T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

FARKLI KURUTMA YAKLAŞIMLARIYLA AROMA VE LEZZET AÇISINDAN ZENGİN SARIMSAK TOZLARI GELİŞTİRİLMESİ

Yusuf YILMAZ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2025
ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FAKLI KURUTMA YAKLAŞIMLARIYLA AROMA VE LEZZET AÇISINDAN ZENGİN SARIMSAK TOZLARI GELİŞTİRİLMESİ

Yusuf YILMAZ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2023 – FBA - 6425 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEMMUZ 2025

Evrak Tarih ve Sayısı: 21.07.2025-783

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI KURUTMA YAKLAŞIMLARIYLA AROMA VE LEZZET AÇISINDAN ZENGİN SARIMSAK TOZLARI GELİŞTİRİLMESİ

Yusuf YILMAZ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez 16/07/2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / ~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayhan TOPUZ (Danışman)

Prof. Dr. Numan HODA

Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

Prof. Dr. Serkan SELLİ

Doç. Dr. Mehmet TORUN

Bu belge, güvenli elektronik İmza ile imzalanmıştır.
Evrak sorgulaması https://turkiye.gov.tr/ebd?eK=5543&eD=BS4SA90V7Z&eS=783 adresinden yapılabilir. (PIN:22572)

ÖZET

FARKLI KURUTMA YAKLAŞIMLARIYLA AROMA VE LEZZET AÇISINDAN ZENGİN SARIMSAK TOZLARI GELİŞTİRİLMESİ

Yusuf YILMAZ

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Temmuz 2025; 98 sayfa

Sarımsak (*Allium sativum* L.), içerdiği zengin aroma bileşenleri ve biyoaktif bileşenler nedeniyle tüm dünyada hem lezzet ve aroma verici bir gıda hem de bitkisel ilaç olarak, taze, konserve püre, sarımsak yağı ve toz formda yaygın bir şekilde tüketilmektedir. Özellikle sarımsağın kurutulmasıyla elde edilen toz form, toz gıda formülasyonlarına ve baharat karışımlarına eklenmesinin yanında yemeklere doğrudan katılabilecek uzun ömürlü ve katma değerli bir ürün olması açısından önem arzetmektedir. Bu çalışmada endüstriyel kullanımı yaygınlaşan ve tüketici talepleri artan sarımsak tozunun nitelikli olarak üretiminde Pirometre Kontrollü Kızılötesi Destekli Kırınım Pencereli Kurutma (PKD-KPK) yönteminin yeni yaklaşımlarla kullanımı ile endüstride yaygın uygulanan farklı kurutma yöntemleri karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Bu teknoloji sarımsak tozu üretiminde ilk kez kullanılmıştır. Biyoaktif bileşenlerce zengin, yüksek aroma içerikli sarımsak tozu üretimi amacıyla öncelikle püre haline getirilmiş sarımsağın kontrollü koşullarda PKD-KPK sisteminde kuruma koşulları optimize edilmiştir. Elde edilen optimum kurutma koşullarında püreye uygun taşıyıcılar ekleyerek kurutma yapılmış, bu kurutma için eklenen taşıyıcı kompozisyonu optimize edilmiştir. Ayrıca en iyi kurutma yaklaşımının belirlenebilmesi için optimum kurutma koşullarında köpük kurutma işlemi gerçekleştirilmiş, bu işlemin uygulama koşulları da optimize edilmiştir. Sarımsak tozunun aroma ve biyoaktif bileşenler açısından zengin bir yapıda üretilebilmesi amacıyla farklı kurutma yöntemleri sistematik olarak karşılaştırılmış; özellikle pirometre kontrollü kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma (PKD-KPK) sisteminin etkinliği detaylı biçimde değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında sarımsak püresi, PKD-KPK sisteminde optimize edilmiş koşullarda kurutulmuştur. Box-Behnken deney tasarımı ile gerçekleştirilen optimizasyon çalışması sonucunda en uygun kurutma koşulları 0.9 m/s hava akış hızı, 60 °C kurutma suyu sıcaklığı ve 30 °C püre yüzey sıcaklığı olarak belirlenmiş; bu koşullarda kuruma süresi 50 dakika olarak kaydedilmiştir. İkinci aşamada taşıyıcı kompozisyonu I-Optimal deney tasarımı ile optimize edilmiş ve optimum taşıyıcı oranları 1.841 g Arap zamkı ile 3.159 g maltodekstrin olarak tespit edilmiştir. Bu koşullarda kuruma süresi 33.6 dakika'ya düşmüştür.

Sonraki aşamada kurutma hızını artırmak ve ürün niteliğini geliştirmek amacıyla köpük kurutma uygulaması da denenmiştir. Bu işlemde köpürtme ajanı olarak seçilen çöven ekstraktının optimum kullanım oranı %0.33 ve köpürtme süresi 2.25 dakika olarak belirlenmiş, bu koşullarda köpürtülen sarımsak püresinin PKD-KPK sisteminde kurutulmasıyla nihai nem oranına 28 dakikada ulaşılmıştır.

Optimizasyon çalışmalarının ardından, farklı kurutma yöntemleriyle (PKD-KPK, sıcak hava kurutma, donuk kurutma) ve çeşitli sarımsak formlarıyla (püre, diş, dilim) elde edilen toz ürünler, duyusal, fiziksel ve kimyasal kalite parametreleri ile depolama özellikleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Fiziksel özellikler açısından, esmerleşme indeksi en düşük değeri 6.56 ± 0.02 ile dondurarak kurutulan püre formundaki örnekte göstermiştir. Buna karşılık, fırında püre formunda kurutulan örnek 24.31 ± 0.29 esmerleşme indeksi ile bu parametre bakımından en yüksek değerlere sahip olmuştur. Partikül boyutu analizinde, en düşük $D_{4,3}$ değeri 8.39 ± 0.25 ile püre formunda dondurarak kurutulmuş örnekte belirlenirken bu değer PKD-KPK sisteminde taşıyıcı eklenerek kurutulmuş örnekte 17.27 ± 1.29'a kadar çıkmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarına göre, toplam fenolik içeriğinin (TFİ) 3.31 ± 0.01 mg GAE/100 g KM değeri ile en iyi PKD-KPK sisteminde köpük kurutulan örnekte korunmuş, en fazla kayıp ise 1.71 mg GAE/100 g KM değeri ile fırında püre halinde kurutulan örnekte belirlenmiştir. Antioksidan aktivite PKD-KPK sisteminde kurutulan örnek için 21.93 ± 0.11 g TEAA/kg KM ölçülürken dondurarak kurutulan örnekler için ise ortalama 18.26–11.64 g TEAA/kg KM aralığında kalmıştır. Allisin içeriği açısından PKD-KPK sisteminin koruyucu etkisi oldukça belirgin olmuştur. Bu sistemde kurutulan örneklerin allisin miktarları 6.72–4.60 mg/kg KM aralığında değişirken fırında kurutulan örnkelerde bu değer oldukça düşük olarak 1.40–0.10 mg/kg KM aralığında tespit edilmiştir. Toplam aroma PKD-KPK sisteminde taşıyıcı eklenerek kurutulan örnekte en yüksek düzeyde korunurken (4.10E+08 ± 1.96E+05 pik alanı), en yüksek aroma kaybı ise 2.72E+08 ± 4.02E+05 (pik alanı) değeri ile dilim formda dondurarak kurutulan örnekte belirlenmiştir. Duyusal analizlerde, PKD-KPK sisteminde taşıyıcılı ve taşıyıcısız olarak kurutulan örnekler genel olarak panelistler tarafından yüksek (4.6 ve 4.3) puanlar almıştır.

