste, and the Newton model was identified as the best fit for both methods.

Integration of IR into the RWD system significantly reduced drying time. Additionally, ascorbic acid addition and foam drying effectively mitigated the color degradation associated with IR, resulting in higher-quality tomato powder.

KEYWORDS: Infrared-assisted refractance window drying, Foam drying, Tomato powder, Ultrasound.

COMMITTEE: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Prof. Dr. Mustafa KARHAN

Prof. Dr. Erkan KARACABEY

Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU

Assoc. Prof. Dr. Alper KUŞÇU

ÖNSÖZ

Değişen sosyokültürel beslenme alışkanlıkları tüketicileri hazır gıda tüketimine yöneltmiştir. Son yıllarda giderek artan ve çeşitlenen hazır gıda üretiminde toz halde tüketime hazır ürünlerin yeri oldukça önem kazanmaktadır. Son yıllarda kurutulmuş ürünler dünyanın büyük marketlerinde raflardaki yerini almış ve bununla birlikte kurutulmuş domates ürünlerinin üretimi artmıştır. Domates salçasının da kurutularak toz formuna getirilmesi, gıda sanayinde dikkat çeken bir yenilik olarak öne çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında yenilikçi kurutma teknolojilerinden olan, kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma yöntemiyle domates salçası kurutulmuştur. Öncelikle bu kurutucuda salça kurutma koşulları optimize edilmiş ve optimum koşullar belirlendikten sonra köpük kurutma yaklaşımıyla da kurutma yapılmıştır. Esmerleşmenin önüne geçmek için askorbik asit, uçucu bileşenlerinin stabilitesini korumak için β -siklodekstrin ilave edilerek de salça kurutulmuştur. Ayrıca kırımın pencereci kurutma sisteminde ultrases uygulamasının salça kurutulmasında etkinliği test edilmiştir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasının sonuçlarının konu ile ilgili araştırmacılara ve sektöre faydalı olmasını dilerim.

Bu çalışmayı tez konum olarak öneren, akademik hayatım boyunca tecrübeleri ve kıymetli fikirleriyle bana yol gösteren, değerli hocam Prof. Dr. Ayhan TOPUZ'a, değerli görüşleri ile tez süreci sırasında beni yönlendiren tez izleme komitesi üyesi Prof. Dr. Mustafa KARHAN'a ve Prof. Dr. Erkan KARACABEY'e , tezin değerlendirilmesi aşamalarında öneri ve katkılarıyla teze katkıda bulunan Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU'ya ve Doç. Dr. Alper KUŞÇU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitim sürecimde bana burs desteği (2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı) sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu'na (TÜBİTAK) ve Türkiye Cumhuriyeti Yükseköğretim Kurulu'nun 100/2000 doktora burs programına teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamında kullandığım likopen standartı ve tetrahidrofuran kimyasalını temin eden Meykon Meyve ve Kaynak Suları San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Laboratuvar imkanlarını kullanmama olanak sağlayan Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ'a ve Prof. Dr. Mustafa KARHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın çeşitli aşamalarında benden yardımlarını esirgemeyen Gıda Yüksek Mühendisi Gülderen COŞGUN, Gıda Yüksek Mühendisi Keziban Kübra KIZILIRMAK, Gıda Yüksek Mühendisi Nida PINARBAŞI, Gıda Mühendisi Fevziye Kardelen ERTEN, Öğr. Gör. Yusuf YILMAZ'a ve tüm ekip arkadaşlarıma; ayrıca bu süreçte desteklerini benden esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Emrah EROĞLU'na, Doç Dr. Mehmet TORUN'a, Doç Dr. Ferhan BALCI TORUN'a, Doç.Dr. İsmail TONTUL'a ve Doç. Dr. Sultan ARSLAN-TONTUL'a teşekkürlerimi sunarım.

Akademik hayatımın başlangıcından bu zamana kadarki süreçte daima yanımda olan yardımlarını benden esirgemeyen dostum, çok değerli ekip arkadaşım Arş. Gör. Serenay AŞIK AYGÜN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Beni bu yaşıma kadar emekle büyüten gerek maddi gerekse manevi olarak desteklerini esirgemeyen en büyük destekçilerim annem Sezer ATBAKAN'a, babam Muhammet ATBAKAN'a, verdiği moral ve motivasyonla hep yanımda olan ablam Merve ATBAKAN'a yürekten teşekkürlerimi sunarım.

Her an yanımda olan, sabrı, desteği ve sevgisiyle bana güç veren canım eşim Mahir KALKAN'A, bu sürecin en kıymetli eşlikçisi hayatımın ışığı canım kızım Mira KALKAN'a bana varlığıyla en büyük desteği verdiği için sonsuz teşekkür ederim.



AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Yenilikçi Kurutma Yöntemleriyle Domates Tozu Eldesi, Toz Ürünün Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi ve Depolama Stabilesinin Araştırılması” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

25/07/2025

Tuğçe ATBAKAN KALKAN

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	vi
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Domates	3
2.2. Kurutma	6
2.2.1. Sıcak hava ile kurutma	6
2.2.2. Kırınım pencereli kurutma	7
2.2.3. Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma	10
2.2.4. Ultrases destekli kırınım pencereli kurutma	12
2.2.5. Köpük kurutma	12
2.2.6. Aroma enkapsülasyonu	14
3. MATERYAL VE METOT	15
3.1. Materyal	15
3.2. Metot	15
3.2.1. Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma optimizasyonu	16
3.2.2. Köpük kurutma	18
3.2.3. Katkılı kurutma	19
3.2.4. β -siklodekstrin ilave edilerek kurutma	20
3.2.5. Kırınım pencereli kurutma	20
3.2.6. Ultrases destekli kırınım pencereli kurutma	20
3.2.7. Sıcak hava akımında kurutma	21
3.2.8. Domates tozlarının analizleri ve depolanma testleri	21
3.2.9. Analizler	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1. Kızılötesi Destekli Kırınım Pencereli Kurutma Optimizasyonu	33

4.2. Köpük yapıcı ajan kullanımının optimizasyonu.....	40
4.3. Katkılı kurutma	44
4.4. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan salçaların kuruma süreleri.....	47
4.5. Domates Salçasının Bazı Fizikokimyasal Özellikleri	47
4.6. Domates Tozlarının Fizikokimyasal Özellikleri	50
4.6.1. Nem içeriği ve su aktivitesi	50
4.6.2. Renk özellikleri	51
4.6.3. Esmerleşme indeksi.....	52
4.6.4. Yığın, sıkıştırılmış yoğunluk ve Akabilirlik.....	54
4.6.5. Partikül boyutu	56
4.6.6. Çözünürlük	58
4.6.7. Higroskopisite	59
4.6.8. Su tutma kapasitesi	60
4.6.9. 5-Hidroksimetilfurfural	61
4.6.10. Toplam fenolik madde	63
4.6.11. Likopen miktarı	64
4.6.12. Antioksidan aktivite	66
4.6.13. pH ve titrasyon asitliği	67
4.6.14. Toplam şeker miktarı	68
4.6.15. Askorbik asit miktarı	69
4.7. Kurutma kinetiği	70
4.8. Depolama Testleri	74
4.8.1. Nem içeriği ve su aktivitesi	74
4.8.2. Renk özellikleri	76
4.8.3. Partikül Boyutu.....	78
4.8.4. 5-Hidroksimetilfurfural analizi.....	81
4.8.5. Toplam fenolik madde.....	84
4.8.6. Likopen miktarı	87
4.8.7. Antioksidan aktivite	89
4.8.8. pH ve titrasyon asitliği	91
4.8.9. Toplam şeker miktarı.....	94
4.8.10. Askorbik asit miktarı.....	96
4.8.11. Uçucu bileşen kompozisyonu.....	98
5. SONUÇLAR	119

6. KAYNAKLAR.....	121
7. EKLER.....	133



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

% : Yüzde

β : Regresyon katsayıları

°C : Santigrat derece

μm : Mikrometre

a_w : Su aktivitesi

cm : Santimetre

$D_{[4,3]}$: Hacim ağırlıklı ortalama yarıçap (μm)

d_{10} : Partiküllerin %10'unun belirtilen değerden küçük olduğunu gösterir

d_{50} : Partiküllerin %50'sinin belirtilen değerden küçük olduğunu gösterir

d_{90} : Partiküllerin %90'ının belirtilen değerden küçük olduğunu gösterir

d/dk: Devir/dakika

g : Gram

kg : Kilogram

L : Litre

M : Molar

m : Metre

mL: Mililitre

nm: Nanometre

p : Önemlilik derecesi

ρ_b : Yığın yoğunluğu (g/cm^3)

ρ_t : Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm^3)

R^2 : Regresyon katsayısı

s : Saniye

Kısaltmalar

CI	: Carr indeks değeri
C.V. %	: Varyasyon katsayısı (Coefficient of variation)
GAE	: Gallik asit eşdeğeri
GCMS	:Gaz kromatografisi kütle spektrometresi
HMF	: 5- Hidroksimetil furfural
HPLC	:Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
KM	: Kuru madde
KDKPK	: Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma
KPK	: Kırınım pencereli kurutma
PRESS	: Tahmini hataların kareler toplamı (Predicted Residual Sum of Squares)
TEAA	: Troloks eşdeğeri antioksidan aktivite
UDKPK:	Ultrases destekli kırınım pencereli kurutma

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Türkiye domates ekim alanlarının illere göre dağılımı (Anonim 2024).....	3
Şekil 2.2. Likopenin kimyasal yapısı (Anonim 2024).....	4
Şekil 2.3. Kırınım pencereli kurutma sisteminin ısı aktarım prensibi (Tontul 2017).....	8
Şekil 2.4. KPK sisteminin temel mekanizmaları (Vural 2024).	8
Şekil 2.5. KD-KPK sisteminin temel mekanizmaları (Vural 2024).	11
Şekil 3.1. Salça kurutulmasında uygulanan kurutma metotları	15
Şekil 3.2. Kırınım pencereli kurutma sistemi	16
Şekil 3.3. KDKPK sisteminde domates salçası kurutulması	18
Şekil 3.4. UDKPK sisteminde domates salçası kurutulması	20
Şekil 3.5. Sıcak hava akımında domates salçası kurutulması.....	21
Şekil 3.6. Öğütülmüş ve kilitli ambalaj ile paketlenmiş domates tozu.....	22
Şekil 3.7. 5- Hidroksimetilfurfural standart eğrisi	25
Şekil 3.8. Gallik asit standart eğrisi	26
Şekil 3.9. Likopen standart eğrisi	27
Şekil 3.10. Troloks standart eğrisi	28
Şekil 3.11. Glukoz standart eğrisi.....	29
Şekil 3.12. Askorbik asit standart eğrisi	30
Şekil 4.1. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, serme kalınlığının ve püre yüzey sıcaklığının, kuruma süresi üzerine etkisi	35
Şekil 4.2. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, serme kalınlığının ve püre yüzey sıcaklığının, esmerleşme indeksi üzerine etkisi	37
Şekil 4.3. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, serme kalınlığının ve püre yüzey sıcaklığının, likopen miktarı üzerine etkisi	39
Şekil 4.4. Soya ve bezelye protein izolatlarının oranının ve çırpma süresinin, köpük kapasitesi üzerine etkisi (A: soya protein izolatı, B: bezelye protein izolatı ve C: çırpma süresi	42
Şekil 4.5. Soya ve bezelye protein izolatlarının oranının ve çırpma süresinin, köpük stabilitesi üzerine etkisi (A: soya protein izolatı, B: bezelye protein izolatı ve C: çırpma süresi	44
Şekil 4.6. Domates tozlarının esmerleşme indeksi değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	53
Şekil 4.7. Domates tozlarının yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	56
Şekil 4.8. Domates tozlarının partikül boyut değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	57

Şekil 4.9. Domates tozlarının higroskopisite değerlerinin ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları	60
Şekil 4.10. Domates tozlarının su tutma kapasitesi değerlerinin ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları	61
Şekil 4.11. Domates tozlarının HMF değerlerinin ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	62
Şekil 4.12. Domates tozlarının toplam likopen miktarı değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	65
Şekil 4.13. Domates tozların titrasyon asitliği ve pH değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	67
Şekil 4.14. KDKPK sisteminde kurutulan salçanın nem oranının zamana bağlı değişimi	72
Şekil 4.15. UDKPK sisteminde kurutulan salçanın nem oranının zamana bağlı değişimi	72
Şekil 4.16. Depolama süresine bağlı olarak HMF değişimi	84
Şekil 4.17. Depolama süresine bağlı olarak likopen miktarı değişimi	89
Şekil 4.18. Farklı kurutma uygulamalarıyla kurutulan salçalarının uçucu bileşenlerine ait temel bileşen analizi sonuçları (KDKPK: Kızılötesi destekli kırımım pencereleli kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırımım pencereleli kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırımım pencereleli kurutma sisteminde köpük kurutma, β -KDKPK; β -siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırımım pencereleli kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırımım pencereleli kurutma, KPK; kırımım pencereleli kurutma, SHK; sıcak hava kurutma)	102
Şekil 4.19. Farklı kurutma uygulamalarıyla kurutulan salçalarının uçucu bileşenlerine ait hiyerarşik kümeleme analizi sonuçları (KDKPK: Kızılötesi destekli kırımım pencereleli kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırımım pencereleli kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırımım pencereleli kurutma sisteminde köpük kurutma, β -KDKPK; β -siklodekstrin katkılanmış kızılötesi destekli kırımım pencereleli kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırımım pencereleli kurutma, KPK; kırımım pencereleli kurutma, SHK; sıcak hava kurutma).....	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Taze domates ve işlenen domates ürünlerin likopen içerikleri (Özer 2013)	4
Çizelge 2.2. Literatürde domates kurutulmasında kullanılan bazı köpük kurutma koşulları.....	14
Çizelge 3.1. Kızılötesi destekli kırımım pencereci kurutma sisteminde kurutma koşullarının optimizasyonu için kullanılan deneme deseni	17
Çizelge 3.2. Köpük oluşturma optimizasyonunu için kullanılan deneme deseni	19
Çizelge 3.3. HMF analizi için HPLC şartları.....	25
Çizelge 3.4. Likopen miktarı analizi için HPLC şartları	26
Çizelge 3.5. Askorbik asit analizi için HPLC şartları	29
Çizelge 3.6. GC-MS analiz şartları	30
Çizelge 3.7. Kullanılan ince tabaka kurutma modelleri	31
Çizelge 4.1. Kurutma koşulları optimizasyon deneme deseni ve analiz verileri	33
Çizelge 4.2. Kuruma süreleri üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler	34
Çizelge 4.3. Esmerleşme indeksi değerleri üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler	36
Çizelge 4.4. Likopen miktarları üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler	38
Çizelge 4.5. KDKPK sisteminde salça kurutulması için belirlenen optimum şartlar.....	40
Çizelge 4.6. Köpük yapıcı ajan optimizasyon deneme deseni ve analiz verileri.....	41
Çizelge 4.7. Köpük kapasitesi üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler	42
Çizelge 4.8. Köpük stabilitesi üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler	43
Çizelge 4.9. Köpük formu oluşturmak için gerekli optimum şartlar	44
Çizelge 4.10. Domates tozlarının analizlerine ait varyans analiz sonuçları	45
Çizelge 4.11. Domates tozlarının analizlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	46
Çizelge 4.12. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan salçaların kuruma süreleri	47
Çizelge 4.13. Domates salçasına ait bazı fizikokimyasal özellikleri	47
Çizelge 4.14. Domates salçasının uçucu bileşen kompozisyonu (milyon alan)	49

Çizelge 4.15. Domates tozlarının nem ve su aktivitesi sonuçları	50
Çizelge 4.16. Domates tozlarının renk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları	51
Çizelge 4.17. Domates tozlarının renk değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları	52
Çizelge 4.18. Domates tozlarının esmerleşme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları	53
Çizelge 4.19. Domates tozlarına ait yığın, sıkıştırılmış yoğunluk ve akabilirlik değerleri.....	54
Çizelge 4.20. Domates tozlarının yığın, sıkıştırılmış yoğunluk ve akabilirlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları	55
Çizelge 4.21. Domates tozlarının partikül boyut değerlerine ait varyans analizi sonuçları	57
Çizelge 4.22. Domates tozlarının çözünürlük değerlerine ait varyans analizi sonuçları	58
Çizelge 4.23. Domates tozlarının çözünürlük değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	58
Çizelge 4.24. Domates tozlarının higroskopisite değerlerine ait varyans analizi sonuçları	59
Çizelge 4.25. Domates tozlarının su tutma kapasitesi değerlerine ait varyans analizi sonuçları	61
Çizelge 4.26. Domates tozlarının HMF değerlerine ait varyans analizi sonuçları	62
Çizelge 4.27. Domates tozlarının toplam fenolik madde değerlerine ait varyans analizi sonuçları	63
Çizelge 4.28. Domates tozlarının toplam fenolik madde değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları	63
Çizelge 4.29. Domates tozlarının likopen miktarı değerlerine ait varyans analizi sonuçları	64
Çizelge 4.30. Domates tozlarının antioksidan aktivite değerlerine ait varyans analizi sonuçları	66
Çizelge 4.31. Domates tozlarının antioksidan aktivite değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	66
Çizelge 4.32. Domates tozlarının pH ve titrasyon asitliği değerlerine ait varyans analizi sonuçları	67
Çizelge 4.33. Domates tozlarına ait toplam şeker miktarı değerleri.....	68
Çizelge 4.34. Domates tozlarının toplam şeker değerlerine ait varyans analizi sonuçları	69
Çizelge 4.35. Domates tozlarının askorbik asit miktarı değerlerine ait varyans analizi sonuçları	69

Çizelge 4.36. Domates tozlarının askorbik asit değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	70
Çizelge 4.37. KDKPK ve UDKPK yöntemleri ile domates salçasının kurutulmasının farklı kurutma modellerine uygunluğu	73
Çizelge 4.38. KDKPK ile UDKPK ile elde edilen domates tozlarına ait model katsayıları	73
Çizelge 4.39. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak nem içeriği ve su aktivitesi sonuçları	74
Çizelge 4.40. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının nem ve su aktivitesi değerlerine ait varyans analizi sonuçları	75
Çizelge 4.41. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının nem ve su aktivitesi değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	75
Çizelge 4.42. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak renk sonuçları	76
Çizelge 4.43. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları	77
Çizelge 4.44. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının renk değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	77
Çizelge 4.45. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının partikül boyut değerleri.....	79
Çizelge 4.46. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının partikül boyut değerlerine ait varyans analizi sonuçları	80
Çizelge 4.47. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının partikül boyut değerlerinin ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları	81
Çizelge 4.48. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak HMF sonuçları	82
Çizelge 4.49. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının HMF değerlerine ait varyans analizi sonuçları	82
Çizelge 4.50. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının HMF değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	83
Çizelge 4.51. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak toplam fenolik madde sonuçları	85
Çizelge 4.52. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının toplam fenolik madde değerlerine ait varyans analizi sonuçları	85
Çizelge 4.53. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının toplam fenolik madde değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	86
Çizelge 4.54. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak likopen sonuçları	87
Çizelge 4.55. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının toplam likopen miktarı değerlerine ait varyans analizi sonuçları	88

Çizelge 4.56. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının likopen miktarı değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	88
Çizelge 4.57. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak antioksidan aktivite sonuçları	90
Çizelge 4.58. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının antioksidan aktivite değerlerine ait varyans analizi sonuçları	90
Çizelge 4.59. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının antioksidan değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	91
Çizelge 4.60. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak pH ve titrasyon asitliği sonuçları	92
Çizelge 4.61. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının pH ve titrasyon asitliği değerlerine ait varyans analizi sonuçları	93
Çizelge 4.62. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının pH ve titrasyon asitliği değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	93
Çizelge 4.63. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak toplam şeker miktarı sonuçları	94
Çizelge 4.64. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının toplam şeker değerlerine ait varyans analizi sonuçları	95
Çizelge 4.65. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının toplam şeker miktarlarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	95
Çizelge 4.66. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak askorbik asit miktarı sonuçları	96
Çizelge 4.67. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının askorbik asit değerlerine ait varyans analizi sonuçları	97
Çizelge 4.68. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının askorbik asit miktarlarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	97
Çizelge 4.69. KDKPK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)	105
Çizelge 4.70. A-KDKPK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)	107
Çizelge 4.71. KK-KDKPK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)	109
Çizelge 4.72. β -KDKPK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)	111
Çizelge 4.73. UDKPK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)	113
Çizelge 4.74. KPK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)	115
Çizelge 4.75. SHK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)	117

1. GİRİŞ

Domates ılıman ve sıcak iklimde yetişen bir bitki türüdür. Ülkemizin toprak yapısı ve iklim koşulları domates yetiştirmek için oldukça uygundur. Geniş bir ürün yelpazesine sahip olan domates hem doğrudan taze olarak hem de işlenmiş olarak sofralarımızda yerini almaktadır. Domatesin %20'si işlenmekte ve bu kısmın %80'i salça, %15'i konserve domates, kalan kısım ise domates suyu, ketçap ve benzeri domates ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca domates, ihracatı yüksek ürünler arasında yerinin almakta olup taze domatesin ardından en çok ihracatı yapılan ürün domates salçasıdır. Domates salçası hem besleyici değeri hem de mutfaklardaki yaygın kullanımı nedeniyle gıda endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Salça üretimi yıllık olarak 450 ile 500 bin ton arasında değişmekte olup, bu miktarın yaklaşık %40-50'si yurtdışına ihraç edilmektedir (Anonim 2025; Durmuş vd. 2018; Özer 2013).

Değişen sosyokültürel beslenme alışkanlıkları tüketicileri hazır gıda tüketimine yöneltmiştir. Son yıllarda giderek artan ve çeşitlenen hazır gıda üretiminde toz halde tüketime hazır ürünlerin yeri oldukça önem kazanmaktadır. Ayrıca gerek depolama gerekse taşıma kolaylığı bakımında toz ürünlere talep oldukça artmaktadır. Son yıllarda kurutulmuş ürünler dünyanın büyük marketlerinde raflardaki yerini almıştır. Gıda endüstrisinde en yoğun kullanılan toz ürünlerden biri domates tozudur. Bu ürün uzun yıllardır doğrudan domatesin kurutulup öğütülmesiyle elde edilmektedir. Son yıllarda domates tozu, domates suyu ve/veya salçanın farklı kurutma yöntemleriyle kurutulup toz haline getirilmesiyle elde edilmeye başlanmıştır. Bu ürün hazır çorbalardan atıştırmalıklara kadar pek çok gıda ürününde lezzet ve renk verici olarak kullanılmaktadır.

Renk ve aroma domates tozunun toplam kalitesinin en önemli ölçütleridir. Konvansiyonel kurutma teknolojileriyle domates tozlarında renk ve aroma standardizasyonunun sağlanamadığı bilinmekte olup günümüzde bu sorunun çözümüne yönelik yenilikçi kurutma teknolojilerinin kullanımını odaklayan araştırmalar devam etmektedir.

Yenilikçi kurutma yöntemlerinden biri olan kırımın pencereci kurutma sistemi, meyve ve sebze püreleri, dilimleri, ısıya duyarlı ekstraktlar ve karışımların toz forma dönüştürülmesinde kullanılan bir kurutma teknolojisidir. Bu yöntem, ürünün renk, aroma, tat ve vitamin içeriği gibi kalite kriterlerini maksimum düzeyde koruması ile dikkat çekmektedir. Kırımın pencereci kurutma sisteminde nemli gıdaya aktarılan ısı enerjisini, polyester bir bant (Mylar film) altında yüksek sıcaklıklarda sirküle ettirilen su sağlar. Bantın 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 (Jimena Ortiz-Jerez vd. 2015; Nindo ve Tang 2007).

Köpük kurutma, sıvı ya da püre formundaki gıdaların çeşitli köpük yapıcı ajan ilavesi ile sabit bir köpüklü yapıya dönüştürüldüğü ve daha sonra kurutulduğu bir yöntemdir. Köpük kurutma için ilk temel unsur başarılı bir köpük formu oluşturmaktadır. Köpük kurutma için öncelikle, kurutulacak olan sıvı ya da püre halindeki gıdaya köpük

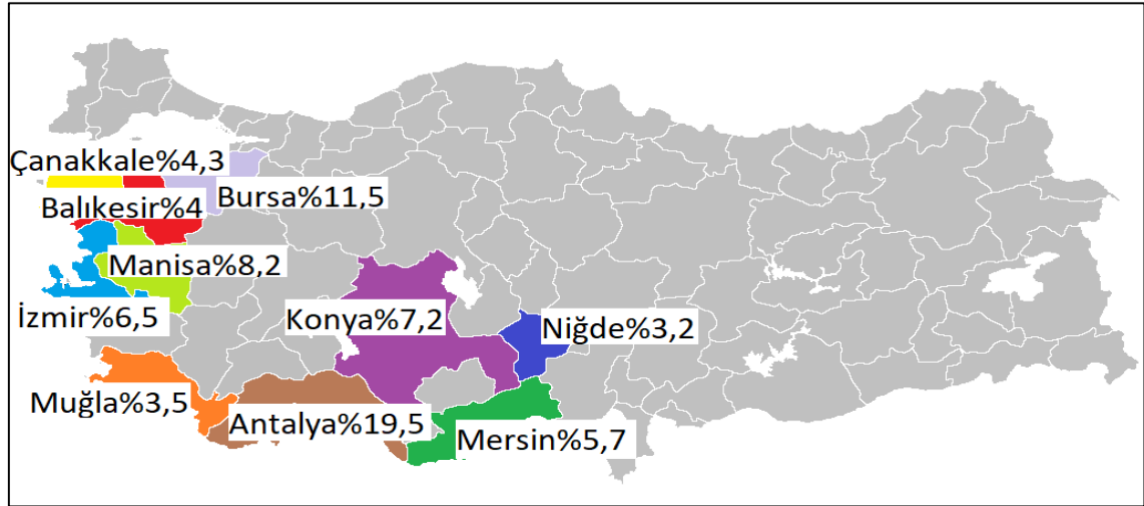
yapıcı ajanlar eklenir ve bu karışım blender ve özel olarak tasarlanmış çırpıcı cihazlar ile belli sürede çırpılarak köpük formu oluşturulur. Elde edilen köpük formundaki bu yapı, kullanılacak olan kurutucuya ince bir tabaka halinde serilmekte ve belli bir nem içeriğine kadar kurutulmaktadır. Gıdalar köpük haline dönüştürüldükten sonra uygulanan kurutma işlemlerinde, kuruma süresinin önemli ölçüde kısılmasının temel nedeni, köpük yapısının geniş yüzey alanına sahip olmasıdır. Bu geniş yüzey alanı, suyun daha hızlı buharlaşmasına sağlamakta ve kuruma süresinin kısılmasına bağlı olarak son üründe kimyasal, mikrobiyal ve biyokimyasal reaksiyonlar kısıtlanmakta ve ürün kalitesi artmaktadır. (Febrianto vd. 2012; Ratti ve Kudra 2006; Rajkumer 2006; Sangamithra vd. 2015).

Bu tez çalışması kapsamında yüksek kalitede domates tozu üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla domates salçası öncelikle kızılötesi lamba destekli kırımın pencereli kurutma sisteminde kurutulmuştur. Kızılötesi destekli kırımın pencereli kurutma yönteminde kuruma süresini daha da kısaltmak için salça köpük formu oluşturularak da kurutulmuştur. Bunlara ilaveten son üründe esmerleşmeyi engellemek amacıyla salçaya askorbik asit, uçucu bileşen stabilitesini artırmak amacıyla da β -siklodekstrin ilave edilerek kızılötesi destekli kırımın pencereli kurutma sisteminde kurutmalar yapılmıştır. Kırımın pencereli kurutma sisteminde ultrases uygulamasının salça kurutulması üzerine etkinliğini test etmek amacıyla ultrases banyosu üzeri Mylar film ile kapatılarak laboratuvar ölçekli ultrases destekli kırımın pencereli kurutma sistemi geliştirilmiştir. Yenilikçi kurutma yöntemlerinin yanı sıra halihazırda kullanılan konveksiyonel kurutma (SHK) ile de salça kurutulmuş olup tez çalışması kapsamında uygulanan tüm kurutma yöntemleriyle elde edilen domates tozlarının bazı fizikokimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen ürünlerin depolama stabiliteilerinin karşılaştırılması bakımından domates tozları 2 farklı sıcaklıkta (4 ve 25 °C) 2 ay boyunca depolanarak ürünlerin fizikokimyasal özelliklerindeki değişimler de izlenmiş ve değişimler karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Domates

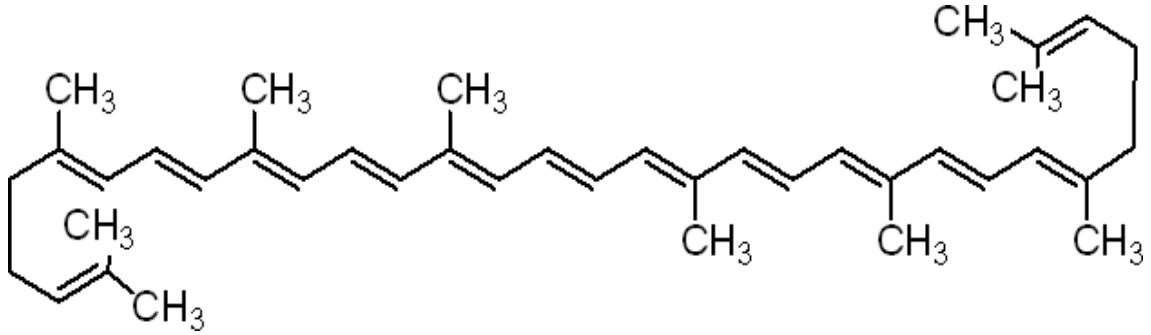
Domates (*Lycopersicon esculentum*), patlıcangiller familyasına ait olan tek yıllık bir bitki çeşididir. Domatesin anavatanı Peru olup 1900’lü yıllarda ülkemizde yaygın olarak yetiştiriciyi yapılmaya başlanmıştır. Domates ılıman ve sıcak iklimde yetişen bir bitki türüdür. Ülkemizin toprak yapısı ve iklim koşulları domates yetiştirmek için oldukça uygundur. Geniş bir ürün yelpazesine sahip olan domates hem doğrudan taze olarak hem de işlenmiş olarak sofralarımızda yerini almaktadır. Domatesin %20’si işlenmekte ve bu kısmın %80’i salça, %15’i konserve domates, kalan kısım ise domates suyu, ketçap ve benzeri domates ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca domates, ihracatı yüksek ürünler arasında yerinin almakta olup taze domatesin ardından en çok ihracatı yapılan ürün domates salçasıdır. Dünya genelinde en fazla domates üretimi yapan ülkeler Çin, Hindistan ve Türkiye’dir. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı ile Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2024 verilerine göre ülkemiz yıllık 14.617.000 ton üretim ile üçüncü büyük domates üreticisi olarak yerini almıştır. Türkiye’de domates üretimi büyük ölçüde Akdeniz, İç Anadolu ve Marmara bölgelerinde gerçekleşmektedir. Antalya başta olmak üzere Bursa ve Mersin illeri Türkiye’de en çok domates üreten illerdir (Şekil 2.1). Salçalık domates üretiminde de Bursa ili ilk sırada gelmektedir (Anonim 1; Durmuş vd. 2018; Özer 2013). Türkiye’de yıllık domates salçası üretimi 450.000 ila 500.000 ton arasında değişmekte olup, bu miktarın yaklaşık %40 ile %50’si ihracata yönlendirilmektedir. Bu da 2024 yılı itibarıyla yaklaşık 180.000-250.000 ton domates salçasının yurt dışına ihraç edildiğini göstermektedir.



Şekil 2.1. Türkiye domates ekim alanlarının illere göre dağılımı (Anonim 2024).

Domates hem ekonomik hem de besin içeriği bakımından önemli bir sebzedir. Domatesin bileşimi %93-95 oranında su, %5-7 oranında inorganik bileşikler, organik asitler, katı maddeler, protein, karbonhidrat ve lipitlerden oluşmaktadır. Ayrıca domates içeriğinde karotenoidleri, fenolik bileşikleri ve flavonoidleri de bulundurmaktadır (Durmuş vd. 2018). Domates kırmızı rengini veren madde başta likopen olmak üzere karotenoidlerdir. Likopen, düz zincirli alifatik bir hidrokarbondur. Yapısında 13 tane çift

bağ içermekte olup bu bağların 11 tanesi konjuge dir (Cemeroğlu vd. 2004). Şekil 2.2’de likopenin kimyasal yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Likopenin kimyasal yapısı (Anomim 2024).

Likopen yapısında bulunan konjuge çift bağ sayesinde antioksidan özellik göstermektedir. Likopen miktarı domatesin olgunluğuna, türüne ve domatesin yetiştirildiği çevresel faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Likopen taze domatesta all-trans formunda bulunmakta ve bu formu likopenin en kararlı halidir. Likopenin formu domatesin işleme ve depolama koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Domates ısıtılma işleme maruz kaldığında all-trans formundaki likopen cis-likopen formuna dönüşmektedir. Bu dönüşüm ile yani cis formundaki likopenin biyoyararlılığı artmaktadır. Domateslerin salçaya ya da domates suyuna işlenmesinde ısıtılmanın etkisiyle hücre duvarı parçalanmakta ve likopen serbest kalmaktadır. Böylece serbest kalan likopenin cis izomerizasyonu daha çok gerçekleşmektedir. Bu nedenle salçada bulunan likopenin, taze domatese göre biyoelverişliliği daha fazladır (Cemeroğlu vd. 2004). Çizelge 2.1’de domates ve domates işleme ürünlerinin likopen içerikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Taze domates ve işlenen domates ürünlerinin likopen içerikleri (Özer 2013)

Ürün	Miktar (µg /100 g)
Taze domates	8.8-42
Pişmiş domates	37
Domates sosu	62
Salça	54-1500
Domates çorbası	79.9
Domates tozu	1126.3-1264.9
Domates suyu	50-116
Pizza sosu	127.1
Ketçap	99-13.4
Domates salçası	32.7-68.2

Likopen yapısında bulunan çift bağlar nedeniyle oksidasyona duyarlıdır. Domatesin kurutulması, depolanması ve ısıtılmasına bağlı olarak likopen miktarında kayıplar meydana gelmektedir. Likopen kaybı üzerine etki eden en önemli faktör depolama koşullarıdır. Depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak domatesta likopen kayıpları meydana gelmektedir (Anguelova ve Warthesen 2000; Leoni 2002).

Likopen, domates gibi kırmızı renkli meyve ve sebzelerde doğal olarak bulunan güçlü bir karotenoiddir ve insan sağlığı üzerinde çeşitli olumlu etkileri ile dikkat çekmektedir. Likopen özellikle antioksidan özellikleri sayesinde serbest radikallerin neden olduğu hücre hasarını önleyerek, kardiyovasküler hastalıkların, bazı kanser türlerinin ve nörodejeneratif hastalıkların gelişme riskini azaltabilir. Yapılan bilimsel çalışmalar, likopenin prostat, mide ve akciğer kanserlerine karşı koruyucu etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, LDL kolesterolün oksidasyonunu engelleyerek damar tıkanıklığı riskini azaltmakta ve kalp-damar sisteminin korunmasına katkı sağlamaktadır. Likopenin biyoyararlılığı, domatesin işlenmesiyle artmakta olup pişirilmiş veya salça, ketçap gibi ürünler halinde tüketildiğinde vücut tarafından daha etkin bir şekilde emilmektedir. Bu yönüyle likopen, fonksiyonel gıdalarda tercih edilen ve sağlıklı beslenme alışkanlıklarının desteklenmesinde önemli bir doğal bileşen olarak değerlendirilmektedir. (Sabbağ 2011; Story 2010).

Son yıllarda kurutulmuş ürünler dünyanın büyük marketlerinde raflardaki yerini almış ve bununla birlikte kurutulmuş domates üretimi artmıştır. Domates tozu, gıda endüstrisinde çok yönlü kullanım alanları sunan fonksiyonel bir bileşen olarak öne çıkmaktadır. Domates tozu, özellikle ürünlere renk, aroma ve besin değeri katma amacıyla tercih edilmektedir. Domates tozu; çorba, sos, hazır yemek, atıştırmalık ürünler (örneğin cips ve krakerler), et ürünleri (sucuk, salam) ve unlu mamuller gibi birçok işlenmiş gıdada doğal katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Yüksek likopen içeriği sayesinde antioksidan özellik göstererek fonksiyonel gıda üretiminde de önemli bir rol oynamaktadır.

Tüketici ilk olarak rengi algılamakta ve renk yardımı ile lezzet ve aroma gibi diğer kalite kriterleri için bir ön fikir oluşturmaktadır. Bu nedenle renk, domates tozunun toplam kalitesinin bir ölçütü olarak önemli rol oynamaktadır. Kimyasal bileşimleri nedeniyle domates termal etkilere karşı hassastır. Domateslerin kurutulması istenmeyen renk değişikliklerine neden olmaktadır. Kurutma sırasında domates renginin bozulmasının başlıca nedeni esmerleşme reaksiyonlarıdır ve kurutma sırasında domateslerin esmerleşme reaksiyon hızı, ürün nemine ve sıcaklığına bağlı olup kurutma işleminin süresi arttıkça artmaktadır (Cernişev 2010; Porretta ve Sandei 1991; Zanoni vd. 1998). Mevcutta üretilen domates tozlarında renk standardizasyonunun sağlanamadığı bilinmekte olup günümüzde bu sorunun önüne geçmek için farklı kurutma yöntemleri ile domates kurutulması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Domates kurutulmasında enzimatik olmayan esmerleşmenin gelişimi üzerine farklı kurutma sıcaklıklarının etkisi incelendiği bir çalışmada; 50 ve 90°C sıcaklık aralıklarında domates kurutulmuş ve kurutma sırasında ürün nemi ve sıcaklığının renk değişimine etkisi araştırılmıştır. Düşük sıcaklıklarda (50-60°C) kurutulan domatesler daha kırmızı ve duysal özelliklerinin daha iyi olduğu rapor edilmiştir (Cernişev 2010). Uygulanan ısı işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak domateslerde likopen miktarı azalmakta ve bununla beraber renk kayıpları meydana gelmektedir. Domateste kurutma sırasında renk kayıplarına neden olan en önemli etken enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlardan biri olan Maillard reaksiyonu ve askorbik asit degradasyonudur. Maillard reaksiyonu indirgen şekerler ve aminoasitlerdeki amino grupları arasında gerçekleşmekte olup reaksiyon sonucunda melanoidin pigmentleri oluşmaktadır. Maillard reaksiyonunun hızı, ortam sıcaklığına, asitliğe ve süreye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Asitliğin artmasına bağlı Maillard reaksiyonu azalmakta olup sıcaklığının artmasıyla da hızlanmaktadır (Burdurlu

ve Karadeniz 2002; Sahin vd. 2011; Yıldız 2010). Kurutulmuş domateslerde renk kayıplarının önüne geçmek için çalışmalar yapılmaktadır. Domateslerin sıcak hava kurutma, vakum kurutma, dondurarak kurutma ve güneşte kurutma olmak üzere kurutma yöntemlerin kıyaslandığı bir çalışmada, domateslere %2 etil oleat + %4 potasyum karbonat solüsyonu, %1 askorbik asit + %1 sitrik asit ve %2 sodyum metabisülfite daldırma ön işlemleri uygulanarak kurutma yapılmış ve renk özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sitrik asit ve askorbik asite daldırma ön işlemlerinin yüksek sıcaklıkta kurutma uygulamalarında domateslerin likopen miktarını arttırdığı, %2 sodyum metabisülfite daldırma ön işleminin de domateslerde en iyi renk özelliklerini gösterdiği belirtilmiştir (Sahin vd. 2011). Domates kurutulmasında metabisülfite, sitrik asit ve askorbik asit çözeltilerine daldırma yapıldığı bir başka çalışmada da ön işlem uygulanan domateslerin likopen ve renk özelliklerinin daha iyi olduğu rapor edilmiştir (Farooq vd. 2020).

2.2. Kurutma

Değişen sosyokültürel beslenme alışkanlıkları tüketicileri hazır gıda tüketimine yöneltmiştir. Son yıllarda giderek artan ve çeşitlenen hazır gıda üretiminde toz halde tüketime hazır ürünlerin yeri oldukça önem kazanmaktadır. Ayrıca gerek depolama gerekse taşıma kolaylığı bakımında toz ürünlere talep oldukça artmaktadır. Son yıllarda kurutulmuş ürünler dünyanın büyük marketlerinde raflardaki yerini almış ve bununla birlikte kurutulmuş domates üretimi artmıştır.

Kurutma işleminde temel amaç gıdaların raf ömrünü arttırmak olsa da besin öğelerindeki ve fonksiyonel bileşenlerindeki kayıpların da olabildiğinde önlenmesi bir başka çalışılması gereken konu olmuştur (Saavedra vd. 2017). Ürünlerdeki bu kayıpların en aza indirilebilmesi için en uygun kurutma yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Düşük enerji gereksinimi, zaman ve enerji verimliliği, son ürünün kalitesi endüstride kurutma yönteminin seçimindeki en önemli ana etkenlerdendir. Teknolojinin gelişmesi ile kurutma sürecinin her aşaması izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Kurutma teknolojileri her geçen gün geliştirilerek gıda endüstrisi için yeni sistemler ortaya çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda enerji yoğun gıda proseslerine bağlı karbon salınımı ve buna bağlı çevresel etkiler Dünyanın üzerinde yoğunlaştığı önemli araştırma konuları haline gelmiştir. Bu nedenle son yıllarda kurutma teknolojinde bu sorunun çözümüne yönelik enerji girdilerinin düşürülmesi ve atıkların azaltılması önceliklendirilmiştir. Günümüzde akışkan yataklı, püskürtmeli, dondurarak kurutma teknolojileri yanında, mikrodalga/radyo frekans/kızılötesi destekli yeni sistemler, kırınım pencereci kurutma sistemleri gibi farklı prensiplerle çalışan hibrit kurutma teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır (Kutlu ve İşci 2016, Kovacı vd. 2018, Aygün ve Topuz 2024).

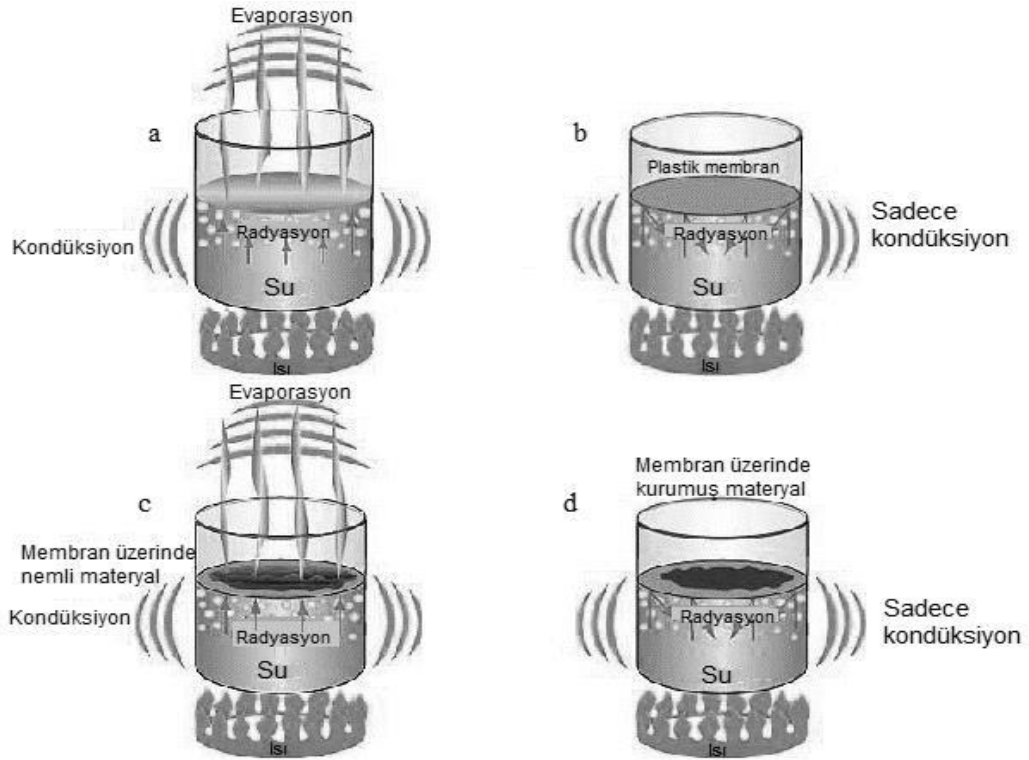
2.2.1. Sıcak hava ile kurutma

Gıda sanayisinde yaygın olarak kullanılan sıcak hava kurutma, açık alanda yapılan geleneksel kurutmada, mikrobiyal açıdan bulaşma olması, homojen bir kurutma sağlanmaması ve kurutma süresinin uzun olması gibi olumsuzlukların önüne geçmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Sıcak hava ile kurutmada kapalı bir ortamda gıdanın yüzeyinden veya içinden kontrollü bir şekilde sıcak hava akımı geçirilmektedir. Kabin tipi kurutucuda ürünler bir tepsi üzerine yerleştirilmekte, sıcak ve kuru hava fan yardımı ile ürünlerin üzerinden geçirilerek kurutma sağlanmaktadır. Sıcak havada kurutma

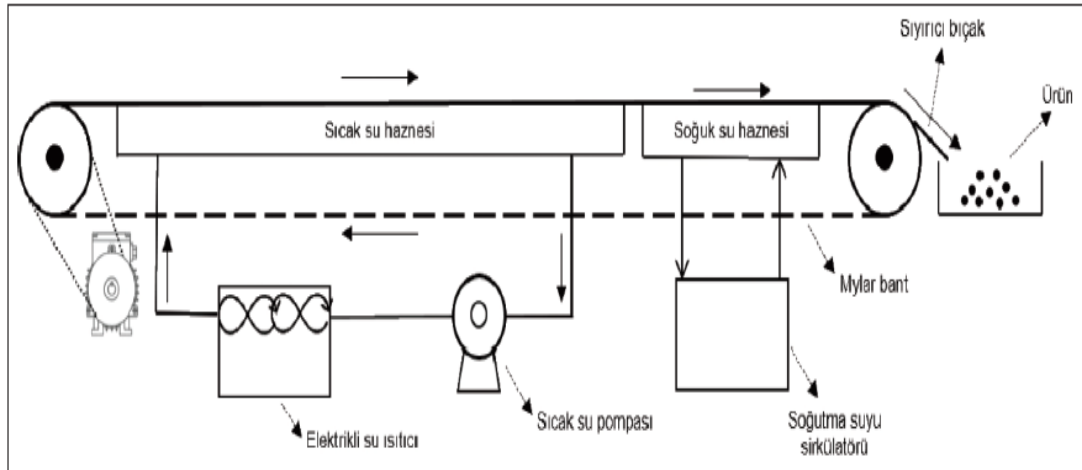
yöntemi geleneksel olarak yapılan açık alanda kurutma ile kıyaslandığında homojen bir kurutma sağlamak ve kuruma süresini kısaltmaktadır. Ayrıca açık alanda kurutmaya göre daha hijyenik bir kurutma sağlanmaktadır (Tunde ve Afolabib 2005; Voda vd. 2012). Gıda endüstrisinde de ürünlerin kurutulmasında en yaygın kullanılan kurutma yöntemi basit ve uygulanabilirliği yüksek olduğu için sıcak hava kurutma yöntemidir. Ancak sıcak hava ile kurutulan ürünlerde esmerleşme, büzüşme ve aroma kayıpları yüksek olmakta ve buna bağlı olarak kızılötesi, mikrodalga ve ultrason gibi elektromanyetik enerji kaynaklarıyla yeni hibrit teknolojilerin geliştirildiği çalışmalar yapılmaktadır (Kovacı vd. 2018).

2.2.2. Kırınım pencereli kurutma

Kırınım pencereli kurutma, meyve ve sebzeleri püre ve dilim halinde kurutmak için uygulanan yeni bir kurutma yöntemidir. Bu kurutma yöntemiyle ürünlerin renk, lezzet ve aroma gibi kalite özellikleri önemli ölçüde korunmaktadır (Jimena Ortiz-Jerez vd. 2015). Kırınım pencereli kurutmada sistemi basitçe anlatılacak olursa, içerisinde su bulunan bir su banyosunun yüzeyi kırıcı özelliğe sahip polyester bir membran (Mylar Film) ile kapatılmakta, kurutulacak olan gıda bu membran üstüne yerleştirilmekte ve alttan ısınan suyun termal enerjisi ile de kurutma sağlanmaktadır. Kırınım pencereli kurutma sisteminde ısınan sudan membran yüzeyine ısı transferi konveksiyon yoluyla gerçekleşmektedir. Sudan kurutulacak olana ürüne ısı transferi kondüksiyon ile gerçekleşmekte olup kızılötesi enerji suya yansıtılmaktadır. Kırınım pencereli kurutma sisteminde membran altındaki sıcak sudan bant boyunca geçen kızılötesi radyasyonun membrana serilen nemli gıdaya ulaşmasına izin veren bir "pencere" oluşturduğu ileri sürülmekte ve gıda içindeki su, sıcak sudan aldığı enerji ile buharlaşmaya başlayıp nemini kaybederken "pencere" yavaş yavaş kapanmaktadır. Bu şekilde gıda içerisindeki su uzaklaştırılmaktadır (Nindo ve Tang 2007). Kırınım pencereli kurutma sistemine ait ısı aktarım prensibi Şekil 2.3'te, temel kurutma prensibinin şematize edilmiş hali de Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Kırınım pencereleli kurutma sisteminin ısı aktarım prensibi (Tontul 2017)



Şekil 2.4. KPK sisteminin temel mekanizmaları (Vural 2024).

Kırınım pencereleli kurutma sisteminde ürünün kalite özelliklerinin korunmasının yanı sıra diğer kurutma yöntemlerine kıyasla yatırım maliyeti ve enerji tüketimi daha azdır. Dondurarak kurutma yöntemiyle karşılaştırıldığında, kırınım pencereleli kurutma yöntemi %50-70 daha az sermaye yatırımı ve %50 daha az enerji tüketimi gerektirmektedir (Nindo ve Tang 2007). Meyve sebze tozlarının üretiminde kırınım pencereleli kurutma uygulaması ile ürünlerin yapısında bulunan doğal bileşiklerin daha iyi korunduğu belirtilmiş olup literatürde özellikle püre formda kurutulan meyve sebzeleri ile ilgili çalışmalara yönelmiştir (Clarke 2004).

Topuz vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, kırmızıbiber püresini dondurarak kurutma, sıcak hava ile kurutma, doğal konveksiyonla kurutma ve kırım pencereleli kurutma yöntemleriyle kurutmuş ve bu pürelerdeki karotenoid ile kapsaisinoid içeriklerini analiz etmişlerdir. Elde edilen verilere göre, mutatoksanin dışındaki karotenoidler ile A vitamini aktivitesi, doğal konveksiyon yöntemi dışında kalan tüm kurutma tekniklerinde benzer oranlarda azalma göstermiştir. Doğal konveksiyonla kurutulan örneklerde ise, kurutma sırasında süren sentez faaliyetleri nedeniyle karotenoid ve kapsaisinoid miktarlarının ham püreye kıyasla daha yüksek bulunduğu rapor edilmiştir.

Yapılan bir başka çalışmada kırmızı biberler, kırım pencereleli kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kurutulmuş ve bu yöntemlerin biberlerin renk özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, kırım pencereleli kurutma yönteminde biberlerin oksijene maruz kalma süresinin daha kısa olması sayesinde, dondurarak kurutma yöntemine göre renk kayıplarının daha az olduğu rapor edilmiştir (Topuz vd. 2009).

Domates püresinin kırım pencereleli kurutma sisteminde kurutulduğu bir çalışmada, 4 farklı sıcaklıkta (65,75,85 ve 95°C) ve farklı serme kalınlığında (2,3 mm) kurutmalar yapılmış olup en kısa süre 95°C’de 2 mm serme kalınlığında 17 dakika olarak belirtilmiştir. Domates tozlarının renk özellikleri incelenmiş ve kurutma sıcaklığının azalmasına bağılı olarak toz ürünlerin renk değışim oranlarının azaldığı bildirilmiştir (Castoldi vd. 2015).

Abul-Fadl ve Ghanem (2011) tarafından yapılan bir çalışmada domates püresi kırım pencereleli kurutma sisteminde 60, 75 ve 95°C sıcaklıklarda sırasıyla 75, 60 ve 40 dakika boyunca kurutulmuş ve bazı fizikokimyasal özellikleri konveksiyonel kurutma (60°C, 2.1 m/s hava hızı,16 saat) ile kıyaslanmıştır. Kırım pencereleli kurutma sisteminde kurutulan domates tozlarının askorbik asit, likopen ve flavonoid miktarlarının daha iyi sonuçlar verdiği rapor edilmiştir.

Kırım pencereleli kurutma sisteminde kurutulan toz ürünlerin aroma özelliklerinin de iyi olduğu bilinmektedir. Nitekim domates püresi tambur kurutma, vakum tambur kurutma, çalkalanmış ine film kurutucu ve kırım pencereleli kurutma olmak üzere 4 farklı kurutucuda kurutulmuş olup aroma özellikleri kırım pencereleli kurutma ve vakum kurutmada daha iyi sonuçlar vermiştir (Qiu vd. 2019).

2mm kalınlığındaki domates dilimleri 75 ve 90°C’de kırım pencereleli kurutucuda kurutulmuştur. Toplam fenolik madde içeriğı, renk özellikleri sıcak havada kurutma ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kırım pencereleli kurutma sisteminde kurutulan domates dilimlerinin fenolik madde içeriğı daha yüksek bulunmuş olup daha iyi renk özellikleri göstermiştir. Ayrıca RW kurutmada kuruma süresinin kısa olmasına bağılı olarak daha az enerji tüketimi gösterdiği rapor edilmiştir (Abbasid vd. 2015).

Zomorodi ve Hedayat (2023) domates dilimlerini (5 mm) mikradalga, sıcak hava, güneşte ve kırım pencereleli kurutma yöntemleriyle kurutmuş ve elde edilen domates tozlarının çözünürlük, C vitamini, toplam fenolik madde miktarı ve renk özelliklerini analiz etmiştir. Çalışma sonucunda mikrodalga ve RW kurutmada kurutulan örneklerin C

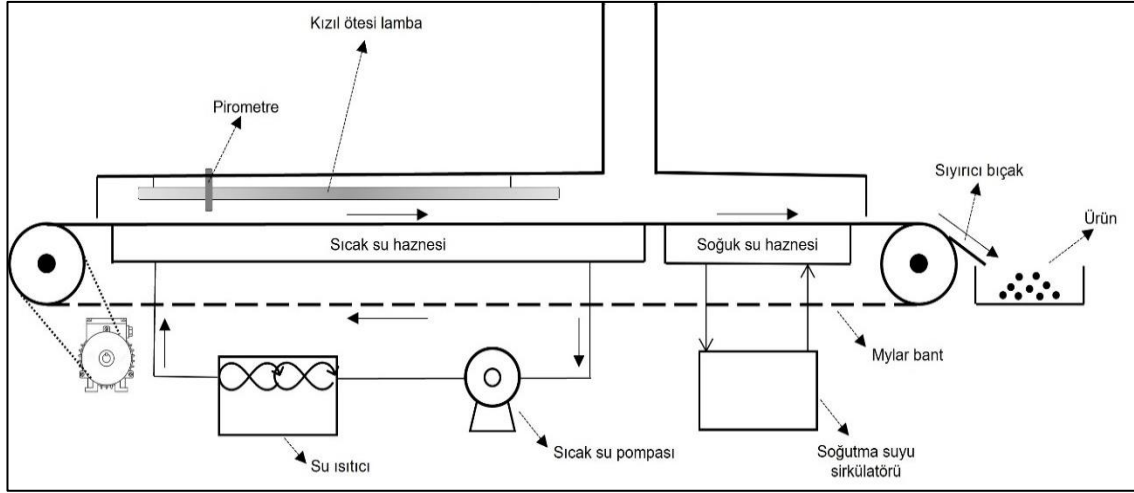
vitamini, fenolik bileşikleri ve çözünürlüklerinin diğer kurutma yöntemlerine kıyasla önemli derecede yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca en düşük renk değişiminin RW ile kurutulan örneklerde olduğu rapor edilmiştir.

Domates suyu kurutulmasında taşıyıcı olarak maltodektrin kullanıldığı bir çalışmada; püre kuru maddesinin %50'si oranında maltodektrin ilave edilerek kırınım pencereci kurutma ve püskürterek kurutma ile domates suyu kurutulmuştur. Maltodektrin ilave edilen tozların çözünürlüğünün daha iyi olduğu ve püskürterek kurutmada elde edilen tozların karotenoid kaybının daha fazla olduğu belirtilmiştir (Durigon vd. 2016).

Literatürde birçok ürünün kurutulmasında kullanılan kırınım pencereci kurutma yöntemine son dönemlerde yenilikçi teknolojilerin eklenmesiyle hibrit kurutma yöntemleri de tasarlanmıştır. Kırınım pencereci kurutma sistemi kızılötesi lambalarla üstten desteklenerek ürünlerin kuruma süresi önemli ölçüde kısalmaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda kızılötesine ek olarak ultrases enerjisinin de dahil edildiği hibrit kurutma sistemleri araştırma konusu haline gelmiştir. (Aygün ve Topuz 2024). Ayrıca kırınım pencereci kurutma sisteminin bir vakum ortamına alınıp kurutma işleminin vakum altında gerçekleştirilerek yüksek kaliteli ürünlerin elde edilebileceğini gösteren bir çalışma da bulunmaktadır (Bardakçi ve Karacabey 2024).