Depolama süresi boyunca izlenen parametrelerde, 90 gün sonunda tüm örneklerde genel olarak azalma eğilimi saptanmıştır. Ancak PKD-KPK sisteminde kurutulan örneklerde bu kayıplar minimal düzeyde kalmıştır. Örneğin, taşıyıcı kullanılan örnekte allisin içeriği depolamanın başlangıcında 6.33 mg/kg KM iken, 90. gün sonunda %24'lük bir kayıpla 4.81 mg/kg KM'ye gerilemiş; aynı sürede TFİ değeri 2.81'den 2.37 mg GAE/100 g KM'ye, antioksidan aktivite ise 13.47'den 11.64 g TEAA/kg KM'ye düşmüştür. Sıcak hava kurutmalı dilim örneğinde allisin miktarı %50'ın üzerinde kayba uğramış ve 0.67 mg/kg KM seviyesine inmiştir. Aroma değerlerinde ise izlenen diğer parametrelerdeki değişimin aksine tüm örneklerde artış belirlenmiştir. Dondurarak kurutulan örneklerde %50 üzerinde bir aroma artışı tespit edilmiş olup PKD-KPK sisteminde kurutulan örneklerde bu artış %14-16 arasında belirlenmiştir.

Sonuç olarak, PKD-KPK kurutma sisteminin, gerek ürün kalitesi gerekse biyoaktif ve aromatik bileşen stabilitesi açısından diğer kurutma yöntemlerine göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Bu sistemin, enerji verimliliği, ürün kalitesi ve raf ömrü parametrelerinde sunduğu avantajlar sayesinde endüstriyel uygulamalarda tercih edilebilirliği yüksek bir alternatif olabileceği düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Biyoaktif bileşenler, Enkapsülasyon, Kırınım pencereli kurutma, Sarımsak tozu

JÜRİ: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Prof. Dr. Numan HODA

Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

Prof. Dr. Serkan SELLİ

Doç. Dr. Mehmet TORUN

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF FLAVOUR AND AROMA RICH GARLIC POWDERS USING DIFFERENT DRYING APPROACHES

Yusuf YILMAZ

PhD Thesis in Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

July 2025; 98 pages

Garlic (*Allium sativum L.*) is widely consumed around the world in various forms, such as fresh, canned purée, garlic oil and powder, as a flavouring and aromatising agent in food and as a herbal medicine, due to its rich aroma and bioactive components. The powdered form, obtained by drying garlic, is particularly important as it is a long-lasting, value-added product that can be added directly to meals, as well as to powdered food formulations and spice mixtures. This study tested the PKD-KPK method, which uses a pyrometer to control infrared-assisted diffraction window drying, for the qualified production of garlic powder. The industrial use of garlic powder has become widespread, and consumer demand has increased. Different drying methods commonly applied in the industry were tested comparatively. This technology was used for the first time in the production of garlic powder. To produce garlic powder that is rich in bioactive components and has a strong aroma, the drying conditions for pureed garlic in the PKD-KPK system were first optimised under controlled conditions. Under the optimum drying conditions obtained, drying was carried out by adding suitable carriers to the mash, and the carrier composition added for this process was optimised. Additionally, to determine the most effective drying approach, foam drying was conducted under optimal conditions, and the application parameters of this process were also refined. To produce garlic powder rich in aroma and bioactive components, the effectiveness of the PKD-KPK system was evaluated in detail, and different drying methods were systematically compared.

In the first stage of the study, garlic purée was dried under optimised conditions in the PKD-KPK system. The optimum drying conditions were determined as a result of the Box-Behnken optimisation study: an air flow rate of 0.9 m/s, a drying water temperature of 60 °C and a mash surface temperature of 30 °C. The drying time was recorded as 50 minutes under these conditions. In the second stage, the carrier composition was optimised using the I-Optimal experimental design, determining the optimal carrier ratios as 1.841 g of gum arabic and 3.159 g of maltodextrin. Under these conditions, the drying time decreased to 33.6 minutes.

In the next stage, foam drying was attempted to increase the drying speed and improve product quality. In this process, the optimum utilisation rate of the extract selected as the foaming agent was determined to be 0.33%, the foaming time was

determined to be 2.25 minutes and the final moisture content was reached after 28 minutes of drying the foamed garlic puree in the PKD-KPK system.

Following the optimisation studies, the powdered products obtained using different drying methods (PKD-KPK, oven drying and freeze drying) and from various forms of garlic (purée, cloves and slices) were evaluated in terms of their sensory, physical and chemical quality parameters, as well as their storage properties. In terms of physical properties, the lowest browning index value of 6.56 ± 0.02 was observed in the freeze-dried purée form. Conversely, the oven-dried mash sample exhibited the highest browning index value of 24.31 ± 0.29. In particle size analysis, the lowest D4,3 value of 8.39 ± 0.25 was determined in the freeze-dried mash sample, while this value increased to 17.27 ± 1.29 in the sample dried using a carrier in the PKD-KPK system. According to the chemical analysis results, the total phenolic content (TPC) was best preserved in the foam-dried sample in the PKD-KPK system, at 3.31 ± 0.01 mg GAE/100 g KM. The highest loss was determined in the oven-dried purée sample, at 1.71 mg GAE/100 g KM. Antioxidant activity was found to be 21.93 ± 0.11 g TEAA/kg KM for samples dried using the PKD-KPK system, whereas freeze-dried samples exhibited an average range of 18.26–11.64 g TEAA/kg KM. In terms of allicin content, the protective effect of the PKD-KPK system was significant. While the allicin content of samples dried using this system ranged from 6.72 to 4.60 mg/kg KM, oven-dried samples were found to have a much lower value in the range of 1.40 to 0.10 mg/kg KM. The sample dried by adding a carrier in the PKD-KPK system preserved the highest level of total aroma (peak area of 4.10E+08 ± 1.96E+05), while the sample dried by freeze-drying in slice form experienced the highest aroma loss (peak area of 2.72E+08 ± 4.02E+05). In the sensory analysis, samples dried with and without a carrier in the PKD-KPK system generally received high scores (4.6 and 4.3) from the panelists.

During the storage period, the monitored parameters showed a decreasing trend in all samples after 90 days. However, losses were minimal in samples dried using the PKD-KPK system. For instance, the allicin content of the sample with a carrier was 6.33 mg/kg KM on day 0; this decreased to 4.81 mg/kg KM after 90 days, representing a loss of 24%. The TPC value fell from 2.81 to 2.37 mg GAE/100 g KM, and the antioxidant activity decreased from 13.47 to 11.64 g TEAA/kg KM during this period. In the oven-dried slice sample, over 50% of the allicin content was lost, decreasing to 0.67 mg/kg KM. Contrary to the changes in other parameters, aroma values increased in all samples. Freeze-dried samples showed an increase in aroma of over 50%, whereas the increase was between 14% and 16% in samples dried using the PKD-KPK system.

In conclusion, the PKD-KPK drying system demonstrated superior performance in terms of product quality, as well as the stability of bioactive and aromatic components. Its advantages in terms of energy efficiency, product quality, and shelf-life parameters suggest that it may be a highly preferable alternative for industrial applications.