2.2.3. Kızılötesi destekli kırınım pencereci kurutma

Kızılötesi radyasyon ısı enerjisi elektromanyetik dalga olarak transfer etmektedir ve yakın-kızılötesi (0.76-2 mm), orta-kızılötesi (2-4 mm) ve uzak-kızılötesi (4-1000 mm) olarak sınıflandırılmaktadır. Gıdaların kurutulmasında kızılötesi radyasyonun başarısı gıda kalınlığı, gıda çeşidi, kızılötesi ısıtma kaynağının gücü ve nüfus ettiği derinliğe bağlıdır. Gıdaların kurutulmasında kızılötesi radyasyon tek başına kullanıldığında ürünlerde yapısal bozulmalar meydana gelmektedir. Ayrıca kızılötesi ısıtma tek başına kullanıldığında elektromanyetik dalganın gıda matrisine nüfuz etmesi zor olmakta ve bu da gıda kurutmadaki uygulamasını sınırlamaktadır. Ancak kızılötesi kurutma yönteminin kuruma süresini kısaltması, yüksek enerji etkinliğine sahip olması, alternatif enerji kaynağı olması gibi avantajları göz önüne alındığında, son zamanlarda kızılötesi destekli kombine kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Kızılötesi radyasyonun kırınım pencereci kurutma ile beraber kullanıldığında homojen bir ısıtma sağlandığı, kuruma süresini kısalttığı ve ürün kalitesini artırdığı rapor edilmiştir. (Puente-Díaz vd. 2020; Rajoriya vd. 2023). Kızılötesi destekli kırınım pencereci kurutma (KD-KPK) yönteminin şematize edilmiş hali Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. KD-KPK sisteminin temel mekanizmaları (Vural 2024).

Rajoriya vd. (2020), kırımın pencereli kurutma sistemini uzak kızılötesi ışın (FIR) ile birleştirerek elma dilimlerini (2- 5 mm) kurutmuşlardır. Elde edilen sonuçlar, FIR desteğinin kuruma sürecini hızlandırdığını ve doğrudan kırımın pencereli kurutma yöntemine kıyasla kurutma süresini yaklaşık %50 oranında, sıcak hava kurutmaya göre de yaklaşık %69 oranında kısalttığını belirtmişlerdir. FIR destekli kırımın pencereli kurutma yöntemiyle kurutulan elma dilimlerinin toplam fenolik, flavonoid antioksidan aktivite miktarlarının ve renk stabilitesinin daha iyi olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca aroma bileşenlerinin tutulmasında da FIR destekli kırımın pencereli kurutma yönteminin iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Kızılötesi lamba ile kırımın pencereli kurutma sisteminin desteklendiği bir başka çalışmada, altın çilek püresi farklı sıcaklıklarda (60, 75 ve 90°C) ve farklı film kalınlıklarında (0.19, 0.25 ve 0.30 mm), 250 W kızılötesi lamba gücünde kurutulmuştur. Kızılötesi lamba desteğinin kuruma süresi önemli ölçüde kısalttığı (%60 oranında) belirtilmiştir. Ayrıca altın çilek püresinin kızılötesi lamba destekli kırımın pencereli kurutma yönteminde kurutulması en iyi tahminleyen modelin Midilli-Küçük modeli olduğu rapor edilmiştir (Puente-Díaz vd. 2020).

Gaviria-Lozano vd. (2025) tarafından yapılan bir çalışmada, Kırımın pencereli kurutma sistemi vakum, kızılötesi lamba ve zorlanmış hava destekleriyle hibrit hale getirilmiş ve bu hibrit sistemlerde domates püresi kurutulmuştur. Kızılötesi lamba destekli hibrit sistemle kurutulan domateslerin yüksek toplam polifenol içeriği, antioksidan aktivite ve likopen biyoerişilebilirliği gösterdiği bildirilmiştir.

Kızılötesi destekli kırımın pencereli kurutma sisteminde yanıt yüzey metodu ile optimizasyon işleminin gerçekleştirildiği bir çalışmada, domates dilimleri farklı su sıcaklıklarında (60, 64, 70, 76 ve 80°C) ve farklı kızılötesi lamba güçlerinde (200, 280, 400, 520 ve 600 W) kurutulmuştur. Elde edilen domates tozlarının askorbik asit, toplam fenolik madde, likopen miktarı ve renk özellikleri analiz edilmiştir. Optimum kurutma koşullarının 70 °C sıcaklık ve 500 W lamba gücü olduğu rapor edilmiştir (Arslan 2022).

İnstant ekmek mayası üretimi için kızılötesi lamba destekli kırım pencereleli kurutma yöntemini kullanılmış olup kızılötesi lamba uygulamasının toplam maya sayısını düşürdüğü rapor edilmiştir (Arslan-Tontul vd. 2022).

2.2.4. Ultrases destekli kırım pencereleli kurutma

Ultrases 20 kHz ile 10 MHz aralığında frekansa sahip ses dalgalarıdır ve akustik bir enerjidir. Ultrases işlemi, kurutma işlemlerinde ön işlem olarak veya bir kurutma yöntemiyle eş zamanlı olarak kullanılan, kurutma hızını materyalin sıcaklığında önemli bir değişime neden olmadan arttırabilen ısı olmayan alternatif bir uygulamadır. Ultrases uygulaması, gıdaların merkezindeki kütle transferini hızlandırarak ve gıda matrisinde mikro kanallar oluşturarak kurumayı hızlandırmaktadır. Ultrasonik dalgalar, meyve ve sebze hücrelerinin dokusu içinde mikroskobik kanalların görünmesini sağlamakta ve böylece kurutma işlemi sırasında suyun difüzyon hızı artmaktadır (Cao vd. 2010). Kırım pencereleli kurutma sisteminin ultrases uygulaması ile beraber kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma bulunmakta olup bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Elma dilimlerinin kurutulması üzerine yapılan bir çalışmada pilot ölçekli ultrason ve kızılötesi destekli kırım pencereleli kurutma sistemi geliştirilmiş ve kurutulmuş elmaların bazı fizikokimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bu kombine KPK ile kurutulan elmaların, toplam fenolik madde, C vitamini, flavonoid içerikleri ve antioksidan aktivitesi dondurarak kurutulmuş elmalar ile benzer sonuçlar göstermiştir. Ayrıca ultrason ve kızılötesi destekli KPK sisteminin enerji verimliliğinin dondurarak ve sıcak hava kurutmaya göre yüksek olduğu rapor edilmiştir (Baeghbali vd. 2019). Yapılan bir başka çalışmada ultrason ve kızılötesi destekli KPK sisteminde bamya dilimleri kurutulmuştur. Ultrason ve kızılötesi desteğinin kuruma oranını arttırdığı ve bamya hidrokolloidlerinin reolojik özelliğini koruduğu belirtilmiştir. Sadece ultrason uygulaması yapılan örneklerin C vitamini içeriğinin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Baeghbali vd. 2020).

Literatürde domates salçanın kızılötesi destekli kırım pencereleli kurutma sistemi kullanılarak kurutulduğu bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte ultrases destekli kırım pencereleli kurutma sisteminin uygulandığı bir çalışmaya da ulaşılammıştır. Ayrıca kızılötesi destekli kırım pencereleli kurutma sisteminde köpük kurutma ve esmerleşmeyi önleme amaçlı katkılama yaklaşımları da tez çalışmasına özgünlük katmaktadır.

2.2.5. Köpük kurutma

Köpük kurutma, sıvı ya da püre formundaki gıdaların çeşitli köpük yapıcı ajan ilavesi ile sabit bir köpüklü yapıya dönüştürüldüğü ve daha sonra kurutulduğu bir yöntemdir. Köpük kurutma için ilk temel unsur başarılı bir köpük formu oluşturmaktadır. Köpük kurutma için öncelikle, kurutulacak olan sıvı ya da püre halindeki gıdaya köpük yapıcı ajanlar eklenir ve bu karışım blender ve özel olarak tasarlanmış çırpıcı cihazlar ile belli sürede çırpılarak köpük formu oluşturulur. Elde edilen köpük formundaki bu yapı, kullanılacak olan kurutucuya ince bir tabaka halinde serilmekte ve belli bir nem içeriğine kadar kurutulmaktadır (Febrianto vd. 2012; Ratti ve Kudra 2006; Rajkumer 2006; Sangamithra vd. 2015). Köpük kurutma diğer kurutma metotlarına göre daha az maliyet gerektiren bir yöntem olmakla birlikte kuruma süresini önemli ölçüde kısalttığı için gıda

bileşenlerinin sıcak havaya daha az maruz kalmasını sağlamaktadır. Köpük kurutma yönteminde gıdaların hızlı kurumasının temel nedeni, oluşturulan köpüğün geniş bir yüzey alanına sahip olması ve buna bağlı olarak suyun buharlaşmasının hızlı olmasıdır (Kadam ve Balasubramanian 2011).

Köpük formunu sağlamak için köpük yapıcı ajan olarak proteinler, gamlar ve çeşitli emülsifiye edici maddeler kullanılmaktadır. Köpük ajanları sıvı-sıvı, sıvı-katı arasındaki yüzey gerilimini düşürerek köpük oluşumunu kolaylaştırılan yüzey aktif maddelerdir. Köpük yapıcı maddelerin hava absorplama mekanizmaları birbirinden farklıdır (Kuzielová vd. 2016). Köpük oluşumu, kurutulacak olan gıda bileşenine, kullanılan köpük maddesinin cinsi ve konsantrasyonuna, köpük yapma süresi ve hızına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Domates suyunun köpük kurutma yöntemi ile sıcak havada kurutulması ile ilgili bir çalışmada; köpük yapıcı ajan olarak farklı oranlarda (%0, 5, 10, 15 ve 20'lik) yumurta albümini kullanılmış olup eklenen yumurta albüminin miktarının artmasıyla kuruma süresinin kısaldığı ve ürün renginin daha iyi korunduğu belirtilmiştir (Kadam ve Balasubramanian 2011).

Domates suyunun köpük kurutma yaklaşımı ile kurutulduğu bir başka çalışmada köpük yapıcı madde olarak karboksimetil selüloz, süt ve yumurta beyazı kullanılmış ve oluşan köpük yapısı farklı sıcaklıklarda (65, 75 ve 85°C) sıcak hava akımında kurutulmuştur. Karboksimetil selülozun ilave edilerek köpük formu oluşturulan ve 85°C sıcaklıkta kurutulan örneklerin likopen içeriğinin daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir (Kadam vd. 2012). Sramek vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada domates salçası köpük kurutulmasında, köpük ajanı olarak maltodekstrin ve yumurta beyazı kullanılmış ve oluşan köpük yapısı vakum ve sıcak havada kurutulmuştur. Ayrıca kontrol amaçlı doğrudan dondurarak kurutma da yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre karotenoid bozulması ve izomerizasyonunun ve ürünlerin renk değişimlerinin sıcak hava kurutmada daha fazla olduğu rapor edilmiştir.

Literatürde domates püresi ve suyunun köpük kurutulmasına ilişkin başka çalışmalar olmakla birlikte Çizelge 2.2'de bu çalışmalar ve kullanılan köpük ajanları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Literatürde domates kurutulmasında kullanılan bazı köpük kurutma koşulları

Hammadde	Köpük yapıcı ajan	Çırpma koşulları	Kurutma koşulları	Kaynak
Domates püresi	Yumurta albümini (%1-0.5), CMC (%1-1.5)	6 dk.	60-70°C, 1 m/s hava hızı, Sıcak hava kurutma	Hossain vd. 2024
Domates püresi	Yumurta albümini (%3-9), CMC %0.2-0.6)	5.8 dk.	60,70,80°C ve 1 m/s hava hızı,Sıcak hava kurutma, 4 mm kalınlığında	Thuy vd. 2024
Domates püresi	yeşil bezelye haşlama suyu (%7.5, 15 ve 20)	-	50,60,70°C ve 1.3 m/s hava hızı, Sıcak hava kurutma, 5 mm kalınlığında	Kilicli vd. 2023
Domates püresi	Yumurta albümini (%3.5-7), CMC (%0.5-1)	5 dk.	60, 65, 70°C, Fırın kurutma	Belal vd. 2023
Domates püresi	Yumurta albümini (%3, 5 ve 7) Sodyum karboksimetil selüloz (%0.5, 1)	5 dk.	60,65,70°C; Fırın kurutma	Hossain vd. 2021
Domates püresi	Yumurta albümini (%10)	5 dk.	(0, 480W, 640W ve 800W) 45°C, 1.3 m/s hava hızı, 10 mm kalınlığında	Qadri vd. 2014

2.2.6. Aroma enkapsülasyonu

Aroma enkapsülasyonu, uçucu veya hassas aroma bileşenlerinin, çevresel faktörlere karşı korunmasını sağlamak ve kontrollü salımını gerçekleştirmek amacıyla uygun taşıyıcı maddelerle kapsüllenmesi işlemidir. Bu teknik, özellikle gıda, ilaç, ve kozmetik endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Aroma kapsülleyen maddelerden biri olan Beta-siklodekstrin (β -siklodekstrin), hidrofobik molekülleri kapsülleyerek onların stabilitesini artıran ve uçucu bileşiklerin kontrollü salımını sağlayan halkasal oligosakkarit yapısında bir taşıyıcı ajandır. Gıda endüstrisinde aroma bileşenlerinin korunması ve istenmeyen çevresel etkilerden (örneğin oksidasyon, ışık, sıcaklık) kaynaklanan aroma kayıplarının önlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. β -siklodekstrin, iç boşluğu hidrofobik ve dış yüzeyi hidrofilik olan konik yapısıyla, aroma bileşenlerini moleküler kompleksler hâlinde tutarak bu bileşenlerin çözünürlüğünü ve stabilitesini artırır. Ayrıca, istenmeyen tat ve kokuların maskelenmesinde de etkilidir. Bu özellikleri sayesinde β -siklodekstrin, başta meyve aromaları, uçucu yağlar ve baharat özleri olmak üzere çok çeşitli aroma maddelerinin enkapsülasyonunda ve raf ömrünün uzatılmasında işlevsel bir katkı maddesi olarak değerlendirilmektedir (Fenyvesi ve Szente 2016; Ez-zoubi vd. 2024).

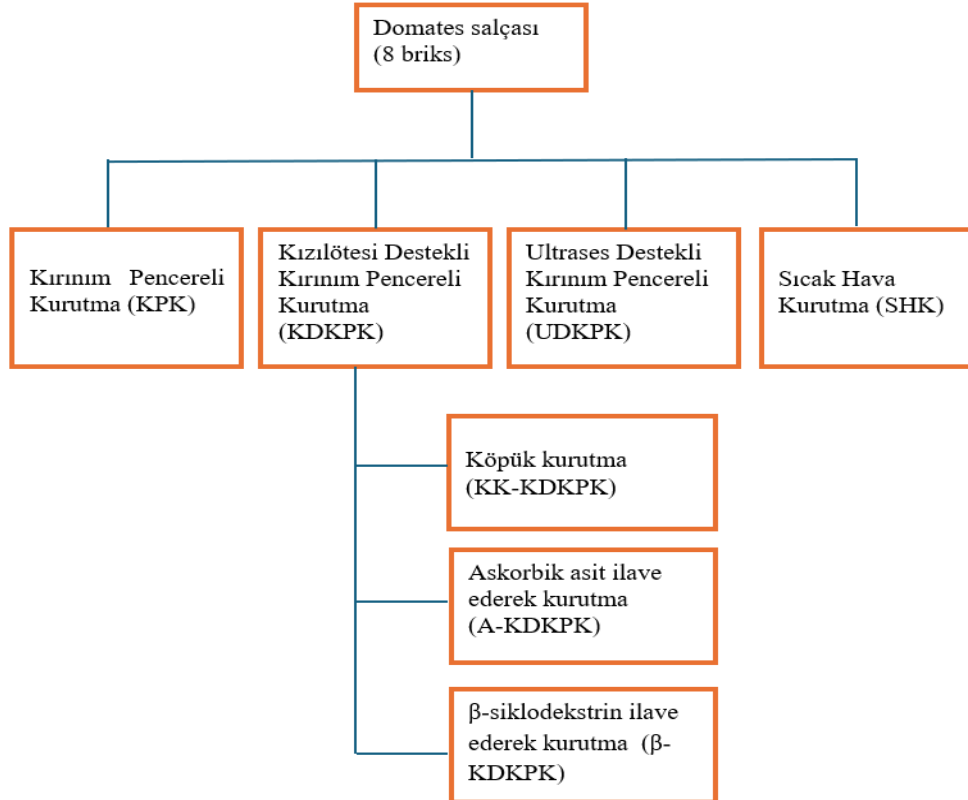
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Araştırmada kullanılan domates salçası 2024 yılı hasat sezonunda hasat edilmiş domateslerden üretilmiş olan ve 700g cam ambalajlarda ticari ürün olarak (Harras; 28 °briks) yerel bir marketten satın alınmıştır. Tez kapsamındaki tüm optimizasyon ve deneme üretimleri aynı parti numaralarına sahip salçalardan, depolama ve kinetik çalışmaları ise aynı firmaya ait başka bir partiden temin edilmiştir. Analizlerde kullanılan kimyasallar analitik saflıkta olup Sigma-Aldrich (Darmstadt, Almanya) ve Merck (Darmstadt, Almanya) firmalarından temin edilmiştir.

3.2. Metot

Tez çalışması kapsamında ticari olarak temin edilmiş olan salça denemeler gereği ön hazırlıklar sonrasında yenilikçi kurutma teknolojilerinden olan kırınım pencereli kurutma, kızılötesi ve ultrason destekli kırınım pencereli kurutma yöntemleri ile kurutulmuştur. Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma yönteminde kuruma süresini kısaltmak için salça köpük formu oluşturularak da kurutulmuştur. Ayrıca esmerleşmenin önüne geçmek için askorbik asit, uçucu bileşenlerinin stabilitesini korumak amacıyla β -siklodekstrin ilave edilerek de kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma yönteminde salça kurutulmuştur. Şekil 3.1’de salça kurutulmasında uygulanan metotlar verilmiştir.



Şekil 3.1.Salça kurutulmasında uygulanan kurutma metotları

3.2.1. Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma optimizasyonu

Tez kapsamında bölümümüzde mevcut olan Kırınım pencereli kurutma (KPK) sistemine (Şekil 3.2) pirometre (OPTRIS OPTCSTCLT15) kontrollü kızılötesi lamba (IR) (ELCON EIR Hızlı tepki orta dalga, 1100 mm, 235 V, maksimum 4000W) desteği eklenmiştir. Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma (KDKPK) sisteminde kızılötesi lamba bant üzerindeki ürünün yüzey sıcaklığına (pirometre ile ölçülen) bağlı olarak ayarlanmakta olup, ayarlanan hedef yüzey sıcaklığına kadar çalışmaktadır. IR lamba ile pirometre arasındaki iletişim bir ısı kontrol cihazı (PID) (ELCON P10 PID (Proportional-integral-derivative) (Orantısal-integral-türevsel)) ile sağlanmıştır. Ayrıca kurutma sırasında oluşan su buharı sistemin üzerine monte edilen davlumbaza bağlı salyangoz fan (1.2 m/s hava hızı) (AYAS, OBRA-200-4K-T) ile ortamdan uzaklaştırılmıştır.

Literatürde domates salçasının kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma sisteminde kurutulmasına ilişkin bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle optimum kurutma koşullarının belirlenmesi amacıyla yanıt-yüzey metodu kullanılmış olup bağımsız değişkenler olan sıcaklık, serme kalınlığı ve kızılötesi lamba çalışması için ayarlanacak ürün yüzey sıcaklığı Design Expert (Design-Expert for Windows, Stat-Ease Inc., ABD) paket programı yardımıyla, Yanıt Yüzey Optimal Özel Tasarım ile optimize edilmiştir. Bağımsız değişkenlerin alt ve üst sınırları sirkülasyon suyu sıcaklığı için 60-90°C, serme kalınlığı için 2-3 mm, püre yüzey sıcaklığı için ise 30-36°C olacak şekilde literatür verileri (Tontul 2018, Aşık 2019, Vural 2024) dikkate alınarak ön denemelerle belirlenmiştir. Bağımlı değişkenler olarak ise kurutma süresi, likopen miktarı ve esmerleşme indeksi seçilmiştir. Çizelge 3.1’de KDKPK sisteminde kurutma koşullarının optimizasyonu için kullanılan deneme deseni verilmiştir.

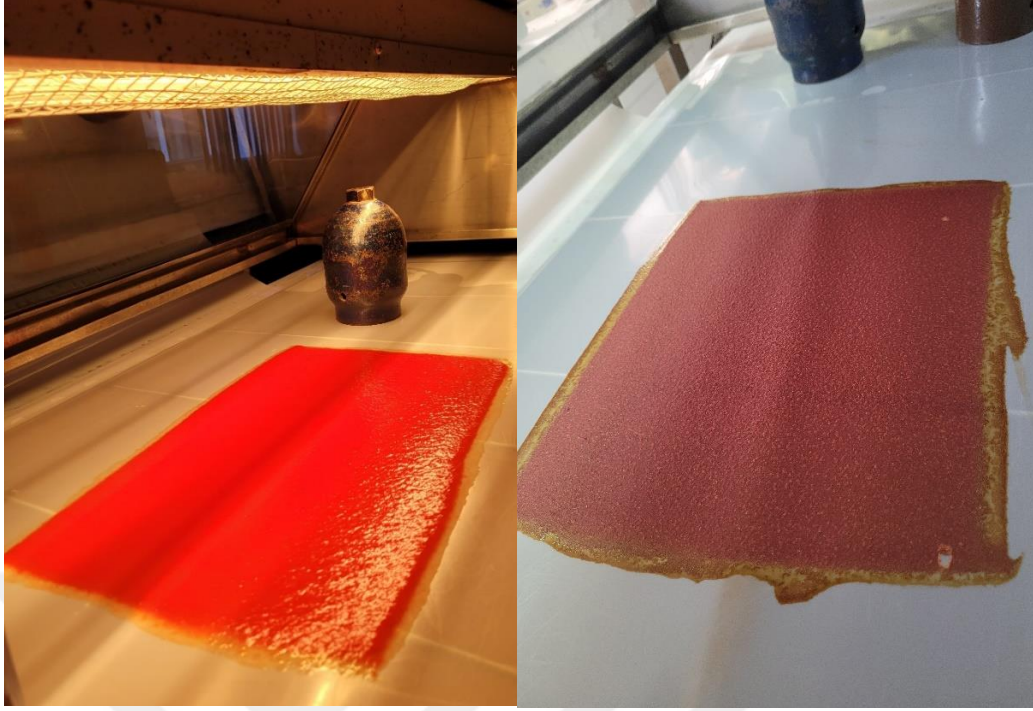


Şekil 3.2. Kırınım pencereli kurutma sistemi

Çizelge 3.1. Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma sisteminde kurutma koşullarının optimizasyonu için kullanılan deneme deseni

Desen no	Sirkülasyon Suyu Sıcaklığı (°C)	Serme kalınlığı (mm)	Ürün yüzey sıcaklığı (°C)
1	70	2	30
2	60	2	36
3	70	2.5	30
4	90	3	36
5	70	2.5	30
6	90	2.5	33
7	80	2.5	36
8	90	3	30
9	60	2.5	36
10	90	2.5	33
11	70	3	33
12	70	3	36
13	90	2	30
14	70	2.5	30
15	60	2	33
16	60	3	30
17	80	2	36
18	80	2	33
19	90	2.5	33
20	70	3	33

Öncelikle domates salçası su ile 8 °briks çözünür kuru madde içeriğine kadar seyreltilmiş ve yükseklik ayarlamalı serme aparatı kullanılarak mylar film üzerine deneme deseninde verilen serme kalınlıklarında serilmiş olup deneme desenindeki şartlarda (Çizelge 3.1) kurutulmuştur. Kurutma işlemi ürün nemi %10'un altına düşene kadar sürdürülmüş olup kurutma süreleri kaydedilmiştir. Domates tozu, %10'un üzerinde son nem içeriğine sahip olacak şekilde kurutulduğunda, higroskopik yapısı nedeniyle partiküller arasında belirgin topaklanma (kekleşme) gözlemlenmiş olup kurutmalar %10 nemin altına düşüncüye kadar sürdürülmüştür. Şekil 3.3 'de domates salçasının kurutma başındaki ve sonundaki görüntüsü verilmiştir. Kurutma işleminden sonra ürün film üzerinden spatula yardımıyla alınmış ve bir öğütücü ile (Kiwi KSPG-4811) 35-mesh elekten geçene kadar öğütülmüştür. Elde edilen toz ürünler analiz edilinceye kadar kilitli ambalajlar içerisinde -20°C'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.3. KDKPK sisteminde domates salçası kurutulması

3.2.2. Köpük kurutma

Tez kapsamında köpük formunda kurutma yapabilmek için köpük yapıcı ajan olarak soya ve bezelye protein izolatları seçilmiş ve bu izolatlar serilen salçada toplamda kütlece %1.5 olacak şekilde kullanılmıştır. Bu oran literatür verileri dikkate alınarak ön denemelerle belirlenmiştir (Hossain vd. 2024). Seçilen proteinlerin iyi köpük formu oluşturan karışım oranları ile çırpma süresi Design-Expert sürüm 13 yazılımı kullanılarak karışım desenine (optimal combined mixture design) göre yapılan optimizasyon ile belirlenmiştir (Çizelge 3.2). Deneme deseninin bağımsız değişkenleri soya ve bezelye protein izolatlarının oranı ve köpük formu oluşturmak için gerekli çırpma süresi olarak seçilmiştir. Bağımlı değişkenler ise köpük yapma kapasitesi ve köpük stabilitesi olarak belirlenmiştir.

Köpük kapasitesi ve stabilitesini belirlemek için literatürde domates suyunda uygulanan bir yöntemden yararlanılmıştır. Bu amaçla 100 g seyreltilmiş salçaya deneme deseninde kararlaştırılan oranda protein izolatları eklenerek karışım ev tipi parçalayıcı (smoothie makinası) yardımıyla yine deneme deseninde kararlaştırılan sürelerde (1-3-5 dk) çırpma işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen köpüklü formundaki seyreltilmiş salça 250 mL'lik mezüre aktarılıp 0. ve 60. dakikalardaki hacimleri kaydedilerek köpük kapasitesi (mL) ve köpük stabilitesi (%) Eşitlik 3.1 göre hesaplanmıştır (Kadam ve Balasubramanian 2011).

$$\text{Köpük Stabilitesi (\%)} = 100 - (\text{BH-SH}) / \text{BH} \times 100$$

3.1

BH: Başlangıç (0. dk) köpük hacmi (mL)

SH: 60. dk sonundaki köpük hacmi (mL)

Çizelge 3.2. Köpük oluşturma optimizasyonunu için kullanılan deneme deseni

Desen no	Soya protein izolatu (%)	Bezelye protein izolatu (%)	Çırpma süresi (dk)
	0.75	0.75	3
2	0.375	1.125	1
3	1.125	0.375	5
4	1.125	0.375	3
5	1.5	0	3
6	0.75	0.75	3
7	1.5	0	5
8	0	1.5	1
9	0.75	0.75	1
10	0.75	0.75	5
11	0.75	0.75	1
12	0	1.5	3
13	0.75	0.75	3
14	0.375	1.125	3
15	1.5	0	1
16	0	1.5	5
17	0.375	1.125	5
18	0	1.5	3
19	1.5	0	3

Optimum koşullara göre oluşturulan köpük formdaki salça püreleri, kızılötesi destekli kırım pencere kurutma sistemine belirlenen optimum kurutma koşullarında %10 nemin altına düşene kadar kurutulmuş ve kuruma süresi kaydedilmiştir. Elde edilen toz ürünler 35-mesh elekten geçirilerek analiz sürecine kadar kilitli ambalaja konulup - 20°C’de muhafaza edilmiştir.

3.2.3. Katkılı kurutma

Salça pürelerine belli oranlarda sitrik asit ve askorbik asit katkılanarak kızılötesi destekli kırım pencere kurutma sisteminde optimum koşullarda kurutma yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda 100 g salça içeren 8° briks püreye sırasıyla 0.5 -1g sitrik asit ve 0.5-1 g askorbik asit ilave edilmiştir. Ayrıca 0.5 g sitrik asit ve 0.5 g askorbik asit karışım halinde de eklenmiştir. Domates tozlarına, renk, esmerleşme, HMF, pH, titrasyon asitliği, toplam şeker, antioksidan aktivite ve likopen miktarı analizleri yapılmıştır.

3.2.4. β -siklodekstrin ilave edilerek kurutma

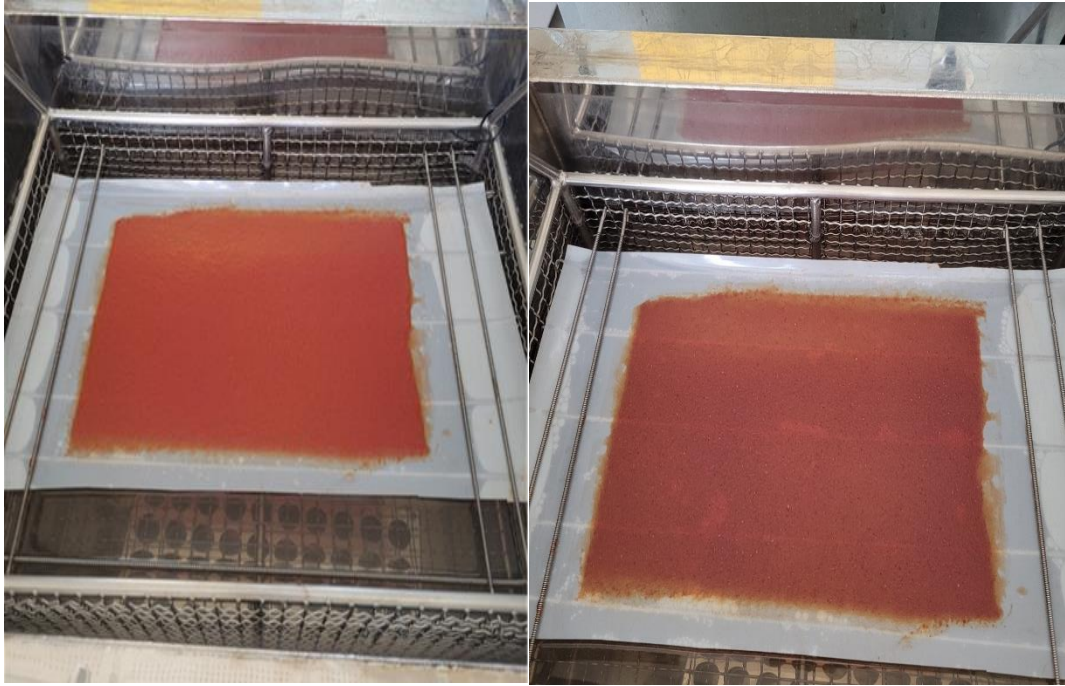
Domates tozlarına, uçucu bileşenlerinin stabilitesini artırmak için β -Siklodekstrin eklenmiştir. Bu amaç doğrultusunda 100 g salça içeren 8 °briks püreye taşıyıcı olarak 1 g β -siklodekstrin eklenerek KDKPK sisteminde optimum koşullarda kurutma yapılmıştır. Son ürün nemi %10'un altına düşünceye kadar kurutma yapılmış ve kuruma süresi kaydedilmiştir. Elde edilen toz ürünler 35-mesh elekten geçirilerek kilitli ambalajlar içerisinde -20°C'de muhafaza edilmiştir.

3.2.5. Kırınım pencereli kurutma

Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma yöntemi için elde edilen optimum sıcaklık ve serme kalınlığı kullanılarak (kızılötesi lamba açılmadan) serilen seyreltilmiş salça doğrudan nem içeriği %10'un altına düşene kadar kurutulmuştur. Elde edilen domates tozları 35-mesh elekten geçirilerek analiz sürecine kadar kilitli ambalajlar içerisinde -20°C'de muhafaza edilmiştir.

3.2.6. Ultrases destekli kırınım pencereli kurutma

Ultrasonik su banyosunun üzeri polyester (Mylar) film ile kapatılarak laboratuvar ölçekli bir ultrases destekli kırınım pencereli kurutma (UDKPK) sistemi oluşturulmuştur. Bu kuruma sisteminde kurutma süresince ultrasonik banyo içerisindeki suyun mylar filme temas etmesine özen gösterilmiştir. Elde edilen bu ultrases destekli kırınım pencereli kurutma sisteminde domates salçası (8 °briks), KDKPK elde edilen optimum sıcaklık ve serme kalınlığında, 37-38 kHz ultrases gücünde %10 nemin altına düşünceye kadar kurutulmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. UDKPK sisteminde domates salçası kurutulması

3.2.7. Sıcak hava akımında kurutma

Sıcak hava akımında kurutma işleminde Zomorodi ve Hedayat (2023) tarafından uygulanan yöntem ve koşullar esas alınmıştır. KDKPK sisteminde belirlenen optimum serme kalınlığında salça püreleri ayrı ayrı mylar film üzerine serilip tepsili kurutma cihazında 70°C sıcaklıkta ve 1.2 m/s hava hızında %10 nem altına düşünceye kadar kurutulmuştur (Şekil 3.5). Elde edilen toz ürünler 35-mesh elekten geçirilerek analiz sürecine kadar kilitli ambalaja konulup -20°C’de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.5. Sıcak hava akımında domates salçası kurutulması

3.2.8. Domates tozlarının analizleri ve depolanma testleri

Tez çalışması kapsamında kararlaştırılan kurutma yaklaşımlarıyla kurutularak elde edilen ürünler bir öğütücü ile (Kiwi KSPG-4811) 35-mesh elekten geçene kadar öğütülerek domates tozuna dönüştürülmüştür (Şekil 3.6). Farklı kurutma metotları ile kurutulan domates tozlarının su aktivitesi, nem içeriği, renk analizi, esmerleşme indeksi, yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, akabilirlik, partikül büyüklüğü, çözünürlük, higroskopisite, su tutma kapasitesi, HMF, toplam fenolik madde miktarı, likopen miktarı, antioksidan aktivite, askorbik asit miktarı, pH, titrasyon asitliği ve uçucu bileşen kompozisyonu analizleri yapılmıştır. Domates tozlarının her biri yaklaşık 20 g olacak şekilde kilitli ambalajlara (Doypack®, üç katmanlı; kraft kağıt/PET/CPP) konulup ağzı kilitlendikten sonra 60 gün boyunca 4°C sıcaklıktaki buzdolabında ve 25°C sıcaklıktaki etüvde depolanmıştır. Depolanmış ürünlerin 0.,15.,30.,45.,60. günlerde nem miktarı, su aktivitesi, renk, partikül boyut, 5-hidroksimetilfurfural, askorbik asit, likopen miktarı, antioksidan aktivite, toplam fenolik madde ve uçucu bileşen kompozisyonu analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.6. Öğütülmüş ve kilitli ambalaj ile paketlenmiş domates tozu

3.2.9. Analizler

3.2.9.1. Su aktivitesi ve nem içeriği

Domates tozlarının nem içerikleri 105°C'de bir infrared nem tayin cihazı (Kern DBS 60-3, Balingen, Almanya) kullanılarak ölçülmüştür. Tozların su aktivitesi de 25°C'de bir su aktivitesi ölçer (Aqualab 4TE: Decagon Devices, Pullman, Washington, ABD) kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.9.2. Renk analizi

Örneklerin renk değerleri Konica Minolta renk ölçüm cihazı (CR-400, Konica Minolta, Tokyo, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler öncesinde cihaz kalibrasyon plakası kullanılarak ($L = 95.24$, $a = -0.32$, $b = 3.01$) kalibre edilmiştir. Tozlar cihazın haznesine konulmuş ve ölçümler üç farklı noktada gerçekleştirilmiştir. Toz ürünlerin rengi ile L^* (koyuluk-açıklık), a^* (yeşilik-kırmızılık) ve b^* (mavilik-sarıklık) olarak kaydedilmiştir. Ton açısı (Hue Angle) ve doygunluk (Chroma) değerleri de a (yeşilik-kırmızılık) ve b (mavilik-sarıklık) değerleri kullanılarak aşağıdaki eşitliklerden (Eşitlik 3.1- 3.2) hesaplanmıştır.

$$\text{Ton açısı} = \frac{180}{\pi} \times \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad 3.1$$

$$\text{Doygunluk} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad 3.2$$

3.2.9.3. Esmerleşme indeksi

Domates tozlarının esmerleşme indeksi için 0,5 g örnek tartılmış ve üzerine 25 mL distile su eklenerek homojenize edilmiştir. Homojenizatlar 1000 g'de 10 dk santrifüj edilmiş ve berrak kısımdan 5 mL alınarak üstüne 5 mL %95'lik etanol ilave edilmiştir. Yine aynı şartlarda santrifüj edilen çözeltinin berrak kısmının absorbansı

spektrofotometrede (UV-1800 240 V, Japan) 420 nm dalga boyunda distile suya karşı okunmuştur. Esmerleşme indeksi elde edilen absorbansın seyreltme faktörü ile çarpılması ile hesaplanmıştır (Lee vd. 2016).

3.2.9.4. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve akabilirlik

Tez çalışması kapsamında üretilen toz ürünlerin yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve akabilirlik değerleri Beristain, (2001)'e göre belirlenmiştir. Bu amaçla yaklaşık 4 g örnek 10 mL hacme sahip silindire tartırılmış ve hacmi belirlenmiştir. Örneklerin yığın yoğunluğu kütle (m)/hacim(V_0) oranının belirlenmesiyle hesaplanmıştır. Örneklerin sıkıştırılmış yoğunluğu değerleri ise yığın yoğunluğu hesabında kullanılan toz örneğin hacim değişimi gözlenmeyene kadar (30 kere) bir yüzeye vurularak sıkıştırılmış ve son hacmi (V_1) okunmuştur. Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk sonuçları kg/m^3 olarak verilmiştir.

Akabilirlik değeri yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerinden hesaplanan boyutsuz bir değer olup, Carr indeks (CI) olarak ifade edilmiştir (Carr 1965). Örneklerin akabilirlik değerlerini Eşitlik 3.3'te belirtilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$CI = \left(\frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \right) * 100 \quad 3.3$$

Verilen eşitlikte; ρ_b örneklerin yığın yoğunluğu değerlerini (kg/m^3), ρ_t sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerlerini (kg/m^3) belirtmektedir.

3.2.9.5. Partikül büyüklüğü

Tez kapsamında üretilen ürünlerin partikül boyut dağılımı lazer ışığı kırınımlı (LLD) partikül boyut cihazı (Malvern, Mastersizer 2000SR, İngiltere) kullanılarak Fuchs vd (2006)'a göre gerçekleştirilmiştir. D [4, 3] ve D [3, 2] değerleri sırasıyla örnekleri hacim (HAO) ve yüzey (YAO) ağırlıklı ortalama değerlerini, d (0.1), d (0.5) ve d (0.9) değerleri ise oransal olarak partiküllerin sırasıyla %10'unun, %50'sinin ve %90'ının verilen büyüklüğe eşit veya daha küçük boyutlu olduğunu ifade etmektedir. Cihaz yazılımı (Malvern Application Ver. 5.60) kullanılarak toz örneklerin bu değerleri hesaplanmıştır. Analizlerde çözgen olarak izopropil alkol kullanılmıştır.

3.2.9.6. Çözünürlük

Tez çalışması kapsamında üretilen domates tozlarının çözünürlük analizi Canocha, (2005) tarafından uygulanan metoda göre gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 0.5 g toz ürün 50 mL distile su içinde manyetik karıştırıcıda (600 d/dk.) çözündürülmüştür. Bu karışım falcon tüpe aktarılıp 5 dk 3000 g'de santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen örneğin üst fazından 20 mL petrilere alınıp 105 °C'de sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Çözünürlük aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır. (Eşitlik 3.4)

$$\text{Çözünürlük (\%)} = \frac{\Delta m}{m_{20}} * 100 \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte; Δm : kurutma işleminde tespit edilen ağırlık farkını, m_{20} : kurutulan 20 mL çözeltide, örneğin tamamen çözünmesi durumunda bulunması gereken kuru madde miktarını ifade etmektedir.

3.2.9.7. Higroskopisite

Domates tozlarının higroskopisite değerleri Koç vd. (2014) tarafından uygulanan metoda göre yapılmıştır. Yaklaşık 1 g domates tozu petri kapına yayılmış ve 25 °C'de doymuş NaCl çözeltileri (Bağıl nemi oda sıcaklığında %75,3) içeren desikatörlere yerleştirilmiştir. Ürünler sabit tartıma gelene kadar 90 dk. desikatörde bekletildi. Bu süre sonunda domates tozlarının kazandığı ağırlık üzerinden higroskopisite değerleri belirlenmiştir. Toz örneklerin higroskopisite değerleri aşağıdaki eşitlik (Eşitlik 3.5) ile hesaplanmış olup sonuçlar g nem/100 g kuru madde olarak belirtilmiştir.

$$\text{Higroskopisite} \left(g \frac{\text{nem}}{100} g \text{ KM} \right) = (m_{90} - m_0) m_{KM} * 100 \quad (3.5)$$

Verilen eşitlikte; m_0 : başlangıç örnek örnek ağırlığını, m_{90} :90 dk. süre sonundaki örnek ağırlığını, m_{KM} : kullanılan örneğin kurumadde miktarını ifade etmektedir.

3.2.9.8. Su tutma kapasitesi

Domates tozlarının su kapasitesinin ölçülmesi için 0.1 g örnek eppendorf tüplere tartılmış, üzerine 1.5 mL su eklenmiştir. Elde edilen çözeltiler 30 dakika boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Süre sonunda 5000 g'de 30 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Santrifüj işlemi sonrasında üst kısmı uzaklaştırılan eppendorf tüpleri yeniden tartılmıştır. Örneklerin su tutma kapasitesi g su/g km toz verilmiştir.

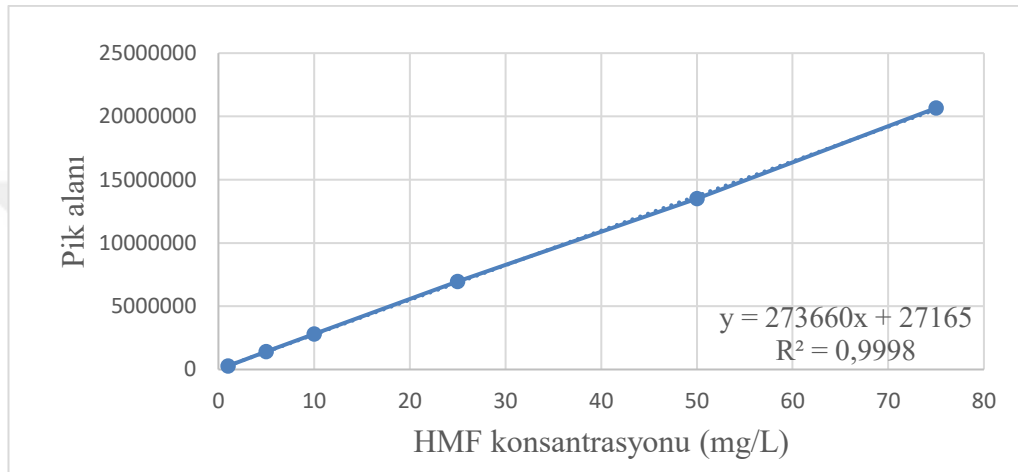
3.2.9.9. 5-Hidroksimetilfurfural analizi

Tez kapsamında örneklerin 5-hidroksimetilfurfura (HMF) içerikleri Tontul (2017) tarafından kullanılan metodun modifiye edilmesiyle belirlenmiştir. Bu analiz için öncelikle 0,5 g örnek su ile 25 mL'ye seyreltilmiş ve ultraturrax (T-25, IKA Labortechnik, Stauten, Germany) 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.

Carrez I çözeltisi için 150 g potasyum hekzasiyanoferrat (II) suda çözündürülüp ve 1000 mL'ye tamamlanarak, Carrez II çözeltisi de 300 g çinko sülfat heptahidrat suda çözündürülüp ve 1000 mL'ye tamamlanarak hazırlanmıştır. Bu karışım tekrardan 10000 g'de 10 dk santrifüj edilmiş ve berrak kısmı 0.45 µm membran filtreden geçirildikten sonra HPLC'de analiz edilmiştir. HPLC için analiz şartları aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.3). Domates tozlarının HMF sonuçları, elde edilen pik alanları kullanılarak HMF çözeltileri ile oluşturulan standart eğri yardımıyla (Şekil 3.7), mg HMF/100 g kuru örnek ağırlığı cinsinden verilmiştir.

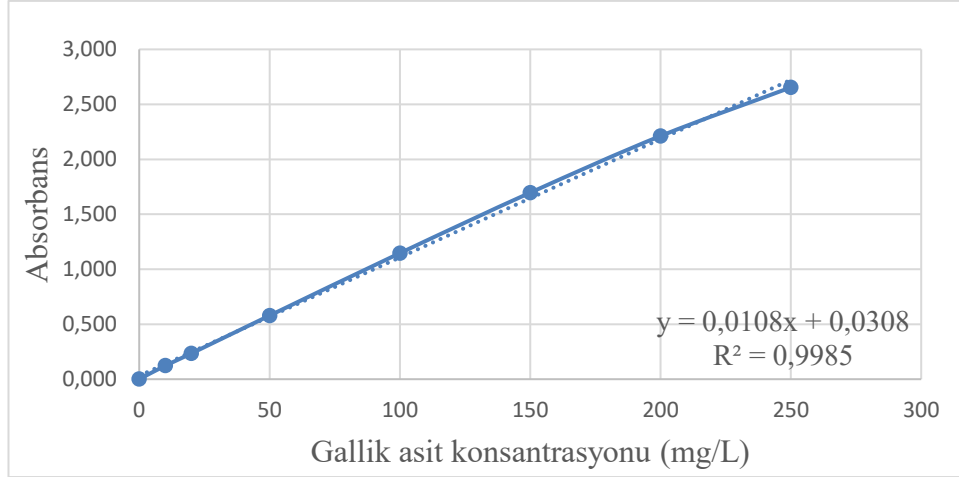
Çizelge 3.3. HMF analizi için HPLC şartları

Kolon	C18 (ters faz, 250 x 4.6 mm, 5 µm)
Kolon fırını sıcaklığı	32°C
Hareketli faz	Asetonitril/ su (5/95;V/V)
Akış hızı	0.5 mL/dk.
Dedektör	Diode array dedektör (DAD), 280 nm
Enjeksiyon hacmi	20 µL
Analiz süresi	20 dk

**Şekil 3.7. 5-** Hidroksimetilfurfural standart eğrisi

3.2.9.10. Toplam fenolik madde miktarı

Örneklerin toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu reaktifi ve standart olarak gallik asit içeren yöntem ile spektrofotometre kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntemde, 0,5 mg örnek 25 mL %80'lik sulu metanol çözeltisi içerisinde ultrasonik banyoda 25°C'de 60 dk boyunca ekstrakte edilmiştir. Bu ekstraktlar 5000 g'de 10 dk santrifüj edilip daha sonra berrak kısım %80'lik sulu metanol çözeltisi ile 4 kat seyreltilmiştir. Ardından 0,5 mL ekstrakt deney tüplerine alındı ve üzerine 2.5 mL Folin (%10'luk) reaktifi ve 2 ml %7.5'luk sodyum karbonat (Na₂CO₃) çözeltisi ilave edildi. Karışım 50°C sıcaklığında su banyosunda 5 dk inkübasyona bırakıldı süre sonunda örnekler karanlıkta oda sıcaklığına gelene kadar bekletildi. Örneklerin absorbans değerleri spektrofotometre (UV-1800 240 V, Japan) kullanılarak 760 nm dalga boyunda aynı şartlarda hazırlanmış köre karşı ölçülmüştür. Sonuçlar standard gallik asit kalibrasyon eğrisi (Şekil 3.8) üzerinden hesaplanmış olup mg GAE /100 g kuru örnek ağırlığı cinsinden verilmiştir (Dincer vd. 2019).



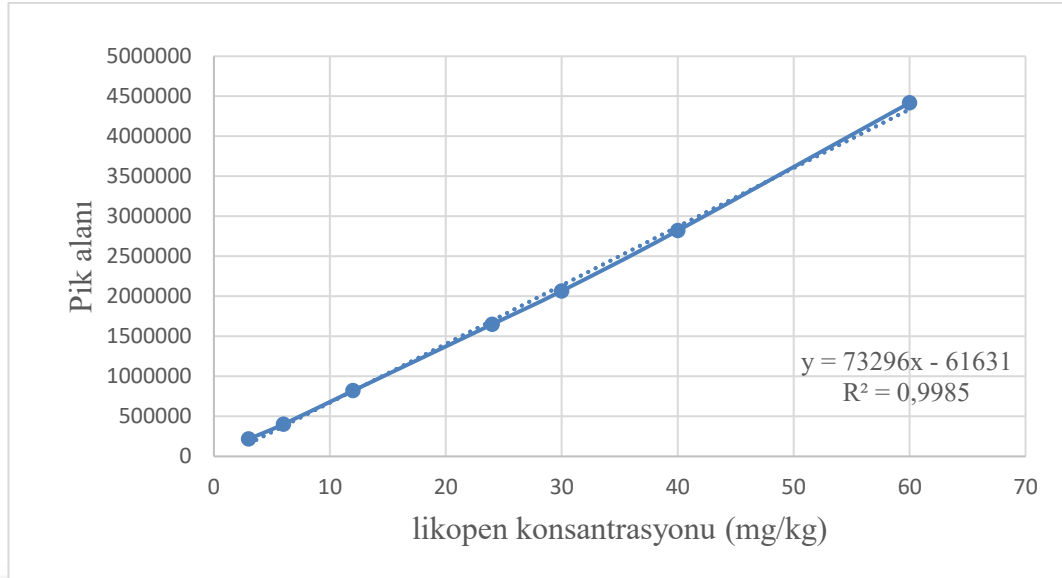
Şekil 3.8. Gallik asit standart eğrisi

3.2.9.11. Likopen miktarı

Örneklerin likopen miktarı Jorge vd. (2018) tarafından uygulanan yöntemle göre kromatografik olarak HPLC ile belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda 1 g toz örnek 40 mL aseton ile buzlu suda soğutarak 30 dk. karıştırılmıştır. Bu karışım önce kaba filtre kağıdından sonra da 0.45 µm membran filtreden geçirildikten sonra HPLC (Shimadzu LC20 AD, Japonya)'de analiz edilmiştir. HPLC için analiz şartları Çizelge 3.4'te verilmiştir. Örneklerin likopen miktarı farklı konsantrasyonlarda hazırlanan harici likopen standardı (3-120 mg/L arasında) ile oluşturulan kurve yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 3.9). Sonuçlar mg likopen/100 g kuru örnek ağırlığı cinsinden hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4. Likopen miktarı analizi için HPLC şartları

Kolon	C18 (ters faz, 250 x 4.6 mm, 5 µm)
Kolon fırını sıcaklığı	30°C
Hareketli faz	Metanol/ Tetrahidrofur (95/5;V/V)
Akış hızı	1 mL/dk.
Dedektör	Diode array dedektör (DAD), 470 nm
Enjeksiyon hacmi	20 µL
Analiz süresi	20 dk

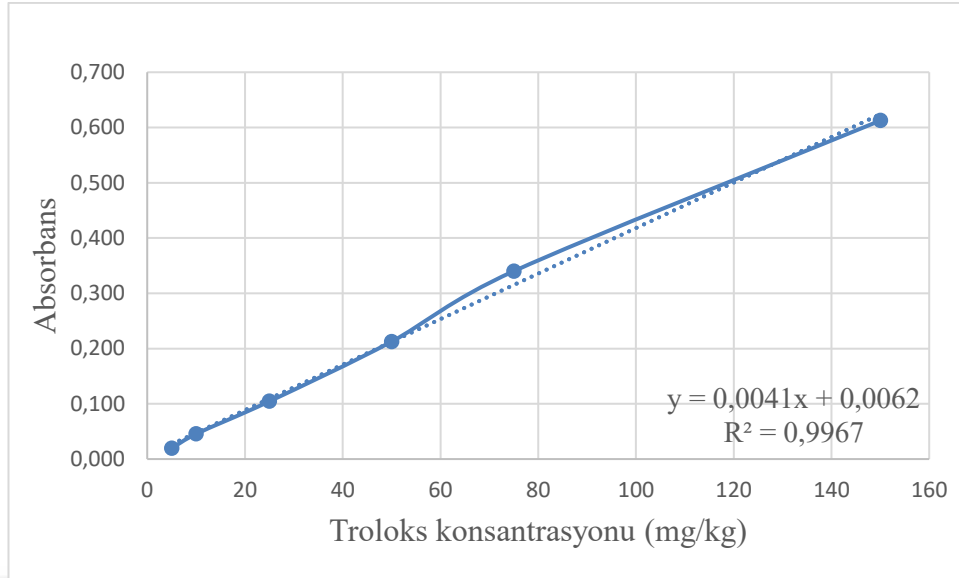


Şekil 3.9. Likopen standart eğrisi

3.2.9.12. Antioksidan aktivite

Örneklerin toplam antioksidan aktivite tayininin DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radikalinin inhibisyonu yöntemi ile spektrofotometrik olarak belirlenmiştir {Fernández-León, 2013 #374}. Bu amaç doğrultusunda 0,5 g örnek 25 mL %80'lik sulu metanol çözeltisi içerisinde ultrasonik banyoda 25°C'de 60 dk boyunca ekstrakte edilmiştir. Bu ekstraktlar Bu ekstraktlar %80'lik sulu metanol çözeltisi ile 3 kat seyreltilmiştir. Seyreltilmiş çözeltilerden 50 µL eppendorfe aktarılmış ve üzerine 950 µL metanolde hazırlanmış (60 µM) DPPH çözeltisinden ilave edilmiştir. Bu karışım vortekslenmiş ve karanlıkta (oda sıcaklığında) 30 dk. boyunca bekletilmiştir. Ayrıca eppendorlara 50 µL %80'lik metanol üzerine de 950 µL DPPH çözeltisi eklenerek şahit numune hazırlanmıştır. 30 dk süre sonunda tüm örneklerin absorbans ölçümü 517 nm dalga boyunda yapılmış olup şahit numune ile arasındaki absorbans farkları hesaplanmıştır.

Örneklerin antioksidan aktivite değerleri farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış troloks çözeltisi ile elde edilen eğri kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 3.10). Sonuçlar g troloks eşdeğer aktivite/100 g kuru örnek ağırlığı cinsinden verilmiştir.