KEYWORDS: Encapsulation, Bioactive component, Garlic Powder, Refractance window drying

COMMITTEE: Prof. Dr.Ayhan TOPUZ

Prof. Dr.Numan HODA

Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

Prof. Dr. Serkan SELLİ

Assoc.Prof. Dr.Mehmet TORUN

ÖNSÖZ

Ülkemizin uzun yıllardır bazı mamül ve yarı mamül gıda ürünlerini yerli ve milli imkanlarla üretme hususunda bir takım eksikliklerle karşı karşıya bulunduğu söylenebilir. Gerek teknolojik eksikliklerin gerekse ilgili alanlardaki yetersiz çalışmaların bu durumu ortaya çıkardığı ileri sürülebilir. Yaptığımız bu çalışmayla çok önemli miktarı ülke dışı kaynaklardan temin edilen sarımsak tozunun yerli ve milli imkanlarla ve ithal muadillerine nazaran çok daha yüksek kalitede üretimine olanak sağlanmış olacağı düşüncesi bu ve benzeri alanlarda yapılacak daha nice çalışmalara da kapı aralayacağı kanaatini ortaya çıkarabilmektedir. Çalışmayı yaparken halihazırda kullanılan geleneksel yöntemlerden farklı olarak hammaddenin püreye dönüştürülmesi ve böylece hücre içinde ayrı bulunan alliin ve allinazın bir araya getirilip reaksiyona girmesi sağlanarak sarımsaktaki en önemli biyoaktif bileşen olan allisinin daha yüksek miktarlarda oluşumu sağlanmıştır. Allisin ve diğer aroma bileşenlerinin dış etkenlerden kolayca etkilenen kararsız yapısı sebebiyle kayba uğraması ve pürenin kuruma esnasında yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kalması sebebiyle oluşabilecek renk kararmalarının en aza indirilebilmesi için düşük sıcaklıklarda dahi kuruma süresini azaltabilen pirometre kontrollü kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma sistemi kullanılmıştır. Bu kurutma sisteminde aroma ve biyoaktif bileşenlerin daha stabil halde korunabilmesi için bazı enkapsülasyon ajanları da püreye eklenerek aroma ve aktif bileşen kayıpları daha da azaltılmış böylece ithal muadillerine nispetle daha yüksek kalitede sarımsak tozu üretilebilmiştir. Neticede bu çalışmayla ülkemize katma değeri yüksek bir ürün kazandırması ve bu yolla ekonomide dışa bağımlılığımızın azaltılmasına katkı sağlaması amaçlanmıştır. Çalışmanın endüstriye ve ilgili araştırmacılara faydalı olması dileklerimle.

Doktora tez konumun belirlenmesinde bana rehberlik eden saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ayhan TOPUZ'a, doktora eğitimim sırasında çalışmalarıma sağladığı destek, anlayış ve katkıları için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmalarım boyunca katkılarıyla yönlendiren Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof. Dr. Numan HODA ve Doç. Dr. Mehmet TORUN'a, ayrıca Tez Savunma Jürisi üyeleri Prof. Dr. Yusuf YILMAZ ve Prof. Dr. Serkan SELLİ'ye yapıcı yorumları ve yardımları için teşekkür ederim.

Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne 2023 – FBA - 6425 numaralı projeye maddi destek verdiği için teşekkürlerimi arz ederim.

Çalışmalarım esnasında çeşitli şekillerde desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Muammer DEMİR, Dr. Ecem VURAL, Arş. Gör. Serenay AŞIK AYGÜN, Gıda Yüksek Mühendisi Tuğçe ATBAKAN, Gıda Yüksek Mühendisi Nida Pınarbaşı, Gıda Yüksek Mühendisi Gülderen COŞGUN, Gıda Yüksek Mühendisi Keziban Kübra GÜNGÖR, Öğr. Gör. Dr. Emrah EROĞLU'na teşekkür ederim. Akdeniz Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümündeki tüm hocalar ve lisansüstü eğitimi devam eden arkadaşlarıma destekleri için teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgili eşim Fatma YILMAZ'a tüm doktora eğitimim esnasında destek ve anlayışını esirgemediği için ve bu tezi yaparken varlıklarıyla beni motive eden oğullarım Akif Bera YILMAZ ve Abdullah Emir YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “ **Farklı kurutma yaklaşımlarıyla aroma ve lezzet açısından zengin sarımsak tozları geliştirilmesi** ” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

16.07.2025

Yusuf YILMAZ

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iv
ÖNSÖZ vii
AKADEMİK BEYAN viii
SİMGELER VE KISALTMALAR xii
ŞEKİLLER DİZİNİ xv
ÇİZELGELER DİZİNİ xviii
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK TARAMASI 3
2.1. Sarımsak 3
2.1.1. Sarımsağın Sağlık Üzerine Etkileri 3
2.1.2. Sarımsağın kimyasal bileşimi 4
2.1.3. Allisin ve diğer sülfürlü bileşenler 5
2.2. Kurutma Prosesi 7
2.2.1. Sıcak Havada Kurutma 8
2.2.2. Dondurarak kurutma 9
2.2.3. Kırınım pencereli kurutma 10
2.2.4. Köpük kurutma 11
2.2.5. Enkapsülasyon 12
2.2.6. Sarımsak kurutma çalışmaları 13
2.2.7. Sarımsak biyoaktif bileşenleri enkapsülasyonu çalışmaları 15
3. MATERYAL VE METOT 18
3.1. Materyal 18
3.2. Metot 18
3.2.1. PKD-KPK kurutma ünitesi 18
3.2.2. Kurutma işlemlerinin deneysel tasarımı 19
3.2.3. Sarımsak püresi hazırlanması 19
3.2.4. PKD-KPK sisteminde kurutma koşulları optimizasyonu 20
3.2.5. PKD-KPK sisteminde taşıyıcı eklenerek kurutma 21
3.2.6. Köpük kurutma 22
3.2.7. Sıcak hava akımında kurutma 22
3.2.8. Dondurarak kurutma 22

3.2.9. Sarımsak tozlarının depolanması 23
3.3. Analizler 23
3.3.1. Nem ve su aktivitesi 23
3.3.2. Esmerleşme indeksi 23
3.3.3. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akış indikatörleri 23
3.3.4. Higroskopisite 24
3.3.5. Parçacık boyutu 24
3.3.6. HMF miktarı 24
3.3.7. Antioksidan aktivite 25
3.3.8. Allisin miktarı 26
3.3.9. Uçucu bileşenler 26
3.3.10. Toplam fenolik içerik (TFİ) 27
3.3.11. Duyusal testler 28
3.3.12. İstatistiksel Analizler 28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 29
4.1. PKD-KPK kurutma koşulları optimizasyonu 29
4.2. Taşıyıcı kompozisyonu optimizasyonu 38
4.3. Köpük kurutma optimizasyonu 42
4.4. Toz ürünlere ait fiziksel analiz sonuçları 45
4.4.1 Esmerleşme indeksi 45
4.4.2. Partikül boyut analizi 47
4.4.3. Yığın yoğunluğu (ρ_b) 53
4.4.4. Sıkıştırılmış yoğunluk (ρ_t) 54
4.4.5. Akabilirlik (CI) 55
4.4.6. Higroskopisite 55
4.5. Toz ürünlere ait kimyasal analiz sonuçları 56
4.5.2. Toplam fenolik içerik (TFİ) 57
4.5.3. Antioksidan aktivite analizi 58
4.5.4. HMF (5-Hidroksimetilfurfural) miktarı analizi 58
4.5.5. Allisin miktarı analizi 58
4.5.6. Toplam aroma (Pik alanı) 60
4.5.7. Sarımsak tozlarına ait aroma profili 61
4.6. Toz ürünlere ait duyusal analiz sonuçları 62
4.7. Sarımsak tozlarında depolama analizleri 65

4.7.2. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı TFİ değişimi 65
4.7.3. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı AA değişimi 67
4.7.4. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı allisin değişimi 69
4.7.5. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı HMF değişimi 72
4.7.6. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı Eİ değişimi 74
4.7.7. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı TA değişimi 76
4.7.8. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı aroma profili değişimi 78
5. SONUÇLAR 81
6. KAYNAKLAR 83
7. EKLER 94
ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

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

Kısaltmalar

ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
CAC	:Uluslararası Gıda Kodeks Komisyonu (Codex Alimentarius Commission)
DADS	:Diallil disülfit
DATS	:Diallil trisülfit
DPPH	:2,2-Difenil-1-pikrilhidrazil
Eİ	:Esmerleşme indeksi
FAO	:Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)
FDA	:Gıda ve İlaç Dairesi (The Food and Drug Administration)
GC-MS	:Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (Gas Chromatography-Mass spectrometry)
HAH	:Hava akış hızı
HPLC	:Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (High Performance Liquid Chromatography)
IR	:Kızılötesi (Infrared)
TA	:Toplam aroma bileşen
KD	:Kızılötesi destekli
A	:Allisin içeriği
KPK	:Kırınım pencereli kurutucu (Refractance Window Dryer)
KSS	:Kurutma suyu sıcaklığı
LC-MS-MS	Sıvı Kromatografisi-Kütle-Kütle Spektrometresi (Liquid Chromatography tandem-Mass Spectrometry)
NA	:Mevcut değil
No	:Numara
PID	:Oransal-integral-türevsel (Proportional-integral-derivative)
PKD	:Pirometre kontrollü kızılötesi destekli
ppm	:Milyonda bir birim (Parts per million)

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

*Tezde ondalık ayıracı olarak nokta (.) kullanılmıştır.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Alliinden allisin oluşum mekanizması (Lawson ve Hughes 1992) 6

Şekil 2.2: Allinden allisin ve diğer sülfürlü bileşiklerin oluşumu, allisin parçalanmasıyla oluşan diğer sülfürlü bileşikler (Borlinghaus vd. 2014) 7

Şekil 2.3. KPK sistemi çalışma prensibi (Zalpouri vd. 2022) 10

Şekil 2.4 Laboratuvarımızda bulunan KPK sistemi diyagramı 11

Şekil 3.1. Pirometre kontrollü kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutucu (PKD-KPK) sistemi (Vural 2024) 18

Şekil 3.2. Sarımsak tozları üretilirken kullanılan kurutma yaklaşımları 19

Şekil 3.3. Sarımsak püresinin hazırlanması ve film üzerine serilmesi 20

Şekil 3.4. Hidroksimetilfurfural standart eğrisi 25

Şekil 3.5. Troloks standart eğrisi 25

Şekil 3.6. Allisin standart eğrisi 26

Şekil 3.7. Gallik asit standart eğrisi 27

Şekil 4.1. Bağımsız değişkenlerin allisin içeriğine etkisi. **a.** Kurutma suyu sıcaklığı ile püre yüzey sıcaklığının allisin içeriğine etkisi. **b.** Hava akış hızının ve Kurutma suyu sıcaklığının allisin içeriğine etkisi. **c.** Püre yüzey sıcaklığı ile Hava akış hızının allisin içeriğine etkisi. (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri orta noktasında sabit tutulmuştur) 33

Şekil 4.2. Bağımsız değişkenlerin esmerleşme indeksine etkisi. **a.** Hava akış hızı ile Püre yüzey sıcaklığının ile esmerleşme indeksine etkisi **b.** Hava akış hızı ile Kurutma suyu sıcaklığının ile esmerleşme indeksine etkisi **c.** Püre yüzey sıcaklığı ile Kurutma suyu sıcaklığının ile esmerleşme indeksine etkisi. (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri orta noktasında sabit tutulmuştur) 34

Şekil 4.3. Bağımsız değişkenlerin toplam aromaya etkisi. **a.** Hava akış hızı ile Püre yüzey sıcaklığının toplam aromaya etkisi **b.** Hava akış hızı ile Kurutma suyu sıcaklığının toplam aromaya etkisi **c.** Püre yüzey sıcaklığı ile Kurutma suyu sıcaklığının toplam aromaya etkisi. (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri orta noktasında sabit tutulmuştur) 35

Şekil 4.4. Bağımsız değişkenlerin kuruma süresine etkisi. **a.** Kurutma suyu sıcaklığı ile Püre yüzey sıcaklığının kuruma süresine etkisi **b.** Hava akış hızı ile Kurutma suyu sıcaklığının kuruma süresine etkisi **c.** Püre yüzey sıcaklığı ile Hava akış hızının kuruma süresine etkisi. (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri orta noktasında sabit tutulmuştur) 36

Şekil 4.5. Sodyum aljinat (B), Arap zamkı (C) ve Maltodekstrin miktarlarının allisin içeriği, aroma salınımı ve aroma kazanımı üzerine etkileri 39

Şekil 4.6. Sodyum aljinat (B), Arap zamkı (C) ve Maltodekstrin miktarlarının esmerleşme indeksi ve kuruma süresi üzerine etkileri 40

Şekil 4.7.Çöven oranı (ÇO) ve Köpürtme süresinin (t_k) Köpük kapasitesi (KK) ve Köpük stabilitesi (KS) üzerine etkisi 43

Şekil 4.8. PKD-KPK sisteminde kurutulmuş sarımsak tozunun (S1) parçacık boyutu dağılımı volüme, haCİM prticle size parçacık boyutu değiştir 48

Şekil 4.9. PKD-KPK sisteminde taşıyıcı eklenerek kurutulmuş sarımsak tozunun (S2) parçacık boyutu dağılımı 48

Şekil 4.10. PKD-KPK sisteminde köpük kurutulmuş sarımsak tozunun (S3) parçacık boyutu dağılımı 49

Şekil 4.11. Fırın kurutucuda diş formda kurutulmuş sarımsak tozunun (S4) parçacık boyutu dağılımı 49

Şekil 4.12. Fırın kurutucuda püre formda kurutulmuş sarımsak tozunun (S5) parçacık boyutu dağılımı 49

Şekil 4.13. Fırın kurutucuda dilim formda kurutulmuş sarımsak tozunun (S6) parçacık boyutu dağılımı 50

Şekil 4.14. Dondurarak kurutucuda diş formda kurutulmuş sarımsak tozunun (S7) parçacık boyutu dağılımı 50

Şekil 4.15. Dondurarak kurutucuda püre formda kurutulmuş sarımsak tozunun (S8) parçacık boyutu dağılımı 50

Şekil 4.16. Dondurarak kurutucuda dilim formda kurutulmuş sarımsak tozunun (S9) parçacık boyutu dağılımı 51

Şekil 4.17. Sarımsak tozlarının duyusal analiz sonuçları 65

Şekil 4.18. Depolama süresince sarımsak tozlarının TPC değişimleri 66

Şekil 4.19. Depolama süresince sarımsak tozlarının antioksidan aktivitelerindeki değişimler 68

Şekil 4.20. Depolama süresince sarımsak tozlarının allisin miktarlarındaki değişimler 70

Şekil 4.21. Depolama süresince sarımsak tozlarının HMF miktarlarındaki değişimler (Dondurarak kurutulmuş örneklerde HMF tespit edilebilir limitlerin altındadır) 73

Şekil 4.22. Depolama süresince sarımsak tozlarının esmerleşme indekslerindeki değişimler 74