Şekil 3.10. Troloks standart eğrisi

3.2.9.13. pH ve titrasyon asitliği:

Örneklerin pH ve titrasyon asitliği ölçümleri için, 1 g'lık bir numune 100 ml distile su ile 5 dakika boyunca karıştırılmış ve çözelti filtre kağıdından süzümüştür. pH metre ile süzüntünün pH değeri belirlenmiştir. Titrasyon asitliği için ise süzüntü pH 8.1 oluncaya kadar 0.1 N NaOH ile titre edilmiş ve sonuçlar sitrik asit cinsinden verilmiştir (Cemeroğlu 2007).

$$\text{Toplam asitlik (\%)} = (V \times F \times 100 / M) \times E$$

3.6

V: Harcanan 0.1 N NaOH miktarı (ml)

F: 1

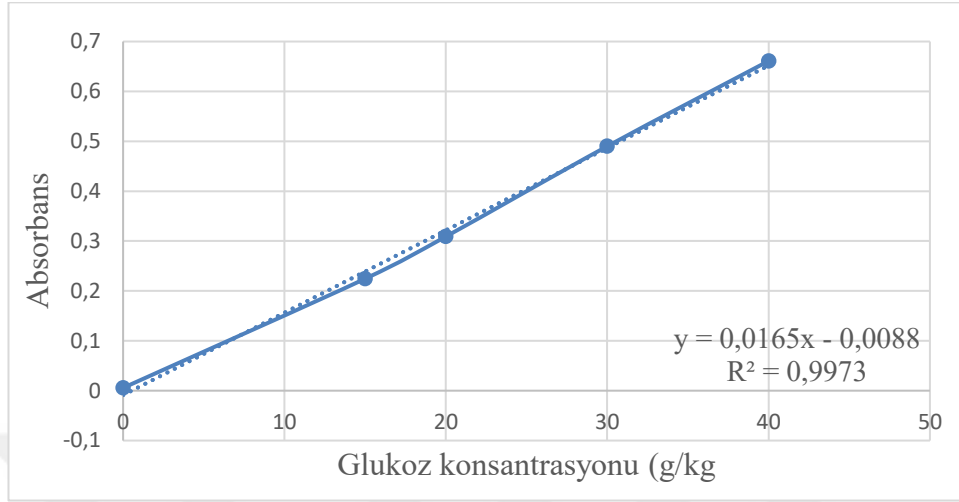
E: 1 ml 0.1 N NaOH'in eş değer asit miktarı; (Susuz sitrik asit cinsinden: 0.006404 g)

M: Titre edilen örneğin gerçek miktarı (g)

3.2.9.14. Toplam şeker miktarı

Örneklerin toplam şeker miktarı 3,5-dinitrosalisilik asit (DNS) kullanılarak spektrofotometrik yöntem kullanılarak belirlenmiştir (Miller 1959). Bu amaçla 0,5 g toz numuneye 20 mL distile su eklenerek 1 dk boyunca ultraturax ile homojenize edildikten sonra 10000 d/dk hızda 10 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası elde edilen süzüntüden 0.05 mL deney tüpüne alınıp üzerine 1,95 mL saf su ile 0.08 mL 12 M HCL ilave edilerek karıştırılmış ve hidroliz için 90 °C'deki su banyosunda 10 dakika bekletilmiştir. Daha sonra nötralizasyon işlemi için tüplere 0,1 mL 5 N KOH konulmuştur. Tüplerdeki toplam hacim 3 mL olması için her bir tüpten 0,64 mL örnek alıp dışarı atılmıştır. Böylece tüplerdeki örnek miktarı 1,5 mL kalmış ve üzerine 1,5 mL DNS kimyasalı eklenmiştir. Kör hazırlamak için de tüplere 1,5 mL distile su konulup üstüne 1,5 mL DNS kimyasalı eklenmiştir. Tüplerin hepsi 10 dakika boyunca 90 °C'deki su banyosunda bekletildikten sonra renk stabilitesinin sağlanması için üzerine 0,5 mL potasyum sodyum tartarat ilave edilmiştir. Oda sıcaklığına gelen örneklerin absorbansı 575 nm dalga boyunda

spektrofotometrede ölçülmüştür. Örneklerin toplam şeker miktarı farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış glukoz çözeltisi ile elde edilen eğri kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Glukoz standart eğrisi

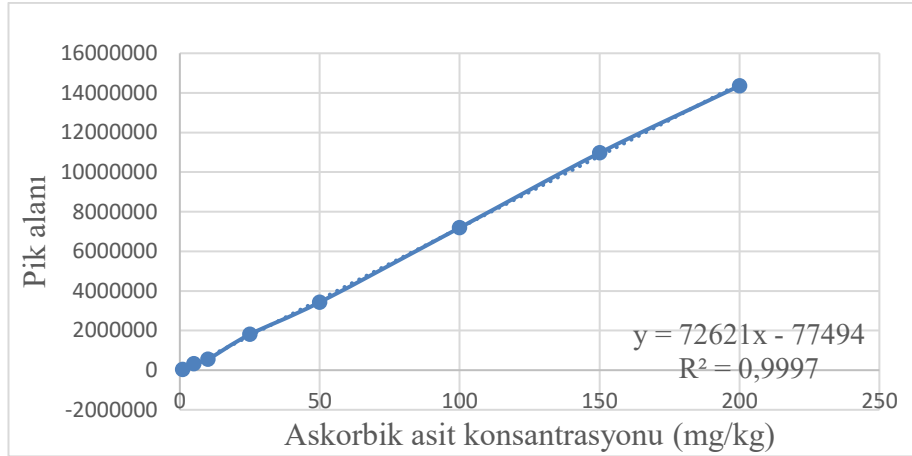
3.2.9.15. Askorbik asit miktarı

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan domates salçası askorbik asit tayini Asami vd. (2003) tarafından uygulanan yöntemle göre kromatografik olarak HPLC ((Shimadzu LC20 AD, Japonya) ile belirlenmiştir. Bu amaçla 0.5 g örnek 25 mL su içerisinde 1 dk boyunca ultraturrax ile homojenize edildikten sonra 10000 d/dk hızda 10 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminden sonra üstte kalan berrak kısım membran filtreden (0.45 µm) süzülerek HPLC'ye enjekte edilmiştir. HPLC analiz koşulları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Askorbik asit analizi için HPLC şartları

Kolon	C ₁₈ (ters faz, 250 x 4.6 mm, 5 µm)
Kolon fırını sıcaklığı	35°C
Hareketli faz	Ultra saf su, pH 2.2 (Sülfürik asit ile ayarlanmış)
Akış hızı	0.8 mL/dk.
Dedektör	Diode array dedektör (DAD), 245 nm
Enjeksiyon hacmi	20 µL
Analiz süresi	15dk

Askorbik asit farklı konsantrasyonlardaki standart çözeltileri hazırlanarak standart kurveleri oluşturulmuş ve bu kurvelerden faydalanarak örneklerde bulunan askorbik asit miktarları hesaplanmıştır (Şekil 3.12). Sonuçlar mg askorbik asit/100 g kuru örnek ağırlığı cinsinden verilmiştir.



Şekil 3.12. Askorbik asit standart eğrisi

3.2.9.16. Uçucu bileşen kompozisyonu

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan domates tozlarının uçucu bileşenleri GC-MS (QP2010-Plus, Shimadzu, Japonya) kullanılarak belirlenmiş olup uçucu bileşenlerin ekstraksiyonu SPME yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. 20 mL hacimli vial 0,5 g örnek tartılmış ve 50°C sıcaklıkta ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. 500d/dk hızda karıştırılan vialler 10 dk ön inkübasyona bırakılmış daha sonra 5 dk süre ile uçucu bileşenlerin fibere [50/30 µm SPME (Supelco, Pensilvanya, ABD)] adsorpsiyonu sağlanmıştır. Ekstraksiyon sonunda uçucu bileşenlerin desorpsiyonu için fiber enjeksiyon bloğunda 5 dk bekletilmiştir. GC-MS analiz koşulları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Elde edilen kromatogram pikleri, Wiley ve NIST kütüphaneleri ile karşılaştırılarak tanımlanmış olup bu tanımlamalarda minimum benzerlik oranı %70 olarak kabul edilmiştir. Uçucu bileşenlerin ön değerlendirmesinde, kromatogramda 100000 alan biriminin üzerindeki pikler dikkate alınarak uçucu bileşenler seçilmiştir. Ancak bu yaklaşım, yalnızca kantitatif yoğunluğu yüksek bileşenleri öne çıkardığı için, ürünün aroma profilini etkileyebilecek düşük konsantrasyonlu aroma aktif bileşenlerini belirlemek için kromatogramlar 0 alan değerinden itibaren detaylı şekilde yeniden incelenmiş ve aroma aktif bileşenler eklenmiştir. Salça örneğinde ise doğrudan 0 alan değerinden itibaren kromatogramlar değerlendirmiştir.

Çizelge 3.6. GC-MS analiz şartları

Kolon	TRB5-MS
Fırını sıcaklığı	40°C (3dk bekleme), 4°C/dk hızla 240°C yükselme (10dk bekleme)
Taşıyıcı gaz	He (1.61 mL/dk)
Enjeksiyon modu	Split 20
Enjeksiyon bloğu sıcaklığı	250 °C
Ara yüzey sıcaklığı	250
İyon kaynağı sıcaklığı	200
Kütle aralığı	35-350 amu
Tarama hızı	769 tarama/s
Analiz süresi	63 dk

3.2.9.17. Kurutma kinetiği

Seyreltilmiş salçanın KDKPK ve UDKPK sitemlerinde kurutulmasına özgü kurutma kuruma davranışları kuruma süresinde belirlenen nem değerlerinin benzer çalışmalarda kullanılan kurutma kinetiği modellerine uyumu ve kinetik parametreleri doğrusal olmayan regrasyon analizleriyle gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla serbest nem oranı yirmi iki farklı model kullanılarak belirlenmiştir (Çizelge 3.7). Ayrılabilir nem oranı (ANO) kurutma sırasında herhangi bir zamandaki nem oranının (M_t), başlangıçtaki nem oranına (M_0) bölünmesi ile hesaplanmıştır (Eşitlik 3.7). M_e değeri denge nem içeriğini belirtmekte olup bu değer diğer nem miktarlarına göre küçük olduğundan dolayı ihmal edilebilmektedir (Doymaz, 2005). Model katsayıları Microsoft Excel uygulamasının çözücü eklentisi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$ANO = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad 3.7$$

Çizelge 3.7. Kullanılan ince tabaka kurutma modelleri

Model no	Model adı	Model
1	Newton	$ANO = \exp(-kt)$
2	Page	$ANO = \exp(-kt^n)$
3	Logaritmik	$ANO = a \exp(-kt) + c$
4	İki Terimli	$ANO = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$
5	Modifiye İki Terimli (I)	$ANO = a \exp(k_0t) + (1 - a) \exp(-k_1t)$
6	Modifiye İki Terimli (III)	$ANO = a \exp(-k_0t) + a \exp(-k_1t)$
7	Modifiye İki Terimli (V)	$ANO = a \exp(-k_0t) + (1 - a) \exp(-k_1t)$
8	İki Terimli Ekspansiyel	$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$
9	Difüzyon Yaklaşımı	$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$
10	Verma	$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$
11	Henderson ve Pabis	$ANO = a \exp(-kt)$
12	Modifiye Henderson ve Pabis (I)	$ANO = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t) + c \exp(-k_2t)$
13	Modifiye Henderson ve Pabis (II)	$ANO = a \exp(-kt^n) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$
14	Modifiye Midilli (II)	$ANO = \exp(-kt) + bt$
15	Modifiye Midilli (III)	$ANO = a \exp(-kt) + bt$
16	Hii	$ANO = a \exp(-kt^n) + c \exp(-gt^n)$
17	Jena ve Das	$ANO = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$
18	Noomhorm ve Verma	$ANO = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c$
19	Asimptotik	$ANO = a_0 + a \exp(-kt)$
20	Hasibuan ve Daud	$ANO = 1 - at^n \exp(-kt^m)$
21	Henderson ve Henderson (I)	$ANO = c [\exp(-kt) + 1/9 \exp(-9kt)]$
22	Henderson ve Henderson (II)	$ANO = c \exp(-kt) + 1/9 \exp(-9kt)$

k: kurutma sabitini, t zamanı, a, b, c ve n ise model katsayılarını göstermektedir.

En uygun model en düşük hata kareler ortalaması (RMSE) , en yüksek R^2 (belirleme katsayısı) ve düzeltilmiş R^2 dzl dikkate alınarak belirlenmiştir (Eşitlik 3.8 – 3.9) .

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (ANO_{hesaplanan} - ANO_{deneysel})^2}{N}} \quad 3.8$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (ANO_{hesaplanan} - ANO_{deneysel})^2}{N - n} \quad 3.9$$

Bu eşitliklerde;

ANO_{hesaplanan}: model katsayıları kullanılarak hesaplanan nem oranını,

ANO_{deneysel}: deneysel olarak belirlenen nem oranını,

N:deneysel olarak belirlenen nem oranı sayısını,

n: ise modelde bulunan katsayı sayısıdır.

3.2.9.18.İstatistiksel analizler

Çalışma kapsamında köpük yapıcı ajanların kullanımı ve kızılötesi destekli kırımın pencereli kurutucuda gerçekleştirilen kurutma şartları Yanıt Yüzey Optimal Özel Tasarım (Response Surface Optimal custom) kullanılarak Design Expert 13 paket programıyla optimize edilmiştir. Elde edilen veriler, Design-Expert paket programı (Stat-Ease Inc., Version 7.0, Minneapolis, ABD) dahilinde ANOVA analizi ile değerlendirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında üretimler 2 tekerrürlü, analizler ise 2 paralelli olarak yürütülmüş olup analiz sonuçlarına ait istatistiksel değerlendirmeler SAS 9.0 (Statistical Analysis System) paket programında yapılmıştır. Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen domates tozlarının analiz sonuçlarına varyans analizi uygulanmış olup istatistiksel açıdan önemli ($p < 0.05$) bulunan farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile ortaya koyulmuştur. Domates tozlarının depolama analizlerinde, farklı depolama süresi ve sıcaklık düzeylerinin ürün üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla faktöriyel deneme desenine dayalı istatistiksel bir yaklaşım benimsenmiştir. Elde edilen veriler, varyans analizine tabi tutulmuş ve faktörler arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı, Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.9.19.Temel bileşen analizi

Farklı kurutma uygulamalı ile kurutulan domates tozlarının uçucu bileşenlerin daha kolay yorumlanabilir bir forma dönüştürebilmek amacı ile temel bileşen analizi ve hiyerarşik kümeleme analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz XLSTAT (Addinsoft, New York, USA) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kızılötesi Destekli Kırınım Pencereli Kurutma Optimizasyonu

KDKPK siteminde 20 farklı deneme yürütülmüş olup denemelerden elde edilen süre, esmerleşme indeksi ve likopen miktarı sonuçlarına ait veriler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.1 incelendiğinde domates tozlarının kuruma sürelerinin 30-115 dk., esmerleşme indekslerinin 31.20-84.00 ve likopen içeriklerinin 186.61-357.14 mg/100 g KM aralıklarında değiştiği görülmektedir. Bu desene göre yürütülen denemelerden elde edilen veriler yanıt yüzey metoduna göre en düşük süre, en düşük esmerleşme indeksi ve en yüksek likopen içeriğini sağlayacak şekilde optimize edilmiştir.

Çizelge 4.1. Kurutma koşulları optimizasyon deneme deseni ve analiz verileri

Desen no	Sıcaklık °C	Serme kalınlığı (mm)	Yüzey sıcaklığı °C	Kuruma süresi (dk.)	Esmerleşme indeksi	Likopen miktarı (mg/100 g KM)
1	70	2	30	73	32.20	338.70
2	60	2	36	87	25.25	238.29
3	70	2.5	30	80	37.50	286.29
4	90	3	36	38	84.00	339.70
5	70	2.5	30	76	33.90	247.70
6	90	2.5	33	30	40.10	260.29
7	80	2.5	36	45	50.03	323.72
8	90	3	30	55	64.35	311.28
9	60	2.5	36	95	35.15	219.17
10	90	2.5	33	30	42.90	276.81
11	70	3	33	90	43.90	266.30
12	70	3	36	70	48.80	265.09
13	90	2	30	35	44.00	357.14
14	70	2.5	30	78	35.25	288.91
15	60	2	33	95	32.45	225.57
16	60	3	30	115	31.20	186.61
17	80	2	36	37	32.60	307.75
18	80	2	33	42	32.40	298.13
19	90	2.5	33	32	40.00	304.14
20	70	3	33	84	33.80	246.49

Optimizasyon çalışmalarında bağımlı değişkenlerin (süre, esmerleşme indeksi ve likopen miktarı) sonuçlarına göre elde edilen model uyumluluk cevapları için uygun modellerin değerlendirilmesinde model uyumsuzluğu, varyasyon katsayısı (CV), saf hata, tahmini hataların karelerinin toplamı (PRESS), regrasyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş regrasyon katsayısı ($R^2_{döl}$), tahmini belirleme katsayısı (R^2_{tah}) ve yeterli kesinlik parametreleri kullanılmıştır.

Kızılötesi destekli kırımın pencereleli kurutma işleminde uygulanan bağımsız değişken parametrelerinin kuruma süresi değerleri üzerine etkisi varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiş olup işlem değişkenlerinin %95 güven seviyesinde etkilerini gösteren ANOVA tablosu Çizelge 4.2’te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kuruma süreleri üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler

Varyasyon kaynakları	SD	Kareler toplamı	<i>p</i> değeri
Model	9	13221.52	< 0.0001**
A	1	10170.37	< 0.0001**
B	1	919.91	< 0.0001**
C	1	639.52	< 0.0001**
AB	1	10.67	0.3772
AC	1	9.36	0.4071
BC	1	3.3	0.6186
A ²	1	72.89	0.0364*
B ²	1	56.98	0.0586
C ²	1	0.5805	0.8337
Kalıntı	10	125.03	
Model uyumsuzluğu	5	96.37	0.1047
Saf hata	5	28.67	
Toplam	19	13346.55	

Model	R ²	R ² _{dzl}	R ² _{tah}	CV %	PRESS	Yeterli kesinlik
Kuadratik	0.9906	0.9822	0.9344	5.49	874.95	33.56

***p* <0.01, **p* <0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli, A-sıcaklık, B-serme kalınlığı, C-yüzey sıcaklığı

Çizelge 4.2 incelendiğinde kuruma sürelerinin model ile uyumlu olduğu (*p*<0.05), model uyumsuzluğunun istatistiki (*p*>0.05) olarak önemli olmadığı görülmüştür. Kuruma süreleri üzerine sıcaklık, serme kalınlığı ve yüzey sıcaklığı parametrelerinin istatistiksel açıdan önemli (*p*<0.01) olduğu sonucuna varılmıştır. Önerilen model denkleminin R² değeri 0.9906 ve R²_{dzl} değerinin 0.9822 olarak belirlenmiş olup model denkleminin yeterli kesinliğinin bir belirtisi olan sinyal gürültü oranı kuruma süresi değerleri için 33.56 olarak belirlenmiştir. Yeterli kesinlik değerinin 4’ün üzerinde olması belirtilen model denkleminin yeterli olduğunun bir göstergesidir.

Kuruma süresi için varyasyon kaynakları kullanılarak Eşitlik 4.1’deki model eşitliği elde edilmiştir. Ayrıca kurutma koşullarının kuruma süresi üzerine etkinliğini görmek için elde edilen modeller kullanılarak 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri elde edilmiştir (Şekil 4.1). 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri elde edilirken bağımsız değişkenlerden herhangi biri deneysel tasarımın merkez noktasında sabit tutularak diğer iki değişkenin sonsuz sayıdaki kombinasyonları oluşturulmuştur.

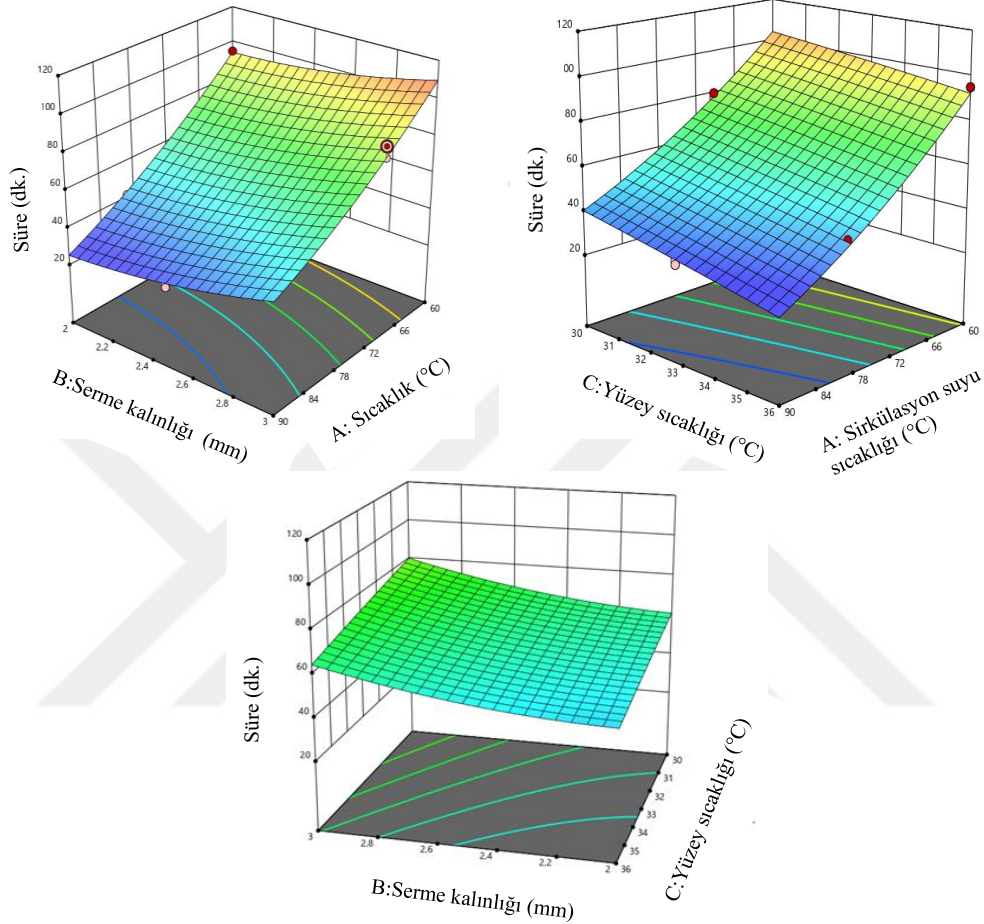
$$\text{Kuruma süresi} = -33.21 \cdot A + 9.05 \cdot B - 7.27 \cdot C + 1.37A \cdot B - 1.29A \cdot C - 0.68B \cdot C + 4.95A^2 + 3.51B^2 - 0.37C^2 + 60.41 \quad 4.1$$

Bu eşitlikte;

A : sirkülasyon suyu sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$),

B : serme kalınlığını (mm)

C : püre yüzey sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir.



Şekil 4.1. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, serme kalınlığının ve püre yüzey sıcaklığının, kuruma süresi üzerine etkisi

Şekil 4.1’de verilen 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri incelendiğinde; sabit ürün yüzey sıcaklığı altında, serme kalınlığının azalışı ve sirkülasyon suyu sıcaklığının artışıyla kuruma süresi kısalmaktadır. Sabit bir serme kalınlığında da sirkülasyon suyu sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı artışının kuruma süresini kısalttığı görülmektedir.

Çizelge 4.3’teki ANOVA tablosu incelendiğinde esmerleşme indeksi değerlerinin model ile uyumlu olduğu ($p < 0.05$), model uyumsuzluğunun (lack of fit) ise istatistiki açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Önerilen model denklemin R^2 ve $R^2_{\text{döl}}$ değerleri sırasıyla 0.9230 ve 0.8537 olarak tespit edilmiştir. ANOVA tablosunun sonuçlarına göre sıcaklık ve serme kalınlığı değerlerinin esmerleşme indeksi üzerine istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p < 0.01$) görülmüştür. Ayrıca sıcaklık*serme kalınlığı ve serme kalınlığı*yüzey sıcaklığı interaksiyonlarının da istatistiksel açıdan önemli

($p < 0.05$) olduğu görülmektedir. Esmerleşme indeksi değerleri için varyasyon kaynakları kullanılarak oluşturulan eşitlik aşağıda verilmiştir (Eşitlik 4.2).

$$\text{Esmerleşme indeksi} = 9.93 \cdot A + 8.44 \cdot B + 2.10 \cdot C + 7.59 \cdot AB + 2.12 \cdot A \cdot C + 5.22 \cdot BC + 2.76A^2 + 4.14 \cdot B^2 + 7.75 \cdot C^2 + 31.49 \quad 4.2$$

Bu eşitlikte;

A : sirkülasyon suyu sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$),

B : serme kalınlığını (mm)

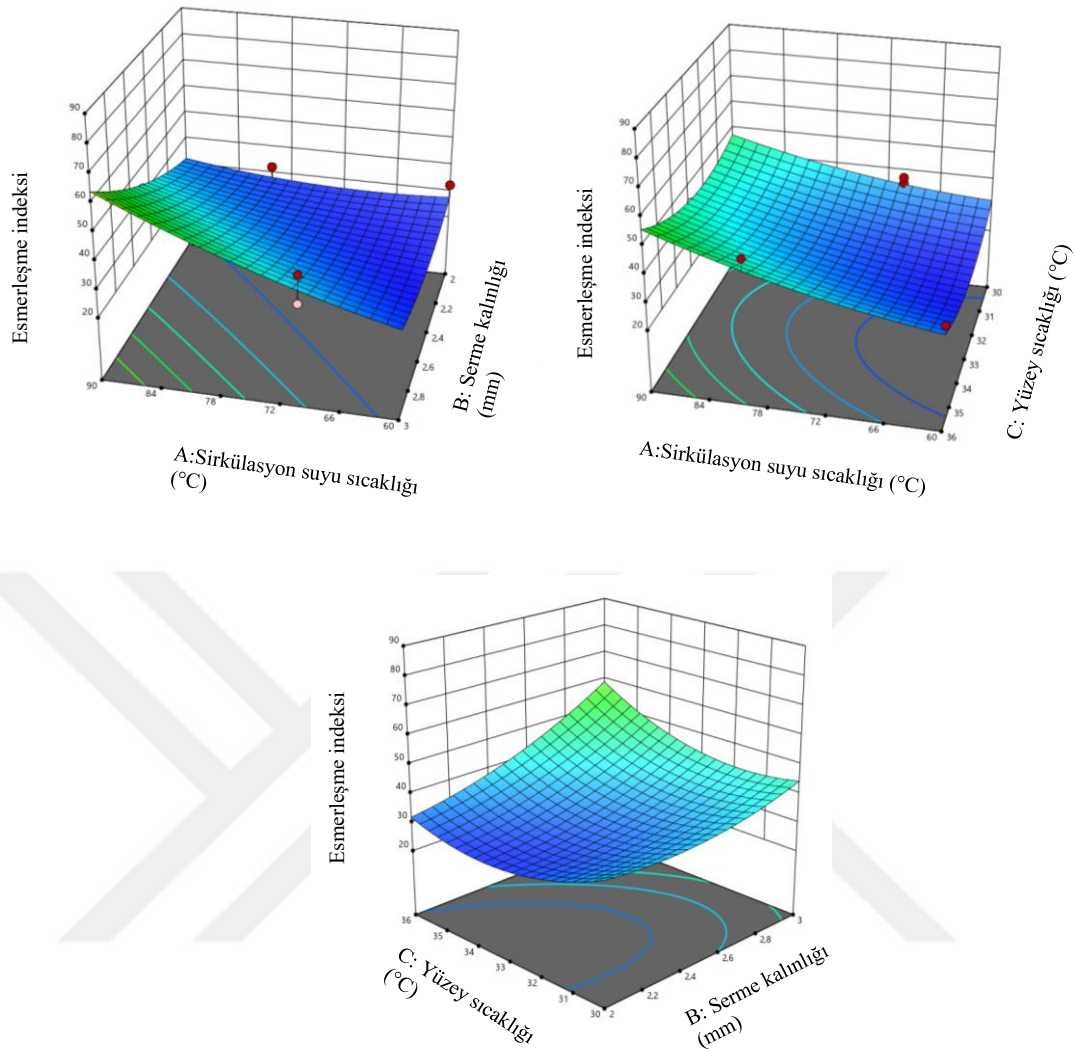
C : püre yüzey sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir.

Çizelge 4.3. Esmerleşme indeksi değerleri üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler

Varyasyon kaynakları	SD	Kareler toplamı				<i>p</i> değeri
Model	9	3117.20				0.0002**
A	1	909.50				0.0001**
B	1	799.13				0.0002**
C	1	53.48				0.182
AB	1	329.01				0.0052**
AC	1	25.34				0.3468
BC	1	196.95				0.0204*
A ²	1	22.75				0.3716
B ²	1	79.35				0.1112
C ²	1	257.66				0.0104*
Kalıntı	10	259.96				
Model uyumsuzluğu	5	196.92				0.1184
Saf hata	5	63.04				
Toplam	19	3377.15				
Model	R ²	R ² _{dzl}	R ² _{tah}	CV %	PRESS	Yeterli kesinlik
Kuadratik	0.9230	0.8537	0.4962	12.44	1701.34	14.9580

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$ seviyesinde istatistiki açıdan önemli, A-sıcaklık, B-serme kalınlığı, C-yüzey sıcaklığı

Şekil 4.2’de 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri verilmiş olup bu grafikler incelendiğinde her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri, orta noktasında sabit tutulmuştur. Genel olarak serme kalınlığının, sirkülasyon suyu sıcaklığının ve ürün yüzey sıcaklığının artmasıyla esmerleşmesinin arttığı görülmektedir. Nitekim Puente-Díaz vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada altın çilek püresi KD-KPK siteminde 60, 75 ve 90 $^{\circ}\text{C}$ su sıcaklıklarında ve farklı serme kalınlıklarında (0.19, 0.25 ve 0.29 mm) kurutulmuş olup sirkülasyon suyu sıcaklığı ve serme kalınlığının artmasıyla ürün renginin olumsuz etkilendiği belirtilmiştir.



Şekil 4.2. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, serme kalınlığının ve püre yüzey sıcaklığının, esmerleşme indeksi üzerine etkisi

Çizelge 4.4’de domates tozlarının likopen miktarları üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde likopen miktarı değerlerinin model ile uyumlu olduğu ($p < 0.05$) model uyumsuzluğunun istatistiki açıdan ($p < 0.05$) önemsiz olduğu görülmektedir. Model denklemin R^2 ve $R^2_{döl}$ değerleri sırasıyla 0,9015 ve 0,8129 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca R^2_{tah} değeri 0.7078 olup $R^2_{döl}$ ile R^2_{tah} değerlerinin arasındaki farkın 0.2’den az ve kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. Elde edilen ANOVA sonuçlarına göre toz ürünlerin likopen miktarı üzerine sıcaklık, serme kalınlığı, serme kalınlığı*yüzey sıcaklığı, sıcaklık*sıcaklık ve yüzey sıcaklığı*yüzey sıcaklığı interaksiyonlarının istatistiksel açıdan önemli ($p < 0.05$) etkisi olduğu anlaşılmıştır. Likopen miktarı için varyasyon kaynakları kullanılarak aşağıdaki model eşitliği oluşturulmuştur (4.3).

$$\text{Likopen miktarı} = 48.22 \cdot A - 14.22 \cdot B - 3.16 \cdot C + 12.51 \cdot A \cdot B - 1.66 \cdot A \cdot C + 17.55 \cdot B \cdot C - 32.94 A^2 + 14.99 \cdot B^2 + 27.54 C^2 + 268.59$$

4.3

Bu eşitlikte;

A : sirkülasyon suyu sıcaklığını (°C),

B : serme kalınlığını (mm)

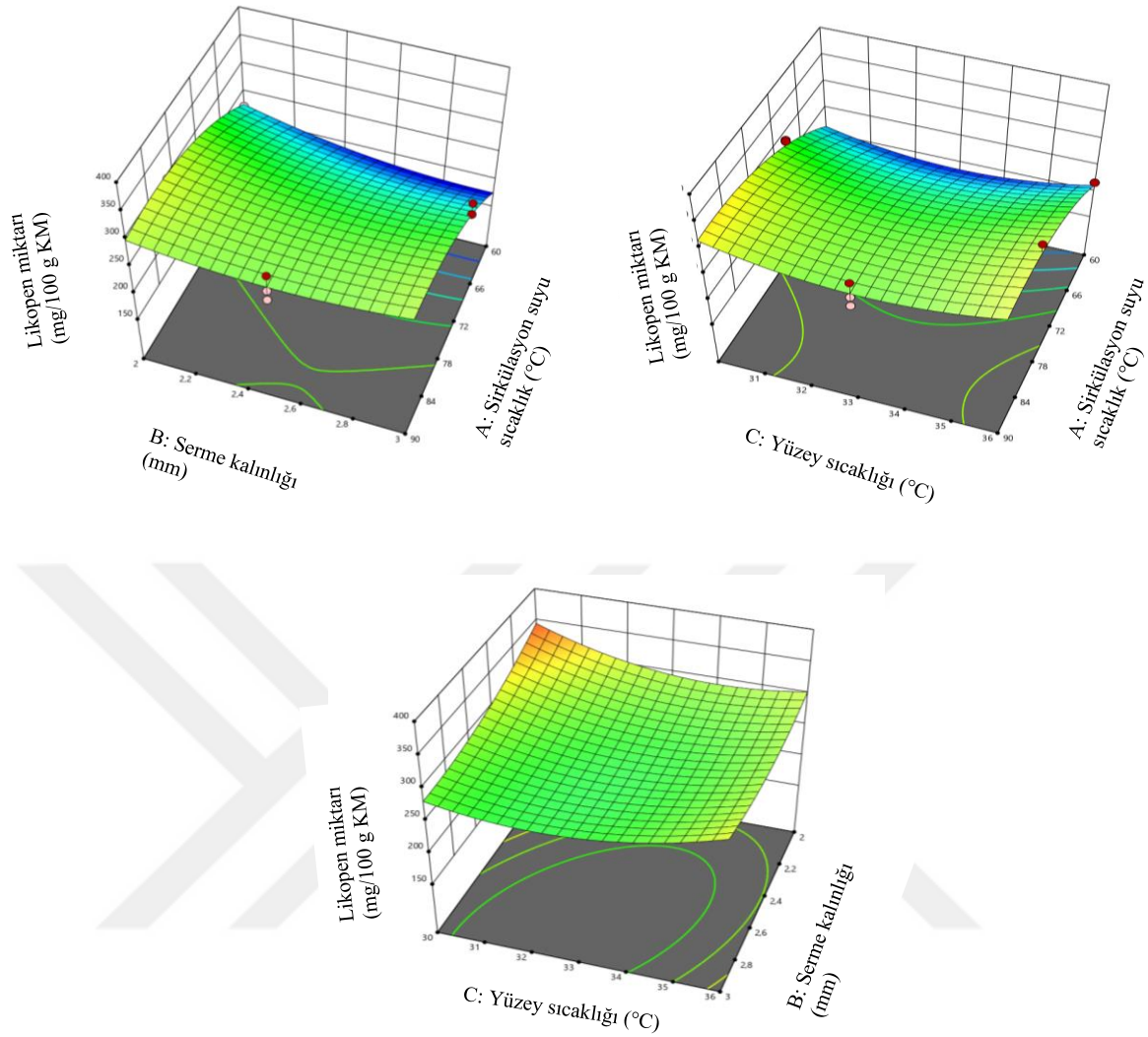
C : püre yüzey sıcaklığını (°C) ifade etmektedir.

Çizelge 4.4. Likopen miktarları üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler

Varyasyon kaynakları	SD	Kareler toplamı					<i>p</i> değeri
Model	9	34032.7					0.0006**
A	1	21435.45					< 0.0001**
B	1	2269.12					0.0331*
C	1	121.04					0.5809
AB	1	894.51					0.1519
AC	1	15.47					0.8424
BC	1	2229.13					0.0343*
A ²	1	3230.31					0.0146*
B ²	1	1040.16					0.1253
C ²	1	3256.05					0.0143*
Kalıntı	10	3717.78					
Model uyumsuzluğu	5	1475.89					0.6712
Saf hata	5	2241.89					
Toplam	19	37750.48					
Model	R ²	R ² _{dzl}	R ² _{tah}	CV %	PRESS	Yeterli kesinlik	
Kuadratik	0.9015	0.8129	0.7078	6.90	11029.35	11.9768	

**p < 0.01, *p < 0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli, A-sıcaklık, B-serme kalınlığı, C-yüzey sıcaklığı

Kızılötesi lamba destekli kırınım pencereli kurutma işleminin bağımsız değişkenlerinin domates tozlarının likopen miktarı üzerine etkilerinin incelenebilmesi için elde edilen modeller kullanılarak 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Sirkülasyon suyu sıcaklığının, serme kalınlığının ve püre yüzey sıcaklığının, likopen miktarı üzerine etkisi

Şekil 4.3 incelendiğinde yüzey sıcaklığı sabit tutulduğunda, sirkülasyon suyu sıcaklığının artması ve serme kalınlığının azalmasıyla likopen miktarının arttığı görülmektedir. Serme kalınlığı sabit tutulduğunda da sıcaklığın artmasıyla ve ürün yüzey sıcaklığının azalmasıyla likopen miktarı artmaktadır. Sıcaklık sabit tutulduğunda ise serme kalınlığı ve yüzey sıcaklığının en düşük olduğu nokta en yüksek likopen miktarını göstermektedir. Genel olarak likopen miktarı üzerine sıcaklığın etkisi ($p < 0.01$) en fazladır.

Kızılötesi destekli kırımın pencereli kurutma ile yapılan bir çalışmada farklı kızılötesi lamba güçleri (200, 280, 400, 520, ve 600 W) ve farklı su sıcaklıkları (60, 64, 70, 76, ve 80°C) kullanılarak domates dilimleri kurutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, yüksek IR lamba gücünde ve yüksek sirkülasyon suyu sıcaklığında likopen miktarının daha yüksek bulunduğu rapor edilmiştir. Yüksek sıcaklık ve IR lamba gücü, likopen ile hücre dokusu arasındaki bağ kuvvetlerini zayıflatarak likopenin gıda matrisinden salınımını arttırmaktadır (Arslan 2022). Ayrıca KPK sisteminde sıcaklığın artmasına bağlı olarak süre kısalmakta olup ürün daha az süre de ısıya maruz kalmaktadır.

Buna bağlı olarak da bu kurutma sisteminde yüksek sıcaklıkta yapılan kurutmalarda etken madde miktarlarının daha yüksek olduğu görülmektedir (Nguyen vd. 2022; Shende ve Datta 2020). Nitekim mango püresinin KPK sistemi ile farklı su sıcaklıklarında (85, 90 ve 95°C) kurutulduğu bir çalışmada, 95°C’de, kurutma sürenin kısaldığı ve buna bağlı olarak askorbik asit miktarının daha yüksek bulunduğunu belirtilmiştir (Shende ve Datta 2020).

KDKPK sisteminde salça kurutulması optimizasyonunda bağımsız değişkenler olarak kullanılan sirkülasyon suyu sıcaklığı, serme kalınlığı ve yüzey sıcaklığı, kuruma süresini ve esmerleşme indeksini minimize, likopen miktarını maksimize edecek şekilde istenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı (1’e en yakın olan) kullanılarak optimize edilmiştir. Programdan verilen optimum sonuçlar arasından istenebilirlik değeri 0.858 olan optimum işlem koşulları seçilmiş olup bu kurutma şartlarında (82°C sirkülasyon suyu sıcaklığı, 2 mm serme kalınlığı ve 32°C ürün yüzey sıcaklığı) kurutma yapılmıştır. Elde edilen teorik sonuçlar, deneysel verilerle de kıyaslanarak Çizelge 4.5’te verilmiştir. Teorik ve deneysel veriler arasındaki farklar %10’dan daha düşük olduğu için kabul edilebilir değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.5. KDKPK sisteminde salça kurutulması için belirlenen optimum şartlar

	Serme kalınlığı(mm)	Su sıcaklığı (°C)	Yüzey sıcaklığı (°C)	Süre (dk.)	Likopen miktarı (mg/100 g KM)	Esmerleşme indeksi
Teorik	2	82	32	42	319.01	30.80
Deneysel	2	82	32	40	290.51	33.75
Fark (%)				4.76	8.9	9.57

4.2. Köpük yapıcı ajan kullanımının optimizasyonu

Tez kapsamında gerçekleştirilen köpük kurutma yöntemi için belirlenen köpük yapıcı ajanların kullanım oranlarını ve çırpma süresini belirlemek amacıyla Design-Expert sürüm 13 yazılımı kullanılarak karışım deseni (optimal combined mixture design) kullanılmıştır. Tasarlanan deneme desenine göre tespit edilen köpük stabilitesi ve köpük kapasitesi değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Köpük yapıcı ajan optimizasyon deneme deseni ve analiz verileri

Desen no	Soya protein izolatı (%)	Bezelye protein izolatı(%)	Çırpma süresi (dk.)	Köpük stabilitesi (%)	Köpük kapasitesi (ml)
1	0.75	0.75	3	86.15	130
2	0.375	1.125	1	86.72	128
3	1.125	0.375	5	85.7	126
4	1.125	0.375	3	87.60	121
5	1.5	0	3	96.26	107
6	0.75	0.75	3	84.73	131
7	1.5	0	5	94.55	110
8	0	1.5	1	86.57	134
9	0.75	0.75	1	88.71	124
10	0.75	0.75	5	81.43	140
11	0.75	0.75	1	91.27	126
12	0	1.5	3	75.34	146
13	0.75	0.75	3	82.61	138
14	0.375	1.125	3	80.60	134
15	1.5	0	1	98.04	102
16	0	1.5	5	73.65	148
17	0.375	1.125	5	81.43	140
18	0	1.5	3	77.24	145
19	1.5	0	3	94.60	111

Çalışma kapsamında köpük yapıcı ajan oranının belirlenmesinde bağımlı değişkenlerden biri olan köpük kapasitesi değerleri 107-148 mL arasında değişmiştir. Çizelge 4.7’de köpük kapasitesi değerleri üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA sonuçları verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde köpük kapasitesi değerlerinin model ile uyumlu olduğu ($p < 0.05$) model uyumsuzluğunun istatistiki açıdan ($p < 0.05$) önemsiz olduğu görülmektedir. Model denklemin R^2 ve $R^2_{d\bar{z}l}$ değerleri sırasıyla 0.9606 ve 0.9454 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca R^2_{tah} değeri 0.9324 olup $R^2_{d\bar{z}l}$ ile R^2_{tah} değerlerin arasındaki farkın 0.2’den az ve kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7. Köpük kapasitesi üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler

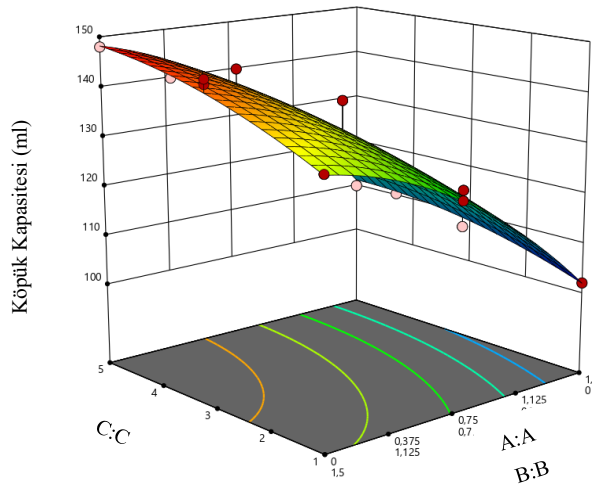
Varyasyon kaynakları	SD	Kareler toplamı	p değeri
Model	5	3155.32	<0.0001**
AB	1	138.55	0.0025**
AC	1	65.84	0.0232*
BC	1	176.81	0.0010**
C2	1	26.49	0.1268
Kalıntı	13	129.42	
Model uyumsuzluğu	8	80.92	0.5053
Saf hata	5	48.50	
Toplam	18	3284.74	

Model	R ²	R ² _{dzl}	R ² _{tah}	CV %	PRESS	Yeterli kesinlik
Linear Mixture	0.9606	0.9454	0.9324	2.46	26.10	222.16

**p < 0.01, *p < 0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli, A-soya protein izolatu, B-bezelye protein izolatu, C- çırpma süresi

Elde edilen ANOVA sonuçlarına göre köpük kapasitesi üzerine soya protein izolatu* bezelye protein izolatu, soya protein izolatu*çırpma süresi ve bezelye protein izolatu* çırpma süresi interaksiyonlarının istatistiksel açıdan önemli (p<0.05) etkisi olduğu anlaşılmıştır. Köpük kapasitesi için varyasyon kaynakları kullanılarak aşağıdaki model eşitliği elde edilmiştir (4.4).

$$\text{Köpük kapasitesi} = 109.01 \cdot A + 143.39 \cdot B + 24.16 \cdot AB + 4.70 \cdot AC + 7.19 \cdot BC - 2.37 \cdot C^2 \quad (4.4)$$



Şekil 4.4. Soya ve bezelye protein izolatlarının oranının ve çırpma süresinin, köpük kapasitesi üzerine etkisi (A: soya protein izolatu, B: bezelye protein izolatu ve C: çırpma süresi)

Kullanılan soya ve bezelye protein izolatlarının ve çırpma süresinin köpük kapasitesi üzerine etkilerinin incelenebilmesi amacıyla elde edilen modeller kullanılarak 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.4). Bezlye protein izolatu oranının ve çırpma süresinin artmasıyla köpük kapasitesi artmıştır.

Çizelge 4.8. Köpük stabilitesi üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler

Varyasyon kaynakları	SD	Kareler toplamı	p değeri
Model	5	811.03	<0.0001**
AB	1	13.02	0.0650
AC	1	15.13	0.0489*
BC	1	100.71	<0.001**
C2	1	22.40	0.0202*
Kalıntı	13	41.65	
Model uyumsuzluğu	8	28.82	0.3689
Saf hata	5	12.84	
Toplam	18	862.68	

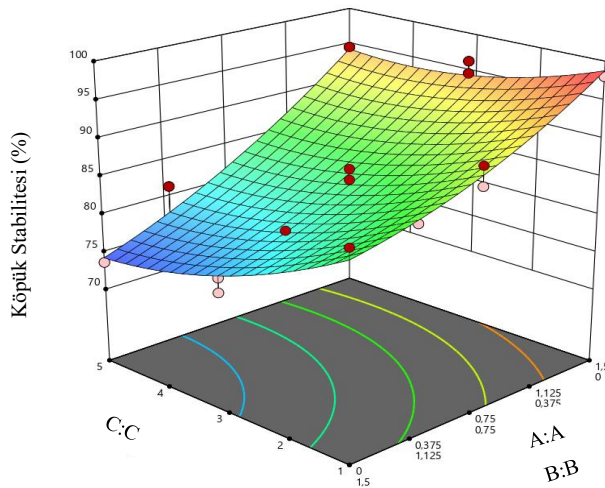
Model	R ²	R ² _{dzl}	R ² _{tah}	CV %	PRESS	Yeterli kesinlik
Linear Mixture	0.9517	0.9331	0.8954	2.08	90.23	24.3649

**p <0.01, *p <0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli, A-soya protein izolatu, B-bezelye protein izolatu, C- çırpma süresi

Çizelge 4.8’de verilen ANOVA analiz sonuçlarına göre, köpük stabilitesi model ile uyumlu olduğu (p<0.05) model uyumsuzluğunun istatistiki açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir. Karışım desenine göre oluşturulan köpüklerin köpük stabilitesi değerleri üzerine soya protein izolatu*çırpma süresi, bezelye protein izolatu*çırpma süresi ve süre*süre interaksiyonlarının istatistiki açıdan önemli (p<0.05) olduğu görülmektedir. Model denklemin R² ve R²_{dzl} değerleri sırasıyla 0.9517 ve 0.9331 olarak tespit edilmiştir. Köpük stabilitesi değerleri için varyasyon kaynakları kullanılarak Eşitlik 4.5’te verilen model eşitliği elde edilmiştir.

$$\text{Köpük stabilitesi} = 94.35*A + 77.53*B - 7.41*AB - 2.25*AC - 5.43*BC + 2.18C^2 \quad (4.5)$$

Kullanılan soya ve bezelye protein izolatlarının oranının ve çırpma süresinin köpük stabilitesi üzerine etkilerinin incelenebilmesi amacıyla elde edilen modeller kullanılarak 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Soya ve bezelye protein izolatlarının oranının ve çırpma süresinin, köpük stabilitesi üzerine etkisi (A: soya protein izolatı, B: bezelye protein izolatı ve C: çırpma süresi)

Şekil 4.5 incelendiğinde bezelye protein izolatı oranının ve çırpma süresinin azalması ile köpük stabilitesi artmaktadır.

Gerçekleştirilen optimizasyon çalışması sonuçlarına göre köpük formu oluşturmak için en uygun şartlar % 0.4 soya protein izolatı, %1.1 bezelye protein izolatı ve 1 dk çırpma süresi olarak belirlenmiştir. Optimum şartlar köpük kapasitesi ve köpük stabilitesini maksimize edecek şekilde istenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı (1'e en yakın olan) ile belirlenmiştir. Elde edilen teorik sonuçlar, deneysel verilerle kıyaslanarak Çizelge 4.9'da verilmiştir. Teorik ve deneysel veriler arasındaki farklar %10'dan daha düşük olduğu için kabul edilebilir değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.9. Köpük formu oluşturmak için gerekli optimum şartlar

	Soya protein izolatı (%)	Bezelye protein izolatı (%)	Çırpma süresi (dk)	Köpük kapasitesi (ml)	Köpük stabilitesi (%)
Teorik	0.40	1.10	1	129.92	87.39
Deneysel	0.40	1.10	1	126.00	90.48
Fark (%)				3.02	3.52

4.3. Katkılı kurutma

Çalışma kapsamında, KDKPK sisteminde domates salçasının kurutulmasında esmerleşmenin engellenmesi için salçaya belli oranlarda sitrik asit ve askorbik asit eklenmiştir. Nitekim literatürde dilim halinde domates kurutulmasında, sitrik asit ve askorbik asit içine daldırma ön işlemleri uygulanmış ve ön işlem uygulanarak kurutulan domateslerin kontrol örneklerine göre renk özellikleri ve kimyasal bileşiminin daha iyi korunduğu rapor edilmiştir (Farooq vd. 2020). Ayrıca armut püresine sitrik asit ilave

edilerek kurutma yapılan bir çalışmada da renk özelliklerinin korunduğu ve esmerleşme rekasiyonlarının engellediği belirtilmiştir (Zhou vd. 2018). Bu literatür bilgileri doğrultusunda 8 °brikse ayarlanmış 100 g salçaya iki farklı seviyede sitrik asit (% 0.5-1) ve askorbik asit (% 0.5- 1) ve bunların karışımları (% 0.5-0.5) katkılanarak KDKPK sisteminde 2 mm serme kalınlığında, 82°C sirkülasyon suyu sıcaklığı ve 32°C ürün yüzey sıcaklığında kurutmalar yapılmıştır. Elde edilen domates tozlarının bazı fizikokimyasal analizleri yapılmış olup sonuçlara ait varyans analiz tablosu Çizelge 4.10’da verilmiştir. Çizelge 4.11’de de domates tozlarına uygulanan analizlerin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma testi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.10. Domates tozlarının analizlerine ait varyans analiz sonuçları

	Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
Nem	U (Uygulama)	4	0.3624	4.20
	Hata	5	0.086	
Renk				
L*	U	4	6.5816	33.28**
	Hata	5	0.1978	
a*	U	4	0.9236	25.35**
	Hata	5	0.036	
b*	U	4	6.8154	12.47**
	Hata	5	0.5465	
pH	U	4	0.0738	71.63**
	Hata	5	0.0010	
Titrasyon asitliği	U	4	11.1035	15.33**
	Hata	5	0.7244	
Toplam şeker	U	4	7.20	25.69**
	Hata	5	0.3173	
Esmeleşme indeksi	U	4	20.5335	7.17*
	Hata	5	2.8620	
HMF	U	4	117.88	487.82**
	Hata	5	0.2417	
Likopen miktarı	U	4	5002.92	67.92**
	Hata	5	73.66	
Antioksidan aktivite	U	4	58.7322	340.61**
	Hata	5	0.1724	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01

Çizelge 4.9 incelendiğinde en yüksek HMF ve esmerleşme indeksi değerlerinin %0.5 ve %1 oranın sitrik asit eklenen örneklerde olduğu görülmektedir. Bu durum eklenen sitrik asit ile salçaların pH değeri düşmesine ve HMF oluşumunu hızlanmasına neden olmuştur. Nitekim asidik ortamda şekerlerin dehidrasyonu kolay olmakta ve HMF oluşumunun öncüsü olan ara bileşiklerinin daha hızlı oluşmasına neden olmaktadır (Antal vd. 1990). Askorbik asit katkılanarak kurutulan domates tozlarının HMF ve esmerleşme indeksinin daha düşük olduğu görülmektedir. Likopen miktarları incelendiğinde ise eklenen sitrik asit ve askorbik asit miktarlarının artmasına bağlı olarak domates tozlarının likopen miktarının azaldığı görülmektedir. Askorbik asit ve sitrik asit indirgen özellikleri nedeniyle likopen gibi karotenoidlerin stabilitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Askorbik asit ve sitrik asit, yüksek konsantrasyonlarda bulunduklarında ortamın

yükseltgenme/indirgenme dengesini bozarak likopen ile etkileşime girebilmekte ve likopen miktarının azalmasına neden olmaktadır (Bou vd. 2011). Toplam şeker içerikleri glikoz cinsinden hesaplanmış olup en düşük şeker miktarı %0.5 ve %1 sitrik asit katkıları ile üretilen domates tozlarında belirlenmiştir. Düşük pH değerleri, şekerlerin HMF'ye dönüşümünü hızlandırmakta ve bu da HMF içeriğinin artmasına neden olmaktadır (Körner vd. 2019). Sitrik asit katkıları ile kurutulan domates tozlarının HMF miktarları daha yüksek belirlenmiş olup bunun sonucunda da şeker içeriklerinin daha düşük olduğu değerlendirilmiştir. Domates tozlarının antioksidan aktivite değerleri 0.43 ile 13.58 g TEAA/100 g KM değerleri arasında değişmekte olup en yüksek antioksidan aktivite değeri %1 askorbik asit eklenen örnekte belirlenmiştir. Ancak genel olarak renk, esmerleşme indeksi ve HMF miktarı da dikkate alınarak sonuçlar değerlendirildiğinde; %0.5 askorbik asit katkıları ile domates tozu üretimi yapılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.11. Domates tozlarının analizlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

	%1 SA	%1 AS	%0.5- %0.5 SA-AS	%0.5SA	%0.5 AS
Nem (%)	6.99±0.01	6.15±0.15	6.87±0.21	6.04±0.18	6.40±0.58
Renk					
L*	47.69 ^b ±0.47	47.98 ^b ±0.36	46.25 ^b ±0.06	50.30 ^a ±0.79	50.49 ^a ±0.08
a*	24.25 ^b ±0.17	25.31 ^a ±0.05	25.89 ^a ±0.21	25.29 ^a ±0.17	25.93 ^a ±0.27
b*	20.15 ^{bc} ±0.62	20.41 ^{abc} ±0.37	19.11 ^c ±0.06	22.90 ^{ab} ±1.46	23.35 ^a ±0.30
pH	3.69 ^b ±0.01	4.08 ^a ±0.03	3.86 ^b ±0.01	4.04 ^a ±0.06	4.17 ^a ±0.01
Titrasyon asitliği (%)	14.37 ^a ±0.21	9.89 ^b ±0.91	11.00 ^{ab} ±0.01	10.08 ^b ±0.96	7.94 ^b ±0.10
Toplam şeker (g/100 g KM)	37.08 ^b ±0.18	40.67 ^a ±0.86	40.44 ^a ±0.03	38.01 ^b ±0.12	41.52 ^a ±0.11
Esmerleşme indeksi	31.40 ^{ab} ±1.98	29.20 ^{ab} ±0.57	24.25 ^b ±0.21	32.30 ^a ±1.56	27.65 ^{ab} ±2.76
HMF (mg /100 g KM)	20.48 ^a ±0.66	2.32 ^c ±0.54	4.23 ^c ±0.51	8.70 ^b ±0.24	2.19 ^c ±0.41
Likopen miktarı (mg/100g KM)	219.66 ^b ±9.41	202.31 ^b ±8.00	219.40 ^b ±4.05	318.28 ^a ±8.16	284.90 ^a ±11.52
Antioksidan (gTEAA/100 g KM)	0.43 ^c ±0.01	13.58 ^a ±0.46	6.49 ^b ±0.35	0.52 ^c ±0.01	6.38 ^b ±0.73

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütundaki farklı harfler ortalamaların $p < 0.05$ seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir. SA; sitrik asit, AS; askorbik asit.

4.4. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan salçaların kuruma süreleri

Seyreltilmiş domates salçaları (8 °briks) farklı kurutma yöntemleriyle aynı nem düzeyine gelene kadar kurutulmuş olup kuruma süreleri kaydedilmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan salçaların kuruma süreleri

Örnek grubu	Kuruma süresi (dk)
KDKPK	40±1.0
A-KDKPK	42±1.5
KK-KDKPK	20±0.5
β-KDKPK	40 ±1.5
UDKPK	50 ±1.5
KPK	55 ±0.5
SHK	180 ±2.5

KDKPK: Kızılötesi destekli kırımın pencereless kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereless kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırımın pencereless kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK; β-siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereless kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırımın pencereless kurutma, KPK; kırımın pencereless kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Çizelge 4.12 incelendiğinde en düşük kuruma süresinin KDKPK sisteminde köpük kurutma yöntemi ile elde edilen domates tozlarına ait olduğu görülmektedir. En yüksek kuruma süresi ise SHK ile kurutulan domates tozlarında gözlemlenmiştir. Kırımın pencereless kurutma sisteminde kızılötesi lambanın kullanılması ile kuruma süresi önemli ölçüde (%27) kısalmıştır.

4.5. Domates Salçasının Bazı Fizikokimyasal Özellikleri

Tez çalışması kapsamında hammadde olarak kullanılan domates salçasının bazı fizikokimyasal özellikleri Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Domates salçasına ait bazı fizikokimyasal özellikleri

Fiziksel ve kimyasal özellikler	
Nem (%)	65.14±0.17
Briks(°)	28.95±0.55
Renk	
L*	33.48±0.07
a*	26.15±0.21
b*	15.27±0.03
Esmerleşme indeksi	8.66±0.01
HMF (mg /100 g KM)	1.28±0.16
Likopen miktarı (mg/100g KM)	612.64±18.06
Antioksidan (mg TEAA/100 g KM)	745.74±68.38
Toplam fenolik madde (mg GAE/100 g KM)	708.12±13.35
pH	4.38±0.01
Titrasyon asitliği (%)	1.95±0.04
Toplam şeker miktarı (g/100 g KM)	41.35±0.79
Askorbik asit miktarı (mg/ 100 g KM)	137.73±3.56

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Toplam asitlik ve pH ısıtma işlem uygulaması sırasında, ürüne uygulanan sıcaklık ve sürenin belirlenmesinde önem taşımaktadır. Domates salçasında pH ve titrasyon asitliği oldukça önemli bir parametredir. Tez çalışması kapsamında kurutma işlemlerinde kullanılan domates salçalarının pH ve titrasyon asitliği sırasıyla 4.38 ve %1.95 olarak belirlenmiştir. Kaya vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada da ikili konsantre ticari domates salçalarının pH değerlerinin 4.04 ile 4.29, titrasyon asitliği değerlerinin %1.43 ile 2.11 arasında ölçüldüğü rapor edilmiştir. Salçanın renginin değerlendirilmesinde a^*/b^* oranı dikkate alınmakta olup a^*/b^* oranının 1.8'in üstü olan salçalar renk açısından birinci sınıf olarak değerlendirilmektedir. Tez çalışması kapsamında kullanılan salçalarda bu oran 1.71 olarak hesaplanmıştır. Domates salçalarının fizikokimyasal özellikleri kullanılan domates cinsine, salçanın sıcak ve soğuk işleme yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Nitekim sıcak ve soğuk işleme yöntemine göre üretilen domates salçalarının askorbik asit içeriklerinin sırasıyla 120.80 ile 135.10 mg/100 g KM olarak hesaplandığı rapor edilmiştir (Kelebek vd. 2017).). Tez çalışması kapsamında kullanılan domates salçalarının askorbik asit içeriği de 137.73 hesaplanmıştır. Domates ürünlerindeki HMF düzeyi, uygulanan ısıtma işlemin yoğunluğu ve enzimatik olmayan esmerleşme süreçlerinin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Domates salçalarının HMF miktarı 1.28 mg/100 g olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde Kus vd. (2005) ticari olarak üretilen salçalardaki HMF miktarını 1.5-1.8 mg/100g aralığında tespit etmiştir. Salçaların antioksidan aktivite ve fenolik madde miktarı sırasıyla 745.74 mg TEAA/ 100g KM ve 708.12 mg GAE/100 g KM olarak tespit edilmiş olup sonuçlar literatür ile benzer bulunmuştur (Capanoglu vd. 2008). Salçaların likopen miktarı ise 612.64 mg/100 g KM olarak bulunmuştur. Górecka vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada salçalık domateslerin hasat zamanına bağlı olarak salçanın likopen miktarlarının değiştiği (184.26-211.73 g/100 g KM) belirtilmiştir. Literatürde domates ürünlerinin likopen miktarları geniş bir aralıkta rapor edilmiş olup bu durumun kullanılan hammadde ve likopen analizinde uygulanan ekstraksiyon yöntemine bağlı değişiklik gösterdiği değerlendirilmiştir (Allison ve Simmons 2017).

Domates salçasının uçucu bileşen kompozisyonuna ait sonuçlar Çizelge 4.14'te verilmiştir. Çizelge 4.14 incelendiğinde; domates salçasında tanımlanan bileşenler 7 alkol, 5 karboksilik asit, 4 ester, 7 keton, 3 furan, 11 aldehit, 5 terpen ve 1 aromatik bileşiktir. Salçada keton grubundan en fazla alan tespit edilen bileşenin 6-Metil-5-Hepten-2-on olduğu görülmektedir. 6-Metil-5-Hepten-2-on domatese çiçeksi koku kazandıran bileşendir. Domates salçalarının soğuk ve sıcak işleme yöntemlerinin kıyaslandığı bir çalışmada da 6-Metil-5-Hepten-2-on aroma aktif bileşen olarak tanımlanmış ve soğuk işleme ile elde edilen salçalarda daha yüksek tespit edilmiştir (Kelebek vd. 2018). Çiçeksi bir aromaya sahip olan linalool salçada en yüksek alanda tespit edilen terpendir. Domates salçası üretimi sırasında uygulanan ısıtma işlemleri linalool gibi uçucu aroma bileşiklerinin oluşumunu teşvik etmektedir. Nitekim Kelebek vd. (2018) domates salçalarında linalool bileşenini bulurken taze domateslerde bu bileşeni tespit edememişlerdir. Keton grubundan 6-Metil-5-Hepten-2-on, alkol grubundan 2,3-bütandiol, karboksilik asitten 3-Metil bütanoik asit, aldehit grubundan fenilasetaldehit ve terpen grubundan linalool en yüksek alanda tespit edilen bileşenlerdir. Li vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada da domates salçalarında bu aroma bileşenlerinin alanları daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.14. Domates salçasının uçucu bileşen kompozisyonu (milyon alan)

Bileşen	Alan	Bileşen	Alan
Alkol		Furan	
Etanol	0.19±0.00	Furfural	0.17±0.00
1-Butanol	0.01±0.00	2-Pentil Furan	0.09±0.00
3-Metil 1-Bütanol	0.03±0.00	2-(3-Metilfenil) Furan	0.01±0.00
2,3-Butandiol	0.43±0.00	Aldehit	
2-Etil 1-Hekzanol	0.06±0.00	2-Metil Propanal	0.02±0.01
3,7-Dimetil-1,6-Oktaadien-3-ol	0.36±0.01	3-Metil Bütanal	0.07±0.01
Karboksilik asit		2-Metil Bütanal	0.04±0.00
Asetik Asit	0.64±0.01	Asetaldehit	0.01±0.00
3-MetilBütanoik Asit	0.73±0.02	Benzaldehit	0.52±0.01
Hekzanoik Asit	0.07±0.00	Oktanal	0.04±0.00
Oktanoik Asit	0.05±0.00	Nonanal	0.28±0.00
Nonanoik Asit	0.47±0.01	Heptanal	0.03±0.00
Ester		Fenilasetaldehit	1.07±0.03
4-Terpinenil Asetat	0.03±0.00	4-[(3'-Metil-2'-butenil)oksi]-benzaldehit	0.03±0.00
1,2-Etandiol Monoasetat	0.01±0.01	Dodekanal	0.08±0.00
Gliserol diasetat	1.45±0.03	Terpen	
Keton		Alfa-Terpineol	0.06±0.00
Asetoin	0.06±0.00	Trans-Linalool Oksit	0.04±0.00
Aseton	0.28±0.00	4-Terpinenil Asetat	0.03±0.00
3-Heksil Penta-3,4-dien-2-on	0.01±0.00	E-Sitral	0.02±0.00
3-Hidroksibütanon	0.06±0.00	Linalool	0.36±0.01
6-Metil-5-Hepten-2-on	2.86±0.00	Aromatik	
1-(3-Metilfenil) Etanon	0.03±0.00	2-tert-Butil-4-(2,4,4-trimetilpent-2-il)fenol	0.03±0.00
6,10 dimetil, 5,9-Undekadien-2-on(E)-	0.13±0.00	Diğer	
		Bütan	0.01±0.00
		Benzeneetanol	0.16±0.00

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

4.6. Domates Tozlarının Fizikokimyasal Özellikleri

4.6.1. Nem içeriği ve su aktivitesi

Tez çalışması kapsamında üretilen domates tozlarının, nem ve su aktivitesi değerlerinin %4.01-6.61 ve 0.27-0.35 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.15. Domates tozlarının nem ve su aktivitesi sonuçları

Örnek grubu	Nem (%)	Aw
KDKPK	5.78±0.02	0.350±0.00
A-KDKPK	5.60±0.20	0.330±0.00
KK-KDKPK	4.01±0.00	0.272±0.00
βKDKPK	5.03±0.20	0.334±0.00
UDKPK	6.61±0.40	0.346±0.00
KPK	5.78±0.19	0.340±0.00
SHK	5.30±0.16	0.341±0.00

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK; β-sikloestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırımın pencereci kurutma, KPK; kırımın pencereci kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Uygulanan kurutma yöntemleriyle mümkün olduğunca eşdeğer ve hedef nem düzeyinde domates tozu üretilmesi yönünde gerekli özen gösterilmiş olmakla birlikte, ürünün kurutucudan alınana kadar geçen sürede sıcaklık farklılıklarının ve çevresel koşulların etkisi ile son nem düzeyinde kaçınılmaz farklılıklar meydana gelmiştir. Özellikle köpük formunda yapılan uygulamada film üzerine serilen köpük yapıdaki püre hızlı bir şekilde kurumakta ve doğrudan %4 nem değerlerine düşmektedir. Daha uzun sürede 20 dk. kuruma süresinin üstünde ise örnekler homojen kurumamıştır. Örneğin homojen şekilde kuruması için geçen minimum süre 20 dk. olmakta ve bu sürede de nem değeri diğer kurutma yöntemlerindeki değerlerin altına düşmektedir. Ancak köpük formu uygulanmayan örneklerde %4 nem değerlerine kadar kurutma yapılırca özellikle kızılötesi lamba uygulamasında örnekler yanmıştır. Tüm bunlar göz önüne alındığında köpük kurutma uygulamasındaki domates tozların nem değerlerinin daha düşük belirlenmesi beklenen bir sonuçtur. Domates tozlarının nem farklılıkları su aktivitesi değerlerinde önemli bir farklılığa neden olmamıştır.

Su aktivitesi, gıdaların fiziksel, kimyasal ve özellikle mikrobiyolojik stabilitesi üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Gıdalarda meydana gelen mikrobiyal bozulmaların ve kimyasal reaksiyonların kontrol altına alınabilmesi açısından, su aktivitesi kritik öneme sahiptir. Genel olarak su aktivitesi değeri 0.6'nın altında olduğunda gıdaların mikrobiyolojik olarak stabil olduğu kabul edilmektedir (Laroche vd. 2005).

4.6.2. Renk özellikleri

Renk domates tozunun toplam kalitesinin en önemli ölçütlerinden birisi olup. Bu parametre özellikle ürünün likopen içeriği ile ilişkilidir. Kurutma sürecinde uygulanan yüksek sıcaklıklar, karotenoidlerin bozulmasına neden olmakta ve ürünün rengi olumsuz yönde değişmektedir. Bununla birlikte kurutma sırasında uygulanan ısı işleme bağlı olarak Maillard reaksiyonları gerçekleşmekte ve bu reaksiyonlar sonucu oluşan bileşikler de ürün rengini değiştirmektedir. Bu değişimleri izleyebilmek açısından domates tozlarının L*, a*, b* renk özellikleri ölçülmüş olup a* ve b* değerleri üzerinden ton açısı ve doygunluk değerleri hesaplanmıştır. Domates tozlarının renk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.16’da, Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.17’de verilmiştir. Varyans analiz sonuçları domates tozlarının L*, a*, b* renk parametreleri ile t on açısı ve doygunluk değerlerini önemli düzeyde ($p<0.01$) değiştiğini göstermiştir.

Çizelge 4.16. Domates tozlarının renk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları

Renk özelliği	Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
L*	U (Uygulama)	6	12.65	96.04**
	Hata	7	0.1317	
a*	U	6	4.48	49.30**
	Hata	7	0.0908	
b*	U	6	3.95	73.29**
	Hata	7	0.0539	
Ton açısı	U	6	9.55	36.51**
	Hata	7	0.2615	
Doygunluk	U	6	5.34	90.33**
	Hata	7	0.059	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * $p<0.05$, ** $p<0.01$

Çizelge 4.17 incelendiğinde farklı kurutma metotları ile kurutulan domates tozlarının L* değerlerinin 49.36- 56.78, a* değerlerinin 20.39 -24.80, b* değerlerinin 21.46 ile 25.98, ton açısı değerlerinin 43.44 – 49.56 ve doygunluk değerlerinin 31.21 ile 35.46 arasında değiştiği görülmektedir. Kuruma süresinin en düşük olduğu KDKPK sisteminde köpük kurutma yaklaşımıyla kurutulan domates tozlarının L* değerlerinin en yüksek olduğu ve en açık-parlak renge sahip olduğu belirlenmiştir. Kuruma süresi açısından değerlendirildiğinde en uzun kuruma süresine sahip olan SHK sisteminde üretilen ürünlerin L* değerinin diğer tüm ürünlere göre en düşük ölçüldüğü ve en koyu renge sahip olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.17. Domates tozlarının renk değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Örnek grubu	L*	a*	b*	Ton açısı	Doygunluk
KDKPK	51.33±0.33 ^{cd}	23.20±0.28 ^{bc}	24.12±0.00 ^{bc}	46.12±0.35 ^{bc}	33.46±0.19 ^b
A-KDKPK	53.58±0.44 ^b	24.13±0.41 ^b	25.98±0.00 ^a	47.11±0.49 ^b	35.46±0.28 ^a
KKKDKPK	56.78±0.04 ^a	21.50±0.03 ^d	24.82±0.18 ^b	49.09±0.16 ^a	32.83±0.16 ^b
β-KDKPK	54.32±0.26 ^b	20.39±0.09 ^e	23.93±0.02 ^c	49.56±0.14 ^a	31.44±0.04 ^c
UDKPK	52.27±0.08 ^c	24.80±0.08 ^a	24.78±0.06 ^b	45.02±0.03 ^{cd}	35.08±0.10 ^a
KPK	50.51±0.29 ^{de}	22.92±0.04 ^c	23.54±0.29 ^c	45.76±0.30 ^{bc}	32.85±0.24 ^b
SHK	49.36±0.08 ^e	22.66±0.24 ^c	21.46±0.26 ^d	43.44±0.65 ^d	31.21±0.00 ^c

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütundaki farklı harfler ortalamanın $p<0.05$ seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK; β-siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırımın pencereci kurutma, KPK; kırımın pencereci kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen domates tozlarında en yüksek a değeri UDKPK sistemi ile üretilen örneklerle aittir. En düşük a değeri de KDKPK yönteminde köpük kurutma yaklaşımıyla kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında köpük kurutma yaklaşımıyla üretilen domates tozlarının likopen miktarı yüksek olmasına rağmen a* değeri daha düşük bulunmuştur. Bu sonucun domates tozuna katılan soya ve bezelye protein izolatlarıyla ilişki olabileceği değerlendirilmiştir. Nitekim domates püresinin köpük formunda kurutulduğu başka bir çalışmada köpük yapıcı ajan olarak bezelye haşlama suyu kullanılmış olup bu suyun miktarının artmasına bağlı olarak elde edilen toz ürünlerin a değerinin azaldığı rapor edilmiştir (Kilicli vd. 2023). En yüksek b* değeri de askorbik asit eklenerek KDKPK ile kurutulan örneklerde belirlenmiştir. Ancak en düşük b* değerleri KPK ile SHK yöntemiyle elde edilen tozlarda ölçülmüştür. Bu sonuçlar uzun kuruma süresi ve yüksek ısı işleme bağlı oluşan Maillard tepkimeleriyle ilişkilendirilmiştir. Benzer şekilde en düşük ton açısı değeri de SHK ile elde edilen örneklerde tespit edilmiştir. Zomorodi ve Hedayat (2023) sıcak hava kurutma ile elde edilen domates tozlarının esmerleşme indeksinin ve a/b oranının KPK yöntemine göre yüksek olduğu, ton açısı değerinin ise daha düşük bulunduğu rapor edilmişlerdir. Valsli kurutma ile domates tozu optimizasyonu üzerine yapılan bir çalışmada örneklerin L* değerlerinin 39.44-50.85, a* değerlerinin ise 21.88-28.01 aralığında değiştiği belirtilmiş (Eser 2014) olup bu değerler tez kapsamında elde edilen verilerle uyumlu bulunmuştur.

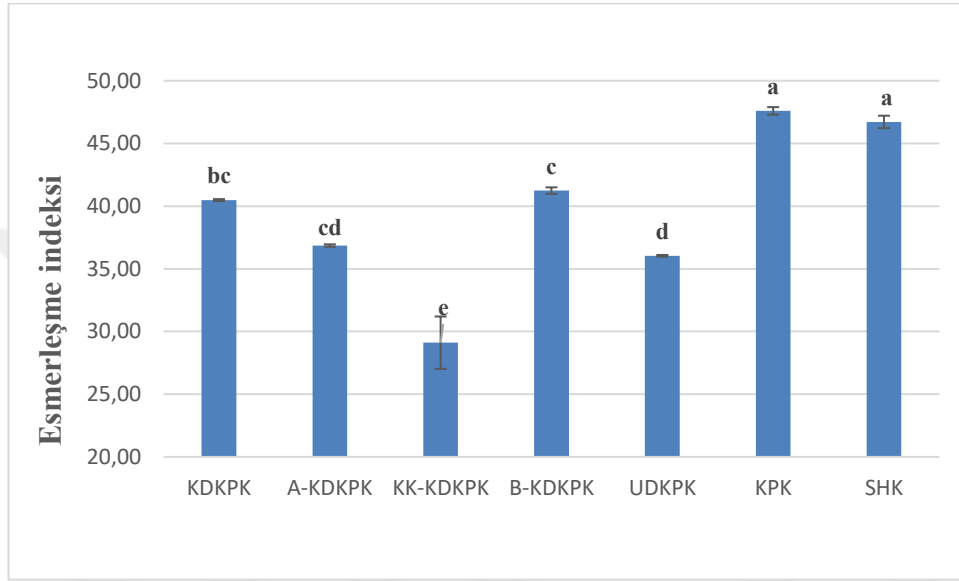
4.6.3. Esmerleşme indeksi

Esmerleşme indeksi, gıdalarda ısı uygulamaları, depolama koşulları ve çeşitli işleme yöntemlerine bağlı olarak meydana gelen renk değişimlerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Tez çalışmasında farklı kurutma metotları ile elde edilen domates tozlarının esmerleşme indeksi 29.11 ile 47.60 arasında değişmiştir. Esmerleşme indeksi verilerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.18’de, Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Şekil 4.6’da verilmiştir. Domates tozlarının esmerleşme indeksi üzerine kurutma metotlarının önemli ölçüde ($p<0.01$) etkisi bulunmaktadır.

Çizelge 4.18. Domates tozlarının esmerleşme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U (Uygulama)	6	82.74	60.34**
Hata	7	1.37	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01



Şekil 4.6. Domates tozlarının esmerleşme indeksi değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Şekil 4.6 incelendiğinde; en düşük esmerleşme indeksinin KDKPK sisteminde köpük kurutma ile kurutulan domates tozlarından belirlendiği görülmektedir. KPK ile SHK yöntemlerinde kurutulan salçaların esmerleşme indeksleri arasında istatistiksel olarak fark olmaksızın diğer uygulamalara göre daha yüksek bulunmuştur. Kuruma süreleri göz önüne alındığında; KK-KDKPK yönteminde kuruma süresinin kısa olmasına bağlı olarak salça, diğer kurutma uygulamalarına göre sıcaklığa daha az maruz kalmış ve esmerleşme indeksi daha düşük hesaplanmıştır. Nitekim mantar pürelerinin KPK sisteminde kurutulmasına ilişkin bir çalışmada da köpük kurutma yaklaşımı ile kurutma süresinin kısaldığı ve esmerleşme indeksinin belirgin bir şekilde daha düşük gözlemlendiği rapor edilmiştir (Atbakan-Kalkan vd. 2025). İndirgen şekerler ve amino asitler açısından zengin ürünlerde enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının daha yaygın olduğu ve bu reaksiyonların, uygulanan ısı ile işlemin süresiyle doğru orantılı olduğu bilinmektedir (Topuz vd. 2009). KDKPK sisteminde askorbik asit ilave edilerek kurutulan örneklerin esmerleşme indeksinin KDKPK ile doğrudan kurutulan örneklerle göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Farooq vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada; dilim halinde domates kurutulmasında, sitrik asit ve askorbik asit içine daldırma ön işlemleri uygulanmış ve ön işlem uygulanarak kurutulan domateslerin kontrol örneklerine göre renk özelliklerinin daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Domates dilimlerinin tünel kurutucuda farklı ön işlemler (kalsiyum klorür, potasyum metabisülfid ve sodyum hidroksit daldırma) uygulanarak kurutulduğu çalışmada 420 nm’de ölçülen esmerleşme indeksi değerlerinin 0.49 ile 0.72 arasında değiştiği bildirilmiştir (Davoodi vd. 2017). Tez çalışması kapsamında domates tozlarının esmerleşme indeksi değerleri 420 nm ölçülmüş ve absorbanslar seyreltme faktörü (100 kat) ile çarpılarak verilmiştir. Doğrudan absorbans değerleri 0.29 ile 0.47 arasında değişmektedir. Literatürde domates tozuna ilişkin yapılan çalışmalarda esmerleşme indeksi değerleri kurutma yöntemine ve kurutma sıcaklığına göre değişiklik göstermektedir (Gamli 2011; Cernîşev 2010). Mevcut çalışmada kullanılan salçanın esmerleşme indeksi değeri (Çizelge 4.13) 8.20 olarak hesaplanmış olup kurutulan domates tozlarının esmerleşme indeksi değerlerinin kullanılan hammaddeye göre değişiklik gösterebileceği değerlendirilmiştir.

4.6.4. Yığın, sıkıştırılmış yoğunluk ve Akabilirlik

Toz gıdalar için yığın yoğunluğu, ürünün depolanması, stabilitesi ve akışkanlığı gibi fiziksel özelliklerini etkileyen temel parametrelerden biridir. Yığın yoğunluğun düşük olması, ürünlerin paketlenmesi sırasında daha fazla hacme ihtiyaç duyulmasına yol açar. Bu durum ise hem ambalaj maliyetlerini artırmakta hem de ürünlerin taşınması ve depolanması zorlaştırmaktadır. Ayrıca düşük yığın yoğunluğuna sahip tozların tanecikleri arasındaki boşluk daha büyük olduğundan oksidasyon riski daha yüksek olmaktadır. Bu nedenle, toz ürünlerin endüstriyel kullanımında yığın yoğunluğu önemli bir kalite kriteri olarak değerlendirilmektedir (Walton 2000).

Farklı kurutma yöntemleri uygulanarak üretilen domates tozlarının yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve bu iki değerden hesaplanan akabilirlik değerleri Çizelge 4.19’da verilmiştir. Domates tozlarının yığın yoğunluğu değerlerinin 618.61-732.01 kg/m³, sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin 727.03-850.42 kg/m³ ve akabilirlik değerlerinin de 11.07 ile 15.83 değerleri arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.19. Domates tozlarına ait yığın, sıkıştırılmış yoğunluk ve akabilirlik değerleri

	Yığın yoğunluk (kg/m ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (kg/m ³)	Akabilirlik
KDKPK	660.34±1.42	760.69±6.06	13.19±0.88
A-KDKPK	651.53±10.72	732.62±1.87	11.07±1.24
KK-KDKPK	679.76±2.18	807.60±3.68	15.83±0.11
β-KDKPK	673.03±3.89	798.03±1.97	15.66±0.28
UDKPK	618.61±3.00	727.03±12.47	14.89±1.05
KPK	673.35±1.64	766.48±15.08	12.12±1.52
SHK	732.01±11.21	850.42±0.90	13.92±1.23

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırımın pencereless kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereless kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırımın pencereless kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK; β-siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereless kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırımın pencereless kurutma, KPK; kırımın pencereless kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Çizelge 4.20’de farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan salçaların yığın yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk ve akabilirlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Domates tozlarının yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerine kurutma

uygulamalarının önemli ($p<0.01$) düzeyde etkisinin olduğu, akabilirlik değerleri üzerine ise önemli etkisinin olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.20. Domates tozlarının yığın, sıkıştırılmış yoğunluk ve akabilirlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
Yığın yoğunluk	U(Uygulama)	6	2345.16	29.96**
	Hata	7	78.28	
Sıkıştırılmış yoğunluk	U	6	3870.39	30.69**
	Hata	7	126.10	
Akabilirlik	U	6	6.46	3.11
	Hata	7	2.08	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * $p<0.05$, ** $p<0.01$

Farklı kurutma uygulamaları ile kurutulan domates tozlarının yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre; en yüksek yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri sıcak hava akımında kurutulan örneklerde bulunmuştur. En düşük yığın yoğunluğu değerleri ise ultrases destekli KPK tabi tutulan örneklerinde görülmektedir. Sıkıştırılmış yoğunluk değerleri ise UDKPK ve A-KDKPK uygulaması ile üretilen domates tozlarında farklı olmaksızın diğer kurutma uygulamalarından elde edilen örneklerin yığın yoğunluğu değerlerinden düşük bulunmuştur.

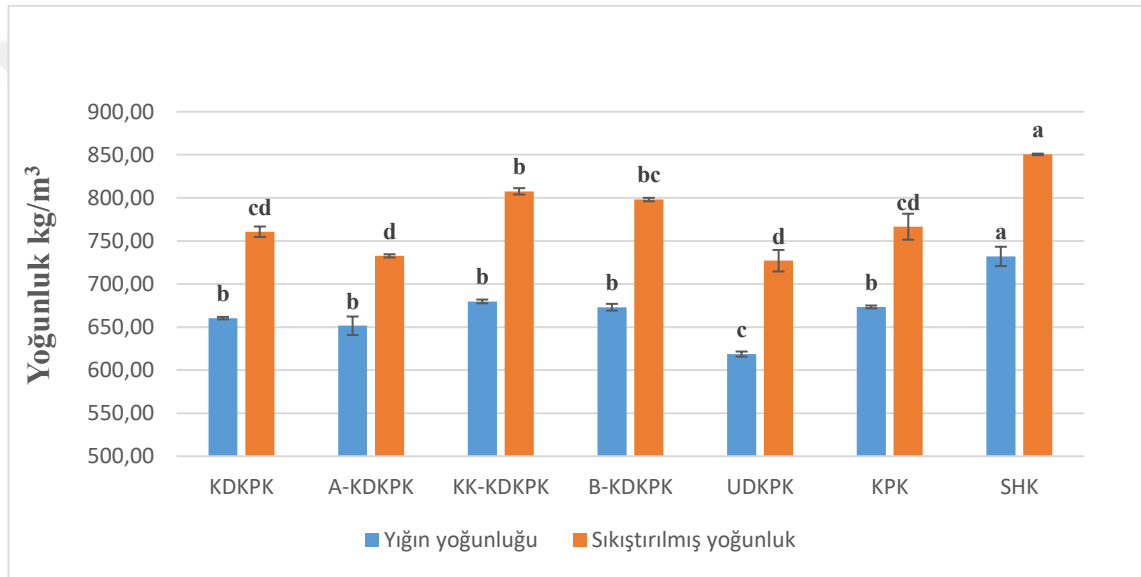
KPK yönteminde SHK metoduna göre kuruma daha hızlı gerçekleşmekte olup bu durumun üründe daha fazla gözenekliliğe yol açtığı, buna bağlı olarak da düşük yığın yoğunlukla sonuçlandığı düşünülmektedir. Nitekim KPK siteminde mantar kurutulan bir çalışmada, elde edilen mantar tozlarının yığın yoğunluğu değerlerinin konvektif kurutmada kurutulan örneklerde daha yüksek belirlendiği rapor edilmiştir (Bardakçı 2022). Farklı kurutma yöntemleri ile domates kurutulduğu bir çalışmada da en yüksek yığın yoğunluk değerlerinin KPK yöntemi ile elde edilen tozlara ait olduğu bildirilmiştir (Zomorodi ve Hedayat 2023).

Ultrasonik dalgalar, meyve ve sebze hücre dokularında mikroskobik gözenekler oluşturmakta ve kurutma işlemi sırasında buharlaşan suyun difüzyon hızı artmaktadır. Buna bağlı olarak da ürün yapısında gözeneklilik meydana gelmekte ve partiküller arası boşluklar artmakta ve dolayısıyla yığın yoğunluğu azalmaktadır. Tüm bunlar göz önüne alındığında ultrases destekli KPK sisteminde yığın yoğunluk ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin düşük olması beklenen bir sonuçtur. Nitekim literatürde meyve sebzelerin kurutulmasında ultrases ön işleminin uygulandığı çalışmalarda da ultrases ön işleme bağlı olarak elde edilen toz ürünlerin yığın yoğunluklarının azaldığı bildirilmiştir (Hematian-Sourki 2023;Kaur ve Sharma 2022).

Sıcak hava akımında doğrudan ve köpük kurutma yaklaşımıyla domates tozu elde edildiği bir çalışma da tozların yığın yoğunluğu değerlerinin 581 ile 752 kg/m³ aralığında değiştiği belirtilmiştir (Farid vd. 2002). Ayrıca KPK ve SHK yöntemleri ile domates püresinin kurutulduğu bir çalışmada da yığın yoğunluk değerlerinin 0.6281 ile 0.8218 g/cm³ (628.1-821.8 kg/m³) arasında değiştiği rapor edilmiştir (Abul-Fadl vd. 2011). Tez

çalışması kapsamında farklı yöntemlerle elde edilen domates tozlarının yığın yoğunluğu değerleri literatür ile uyumlu bulunmuştur.

Carr (1965) tarafından yapılan çalışmada, yığın yoğunluğu ile sıkıştırılmış yoğunluk temel alınarak hesaplanan akabilirlik indeksi (Carr Index, CI), tozların akış özelliklerini değerlendirmede kullanılmıştır. Bu indekse göre CI değeri: 15 altındaysa akışkanlık çok iyi, 15-20 arasında ise iyi, 20-35 arasında zayıf, 35-45 arasında kötü, 45'in üzerinde ise çok kötü olarak sınıflandırılmaktadır. Carr (1965)'ın yaptığı bu sınıflandırmaya göre, farklı kurutma uygulamalı ile üretilen domates tozlarının akış özelliklerinin çok iyi bir akış özelliği gösterdiği görülmektedir. Ishrat vd. (2020) püskürterek kurutma ile üretilen domates tozlarının CI değerini 12.85 hesaplanmış olup çok iyi akış özelliği gösterdiğini rapor etmiştir.



Şekil 4.7. Domates tozlarının yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

4.6.5. Partikül boyutu

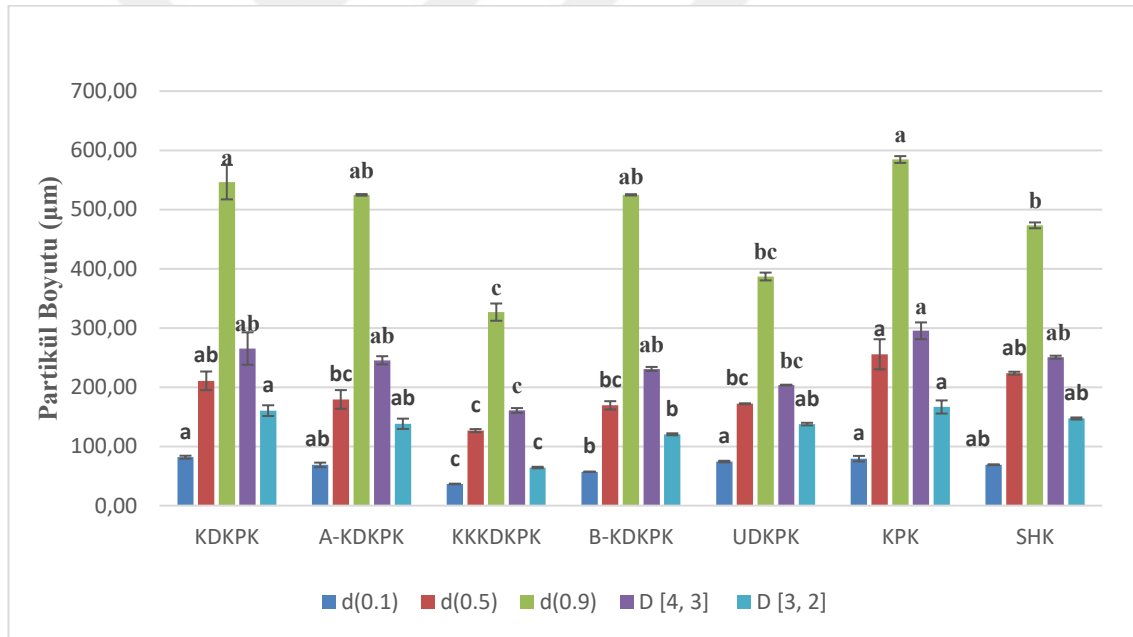
Tez çalışması kapsamında farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen domates tozlarının partikül boyut değerleri Şekil 4.8'de verilmiştir. D [4, 3] ve D [3, 2] değerleri sırasıyla örnekleri hacim (HAO) ve yüzey (YAO) ağırlıklı ortalama değerlerini, d (0.1), d (0.5) ve d (0.9) değerleri ise oransal olarak partiküllerin sırasıyla %10'unun, %50'sinin ve %90'ının verilen büyüklüğe eşit veya daha küçük boyutlu olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 4.21. Domates tozlarının partikül boyut değerlerine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
d(0.1)	U (Uygulama)	6	483.92	37.32**
	Hata	7	12.96	
d(0.5)	U	6	3582.46	10.38**
	Hata	7	344.97	
d(0.9)	U	6	17163.22	51.77**
	Hata	7	331.51	
D [4, 3]	U	6	3805.35	12.91**
	Hata	7	294.70	
D [3, 2]	U	6	2233.18	27.82**
	Hata	7	83.86	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Çalışma kapsamında elde edilen domates tozlarının partikül boyut değerlerine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.21’de verilmiştir. Çizelge 4.21 incelendiğinde D[4, 3], D [3, 2], d(0.1), d(0.5) ve d(0.9) değerlerinin kurutma uygulamalarından istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) düzeyde etkilendiği gözlemlenmiştir.

**Şekil 4.8.** Domates tozlarının partikül boyut değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçlarının verildiği Şekil 4.8 incelendiğinde, en düşük partikül boyut değerlerinin KDKPK sisteminde köpük kurutma yaklaşımı ile kurutulan örneklerde olduğu görülmektedir. Köpük kurutma yaklaşımında, kurutma sırasında oluşan gözenekli yapı ve geniş yüzey alanı ürünlerdeki ısı transferini hızlandır ve kuruma süresini kısaltarak, köpük matrisinde ani büzölmelere ve yapısal çökmelere yol açmakta ve ürün kırılğan hale gelmektedir. Buna bağlı olarak da köpük kurutmada daha küçük partikül boyutlu ürünler elde edilmektedir. Nitekim mantarların köpük formunda kurutulduğu bir çalışmada da sıcaklığın artmasına bağlı kuruma süresinin kısalması ile

daha küçük partikül boyutlu ürünlerin elde edildiği bildirilmiştir (Nejatdarabi ve Mohebbi 2021).

Kurutma işlemleri sonunda tüm örnekler kurutuculardan spatula yardımıyla ile kazınıp öğütülmüş ve 35 mesh elekten (500 μm) geçirilmiştir. Domates tozlarının partikül boyutlarının 600 μm 'den daha küçük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.8). Bazı kurutmalarda 500 μm üzerinde partiküller ölçülmüş olup bunun nedeninin domates tozlarının su bağlama kapasiteleri çok yüksek olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Toz ürünlerde partikül boyutu kurutma yöntemine ve uygulanan işlem koşullarına göre farklılık göstermektedir. Nitekim domates salçası püskürterek ve valsli kurutma yöntemleri ile kurutulmuş ve üretilen domates tozların fiziksel özellikleri üzerine kurutma yöntemlerinin etkisi incelenmiştir. Valsli kurutucuda kurutulan domates tozlarının partikül boyutlarının 381 ile 616 μm değerleri arasında değiştiği bildirilmiştir (Eser 2014). Castoldi vd. (2015) KPK sisteminde 95°C su sıcaklığında 2 mm kalınlığında domates püresi kurutmuşlar ve elde edilen tozların ortalama ağırlık çapının D [4, 3] 204.70 μm ölçüldüğünü belirtmişlerdir. Tez çalışması kapsamında da hacim ağırlıklı ortalama çapları D [4,3] ise 160.70 ile 295.22 μm aralığında hesaplanmış olup, sonuçlar literatürü destekler niteliktedir.

4.6.6. Çözünürlük

Domates tozlarının çözünürlük değerleri 67.83 ile 75.32 arasında değişmekte olup, çözünürlük değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.22'de verilmiştir. Farklı uygulamaların, Domates tozlarının çözünürlükleri üzerine istatistiksel olarak önemli $p < 0.05$ bir etkisi bulunmaktadır.

Çizelge 4.22. Domates tozlarının çözünürlük değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U(Uygulama)	6	13.15	12.21*
Hata	7	1.07	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Çizelge 4.23. Domates tozlarının çözünürlük değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Çözünürlük (%)
KDKPK	69.59 $\pm$ 0.59 ^b
A-KDKPK	70.48 $\pm$ 0.70 ^b
KK-KDKPK	67.83 $\pm$ 0.38 ^b
β -KDKPK	75.32 $\pm$ 0.97 ^a
UDKPK	67.87 $\pm$ 0.05 ^b
KPK	68.98 $\pm$ 0.07 ^b
SHK	69.51 $\pm$ 1.36 ^b

Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma sisteminde köpük kurutma, β -KDKPK; β -siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırınım pencereli kurutma, KPK; kırınım pencereli kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Çizelge 4.23'te örneklerin çözünürlük değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları verilmiştir. En yüksek çözünürlük değeri β -siklodekstrin eklenerek KDKPK sisteminde kurutulan domates tozlarında belirlenmiştir. Diğer uygulamalar arasında ise benzer sonuçlar bulunmuştur. β -siklodekstrin yedi glukopiranoz biriminin α -1,4 glikozidik bağlarla bağlanmasıyla oluşan halka şeklinde bir yapıya sahiptir. Bu yapı, dış yüzeyinde hidrofilik hidroksil grupları ve iç kısmında hidrofobik bir boşluk barındırır. Bu yapı, suda çözünmeyen bileşenleri içine alarak suda çözünür hale getiren inklüzyon kompleksleri oluşturmaya olanak tanır. Bu sayede, aroma, vitamin ve antioksidan gibi hassas bileşenlerin çözünürlüğü ve stabilitesi artmaktadır (Wang 2019; Santos vd. 2011; Avcı ve Dönmez 2010).

Domates dilimlerinin farklı kurutma yöntemleri (Güneşte, SHK, KPK ve mikrodalga kurutma) ile kurutulduğu bir çalışmada domates tozlarının çözünürlük değerlerinin %65.50 ile 84.50 arasında değiştiği rapor edilmiştir (Zomorodi ve Hedayat 2023). Domates kurutulmasında SHK ile KPK sistemlerinin kullanıldığı bir başka çalışmada da çözünürlük değerlerinin %54.66 ile 65.94 arasında olduğu bildirilmiştir (Abul-Fadl ve Ghanem 2011). Yapılan bir başka çalışmada da domates tozu sıcak hava akımında farklı sıcaklıklarda (50, 60, 70 ve 80°C) köpük kurutma yaklaşımı ile kurutulmuş olup çözünürlük değerlerinin % 76.98 ile 80.03 arasında değiştiği rapor edilmiştir (Indrianti vd. 2023).

4.6.7. Higroskopisite

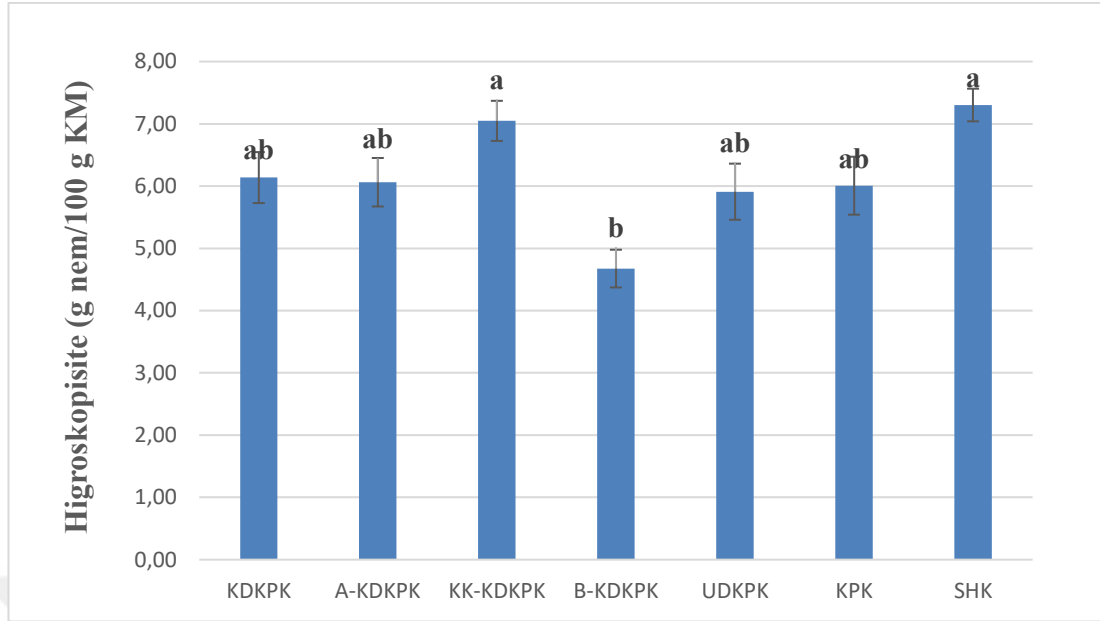
Toz formdaki ürünler çevresel nemi absorbe ettiğinde hem fiziksel hem de kimyasal özelliklerinde önemli değişiklikler gözlenebilir. Ortamdan nem çeken ürünlerde su içeriği artar; bu durum, ürünün yığın yoğunluğunun düşmesine, topaklanma (kekleşme) eğiliminin artmasına ve akışkanlık karakteristiklerinin olumsuz yönde etkilenmesine yol açmaktadır (Barbosa-Cánovas vd. 2005; Juarez-Enriquez vd. 2017). Toz ürünlerin stabilitesi açısından, higroskopisitesi düşük ürünler üretmek önem kazanmaktadır.

Tez çalışmasında farklı kurutma metotları ile elde edilen domates tozlarının higroskopisite değerleri 4.68 ile 7.30 arasında değişmektedir. Higroskopisite sonuçlara ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.24'te, Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Şekil 4.9'da verilmiştir. Domates tozlarının higroskopisitesi üzerine kurutma metotlarının önemli ölçüde ($p<0.05$) etkisi bulunmaktadır.

Çizelge 4.24. Domates tozlarının higroskopisite değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U(Uygulama)	6	1.4645	5.11*
Hata	7	0.2867	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * $p<0.05$, ** $p<0.01$



Şekil 4.9. Domates tozlarının higroskopisite değerlerinin ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Şekil 4.9’da verilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; KK-KDKPK ve SHK ile kurutulan salçaların higroskopisite değerleri birbirine benzer sonuçlar göstermiş ve higroskopisite değerleri diğer kurutma uygulamaları ile kurutulan salçalardan yüksek bulunmuştur. En düşük higroskopisite değerinin ise β -siklodekstrin eklenerek KDKPK sisteminde kurutulan örneklerde olduğu görülmektedir. Kuruma esnasında β -siklodekstrin ilavesi, toz matrisinde hidrofilik grupların çevresel neme doğrudan maruz kalmasını sınırlandırarak, nem adsorpsiyonunu azaltmakta ve bu sayede ürünün higroskopisite düzeyini düşürmektedir (Zhao vd. 2019).

Köpük kurutma yöntemiyle ve SHK ile kurutulan örneklerin partikül boyutu değerlerine bakıldığında, partiküllerin %90’ı temsil eden değer diğer kurutmalardaki uygulamalardan daha büyüktür. Partikül boyutunun küçük olması ile toplam yüzey alanı artmakta ve havadaki nemle daha çok etkileşime girmesine bağlı olarak su çekme eğilimi artmaktadır (Yuksel ve Dirim 2020; Eser 2014). Ayrıca köpük kurutma yaklaşımı ile kurutulan örneklerin yüksek nem çekme özelliğinin kurutulan son ürünün nem miktarının düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Domates tozunun sıcak havada farklı sıcaklıklarda (50, 60, 70 ve 80°C) köpük kurutma yaklaşımı ile kurutulduğu bir çalışmada higroskopisite değerleri %3.37 ile 6.43 arasında belirlenmiş olup sıcaklık artışına bağlı olarak higroskopisitenin düştüğü rapor edilmiştir (Indrianti vd. 2023).

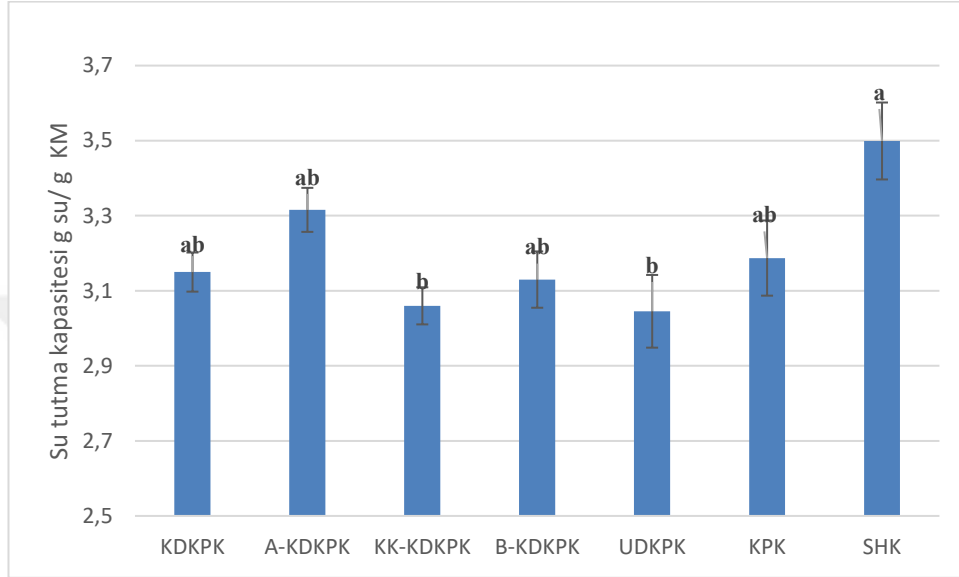
4.6.8. Su tutma kapasitesi

Domates tozlarının su tutma kapasite değerleri 3.05 ile 3.50 g su/ g KM değerleri arasında değişmektedir. Çizelge 4.25’te verilen varyans analiz tablosu incelendiğinde farklı kurutma uygulamalarının su tutma kapasitesi üzerine istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) bir etkisinin olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.25. Domates tozlarının su tutma kapasitesi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U(Uygulama)	6	0.0517	4.24*
Hata	7	0.0122	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * $p<0.05$, ** $p<0.01$



Şekil 4.10. Domates tozlarının su tutma kapasitesi değerlerinin ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Şekil 4.10 verilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları incelendiğinde SHK ile kurutulan salçaların en yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. KK-KDKPK ile UDKPK arasında istatistiksel olarak fark olmaksızın en düşük su tutma kapasitesi bu kurutmalardan elde edilen ürünlere aittir. Kurutma yöntemlerine bağlı su tutma kapasitesindeki değişimler çok belirgin olmamakla birlikte sonuçları istatistiksel açıdan önemli ($p<0.05$) bulunmuştur.

4.6.9. 5-Hidroksimetilfurfural

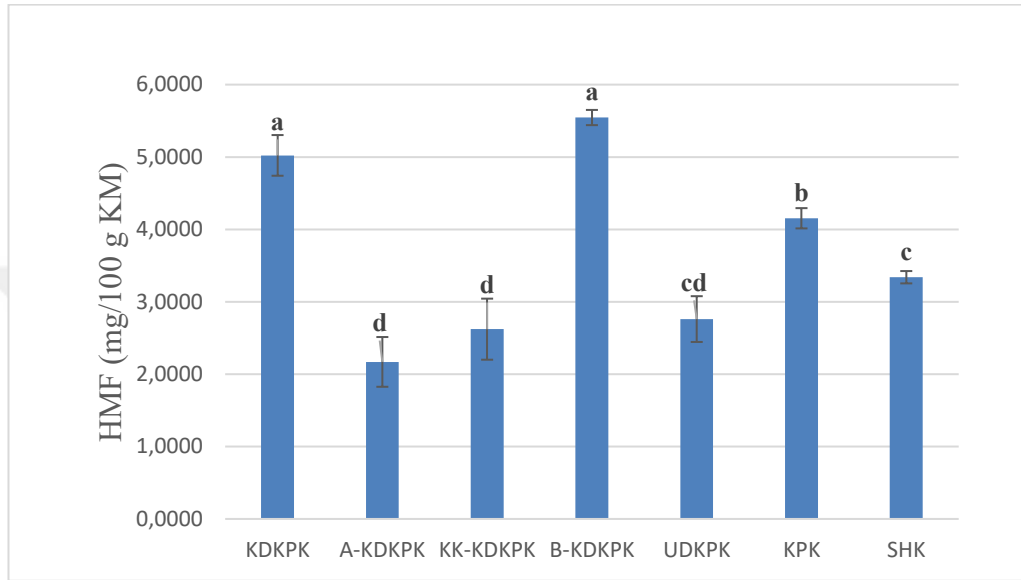
HMF gıdalarda meydana gelen enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının önemli bir göstergesidir. Bu bileşik Maillard reaksiyonlarının ilerleyen aşamalarında oluşmakta olup Maillard reaksiyonunun hızı, ortam sıcaklığına, asitliğe ve süreye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Domates tozlarındaki HMF içeriği başlangıçta kullanılan salçanın kalitesi, kurutma koşulları ve depolama koşullarına göre değişiklik göstermektedir (Yıldız vd. 2010; Apuhan 2012).

Tez çalışması kapsamında farklı kurutma uygulamaları ile elde edilen domates tozlarının HMF değerleri 2.17 ile 5.55 mg/100 g KM arasında değişmiş olup bu verilere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.26'da verilmiştir. Domates tozlarının HMF miktarı üzerine kurutma metotlarının önemli ölçüde ($p<0.05$) etkisi bulunmaktadır.

Çizelge 4.26. Domates tozlarının HMF değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U (Uygulama)	6	3.2886	44.87**
Hata	7	0.0732	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01

**Şekil 4.11.** Domates tozlarının HMF değerlerinin ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Şekil 4.11 verilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları incelendiğinde en yüksek HMF içeriğinin KDKPK ve β -siklodekstrin ilave edilerek KDKPK’da kurutulan örneklerde istatistiksel açıdan fark olmaksızın diğer kurutma yöntemleri ile elde edilen ürünlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. En düşük HMF içeriği ise askorbik asit katkılanan ve köpük kurutma yaklaşımıyla kurutulan domates tozlarında belirlenmiştir.

KK-KDKPK yönteminde kuruma süresinin kısa olmasına bağlı olarak salça, diğer kurutma uygulamalarına göre sıcaklığa daha az maruz kalmış ve HMF’nin daha az oluştuğu değerlendirilmiştir. Nitekim portakalın KPK sisteminden doğrudan ve köpük yaklaşımıyla kurutulduğu bir çalışmada da kuruma süresi bağlı olarak köpük kurutma ile elde edilen tozların HMF içeriğinin daha düşük belirlendiği rapor edilmiştir (Aşık 2019).

Tez çalışması kapsamında KDKPK sisteminde kızılötesi lambadan kaynaklı meydana gelen ürünlerdeki esmerleşmenin artmasını ve yüksek miktarlarda HMF içeriğinin oluşmasını engellemek amacıyla domates tozlarına askorbik asit (%0.5) ilave edilmiştir. Bu sayede KDKPK sistemi ile elde edilen domates tozlarının HMF oluşumu yaklaşık %55 oranında düşürülmüştür. Askorbik asit güçlü bir antioksidan özellik göstermesi sayesinde, ısı işlem sırasında oluşabilecek serbest radikalleri etkili bir biçimde nötralize ederek Maillard reaksiyonlarını yavaşlattığı ve buna bağlı olarak da HMF oluşumunu önemli düzeyde azalttığı değerlendirilmiştir (El Hosry vd. 2025).

4.6.10. Toplam fenolik madde

Tez çalışması kapsamında domates tozlarının toplam fenolik madde miktarları 728.47 ile 939.46 mg GAE/100 g KM arasında değişmektedir. Ancak askorbik asit ilave edilerek KDKPK sisteminde kurutulan domates tozlarının toplam fenolik madde miktarı çok yüksek miktarda bulunmuş ancak bu verinin doğru bir tespit olmadığı sonucuna varılmıştır. Nitekim Everette vd. (2010) uygulanan Folin–Ciocalteu yönteminde askorbik asitin folin reaktifi ile reaksiyon vermesine bağlı toplam fenolik madde miktarının doğru ölçülemediğini bildirmişlerdir. Diğer kurutma uygulamaları ile üretilen toz ürünlere toplam fenolik madde analizi uygulanmış ve sonuçların varyans analiz tablosu Çizelge 4.27’de verilmiştir. Bu tabloya göre ürünlerin toplam fenolik madde miktarları üzerine kurutma uygulamalarının istatistiksel olarak önemli düzeyde ($p<0.01$) etkisi bulunmaktadır.

Çizelge 4.27. Domates tozlarının toplam fenolik madde değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U (Uygulama)	5	18267.61	15.75**
Hata	6	1159.73	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * $p<0.05$, ** $p<0.01$

Çizelge 4.28. Domates tozlarının toplam fenolik madde değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Toplam fenolik madde (mg GAE/100 g KM)
KDKPK	939.46±9.90 ^a
A-KDKPK	dte.
KK-KDKPK	726.97±8.09 ^b
β-KDKPK	810.36±33.29 ^{ab}
UDKPK	728.47±37.52 ^b
KPK	938.96±24.70 ^a
SHK	853.62±13.77 ^{ab}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütundaki farklı harfler ortalamanın $p<0.05$ seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir. dte: doğru tespit edilemedi. KDKPK: Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, A-KDKPK: askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, KK-KDKPK: Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK: β-sikloestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, UDKPK: Ultrases destekli kırımın pencereci kurutma, KPK: kırımın pencereci kurutma, SHK: sıcak hava kurutma

Domates tozlarının toplam fenolik madde miktarlarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.28’de verilmiştir. KDKPK ile KPK yöntemleri ile kurutulan salçaların toplam fenolik madde içerikleri arasında istatistiksel olarak fark olmamakla beraber diğer kurutma uygulamaları ile üretilen örnekler göre daha yüksek bulunmuştur. En düşük fenolik madde içerikleri ise KK-KDKPK ile UDKPK uygulamaları ile kurutulan salça örneklerine aittir.

Yüksek sıcaklık uygulamaları, hücre yapılarında bozulmalara yol açarak fenolik bileşiklerin bağlı bulundukları hücresel matristen serbest kalmasını ve bu bileşiklerin daha kolay ekstrakt edilmesini sağlamaktadır (Patrón-Vázquez vd. 2019; Hernández-Santos vd. 2016). Ayrıca kızılötesi lamba destekli kurutma yöntemlerinde de fenolik

madde miktarının daha yüksek sonuçlandığı çalışmalar literatürde mevcuttur. Nitekim domates püresi kurutulmasında KPK sistemi kızılötesi lamba, vakum ve zorlamalı hava akımı ile kombine edilerek ayrı ayrı kurutmalar yapılmış olup en yüksek fenolik madde miktarının kızılötesi lamba ile desteklenen KPK sisteminde tespit edildiği ve sıcaklığının artmasına bağlı olarak fenolik madde miktarının arttığı bildirilmiştir (Gaviria-Lozano vd. 2025). Vural (2024) tarafından yapılan bir çalışmada da soğan tozu eldesinde kızılötesi lamba destekli KPK sistemi kullanılmış olup en yüksek fenolik madde miktarının bu kurutma yönteminde elde edildiği, en düşük fenolik madde miktarının da dondurarak kurutma ve köpük kurutma yaklaşımıyla kurutulan ürünlerde olduğu rapor edilmiştir. Sıcaklık artışına bağlı fenolik madde miktarının yüksek sonuçlandığı başka çalışmalarda mevcut olmakla birlikte bu durum ısıtma işlemi meydana gelen esmerleşme reaksiyonlarından kaynaklanabilmektedir. Isıtma işlemi sürecinde meydana gelen esmerleşme reaksiyonları, serbest radikal temizleme kapasitesinde artışa yol açabilmektedir. Bu artış, konjuge fenolik bileşiklerin ayrışması, oluşan bileşiklerin bir kısmının polimerleşmesi/oksidasyonu ve hücrede doğal olarak bulunmayan yeni fenolik yapıların ortaya çıkmasıyla ilişkilendirilebilir (Bardakçi ve Karacabey 2024).

KK-KDKPK ve UDKPK sistemleri ile elde edilen domates tozlarının fenolik madde miktarlarının diğer kurutma yöntemlerine göre daha düşük olması; bu ürünlerde gözlenen daha düşük esmerleşme indeks değerleriyle (Şekil 4.6) açıklanabilir.

Domates kurutulmasında farklı kurutma yöntemlerinin kullanıldığı bir çalışmada domates tozlarının toplam fenolik madde miktarlarının 181.25 ile 620.29 mg/100g aralığında bulunduğu rapor edilmiştir (Zomorodi ve Hedayat 2023). Köpük kurutma yaklaşımıyla domates kurutulduğu bir çalışmada da toplam fenolik madde miktarlarının 422.3 ile 829.8 mg/100 g KM arasında değiştiği bildirilmiştir (Farid vd. 2022). Abul-Fadl ve Ghanem (2011) tarafından yapılan bir çalışmada KPK ve SHK yöntemleri ile domates tozu elde edilmiş olup toplam fenolik madde miktarları 275 ve 312 mg/100 g KM aralığında hesaplanmıştır. Literatürde domates tozuna ilişki çalışmalarında incelendiğinde toplam fenolik madde miktarının, kullanılan hammaddenin cinsine, kurutma yöntemine, süresine bağlı olarak geniş bir aralıkta değişiklik gösterdiği belirlenmiştir.

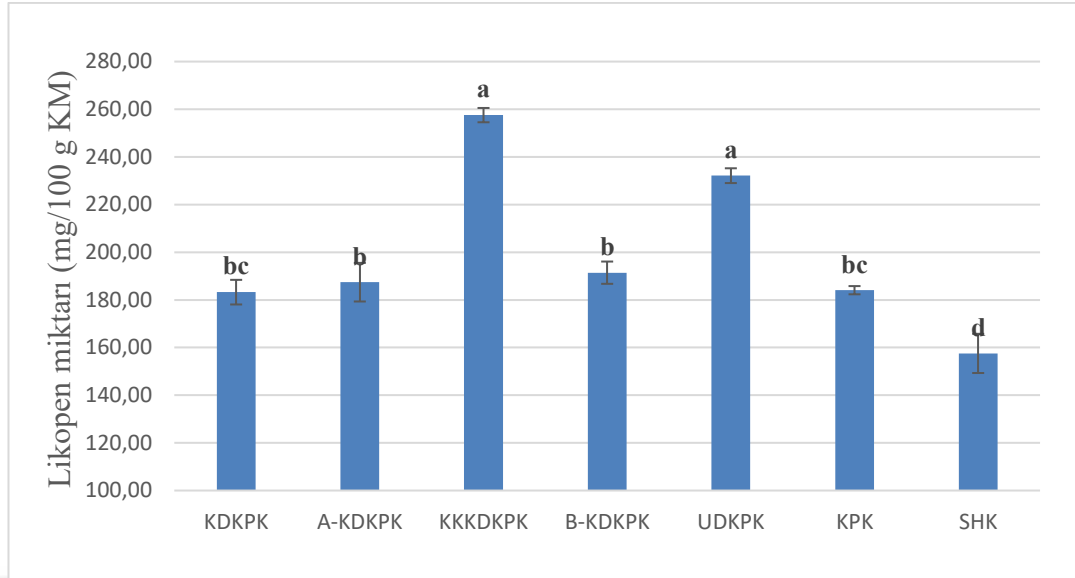
4.6.11. Likopen miktarı

Domates tozlarının likopen miktarı 157.54 ve 257.53 mg/100 g KM aralığında değişmekte olup bu verilere ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.29’da verilmiştir. Farklı kurutma uygulamalarına bağlı örneklerin likopen miktarları önemli düzeyde ($p<0.01$) farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.29. Domates tozlarının likopen miktarı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U (Uygulama)	6	2301.39	39.62**
Hata	7	58.08	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * $p<0.05$, ** $p<0.01$



Şekil 4.12. Domates tozlarının toplam likopen miktarı değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Şekil 4.12’de verilen örneklerin toplam likopen miktarı değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları incelendiğinde en yüksek likopen miktarlarının aralarında istatistiksel açıdan fark olmaksızın KK-KDKPK ve UDKPK ile üretilen domates tozlarına ait olduğu görülmektedir. En düşük likopen miktarı ise SHK ile kurutulan salça örneklerine aittir.