Şekil 4.23. Depolama süresince sarımsak tozlarının toplam aroma miktarlarındaki değişimler 76

Şekil 35. S1 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu 95

Şekil 36. S2 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu 95

Şekil 37. S3 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu 95

Şekil 38. S4 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu 96

Şekil 39. S5 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu 96

Şekil 40. S6 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu 96

Şekil 41. S7 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu 96

Şekil 42. S8 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu.....97
Şekil 43. S9 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu.....97

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kurutma koşulları optimizasyonu için Box Benkhen deneme deseni 20

Çizelge 3.2. Taşıyıcı karışımı optimizasyonu için oluşturulan I-Optimal deneme deseni 21

Çizelge 4.1. Kurutma koşulları optimizasyonu deney tasarımı ve yanıtlar 30

Çizelge 4.2. Sarımsak aroma bileşenleri ve optimizasyonda kullanılanlar 31

Çizelge 4.3. Kurutma koşulları optimizasyonunda kullanılan modelin denklem katsayıları 32

Çizelge 4.4. Sarımsak püresinin PKD-KPK sisteminde optimum kurutma koşulları 37

Çizelge 4.5. PKD-KPK sisteminde kurutma için programdan elde edilen optimum değerler ile optimum şartlarda üretilmiş örnekte ölçülen değerlerin karşılaştırılması 38

Çizelge 4.6. Optimum taşıyıcı kompozisyonunu belirlemek için oluşturulan I-Optimal deneme deseni ve yanıtlar 38

Çizelge 4.7. Taşıyıcı kompozisyonu optimizasyonunda kullanılan modelin denklem katsayıları 41

Çizelge 4.8. Sarımsak püresine katılacak optimum taşıyıcı kompozisyonu 41

Çizelge 4.9. Taşıyıcılı kurutma için programdan elde edilen optimum değerler ile optimum şartlarda üretilmiş örnekte ölçülen değerlerin karşılaştırılması 42

Çizelge 4.10. Köpük kurutma optimizasyonuna ait deneme deseni ve yanıtlar 42

Çizelge 4.11. Köpük kurutma prosesinin optimum koşulları 44

Çizelge 4.12. Köpük kurutma optimizasyonunda kullanılan modelin denklem katsayıları 44

Çizelge 4.13. Esmerleşme indeksi değerlerinin Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu 46

Çizelge 4.14. Son ürünlerin esmerleşme indeksi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 47

Çizelge 4.15. Açıklık, D_{43} ve D_{32} değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 51

Çizelge 4.16. Açıklık, D_{43} ve D_{32} değerlerinin Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu 52

Çizelge 4.17. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akabilirlik değerlerinin Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu 53

Çizelge 4.18. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akabilirlik değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 54

Çizelge 4.19. Toz ürünlerin kimyasal analiz sonuçlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 56

Çizelge 4.20. Toz ürünlerin kimyasal analiz sonuçlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarının varsyans analizi 57

Çizelge 4.21. Sarımsak tozunun karakteristik aromasını oluşturan aroma profili (milyon alan) 62

Çizelge 4.22. Sarımsak tozlarının duyusal analiz verilerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 63

Çizelge 4.23. Sarımsak tozlarının duyusal analiz verilerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarının varsyans analizi 64

Çizelge 4.24. Depolama süresince TFİ değerlerindeki değişim ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 67

Çizelge 4.25. Depolama süresince TFİ değerlerindeki değişim ortalamalarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analiz sonuçları 67

Çizelge 4.26. Depolama süresince antioksidan aktivitelerindeki değişim ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 69

Çizelge 4.27. Depolama süresince antioksidan aktivitelerindeki değişim ortalamalarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analiz sonuçları 69

Çizelge 4.28. Depolama süresince allisin miktarındaki değişim ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 71

Çizelge 4.29. Depolama süresince allisin miktarındaki değişim ortalamalarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analiz sonuçları 72

Çizelge 4.30. Depolama süresince HMF miktarındaki değişim ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 73

Çizelge 4.31. Depolama süresince HMF miktarındaki değişim ortalamalarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analiz sonuçları 74

Çizelge 4.32. Depolama süresince esmerleşme indeksi miktarındaki değişim ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 75

Çizelge 4.33. Depolama süresince esmerleşme indeksi miktarındaki değişim ortalamalarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analiz sonuçları 75

Çizelge 4.34. Depolama süresince toplam aroma miktarındaki değişim ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 77

Çizelge 4.35. Depolama süresince toplam aroma miktarındaki değişim ortalamalarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analiz sonuçları 78

Çizelge 4.36. Depolama süresi boyunca sarımsak tozlarının uçucu bileşen profili değişimi (milyon alan) 79

1. GİRİŞ

Kurutma gıda muhafazasında kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Gıdalarda bulunan su içeriğinin sıcaklık ve nisbi nem farkı etkisiyle havaya transferi; gıdanın kapladığı alanın küçülmesi, muhafaza maliyetlerinin düşürülmesi, içeriğinde bulunan enzim faaliyetlerinin sınırlanması, mikrobiyolojik açıdan güvenli hale gelmesi, farklı mamul ve yarı mamül ürünlere dönüştürülmesi açısından birçok farklı avantaj sağlamaktadır. Tüketiciler açısından kurutulmuş meyve ve sebzelerin ekonomik olmasının yanında, kaliteli, lezzetli ve besleyici olması da önem taşımaktadır. Bu ürünlerin vitaminler, antioksidan maddeler, lezzet ve aroma maddeleri ile renk bileşenleri açısından zengin olması arzu edilmektedir. Endüstride kurutma işlemi, hammaddeye ve üretim kapasitesine göre yaygın olarak; kabin, tünel, bantlı, akışkan yatak ve sandık tipi kurutucularda gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda kurutma hızını arttırmak ve enerji verimliliğini yükseltmek amacıyla bu sistemler mikrodalga ve kızılötesi (infrared) ışınlarla desteklenmektedir (Ratti 2001). Konu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde fırın, tünel, püskürtmeli kurutucuların mikrodalga (MW) ve radyo frekansı (RF) ile desteklendiği; mikrodalga ile kızılötesi yöntemlerinin bir arada kullanıldığı araştırmaların sayısında artış gözlenmektedir (Kayisoglu ve Ertekin 2011, Chandrasekaran vd. 2013). Kurutma işleminin asıl amacının hızlı kurutmak değil kaliteli ürün elde etmek olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Kurutma alanındaki son gelişmelerle birlikte bazı meyve ve sebze suları ile pürelerinin kurutulması maksadıyla geliştirilmiş olan kırınım pencereli kurutma gerek kurutma süresinin kısa olması ve gerekse biyoaktif bileşen kayıplarının az olması sebebiyle ön plana çıkmaktadır. Bu kurutma yöntemiyle baharat, sebze ve meyve gibi birçok ürün diğer kurutma yöntemlerine nispetle oldukça kısa sürede ve aroma, biyoaktif içerik ve renk açısından iyi derecede korunarak kurutulabilmektedir. Bu yöntemde radyasyonla ısı transferini belirli şartlar altında kırıcı özelliğe sahip özel bir plastik membran film kullanılmaktadır. Bu film ile alttan ısıtılan su yüzeyi kaplandığında radyasyonla ısı kaybı engellenmekte ve ısı transferi yalnızca kondüksiyon ile gerçekleşmektedir. Bu durumda kızılötesi enerjisi suya yansıtılmaktadır. Ancak nemli bir gıda membran üzerine serildiğinde, gıdada bulunan nem plastik membranın radyasyonu geçiren bir pencere gibi açılmasına neden olmaktadır. Böylece ısı gıda ile su arasında herhangi bir film/membran yokmuş gibi sudan gıdaya doğru transfer edilmektedir. Gıdadaki nemin kısa süre içerisinde buharlaşması sonucu membran pencere gibi davranamaz ve radyasyon enerjisini tekrar suya yansıtmaya başlar. Başta birçok farklı sebze ve meyve ürünleri (Abonyi vd. 2002, Topuz vd. 2009, Caparino vd. 2012, Baeghbali vd. 2016, Hernández-Santos vd. 2016, Jafari vd. 2016) olmak üzere, protein izolatları (Tontul vd. 2018), tıbbi bitkiler (Hashem vd. 2019) ve et ürünleri (Rostami vd. 2018) farklı gıdaların kurutulmasında yaygın şekilde kullanılmaya başlamıştır. Ancak bu sistem sarımsak püresi kurutulmasında daha önce kullanılmamış olup ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır.