KK-KDKPK uygulaması ile üretilen örneklerin kuruma süresi 20 dk olup ısı işleme maruz kalma süresi diğer uygulamalara göre oldukça azdır. Uygulanan ısı işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak domateslerde likopen miktarı azalmakta ve bununla beraber renk kayıpları meydana gelmektedir. Nitekim KPK ve SHK yöntemleriyle portakal tozu üretiminde köpük kurutma yaklaşımı da denenmiş olup köpük kurutma ile kuruma süresinin kısalmasına bağlı olarak karotenoidlerin daha iyi korunduğu rapor edilmiştir (Aşık 2019). KPK sitesinde ultrases uygulaması ile kurutulan örneklerin de yüksek likopen içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun ultrases dalgalarının yüksek frekanslı titreşimleriyle hücre duvarlarını parçalayarak likopenin çözünürlüğünü artırmasıyla ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir. Salça üretiminde oluşan domates işleme atıklarından likopen ekstraksiyonunda ultrases uygulaması ile likopen miktarının arttığı bildirilmiştir (Kumcuoğlu vd. 2011).

Domates kurutulmasında fırında, dondurarak ve ısıtılmış hava kurutuma yöntemleri kullanılmış olup tozların likopen miktarlarının 404.3 ile 770.1 mg/100 g aralığında bulunduğu rapor edilmiştir (Jorge vd. 2018). Dondurarak kurutma yöntemi ile domatesin kurutulmasına ilişkin bir çalışmada domatesler doğrudan ve ısı işlem uygulanarak kurutulmuş olup toz ürünlerin likopen miktarları sırasıyla 649 ile 739 mg/100 g KM olarak belirlenmiştir (Lavelli ve Torresani 2011). Yapılan bir başka çalışmada farklı kurutma uygulamaları (güneşte, sıcak hava, mikrodalga kurutma) ile kurutulan domateslere ait likopen miktarlarının 349.59 ile 387.83 mg/100 g KM aralığında bulunduğu bildirilmiştir (Engin ve Kuşçu 2023). Ozmotik ön işlem uygulanan domateslerin farklı kurutma yöntem ile kurutulduğu bir çalışmada likopen miktarlarının

yaklaşık 200-1200 mg/100 g aralığında hesaplandığı belirtilmiştir (Tahmasebi ve Emam-Djomeh 2021). Domates tozu eldesinde domates püresinin hibrit KPK sistemleri ve dondurarak kurutulduğu bir çalışmada da likopen miktarları 57.67 ve 130.20 mg/100 g KM aralığında hesaplanmıştır. Literatürde domates ve domates tozlarının likopen miktarları geniş bir aralıkta değişmekte olup bu durumun kullanılan hammadde ve likopen analizinde uygulanan ekstraksiyon yöntemi göre değişiklik gösterdiği değerlendirilmiştir (Allison ve Simmons 2017).

4.6.12. Antioksidan aktivite

Tez çalışması kapsamında elde edilen domates tozlarının antioksidan aktivite sonuçlarına ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.30'da antioksidan aktivite değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.31'de verilmiştir. Üretilen toz ürünlerin antioksidan aktivite içerikleri incelendiğinde 532.48 – 5643.49 TEAA /100 g KM arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Uygulanan farklı kurutma uygulamalarının domates tozlarının antioksidan aktivite içeriği üzerine önemli ($p<0.01$) bir etkisi olduğu görülmektedir (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.30. Domates tozlarının antioksidan aktivite değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U (Uygulama)	6	7191690.73	413.27**
Hata	7	1740.37	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * $p<0.05$, ** $p<0.01$

Çizelge 4.31. Domates tozlarının antioksidan aktivite değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Antioksidan aktivite (mg TEAA/100 g KM)
KDKPK	657.43±5.24 ^{bc}
A-KDKPK	5643.49±19.10 ^a
KK-KDKPK	598.83±8.34 ^c
β-KDKPK	642.47±5.93 ^{cb}
UDKPK	532.48±13.4 ^{6c}
KPK	719.80±72.95 ^b
SHK	621.15±9.58 ^{bc}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütundaki farklı harfler ortalamanın $p<0.05$ seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırımın pencereli kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereli kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırımın pencereli kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK; β-siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereli kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırımın pencereli kurutma, KPK; kırımın pencereli kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

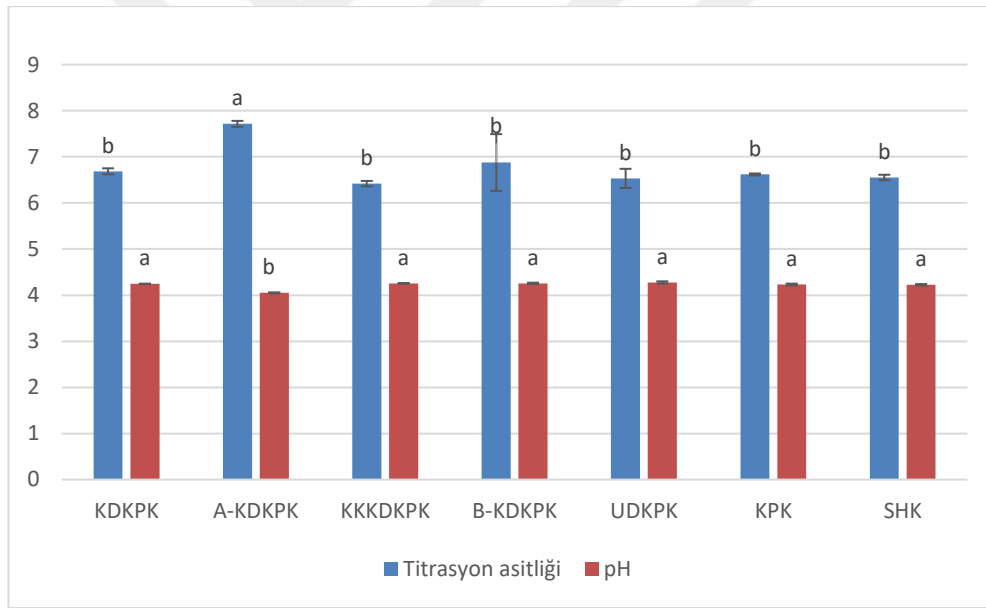
Çizelge 4.31'de verilen Duncan çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre, antioksidan aktivite miktarı A-KDKPK ile üretilen domates tozlarında en yüksek bulunmuştur. En düşük antioksidan aktivite miktarı ise aralarında istatistiksel açıdan fark olmaksızın KK-KDKPK ve UDKPK ile kurutulan örneklerde belirlenmiştir. Bitkisel materyallerde bulunan fenolik bileşikler ve askorbik asit, bu materyallerden elde edilen ürünlerin antioksidan aktivitelerine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır Sadowska vd.

2020) Askorbik asit eklenerek KDKPK siteminde kurutulan örneklerin antioksidan aktivitesinin yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur.

Domates tozlarının antioksidan aktiviteleri de toplam fenolik madde miktarlarında olduğu gibi KK-KDKPK ve UDKPK kurutma yöntemleri ile elde edilen örneklerde en düşük miktarda hesaplanmıştır. Ayrıca enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları sonucunda antioksidan özellikli maddelerin oluştuğu bilinmekte olup KK-KDKPK ve UDKPK sistemleri ile elde edilen domates tozlarının düşük antioksidan aktivitesi değerlerinin, düşük esmerleşme indeks değerleriyle ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.

4.6.13. pH ve titrasyon asitliği

Tez çalışması kapsamında domates tozlarının titrasyon asitliğinin, %6.42 - 7.71 ve pH değerlerinin 4.05 - 4.26 arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.13). Çizelge 4.32’de domates tozlarının pH ve titrasyon asitliği değerlerine ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Kurutma yöntemlerinin örneklerin pH ve titrasyon asitliği üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisi bulunmaktadır.



Şekil 4.13. Domates tozların titrasyon asitliği ve pH değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Çizelge 4.32. Domates tozlarının pH ve titrasyon asitliği değerlerine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
pH	U (Uygulama)	6	0.0117	25.22**
	Hata	7	0.0004	
Titrasyon asitliği	U	6	0.3866	3.10*
	Hata	7	0.1247	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01

Şekil 4.13’de verilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları incelendiğinde en düşük pH ve en yüksek titrasyon asitliği değerlerinin askorbik asit eklenerek KDKPK sisteminde kurutulan örneklerde olduğu ve diğer kurutma uygulamalarında elde edilen örneklerin pH ve titrasyon asitliği değerleri arasında fark olmadığı görülmektedir.

Türk gıda kodeksi salça ve benzeri ürünler tebliği göre domates salçasının pH değerinin en az 3.9, en çok 4.6 olması gerektiği, toplam asitlik miktarının da susuz sitrik asit cinsinden, toplam kuru maddede kütlece %10’dan fazla olmaması gerektiği belirtilmiştir.

Domates kurutulmasında farklı çözeltilere daldırma ön işlemleri uygulanarak farklı sıcaklıklarda (65, 75°C) vakum kurutma yapılmış ve kurutulan örneklerin titrasyon asitliği değerlerinin %5.66 ile 8.08 arasında belirlendiği rapor edilmiştir. Ayrıca sitrik asit ve askorbik aside daldırma ön işlemleri uygulanan örneklerin asitlik değerlerinin arttığı ve pH değerlerinin düştüğü belirtilmiştir (Sahin vd. 2012). Davoodi vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada da domatesler farklı ön işlem uygulanarak güneş ve tünel kurutucuda kurutulmuş olup örneklerin toplam asitlik değerlerinin %5.70 ile 6.27 arasında değiştiği bildirilmiştir. Domateslerin kabin kurucuda kurutulduğu bir çalışmada da farklı ön işlemlere bağlı olarak örneklerin toplam asitlik değerleri %5.86 ile 6.25 arasında değiştiği belirtilmiştir (Mozumder vd. 2012). Tez çalışması kapsamında elde edilen domates tozlarının titrasyon asitliği değerleri literatürü destekler niteliktedir.

4.6.14. Toplam şeker miktarı

Farklı kurutma uygulamaları ile kurutulan domates tozlarının toplam şeker miktarı 39.26 ile 43.53 mg/100 g KM değerleri arasında değişmekte olup (Çizelge 4.33) bu değerlere ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.34’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, farklı kurutma uygulamalarının domates tozlarının toplam şeker içeriği üzerine önemli bir etkisi bulunmadığı ($p>0,05$) anlaşılmıştır.

Çizelge 4.33. Domates tozlarına ait toplam şeker miktarı değerleri

	Toplam şeker miktarı (mg/100 g KM)
KDKPK	41.61±0.85
A-KDKPK	40.83±0.68
KK-KDKPK	42.30±1.31
β-KDKPK	40.68±0.61
UDKPK	43.53±0.71
KPK	41.72±0.85
SHK	39.26±0.14

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırıyım pencereli kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırıyım pencereli kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırıyım pencereli kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK; β-siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırıyım pencereli kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırıyım pencereli kurutma, KPK; kırıyım pencereli kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Çizelge 4.34. Domates tozlarının toplam şeker değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U (Uygulama)	6	3.64	2.82
Hata	7	1.29	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01

Domates tozu eldesinde tünel kurutma uygulandığı bir çalışmada domates tozlarının toplam şeker miktarının 48.3 ile 49.4 mg/100 g arasında değiştiği, kalsiyum klorür ve potasyum metabisülfite içine daldırma ön işlemleri uygulanan örneklerin istatistiksel açıdan daha yüksek şeker içeriğine sahip olduğu rapor edilmiştir (Davoodi vd. 2007). Kabin kurutucuda domates kurutulmasına ilişkin yapılan bir çalışmada da domates tozlarının toplam şeker içeriklerinin 47.9 ile 49.1 mg/100 g arasında değiştiği belirtilmiştir (Mozumder vd. 2012).

Sıcak ve soğuk işleme yöntemine göre üretilen domates salçalarının toplam şeker içerikleri sırasıyla 41.09 ile 40.90 g/100 g KM olarak hesaplanmış, sıcak ve soğuk işleme yöntemlerinin salçaların şeker içeriği üzerine etkisi olmadığı rapor edilmiştir (Çetiner 2016). Tez çalışması kapsamında kullanılan salçaların toplam şeker miktarı 41.35 g/100 g KM (Çizelge 4.13) olarak hesaplanmış olup literatürde yer alan çalışmalarda domates tozlarının şeker içeriklerindeki farklılıkların hammadde kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir.

4.6.15. Askorbik asit miktarı

Tez çalışması kapsamında farklı kurutma uygulamaları ile üretilen domates tozların askorbik asit içerikleri 81.98 ile 4236.85 mg/100 g KM arasında değişmektedir. Çizelge 4.35'te verilen varyans analizi tablosu incelendiğinde; örneklerin askorbik asit içerikleri üzerine kurutma uygulamalarının istatistiksel açıdan önemli (p<0.01) bir etkisi olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4.35. Domates tozlarının askorbik asit miktarı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U (Uygulama)	6	5285519.37	353525**
Hata	7	14.95	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01

Çizelge 4.36'da örneklerin askorbik asit miktarlarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre; en yüksek askorbik asit içeriği, beklenildiği üzere askorbik asit eklenerek KDKPK sisteminde kurutulan örneklerde hesaplanırken, en düşük askorbik asit miktarı ise SHK ve KK-KDKPK ile kurutulan örneklerde bulunmuştur.

Çizelge 4.36. Domates tozlarının askorbik asit değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Askorbik asit miktarı (mg/100 g KM)
KDKPK	121.29±2.75 ^b
A-KDKPK	4409.46±4.55 ^a
KK-KDKPK	97.88±4.34 ^d
β-KDKPK	111.05±1.67 ^{bc}
UDKPK	113.61±0.92 ^b
KPK	112.89±0.21 ^b
SHK	93.96±1.27 ^d

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütundaki farklı harfler ortalamanın $p < 0.05$ seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırımın pencerelessi kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencerelessi kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırımın pencerelessi kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK; β-sikloestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencerelessi kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırımın pencerelessi kurutma, KPK; kırımın pencerelessi kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Domates tozlarının kurutulmasında uygulanan yöntemler arasında en uzun kuruma süresi sıcak hava kurutma (SHK) yönteminde gözlemlenmiş olup kuruma süresinin artmasına bağılı olarak ısıtılma maruz kalma süresi artmış ve askorbik asit içeriğı de en düşük düzeyde belirlenmiştir. Nitekim domates püresi 110 °C'de 15 dakika ve 30 dakika süreyle ısıtılmış olup özellikle uzun süre ısıtılma uygulanan örneklerde askorbik asit kaybının daha fazla olduğı rapor edilmiştir (Jacob vd. 2010).

Kızılötesi destekli kırımın pencerelessi kurutma sisteminde domates dilimlerinin kurutulduğı bir çalışmada farklı su sıcaklıkları ve kızılötesi lamba güçlerine bağılı olarak askorbik asit içeriğı 202.45 ile 302.20 mg/100g arasında ölçülmüştür (Arslan 2022). Tez çalışması kapsamında elde edilen domates tozlarının askorbik asit miktarı daha düşük sevilere ölçülmüş olup bu durum domateslerin salçaya işlenirken önemli miktarda askorbik asit kaybı ile ilişkilendirilebilir. Nitekim salçaya işlenen Shasta çeşidi domateslerin askorbik asit miktarı 295.57 mg/100 KM g olarak hesaplanırken, sıcak ve soğuk işleme yöntemine göre üretilen domates salçalarının askorbik asit içeriklerinin sırasıyla 120.80 ile 135.10 mg/100 g KM olarak hesaplandığı rapor edilmiştir (Kelebek vd. 2017). Tez çalışması kapsamında kurutma işlemlerinde kullanılan salçanın askorbik asit miktarı 137.73 mg/100 g KM olarak hesaplanmış olup en fazla askorbik asit kaybı SHK (%31.77) ve KK-KDKPK (%28.93) ile elde edilen örneklerde olduğı görülmektedir.

Köpük kurutma yaklaşımıyla kurutulan örneklerde (KK-KDKPK) kuruma süresinin çok kısa olmasına rağmen askorbik asit kaybının çok fazla olmasının sebebi köpük yapının pürenin yüzey alanını arttırması ve yapısal gözeneklilik nedeniyle oksijen ile temasın fazla olması ile ilişkilendirilebilir (Mounir 2018). Ayrıca ilave edilen protein izolatlarının Askorbik asit sonuçlarını oransal olarak düşürmüş olduğı da değerlendirilmiştir.

4.7. Kurutma kinetiğı

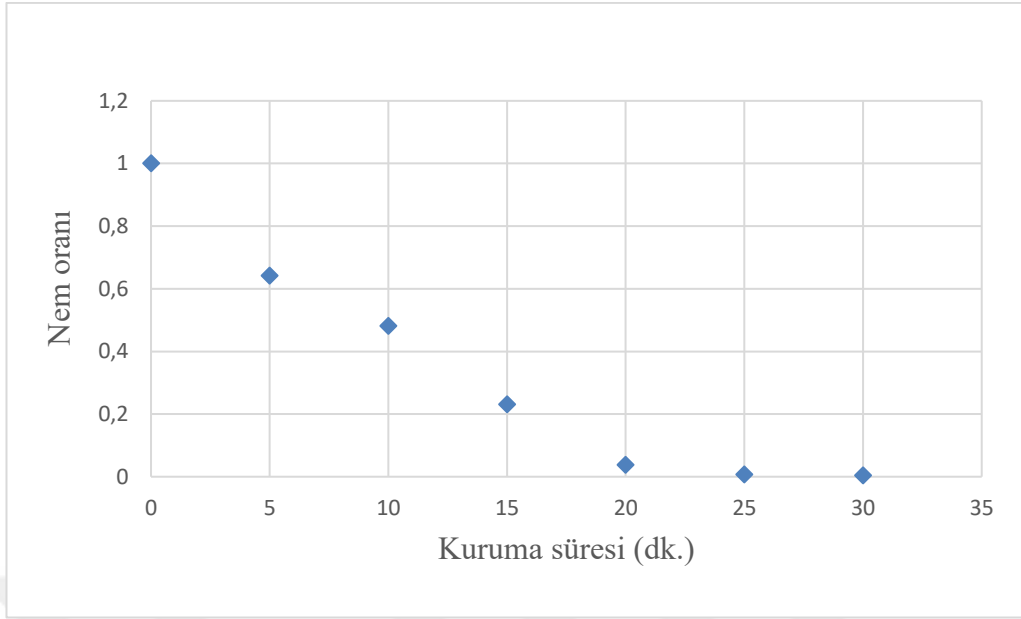
KDKPK yöntemi ile optimum şartlarda (2 mm serme kalınlığı, 82°C sirkülasyon suyu sıcaklığı ve 32°C sıcaklığı) kurutulan domates salçasının, kuruma zamanına bağılı nem oranı değişimi Şekil 4.14'te verilmiştir. Ultrases destekli kırımın pencerelessi kurutma

yöntemi uygulanarak (2 mm serme kalınlığı, 82°C su sıcaklığı ve 37-38 kHz güç) kurutulan domates salçasının kuruma zamanına bağlı nem oranı değişimi ise Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Her iki kurutma sisteminde kurumakta olan salçadan 5'er dk aralıklarla alınan örneklerin nem içeriği belirlenerek zamana bağlı grafik edilmiş ve ürünlerin kuruma davranışları ortaya koyulmuştur. Zamana bağlı serbest nem değişim verileri 22 farklı matematiksel modele uygunluğu denenerek geliştirilen kurutma yaklaşımlarına özgü en uygun kurutma modeli belirlenmiştir. (Çizelge 4.37).

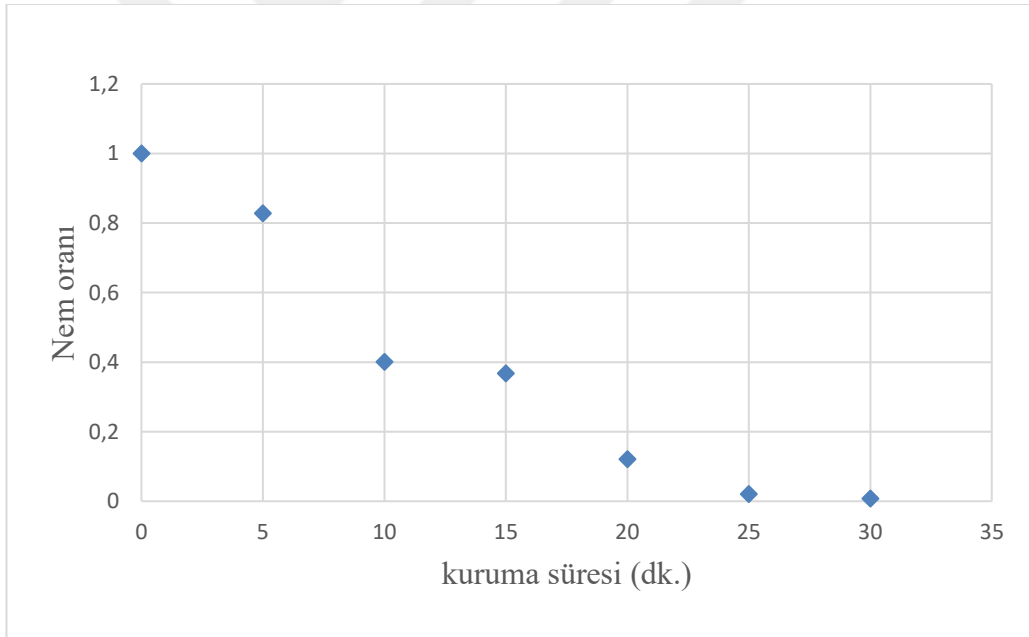
Matematiksel modellerin uygunluğu düzeltilmiş R^2 , ki-kare (χ^2) ve hata kareler ortalaması (RMSE) değerleri kullanılarak test edilmiştir. En uygun model en yüksek düzeltilmiş R^2 ile en düşük χ^2 ve RMSE değerlerine sahip model olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.37 incelendiğinde; KDKPK sistemi için değerlendirilen modeller arasında Newton, Difüzyon yaklaşımı, Modifiye iki terimli (I), Modifiye iki terimli (V) ve Verma modellerinin düzeltilmiş R^2 değerleri yüksek bulunmuş olup kurutma davranışını en iyi yansıtan modelin en düşük χ^2 değerine göre Newton modeli olduğu belirlenmiştir. UDKPK sistemi için de değerlendirilen modeller arasında Newton, Difüzyon yaklaşımı, Modifiye iki terimli (V) ve Verma modellerinin düzeltilmiş R^2 değerleri yüksek bulunmuştur. UDKPK sisteminde domates salçası kurutma davranışını en iyi yansıtan modelin de en düşük χ^2 değerine göre Newton modeli olduğu saptanmıştır. KDKPK ile UDKPK sistemlerinde domates salçasının kurutulmasını en iyi modelleyen Newton modellerinin katsayıları Çizelge 4.38'de verilmiştir.

Domates salçasının KDKPK ile UDKPK yöntemleriyle kurutulmasında, modellerin uyumunu gösteren R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerlerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kuruma süresinin kısa olması ve kurutma işlemi sırasında pürelerin nem içeriklerini belirlemek amacıyla bant üzerinde aynı noktadan tekrar örnek alma imkanının bulunmaması, örnekleme sırasındaki nem değişimleri modelleme çalışmalarında varyasyonlara sebep olmaktadır.



Şekil 4.14. KDKPK sisteminde kurutulan salçanın nem oranının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.15. UDKPK sisteminde kurutulan salçanın nem oranının zamana bağlı değişimi

Çizelge 4.37. KDKPK ve UDKPK yöntemleri ile domates salçasının kurutulmasının farklı kurutma modellerine uygunluğu

	Model	χ^2	RMSE	R^2	R^2_{dzt}
KDKPK	Newton	0.005228	0.066941	0.972286	0.944573
	Logaritmik	0.126092	0.268426	0.957789	0.915578
	Modifiye İki Terimli (I)	0.007842	0.066941	0.972286	0.944573
	Modifiye İki Terimli (III)	0.120045	0.26191	0.919216	0.838433
	Modifiye İki Terimli (V)	0.007849	0.066972	0.972352	0.944705
	İki Terimli Ekspansiyel	0.008194	0.076502	0.964785	0.929571
	Difüzyon Yaklaşımı	0.008042	0.067791	0.971649	0.943298
	Verma	0.007849	0.066972	0.972352	0.944705
	Vega-Galvez I	0.202522	0.38034	0.969233	0.938465
	Jena Das	0.266899	0.338209	0.931594	0.863189
	Noomhorm ve Verma	0.076034	0.147391	0.959215	0.91843
	Henderson ve Henderson	0.146074	0.323014	0.948357	0.896715
	Parabolik	0.407412	0.482501	0.903312	0.806625
	Asimptotik	0.126092	0.268426	0.957789	0.915578
UDKPK	Newton	0.009521	0.09034	0.954271	0.908542
	Logaritmik	0.184286	0.32451	0.941631	0.883262
	İki Terimli	0.125289	0.231723	0.831617	0.663233
	Modifiye İki Terimli (I)	0.016259	0.096388	0.949263	0.898526
	Modifiye İki Terimli (III)	0.121854	0.263877	0.886602	0.773203
	Modifiye İki Terimli (V)	0.015957	0.09549	0.951024	0.902049
	İki Terimli Ekspansiyel	0.015335	0.104661	0.938162	0.876324
	Difüzyon Yaklaşımı	0.014282	0.09034	0.954271	0.908542
	Verma	0.015957	0.09549	0.951024	0.902049
	Vega-Galvez I	0.232506	0.407524	0.936247	0.872494
	Jena Das	0.317534	0.368898	0.927762	0.855525
	Noomhorm ve Verma	0.133427	0.195248	0.901764	0.803529
	Henderson ve Henderson	0.166882	0.345255	0.939909	0.879817
	Parabolik	0.467791	0.517019	0.921537	0.843074
	Asimptotik	0.184286	0.32451	0.941631	0.883262

Çizelge 4.38.KDKPK ile UDKPK ile elde edilen domates tozlarına ait model katsayıları

	KDKPK	UDKPK
Model	Newton	Newton
Model katsayısı	k	k
	0.0988	0.0834

4.8. Depolama Testleri

4.8.1. Nem içeriği ve su aktivitesi

Farklı kurutma uygulamaları üretilen domates tozlarının depolama sıcaklığına ve süresine bağlı olarak nem miktarı ve su aktivitesi değerleri Çizelge 4.39’da verilmiştir.

Çizelge 4.39. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak nem içeriği ve su aktivitesi sonuçları

Uygulama	Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama Süresi (Gün)				
		0	15	30	45	60
Nem içeriği (g su / 100 g örnek)						
KDKPK	4 °C	5.78±0.02	6.11±0.08	6.22±0.12	6.95±0.15	6.91±0.20
	25 °C	5.78±0.02	6.76±0.24	7.82±0.15	9.36±0.16	10.18±0.02
A-KDKPK	4 °C	5.60±0.20	5.81±0.04	5.34±0.07	6.34±0.11	6.35±0.15
	25 °C	5.60±0.20	6.48±0.21	6.99±0.03	8.09±0.19	10.22±0.21
KPK	4 °C	4.01±0.00	4.95±0.11	4.23±0.07	4.61±0.04	5.75±0.09
	25 °C	4.01±0.00	5.35±0.24	5.72±0.09	6.32±0.07	8.83±0.18
β-KDKPK	4 °C	5.03±0.20	5.33±0.24	5.65±0.25	6.03±0.17	6.99±0.10
	25 °C	5.03±0.20	6.39±0.04	6.59±0.09	8.63±0.06	10.53±0.28
UDKPK	4 °C	6.61±0.40	6.88±0.88	7.26±0.25	7.04±0.41	7.79±0.04
	25 °C	6.61±0.40	7.41±0.55	8.47±0.06	8.64±0.14	11.02±0.04
KPK	4 °C	5.78±0.19	6.51±0.15	6.32±0.19	6.80±0.16	7.22±0.03
	25 °C	5.78±0.19	7.30±0.30	7.68±0.06	9.12±0.12	10.60±0.09
SHK	4 °C	5.30±0.16	5.39±0.09	5.81±0.20	7.02±0.13	7.42±0.22
	25 °C	5.30±0.16	6.62±0.19	6.17±0.04	9.21±0.04	9.79±0.19
Su aktivitesi						
KDKPK	4 °C	0.35±0.00	0.36±0.00	0.35±0.00	0.36±0.00	0.35±0.00
	25 °C	0.35±0.00	0.37±0.00	0.38±0.00	0.42±0.00	0.41±0.00
A-KDKPK	4 °C	0.33±0.00	0.34±0.00	0.33±0.00	0.34±0.00	0.34±0.00
	25 °C	0.33±0.00	0.35±0.00	0.37±0.00	0.40±0.00	0.41±0.00
KPK	4 °C	0.27±0.00	0.27±0.00	0.28±0.00	0.29±0.00	0.29±0.00
	25 °C	0.27±0.00	0.30±0.00	0.33±0.00	0.37±0.00	0.37±0.00
β-KDKPK	4 °C	0.33±0.00	0.34±0.00	0.33±0.00	0.34±0.00	0.34±0.00
	25 °C	0.33±0.00	0.36±0.00	0.38±0.00	0.40±0.00	0.41±0.00
UDKPK	4 °C	0.35±0.00	0.35±0.00	0.34±0.00	0.35±0.00	0.35±0.00
	25 °C	0.35±0.00	0.36±0.00	0.39±0.00	0.41±0.00	0.41±0.00
KPK	4 °C	0.34±0.00	0.35±0.00	0.35±0.02	0.35±0.00	0.35±0.00
	25 °C	0.34±0.00	0.36±0.00	0.38±0.00	0.40±0.00	0.41±0.00
SHK	4 °C	0.34±0.00	0.33±0.00	0.33±0.00	0.34±0.00	0.34±0.00
	25 °C	0.34±0.00	0.35±0.00	0.37±0.00	0.40±0.00	0.40±0.01

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırıyım pencereleli kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırıyım pencereleli kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırıyım pencereleli kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK; β-siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırıyım pencereleli kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırıyım pencereleli kurutma, KPK; kırıyım pencereleli kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Gıdalardaki toplam su içeriğini yansıtan nem oranı, özellikle toz formdaki ürünler başta olmak üzere tüm gıdaların fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Toz gıdalarda sıklıkla karşılaşılan ve ürünün depolanmasını doğrudan etkileyen topaklaşma ve kekleşme gibi problemler, ürünün nem oranıyla doğrudan ilişkilidir (Chegini & Ghobadian, 2005).

Çizelge 4.40’da farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının nem ve su aktivitesi değerlerine ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Bu tabloya göre örneklerin su aktivitesi ve nem içerikleri üzerine kurutma metotlarının, depolama sıcaklığının, depolama süresinin ve varyasyon kaynaklarının birbiriyle etkileşiminin istatistiksel açıdan önemli ($p<0.01$) olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.40. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının nem ve su aktivitesi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Nem içeriği		a_w	
		KO	F	KO	F
U (Uygulama)	6	11.41	132.37**	0.0102	755.70**
G (depolama süresi)	4	40.10	465.19**	0.0082	603.63**
S (depolama sıcaklığı)	1	75.02	870.22*	0.0471	3493.53**
U x G	24	0.4273	4.96**	0.0000	7.08**
U x S	6	0.1362	1.58	0.0000	6.48**
G x S	4	10.95	127.02**	0.0059	441.58**
U x G x S	24	0.1315	1.53**	0.0000	1.21**
Hata	70	0.0862	0.0001		

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * $p<0.05$, ** $p<0.01$

Çizelge 4.41. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının nem ve su aktivitesi değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Nem (g su/100 g örnek)	a_w
KDKPK	7.19±1.44 ^b	0.370±0.03 ^a
A-KDKPK	6.68±1.42 ^c	0.353±0.03 ^c
KK-KDKPK	5.38±1.39 ^d	0.302±0.04 ^d
β-KDKPK	6.62±1.67 ^c	0.355±0.02 ^c
UDKPK	7.77±1.34 ^a	0.370±0.02 ^b
KPK	7.31±1.45 ^b	0.364±0.01 ^b
SHK	6.80±1.53 ^c	0.353±0.03 ^c
Depolama sıcaklığı		
4 °C	6.09±0.93 ^b	0.334±0.02 ^b
25 °C	7.55±1.82 ^a	0.370±0.03 ^a
Depolama süresi (gün)		
0	5.44±0.77 ^c	0.330±0.02 ^d
15	6.23±0.81 ^d	0.341±0.03 ^c
30	6.44±1.08 ^c	0.350±0.03 ^b
45	7.43±1.38 ^b	0.368±0.04 ^a
60	8.54±1.75 ^a	0.370±0.03 ^a

Değerler ortalama±standart sapma olarak verilmiş olup, aynı sütundaki farklı harfler önemli seviyede farklılığı ifade eder.

Domates tozlarının depolama süresi ve sıcaklığına bağlı nem ve su aktivitesi değerlerinin değişimine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları 4.41’de verilmiştir. Depolama süresi boyunca domates tozlarının nem içeriklerinde bir artış vardır. 25 °C’de depolanan tozların nem içeriklerinin, 4 °C sıcaklıkta depolanan tozlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Örneklerin su aktivitesi değerlerinin de nem içeriklerindeki gibi

benzer sonuçlar gösterdiği, depolama sürecince örneklerin su aktivitesinin arttığı ve 25°C sıcaklıkta depolanan ürünlerin su aktivitesi değerlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır.

4.8.2. Renk özellikleri

Farklı kurutma uygulamaları ile kurutulmuş domates tozlarının depolama süresine bağlı renk değerleri Çizelge 4.42’de verilmiştir. Çizelge 4.42 incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların L* değerlerinin 51.33-53.27, A-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 53.58-55.89, KK-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 56.78-60.25, β-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 54.32-58.86, UDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 52.27-58.89, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 50.51-55.87, SHK yöntemi ile elde edilen tozların ise 49.36-54.66 değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.42. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak renk sonuçları

Uygulama	Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama Süresi (Gün)				
		0	15	30	45	60
L						
KDKPK	4 °C	51.33±0.33	52.65±0.11	51.50±0.40	51.44±0.04	53.27±0.06
	25 °C	51.33±0.33	49.74±1.17	48.57±0.01	47.44±0.09	48.74±0.25
A-KDKPK	4 °C	53.58±0.44	54.37±0.52	54.63±0.26	54.38±0.23	55.89±0.04
	25 °C	53.58±0.44	52.61±2.07	50.18±0.22	47.95±0.05	50.21±0.57
KK-KDKPK	4 °C	56.78±0.04	57.57±0.09	58.69±0.13	57.38±0.21	60.25±0.11
	25 °C	56.78±0.04	52.73±2.05	54.01±0.11	53.21±0.54	54.50±0.41
β-KDKPK	4 °C	54.32±0.26	52.78±0.20	55.02±0.63	52.47±0.07	58.86±0.05
	25 °C	54.32±0.26	50.39±0.59	50.64±0.57	48.41±0.24	50.60±0.10
UDKPK	4 °C	52.27±0.08	55.15±0.35	55.57±0.21	53.00±0.20	58.89±0.10
	25 °C	52.27±0.08	50.32±0.73	50.10±0.61	50.40±0.03	50.52±0.06
KPK	4 °C	50.51±0.29	51.90±0.22	52.87±0.09	51.57±0.00	55.87±0.18
	25 °C	50.51±0.29	48.91±0.19	48.18±0.44	47.54±0.06	48.63±0.22
SHK	4 °C	49.36±0.08	51.16±0.48	52.20±0.31	50.29±0.01	54.66±0.02
	25 °C	49.36±0.08	48.55±0.00	49.20±0.06	48.98±0.26	50.44±0.14
a						
KDKPK	4 °C	23.20±0.28	22.14±0.62	22.58±0.04	22.12±0.32	20.16±0.04
	25 °C	23.20±0.28	22.03±0.40	21.41±0.34	20.08±0.04	18.05±0.15
A-KDKPK	4 °C	24.13±0.41	23.66±0.42	22.59±0.00	21.95±0.21	20.33±0.06
	25 °C	24.13±0.41	22.91±0.11	22.58±0.15	21.38±0.05	19.10±0.21
KPK	4 °C	21.50±0.03	21.48±0.19	19.47±0.01	20.42±0.06	17.17±0.04
	25 °C	21.50±0.03	21.87±0.26	22.27±0.09	21.24±0.36	19.69±0.32
β-KDKPK	4 °C	20.39±0.09	21.49±0.16	19.31±0.12	21.17±0.13	16.28±0.10
	25 °C	20.39±0.09	21.73±0.01	21.04±0.05	20.87±0.09	18.40±0.00
UDKPK	4 °C	24.80±0.08	22.92±0.01	21.16±0.13	23.10±0.06	16.92±0.14
	25 °C	24.80±0.08	22.95±0.04	22.61±0.05	20.96±0.01	19.83±0.57
KPK	4 °C	22.92±0.04	21.12±0.19	19.56±0.55	21.14±0.03	17.40±0.29
	25 °C	22.92±0.04	21.35±0.01	20.59±0.12	19.28±0.33	17.85±0.01
SHK	4 °C	22.66±0.24	20.73±0.10	19.09±0.42	20.65±0.07	16.83±0.06
	25 °C	22.66±0.24	20.69±0.29	20.04±0.14	18.43±0.32	17.05±0.15
b						
KDKPK	4 °C	24.12±0.00	26.21±0.00	26.39±0.30	27.64±0.31	26.30±0.03
	25 °C	24.12±0.00	23.77±0.33	24.27±0.07	23.82±0.11	21.73±0.17
A-KDKPK	4 °C	25.98±0.00	27.35±0.41	28.93±0.15	28.22±0.25	28.40±0.11
	25 °C	25.98±0.00	25.07±0.26	26.21±0.01	25.16±0.06	23.04±0.71
KPK	4 °C	24.82±0.18	28.14±0.10	29.50±0.48	29.08±0.13	28.63±0.23
	25 °C	24.82±0.18	26.81±0.07	27.71±0.11	28.08±0.16	26.70±0.02
β-KDKPK	4 °C	23.93±0.02	26.97±0.14	26.93±0.18	26.72±0.19	28.15±0.75

Devamı arkada

Uygulama	Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama Süresi (Gün)				
		0	15	30	45	60
UDKPK	25 °C	23.93±0.02	24.05±0.37	24.93±0.51	25.12±0.29	23.99±0.31
	4 °C	24.82±0.06	25.94±0.45	28.26±0.15	28.31±0.28	28.27±0.38
KPK	25 °C	24.82±0.06	24.42±0.61	26.39±0.15	26.73±0.13	24.05±0.85
	4 °C	23.54±0.29	26.23±0.24	26.74±0.11	26.29±0.25	26.78±0.09
SHK	25 °C	23.54±0.29	23.88±0.70	23.92±0.20	23.32±0.57	21.84±0.63
	4 °C	21.46±0.26	24.84±0.23	24.93±0.33	23.15±0.04	24.45±0.24
	25 °C	21.46±0.26	21.01±0.31	22.79±0.09	22.41±0.11	22.80±0.44

Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma sisteminde köpük kurutma, β -KDKPK; β -siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırınım pencereli kurutma, KPK; kırınım pencereli kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Çizelge 4.43. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	L*		a *		b*	
		KO	F	KO	F	KO	F
U (Uygulama)	6	88.54	568.81**	17.96	181.04**	42.92	111.28**
G (depolama süresi)	4	25.21	161.94**	83.08	837.30**	19.90	51.61**
S(depolama sıcaklığı)	1	425.40	2732.81**	0.3196	3.22	155.40	402.93**
U x G	24	1.93	12.41**	1.58	16.00**	1.44	3.75**
U x S	6	2.39	15.33**	3.26	32.87**	1.58	4.09*
G x S	4	36.44	234.11**	4.88	49.13**	13.13	34.06**
U x G x S	24	1.065	6.85**	0.8945	9.02**	0.6980	1.81*
Hata	70	0.1556		0.099		0.3856	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01

Çizelge 4.44. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının renk değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	L*	a*	b*
KDKPK	50.45±1.93 ^d	21.31±1.54 ^c	24.91±1.74 ^d
A-KDKPK	52.43±2.57 ^c	22.07±1.52 ^a	26.48±1.83 ^b
KK-KDKPK	56.34±2.25 ^a	20.57±1.51 ^d	27.72±1.39 ^a
β -KDKPK	52.59±2.98 ^{bc}	20.07±1.68 ^e	25.64±1.62 ^c
UDKPK	52.99±2.84 ^b	21.69±2.19 ^b	26.35±1.72 ^b
KPK	50.69±2.52 ^d	20.13±1.69 ^e	24.72±1.76 ^d
SHK	50.57±1.80 ^d	19.57±1.81 ^f	23.09±1.40 ^e
Depolama sıcaklığı			
4 °C	54.07±2.71 ^a	20.91±2.12	26.47±1.95 ^a
25 °C	50.58±2.29 ^b	21.02±1.81	24.36±1.74 ^b
Depolama süresi (Gün)			
0	52.60±2.34 ^b	22.80±1.40 ^a	24.09±1.31 ^c
15	52.09±2.53 ^c	21.93±0.90 ^b	25.14±1.95 ^b
30	52.24±2.96 ^b	21.02±1.33 ^c	26.28±1.89 ^a
45	51.03±2.80 ^c	20.91±1.13 ^c	26.00±2.12 ^a
60	53.66±3.79 ^a	18.21±1.30 ^d	25.36±2.47 ^b

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiş olup, aynı sütundaki farklı harfler önemli seviyede farklılığı ifade eder.

Yedi farklı kurutma uygulaması ile üretilen örneklerin depolama süresi ve depolama sıcaklığına bağlı olarak renk değerlerinin ortalamalarına ait varyans analizi tablosu ile Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları sırasıyla Çizelge 4.43 ve Çizelge 4.44’ de verilmiştir. Çizelge 4.43’te verilen varyans analizi tablosuna göre, örneklerin L* ve b* değerleri üzerine uygulanan kurutma metotlarının, depolama sıcaklığının, depolama süresinin ve bunların kendi arasındaki interaksyonlarının önemli ölçüde ($p<0.01$) etkisi olduğu görülmektedir. Örneklerin a* değerleri üzerine de depolama sıcaklığı hariç L* ve b*değerlerine etki eden diğer tüm varyasyon kaynaklarının etkisi bulunmaktadır.

4°C’de depolanan domates tozlarının L* ve b*değerlerinin 25°C’de depolanan örneklere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Depolama süresince örneklerin genel olarak L* değeri artmış ve en yüksek L* değeri 60 gün depolanan örneklerde ölçülmüştür. Örneklerin a* değerleri de depolama süresi boyunca azalmış olup, ürünlerin rengi depolama süresi sonunda açılmış ve daha parlak-aydınlık renk gözlemlenmiştir. Likopen yapısında bulunan konjuge çift bağlar nedeniyle oksijene duyarlı bir bileşendir. Domates tozlarının depolama boyunca ortamdaki oksijene maruz kalmasına bağlı olarak likopen miktarının azaldığı ve buna bağlı olarak da a değerinin düştüğü değerlendirilmiştir. Nitekim domates tozlarının 6 ay süreyle depolandığı bir çalışmada da a değerlerinin ve toplam karotenoid miktarlarının zamanla azaldığı rapor edilmiştir (Kaur vd. 2020). Domates tozlarının farklı sıcaklıklarda (0, 25 ve 37°C) depolandığı başka bir çalışmada da depolama süresine bağlı a değeri azalmış olup 37°C depolanan örneklerde bu azalışın daha fazla olduğu bildirilmiştir (Liu vd. 2010).

4.8.3. Partikül Boyutu

Domates tozlarının depolama süresi ve sıcaklığa bağlı partikül boyutu değişimleri Çizelge 4.45’te verilmiştir. Çizelge 4.45 incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların ortalamaların D [4. 3] değerleri 265.30- 501.62, A-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 245.44-441.43, KK-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 160.70-235.63, β-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 230.79-643.31, UDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 203.64-734.48, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 295.22-540.38, SHK yöntemi ile elde edilen tozların ise 250.70-357.13 değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.45. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının partikül boyut değerleri

Uygulama	Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama Süresi (Gün)				
		0	15	30	45	60
d(0.1)						
KDKPK	4 °C	81.78±2.49	86.65±6.59	82.03±0.18	100.91±0.90	115.64±10.46
	25 °C	81.78±2.49	90.28±1.07	111.57±8.17	162.50±4.91	171.65±1.03
A-KDKPK	4 °C	68.76±3.87	71.27±3.55	84.22±1.18	75.52±1.53	92.67±11.22
	25 °C	68.76±3.87	84.90±8.24	92.64±0.28	109.68±2.46	204.07±3.12
KKKDKPK	4 °C	36.61±0.49	37.54±0.32	48.91±1.27	69.23±2.01	50.45±1.27
	25 °C	36.61±0.49	49.97±0.35	54.97±1.29	65.78±1.87	81.30±3.04
β-KDKPK	4 °C	57.18±0.15	71.50±1.06	64.12±0.96	65.12±1.07	64.16±4.64
	25 °C	57.18±0.15	95.41±7.60	89.09±3.96	125.01±0.85	166.88±32.08
UDKPK	4 °C	74.41±1.31	64.74±3.42	70.96±2.61	89.16±5.14	89.88±2.77
	25 °C	74.41±1.31	93.06±1.84	108.76±4.28	140.34±18.70	183.12±25.51
KPK	4 °C	79.31±4.67	64.57±0.03	73.34±3.00	83.61±5.06	106.79±8.49
	25 °C	79.31±4.67	90.90±4.30	105.42±10.98	162.40±7.99	188.47±18.99
SHK	4 °C	69.08±0.68	65.90±4.16	78.99±0.71	94.81±5.96	71.29±5.02
	25 °C	69.08±0.68	80.02±4.89	90.72±1.60	88.72±5.23	95.08±2.50
d(0.5)						
KDKPK	4 °C	210.76±15.75	222.46±26.40	228.97±2.83	257.85±2.67	349.88±15.17
	25 °C	210.76±15.75	246.44±0.03	314.35±27.85	341.48±9.87	452.88±12.20
A-KDKPK	4 °C	179.33±15.74	207.14±11.54	223.53±4.61	213.91±7.52	240.51±27.23
	25 °C	179.33±15.74	235.78±25.29	278.98±7.46	308.74±17.20	416.86±11.35
KKKDKPK	4 °C	126.58±2.66	142.99±2.73	158.00±3.25	176.38±7.91	165.64±6.84
	25 °C	126.58±2.66	175.06±1.35	176.62±10.67	187.55±7.04	200.14±2.12
β-KDKPK	4 °C	169.33±7.03	199.50±7.50	203.07±3.03	204.54±4.32	218.89±12.58
	25 °C	169.33±7.03	212.99±14.14	286.35±16.87	371.33±14.32	441.51±25.91
UDKPK	4 °C	172.02±0.80	173.80±9.57	192.95±3.82	220.84±5.12	218.60±24.91
	25 °C	172.02±0.80	237.66±7.91	245.27±5.66	367.22±42.24	569.96±76.02
KPK	4 °C	255.57±25.47	207.85±0.48	231.69±3.09	249.24±3.11	294.30±15.08
	25 °C	255.57±25.47	253.06±16.55	405.05±44.27	369.03±30.79	460.03±34.29
SHK	4 °C	223.73±2.37	230.72±9.89	242.02±0.34	262.72±13.13	263.69±13.11
	25 °C	223.73±2.37	263.89±9.68	231.26±5.77	269.69±22.76	304.67±10.02
d(0.9)						
KDKPK	4 °C	546.19±29.06	549.10±18.61	546.72±17.04	570.22±7.18	649.13±35.61
	25 °C	546.19±29.06	593.56±16.66	650.35±5.35	663.89±42.82	889.93±30.05
A-KDKPK	4 °C	524.79±1.34	555.10±10.69	576.45±24.01	570.80±31.60	583.61±1.41
	25 °C	524.79±1.34	590.84±26.68	606.46±0.93	838.14±10.34	719.34±8.65
KKKDKPK	4 °C	326.78±14.56	379.84±14.02	419.77±12.96	412.45±27.06	490.35±6.88
	25 °C	326.78±14.56	468.22±34.88	470.07±11.81	480.14±21.69	448.36±6.83
β-KDKPK	4 °C	524.83±1.09	471.19±23.60	529.06±1.63	536.18±5.05	533.64±9.64
	25 °C	524.83±1.09	518.86±1.12	580.00±1.90	904.83±20.27	1608.02±4.61
UDKPK	4 °C	386.93±6.60	450.77±35.23	508.88±13.40	624.99±1.25	599.95±60.93
	25 °C	386.93±6.60	824.39±43.46	599.80±0.65	685.28±1.69	1588.67±11.24
KPK	4 °C	584.48±5.72	541.64±4.67	548.50±8.61	566.66±39.51	614.51±32.92
	25 °C	584.48±5.72	608.87±3.12	765.39±19.48	1084.08±12.56	1012.10±8.33
SHK	4 °C	473.32±4.93	499.93±10.25	474.25±5.33	490.54±1.14	508.47±33.27
	25 °C	473.32±4.93	501.06±1.92	511.71±4.83	561.86±1.59	712.99±8.16
D [4. 3]						
KDKPK	4 °C	265.30±27.37	277.03±19.54	279.65±4.18	301.32±4.03	368.57±19.42
	25 °C	265.30±27.37	307.34±16.94	357.26±13.58	382.91±13.91	501.62±14.40
A-KDKPK	4 °C	245.44±6.90	264.83±3.45	278.42±3.13	270.17±5.92	303.12±26.63
	25 °C	245.44±6.90	290.92±23.57	319.74±5.05	406.82±16.95	441.43±4.29
KKKDKPK	4 °C	160.70±4.03	179.46±3.35	205.97±5.83	210.18±10.76	230.67±6.36
	25 °C	160.70±4.03	220.48±11.33	222.98±5.68	233.88±11.55	235.65±0.08
β-KDKPK	4 °C	230.79±3.40	238.48±11.77	252.84±3.31	256.63±4.22	265.31±8.15
	25 °C	230.79±3.40	265.65±6.04	313.17±10.42	456.67±16.94	643.31±18.75
UDKPK	4 °C	203.64±0.59	223.28±6.04	242.51±6.13	299.63±0.50	289.00±1.91
	25 °C	203.64±0.59	395.09±8.18	314.36±15.01	397.47±16.74	734.48±72.27

(Devamı arkada)

Uygulama	Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama Süresi (Gün)				
		0	15	30	45	60
KPK	4 °C	295.22±14.17	258.69±0.40	278.31±4.31	297.28±14.31	331.43±17.07
	25 °C	295.22±14.17	306.68±8.41	435.46±28.17	497.67±19.15	540.38±17.70
SHK	4 °C	250.70±2.46	260.06±9.40	265.46±7.48	279.69±7.21	300.23±47.12
	25 °C	250.70±2.46	279.68±5.09	281.73±12.42	324.49±12.97	357.13±6.53
D [3, 2]						
KDKPK	4 °C	160.41±9.05	169.27±14.87	165.50±0.01	194.50±1.45	233.23±14.99
	25 °C	160.41±9.05	181.23±2.10	219.36±15.37	276.93±7.56	324.54±0.15
A-KDKPK	4 °C	138.17±8.72	147.50±7.90	167.73±1.67	152.24±3.22	182.45±21.10
	25 °C	138.17±8.72	170.47±16.67	188.46±0.64	224.89±6.63	339.49±11.97
KKKDKPK	4 °C	64.32±1.26	67.21±1.11	104.39±2.96	108.13±3.72	131.95±4.68
	25 °C	64.32±1.26	108.16±0.12	115.81±3.94	131.40±4.55	152.78±4.16
β-KDKPK	4 °C	120.47±1.66	144.80±0.78	136.98±1.90	137.70±2.09	140.41±9.28
	25 °C	120.47±1.66	175.29±13.34	185.26±8.57	255.47±4.80	336.92±48.42
UDKPK	4 °C	137.65±2.21	129.33±7.31	142.00±4.14	171.35±7.29	171.85±8.35
	25 °C	137.65±2.21	181.35±11.97	200.53±6.24	265.00±31.38	374.04±60.05
KPK	4 °C	166.56±11.11	138.42±0.01	155.25±3.97	172.75±6.89	210.75±12.70
	25 °C	166.56±11.11	182.99±8.99	301.20±21.39	233.80±22.08	354.62±34.23
SHK	4 °C	147.18±1.72	141.66±8.56	161.20±0.66	185.84±9.66	157.05±10.11
	25 °C	147.18±1.72	166.55±7.99	174.04±4.34	182.83±10.68	200.31±5.27

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırınım pencere kurutma, A-KDKPK: askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencere kurutma, KK-KDKPK: Kızılötesi destekli kırınım pencere kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK: β-siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencere kurutma, UDKPK: Ultrases destekli kırınım pencere kurutma, KPK: kırınım pencere kurutma, SHK: sıcak hava kurutma

Çizelge 4.46. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının partikül boyut değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	d(0.1)		d(0.5)		d(0.9)		D [4, 3]		D [3, 2]	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
U	6	7105	134.8**	37587	32.00**	177912	267.9**	47424	168.5**	26489	136.81**
G	4	13298	252.4**	58900	50.15**	315803	477.6**	91418	324.9**	46646	240.92**
S	1	31423	596.4**	133030	113.2**	923240	1390**	249688	887.3**	10933	564.67**
U x G	24	477.37	9.06**	4418	3.76**	53906	81.20**	6487	23.06**	1231	6.36**
U x S	6	1155	21.94**	8104	6.90**	68924	103.8**	14636	52.02**	3558	18.38**
G x S	4	4585	87.04**	14401	12.26**	143878	216.6**	30463	10.827**	13815	71.35**
U x G x S	24	442.96	8.41**	4286	3.65**	53058	79.91**	2734	26.78**	1595	8.24**
Hata	70	52.68		1174		663.9		281.3		193.6	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01

Farklı kurutma uygulamaları ile elde edilen domates tozlarının partikül boyutlarının hangi varyasyon kaynağından, istatistiki açıdan hangi önem düzeyinde etkilendiğini anlamak adına varyans analizi uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 4.46’da verilmiştir. Varyans analiz tablosu incelendiğinde domates tozlarının partikül boyutu değerleri üzerine kurutma uygulamalarının, depolama süresinin, depolama sıcaklığının ve bunların ikili ve üçlü etkileşimlerinin istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) düzeyde etkisi olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4.47. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının partikül boyut değerlerinin ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulama	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	D [4, 3]	D [3, 2]
KDKPK	108.48±7.29 ^a	283.5±17.50 ^a	619.24±24.63 ^c	330.63±16.52 ^b	213.30±13.93 ^a
A-KDKPK	95.25±8.83 ^c	248.41±15.85 ^{cb}	609.03±21.34 ^c	306.63±14.68 ^d	184.96±13.28 ^{bc}
KK-KDKPK	53.13±3.29 ^f	163.55±5.50 ^d	422.27±13.60 ^e	206.07±6.44 ^f	104.85±6.74 ^e
β-KDKPK	87.89±7.56 ^d	232.12±15.18 ^c	665.66±76.60 ^b	319.35±28.51 ^c	180.72±14.57 ^c
UDKPK	98.88±8.21 ^{bc}	257.04±27.44 ^b	691.07±43.42 ^b	330.31±34.78 ^b	191.08±16.91 ^b
KPK	103.41±8.95 ^b	298.14±18.76 ^a	531.05±14.94 ^a	353.63±21.90 ^a	208.29±15.43 ^a
SHK	77.99±3.23 ^e	240.73±9.61 ^{bc}	519.06±8.87 ^d	281.01±8.95 ^e	163.67±6.52 ^d
Depolama sıcaklığı					
4°C	74.32±2.08 ^b	215.40±5.28 ^b	519.06±8.87 ^b	261.71±5.05 ^b	150.18±4.06 ^b
25°C	104.28±5.11 ^a	277.05±12.24 ^a	681.48±33.91 ^a	346.18±15.05 ^a	206.07±9.37 ^a
Depolama süresi (gün)					
0	66.73±2.81 ^e	191.04±7.95 ^e	480.63±17.34 ^e	235.97±8.12 ^e	133.54±6.21 ^e
15	74.77±3.24 ^d	214.95±6.52 ^d	539.53±19.34 ^d	269.12±9.48 ^d	150.30±6.11 ^d
30	82.86±3.62 ^c	245.63±12.45 ^c	570.62±17.56 ^c	294.52±11.37 ^c	174.57±9.15 ^c
45	101.31±6.68 ^b	272.39±15.45 ^b	659.57±36.22 ^b	339.57±17.91 ^b	193.69±11.27 ^b
60	120.82±9.45 ^a	307.11±22.37 ^a	750.99±71.43 ^a	380.55±29.14 ^a	238.51±16.61 ^a

Değerler ortalama±standart sapma olarak verilmiş olup, aynı sütundaki farklı harfler önemli seviyede farklılığı ifade eder.