Sarımsak (*Allium sativum*), hem mutfakta yaygın olarak kullanılan bir aroma kaynağı hem de sağlık açısından birçok faydası bulunan bir bitkidir. Yüksek antioksidan içeriği, antimikrobiyal ve antiinflamatuar özellikleri sayesinde geleneksel ve modern tıpta önemli bir yere sahiptir. Ancak, sarımsağın taze formu, yüksek su içeriği nedeniyle kısa raf ömrüne sahiptir ve muhafaza süresince kalite kayıplarına uğramaktadır. Ayrıca taze haliyle bazı toz gıda formlarına (örneğin baharat karışımları, cips aromaları, köfte haçları, çiğköfte harçları) katılması mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, sarımsağın işlenerek

toz haline getirilmesi, raf ömrünü uzatmanın ve kullanım kolaylığını artırmanın etkili bir yolu olarak görülmektedir. Ancak, kurutma süreci sırasında meydana gelen fizikokimyasal değişimler, sarımsak tozunun bileşimi, lezzeti ve fonksiyonel özellikleri üzerinde belirleyici olmaktadır. Bu bağlamda, farklı kurutma yöntemlerinin sarımsak tozu üretimi üzerindeki etkilerinin araştırılması büyük bir önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı aroma, biyoaktif bileşenler, renk ve toz özellikleri bakımından üstün özelliklere sahip sarımsak tozu üretmektir. Bu amaç doğrultusunda farklı kurutma yöntemleri kullanılarak sarımsak tozu üretimi gerçekleştirilmiş ve elde edilen tozlar kalite ve bileşen yönünden karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, pirometre kontrollü kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutucu kullanılarak üç farklı üretim yöntemi uygulanmıştır. İlk olarak, kurutma koşulları optimize edilmiştir. Daha sonra, belirlenen optimum kurutma koşullarında taşıyıcı kompozisyonu optimize edilmiş ve optimum kurutma koşullarında, optimum taşıyıcı kompozisyonuyla ikinci bir üretim yapılmıştır. Son olarak, köpük kurutma yaklaşımı için köpük kurutma koşulları optimize edilmiş, optimum köpük oluşum koşulları kullanılarak, optimum kurutma koşullarında köpük kurutma yöntemi uygulanmıştır. Bu aşamalar, sarımsak tozu üretiminde inovatif ve verimli yaklaşımların değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir.

Bunun yanı sıra, endüstride yaygın olarak kullanılan sıcak hava kurutma yöntemiyle de sarımsak tozu üretilmiştir. Bu yöntemde, sarımsak püre, diş ve dilim formunda kurutularak üç farklı toz elde edilmiştir. Geleneksel kurutma yöntemlerinden biri olan sıcak hava kurutma, enerji verimliliği ve uygulanabilirliği açısından tercih edilmekte olup, bu yöntemin üretilen sarımsak tozunun kalite parametrelerine etkisi araştırılmıştır.

Bununla birlikte, düşük sıcaklıkta suyun süblimleşmesi prensibiyle çalışan dondurarak kurutma yöntemi de bu çalışmada ele alınmıştır. Dondurarak kurutma, gıda bileşenlerini en az düzeyde bozarak taze ürüne en yakın kalite özelliklerini koruyabilen bir yöntemdir. Ancak, bu yöntemin yüksek enerji tüketimi ve yatırım maliyetleri, yaygın kullanımını kısıtlamaktadır. Çalışmada, dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak sarımsak püre, diş ve dilim formunda kurutulmuş ve bu işlemler sonucunda üç farklı toz üretilmiştir. Böylece, dondurarak kurutmanın da sarımsak tozu üzerindeki kalite etkileri detaylı olarak incelenmiştir.

Toplam dokuz farklı sarımsak tozu örneği, kalite parametreleri ve bileşenleri açısından analiz edilmiştir. Kurutma yöntemlerinin sarımsak tozunun aroma, lezzet, renk ve besin bileşenleri üzerindeki etkilerini belirlemek, bu çalışmanın temel amaçlarından biridir. Elde edilen bulguların, sarımsak tozu üretiminde optimum kurutma koşullarının belirlenmesine ve endüstride uygulanabilir yöntemlerin geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir. Böylece, hem fonksiyonel hem de duyusal açıdan üstün nitelikli sarımsak tozu üretimine yönelik alternatif kurutma yaklaşımları karşılaştırmalı olarak denenmiş ve sarımsak tozu üretimi için en uygulanabilir, verimli ve başarılı yöntem belirlenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Sarımsak

Baharatlar gıdaların aromasını, lezzetini ve rengini arttırmak amacıyla kullanılabildikleri gibi sağlık üzerine olumlu etkileri nedeniyle çeşitli formlarda sağlığı destekleyici maddeler olarak da kullanılmakadır. Vitaminler, alkaloidler, flavonoidler, ve tanenlerin yanı sıra sülfür içeren bileşikler de dahil olmak üzere baharatlarda bulunan birçok farklı biyoaktif bileşik anti-enflamatuar, antikanserojenik, antitümörijenik, antioksidan ve şeker-kolesterol düşürücü özellikleri sayesinde farklı tedavi edici fonksiyonları yerine getirirler (Ansary vd. 2020). Sarımsak kendine has tadı ve kokusuyla gıdalara lezzet verici olarak, yemeklerin yanında doğrudan tüketim şeklinde, uçucu yağı çıkarılarak yağ formunda ve toz formda toz gıda formülasyonlarına, baharat karışımlarına katılarak kullanılabilmektedir (Saif vd. 2020, Tesfaye 2021).