Çizelge 4.47’ea verilen farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının partikül boyut değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma testi sonuçlarına göre; 4°C’de depolanan örneklerin partikül boyutları 25 °C’de depolanan örneklerden daha düşük hesaplanmıştır. Ayrıca depolama süresine bağlı olarak da depolama süresi arttıkça tozların partikül boyu değerlerinin arttığı görülmektedir. Domates tozlarının nem içeriği depolama süresince artmış olup özellikle bu artış 25°C depolanan örneklerde fazla bulunmuştur. Domates tozlarının nem içeriklerinin artması ile yapışkanlık artmış ve buna bağlı partikül boyutları artmıştır (Fitzpatrick vd. 2004). d(0.9) ile d(0.1) arasındaki fark partikül boyutu dağılımının aralığı hakkında bilgi vermektedir. Bu iki değer arasındaki farkın yüksek olması çok ince ve çok kalın partiküllerin bir arada bulunduğu anlamına gelmektedir. Depolama boyunca domates tozlarının partikül boyutları aralığı incelendiğinde en düşük farkın köpük kurutma yaklaşımıyla kurutulan örneklerde olduğu görülmektedir. Bu durum, köpük kurutmanın daha homojen partikül dağılımı sağladığını göstermekte, bu yöntemle elde edilen tozların partikül boyutlarında meydana gelen değişimin, diğer kurutma yaklaşımlarına kıyasla daha az olduğu değerlendirilmiştir.

4.8.4. 5-Hidroksimetilfurfural analizi

Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak HMF sonuçları Çizelge 4.48’de verilmiştir. Çizelge 4.48 incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların HMF miktarlarının 5.02-8.01, A-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 2.17-5.85, KK-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 2.62-5.16, B-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 5.55-8.85, UDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 2.76-6.23, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 4.15-9.02, SHK yöntemi ile elde edilen tozların ise 3.34-8.09 mg /100 g KM değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.48. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak HMF sonuçları

Uygulama	Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama süresi (Gün)				
		0	15	30	45	60
KDKPK	4 °C	5.02±0.20	5.06±0.04	5.51±0.03	6.62±0.15	6.99±0.26
	25 °C	5.02±0.20	5.47±0.17	6.52±0.26	7.54±0.08	8.01±0.08
A-KDKPK	4 °C	2.17±0.24	2.29±0.09	3.03±0.19	4.11±0.15	4.79±0.20
	25 °C	2.17±0.24	2.67±0.04	4.21±0.01	5.03±0.12	5.85±0.15
KKKDKPK	4 °C	2.62±0.30	3.07±0.24	3.32±0.19	4.46±0.05	4.84±0.05
	25 °C	2.62±0.30	3.70±0.17	4.35±0.07	5.00±0.06	5.16±0.12
β-KDKPK	4 °C	5.55±0.07	5.16±0.05	5.80±0.03	6.24±0.06	7.64±0.08
	25 °C	5.55±0.07	5.60±0.06	6.92±0.12	8.15±0.25	8.85±0.14
UDKPK	4 °C	2.76±0.22	3.45±0.26	4.16±0.08	4.73±0.24	5.57±0.03
	25 °C	2.76±0.22	3.97±0.34	4.78±0.09	5.55±0.18	6.23±0.10
KPK	4 °C	4.15±0.10	4.35±0.08	5.12±0.15	6.20±0.15	7.66±0.07
	25 °C	4.15±0.10	4.75±0.10	6.28±0.35	8.08±0.46	9.02±0.08
SHK	4 °C	3.34±0.06	4.36±0.12	5.33±0.04	6.43±0.24	7.59±0.17
	25 °C	3.34±0.06	4.79±0.17	5.80±0.01	7.52±0.15	8.09±0.12

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırınım pencereci kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereci kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırınım pencereci kurutma sisteminde köpük kurutma, B-KDKPK; β-siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereci kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırınım pencereci kurutma, KPK; kırınım pencereci kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Çizelge 4.49. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının HMF değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U (Uygulama)	6	29.44	515.98**
G (depolama süresi)	4	49.64	870.19**
S (depolama sıcaklığı)	1	14.45	253.33**
U x G	24	0.6125	10.74**
U x S	6	0.2501	4.38**
G x S	4	1.35	23.57**
U x G x S	24	0.1215	2.13**
Hata	70	0.0570	

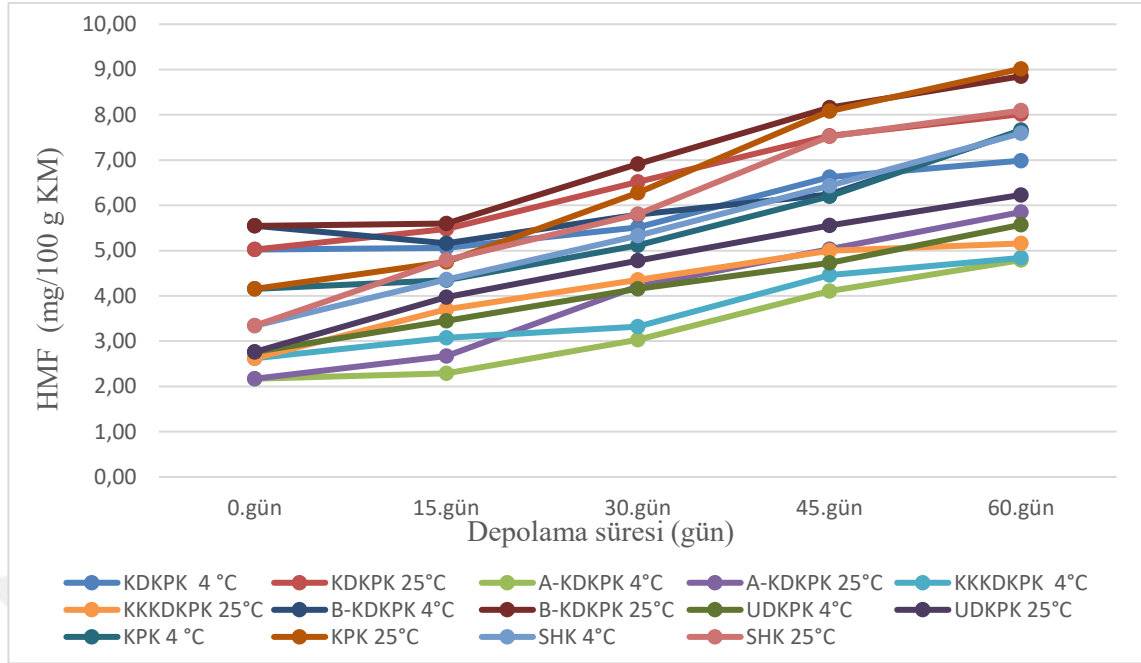
SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01

Çizelge 4.50. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının HMF değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	HMF (mg/100 g KM)
KDKPK	6.18±1.06 ^b
A-KDKPK	3.63±1.25 ^g
KK-KDKPK	3.91±0.88 ^f
β-KDKPK	6.54±1.23 ^a
UDKPK	4.40±1.06 ^e
KPK	5.98±1.66 ^c
SHK	5.66±1.54 ^c
Depolama sıcaklığı	
4 °C	4.84±1.50 ^b
25 °C	5.53±1.82 ^a
Depolama süresi (gün)	
0	3.66±1.20 ^e
15	4.19±1.02 ^d
30	5.08±1.13 ^c
45	6.11±1.34 ^b
60	6.88±1.41 ^a

Değerler ortalama±standart sapma olarak verilmiş olup, aynı sütundaki farklı harfler önemli seviyede farklılığı ifade eder.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarının verildiği Çizelge 4.50 incelendiğinde, en yüksek HMF değerleri β-siklodekstrin ilave edilerek KDKPK ile kurutulan örneklerde, en düşük en düşük HMF değerinin ise askorbik asit ilave edilerek KDKPK sisteminde kurutulan örneklerde olduğu saptanmıştır. 25°C’ de depolanan örneklerin HMF içeriği, 4°C’de depolanan tozlardan daha yüksek belirlenmiştir. 2 aylık depolama süreci boyunca depolama süresine bağlı olarak tüm örneklerin HMF miktarları artmıştır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Depolama süresine bağlı olarak HMF değişimi

Literatürde yer alan bir çalışmada %3.94 nem değeri sahip ticari domates tozları 5 ay boyunca 0, 25 ve 37°C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta depolanmış ve tozların HMF miktarları ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre depolama süresine bağlı olarak 0°C depolanan domates tozlarının HMF miktarları arasında istatistiksel açıdan bir fark bulunmazken, 25 ve 37°C depolanan örneklerin depolama süresine bağlı olarak HMF miktarlarının önemli ölçüde arttığı rapor edilmiştir (Liu vd. 2010). Soğuk işlem ile üretilen domates salçalarının 12 ay boyunca 21 ve 33°C’de depolandığı bir çalışmada da 33°C’de depolanan örneklerde depolama süresine bağlı olarak HMF miktarların önemli düzeyde arttığı bildirilmiştir (Yeom vd. 2016). Yapılan bir başka çalışmada da domates pulpu 20°C’de 6 ay depolanmış ve depolama süresinde örneklerin HMF miktarlarının (3.95’ten 9.94’e mg/kg) arttığı rapor edilmiştir (Ordenez-Santos vd. 2009).

4.8.5. Toplam fenolik madde

Farklı kurutma metotları ile kurutulan salçaların depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak belirlenen toplam fenolik madde miktarları Çizelge 4.51’de verilmiştir. Askorbik asit ilave edilerek KDKPK sisteminde kurutulan domates tozlarının toplam fenolik madde miktarı tespit edilememiştir. Uygulanan Folin–Ciocalteu yönteminde askorbik asit folin reaktifi ile reaksiyon vermiş ve toplam fenolik madde miktarı doğru ölçülememiştir (Everette vd. 2010).

Çizelge 4.51. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak toplam fenolik madde sonuçları

Uygulama	Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama Süresi (Gün)				
		0	15	30	45	60
KDKPK	4 °C	939.46±9.90	923.84±31.94	942.43±40.73	974.08±38.19	994.02±0.73
	25 °C	939.46±9.90	953.39±8.24	1006.00±4.94	1008.09±0.65	1074.53±5.38
A/KDKPK	4 °C	d.t.e.	d.t.e.	d.t.e.	d.t.e.	d.t.e.
	25 °C	d.t.e.	d.t.e.	d.t.e.	d.t.e.	d.t.e.
KKKDKPK	4 °C	726.97±8.09	694.36±10.78	694.70±1.92	640.86±17.70	686.17±10.51
	25 °C	726.97±8.09	693.13±7.83	805.19±5.88	672.55±9.33	700.79±18.54
β/KDKPK	4 °C	810.36±33.29	914.15±5.98	906.49±20.91	886.80±4.53	1008.93±10.87
	25 °C	810.36±33.29	975.86±9.42	1023.82±5.87	1035.64±3.01	1131.44±13.83
UDKPK	4 °C	728.47±37.52	715.94±0.18	715.25±19.23	709.16±1.01	751.61±21.14
	25 °C	728.47±37.52	807.37±23.59	818.81±24.88	899.30±33.33	1012.30±21.02
KPK	4 °C	938.96±24.70	1001.11±13.76	1034.74±11.65	1050.12±15.19	1220.69±9.45
	25 °C	938.96±24.70	1038.82±18.31	1068.23±5.26	1104.11±51.40	1372.37±0.58
SHK	4 °C	853.62±13.77	893.30±0.87	898.77±2.78	923.77±7.78	992.66±4.33
	25 °C	853.62±13.77	878.67±10.82	897.69±7.66	982.69±12.66	1126.90±4.69

Değerler ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. d.t.e: doğru tespit edilemedi. KDKPK: Kızılötesi destekli kırınım pencereci kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereci kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırınım pencereci kurutma sisteminde köpük kurutma, B-KDKPK; β-sikloestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereci kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırınım pencereci kurutma, KPK; kırınım pencereci kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Çizelge 4.52. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının toplam fenolik madde değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U (Uygulama)	5	364201.388	523.64**
G (depolama süresi)	4	98193.44	141.18**
S (depolama sıcaklığı)	1	122084.85	175.53**
U x G	20	11732.35	16.87**
U x S	5	7400.30	10.64**
G x S	4	14332.66	20.61**
U x G x S	20	1883.94	2.71**
Hata	60	695.52	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01

Domates tozlarının depolama süresi boyunca toplam fenolik madde miktarı sonuçlarına ait varyans analizi sonuçları ve Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları sırasıyla Çizelge 4.52 ve Çizelge 4.53'te verilmiştir. Çizelge 4.52'de verilen varyans analizi tablosu incelendiğinde örneklerin toplam fenolik madde miktarları üzerine kurutma uygulaması, depolama sıcaklığı, depolama süresi ve bu varyasyon kaynaklarının etkilerinin önemli seviyede ($p<0.01$) etkisi olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.53. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının toplam fenolik madde değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Toplam fenolik madde (mg GAE/100 g KM)
KDKPK	975.53±49.34 ^b
KK-KDKPK	704.17±44.04 ^c
β-KDKPK	950.38±92.06 ^c
UDKPK	788.67±100.03 ^d
KPK	1076.81±124.58 ^a
SHK	930.17±79.80 ^c
Depolama sıcaklığı	
4 °C	872.39±138.54 ^b
25 °C	936.19±156.56 ^a
Depolama süresi (gün)	
0	832.97±90.51 ^d
15	874.16±116.01 ^c
30	901.01±119.07 ^b
45	907.26±149.48 ^b
60	1006.04±199.52 ^a

Değerler ortalama±standart sapma olarak verilmiş olup, aynı sütundaki farklı harfler önemli seviyede farklılığı ifade eder.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre depolama süresince domates tozlarının toplam fenolik madde miktarı artmakta olup, bu artış istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) seviyededir. Ayrıca 25°C’de depolanan örneklerin toplam fenolik madde miktarındaki artışın, 4°C’de depolanan örneklerden daha fazla olduğu görülmektedir. Depolama süresine bağlı olarak ise depolama süresiyle fenolik madde miktarının doğru orantılı olarak değişim gösterdiği anlaşılmıştır.

Depolamaya bağlı olarak toplam fenolik madde miktarının artması özellikle asidik gıdalarda depolama sıcaklığına bağlı olarak bağlı fenollerin hidroliz olmasıyla ilişkilendirilebilir (Lavelli ve Giovanelli 2003). Nitekim domates pulpunun 20°C’de 6 ay depolandığı bir çalışmada da 6 aylık depolama sonunda fenolik madde içeriğinin %33 arttığı rapor edilmiştir (Ordenez-Santos vd. 2009) Ayrıca fenolik madde artışının Maillard reaksiyonları sırasında oluşan melanoidin benzeri ürünlerden kaynaklı oluşabileceği de düşünülmektedir. HMF Maillard reaksiyonlarının ilerleyen aşamalarında gerçekleşmekte ve bu reaksiyonların sonunda melanoidin adı verilen koyu renkli bileşikler oluşmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında elde edilen domates tozlarının depolama süresince HMF içeriğinde gözlemlenen artış, Maillard reaksiyonlarının ilerlediğini ve bu süreçte melanoidin oluşumunun mümkün olduğunu göstermektedir. Melanoidinlerin toplam fenolik madde tayininde kullanılan Folin-Ciocalteu yönteminde reaktifler ile etkileşime girmesi, ölçülen değerlerin gerçek fenolik bileşik içeriğini yansıtmamasına neden olabilmektedir (Kitchen ve Williamson 2024).

4.8.6. Likopen miktarı

Domates tozlarının depolama süresi ve sıcaklığa bağlı olarak likopen değerleri Çizelge 4.54'te verilmiştir. Çizelge 4.54 incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların likopen miktarlarının 183.24-64.56, A-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 187.43-68.86, KK-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 257.53-76.76, B-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 191.41-70.57, UDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 232.12-77.07, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 184.07-64.31, SHK yöntemi ile elde edilen tozların ise 157.54-66.28 mg/100 g KM değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir. Düşük sıcaklıkta depolanan tozların genellikle yüksek sıcaklıkta depolanan tozlara kıyasla daha yüksek likopen miktarına sahip olduğu görülmektedir. Depolama süresindeki artışa bağlı olarak tozların likopen miktarında düşüşler olmuştur.

Çizelge 4.54. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak likopen sonuçları

Uygulama	Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama Süresi (Gün)				
		0	15	30	45	60
KDKPK	4 °C	183.24±5.17	125.41±0.08	116.91±0.77	101.37±0.30	88.20±0.61
	25 °C	183.24±5.17	99.98±0.02	86.90±0.20	77.08±0.96	64.56±2.32
A/KDKPK	4 °C	187.43±8.10	122.82±0.37	121.52±0.01	103.03±0.96	92.05±0.45
	25 °C	187.43±8.10	100.88±4.81	93.84±0.11	78.61±0.90	68.86±1.48
KKKDKPK	4 °C	257.53±3.00	147.24±0.40	142.76±0.42	132.84±0.29	103.51±0.10
	25 °C	257.53±3.00	108.09±5.04	93.72±4.86	81.67±0.35	76.76±2.54
β/KDKPK	4 °C	191.41±4.68	124.00±0.11	112.47±0.20	112.59±4.85	94.26±0.65
	25 °C	191.41±4.68	98.11±1.27	88.93±0.19	81.04±3.38	70.57±0.79
UDKPK	4 °C	232.12±3.10	159.51±0.92	146.35±0.04	139.89±0.11	132.48±0.23
	25 °C	232.12±3.10	118.23±0.55	102.71±9.36	95.52±3.22	77.07±0.30
KPK	4 °C	184.07±1.72	115.32±0.03	113.02±0.21	111.20±0.34	98.40±0.26
	25 °C	184.07±1.72	98.86±0.34	82.74±0.46	74.56±1.90	64.31±0.79
SHK	4 °C	157.54±8.22	133.11±0.39	121.73±0.10	100.56±1.19	87.56±2.19
	25 °C	157.54±8.22	101.72±0.39	85.91±0.07	76.64±2.29	66.28±1.92

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma sisteminde köpük kurutma, B-KDKPK; β-siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırımın pencereci kurutma, KPK; kırımın pencereci kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Farklı kurutma metotları ile üretilen domates tozlarının depolama şartlarına bağlı olarak likopen değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.55'te verilmiştir. Domates tozlarının depolama süresi boyunca likopen miktarları üzerine kurutma yöntemlerinin, depolama süresinin, depolama sıcaklığının ve bu varyasyon kaynaklarının ikili ve üçlü interaksiyonlarının önemli seviyede ($p<0.01$) etkisi olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.55. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının toplam likopen miktarı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U (Uygulama)	6	4039.56	215.94**
G (depolama süresi)	4	56998.71	3046.89**
S (depolama sıcaklığı)	1	22426.57	1192.82**
U x G	24	584.96	31.27**
U x S	6	236.93	12.67**
G x S	4	1442.50	77.11**
U x G x S	24	47.78	2.55**
Hata	70	18.70	

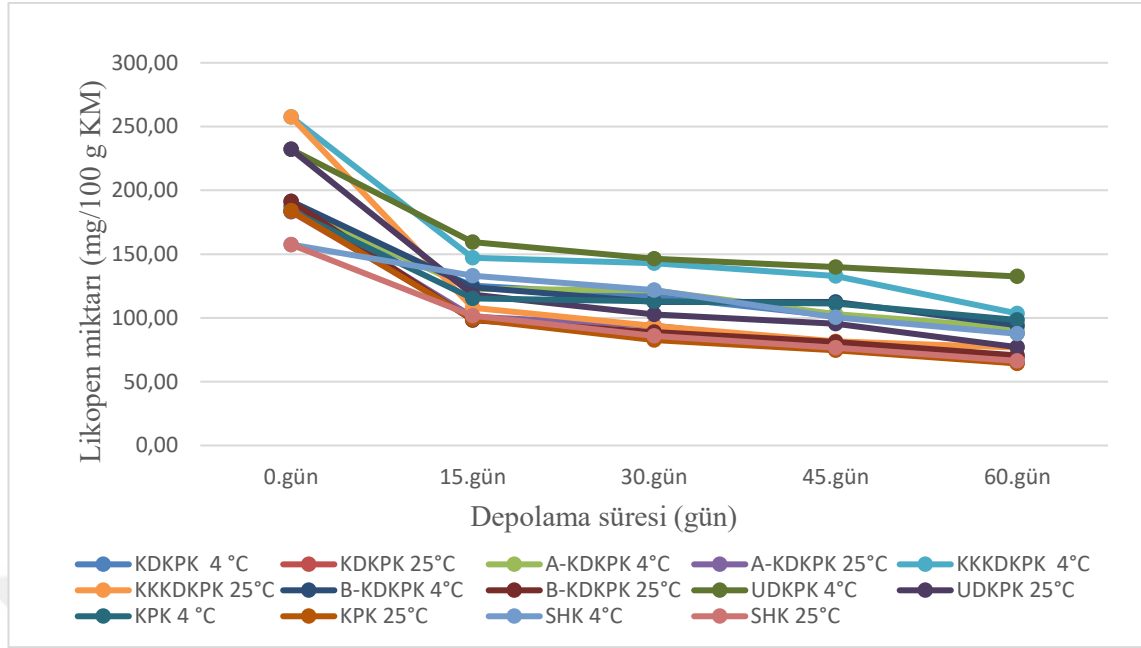
SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01

Çizelge 4.56. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının likopen miktarı değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Likopen miktarı (mg/100 g KM)
KDKPK	112.69±32.96 ^c
A-KDKPK	115.65±32.88 ^b
KK-KDKPK	140.17±52.06 ^a
β-KDKPK	116.48±33.49 ^b
UDKPK	143.60±42.85 ^a
KPK	112.65±32.71 ^c
SHK	108.86±27.68 ^d
Depolama sıcaklığı	
4 °C	134.10±39.25 ^a
25 °C	108.79±42.46 ^b
Depolama süresi (gün)	
0	199.05±31.87 ^a
15	118.09±18.37 ^b
30	107.82±20.10 ^c
45	97.61±20.42 ^d
60	84.63±18.42 ^e

Değerler ortalama±standart sapma olarak verilmiş olup, aynı sütundaki farklı harfler önemli seviyede farklılığı ifade eder.

Çizelge 4.56’da verilen farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının likopen miktarı değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma testi sonuçlarına göre; 4°C’de depolanan örneklerin likopen miktarı 25 °C’de depolanan örneklerden daha yüksek hesaplanmıştır. Ayrıca depolama süresine bağlı olarak da depolama süresi arttıkça tozların likopen miktarı azaldığı görülmektedir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Depolama süresine bağlı olarak likopen miktarı değişimi

Likopen, yapısındaki konjuge çift bağlar nedeniyle ısı, ışık ve oksijen gibi çevresel faktörlere karşı oldukça duyarlıdır. Oksijen, likopenin yapısındaki konjuge çift bağlarla reaksiyona girerek oksidatif parçalanmaya ve biyolojik aktivitenin kaybolmasına yol açmaktadır (Işık 2013; Soma Srivastava ve Srivastava 2015). Depolama süresi boyunca domates tozlarının likopen miktarının azalmasının oksidasyon kaynaklı olabileceği değerlendirilmiştir.

Domates posasının farklı çözümlerle ekstraksiyonunun gerçekleştirildiği bir çalışma da domates posası -4 ve 30°C’de 2 ay boyunca depolanmıştır. Depolama süresi sonunda -4°C’de depolanan örneklerde likopen kaybının %2.61, 30°C’de depolanan örneklerde ise %53.38 olarak hesaplandığı bildirilmiştir (Pandya vd. 2017).

Tez çalışması kapsamında 4°C depolanan örneklerin kayıpları %42.92 ile 59.80 arasında hesaplanmış olup 25°C depolanan tozlarda ise %57.9 ile 70.19 arasında olduğu anlaşılmıştır. Genel olarak 25°C’de depolanan örneklerde 4°C depolanan örneklere göre %25’den daha fazla likopen kaybı olduğu değerlendirilmiştir.

4.8.7. Antioksidan aktivite

Domates tozlarının depolama süresi ve sıcaklığa bağlı antioksidan aktivite değişimleri Çizelge 4.57’de verilmiştir. Çizelge 4.54 incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların antioksidan aktivite miktarlarının 657.43-492.99, A-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 5643.49-4108.41, KK-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 598.83-375.85, B-KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 642.47-420.26, UDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 532.48-379.54, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 719.80-423.29, SHK yöntemi ile elde edilen tozların ise 621.15-482.39 mg TEAA/100 g KM değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir. Düşük sıcaklıkta depolanan tozların genellikle yüksek sıcaklıkta depolanan tozlara kıyasla daha yüksek antioksidan

aktivite miktarına sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak depolama süresindeki artışa bağlı olarak tozların antioksidan aktivite miktarları düşmüştür.

Çizelge 4.57. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak antioksidan aktivite sonuçları

Uygulama	Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama Süresi (Gün)				
		0	15	30	45	60
KDKPK	4 °C	657.43±5.24	615.10±13.03	613.53±1.63	577.30±10.79	561.65±0.16
	25 °C	657.43±5.24	561.36±21.70	565.93±2.93	519.11±10.10	492.99±3.83
A/KDKPK	4 °C	5643.5±19.10	5489.2±169.08	5297.0±123.9	5138.2±41.37	4938.2±41.37
	25 °C	5643.5±19.10	5150.1±206.32	4220.2±296.8	4189.5±135.05	4108.4±36.76
KKKDKPK	4 °C	598.83±8.34	541.97±2.56	523.65±14.51	505.02±11.41	435.02±21.41
	25 °C	598.83±8.34	515.01±6.99	481.21±8.71	404.88±3.00	375.85±7.56
β/KDKPK	4 °C	642.47±5.93	592.03±8.92	579.76±0.33	547.57±0.56	512.64±4.51
	25 °C	642.47±5.93	552.62±4.41	549.62±9.51	485.84±7.14	420.26±10.22
UDKPK	4 °C	532.48±13.46	546.48±0.24	527.52±7.35	488.85±2.07	441.61±16.09
	25 °C	532.48±13.46	496.46±5.00	485.69±9.75	398.50±2.65	379.54±10.22
KPK	4 °C	719.80±72.95	713.99±18.07	669.59±8.63	543.87±0.18	455.67±20.43
	25 °C	719.80±72.95	673.43±9.14	598.72±7.13	500.24±1.42	423.29±9.40
SHK	4 °C	621.15±9.58	631.04±5.19	607.18±14.21	564.08±18.71	512.73±10.84
	25 °C	621.15±9.58	616.39±4.32	595.04±5.19	503.13±5.89	482.39±6.17

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK; β-siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırınım pencereli kurutma, KPK; kırınım pencereli kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Domates tozlarının antioksidan aktivite miktarları kurutma uygulaması, depolama sıcaklığı, depolama süresi ve bu varyasyon kaynaklarının çeşitli interaksiyonlarından ne derece etkilendiğini gözlemlemek için varyans analizi gerçekleştirilmiş olup sonuçlar Çizelge 4.58’de verilmiştir. Varyans analiz tablosu incelendiğinde Domates tozlarının antioksidan aktivite değerleri üzerine kurutma uygulamalarının, depolama süresinin, depolama sıcaklığının ve bunların ikili ve üçlü interaksiyonların istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) düzeyde etkisi olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4.58. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının antioksidan aktivite değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U (Uygulama)	6	56184076.75	9168.23**
G (depolama süresi)	4	429003.40	70.01**
S (depolama sıcaklığı)	1	559381.30	91.28**
U x G	24	102198.70	16.68**
U x S	6	255671.3	41.72**
G x S	4	49640.00	8.10**
U x G x S	24	26918.82	4.39**
Hata	70	6128.10	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * $p<0.05$, ** $p<0.01$

Çizelge 4.59. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının antioksidan değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Antioksidan aktivite (mg TEAA/100 g KM)
KDKPK	582.18±12.01 ^{cb}
A-KDKPK	4981.77±134.87 ^a
KK-KDKPK	498.03±16.58 ^c
β-KDKPK	552.53±14.95 ^{cb}
UDKPK	482.96±12.90 ^c
KPK	601.84±26.03 ^b
SHK	575.43±12.42 ^{cb}
Depolama sıcaklığı	
4 °C	1245.31±199.87 ^a
25 °C	1118.89±176.89 ^b
Depolama süresi (gün)	
0	1345.09±337.91 ^a
15	1263.94±319.38 ^b
30	1165.33±285.66 ^c
45	1097.57±282.56 ^d
60	1038.59±275.63 ^c

Değerler ortalama±standart hata olarak verilmiş olup, aynı sütundaki farklı harfler önemli seviyede farklılığı ifade eder.

Farklı yöntemlerle elde edilen domates tozlarının antioksidan aktivite değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.59’da verilmiştir. Çizelge incelendiğinde 4°C sıcaklıkta depolanan örneklerin antioksidan aktivite değerlerinin 25°C sıcaklıkta depolanan örneklerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Depolama sıcaklığının ve süresinin artışı örneklerin antioksidan aktiviteleri üzerinde negatif yönlü etki göstermiştir.

Örneklerin serbest radikalleri bağlama yeteneğinde depolama süresince azalış meydana gelmiştir. Bu durum örneklerde bulunan antioksidan aktiviteye sahip bileşenlerin azalmasından kaynaklanmaktadır. Domates ürünlerinin antioksidan özellikleri büyük ölçüde likopen kaynaklı olup depolamaya bağlı antioksidan aktivitenin azalması likopenin depolamaya bağlı azalması ile ilişkilendirilebilir (Joung vd. 2025)

4.8.8. pH ve titrasyon asitliği

Farklı kurutma uygulamaları üretilen domates tozlarının depolama sıcaklığına ve süresine bağlı olarak pH ve titrasyon asitliği değerleri Çizelge 4.60’da verilmiştir. Örneklerin depolama süresi ve sıcaklığına bağlı pH ve titrasyon asitliği değerlerinin değişimine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.61’de verilmiştir. Bu tabloya göre tozların pH değerleri üzerine; kurutma uygulaması, depolama süresi, depolama sıcaklığı, uygulama x depolama süresi, uygulama x depolama sıcaklığı, depolama süresi x depolama sıcaklığı ve uygulama x depolama süresi x depolama sıcaklığı interaksiyonlarının istatistiksel açıdan önemli bir etkisi olduğu ($p<0.01$) olduğu görülmektedir. Titrasyon asitliği değeri üzerine ise sadece kurutma uygulaması ve depolama süresinin önemli ($p<0.01$) seviyede etkisi bulunmaktadır.

Çizelge 4.60. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak pH ve titrasyon asitliği sonuçları

	Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama Süresi (Gün)				
		0	15	30	45	60
pH						
KDKPK	4 °C	4.25±0.00	4.31±0.01	4.34±0.03	4.33±0.00	4.32±0.02
	25 °C	4.25±0.00	4.31±0.01	4.35±0.02	4.32±0.01	4.34±0.00
A-KDKPK	4 °C	4.05±0.01	3.93±0.01	4.08±0.04	4.13±0.00	4.09±0.03
	25 °C	4.05±0.01	4.14±0.00	4.15±0.01	4.13±0.02	4.15±0.04
KKKDKPK	4 °C	4.26±0.00	4.33±0.02	4.36±0.01	4.34±0.01	4.40±0.01
	25 °C	4.26±0.00	4.34±0.00	4.33±0.01	4.38±0.00	4.39±0.00
β-KDKPK	4 °C	4.26±0.01	4.30±0.01	4.34±0.00	4.33±0.00	4.35±0.00
	25 °C	4.26±0.01	4.32±0.02	4.34±0.01	4.30±0.01	4.33±0.00
UDKPK	4 °C	4.28±0.02	4.30±0.00	4.32±0.01	4.34±0.01	4.36±0.01
	25 °C	4.28±0.02	4.33±0.01	4.36±0.01	4.32±0.01	4.38±0.01
KPK	4 °C	4.23±0.02	4.30±0.00	4.34±0.00	4.32±0.01	4.32±0.02
	25 °C	4.23±0.02	4.31±0.00	4.34±0.01	4.32±0.01	4.34±0.01
SHK	4 °C	4.23±0.02	4.32±0.01	4.34±0.01	4.33±0.01	4.33±0.01
	25 °C	4.23±0.02	4.31±0.01	4.32±0.01	4.33±0.01	4.34±0.00
Titrasyon asitliği (%)						
KDKPK	4 °C	6.69±0.06	6.76±0.06	6.88±0.02	6.94±0.05	7.10±0.05
	25 °C	6.69±0.06	7.10±0.05	7.09±0.05	7.08±0.05	7.17±0.01
A-KDKPK	4 °C	7.71±0.07	7.93±0.09	8.12±0.01	8.20±0.00	8.16±0.19
	25 °C	7.71±0.07	7.95±0.04	8.14±0.02	8.16±0.03	8.22±0.06
KPK	4 °C	6.42±0.06	6.68±0.08	6.50±0.02	6.69±0.05	6.78±0.20
	25 °C	6.42±0.06	6.49±0.10	6.31±0.05	6.50±0.02	6.70±0.09
β-KDKPK	4 °C	6.88±0.62	6.87±0.18	7.11±0.05	7.21±0.06	7.04±0.03
	25 °C	6.88±0.62	6.91±0.05	7.17±0.02	7.17±0.08	7.07±0.12
UDKPK	4 °C	6.53±0.21	6.87±0.04	7.10±0.01	7.00±0.01	7.01±0.10
	25 °C	6.53±0.21	7.02±0.01	7.20±0.06	7.12±0.03	7.09±0.05
KPK	4 °C	6.62±0.02	6.95±0.04	7.09±0.04	7.13±0.06	7.05±0.05
	25 °C	6.62±0.02	7.01±0.08	7.11±0.02	7.09±0.05	7.07±0.06
SHK	4 °C	6.55±0.06	6.56±0.10	6.86±0.01	7.05±0.06	7.05±0.08
	25 °C	6.55±0.06	6.82±0.03	7.01±0.00	7.09±0.07	7.11±0.01

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK; Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK; β-siklodestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırınım pencereli kurutma, KPK; kırınım pencereli kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Domates tozlarının depolama süresi ve sıcaklığına bağlı pH ve titrasyon asitliği değerlerinin değişimine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları 4.62’de verilmiştir.

Çizelge 4.61. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının pH ve titrasyon asitliği değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	pH		Titrasyon asitliği	
		KO	F	KO	F
U (Uygulama)	6	0.15	390.49**	4.25	130.82**
G (depolama süresi)	4	0.04	110.57**	0.84	25.80**
S (depolama sıcaklığı)	1	0.01	19.34**	0.05	1.40
U x G	24	0.00	2.93**	0.04	1.14
U x S	6	0.00	7.62**	0.04	1.29
G x S	4	0.00	4.41*	0.01	0.35
U x G x S	24	0.00	2.92**	0.01	0.16
Hata	70	0.00		0.0324	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01

Çizelge 4.62. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının pH ve titrasyon asitliği değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	pH	Titrasyon asitliği
KDKPK	4.31±0.04 ^{bc}	6.94±0.19 ^{bc}
A-KDKPK	4.09± 0.07 ^d	8.03±0.20 ^a
KK-KDKPK	4.34±0.05 ^a	6.55±0.17 ^d
β-KDKPK	4.32±0.04 ^{ab}	7.03±0.32 ^b
UDKPK	4.32±0.04 ^{ab}	6.95±0.25 ^{bc}
KPK	4.30± 0.04 ^c	6.98±0.20 ^{bc}
SHK	4.31±0.04 ^{bc}	6.86±0.24 ^c
Depolama sıcaklığı		
4 °C	4.28±0.10 ^a	7.07±0.59
25 °C	4.29±0.08 ^b	7.03±0.48
Depolama süresi (gün)		
0	4.22±0.07 ^d	6.77±0.49 ^c
15	4.27±0.11 ^c	7.00±0.44 ^b
30	4.31±0.08 ^b	7.12±0.50 ^a
45	4.30±0.07 ^b	7.17±0.46 ^a
60	4.32±0.09 ^a	7.19±0.35 ^a

Değerler ortalama±standart sapma olarak verilmiş olup, aynı sütundaki farklı harfler önemli seviyede farklılığı ifade eder.

Çizelge 4.62 incelendiğinde, domates tozlarının pH değerlerinin depolama sıcaklığına bağlı olarak istatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar gösterdiği belirlenmiş olmakla birlikte, bu farklılıklar pratik açıdan ihmal edilebilir düzeydedir. Domates tozlarının titrasyon asitliği değerleri bakımından 4°C ve 25°C’de depolanan örnekler arasında fark yoktur. Depolama süresine bağlı olarak depolama süresi arttıkça örneklerin genel olarak pH değerleri artmış olup bu artış sınırlı düzeyde kalmıştır. Domates tozlarının titrasyon asitliği de 30. güne kadar bir artış göstermiş olup , bu süreden sonra ise artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür.

Domates salçalarının 12 ay boyunca farklı sıcaklıklarda (20, 30 ve 40°C) depolandığı bir çalışmada 20°C’de depolanan domates salçalarının pH değerlerinin 4.23 ile 4.19 arasında değiştiği ve depolama süresince pH değerlerindeki düşmenin istatistiksel açıdan önemli bulunmadığı rapor edilmiştir. Ayrıca depolama boyunca örneklerin titrasyon asitliği değerlerinin arttığı rapor edilmiş olup bu artışın 6. Aydan sonra daha

belirgin olduğu anlaşılmıştır (Apuhan 2012). Benzer şekilde, Sarker vd. (2014) domates tozlarının titrasyon asitliği değerlerinin depolamaya bağlı arttığını rapor etmişlerdir.

Domates tozlarının depolamaya bağlı toplam asitlik değerlerindeki artış Maillard reaksiyonu ve askorbik asit degradasyonu ile ilişkilendirilebilir. Nitekim Askorbik asit, depolama sırasında oksidasyona uğrayarak dehidroaskorbik asit ve ardından diğer asidik bileşiklere dönüşebilir. Bu dönüşüm, gıdanın toplam asitlik değerinin yükselmesine neden olabilmektedir.

4.8.9. Toplam şeker miktarı

Örneklerin depolama süresince toplam şeker miktarı değişimleri Çizelge 4.63'te verilmiştir. 4°C sıcaklıkta depolanan örneklerin genellikle 25°C sıcaklıkta depolanan örneklere kıyasla daha yüksek toplam şeker miktarına sahip olduğu belirlenmiştir. Depolama süresinin artışına bağlı olarak ise ürünlerin toplam şeker miktarı değerlerinde düşüşler gözlenmiştir.

Çizelge 4.63. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak toplam şeker miktarı sonuçları

Uygulama	Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama Süresi (Gün)				
		0	15	30	45	60
KDKPK	4 °C	41.61±0.85	38.14±2.72	34.75±0.46	37.39±0.96	34.08±0.65
	25 °C	41.61±0.85	39.03±0.67	36.12±0.71	36.24±0.86	34.48±1.03
A/KDKPK	4 °C	40.83±0.68	39.80±0.11	35.24±0.23	37.24±1.07	34.30±0.03
	25 °C	40.83±0.68	39.15±0.21	33.99±0.53	36.23±0.72	34.40±0.44
KKKDKPK	4 °C	42.30±1.31	36.34±1.22	36.38±0.59	38.16±0.52	33.56±1.70
	25 °C	42.30±1.31	36.02±0.60	35.29±1.04	34.99±0.36	33.72±0.53
β/KDKPK	4 °C	40.68±0.61	36.76±0.32	34.78±0.86	32.59±0.32	32.49±1.96
	25 °C	40.68±0.61	35.45±0.62	33.72±0.42	32.12±1.54	31.35±0.10
UDKPK	4 °C	43.53±0.71	43.80±0.75	37.59±0.61	39.65±1.11	33.39±0.18
	25 °C	43.53±0.71	38.87±1.27	37.63±0.23	35.12±0.99	34.93±0.54
KPK	4 °C	41.72±0.85	39.26±3.01	37.39±0.43	37.51±0.97	33.80±0.69
	25 °C	41.72±0.85	36.43±0.76	35.61±1.41	34.29±1.37	33.73±0.73
SHK	4 °C	39.26±0.14	38.14±1.56	36.81±0.33	34.48±1.23	34.02±0.92
	25 °C	39.26±0.14	36.70±0.31	34.28±1.29	34.03±0.42	33.99±0.19

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK; Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma sisteminde köpük kurutma, β-KDKPK; β-sikloestrin katkılanmış kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırımın pencereci kurutma, KPK; kırımın pencereci kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Çizelge 4.64'te farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının toplam şeker değerlerine ortalamalarına ait varyans analiz sonuçları verilmiştir. Çizelge incelendiğinde kurutma uygulaması, depolama sıcaklığı ve depolama süresinin toplam şeker miktarı üzerine istatistiki açıdan önemli seviyede ($p<0.01$) etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca kurutma yöntemi x depolama süresi ve depolama süresi x depolama sıcaklığının da önemli etkisi bulunmaktadır ($p<0.05$).

Çizelge 4.64. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının toplam şeker değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı		KO	F
U (Uygulama)	6	26.65	14.32**
G (depolama süresi)	4	244.01	131.08**
S (depolama sıcaklığı)	1	25.59	13.75**
U x G	24	3.81	2.05*
U x S	6	2.06	1.11
G x S	4	6.07	3.26*
U x G x S	24	1.58	0.85
Hata	70	1.86	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * p<0.05, ** p<0.01

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen domates tozlarının toplam şeker miktarı değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.65'te verilmiştir.

Çizelge 4.65. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının toplam şeker miktarlarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Toplam şeker miktarı
KDKPK	37.34±2.59 ^b
A-KDKPK	37.20±2.50 ^b
KK-KDKPK	36.91±2.69 ^{bc}
β-KDKPK	35.06±2.91 ^c
UDKPK	38.81±3.53 ^a
KPK	37.15±2.86 ^b
SHK	36.10±2.10 ^{bc}
Depolama sıcaklığı	
4 °C	37.36±3.28 ^a
25 °C	36.51±3.12 ^b
Depolama süresi (gün)	
0	41.42±1.49 ^a
15	38.13±2.46 ^b
30	35.69±1.48 ^c
45	35.72±2.29 ^c
60	33.73±1.23 ^d

Değerler ortalama±standart sapma olarak verilmiş olup, aynı sütundaki farklı harfler önemli seviyede farklılığı ifade eder.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; depolama süresi ve sıcaklığa bağlı olarak toplam şeker miktarı açısından en yüksek stabiliteyi gösteren domates tozlarının Ultrases destekli KPK sisteminde elde edilen tozlara ait olduğu görülmektedir. En düşük stabilitenin ise β-siklodekstrin ilave edilerek KDKPK sisteminde kurutulan örneklerde olduğu anlaşılmıştır.

β-siklodekstrin ilavesiyle kurutulan domates tozlarında depolama süresince şeker içeriğinin diğer kurutmalara göre daha düşük olmasının, Maillard reaksiyonlarının hızlanmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Nitekim depolama boyunca en yüksek

HMF miktarı β -siklodekstrin ilave edilerek kurutulan örneklerde gözlenmiştir (Çizelge 4.50). β -siklodekstrinlerin hidroksil grupları, Maillard reaksiyonlarını hızlandırmakta olup bu reaksiyonların şeker konsantrasyonlarının düşüşüne neden olduğu değerlendirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında 4°C’de depolanan örneklerin toplam şeker miktarlarının 25 °C’de depolanan örneklerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Depolama süresine bağlı olarak depolama süresi arttıkça örneklerin genel olarak toplam şeker miktarları azalmıştır (Çizelge 4.65). Domates tozlarının 0, 25 ve 37°C depolama sıcaklıklarında 5 ay depolandığı bir çalışmada depolama süresinin artmasına bağlı toplam şeker miktarının azaldığı, yüksek sıcaklıkta depolanan örneklerde bu azalmanın daha fazla olduğu bildirilmiştir (liu vd. 2010). Depolama süresince domates tozlarında gözlenen şeker miktarındaki azalmanın, indirgen şekerlerin amino gruplarıyla reaksiyona girerek Maillard reaksiyonlarını oluşturması ve askorbik asidin oksidatif bozulması sonucu açığa çıkan ara bileşiklerin şekere karşı reaktiflik göstermesinde kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Nitekim tez çalışması kapsamında domates tozların depolamaya bağlı olarak HMF içeri artmış, askorbik asit miktarları ise azalmıştır.

4.8.10. Askorbik asit miktarı

Domates tozlarının depolama süresi ve sıcaklığa bağlı olarak askorbik asit değerleri Çizelge 4.66’da verilmiştir. Düşük sıcaklıkta depolanan tozların genellikle yüksek sıcaklıkta depolanan tozlara kıyasla daha yüksek askorbik asit miktarına sahip olduğu görülmektedir. Depolama süresindeki artışa bağlı olarak tozların askorbik asit miktarında düşüşler olmuştur.

Çizelge 4.66. Domates tozlarının depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak askorbik asit miktarı sonuçları

Uygulama	Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama Süresi (Gün)				
		0	15	30	45	60
KDKPK	4 °C	121.29±2.75	117.17±2.69	109.35±0.22	104.01±1.83	99.93±0.47
	25 °C	121.29±2.75	102.97±1.00	99.74±0.22	90.91±0.39	85.21±1.99
A-KDKPK	4 °C	4409.46±4.55	4236.85±11.83	4153.90±50.84	3912.78±0.56	3606.15±107.17
	25 °C	4409.46±4.55	4022.10±9.61	4013.93±12.09	3331.56±9.24	2903.20±87.51
KKKDKPK	4 °C	97.88±4.34	104.04±1.65	96.67±0.93	85.05±0.31	84.75±2.95
	25 °C	97.88±4.34	93.13±4.79	91.16±3.92	88.94±1.00	79.22±0.83
β KDKPK	4 °C	111.05±1.67	106.48±1.31	100.67±0.50	96.31±0.17	88.64±2.20
	25 °C	111.05±1.67	95.46±1.06	92.16±1.82	81.58±0.17	77.76±0.56
UDKPK	4 °C	113.61±0.92	102.60±0.68	99.30±0.98	92.84±0.40	89.44±1.07
	25 °C	113.61±0.92	95.29±1.45	97.89±0.48	84.65±4.21	80.84±0.76
KPK	4 °C	112.89±0.21	110.10±0.26	106.24±0.40	100.63±0.51	89.05±0.52
	25 °C	112.89±0.21	104.15±2.08	98.20±0.29	87.50±0.26	78.69±2.25
SHK	4 °C	93.96±1.27	86.98±4.68	78.23±0.38	77.10±4.85	72.94±0.37
	25 °C	93.96±1.27	87.71±1.25	76.85±0.78	71.42±0.04	64.92±3.27

Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK: Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma sisteminde köpük kurutma, β -KDKPK; β -siklodekstrin katkılanmış kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırınım pencereli kurutma, KPK; kırınım pencereli kurutma, SHK; sıcak hava kurutma

Farklı kurutma metotları ile üretilen domates tozlarının depolama şartlarına bağlı olarak askorbik asit değerlerinin ortalamalarına ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.67’de verilmiştir. Domates tozlarının depolama süresi boyunca askorbik asit miktarları üzerine kurutma yöntemlerinin, depolama süresinin, depolama sıcaklığının ve bu varyasyon kaynaklarının ikili ve üçlü interaksiyonlarının önemli seviyede ($p<0.01$) etkisi olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.67. Farklı sıcaklıklarda depolanmış domates tozlarının askorbik asit değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	KO	F
U (Uygulama)	6	41363031	64441.10**
G (depolama süresi)	4	152870.80	238.16**
S (depolama sıcaklığı)	1	95889.10	149.39**
U x G	24	114895.50	179.00**
U x S	6	73795.00	114.97**
G x S	4	14601.60	22.75**
U x G x S	24	12612.25	19.65**
Hata	70	641.90	

SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, F: F değeri, * $p<0.05$, ** $p<0.01$

Çizelge 4.68. Farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının askorbik asit miktarlarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Askorbik asit miktarı
KDKPK	105.19±2.69 ^b
A-KDKPK	3899.94±106.385 ^a
KK-KDKPK	91.87±1.78 ^{bc}
β-KDKPK	96.12±2.51 ^{bc}
UDKPK	97.01±2.42 ^{bc}
KPK	100.03±2.55 ^b
SHK	80.41±2.13 ^c
Depolama sıcaklığı	
4 °C	664.81±167.55 ^a
25 °C	612.50±155.50 ^b
Depolama süresi (gün)	
0	722.88±289.65 ^a
15	676.08±271.44 ^b
30	665.31±268.65 ^b
45	593.23±238.92 ^c
60	535.77±215.26 ^d

Değerler ortalama±standart sapma olarak verilmiş olup, aynı sütundaki farklı harfler önemli seviyede farklılığı ifade eder.

Çizelge 4.68’de farklı sıcaklıklarda depolanan domates tozlarının askorbik asit miktarlarının ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, 4°C’de depolanan örneklerin askorbik asit miktarlarının 25°C’de depolanan örneklerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca depolama süresine bağlı olarak da depolama süresi arttıkça domates tozlarının askorbik asit miktarları azalmıştır.

Askorbik asit oksijene ve ısıya duyarlı bir bileşiktir ve depolama sırasında çevresel faktörlerin etkisiyle hızlı bir şekilde bozulduğunu bilinmektedir. Domates tozlarında askorbik asit kaybı 4°C’de depolanan tozlarda %13.41-22.18, 25°C depolanan tozlarda %19.06-30.91 oranında hesaplanmış olup yüksek sıcaklıkta daha fazla bozulduğu anlaşılmıştır. Ordóñez-Santos vd. (2009) domates pulunun 20°C’ de 6 ay süreyle depolanması süresince örneklerdeki askorbik asit değişimi incelemişler ve süre sonunda askorbik asit kaybının %53 olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde domates salçasının 12 ay boyunca depolandığı bir çalışmada da depolama sonunda önemli miktarda (%86.56) askorbik asit kaybının olduğu bildirilmiştir (Koh vd. 2012).

4.8.11. Uçucu bileşen kompozisyonu

Taze domatesin aroması, şekerler, organik asitler ve uçucu bileşiklerin kompleks etkileşiminden meydana gelmektedir. Domates salçası üretimi sırasında uygulanan ısı işlem ve konsantrasyon sürecine bağlı, uçucu aroma bileşenleri buharlaşarak azalırken, ısıya bağlı kimyasal reaksiyonlarla yeni aroma bileşenleri oluşmaktadır (Selli vd. 2014). Uçucu bileşenlerden çok az bir kısmı o gıdanın karakteristik kokusunun oluşumunda etkili olmaktadır. Karakteristik kokunun oluşumundan sorumlu aroma maddelerine aroma-aktif bileşikler denir. Tez çalışması kapsamında kullanılan domates salçasının aroma profili incelendiğinde; domates salçasında 7 alkol, 5 karboksilik asit, 4 ester, 7 keton, 3 furan, 11 aldehit, 5 terpen ve 1 aromatik bileşik tanımlanmıştır (Çizelge 4.14). Bu bileşenlerden 2,3 butandiol (yağimsi), hekzanoik asit (yağsı), asetik asit (sirkemsi), asetoin (margarin, sabun), 6-metil-5-hepten-2-on (hoş çiçeksi, ot), benzaldehit (badem), fenilasetaldehit (bal, şeker), Nonanal (turuncgil, çimen), heptanal (yağsı, turuncgil), furfural (yanık), 5-metil-2(5H)-furanon (meyvemsi), 2-pentil furan (yeşil, çimen), linalool (çiçeksi), sitral (limon), ve alfa-terpineol (nane, çiçeksi) domates salçasında aroma aktif bileşen olarak tanımlanmaktadır (Li vd. 2023; Kelebek vd. 2018). Domates tozunda aroma bileşiklerinin salınımı, depolama süresince kullanılan ambalajın oksijen ve nem bariyeri özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Tez çalışması kapsamında Kraft/PET/PPP laminasyonlu ambalajlarda depolanan domates tozlarında, aroma salınımına bağlı olarak uçucu bileşen miktarlarında değişiklikler gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.69’da KDKPK sisteminde kurutulmuş domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; 3 alkol, 3 karboksilik asit, 2 ester, 4 furan, 8 keton, 8 aldehit, 2 terpen, 1 aromatik ve 7 hidrokarbon olmak üzere toplamda 42 tane uçucu bileşen tespit edilmiştir. KDKPK sisteminde elde edilen domates tozlarında, Alkol grubunda 2,3-butandiol, karboksilik asit grubundan asetik asit, ester grubundan triasetin, furan grubundan furfural, keton grubundan 6-Metil-5-hepten-2-on, aldehit grubundan (Z)-3,7-dimetil-2,6-oktaadienal, terpen grubundan sitral, aromatik grubundan 3,5-dimetil-fenol ve hidrokarbonlarda da 2-Metil-6-metilen-2-okten en yüksek alanda tespit edilen bileşenlerdir. Salça kurutulmasına bağlı enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının bir göstergesi olan furan bileşikler artmıştır. Furfural bileşeni 4°C’de depolanan örneklerde 45. günden sonra azalmıştır. 25°C’de depolanan örneklerde de 4°C’de depolanan örneklere göre daha az miktarda furfural tespit edilmiştir. Bu bileşen ısıya etkisi ile asetik asit gibi karboksilik asitlere dönüşmektedir. 25°C depolanan örneklerin asetik asit miktarının fazla olduğu belirlenmiş olup furfural bileşeninin depolama sıcaklığına bağlı dönüştüğü değerlendirilmiştir. 6-Metil-5-hepten-2-on domatese hoş çiçeksi koku kazandıran etken aroma aktif bileşen olup 45 ve 60. günlerde depolamaya bağlı azalmıştır. Sitral ve sitral bileşeninin izomeri

olan (Z)- 3,7-dimetil-2,6-Oktaadienal diğer adıyla neral bileşeni depolama bağı azalmış olup 25°C depolanan örneklerde miktarı daha az tespit edilmiştir. 3,5-dimetil-Fenol 4°C’de depolanan örneklerde depolamaya bağı azalırken 25°C’de depolanan örneklerde sadece 15.gün de tespit edilmiştir.

Çizelge 4.70’de verilen KDKPK sisteminde askorbik asit eklenerek kurutulan domates salçalarının uçucu bileşenleri incelendiğinde; 3 alkol, 3 karboksilik asit, 2 ester, 3 furan, 10 keton, 7 aldehit, 3 terpen, 1 aromatik ve 9 hidrokarbon olmak üzere toplamda 41 tane uçucu bileşen tespit edilmiştir. KDKPK sisteminde belirlenen etken aroma bileşenlerin miktarı ve değişimin benzer olduğu belirlenmiştir. Askorbik asit eklenerek kurutulan örneklerde KDKPK ile elde edilen örneklerde tespit edilen 5-Metil-2(5H)-furanon bileşiği belirlenememiştir. Ayrıca furfural miktarı da KDKPK ile elde edilen örneklerle göre daha az alanda tespit edilmiştir. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları dikkate alındığında askorbik asit eklenerek kurutulan örneklerin esmerleşme indeksi ve HMF miktarları doğrudan KDKPK ile kurutulan örneklerle göre daha az belirlenmiş olup bu durumun askorbik asidin furan türevlerinin oluşumunu engellemesinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. KDKPK ile kurutulan örneklerden farklı olarak 1-borneol bileşeni tespit edilmiştir.

Çizelge 4.71’de KDKPK sisteminde köpük kurutma yaklaşımıyla üretilen domates tozlarının depolama süresine bağı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi verilmiştir. Çizelge 4.71 incelendiğinde; , 4 alkol, 2 karboksilik asit, 2 ester, 4 furan, 8 keton, 9 aldehit, 2 terpen, 1 aromatik ve 10 hidrokarbon olmak üzere toplamda 42 tane uçucu bileşen tespit edilmiştir. Alkol grubundan 2,3-Butandiol KDKPK sisteminde elde edilen örneklerden daha yüksek belirlendiği ve depolamaya bağı azaldığı gözlemlenmektedir. Furan gruplarına bakıldığında da furfural miktarının daha az tespit edildiği görülmektedir. Ayrıca keton grubundan 6-Metil-5-hepten-2-on bileşeni de KDKPK ile elde edilen örneklerle göre daha fazla tespit edilmiş olup depolamaya bağı azaldığı belirlenmiştir. Köpük kurutma yaklaşımı ile kuruma süresinin kısalmasına bağı olarak uçucu bileşenlerin daha iyi korunduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.72’de verilen β -siklodekstrin ilave edilerek KDKPK sisteminde kurutulan örneklerin uçucu bileşen sonuçları incelendiğinde, 4 alkol, 2 karboksilik asit, 2 ester, 4 furan, 7 keton, 8 aldehit, 2 terpen, 1 aromatik ve 9 hidrokarbon olmak üzere toplamda 39 tane uçucu bileşen tespit edilmiştir. 6-Metil-5-hepten-2-on bileşeninin KDKPK ile elde edilen örneklerden daha düşük bulunduğu ve depolamaya göre stabilite gösterdiği değerlendirilmiştir. Furfural miktarın ise KDKPK ile elde edilen örneklerden daha yüksek bulunduğu görülmektedir. Esmerleşme indeksi ve HMF miktarlarının da KDKPK ile üretilen tozlardan daha yüksek olduğu göz önüne alındığında furfural bileşeninin fazla çıkması bu durumu destekler niteliktedir. (Z)-3,7-dimetil-2,6-oktadienal, sitral ve 2,3-Butandiol bileşenleri de KDKPK ile elde edilen örneklerde benzer alan vermiştir. β -siklodekstrin, hidrofobik aroma bileşenlerini iç boşluğuna alarak dış koşullardan koruyan ve suda çözünür kapsüller oluşturan bir taşıyıcıdır. Tez çalışması kapsamında uçucu bileşen analizi doğrudan toz formda gerçekleştirilmiş olup, β -siklodekstrin içeren örneklerde aroma bileşenlerinin KDKPK yöntemiyle elde edilen örneklerle benzer düzeyde tespit edilmesi, kapsülleme etkinliğinin sınırlı kaldığını ve aroma bileşiklerinin büyük ölçüde serbest formda bulunduğunu göstermektedir.