Sarımsak, *Alliaceae* familyasının bir üyesidir. Botanik adı *Allium sativum*'dur. Allium, Keltçe keskin anlamına gelen "all" kelimesinden türetilmiştir. *Allium* cinsi, dünya çapında yaygın olan 600'den fazla tür içermektedir. Allium cinsinin üyeleri genellikle otsu, çok yıllık, dayanıklı ve kökleri soğancık şeklindedir. Tüm soğancıklar ipeksi beyaz ya da pembe bir zarf/kılıf ile çevrilidir. Hemen hemen tüm Allium türleri çiçeklenme esnasında veya köklerinde bulunan soğanların hasar almasıyla ortaya çıkabilecek şekilde kokuludur. Allium türlerinin çoğu yabanidir ve birçoğu Türkiye'de endemik olarak yetişmektedir (Sundaram 1995, Itakura vd. 2001, Cavagnaro ve Galmarini 2007, Block 2010, Torun ve Ozdemir 2022). Bunlardan ençok bilinenleri, *Allium* cinsine ait *ampeloprasum, tucelianum, longicuspis, scorodoprasum, nigrum, tuberosum, sphaerocephalon, flavum, macrochaetum, oleraceum* ve *sativum* türleridir. Bunlardan bazıları yabani olmasına rağmen bazıları kültüre alınmıştır (Tekeli ve Gokce 2015).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre dünyada sarımsak ekilen alan miktarı 2022 yılında yaklaşık 1,7 milyon hektar olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca FAO verilerine göre 2020 yılında dünyada 58,3 milyon hektar alanda üretilen 1,14 milyar ton sebzenin %2,4'ünü sarımsak oluşturmaktadır. Dünya genelinde 1,6 milyon hektar alanda 28 milyon ton sarımsak üretilmektedir Sarımsak ülkemizin birçok bölgesinde yetiştirilen ve ülkemizin çevre koşullarına iyi uyum sağlayabilen bir sebzedir. TÜİK verilerine göre 2020 yılında ülkemizde 136 bin tondan fazla sarımsak üretilmiştir. Kastamonu ili 23 bin ton kuru sarımsak üretimi ile ilk sırada yer almaktadır (Fao 2024).

2.1.1. Sarımsağın Sağlık Üzerine Etkileri

Eski zamanlardan beri insanlar hastalıkları önlemek ve tedavi etmek amacıyla doğal yöntemler üzerinde çalışmaktadır. Günümüzde ise hastalıkların tedavisi için etkili terapötik ajanlar olarak doğal ürünlere olan ilgi artarak devam etmektedir. Bunlar arasında bitki kaynaklı doğal ürünler ön plana çıkmaktadır (Alinezhad vd. 2013). Bitki kaynaklı doğal ürünlerden başlıcaları ise uçucu yağlar, fenolik bileşikler, flavonoidler, alkaloidler ve organik asitler gibi sekonder metabolitlerdir. Sekonder metabolitler açısından zengin ve birçok farklı faydalı özelliklerinin yanında çok az yan etkisi sebebiyle sarımsak, üzerinde ençok çalışılan bitki türlerinden biri olmuştur. (Misharina vd. 2009).

Mikroorganizmaları inhibe etmesi veya öldürmesi, kan basıncını, şekerini ve kolesterolünü düşürmesi, kan pıhtılaşması ve tümör oluşumunu önlemesi, bağışıklık sistemini güçlendirerek farklı hastalıklara karşı direnci artırması gibi özellikleri sarımsağın sağlık üzerine olumlu etkileri olarak rapor edilmiştir (Gebreyohannes ve Gebreyohannes 2013). Ayrıca lenfatik sistemi uyarma yoluyla atıkların vücuttan atılma sürecini hızlandırabildiği, etkili bir antioksidan olarak serbest radikal hasarına karşı hücreleri koruyabildiği, bazı kanser ve felç türlerini, kalp hastalıklarını ve viral enfeksiyonları önlemeye yardımcı olabildiği de belirtilmiştir (Rahman 2007, Bongiorno vd. 2008, Tsai vd. 2012, Ansary vd. 2020).

Sarımsak tek başına, insan vücudunu çeşitli hastalıklardan koruma kapasitesine sahip onlarca kimyasal maddenin vücuda alımını sağlayabilir. Bunlardan en önemlileri, sarımsağa karakteristik koku ve tadını da kazandıran kükürt içerikli bileşiklerdir. Sarımsakta bulunan kükürt içeren başlıca bileşikler allisin, diallil sülfit, diallil disülfit, diallil trisülfit, allil metildisülfit ve allil metiltrisülfit gibi bileşiklerdir. Bu bileşikler vücutta belirli faydalı enzimlerin üretimini uyarmak yoluyla sağlığın korunmasına katkı sağlamaktadırlar (Huang vd. 2023).

2.1.2. Sarımsağın kimyasal bileşimi

Tablo 1: Sarımsağın bileşimi (Anonim 2024)

Bileşen	Birim	Ortalama Miktar (100 g'da)
Su	g	65,88
Kül	g	1,24
Protein	g	5,21
Yağ	g	0,54
Karbonhidrat	g	24,48
Tuz	mg	17
Demir	mg	0,94
Fosfor	mg	156
Kalsiyum	mg	16
Magnezyum	mg	28
Potasyum	mg	474
Sodyum	mg	7
Çinko	mg	0,98
C vitamini	mg	10,9
L-askorbik asit	mg	10,9
Tablo 1'in devamı Tiamin	mg	0,084
Riboflavin	mg	0,034
Niasin	mg	0,564
B-6 vitamini	mg	1,146
Folat	µg	10
Beta-karoten	µg	29
Lutein	µg	12

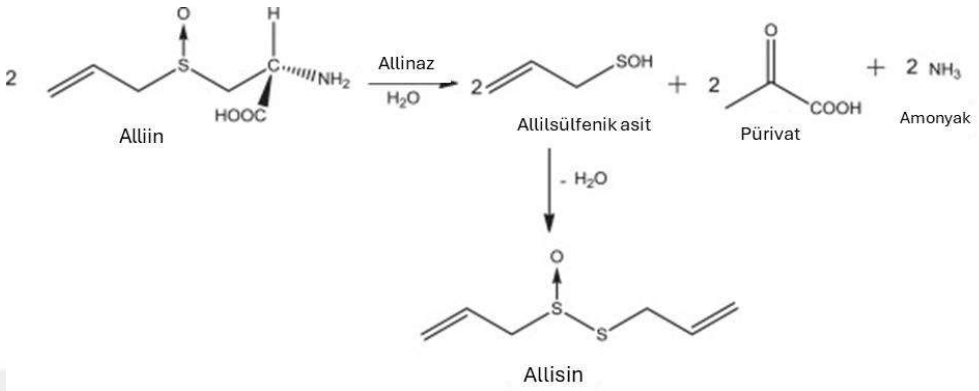
Dünya çapında hem mutfakta (çiğ sebze ve toz veya granül formda kurutulmuş olarak) hem de geleneksel ve modern tıbbın önemli bir parçası olarak çeşitli kullanım alanlarına sahip sarımsak en önemli yirmi sebzeden biri olarak kabul edilmektedir. Bilieşiminde protein, yağ, karbonhidrat, çeşitli vitaminler ve mineralleri bulunduran sarımsak, sebzeler arasında toplam fenolik ve uçucu bazı sülfürlü bileşikler açısından en zengin gıda kaynakları arasında gösterilmiş ve insan beslenmesine fenolik ve uçucu sülfürlü bileşiklerin katkısı açısından da üst sıralarda yer aldığı belirtilmiştir (Tablo 1) (Martins vd. 2016).