UDKPK sisteminde kurutulan domates tozlarının depolamaya bağlı uçucu bileşen değişimi Çizelge 4.73'te verilmiştir. UDKPK sisteminde kurutulan örneklerin uçucu bileşen sonuçları incelendiğinde, 2 alkol, 3 karboksilik asit, 2 ester, 4 furan, 8 keton, 7aldehit, 2 terpen, 2 aromatik ve 12 hidrokarbon olmak üzere toplamda 42 tane uçucu bileşen tespit edilmiştir. Furan grubundan özellikle furfural değerine bakıldığında köpük kurutma yaklaşımıyla kurutulan örneklerle benzer sonuçlar gösterdiği görülmüştür. Aynı şekilde 6-Metil-5-hepten-2-on ve 2,3-Butandiol bileşenlerinin KDKPK elde edilen tozlardan daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.74'te verilen KPK sisteminde kurutulan örneklerin uçucu bileşen sonuçları incelendiğinde, 4 alkol, 3 karboksilik asit, 2 ester, 3 furan, 8 keton, 8 aldehit, 2 terpen, 1 aromatik ve 6 hidrokarbon olmak üzere toplamda 37 tane uçucu bileşen tespit edilmiştir. KPK ile üretilen domates tozlarının KDKPK ile benzer bileşenler ve aroma aktif bileşenlerde benzer sonuçlar gösterdiği görülmektedir (Çizelge 4.74). Furan grubundan furfural bileşenine bakıldığında 0.31 ile 1.74×10^6 aralığında değişmekte olup depolamaya bağlı azaldığı görülmektedir. KDKPK ile üretilen domates tozlarında da furfural 0.36 ile 1.38×10^6 arasında değişmekte olup depolama ile azalmaktadır. Ayrıca KPK ile üretilen örneklerde farklı olarak 2-furil asetil keton bileşeni tespit edilmiştir. Isıya maruz kalma süresi ve esmerleşme indeksi değerleri göz önüne alındığında, KPK yöntemiyle üretilen örneklerde esmerleşme indeksi, KDKPK yöntemiyle elde edilen tozlara kıyasla daha yüksek belirlenmiştir. Bu durum, 2-furil asetil keton aroma bileşiklerinin sadece KPK ile üretilen örneklerde bulunmasıyla da desteklenmektedir. KPK ile üretilen örneklerde KDKPK ile elde edilen örneklerden farklı olarak 2,4-dietil-heptanol ve 2-oktenal bileşenleri bulunmaktadır.

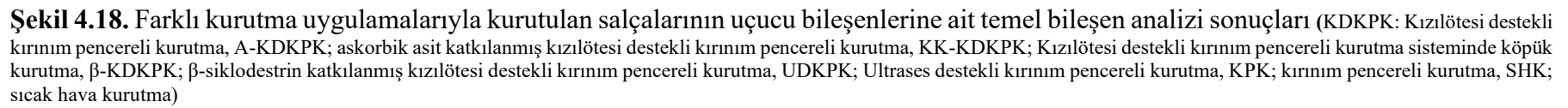
SHK ile elde edilen domates tozlarının uçucu bileşenleri incelendiğinde (Çizelge 4.75); 3 alkol, 1 karboksilik asit, 2 ester, 3 furan, 9 keton, 7 aldehit, 2 terpen, 2 aromatik ve 7 hidrokarbon olmak üzere toplamda 36 tane uçucu bileşen tespit edilmiştir. KDKPK ile kurutulan örneklerde aynı ana bileşenler belirlenmiştir. Nitekim SHK'da da alkol grubundan 2,3-butandiol, karboksilik asit grubundan asetik asit, furan grubundan furfural, keton grubundan 6-metil-5-hepten-2-on, aldehit grubundan 3,7-dimetil-2,6-oktadienal (Z), terpen grubundan sitral, aromatik gruptan, 3,5-dimetil- fenol ve hidrokarbonlardan 2-metil-6-metilen-2-okten yüksek miktarda tespit edilen bileşenlerdir. SHK ile kurutulan örneklerde KDKPK sisteminden farklı olarak 2,5-Dimetil-1,5-heksadien-3,4-diol, nonanal, 2-oktenal, 1,2,3,4-Tetrametil benzen, 1-İyodoheksadekan ve Heneikozan bileşenleri tespit edilmiştir. Nonanal ve 2-oktenal aroma ve lezzet kalitesine olumlu katkı sağlayan domateslerde doğal olarak bulunan bileşenlerdir. Nonanal bileşeni, düşük eşik değeri sayesinde ürüne hoş bir tatlımsı, çiçeksi aroma katkısı sağlamaktadır. SHK yöntemiyle yapılan kurutmada kuruma süresi uzun olmasına rağmen, sistemin kapalı yapısı sayesinde havayla direk temas etmeyen bu bileşiklerin daha iyi korunduğu değerlendirilmiştir. 2,3-Butanediol bileşeni KDKPK ile üretilen örneklerde daha yüksek miktarda tespit edilmiş olup furfural içeriği de daha az belirlenmiştir. Ayrıca 6-Metil-5-hepten-2-on, sitral ve 3,7-dimetil-2,6-oktadienal (Z) bileşenleri KDKPK ile elde edilen örneklerle benzer sonuçlar göstermiştir.

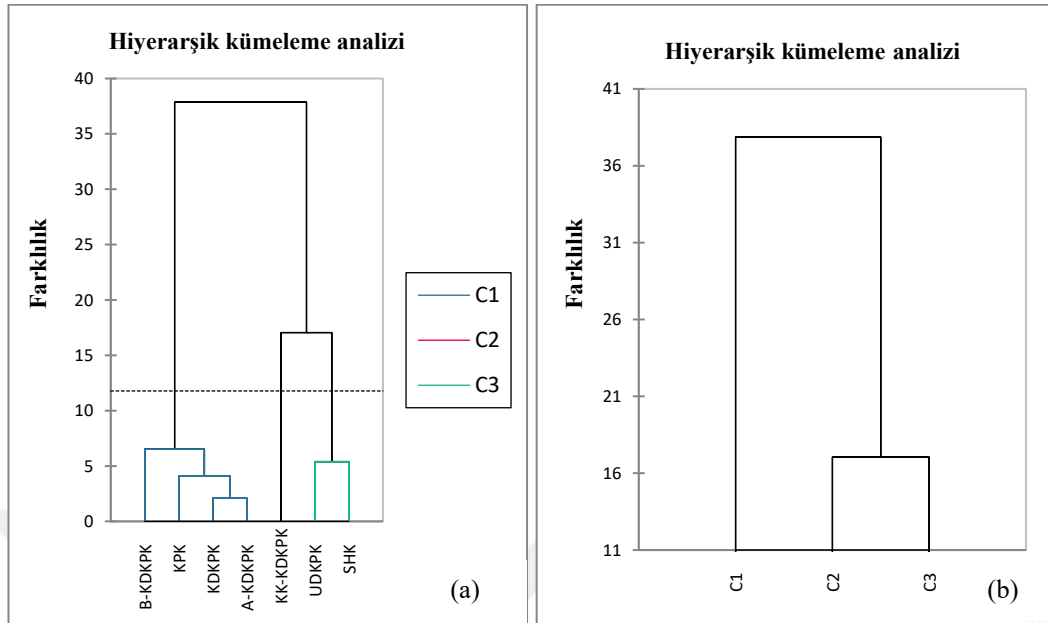
Hekzenal bileşiğinin taze domatesten en güçlü bileşen olduğu belirten çalışmalar olmakla birlikte Markovic vd. (2007) ve Tandon vd. (2000) taze domatesten Z-3-hekzenal'in karakteristik bileşen olduğunu bildirmişlerdir. Hekzenal bileşeni sadece köpük kurutma yaklaşımı ve β -siklodekstrin katkılanarak KDKPK ile kurutulan

örneklerde tespit edilmiştir. β -siklodekstrin eklenen örneklerde 0. günde tespit edilememiş ancak depolama süresinde tespit edilmiştir. Köpük kurutma ile kuruma süresinin kısa olmasına bağlı bu bileşen tespit edilmiştir. Nitekim Sumonsiri ve Barringer (2014), hekzenal ve Z-3-hekzenal bileşiklerinin ısıtma işlemi, pastörizasyon işlemleri gibi ısıtma işlemleri sırasında buharlaştıklarını belirtmişlerdir. Markovic vd. (2008) salça üretimi sırasında furfural ve 5-metil furfural bileşiklerinin ısıya bağlı şekerlerin ve askorbik asidin parçalanmasıyla özellikle pentoz ve heksozların hidrolizi ile oluştuğunu rapor etmişlerdir. Domates tozlarının furan grubundan furfural bileşiği değerlendirildiğinde en az furfural bileşimi köpük kurutma yaklaşımıyla KDKPK ile elde edilen örneklerde tespit edilmiştir.

Farklı kurutma uygulamalarıyla kurtulan domates tozlarına ait temel bileşen analizi Şekil 4.18’de Hiyerarşik kümeleme analizi de Şekil 4.19’da verilmiştir. Hiyerarşik kümeleme analizine göre kurutma yöntemleri bakımından 3 farklı küme oluşturulduğu görülmektedir. KDKPK, A-KDKPK, β -KDKPK ve KPK yöntemleri uçucu bileşenler bakımında bir küme, SHK ile UDKPK bir küme ve KK-KDKPK diğer bir kümeyi oluşturulmuştur. KDKPK, β -KDKPK ve KPK yöntemleri ile elde edilen tozlardaki uçucu bileşenlerde Maillard reaksiyon ürünleri olan furfural, 1H-pirol-2-karboksaldehit, 1H-pirol-2-karboksaldehit ve 2,3-Dihidro-3,5-dihidroksi-6-metil-4H-piran-4-on bileşenlerin bu grup için belirleyici olduğu anlaşılmıştır. Nitekim HMF ve esmerleşme indeksi değerleri bu gruplarda daha fazla tespit edilmiştir.

KK-KDKPK ile UDKPK kurutulan örneklerde de domates için önemli aroma aktif bileşen olan 6-Metil-5-hepten-2-on bileşeni ayırıcı grup olmuş olup diğer kurutmalara göre daha yüksek bulunmuştur. SHK ile kurutulan örneklerde ise 6,10-Dimetil-5,9-undekadien-2-on, (Z)- 3,7-dimetil-2,6-Oktaadienal, nonanal daha yüksek bulunmuştur. Nonanal sadece SHK örneklerde tespit edilmiş olup SHK kurutmada ile kurutulan örneklerde nonanoik asit tespit edilmemiştir. Bu durumda SHK ile yapılan kurutmada oksidasyonun daha az olduğu değerlendirilmiştir. Nitekim nonanoik asit nonanalın oksidasyonla parçalanma ürünüdür.





Şekil 4.19. Farklı kurutma uygulamalarıyla kurutulmuş salçalarının uçucu bileşenlerine ait hiyerarşik kümeleme analizi sonuçları (KDKPK: Kızılötesi destekli kırıyım pencereli kurutma, A-KDKPK; askorbik asit katkılanmış kızılötesi destekli kırıyım pencereli kurutma, KK-KDKPK; Kızılötesi destekli kırıyım pencereli kurutma sisteminde köpük kurutma, β -KDKPK; β -siklodekstrin katkılanmış kızılötesi destekli kırıyım pencereli kurutma, UDKPK; Ultrases destekli kırıyım pencereli kurutma, KPK; kırıyım pencereli kurutma, SHK; sıcak hava kurutma)

Tez çalışması kapsamında tüm kurutma uygulamalarında uçucu bileşenler her bir grup içinden 2,3-butandiol, asetik asit furfural, 6-Metil-5-hepten-2-on, (Z)-3,7-dimetil-2,6-Oktaadienal, sitral, 3,5-dimetil-fenol ve 2-Metil-6-metilen-2-okten en yüksek alanda tespit edilen bileşenlerdir. Genel olarak bu bileşiklerin miktarı depolamaya bağlı azalmakta olup yüksek sıcaklıkta depolanan örneklerde bu azalmanın daha fazla olduğu görülmektedir. 2,3 butandiol en yüksek, SHK ile elde edilen örneklerde belirlenmiştir. 6-metil- 5-hepten-2-on domates ürünlerinde önemli bir aroma-aktif keton bileşiği olarak belirlenmiştir (Selli vd. 2014; Tandom vd. 2001). Domates tozlarının da 2-Metil-6-metilen-2-okten bileşeni de köpük kurutma yaklaşımıyla elde edilen örneklerde belirlenmiş olup ısıtılma işlemine maruz kalma süresinin az olmasına bağlı korunduğu değerlendirilmiştir. Nitekim domatesin salçaya işlenmesinde soğuk ve sıcak işleme yöntemine bağlı olarak uçucu bileşenlerin farklılık gösterdiği ve 2-Metil-6-metilen-2-okten bileşeninin soğuk işleme yapılan salçalarda daha yüksek bulunduğu rapor edilmiştir (Kelebek vd. 2017). β -siklodekstrin ilave edilen örneklerde, aroma bileşenlerinin kapsüllü forma geçmesi nedeniyle gaz kromatografisi analizinde serbest aroma bileşiklerinin tespit düzeylerinde azalma beklenmektedir. β -siklodekstrin iç boşluğu hidrofobik, dış yüzeyi hidrofilik bir yapıya sahip olup uçucu bileşenler ile iç yüzeyine hapsederek kompleks oluşturmaktadır. Uçucu bileşikler ortamdan tamamen kaybolmaz; ancak kapsül içindeki formları GC analizinde buhar fazına geçemedikleri için tespit edilemez hale gelir. Bu nedenle β -siklodekstrin içeren toz örneklerde yapılan doğrudan GC analizlerinde, özellikle aroma aktif bileşiklerin pik alanları azalabilir veya bazı

bileşikler hiç tespit edilemeyebilir. Tez alışması kapsamında β -siklodekstrin katkılanarak elde edilen domates tozlarının uçucu bileşenleri direk katkı yapılmadan KDKPK ile elde edilen örneklerle karşılaştırıldığında, uçucu bileşen miktarlarında benzer sonuçlar gösterdiği, 6-Metil-5-hepten-2-on alanının β -KDKPK ile üretilen örneklerde $25.81 \cdot 10^6$ bulunurken KDKPK ile kurutulan örneklerde $26.15 \cdot 10^6$ tespit edilmiştir. β -siklodekstrin katkılanan örneklerde 6-Metil-5-hepten-2-on depolama boyunca daha stabildir. β -siklodekstrin katkılanan örneklerde D-limonen bileşeni kurutma sonrası tespit edilmemiş 4°C 30. günden sonra depolamaya boyunca tespit edilmiştir. 2-Metil-6-metenil-2-okten bileşeni de sadece 25°C depolanan örneklerde gözlenmiştir. Ayrıca hekzanal bileşeni de β -siklodekstrin katkılanarak kurutulan örneklerde bulunurken KDKPK ile kurutulan örneklerde tespit edilememiştir. Bu bileşen β -siklodekstrin eklenen örneklerde 0. günde tespit edilememiş ancak depolama süresinde tespit edilmiştir. Bu durumun β -siklodekstrinin bu bileşeni koruduğu ve depolamaya bağlı salınım göstermesinden kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde β -siklodekstrin ilavesinin bazı bileşenlerin tutulmasına yardımcı olduğu ancak genel olarak uçucu bileşenlerin kapsüllenmesi bakımında yetersiz kaldığı değerlendirilmiştir. Kırınım Pencereli Kurutma sistemleri, kurutma sırasında serilen pürelere geniş yüzey alanına sahip olması ve sistemin yarı açık yapıda çalışması nedeniyle, ürünlerin doğrudan hava ile temas etmesine neden olmaktadır. Bu durum, özellikle uçucu aroma bileşenlerinin buharlaşarak kaybolmasına yol açmaktadır. Ayrıca bu durum göz önüne alındığında β -siklodekstrin ilavesinin aroma koruyucu etkisinin sınırlı kaldığı değerlendirilmiştir. SHK yöntemiyle yapılan kurutmada kuruma süresi uzun olmasına rağmen, sistemin kapalı yapısı sayesinde nonanal ve 2-oktenal daha iyi korunmuştur. Köpük kurutma yaklaşımı genel olarak değerlendirildiğinde sürenin kısa olmasına bağlı uçucu bileşenlerin korunmasında alternatif bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.69. KDKPK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
Alkol									
2,3-Butandiol	1.97±0.05	2.51±0.04	1.86±0.05	1.82±0.09	1.65±0.09	2.42±0.03	2.18±0.01	1.98±0.12	1.96±0.08
2-izopropil-5-metil-1-heptanol	0.33±0.07	0.51±0.03	0.45±0.02	0.44±0.01	0.12±0.00	1.35±0.01	1.00±0.00	0.11±0.00	t.e
Tridekanol	t.e	0.53±0.02	0.42±0.00	0.39±0.01	t.e	1.06±0.00	0.94±0.04	0.40±0.00	t.e
Karboksilik asit									
Asetik asit	1.98±0.11	2.90±0.21	2.20±0.08	2.15±0.09	1.82±0.11	2.99±0.02	2.63±0.20	2.37±0.05	1.91±0.18
3-Metilbütanoik asit	0.45±0.01	0.42±0.00	0.51±0.02	0.40±0.00	0.52±0.01	0.42±0.02	0.68±0.01	0.54±0.09	0.43±0.02
Nonanoik asit	0.51±0.03	1.99±0.05	2.12±0.01	1.59±0.19	t.e	0.65±0.04	t.e	0.82±0.11	2.73±0.01
Ester									
Gliserol monoasetat	0.29±0.01	0.44±0.11	0.60±0.02	0.68±0.18	0.36±0.00	0.23±0.02	0.34±0.01	0.24±0.04	0.42±0.01
Triasetin	7.61±0.09	8.91±0.06	10.81±0.02	7.43±0.11	6.98±0.24	7.56±0.10	8.91±0.02	6.49±0.62	5.51±0.28
Furan									
Furfural	1.31±0.01	1.37±0.05	1.38±0.05	0.78±0.06	0.33±0.01	0.85±0.01	0.53±0.01	0.52±0.00	0.36±0.01
2-furanmetanol	0.17±0.01	0.19±0.02	0.20±0.02	0.22±0.04	0.30±0.01	0.26±0.02	0.44±0.02	0.30±0.04	0.17±0.00
5-Metil-2(5H)-furanon	0.08±0.00	0.11±0.01	0.19±0.00	0.15±0.01	0.15±0.00	0.29±0.00	0.32±0.03	0.17±0.00	0.19±0.01
3-(4-metil-3-pentenil) furan	0.48±0.01	0.53±0.02	0.52±0.00	0.37±0.03	0.34±0.01	0.41±0.02	0.45±0.02	0.45±0.01	0.34±0.01
Keton									
Aseton	0.74±0.07	0.47±0.02	0.71±0.02	0.56±0.02	0.21±0.00	0.18±0.01	0.15±0.01	0.47±0.05	0.49±0.02
1-(1-sikloheksen-1-il)etanon	0.17±0.05	0.43±0.05	0.33±0.00	0.31±0.01	0.27±0.01	0.37±0.03	0.34±0.06	0.26±0.01	0.25±0.01
6-Metil-5-hepten-2-on	26.15±0.71	27.24±0.92	25.65±0.35	18.74±1.41	18.83±2.01	23.78±1.20	24.62±2.70	18.72±1.10	18.01±0.32
1-(1H-pirol-2-il)etanon	0.17±0.04	0.20±0.06	0.25±0.04	0.25±0.01	0.50±0.01	0.19±0.01	0.29±0.01	0.43±0.00	0.41±0.03
6-Metil-3,5-heptadien-2-on	0.73±0.04	1.78±0.05	1.92±0.05	1.94±0.52	2.42±0.13	1.56±0.90	2.14±0.20	2.32±0.51	2.16±0.13
1-[3-Metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksiranil]etanon	t.e	0.72±0.01	0.89±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e	0.53±0.01
6,10-Dimetil-5,9-undekadien-2-on	0.24±0.04	0.55±0.02	0.92±0.00	0.79±0.08	0.69±0.03	0.45±0.05	0.67±0.02	0.56±0.13	0.97±0.05
2,3-Dihidro-3,5-dihidroksi-6-metil-4H-piran-4-on	1.11±0.08	0.85±0.01	0.87±0.02	0.74±0.06	t.e	1.02±0.02	1.15±0.04	0.62±0.01	0.65±0.12
Aldehit									
2-Etilbütanal	1.25±0.03	2.02±0.06	2.40±0.20	1.90±0.21	1.46±0.07	1.78±0.08	2.12±0.02	1.67±0.41	2.13±0.05

(Devamı arkada)

Çizelge 4.69'un devamı

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
Benzaldehit	0.52±0.01	0.65±0.05	0.81±0.05	0.59±0.02	0.56±0.01	0.66±0.01	0.75±0.02	0.60±0.09	0.65±0.01
1H-Pirol-2-karboksaldehit	1.33±0.04	1.67±0.09	1.99±0.02	1.44±0.58	1.80±0.08	1.70±0.02	2.21±0.01	1.77±0.07	1.60±0.08
Fenilasetaldehit	1.50±0.01	1.97±0.05	1.77±0.02	1.33±0.01	0.93±0.04	1.50±0.03	1.39±0.04	1.38±0.04	0.98±0.01
dodekanal	0.06±0.00	0.11±0.00	0.15±0.02	t.e	0.04±0.00	t.e	0.08±0.00	0.09±0.01	0.07±0.00
5-İzopropenil-2-metil-siklopent-1-enkarbaldehit	0.12±0.04	0.24±0.06	0.32±0.01	0.28±0.08	0.44±0.00	0.45±0.00	0.62±0.04	0.46±0.05	0.33±0.00
3-Metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksirano-karboksaldehit	0.90±0.00	0.95±0.03	0.55±0.01	0.48±0.04	t.e	0.51±0.01	0.23±0.01	0.14±0.00	t.e
(Z)-2,6-Oktaadienal, 3,7-dimetil	1.96±0.04	2.60±0.05	2.37±0.30	1.46±0.14	0.39±0.01	1.01±0.02	0.79±0.02	0.47±0.04	0.43±0.01
Terpen									
D-limonen	0.60±0.01	0.31±0.00	0.10±0.00	t.e	t.e	0.11±0.00	0.09±0.00	t.e	t.e.
Sitral	3.86±0.05	3.65±0.05	2.98±0.09	2.31±0.42	0.81±0.01	2.33±0.15	1.71±0.08	1.42±0.02	0.91±0.09
Aromatik									
3,5-dimetil-Fenol	0.63±0.02	0.57±0.02	0.47±0.03	0.28±0.01	t.e	0.56±0.02	t.e	t.e	t.e
Hidrokarbon									
2,6,11-trimetil-dodekan	0.28±0.02	t.e	t.e	t.e	0.19±0.01	0.34±0.05	0.33±0.04	0.11±0.01	t.e
dodekan	t.e	t.e	0.28±0.06	t.e	t.e	0.71±0.04	0.69±0.01	t.e	t.e
oktadekan	0.17±0.06	t.e	t.e	t.e	0.15±0.01	1.49±0.01	1.79±0.02	0.50±0.04	0.29±0.00
2,6,10,14-Tetrametilheksadekan	t.e	0.70±0.01	0.83±0.01	0.07±0.00	0.07±0.01	1.47±0.02	0.84±0.09	0.14±0.00	0.09±0.00
4,6-Dimetildodekan	0.55±0.01	t.e	t.e	0.66±0.03	0.58±0.02	0.53±0.05	0.71±0.06	0.57±0.01	0.70±0.05
Dokosan	t.e	0.13±0.01	t.e	t.e	0.11±0.00	t.e	0.55±0.00	0.43±0.02	0.17±0.00
2-Metil-6-metilen-2-okten	1.38±0.04	1.17±0.06	0.80±0.03	0.47±0.04	t.e	0.32±0.01	0.21 ±0.02	t.e	0.55±0.01

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Çizelge 4.70. A-KDKPK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
Alkol									
2,3-Butandiol	2.58±0.31	2.08±0.17	1.75±0.13	1.79±0.02	1.60±0.06	2.12±0.02	2.10±0.05	1.62±0.08	1.49±0.05
2-izopropil-5-metil-1-heptanol	0.62±0.01	0.56±0.01	0.49±0.00	0.46±0.00	t.e	1.18±0.05	1.06±0.01	0.81±0.02	t.e
Tridekanol	0.56±0.00	0.45±0.00	0.44±0.01	0.20±0.00	t.e	1.01±0.08	0.87±0.01	0.16±0.00	t.e
Karboksilik asit									
Asetik asit	2.45±0.07	2.15±0.09	2.10±0.12	1.82±0.15	1.57±0.14	2.78±0.05	2.59±0.01	2.33±0.18	2.18±0.06
3-Metilbütanoik asit	0.49±0.01	0.43±0.02	0.47±0.01	0.37±0.01	0.13±0.01	0.67±0.01	0.62±0.03	0.59±0.01	0.53±0.02
Nonanoik asit	0.51±0.04	0.80±0.01	0.82±0.02	1.00±0.15	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e
Ester									
Gliserol monoasetat	0.20±0.00	0.24±0.01	0.33±0.01	0.30±0.00	0.32±0.00	0.14±0.01	0.30±0.00	0.34±0.00	0.40±0.02
Triasetin	7.70±0.61	7.76±0.07	9.24±0.02	7.37±1.25	7.99±0.36	7.96±0.50	9.76±0.14	6.95±0.21	6.30±0.95
Furan									
Furfural	0.93±0.02	0.90±0.00	0.82±0.01	0.55±0.06	0.51±0.02	0.31±0.03	0.19±0.03	0.10±0.01	0.12±0.01
2-furanmetanol	0.24±0.01	0.30±0.01	0.23±0.01	0.18±0.04	0.08±0.01	0.59±0.01	0.56±0.01	0.46±0.03	0.44±0.01
3-(4-metil-3-pentenil) furan	0.55±0.02	0.56±0.00	0.52±0.01	0.39±0.09	0.37±0.02	0.40±0.02	0.44±0.01	0.25±0.02	0.29±0.02
Keton									
Aseton	0.72±0.01	0.42±0.00	0.40±0.00	0.37±0.01	0.36±0.02	0.50±0.01	0.38±0.04	0.25±0.01	0.21±0.02
1-(1-sikloheksen-1-il)etanon	0.14±0.00	0.33±0.04	0.41±0.00	0.31±0.01	0.33±0.02	0.23±0.01	0.30±0.01	0.22±0.02	0.25±0.00
6-Metil-5-hepten-2-on	27.20±0.28	26.36±0.15	26.25±0.05	18.40±2.14	18.20±0.76	21.26±0.11	24.41±0.15	17.07±1.04	16.19±0.27
1-(1H-pirol-2-il)etanon	0.13±0.00	0.19±0.00	0.21±0.00	0.28±0.00	0.30±0.01	0.24±0.04	0.26±0.02	0.31±0.01	0.36±0.02
6-Metil-3,5-heptadien-2-on	0.71±0.14	1.74±0.11	1.27±0.09	1.90±0.31	2.18±0.05	1.32±0.05	1.83±0.07	1.51±0.07	2.14±0.01
1-[3-Metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksiranil]etanon	0.70±0.06	0.65±0.01	0.55±0.01	0.41±0.02	0.31±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e
4,5-dimetil-1,3-dioksol-2-on	0.45±0.04	0.32±0.01	0.30±0.01	0.22±0.04	t.e	t.e	0.49±0.00	t.e	t.e
3,4-Dimetil-3-penten-2-on	t.e	0.82±0.02	0.75±0.01	0.65±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e
6,10-Dimetil-5,9-undekadien-2-on	t.e	0.32±0.01	0.41±0.00	0.34±0.03	0.31±0.00	0.26±0.01	0.38±0.02	0.30±0.08	0.37±0.01
2,3-Dihidro-3,5-dihidroksi-6-metil-4H-piran-4-on	0.83±0.00	0.97±0.01	1.29±0.01	0.90±0.15	0.72±0.02	1.45±0.00	1.84±0.04	0.87±0.02	0.58±0.05
Aldehit									
2-Etilbütanal	1.19±0.02	1.96±0.05	2.09±0.10	2.48±0.10	2.09±0.11	1.51±0.08	1.54±0.04	1.67±0.01	1.87±0.01
Benzaldehit	0.28±0.01	0.38±0.01	0.34±0.02	0.27±0.03	0.59±0.02	0.25±0.01	t.e	t.e	t.e
1H-Pirol-2-karboksaldehit	1.31±0.06	1.59±0.01	1.82±0.03	1.40±0.20	t.e	1.62±0.01	1.81±0.02	1.13±0.21	1.10±0.06
Fenilasetaldehit	1.49±0.01	2.21±0.02	1.97±0.06	1.70±0.16	1.56±0.08	1.99±0.01	1.97±0.01	1.38±0.04	1.25±0.09

(Devamı arkada)

Çizelge 4.70'in devamı

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
3-Metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksirano-karboksaldehit	0.85±0,02	0.78±0.07	0.70±0.04	0.79±0.01	0.45±0.02	t.e	t.e	t.e	t.e
(Z)-2,6-Oktaadienal, 3,7-dimetil	1.79±0,07	2.55±0.09	2.42±0.05	1.53±0.21	1.20±0.01	0.56±0.00	t.e	t.e	t.e
5-İzopropenil-2-metil-siklopent-1-enkarbaldehit	0.27±0.01	0.44±0.02	0.51±0.00	0.46±0.05	0.35±0.01	0.13±0.01	0.64±0.02	0.72±0.11	0.64±0.01
terpen									
D-limonen	0.72±0.15	0.46±0.02	0.43±0.01	0.11±0.01	0.07±0.02	0.46±0.07	0.11±0.00	t.e	t.e
Sitral	3.63±0.18	3.53±0.01	2.67±0,11	2.29±0.35	2.15±0.06	0.92±0.09	0.47±0.01	0.33±0.01	0.13±0.00
1-borneol	0.35±0.00	0.28±0.01	0.32±0.01	0.31±0.00	0.14±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e
Aromatik									
3,5-dimetil-fenol	0.78±0.01	0.69±0.01	0.61±0.01	0.32±0.00	0.44±0.03	0.20±0.01	t.e	t.e	t.e
Hidrokarbon									
2,6,11-trimetil-dodekan	0.27±0.04	t.e	t.e	t.e	t.e	0.36±0.06	0.37±0.05	t.e	t.e
dodekan	t.e	0.40±0.02	t.e	t.e	t.e	0.83±0.01	0.82±0.02	t.e	t.e
tridekan	0.51±0.09	0.40±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e
pentadekan	0.08±0.00	0.77±0.05	0.87±0.01	0.53±0.02	0.09±0.01	0.05±0.00	0.11±0.02	0.18±0.03	.08±0.00
oktadekan	0.25±0.01	0.28±0.01	0.31±0.01	0.29±0.01	0.19±0.01	2.11±0.06	1.90±0.01	1.02±0.01	0.78±0.02
2,6,10,14-Tetrametilheksadekan	0.06±0.00	0.08±0.00	0.09±0.01	0.07±0.00	0.06±0.00	0.15±0.01	0.14±0.02	0.11±0.01	0.07±0.01
4,6-Dimetildodekan	0.71±0,00	0.60±0.03	0.69±0.01	0.78±0.10	0.84±0.03	0.68±0.01	0.88±0.03	0.84±0.04	1.41±0.01
Dokosan	0.14±0.01	0.15±0.02	0.11±0.01	0.14±0.01	t.e	0.15±0.01	0.63±0.01	0.42±0.03	0.56±0.02
2-Metil-6-metilen-2-okten	0.73±0.02	1.90±0.01	0.60±0.00	0.23±0.0.	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Çizelge 4.71. KK-KDKPK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
Alkol									
2,3-Butandiol	3.62±0.07	3.60±0.09	3.48±0.04	3.34±0.07	2.89±0.10	4.22±0.10	4.04±0.21	3.09±0.60	3.02±0.0
1,5-Hekzadien-3,4-diol, 2,5-dimetil	0.56±0.03	1.02±0.00	1.24±0.05	0.95±0.40	1.06±0.01	0.87±0.01	0.85±0.02	1.03±0.02	1.08±0.05
Tridekanol	t.e	0.63±0.01	0.56±0.00	0.52±0.00	t.e	1.25±0.00	1.49±0.01	t.e	t.e
2-İzopropil-5-metil-1-heptanol	0.72±0.01	0.43±0.01	t.e	t.e	t.e	1.43±0.02	1.67±0.05	1.10±0.04	0.33±0.00
Karboksilik asit									
Asetik asit	2.37±0.01	2.16±0.09	2.15±0.05	1.85±0.01	1.53±0.08	2.91±0.01	2.55±0.02	2.02±0.01	1.93±0.09
Nonanoik asit	0.49±0.02	0.77±0.00	0.82±0.01	1.69±0.14	3.20±0.03	0.95±0.01	t.e	t.e	t.e
Ester									
Gliserol monoasetat	0.32±0.01	0.27±0.02	0.46±0.01	0.47±0.03	0.50±0.00	0.35±0.01	0.37±0.00	0.40±0.01	0.40±0.00
Triasetin	6.45±0.41	6.19±0.06	7.78±0.01	5.64±0.27	9.99±0.01	6.98±0.15	8.11±0.01	6.74±0.58	6.96±0.12
furan									
Furfural	0.64±0.00	0.59±0.02	0.60±0.00	0.51±0.00	0.40±0.00	0.50±0.00	0.44±0.02	0.25±0.01	0.23±0.00
2-furanmetanol	t.e	t.e	t.e	t.e	0.08±0.00	0.09±0.00	0.10±0.00	0.11±0.01	0.12±0.01
5-Metil-2(5H)-furanon	0.04±0.00	0.05±0.00	0.04±0.00	t.e	t.e	0.24±0.00	0.25±0.00	0.32±0.02	0.43±0.00
Furan, 3-(4-metil-3-pentenil)	0.51±0.01	0.52±0.01	0.47±0.00	0.33±0.02	0.37±0.00	0.47±0.00	0.41±0.00	0.40±0.00	0.29±0.01
Keton									
Aseton	0.82±0.11	0.42±0.01	0.37±0.01	0.41±0.03	0.36±0.01	0.17±0.00	0.19±0.00	0.26±0.01	0.44±0.00
1-(1-Sikloheksenil)etanon	0.60±0.00	0.50±0.01	0.33±0.00	0.41±0.00	0.24±0.00	0.29±0.01	0.33±0.00	0.28±0.01	0.26±0.00
6-Metil-5-hepten-2-on	32.19±0.82	33.67±0.18	29.65±0.50	19.66±0.15	18.70±0.10	25.64±0.20	24.78±0.18	19.33±0.21	17.90±0.80
6-Metil-3,5-heptadien-2-on	0.79±0.01	1.35±0.08	1.27±0.15	1.69±0.06	1.75±0.01	1.43±0.01	1.61±0.02	1.89±0.11	1.79±0.03
1-(1H-pirol-2-il)etanon	t.e	0.05±0.01	0.06±0.00	0.08±0.00	0.09±0.01	0.24±0.01	0.18±0.01	0.19±0.01	t.e
1-[3-Metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksiranil]etanon	0.59±0.03	1.32±0.02	0.93±0.15	0.55±0.00	t.e	0.32±0.00	t.e	t.e	t.e
6,10-Dimetil-5,9-undekadien-2-on	0.05±0.00	0.40±0.02	0.73±0.00	0.80±0.01	1.20±0.04	0.51±0.01	0.57±0.04	0.69±0.00	0.63±0.01
2,3-Dihidro-3,5-dihidroksi-6-metil-4H-piran-4-on	0.42±0.01	0.39±0.02	0.54±0.02	0.61±0.03	0.72±0.01	0.63±0.01	0.65±0.01	0.72±0.04	0.78±0.01
Aldehit									
hekzanal	0.45±0.01	0.34±0.01	0.37±0.01	0.29±0.01	0.20±0.01	0.09±0.00	0.08±0.01	0.06±0.00	0.05±0.00
2-Etilbütanal	1.52±0.03	3.15±0.08	3.67±0.08	2.85±0.70	2.09±0.02	1.94±0.02	2.13±0.02	1.80±0.22	1.60±0.06
Benzaldehit	0.67±0.00	0.59±0.02	0.59±0.00	0.53±0.06	0.41±0.01	0.97±0.03	0.84±0.01	0.68±0.01	0.67±0.00
Fenilasetaldehit	2.23±0.13	2.07±0.09	1.73±0.01	1.61±0.25	1.56±0.01	1.74±0.02	1.65±0.01	1.08±0.14	1.05±0.03

(Devamı arkada)

Çizelge 4.71'in devamı

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
2-Oktenal	t.e	0.41±0.01	t.e	0.62±0.04	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e
dodekanal	0.10±0.00	0.07±0.01	0.08±0.01	0.06±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e
5-İzopropenil-2-metil-siklopent-1-enkarbaldehit	0.75±0.01	0.77±0.01	0.72±0.00	0.54±0.07	0.35±0.00	1.40±0.05	1.42±0.05	1.02±0.04	0.91±0.02
3-Metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksirano-karboksaldehit	0.45±0.02	0.58±0.01	0.85±0.02	0.91±0.01	1.17±0.03	t.e	t.e	t.e	t.e
(Z)-3,7-Dimetil-2,6-oktadienal	1.90±0.04	2.23±0.05	1.91±0.02	1.20±0.04	0.94±0.01	0.79±0.01	0.62±0.00	0.40±0.04	0.39±0.00
terpen									
D-limonen	0.68±0.01	0.43±0.00	0.30±0.01	0.17±0.00	t.e	0.07±0.00	0.06±0.00	t.e	t.e
sitral	3.18±0.17	2.79±0.01	2.82±0.10	2.15±0.08	1.48±0.50	1.29±0.01	1.13±0.01	0.86±0.14	0.71±0.01
Aromatik									
Fenol, 3,5-dimetil	0.25±0.01	0.60±0.01	0.69±0.01	0.55±0.04	0.04±0.01	0.27±0.01	t.e	t.e	t.e
Hidrokarbon									
2-Metil-6-metenil-2-okten	1.71±0.01	1.73±0.08	1.44±0.02	0.93±0.05	0.60±0.00	0.43±0.02	0.35±0.01	0.16±0.01	0.15±0.00
dodekan	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e	1.04±0.08	1.05±0.01	1.10±0.11	1.34±0.03
tridekan	t.e	0.60±0.00	0.54±0.01	0.49±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e
hekzadekan	t.e	0.56±0.01	0.31±0.01	0.08±0.00	0.06±0.00	0.03±0.00	0.10±0.01	0.08±0.00	0.08±0.01
heptadekan	0.31±0.03	0.20±0.00	0.13±0.00	0.10±0.00	0.07±0.00	0.09±0.00	0.08±0.00	0.09±0.00	0.10±0.00
oktadekan	0.35±0.01	0.65±0.03	0.79±0.01	0.86±0.01	0.88±0.00	0.36±0.08	0.42±0.01	0.41±0.00	0.77±0.01
4,6-Dimetil-dodekan	0.60±0.04	0.66±0.01	0.72±0.01	0.79±0.15	0.75±0.02	0.80±0.01	0.98±0.02	0.66±0.16	0.35±0.01
Heneikosan	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e	1.84±0.02	2.18±0.06	1.81±0.07	1.63±0.08
2,6,10,14-Tetrametilheksadekan	0.07±0.00	0.08±0.00	0.06±0.00	0.06±0.00	0.11±0.01	0.02±0.00	0.05±0.03	0.72±0.04	0.91±0.01
Dokosan	t.e	0.17±0.00	0.16±0.00	0.14±0.00	0.10±0.00	0.59±0.01	0.54±0.02	0.46±0.00	0.40±0.01

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Çizelge 4.72. β -KDKPK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
Alkol									
2-İzopropil-5-metil-1-heptanol	0.34±0.01	0.65±0.02	0.58±0.01	0.44±0.02	0.20±0.00	1.19±0.01	1.04±0.03	0.66±0.01	0.29±0.00
2,3-Butandiol	2.98±0.00	2.90±0.07	3.10±0.08	3.01±0.04	2.46±0.01	3.79±0.02	3.34±0.020	3.45±0.10	2.61±0.14
tridekanol	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e	1.15±0.08	1.37±0.05	0.86±0.08	t.e
2-Bütil,1-oktanol	0.41±0.02	0.58±0.01	0.68±0.00	0.53±0.04	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e
Karboksili Asit									
Asetik asit	2.32±0.01	2.54±0.02	2.93±0.05	2.44±0.15	1.87±0.01	2.98±0.02	3.57±0.07	2.69±0.05	2.58±0.71
Nonanoik asit	0.42±0.01	0.84±0.02	1.58±0.08	2.80±0.11	t.e	0.72±0.05	t.e	t.e	t.e
Ester									
Gliserol monoasetat	0.25±0.00	0.26±0.00	0.33±0.02	0.42±0.00	0.55±0.01	0.21±0.00	0.28±0.00	0.33±0.00	0.50±0.01
Triasetin	8.33±0.09	7.86±0.09	10.95±0.25	7.00±0.14	8.68±0.14	8.33±0.15	9.26±0.32	6.81±0.21	10.57±0.12
Furan									
furfural	1.60±0.02	1.65±0.08	1.68±0.01	1.00±0.02	0.51±0.00	0.67±0.01	0.52±0.00	0.31±0.01	0.28±0.01
2-furan-metanol	0.20±0.00	0.18±0.01	0.19±0.00	0.12±0.00	0.06±0.00	0.34±0.01	0.40±0.00	0.23±0.02	0.19±0.01
5-Metil-2(3H)-furanon	0.14±0.00	0.13±0.00	0.17±0.01	0.18±0.00	0.18±0.01	0.26±0.00	0.32±0.02	0.54±0.01	0.62±0.01
3-(4-metil-3-pentenil) Furan	0.49±0.01	0.55±0.01	0.52±0.00	0.50±0.01	0.36±0.01	0.44±0.01	0.39±0.01	0.37±0.00	0.33±0.00
Keton									
Aseton	0.71±0.01	0.43±0.02	0.40±0.00	0.44±0.00	0.54±0.00	0.19±0.00	0.15±0.00	0.17±0.00	0.41±0.01
6-Metil-5-hepten-2-on	25.81±0.26	25.22±1.18	25.95±0.80	25.62±0.07	20.77±1.15	25.42±0.46	20.11±0.50	19.62±1.45	18.42±0.15
1-(1H-Pirol-2-il)etanon	0.23±0.00	0.24±0.00	0.30±0.01	0.19±0.00	0.08±0.00	0.54±0.02	0.48±0.00	0.47±0.01	0.38±0.00
6-Metil-3,5-heptadien-2-on	0.71±0.06	1.22±0.04	1.48±0.02	1.69±0.04	1.78±0.06	1.35±0.02	1.49±0.03	1.54±0.41	1.76±0.01
3,4-dimetil-3-penten-2-on	0.48±0.02	t.e	0.67±0.04	0.99±0.00	1.18±0.01	0.06±0.00	0.05±0.00	t.e	t.e
1-[3-metil-3-(4-metil-pentenil)oksiranil]etanon	0.41±0.00	0.77±0.02	0.87±0.01	0.45±0.01	0.58±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e
2,3-Dihidro-3,5-dihidroksi-6-metil-4H-piran-4-on	1.41±0.17	1.95±0.01	1.05±0.15	0.95±0.03	0.44±0.00	1.57±0.01	1.13±0.05	1.10±0.01	1.01±0.07
Aldehit									
hekzanal	t.e	0.21±0.01	0.27±0.01	0.27±0.00	0.29±0.00	0.03±0.00	0.04±0.00	0.08±0.01	0.12±0.00
2-Etilbütanal	0.96±0.01	1.65±0.01	1.79±0.04	2.11±0.03	2.24±0.09	1.21±0.04	1.35±0.05	1.53±0.01	1.55±0.05
Benzaldehit	0.72±0.00	0.71±0.00	0.78±0.01	0.65±0.04	0.62±0.01	0.83±0.02	0.74±0.02	0.61±0.04	0.60±0.00
1H-Pirol-2-karbaldehit	1.24±0.04	1.27±0.09	1.20±0.01	1.21±0.57	1.18±0.04	1.58±0.02	1.62±0.02	1.41±0.15	1.20±0.04
Fenilasetaldehit	1.49±0.04	1.79±0.05	1.96±0.05	1.48±0.01	1.36±0.07	1.39±0.05	1.29±0.01	0.90±0.14	0.88±0.01
5-İzopropenil-2-metil-siklopent-1-en karboksaldehit	0.08±0.01	0.14±0.00	0.15±0.01	0.13±0.00	0.49±0.01	0.39±0.01	0.48±0.02	0.36±0.01	0.72±0.01

(Devamı arkada)

Çizelge 4.72'in devamı

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
3-metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksirankarbaldehit	0.52±0.02	0.70±0.01	1.01±0.01	1.35±0.02	1.67±0.04	0.28±0.01	t.e	t.e	t.e
(Z)-3,7-dimetil-2,6-oktadienal	1.94±0.03	2.55±0.02	2.51±0.09	1.36±0.04	1.37±0.01	1.20±0.05	0.98±0.01	0.62±0.12	0.43±0.00
terpen									
D-limonen	t.e	t.e	0.57±0.01	0.30±0.02	0.11±0.01	0.12±0.00	t.e	t.e	t.e
Citral	3.97±0.14	3.85±0.09	3.11±0.19	2.28±0.01	2.16±0.01	1.21±0.04	2.02±0.09	1.77±0.01	0.90±0.02
Aromatik									
3,5 dimetil-fenol	t.e	0.46±0.02	0.53±0.03	0.57±0.01	0.65±0.02	t.e	t.e	t.e	t.e
Hidrokarbon									
2-etil-6-metil-1,5-heptadien	1.38±0.10	1.40±0.02	1.21±0.04	0.76±0.04	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e
2-Metil-6-metenil-2-okten	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e	0.39±0.01	0.30±0.00	0.14±0.00	0.10±0.00
Dodekan	t.e	0.49±0.01	t.e	t.e	t.e	0.82±0.02	0.89±0.01	t.e	0.18±0.00
hekzadekan	0.19±0.00	0.09±0.02	0.10±0.00	0.09±0.00	0.06±0.01	0.08±0.00	0.08±0.010	0.05±0.00	0.11±0.00
oktadekan	0.21±0.00	0.31±0.02	0.36±0.01	0.38±0.00	0.45±0.01	0.68±0.05	0.65±0.01	0.77±0.01	0.79±0.01
4,6-Dimetildodekan	0.43±0.02	0.65±0.05	t.e	t.e	t.e	1.14±0.01	0.90±0.01	0.60±0.02	0.55±0.01
2,6,10,14-tetrametilhekzadekan	t.e	0.11±0.00	0.13±0.01	0.86±0.04	1.45±0.01	0.15±0.00	0.32±0.00	0.58±0.00	0.67±0.04
6,10-Dimetil-5,9-undekadien-2-on	0.22±0.01	0.43±0.01	0.83±0.01	0.92±0.01	1.12±0.01	0.46±0.00	0.54±0.01	0.63±0.01	0.70±0.00
dokosan	0.01±0.00	0.03±0.00	0.10±0.00	0.13±0.01	0.17±0.01	0.41±0.00	0.58±0.00	0.45±0.04	0.65±0.01

Soniçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Çizelge 4.73. UDKPK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
Alkol									
2,3-Butandiol	3.75±0.25	3.67±1.06	3.46±0.52	2.98±0.04	2.61±0.09	4.15±0.18	3.92±0.22	3.05±0.21	2.40±0.13
1,5-Hekzadien-3,4-diol, 2,5-dimetil	0.73±0.01	0.90±0.09	0.97±0.01	1.17±0.07	1.47±0.05	0.99±0.02	1.25±0.12	1.15±0.12	1.72±0.06
Karboksilik asit									
Asetik asit	2.60±0.02	2.51±0.01	2.23±0.12	2.04±0.03	1.66±0.08	3.11±0.12	2.52±0.10	2.40±0.08	2.28±0.11
3-Metilbütanoik asit	0.12±0.00	0.14±0.00	0.13±0.01	0.15±0.01	0.19±0.01	0.20±0.00	0.26±0.01	0.24±0.00	0.30±0.02
Nonanoik asit	0.20±0.00	0.69±0.00	t.e	t.e	2.72±0.04	0.66±0.10	t.e	t.e	t.e
Ester									
Gliserol monoasetat	0.24±0.01	0.28±0.00	0.37±0.01	0.42±0.00	0.57±0.01	0.23±0.01	0.45±0.00	1.60±0.03	2.12±0.03
Triasetin	9.30±0.14	8.94±0.02	12.40±0.01	8.60±0.20	8.86±0.01	9.53±0.20	10.19±1.17	8.83±0.82	6.43±0.10
furan									
Furfural	0.76±0.01	0.79±0.00	0.81±0.08	0.93±0.01	1.10±0.02	0.28±0.01	0.39±0.02	0.38±0.01	0.40±0.00
2-furan-metanol	0.06±0.00	0.09±0.00	0.10±0.00	0.12±0.01	0.14±0.01	0.14±0.00	0.15±0.01	0.20±0.01	0.39±0.01
5-Metil-2(3H)-furanon	0.08±0.00	0.07±0.00	0.10±0.00	0.09±0.00	0.20±0.01	0.13±0.00	0.24±0.02	0.23±0.00	0.25±0.01
3-(4-Metil-3-pentenil)furan	0.61±0.02	0.67±0.02	0.65±0.02	0.43±0.00	0.37±0.01	0.61±0.00	0.53±0.04	0.46±0.01	0.35±0.00
Keton									
Aseton	0.90±0.01	0.57±0.00	0.52±0.00	0.48±0.01	0.47±0.00	0.46±0.01	0.20±0.00	0.20±0.01	0.17±0.00
1-(1-sikloheksen-1-il)etanon	0.17±0.01	0.47±0.01	0.37±0.02	0.35±0.01	0.33±0.01	0.34±0.00	0.28±0.00	0.28±0.01	0.24±0.01
6-Metil-5-hepten-2-on	29.44±0.30	30.27±1.80	30.92±0.85	21.33±1.10	20.68±0.19	19.04±1.10	23.36±0.56	21.28±1.72	16.62±0.14
1-(1H-Pirol-2-il)etanon	0.06±0.00	0.09±0.00	0.12±0.00	0.15±0.00	0.23±0.01	0.17±0.01	0.23±0.00	0.28±0.01	0.66±0.01
6-Metil-3,5-heptadien-2-on	0.87±0.03	1.61±0.20	1.57±0.11	2.12±0.14	2.20±0.08	1.60±0.03	2.37±0.01	2.12±0.03	2.40±0.03
1-[3-metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksiranil]etanon	0.42±0.01	0.82±0.02	0.92±0.05	0.59±0.03	0.54±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e
2,3-Dihidro-3,5-dihidroksi-6-metil-4H-piran-4-on	0.40±0.02	0.41±0.01	0.51±0.02	0.73±0.04	1.28±0.05	0.54±0.02	0.68±0.07	0.70±0.12	1.13±0.01
6,10-Dimetil-5,9-undekadien-2-on	0.25±0.00	0.49±0.00	0.90±0.04	0.97±0.02	1.25±0.03	0.50±0.01	0.62±0.10	0.66±0.05	0.85±0.00
Aldehit									
2-Etilbütanal	1.28±0.01	2.53±0.05	2.18±0.08	2.01±0.04	1.90±0.01	2.08±0.05	1.77±0.03	1.65±0.15	1.73±0.02
Benzaldehit	0.45±0.01	0.69±0.02	0.68±0.01	0.58±0.05	0.53±0.02	0.84±0.00	0.78±0.08	0.68±0.04	0.61±0.01
Fenilasetaldehit	1.53±0.04	2.11±0.10	1.80±0.06	1.49±0.05	1.41±0.07	1.59±0.01	1.54±0.20	1.08±0.01	0.94±0.02
dodekanal	0.09±0.00	0.10±0.00	0.12±0.01	0.09±0.00	0.07±0.00	0.11±0.00	0.08±0.00	0.06±0.00	0.05±0.00
5-İzopropenil-2-metil-siklopent-1-enkarbaldehit	0.34±0.01	0.52±0.01	0.44±0.00	0.46±0.01	0.16±0.00	1.00±0.05	0.90±0.01	0.78±0.01	0.40±0.00
(Z)-3,7-Dimetil-2,6-oktadienal	2.01±0.01	2.59±0.10	2.56±0.13	1.44±0.13	1.40±0.02	1.16±0.09	0.84±0.04	0.53±0.02	0.42±0.01

(Devamı arkada)

Çizelge 4.73'ün devamı

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
3-Metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksiranekarbaldehit	0.40±0.00	0.55±0.05	1.17±0.14	0.83±0.01	0.86±0.02	0.14±0.01	t.e	t.e	t.e
Terpen									
D-limonen	0.55±0.02	0.26±0.01	0.18±0.01	0.13±0.01	t.e	0.12±0.01	0.05±0.00	t.e	t.e
Citral	3.05±0.02	3.76±0.06	3.91±0.01	2.37±0.05	2.29±0.09	2.00±0.06	1.39±0.22	1.05±0.21	0.89±0.02
Aromatik									
Fenol, 3,5-dimetil	0.34±0.03	0.71±0.00	0.77±0.02	0.58±0.04	0.52±0.01	0.20±0.00	t.e	t.e	t.e
1,2,4,5-Tetrametilbenzen	0.28±0.01	0.32±0.00	0.35±0.02	0.27±0.01	0.09±0.00	0.71±0.05	0.77±0.08	0.42±0.01	0.18±0.01
Hidrokarbon									
2-Metil-6-metenil-2-okten	1.50±0.04	1.05±0.04	1.14±0.09	0.78±0.04	0.68±0.01	0.36±0.01	0.26±0.01	0.15±0.02	0.09±0.00
2,6,11-Trimetildodekan	0.23±0.01	0.19±0.01	0.22±0.02	0.13±0.00	0.09±0.00	0.93±0.01	1.03±0.21	0.16±0.00	0.13±0.01
dodekan	0.07±0.00	0.94±0.02	1.07±0.08	t.e	t.e	0.24±0.01	t.e	t.e	t.e
tridekan	t.e	0.09±0.00	0.12±0.01	0.33±0.01	0.77±0.04	t.e	t.e	t.e	t.e
tetradekan	0.06±0.00	0.91±0.00	t.e	t.e	t.e	1.87±0.05	2.09±0.15	0.70±0.02	t.e
pentadekan	0.13±0.00	t.e	0.15±0.01	0.07±0.01	0.04±0.01	t.e	0.04±0.00	0.03±0.00	t.e
hegzadekan	0.14±0.01	1.22±0.08	0.53±0.04	0.28±0.01	t.e	2.25±0.05	t.e	t.e	t.e
heptadekan	1.21±0.13	1.39±0.20	0.57±0.01	0.14±0.01	0.08±0.00	0.21±0.01	0.20±0.01	0.18±0.01	0.11±0.00
oktadekan	0.35±0.01	0.58±0.01	0.43±0.02	0.41±0.00	0.47±0.01	0.94±0.05	0.64±0.01	0.53±0.02	0.56±0.00
4,6-Dimetildodekan	1.02±0.01	0.65±0.00	0.52±0.01	0.44±0.01	t.e	0.94±0.02	0.85±0.00	0.64±0.04	0.58±0.01
2,6,10,14-Tetrametilekzadekan	0.04±0.00	0.08±0.00	0.10±0.00	0.05±0.00	0.02±0.00	0.48±0.01	0.43±0.08	0.34±0.01	0.15±0.00
Dokosan	0.10±0.00	0.17±0.00	0.48±0.01	0.57±0.01	0.68±0.01	0.55±0.02	0.71±0.14	0.65±0.01	0.78±0.01

Sonnçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Çizelge 4.74. KPK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
Alkol									
2,3-Butanediol	1.84±0.01	1.82±0.05	2.03±0.05	1.49±0.08	1.44±0.01	2.23±0.06	2.01±0.08	2.11±0.18	1.63±0.10
Tridekanol	0.52±0.01	0.45±0.00	0.29±0.01	0.22±0.01	t.e	1.15±0.01	1.34±0.02	t.e	t.e
2,4 dietil heptanol	0.66±0.10	0.54±0.01	0.52±0.01	0.34±0.01	0.19±0.00	0.99±0.08	0.86±0.04	0.62±0.01	0.31±0.00
2-izopropil-5-metil-1-heptanol	0.38±0.01	0.65±0.01	0.49±0.00	0.31±0.01	0.21±0.00	0.45±0.02	0.56±0.00	0.38±0.00	0.13±0.01
Karboksilik asit									
Asetik asit	1.95±0.04	2.51±0.17	2.21±0.01	2.06±0.02	1.59±0.12	3.02±0.14	2.59±0.09	2.48±0.06	2.21±0.54
3-metil bütanoik asit	0.39±0.01	0.38±0.02	0.35±0.01	0.30±0.01	0.10±0.00	0.51±0.00	0.50±0.02	0.44±0.00	0.32±0.00
Nonanoik asit	0.35±0.02	0.58±0.01	1.01±0.11	1.63±0.04	t.e	0.54±0.00	t.e	t.e	t.e
Ester									
Gliserol monoasetat	0.34±0.01	0.28±0.01	0.27±0.01	0.35±0.01	0.50±0.00	0.25±0.00	0.26±0.01	0.46±0.02	0.48±0.00
Triasetin	8.00±0.34	7.79±0.50	9.24±1.02	6.67±0.75	6.63±0.08	7.58±0.12	9.23±1.18	6.89±0.74	9.73±0.04
Furan									
furfural	1.57±0.02	1.65±0.04	1.74±0.12	0.95±0.04	0.44±0.01	0.69±0.00	0.57±0.11	0.40±0.01	0.31±0.00
2(3H)-Furanon, 5-metil-	0.12±0.00	0.19±0.01	0.25±0.01	0.26±0.01	0.32±0.01	0.59±0.01	0.57±0.02	0.28±0.00	0.12±0.00
3-(4-metil-3-pentenil)furan	0.58±0.01	0.60±0.00	0.62±0.01	0.39±0.01	0.35±0.00	0.42±0.02	0.49±0.02	0.31±0.02	0.21±0.00
Keton									
Aseton	0.77±0.11	0.46±0.00	0.44±0.01	0.43±0.01	0.41±0.00	0.35±0.01	0.20±0.00	0.19±0.01	0.15±0.01
2-furil asetil keton	0.28±0.01	0.23±0.01	0.26±0.00	0.19±0.01	0.08±0.00	0.42±0.00	0.52±0.03	0.41±0.00	0.23±0.00
6-Metil-5-hepten-2-on	27.25±0.16	28.45±0.02	26.36±0.10	20.08±0.09	17.21±0.18	23.38±0.30	24.11±0.14	21.74±0.12	17.97±0.03
6-Metil-3,5-heptadien-2-on	1.04±0.01	1.58±0.02	1.87±0.01	2.03±0.04	1.43±0.04	1.02±0.04	1.77±0.02	1.41±0.08	1.09±0.02
1-(1H-pirol-2-il)etanon	0.29±0.01	0.27±0.01	0.30±0.01	0.22±0.00	0.07±0.00	0.59±0.01	0.65±0.06	0.41±0.01	0.37±0.00
2,3-Dihidro-3,5-dihidroksi-6-metil-4H-piran-4-on	1.81±0.10	1.77±0.26	1.32±0.02	1.13±0.08	0.52±0.00	2.22±0.51	1.34±0.04	1.26±0.01	0.84±0.01
1-[3-metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksirane]etanon	0.44±0.03	0.75±0.05	0.92±0.04	0.45±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e
6,10-Dimetil-5,9-undekadien-2-on	0.29±0.00	0.52±0.01	0.82±0.06	0.90±0.04	1.06±0.02	0.47±0.00	0.62±0.03	0.67±0.02	0.85±0.02
Aldehit									
2-etil-Bütanal	1.34±0.05	2.02±0.07	2.35±0.20	2.72±0.10	3.00±0.15	1.66±0.08	1.85±0.02	1.75±0.09	2.04±0.05
Benzaldehit	0.72±0.00	0.83±0.01	0.90±0.09	0.67±0.01	0.59±0.01	0.80±0.01	0.83±0.04	0.65±0.06	0.62±0.01
1H-Pirol-2-karbaldehit	1.98±0.03	2.14±0.06	2.61±0.04	1.81±0.05	1.07±0.02	2.33±0.10	2.79±0.18	2.20±0.04	1.30±0.02
Fenilasetaldehit	1.47±0.06	1.97±0.08	1.90±0.21	1.78±0.02	1.21±0.08	1.41±0.12	1.39±0.05	1.07±0.01	0.91±0.14

(Devamı arkada)

Çizelge 4.74'ün devamı

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
dodekenal	0.04±0.00	0.06±0.01	0.08±0.00	0.05±0.00	0.08±0.01	0.08±0.01	0.07±0.00	0.06±0.00	t.e
2-Oktenal	0.11±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e
3-metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksiranekarbaldehit	0.50±0.01	1.14±0.30	0.89±0.01	0.56±0.04	0.20±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
(Z)-3,7-dimetil-2,6-oktadienal	2.17±0.01	2.60±0.15	2.48±0.19	1.44±0.04	0.91±0.00	0.97±0.00	0.80±0.16	0.50±0.01	t.e
Terpen									
D-limonen	0.30±0.01	0.19±0.00	0.18±0.01	0.05±0.00	t.e	0.08±0.00	0.07±0.00	t.e	t.e
Sitral	3.45±0.02	3.92±0.02	3.89±0.48	2.40±0.14	1.51±0.05	1.75±0.10	1.56±0.09	1.06±0.04	0.90±0.01
Aromatik									
3,5-dimetil, fenol	0.35±0.01	0.68±0.04	0.70±0.05	0.59±0.02	0.54±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e
Hidrokarbon									
2-Metil-6-metilen-2-okten	1.48±0.02	1.38±0.01	1.07±0.06	0.57±0.04	0.20±0.00	0.34±0.01	0.27±0.01	t.e	t.e
2,6,11-trimetildodekan	0.23±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e	0.40±0.00	0.28±0.01	0.23±0.01	0.19±0.00
dodekan	t.e	t.e	0.53±0.03	t.e	t.e	0.92±0.01	0.93±0.05	t.e	t.e
oktadekan	0.23±0.00	0.34±0.00	0.37±0.00	0.61±0.00	0.70±0.01	1.72±0.01	2.75±0.19	0.65±0.05	0.58±0.01
4,6-dimetil-Dodekan	0.65±0.06	0.62±0.00	0.77±0.03	0.81±0.06	0.89±0.01	1.16±0.02	1.45±0.12	1.44±0.01	1.51±0.24
dokosan	0.12±0.00	0.13±0.00	0.14±0.00	0.24±0.02	0.53±0.00	0.44±0.03	0.50±0.04	0.64±0.01	0.76±0.01

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Çizelge 4.75. SHK yöntemiyle üretilen domates tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^6$ alan)

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
Alkol									
2,3-Butanediol	4.93±0.11	4.59±0.12	4.23±0.28	3.55±0.15	2.85±0.01	4.87±0.20	4.72±0.62	3.80±0.22	3.14±0.13
2-izopropil-5-metil-1-heptanol	t.e	t.e	0.21±0.01	t.e	t.e	0.32±0.01	0.44±0.01	0.34±0.01	0.28±0.01
2,5-Dimetil-1,5-heksadien-3,4-diol	t.e	1.02±0.11	1.14±0.07	1.36±0.08	1.57±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e
Karboksilik asit									
Asetik asit	2.42±0.01	2.86±0.12	2.85±0.09	2.37±0.24	2.10±0.01	3.10±0.01	3.47±0.74	2.62±0.10	2.48±0.08
Ester									
Gliserol monoasetat	0.48±0.00	0.41±0.01	0.42±0.01	0.45±0.04	0.40±0.00	0.46±0.02	0.55±0.01	0.52±0.03	0.57±0.01
Triasetin	11.04±0.18	10.94±0.02	12.93±0.10	9.55±0.74	8.56±0.01	11.44±0.05	3.52±0.41	10.87±0.19	9.73±0.13
Furan									
Furfural	0.91±0.02	0.85±0.01	0.82±0.05	0.60±0.01	0.47±0.07	0.49±0.00	0.43±0.06	0.36±0.01	0.31±0.00
5-metil-2(3H)-furanon	0.15±0.02	0.12±0.00	0.13±0.00	0.08±0.01	t.e	0.51±0.00	0.47±0.05	0.28±0.01	0.12±0.00
3-(4-metil-3-pentenil) furan	0.31±0.00	0.56±0.01	0.57±0.02	0.41±0.00	0.37±0.01	0.48±0.01	0.49±0.06	0.49±0.01	0.36±0.00
Keton									
Aseton	0.64±0.13	0.51±0.01	0.49±0.01	0.47±0.01	0.42±0.00	0.39±0.02	0.20±0.00	0.19±0.01	0.13±0.01
1-(1-sikloheksen-1-il)etanon	0.20±0.00	0.45±0.03	0.36±0.08	0.32±0.00	0.34±0.00	0.32±0.00	0.28±0.02	0.24±0.00	0.23±0.00
6-Metil-5-hepten-2-on	29.53±1.34	28.88±0.20	27.77±3.12	19.88±0.01	18.68±0.44	21.74±0.13	20.73±0.02	19.78±1.05	16.96±1.36
1-(1H-pirol-2-il)etanon	0.18±0.00	0.19±0.01	0.16±0.01	t.e	t.e	0.43±0.01	0.41±0.05	0.37±0.01	0.29±0.01
6-Metil-3,5-heptadien-2-on	0.22±0.00	1.25±0.09	1.49±0.00	1.64±0.07	2.01±0.01	1.04±0.01	1.39±0.09	1.54±0.26	2.39±0.12
1-[3-metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksiranil]etanon	t.e	0.89±0.01	0.79±0.06	0.50±0.01	0.46±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e
2,3-Dihidro-3,5-dihidroksi-6-metil-4H-piran-4-on	0.73±0.01	0.89±0.01	1.02±0.02	1.04±0.09	1.30±0.04	0.88±0.03	1.18±0.01	1.12±0.14	1.63±0.03
6,10-Dimetil-5,9-undekadien-2-on	0.19±0.01	0.44±0.01	0.47±0.01	0.92±0.08	0.97±0.04	0.49±0.00	0.63±0.05	0.71±0.09	0.85±0.01
Aldehit									
2-etil-Bütanal	1.11±0.04	2.10±0.01	2.58±0.13	2.12±0.01	1.99±0.04	1.85±0.09	1.74±0.01	1.63±0.42	1.51±0.21
Benzaldehit	0.46±0.02	0.59±0.03	0.71±0.10	0.56±0.04	0.31±0.01	0.77±0.01	0.86±0.05	0.65±0.00	0.59±0.06
1H-Pirol-2-karbaldehit	0.66±0.25	t.e	t.e	t.e	t.e	1.70±0.03	1.30±0.09	1.22±0.04	1.16±0.04
Benzeneasetaldehit	1.38±0.02	1.89±0.03	1.81±0.21	1.69±0.01	1.31±0.04	1.43±0.01	1.41±0.21	1.07±0.06	0.99±0.05
Nonanal	0.49±0.01	0.39±0.03	0.45±0.02	0.28±0.00	t.e	0.44±0.00	0.36±0.01	0.22±0.01	t.e
2-oktenal	0.76±0.04	0.51±0.02	0.29±0.01	0.15±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e
5-İzopropenil-2-metil-siklopent-1-en karboksaldehit	0.19±0.01	0.38±0.01	0.43±0.00	0.46±0.02	0.56±0.01	0.73±0.04	0.84±0.02	0.86±0.03	0.95±0.04

(Devamı arkada)

Çizelge 4.75'in devamı

	4°C					25°C			
	0.Gün	15.Gün	30.Gün	45. Gün	60.Gün	15.Gün	30.Gün	45.Gün	60.Gün
3-metil-3-(4-metil-3-pentenil)oksiran karboksaldehit	1.17±0.23	0.88±0.02	0.67±0.04	0.35±0.01	0.32±0.01	0.24±0.01	t.e	t.e	t.e
3,7-dimetil-2,6-oktadienal (Z)	2.53±0.09	2.43±0.16	1.32±0.04	1.19±0,05	1.54±0.00	1.05±0.02	0.82±0.05	0.55±0.08	0.48±0.00
Terpen									
D-limonen	0.58±0.01	0.41±0.00	0.11±0.00	0.09±0.00	t.e	0.06±0.00	t.e	t.e	t.e
Sitral	2.19±0.05	3.92±0.01	3.87±0.89	2.32±0.01	2.26±0.21	1.99±0.05	1.56±0.01	1.05±0.01	0.90±0.01
Aromatik									
Fenol, 3,5-dimetil	t.e	0.69±0.01	0.60±0.08	0.53±0.06	0.45±0.01	t.e	t.e	t.e	t.e
1,2,3,4-Tetrametil benzen	t.e	t.e	0.42±0.00	0.18±0.00	t.e	0.69±0.01	0.67±0.06	0.48±0.01	t.e
Hidrokarbon									
2-metil-6-metilen-2-okten	1.40±0.02	1.08±0.12	0.98±0.01	0.77±0.06	0.20±0.00	0.38±0.01	t.e	t.e	t.e
Dodekan	t.e	0.78±0.01	0.85±0.06	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e	t.e
oktadekan	0.20±0.01	0.42±0.01	0.41±0.00	0.44±0.01	0.50±0.02	0.90±0.00	0.43±0.01	0.35±0.01	0.27±0.00
4,6 dimetildodekan	t.e	1.14±0.09	t.e	1.19±0.01	0.79±0.01	0.87±0.00	0.82±0.13	0.77±0.01	0.38±0.02
1-İyodoheksazadekan	0.03±0.00	t.e	0.47±0.11	0.42±0.04	t.e	0.03±0.00	0.05±0.00	0.07±0.00	t.e
Heneikozan	t.e	t.e	1.52±0.07	t.e	t.e	2.56±0.25	2.98±0.14	t.e	t.e
Dokosan	t.e	t.e	t.e	0.12±0.00	0.18±0.00	0.59±0.03	0.69±0.01	0.76±0.01	0.77±0.03

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir

5. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen tez çalışmasında domates salçası yenilikçi kurutma teknolojilerinden olan kırımın pencereleli kurutma, kızılötesi ve ultrason destekli kırımın pencereleli kurutma yöntemleri ile kurutulmuştur. Ayrıca halihazırda kullanılan konveksiyonel kurutma (SHK) ile de salça kurutulmuş olup tez çalışması kapsamında uygulanan tüm kurutma yöntemleriyle elde edilen domates tozlarının bazı fizikokimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır. Domates tozları 60 gün boyunca 4°C ve 25°C sıcaklıklarda depolamaya tabi tutulmuş ve depolama süresince ürünlerin bazı fizikokimyasal özellikleri izlenmiştir.

- KDKPK sisteminde domates tozu optimizasyonunda Yanıt Yüzey Metodu Optimal Özel Tasarım deneme deseni kullanılmış; bağımsız değişkenler olarak sirkülasyon su sıcaklığı, serme kalınlığı ve püre yüzey sıcaklığı, bağımlı değişkenler olarak ise likopen miktarı, esmerleşme indeksi ve kuruma süresi seçilmiştir. Domates salçası için optimize edilmiş parametreler, sirkülasyon suyu sıcaklığı için 82°C, serme kalınlığı 2 mm ve yüzey sıcaklığı için 32°C olarak belirlenmiş olup kuruma süresi 40 dk olarak kaydedilmiştir.

- KDKPK sisteminde belirlenen optimum koşullarda salçaya ayrı ayrı %0.5 sitrik asit ve %1 β -siklodekstrin eklenerek de kurutmalar yapılmıştır.

- KDKPK sisteminde köpük kurutma yaklaşımı ile de salça kurutulmuştur. Bu amaç doğrultusunda köpük formunda kurutma yapabilmek için köpük yapıcı ajan olarak soya ve bezelye protein (%1.5) izolatları seçilmiş ve en iyi köpük formu oluşturan oran ve çırpma süresi Design-Expert sürüm 13 yazılımı kullanılarak karışım deseni (optimal combined mixture design) tasarımı ile belirlenmiştir. En yüksek köpük kapasitesi ve stabilitesi için optimum şartlar % 0.4 soya protein izolatı, %1.1 bezelye protein izolatı ve 1 dk çırpma süresi olarak belirlenmiştir.

- KPK sisteminde ultrases uygulamasının domates salçası kurutulması üzerine etkinliğini test etmek amacıyla ultrases banyosu üzerine Mylar film ile kapatılarak laboratuvar ölçekli ultrases destekli kırımın pencereleli kurutma sistemi geliştirilmiştir. Domates salçası, UDKPK yönteminde 82°C su banyosu sıcaklığı, 2 mm serme kalınlığı ve 37-38 kHz ultrases gücünde kurutulmuştur.

- Üretilen domates tozlarının çözünürlük değerleri 67.83 ile 74.84 arasında bulunmuş olup kurutma yöntemleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır.

- Domates tozlarının en yüksek likopen miktarlarının aralarında istatistiksel açıdan fark olmaksızın KK-KDKPK ve UDKPK ile üretilen domates tozlarına ait olduğu görülmektedir. En düşük likopen miktarı ise SHK ile kurutulan salça örneklerine aittir.

- Antioksidan aktivite miktarı A-KDKPK ile üretilen domates tozlarında en yüksek bulunmuştur. En düşük antioksidan aktivite miktarı ise aralarında istatistiksel açıdan fark olmaksızın KK-KDKPK ve UDKPK ile kurutulan örneklerde belirlenmiştir.

- Düşük sıcaklıkta depolanan örneklerin antioksidan aktivite değerlerinin yüksek sıcaklıkta depolanan örneklerden daha fazla olduğu görülmektedir. Depolama süresi arttıkça antioksidan aktivite miktarı azalış göstermiştir.
- Depolama süresince HMF artışı olmuş ve özellikle 25°C sıcaklıkta daha fazla gerçekleşmiştir.
- Depolama süresince domates tozlarının askorbik asit miktarı düzenli olarak azalmış olup 4°C depolanan örneklerde azalma daha düşük seviyededir.
- Tez çalışması kapsamında KDKPK sisteminde salça kurutulmasında askorbik asit katkılanması ile domates tozlarının esmerleşme indeksi ve HMF içeriği düşürülmüştür.
- KDKPK ile UDKPK yöntemlerinde domates salçası kurutulmasının en iyi ifade eden kurutma modellerinin her iki kurutma yöntemi için de Newton modeli olduğu tespit edilmiştir.
- Köpük kurutma yaklaşımı ile KDKPK ile kurutulan örneklerin aroma aktif bileşenleri diğer kurutmalara göre daha yüksek, enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının bir göstergesi olan furfural bileşeni ise daha düşük miktarda tespit edilmiştir. Köpük kurutma yaklaşımının salça kurutulmasında aroma stabilitesini koruma açısından etkili bir alternatif oluşturduğunu değerlendirilmiştir.
- Sonuç olarak domates tozu eldesinde kırınım pencereli kurutma sistemine kızılötesi lamba entegrasyonu ile kuruma süresi önemli ölçüde kısaltılmıştır. Ayrıca KDKPK sisteminde köpük kurutma yaklaşımı ve askorbik asit ilavesi sayesinde yüksek kalitede domates tozu üretimi sağlanmıştır. Bununla birlikte, ultrases uygulamasının kırınım pencereli kurutma sistemine entegre edilmesi de domates tozu üretiminde olumlu sonuçlar vermiştir.

6. KAYNAKLAR

- Abbasid, A., Niakousari, M., Ali, S., Ardekani, Y. (2015). The advantages of the refractance window method of dehydrating fresh tomato slices and the relevant characteristics thereof. *J. Applied Environ. Biol. Sci*, 4, 6-13.
- Abul-Fadl, M. M., & Ghanem, T. H. (2011). Effect of refractance-window (RW) drying method on quality criteria of produced tomato powder as compared to the convection drying method.
- Allison, B. J., & Simmons, C. W. (2017). Valorization of tomato pomace by sequential lycopene extraction and anaerobic digestion. *Biomass and Bioenergy*, 105, 331-341.
- Amer, B. M. A. (2011). Thin layer drying kinetics of mango puree in refractance window drying system. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 28(4), 1021-1039.
- Anguelova T and Warthesen J (2000). Lycopene stability in tomato powders. *Journal of Food Science*, 65(1), 67-70.
- Anonim 2025: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr>
- Antal Jr, M. J., Mok, W. S., & Richards, G. N. (1990). Mechanism of formation of 5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde from D-fructose and sucrose. *Carbohydrate research*, 199(1), 91-109.
- Apuhan, E. 2012 Domates salçasının farklı sıcaklıklarda depolanması sırasında enzimatik olmayan esmerleşme kinetiğinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, 46 s.
- Arslan, S. (2022). Optimization of Tomato Slices Drying in a Continuous Infrared-Assisted Refractance Window™ Dryer Using Response Surface Methodology. *Iran. J. Chem. Chem. Eng. Research Article Vol*, 41(12).
- Asamı, D.K., Hong, Y.-J., Barrett, D.M. and Mitchell, A.E. 2003. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51 (5): 1237-1241.
- Aşık, S. 2019. Farklı kurutma yöntemleri ile biyoaktif bileşenlerce zengin portakal tozu üretimi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 158 s.
- Avcı, A., Dönmez, S. (2010). Siklodekstrinler ve gıda endüstrisinde kullanımları. *Gıda*, 35(4), 305-316.
- Aygün, S. A., Topuz, A. (2024). Kırınım Pencereli Kurutma Teknolojisi. *Türkiye Klinikleri Food Sciences-Special Topics*, 10(2), 54-61.

- Baeghbali, V., Ngadi, M., Niakousari, M. (2020). Effects of ultrasound and infrared assisted conductive hydro-drying, freeze-drying and oven drying on physicochemical properties of okra slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 63, 102313.
- Baeghbali, V., Niakousari, M., Ngadi, M. O., & Hadi Eskandari, M. (2019). Combined ultrasound and infrared assisted conductive hydro-drying of apple slices. *Drying Technology*, 37(14), 1793-1805.
- Barbosa-Cánovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P. and Yan, H. 2005. *Food powders*. Springer, NewYork, NY, 372 s.
- Bardakçı, M. S., & Karacabey, E. (2024). Drying of Tarhana dough by Refractance Window™ technology under vacuum/atmospheric conditions: Characterization of physical and quality parameters. *Food Science & Nutrition*, 12(2), 971-984.
- Belal, M., Hossain, M. A., Mitra, S., & Zzaman, W. (2023). Effect of foaming agent concentration and foam stabilizer on the foaming capacity and physical properties of tomato powder at dried at different temperature: Foam mat dried tomato powder. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 12(4), e4741-e4741.
- Beristain, C.I., Garcia, H.S. and Vernon-Carter, E.J. 2001. Spray-dried encapsulation of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil with mesquite (*Prosopis juliflora*) gum. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie-Food Science and Technology*, 34(6): 398-401.
- Bou, R., Boon, C., Kweku, A., Hidalgo, D., & Decker, E. A. (2011). Effect of different antioxidants on lycopene degradation in oil-in-water emulsions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113(6), 724-729.
- Burdurlu, H. S., & Karadeniz, F. (2002). Gıdalarda maillard reaksiyonu. *Gıda*, 27(2).
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P., Ramos, A. and Cal-Vidal, J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6 (4): 420-428.
- Cao S., Hu Z., Pang B., Wang H., Xie H., Wu F. (2010). Effect of ultrasound treatment on fruit decay and quality maintenance in strawberry after harvest. *Food control*. 21, 529–532.
- Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R., & De Vos, R. (2008). Changes in antioxidant and metabolite profiles during production of tomato paste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3), 964-973.
- Carr, R.L. 1965. Evaluating flow properties of solids. *Chem Engineer*, 72: 163–168.

- Castoldi, M., Zotarelli, M. F., Durigon, A., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2015). Production of tomato powder by refractance window drying. *Drying Technology*, 33(12), 1463-1473.
- Cemeroğlu B, Yemenicioğlu A ve Özkan M (2004). Meyve ve sebzelerin bileşimi, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Cilt I, s. 1-188, Ankara.
- Cemeroğlu, B. 2007. Gıda analizlerinde genel yöntemler. Gıda Analizleri, Editör: Cemeroğlu, B. *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, 34: 45-128.
- Cemeroğlu, B., 2013. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi 2. Cilt. Bizim Grup Basımevi: 636, Ders Kitabı, Ankara.
- Chegini, G. and Ghobadian, B. 2005. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23 (3): 657-668.
- Cernîşev, S. (2010). Effects of conventional and multistage drying processing on non-enzymatic browning in tomato. *Journal of food engineering*, 96(1), 114-118.
- Clarke, P. (2004, August). Refractance window TM-“Down under”. In *Drying- Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*. Sao Paulo, Brazil (pp. 22-25).
- Çetiner, B. (2016). Soğuk ve sıcak işleme yöntemi ile elde edilen domates salçalarının aroma ve aroma-aktif bileşenlerinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 84 s.
- Davoodi, M. G., Vijayanand, P., Kulkarni, S. G., & Ramana, K. V. R. (2007). Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. *LWT-Food Science and Technology*, 40(10), 1832-1840.
- Dos Santos, C., del Pilar Buera, M., & Mazzobre, M. F. (2011). Phase solubility studies of terpineol with β -cyclodextrins and stability of the freeze-dried inclusion complex. *Procedia Food Science*, 1, 355-362.
- Doymaz, İ. (2005). Drying characteristics and kinetics of okra. *Journal of food Engineering*, 69(3), 275-279.
- Durigon, A., de Souza, P. G., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2016). Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 145-155.
- Durmuş, M., Yetgin, Ö., Abed, M. M., Haji, E. K., & Akcay, K. (2018). Domates bitkisi, besin içeriği ve sağlık açısından değerlendirmesi. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 1(2), 59-74.

- El Hosry, L., Elias, V., Chamoun, V., Halawi, M., Cayot, P., Nehme, A., & Bou-Maroun, E. (2025). Maillard Reaction: Mechanism, Influencing Parameters, Advantages, Disadvantages, and Food Industrial Applications: A Review. *Foods*, 14(11), 1881.
- Engin, A. S., & Kuşçu, A. (2023). The Effect of Different Drying Processes on Some Nutritional and Quality Criteria in Tomato Powder. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 12(1), 194-204.
- Eser, M. 2014. Domates tozu üretiminde farklı yöntem ve işlem koşullarının toz ürün özellikleri üzerine etkisi. Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 119 s.
- Everette, J. D., Bryant, Q. M., Green, A. M., Abbey, Y. A., Wangila, G. W., & Walker, R. B. (2010). Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin– Ciocalteu reagent. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(14), 8139-8144.
- Ez-zoubi, A., Zaroual, H., Zoubi, Y. E., Fadil, M., & Farah, A. (2024). Inclusion complex essential oil into cyclodextrins and its optimization via experimental designs: a review. *Chemical Papers*, 78(7), 4075-4094.
- Farid, E., Mounir, S., Talaat, E., Elnemr, S., & Siliha, H. (2022). Effect of foaming parameters on the physical and phytochemical properties of tomato powder. *Food Science and Biotechnology*, 31(11), 1423-1431.
- Farooq, S., A. Rather, S., Gull, A., Ahmad Ganai, S., Masoodi, F. A., Mohd Wani, S., & Ganaie, T. A. (2020). Physicochemical and nutraceutical properties of tomato powder as affected by pretreatments, drying methods, and storage period. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 797-808.
- Febrianto, A., Kumalaningsih, S., & Aswari, A. W. (2012). Process engineering of drying milk powder with foam mat drying method. *A Study on the Effect of the Concentration and Types of Filler*, 2(4), 3588-3592.
- Fernández-León, M.F., Fernández-León, A.M., Lozano, M., Ayuso, M.C., Amodio, M.L., Colelli, G. and González-Gómez, D. 2013. Retention of quality and functional values of broccoli ‘parthenon’ stored in modified atmosphere packaging. *Food Control*, 31 (2): 302-313.
- Fenyvesi, E., & Sente, L. (2016). Nanoencapsulation of flavors and aromas by cyclodextrins. In *Encapsulations* (pp. 769-792). Academic Press.
- Fitzpatrick, J.J., Barringer, S.A. and Iqbal, T., 2004, Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenikes hopper design methodology to the measured values, *Journal of Food Engineering*, 61: 399–405 pp.
- Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M.-E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M. And Dumoulin, E. 2006. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 75 (1): 27-35.

- Gaviria-Lozano, A. C., Castro, A. M., Diaz, L. E., Quintanilla-Carvajal, M. X., & Moreno, F. L. (2025). Improving the drying efficiency, quality attributes, and lycopene bioaccessibility (in vitro) of tomato puree using refractance-window hybrid drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2025, 104014.
- Gamli, Ö. F. (2011). Kinetic study of color changes of tomato purees with microwave and conventional drying. *reactions*, 11, 14.
- Górecka, D., Wawrzyniak, A., Jędrusek-Golińska, A., Dziedzic, K., Hamułka, J., Kowalczewski, P. Ł., Walkowiak, J. (2020). Lycopene in tomatoes and tomato products. *Open chemistry*, 18(1), 752-756.
- Hematian Sourki, A., Roozitalab, R., & Ghani, A. (2023). Functional properties of date powder under ultrasound, microwave and chemical hydrolysis: verifying its quality and safety with FTIR technique. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(2), 1144-1155.
- Hernández-Santos, B., Martínez-Sánchez, C.E., Torruco-Uco, J.G., Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, I.I., Vajando-Anaya, E.S., Carmona-García, R., Herman-Lara, E., 2016. Evaluation of physical and chemical properties of carrots dried by Refractance Window drying. *Drying technology*, 34(12), 1414-1422.
- Hossain, M. A., Ahmed, T., Ferdous, J., & Zzaman, W. (2024). Optimization of the foam-mat drying process to develop high-quality tomato powder: A response surface methodology approach. *Heliyon*, 10(21).
- Hossain, M. A., Mitra, S., Belal, M., & Zzaman, W. (2021). Effect of foaming agent concentration and drying temperature on biochemical properties of foam mat dried tomato powder. *Food Research*, 5(1), 291-297.
- Indrianti, N., Sejati, I. D., Afifah, N., Ratnawati, L., Putri, S. K. D. F. A., Sukarta, D., & Amanto, B. S. (2023). The Influence of Drying Temperature to The Physicochemical, Thermal and Rheological Characteristics of Dried Tomato Powder. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 69, p. 01022). EDP Sciences.
- Ishrat, S. A., Naik, H., Zargar, I. A., Wani, S. M., & Altaf, U. (2020). Investigation of the physical properties of tomato powder prepared by spray drying technology. *International journal of chemical studies*, 8, 1071-1074.
- Işık, F. 2013. "Salça üretim atıklarının tarhana üretiminde kullanımı". Doktora tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Jacob, K., Garcia-Alonso, F. J., Ros, G., & Periago, M. J. (2010). Stability of carotenoids, phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant capacity of tomatoes during thermal processing. *Archivos latinoamericanos de nutricion*, 60(2), 192-198.

- Jimena Ortiz-Jerez, M., Gulati, T., Datta, A.K. and Isabel Ochoa-Martinez, C. 2015. Quantitative understanding of Refractance Window (TM) drying. *Food and Bioproducts Processing*, 95 237-253.
- Joung, M., Kim, Y. J., & Shin, Y. (2025). Assessment of lycopene, polyphenols, antioxidant compounds, and activities in colored cherry tomato cultivars harvested in Korea. *Food Science and Biotechnology*, 34(5), 1161-1170.
- Jorge, A., Sauer Leal, E., Sequinel, R., Sequinel, T., Kubaski, E. T., & Tebcherani, S. M. (2018). Changes in the composition of tomato powder (*Lycopersicon esculentum* Mill) resulting from different drying methods. *Journal of food processing and preservation*, 42(5), e13595.
- Juarez-Enriquez, E., Olivas, G.I., Zamudio-Flores, P.B., Ortega-Rivas, E., Perez-Vega, S. and Sepulveda, D.R. 2017. Effect of water content on the flowability of hygroscopic powders. *J. Food Eng.*, 205: 12-17.
- Kadam, D. M., Wilson, R. A., Kaur, S., & Manisha. (2012). Influence of foam mat drying on quality of tomato powder. *International Journal of Food Properties*, 15(1), 211-220.
- Kadam, D.M. and Balasubramanian, S. 2011. Foam mat drying of tomato juice. *Journal of food processing and preservation*, 35 (4): 488-495.
- Kalkan, T. A., Aygün, S. A., & Topuz, A. Influence of Different Drying Techniques on Selected Physicochemical and Bioactive Properties of Mushroom Powders. *Horticultural Studies*, 42(2), 72-79.
- Kaya, C., Kirkin, F., & Esin, Y. (2013). Ticari domates salçalarının fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Akademik Gıda*, 11(2), 37-44.
- Kelebek, H., Selli, S., Kadiroğlu, P., Kola, O., Kesen, S., Uçar, B., & Çetiner, B. (2017). Bioactive compounds and antioxidant potential in tomato pastes as affected by hot and cold break process. *Food Chemistry*, 220, 31-41.
- Kitchen, B., & Williamson, G. (2024). Melanoidins and (poly) phenols: an analytical paradox. *Current Opinion in Food Science*, 1012.
- Kilicli, M., Erol, K. F., Toker, O. S., & Tornuk, F. (2023). Production of tomato powder from tomato puree with foam-mat drying using green pea aquafaba: drying parameters and bioaccessibility of bioactive compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(7), 3691-3700.
- Koh, E., Charoenprasert, S., & Mitchell, A. E. (2012). Effects of industrial tomato paste processing on ascorbic acid, flavonoids and carotenoids and their stability over one-year storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(1), 23-28.

- Kovacı, T., Dikmen, E. and Şahin, A.Ş. 2018. Kurutma Sistemleri, Enerji Tüketimleri ve Ürün Kalitesine Etkileri ve Örnek Sistem Tasarımı. *Journal of Technical Sciences*, 8 (2): 25-39.
- Körner, P., Jung, D., Kruse, A. (2019). Influence of the pH Value on the Hydrothermal Degradation of Fructose. *ChemistryOpen*, 8(8), 1121-1132.
- Kaur, M., Modi, V. K., & Sharma, H. K. (2022). Effect of carbonation and ultrasonication assisted hybrid drying techniques on physical properties, sorption isotherms and glass transition temperature of banana (Musa) peel powder. *Powder Technology*, 396, 519-534.
- Kuzielová, E., Pach, L., Palou, M. (2016). Effect of activated foaming agent on the foam concrete properties. *Construction and Building Materials*, 125, 998-1004.
- Kumcuoğlu, S., Yılmaz, T., Tavman, Ş. (2011). Salça üretim atıklarından ultrason destekli ekstraksiyon işlemiyle likopen ekstraksiyonu. *Akademik Gıda*, 9(6), 23-28.
- Kus, S., Gogus, F., & Eren, S. (2005). Hydroxymethyl furfural content of concentrated food products. *International Journal of Food Properties*, 8(2), 367-375.
- Kutlu. N. and İşci. A. 2016. Farklı kurutma yöntemlerinin patlıcanın kurutma karakteristikleri üzerine etkisi ve kurutmanın matematiksel modellenmesi. *Akademik Gıda*. 14 (1): 21-27
- Laroche, C., Fine, F. and Gervais, P. 2005. Water activity affects heat resistance of microorganisms in food powders. *Int. J. Food Microbiol.*, 97 (3): 307-315.
- Lavelli, V., Torresani, M. C. (2011). Modelling the stability of lycopene-rich by-products of tomato processing. *Food Chemistry*, 125(2), 529-535
- Lee, B., Seo, J. D., Rhee, J. K., Kim, C. Y. 2016. "Heated apple juice supplemented with onion has greatly improved nutritional quality and browning index", *Food Chemistry*, 201, 315-319.
- Leoni, C. (2002, June). Focus on lycopene. In VIII International Symposium on the Processing Tomato 613 (pp. 357-363).
- Liu, F., Cao, X., Wang, H., Liao, X. (2010). Changes of tomato powder qualities during storage. *Powder Technology*, 204(1), 159-166.
- Li, X., Zeng, X., Song, H., Xi, Y., Li, Y., Hui, B., ... & Li, J. (2023). Characterization of the aroma profiles of cold and hot break tomato pastes by GC-O-MS, GC× GC-O-TOF-MS, and GC-IMS. *Food Chemistry*, 405, 134823.
- Markovic, K., Vahcic, N., Ganic, K. K., Banovic, M., 2007. Aroma volatiles of tomatoes and tomato products evaluated by solid-phase microextraction, *Flavour and Frangance Journal*, 22, 395–400.

- Meléndez-Martínez, A.J., Vicario, I.M. and Heredia, F.J. 2007. Analysis of carotenoids in orange juice. *Journal of Food composition and analysis*, 20 (7): 638-649.
- Miller, G.L., 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. *Analytical Chemistry*, 31: 426-428.
- Mounir, S. (2018). Foam mat drying. In *Drying technologies for foods* (pp. 169–191). Studium Press LLC.
- 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.
- Mozumder, N. H. M. R., Rahman, M. A., Kamal, M. S., Mustafa, A. K. M., & Rahman, M. S. (2012). Effects of pre-drying chemical treatments on quality of cabinet dried tomato powder. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 5(1), 253-265.
- Nejatdarabi, S., Mohebbi, M. (2021). Effect of foam-mat drying condition on physical properties and rehydration behavior of mushroom powder. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, 17(3).
- Nguyen, T. V. L., Nguyen, Q. D., & Nguyen, P. B. D. (2022). Drying kinetics and changes of total phenolic content, antioxidant activity and color parameters of mango and avocado pulp in refractance window drying. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 72(1), 27-38.
- Nindo, C. And Tang, J. 2007. Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. *Drying Technology*, 25 (1): 37-48.
- Ordóñez-Sandoz L. E., Vázquez-Oderiz L., Arbones-Macineira E., Romero-Rodríguez M. A., 2009. The Influence of Storage Time on Micronutrients in Bottled Tomato Pulp. *Journal of Food Chemistry*, 112: 146-149.
- Ortiz-Jerez, M. J., Gulati, T., Datta, A. K., Ochoa-Martínez, C. I. (2015). Quantitative understanding of Refractance Window™ drying. *Food and Bioproducts Processing*, 95, 237-253.
- Özer, N. (2013). Domates (Salça) Endüstrisi Atıklarından Bazı Antioksidan Bileşiklerin Derişiklendirilmesi. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pandya, D., Akbari, S., Bhatt, H., Joshi, D. C., & Darji, V. (2017). Standardization of solvent extraction process for Lycopene extraction from tomato pomace. *J. Appl. Biotechnol. Bioeng*, 2(1), 12-16.
- Patrón-Vázquez, J., Baas-Dzul, L., Medina-Torres, N., Ayora-Talavera, T., Sánchez-Contreras, Á., García-Cruz, U., Pacheco, N. (2019). The effect of drying

- temperature on the phenolic content and functional behavior of flours obtained from lemon wastes. *Agronomy*, 9(9), 474.
- Porretta, S., Sandei, L. (1991). Determination of 5-(hydroxymethyl)-2-furfural (HMF) in tomato products: proposal of a rapid HPLC method and its comparison with the colorimetric method. *Food Chemistry*, 39(1), 51-57.
- Puente-Díaz, L., Spolmann, O., Nocetti, D., Zura-Bravo, L., & 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.
- Qadri, O. S., & Srivastava, A. K. (2014). Effect of microwave power on foam-mat drying of tomato pulp. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(3), 238-244.
- Qiu, J., Acharya, P., Jacobs, D. M., Boom, R. M., & Schutyser, M. A. (2019). A systematic analysis on tomato powder quality prepared by four conductive drying technologies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 54, 103-112.
- Rajkumar, P. and Kailappan, R. (2006). Optimizing the process parameters for foam mat drying of totapuri mango pulp. *Madras Agricultural Journal*, 93, 8698.
- Rajoriya, D., Bhavya, M. L., Hebbar, H. U. (2023). Far infrared assisted refractance window drying: Influence on drying characteristics and quality of banana leather. *Drying Technology*, 41(13), 2143-2155.
- Rajoriya, D., Shewale, S.R., Bhavya, M., 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.
- Ratti, C., Kudra, T. (2006). Drying of foamed biological materials: opportunities and challenges. *Drying Technology*, 24(9), 1101-1108.
- Saavedra. J.. Córdova. A.. Navarro. R.. Díaz-Calderón. P.. Fuentealba. C.. Astudillo-Castro. C.. Toledo. L.. Enrione. J. and Galvez. L. 2017. Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. *Journal of Food Engineering*. 198 81-90.
- Sabbağ, Ç., Sürücüoğlu, M. S. (2011). Likopen: insan sağlığında vazgeçilmez bir bileşen. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(3), 27-41.
- Sadowska, A., Świdorski, F., Hallmann, E., 2020. Bioactive, physicochemical and sensory properties as well as microstructure of organic strawberry powders obtained by various drying methods. *Applied Sciences*, 10(14), 4706.
- Sahin, F. H., Aktas, T., Orak, H., Ulger, P., Sahin, H., Aktas, T., Ulger, P. (2011). Influence of pretreatments and different drying methods on color parameters and

- lycopene content of dried tomato. *Bulgarian journal of Agricultural science*, 17(6), 867-881.
- Sahin, F. H., Ulger, P., Aktas, T., Orak, H. H. (2012). Farklı ön işlemlerin ve vakum kurutma yönteminin domatesin kuruma karakteristikleri ve kalite kriterleri üzerine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 15-25.
- 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
- Sarker, M., Hannan, M. A., Quamruzzaman, Q., Ali, M. A., Khatun, H. (2014). Storage of tomato powder in different packaging materials.
- Selli, S., Kelebek, H., Ayseli, M. T., Tokbas, H. (2014). Characterization of the most aroma-active compounds in cherry tomato by application of the aroma extract dilution analysis. *Food chemistry*, 165, 540-546.
- Shende, D., Datta, A. K. (2020). Optimization study for refractance window drying process of Langra variety mango. *Journal of food science and technology*, 57(2), 683-692.
- Sramek, M., Schweiggert, R. M., van Kampen, A., Carle, R., & Kohlus, R. (2015). Preparation of high-grade powders from tomato paste using a vacuum foam drying method. *Journal of Food Science*, 80(8), E1755-E1762.
- Srivastava, S., & Srivastava, A. K. (2015). Lycopene; chemistry, biosynthesis, metabolism and degradation under various abiotic parameters. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 41-53.
- Story, E. N., Kopec, R. E., Schwartz, S. J., & Harris, G. K. (2010). An update on the health effects of tomato lycopene. *Annual review of food science and technology*, 1(1), 189-210
- Tahmasebi, M., Emam-Djomeh, Z. (2021). Lycopene degradation and color characteristics of fresh and processed tomatoes under the different drying methods: A comparative study. *Chemical Papers*, 75(7), 3617-3623.
- Tandon, K. S., Jordan, M., Goodner, K. L., 2001.Characterization of fresh tomato aroma volatiles using GC-olfactometry, Florida State Horticultural Society, 114, 142–144.
- Thuy, N. M., Giau, T. N., Van Hao, H., Minh, V. Q., & Van Tai, N. (2024). Artificial intelligence optimization for producing high quality foam-mat dried tomato powder and its application in nutritional soup. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 101005.
- Tontul, I. and Topuz, A. 2017. Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT*, 80: 294-303.

- Tontul, İ. 2017. Kırınım pencereli (refractance window) ve mikrodalga destekli sıcak hava kurutma teknikleri ile fonksiyonel bileşenlerce zengin nar pestili üretimi. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 138 s
- Topuz, A., Dincer, C., Özdemir, K.S., Feng, H. and Kushad, M. 2011. Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoids of paprika (Cv., Jalapeno). *Food chemistry*, 129 (3): 860-865
- 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.
- 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.
- Tunde-Akintunde, T.Y., Afolabib, T.J. and Akintundec, B.O. 2005. Influence of drying methods on drying of bell-pepper (*Capsicum annuum*). *Journal of Food Engineering*, 68(4): 439-442.
- 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.
- 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.
- Vural, E. 2024. Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma sisteminde yüksek kaliteli soğan tozu üretimi Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 80 s.
- Walton, D. E. (2000). The morphology of spray-dried particles a qualitative view. *Drying Technology*, 18(9), 1943-1986.
- Wang, H. (2019). Inclusion complexes of lycopene and β -cyclodextrin: preparation, characterization, stability and antioxidant activity. *Antioxidants* (8).
- Yeom, H. W., Conte, J., Mohammed, R., & DeMuri, S. (2016). Effects of process and storage temperature on browning index, furosine, and HMF of aseptic cold break tomato paste during storage time. *Journal of Food Science and Engineering*, 6, 237-244.
- Yıldız, O., Şahin, H., Kara, M., Aliyazıcıoğlu, R., Tarhan, Ö., & Kolaylı, S. (2010). Maillard reaksiyonları ve reaksiyon ürünlerinin gıdalardaki önemi. *Akademik Gıda*, 8(6), 44-51.
- Yuksel, H. and Dirim, S.N. 2020. Application of the agglomeration process on spinach

juice powders obtained using spray drying method. *Drying Technol.*, 39 (1): 19-34.

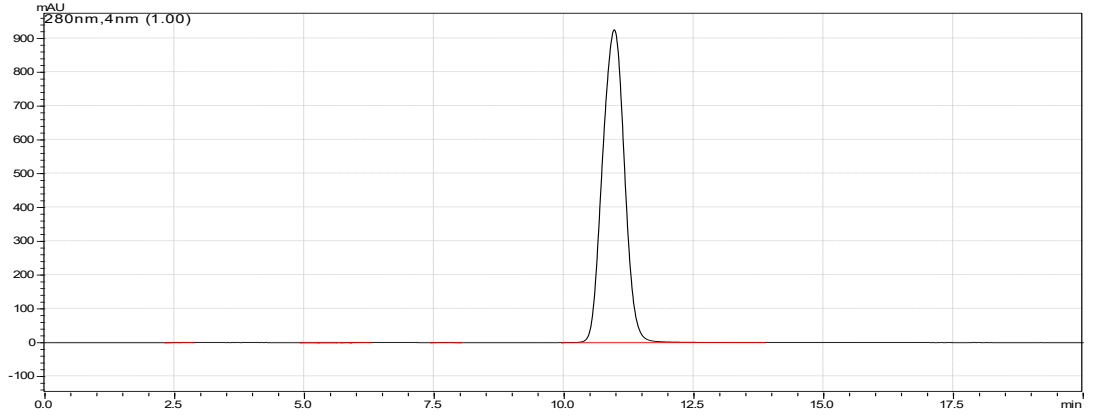
Zanoni, B., Peri, C., Nani, R., Lavelli, V. (1998). Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food research international*, 31(5), 395-401.

Zhao, Z., Zhang, X., Cui, Y., Huang, Y., Huang, Z., Wang, G., ... & Wu, C. (2019). Hydroxypropyl- β -cyclodextrin as anti-hygroscopicity agent in amorphous lactose carriers for dry powder inhalers. *Powder Technology*, 358, 29-38.

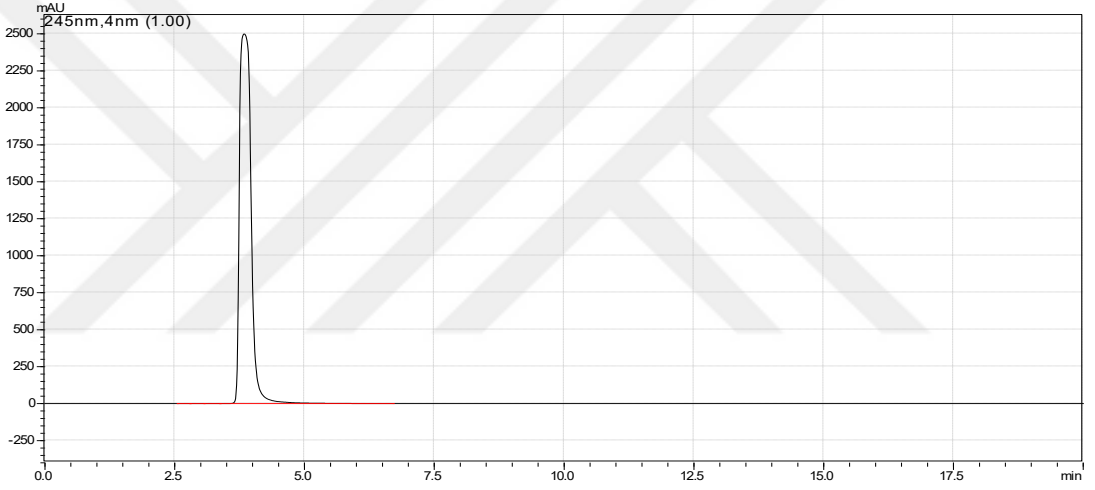
Zhou, L., Liu, W., Stockmann, R., Terefe, N. S. (2018). Effect of citric acid and high pressure thermal processing on enzyme activity and related quality attributes of pear puree. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 196-207.

Zomorodi, S., Hedayat, A. (2023). Impact of Refractance Window drying method on physical properties and phenolic antioxidants of tomato powder in comparison with other methods.

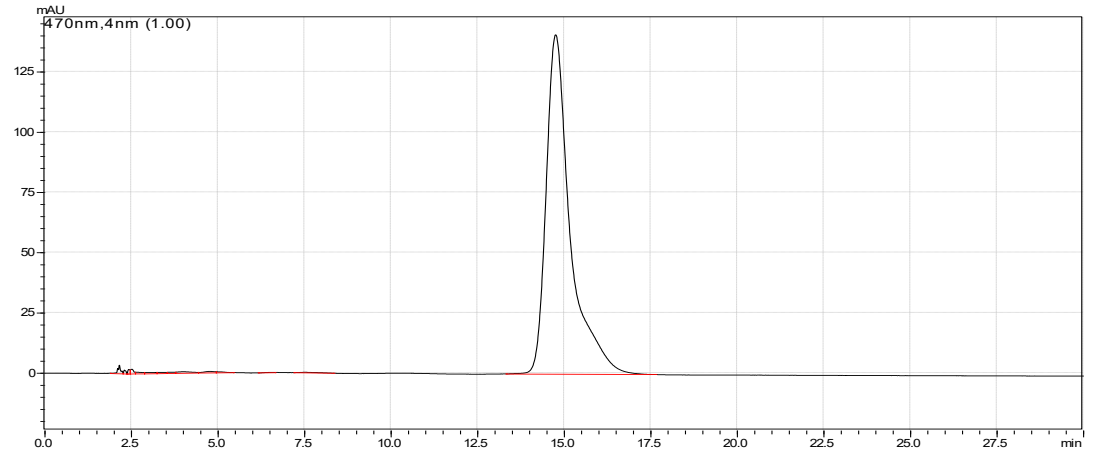
7. EKLER



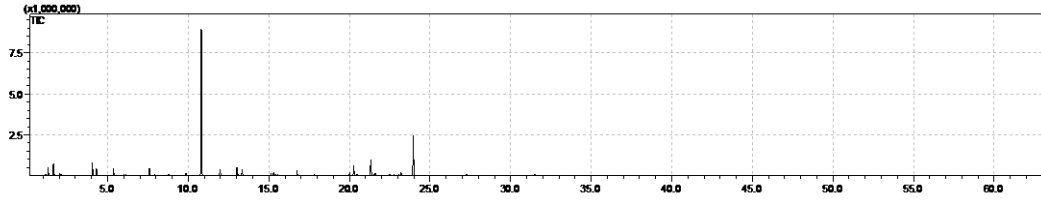
EK-1: Tez kapsamında elde edilen HMF standart maddesinin 280 nm dalga boyundaki kromatogramı



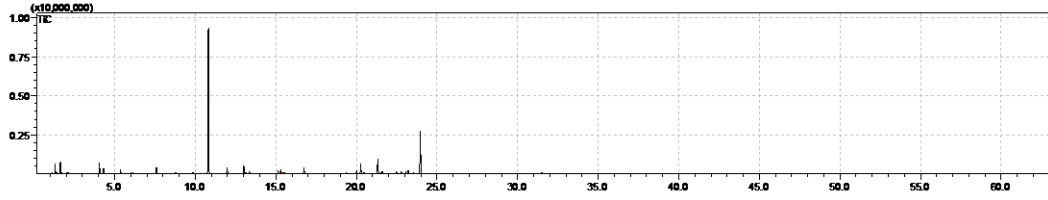
EK-2: Tez kapsamında elde edilen Askorbik asit standart maddesinin 245 nm dalga boyundaki kromatogramı



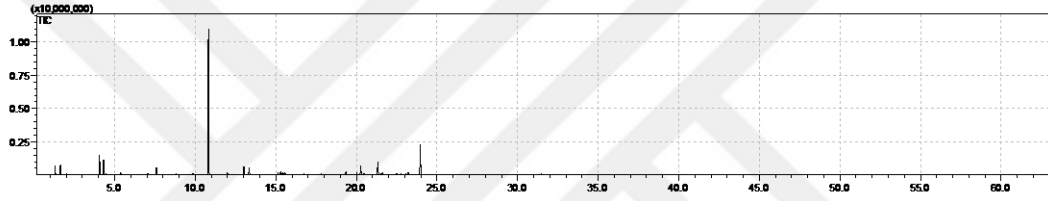
EK-3: Tez kapsamında elde edilen likopen standart maddesinin 470 nm dalga boyundaki kromatogramı



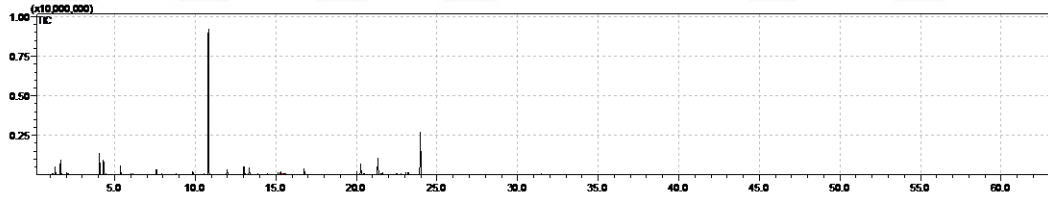
EK-4: KDKPK ile elde edilen salça tozlarının uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogram



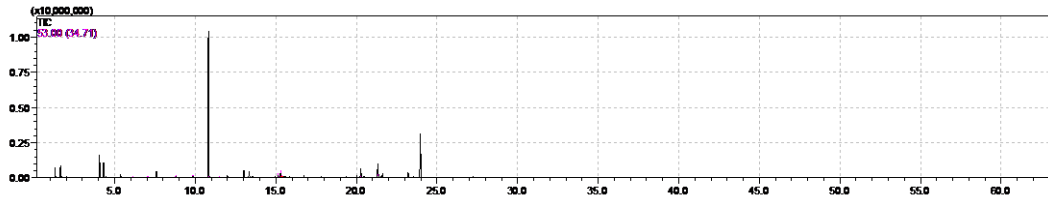
EK-5: A-KDKPK ile elde edilen salça tozlarının uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogram



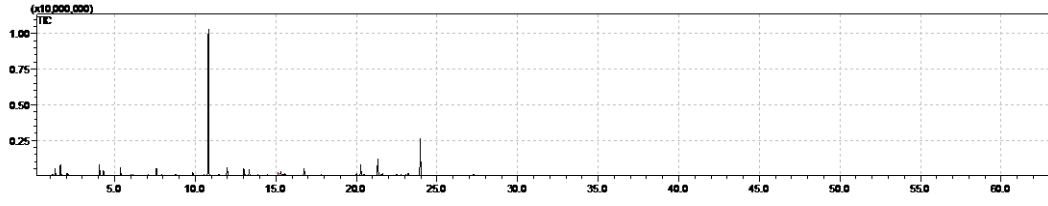
EK-6: KK-KDKPK ile elde edilen salça tozlarının uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogram



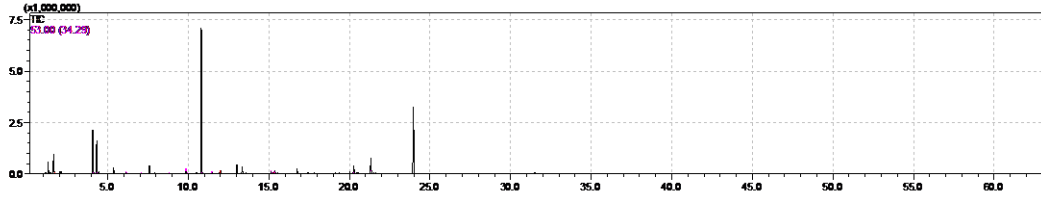
EK-7: β -KDKPK ile elde edilen salça tozlarının uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogram



EK-8: UDKPK ile elde edilen salça tozlarının uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogram



EK-9: KPK ile elde edilen salça tozlarının uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogram



EK-10: SHK ile elde edilen salça tozlarının uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogram

ÖZGEÇMİŞ

Tuğçe ATBAKAN KALKAN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora	Akdeniz Üniversitesi
2019 – 2025	Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2016-2019	Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2012-2016	Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya

ESERLER

A. Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. Tontul, I., Kasimoglu, Z., Asik S., **Atbakan T.** and Topuz, A. (2018). “Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying”. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109:1253-1259.
2. Asik, S., **Atbakan Kalkan, T.**, & Topuz, A. (2021). Optimization of spray drying condition and wall material composition for myrtle extract powder using response surface methodology. *Drying Technology*, 39(12), 1869-1882.
3. **Atbakan Kalkan, T.**, Asik Aygun, S., & Topuz, A. (2025). Influence of Different Drying Techniques on Selected Physicochemical and Bioactive Properties of Mushroom Powders. *Horticultural Studies*, 42(2):72-79.

4. Günel, Z., Aşık-Aygün, S., **Atbakan-Kalkan, T.**, & Topuz, A. (2025). Effects of Vacuum Impregnation with Honey and Rosehip Solutions on the Fortification and Enzymatic Browning of Quince (*Cydonia Oblonga* M.). *Gıda*, 50(4), 664-679.

B. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

1. **Atbakan T.**, Aşık S., Kasımoğlu Z. and Topuz A. (2017). Total phenolic content and sensory properties of mixed herbal tea produced from different aromatic plants. 1st International Congress on Medicinal and Aromatic Plants, Konya, Turkey, May 9-12. (Özet Bildiri)
2. Aşık S., **Atbakan T.**, Kasımoğlu Z. and Topuz A. (2017). Optimization of herbal tea formulation. 1st International Congress on Medicinal and Aromatic Plants, Konya, Turkey, May 9-12. (Özet Bildiri)
3. **Atbakan, T.**, Asık, S. and Topuz, A. (2018). Physicochemical properties some physicochemical properties of commercial protein isolates. XIIIth International Conference of Food Physicists, Antalya, Turkey, October 23-25. (Özet Bildiri)

C. Yazılan ulusal/uluslararası kitaplar veya kitaplardaki bölümler:

1. Topuz, A., Dincer, C., **Kalkan, T. A.**, & Aygun, S. A. (2023). Drying of tea, herbals, and spices. In *Drying Technology in Food Processing* (pp. 543-586). Woodhead Publishing.

D. Projeler

1. Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulan Pektinlerin Fizikokimyasal Özellikleri ve Jel Performanslarının Karşılaştırılması BAP Araştırma Projesi, FLY-2018-3710, **Yardımcı Araştırmacı**
2. Farklı Kurutma Yöntemleri ile Elde Edilen Mantar Tozlarının Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi BAP Güdümlü Proje, FBG-2019-5014, **Yardımcı Araştırmacı**