2.1.3. Allisin ve diğer sülfürlü bileşenler

Gıdaların yapısında doğal olarak bulunan makro bileşenler (protein, yağ, karbonhidrat) ve mikro bileşenler (vitamin ve mineraller) dışında, sağlık üzerinde çeşitli olumlu etkileri olan biyoaktif bileşenler de yer almaktadır. Bu biyoaktif bileşen guruplarından biri de organosülfür bileşikleridir. Kükürt içeren tüm kimyasal yapılar, genel olarak "organosülfür bileşikleri" olarak adlandırılabilir, ancak bu terim daha çok kükürt atomunun organik bir moleküle (karbon içeren bir yapı) bağlı olduğu bileşikler için kullanılır. Organosülfür bileşikleri, karbon-sülfür (C-S) bağı içeren bileşikleri tanımlar. Tiyosülfinatlar ise bir kükürt (sülfür) atomunun bir oksijen atomuna bağlı olduğu ve iki kükürt atomu arasında bir çift bağ içeren organosülfür bileşikleridir. Allisin, özellikle organosülfür bileşikleri ve daha spesifik olarak tiyosülfinatlar kategorisine ait bir biyoaktif bileşendir. Allisin (diallilltiyosülfinat), sarımsakta zararlılara karşı bir savunma molekülü olarak oluşabilen ve canlılar üzerinde çeşitli biyolojik aktivitelere sahip bir tiyosülfinat molekülüdür (Talib vd. 2024). Allisin; doku hasarı sonucu, protein oluşturmayan bir amino asit olan alliin (S-allilsistein sülfoksit) öncüllüğünde, alliinaz enzimi tarafından katalize edilen bir reaksiyonla üretilir (Gruhlke ve Slusarenko 2012). Birçok farklı biyolojik özelliğe sahip sülfürlü doğal bir bileşik olan allisin, taze kesilmiş veya ezilmiş sarımsağın tipik kokusundan ve tadından sorumlu olan reaktif bir tiyosülfinattır (Slusarenko vd. 2008). Allisinin hayvan, bitki ve mikroorganizmalar üzerinde fizyolojik olarak aktif olduğu ve doza bağlı olarak, hem bakteri hem de mantarların çoğalmasını engelleyebildiği, antibiyotik dirençli suşlar dahil olmak üzere hücreleri tamamen öldürebildiği belirtilmiştir (Cavallito ve Bailey 1944). Ayrıca, allisinin kanserli hücre ölümünü başlattığı ve bu hücrelerin çoğalmasını önlediği, bitkilerde tohum çimlenmesini engellediği, kök gelişimini zayıflattığı da rapor edilmiştir. Allisinin kardiyovasküler sistem için avantajlı olan kolesterol ve kan basıncını düşürücü etkiler gibi çeşitli sağlık geliştirici özelliklere sahip olduğu belirtilmektedir (Borlinghaus vd. 2014).

Yapısı Stoll ve Seebeck (1948) tarafından ortaya konan allisin, bitki dokusunun hasar görmesi neticesinde meydana gelen enzimatik bir reaksiyonla üretilir. Allisin öncüsü, protein oluşturmayan bir amino asit olan alliindir (S-alkil- L -sistein sülfoksit) (Cavallito vd. 1945). Alliin ve diğer S-alkil- L -sistein sülfoksitler, sarımsakta meydana gelebilecek doku hasarı sonucunda alliinaz enzimi tarafından hidrolize edilir (Granroth 1970, Ilić vd. 2011) ve alliin bu reaksiyon sonunda dehidroalanin ve allil sülfenik asit üretimine yol açar (Şekil2.1). İki allil sülfenik asit molekülü kendiliğinden bir allisin molekülüne dönüşür (Ilić vd. 2011). Sarımsakla aynı aileden olan soğanda (*Allium cepa*) alliin sentezlenmemekte, ancak aliinin izomeri olan izoalliin (trans-(+)-S-(1-propenil)-l -sistein sülfoksit) sentezlenmektedir (Shukla vd. 2024). Bu durum soğanda allinaz enziminin izoalliine etkisiyle kuersetin oluşumuna, sarımsakta ise allinaz enziminin

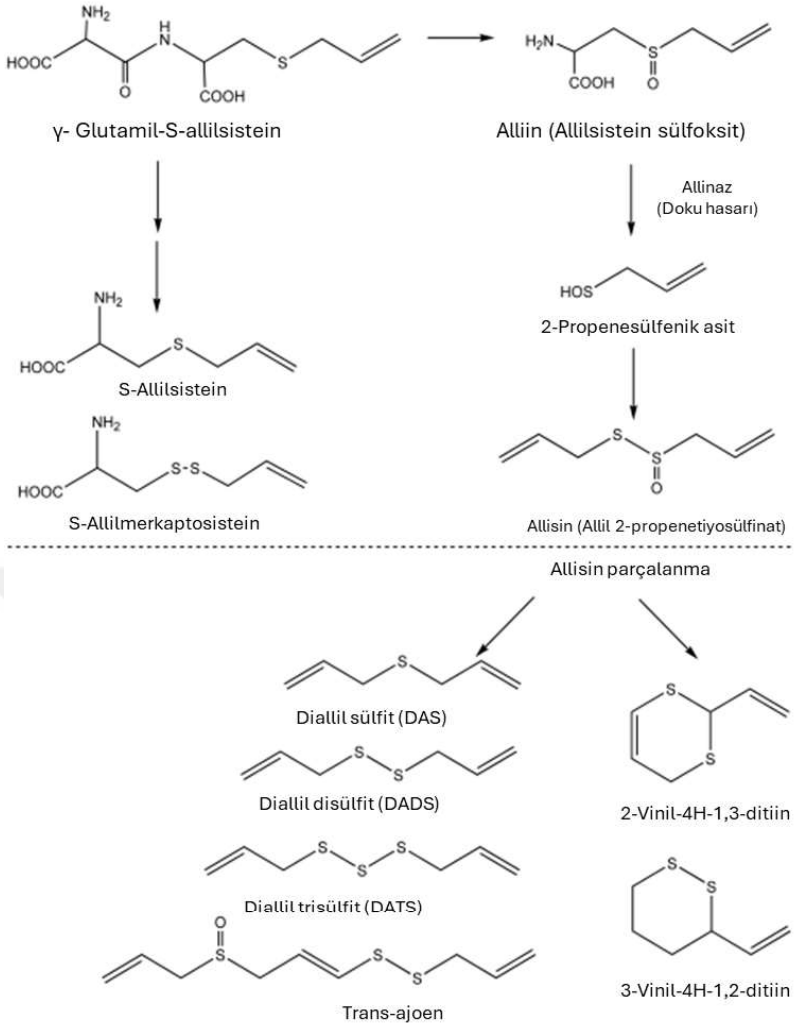
alliine etkisiyle allisin oluşumuna yol açmaktadır. Ayrıca allisinin enzimatik yollarla oluşumu dışında diallildisülfitin glasiyel asetik asit ile oksidasyonu neticesinde kimyasal olarak sentezlenebildiği de rapor edilmiştir (Lawson ve Hughes 1992).



Şekil 2.1: Alliinden allisin oluşum mekanizması (Lawson ve Hughes 1992)

Ortalama 1 g ezilmiş taze sarımsağın toplam 11-35 mg organosülfür bileşiği içerdiği, bu organosülfür bileşiklerinden yaklaşık %70'inin allisin olduğu bildirilmiştir (Block 1992, Han vd. 1995, Rahman 2007). Sarımsağın biyolojik olarak en aktif bileşiği olan allisin sıcaklık ve pH değişikliklerinden kolayca etkilenen oldukça kararsız bir yapıdadır. Sıcaklık artışının ve asidik pH seviyelerinin allisinin sarımsak aromasını oluşturan diğer sülfürlü bileşiklere ayrışmasını hızlandırdığı belirtilmektedir (Block 2017). Allisinin parçalanması sonucu ortaya çıkan ana bileşikler, dialil disülfid (DADS), dialil trisülfid (DATS), diallyl sülfid (DAS), vinil ditiyin (VDT), ajoen (E/Z izomerleri), alil metilsülfid (AMS) gibi kükürt içeren bileşiklerdir (Şekil 2.2). Özellikle DADS ve DATS, allisinin en yaygın ve stabil parçalanma ürünleri olarak kabul edilmektedir (Lawson ve Gardner 2005, Martins vd. 2016, Block 2017, Liu vd. 2020).

Tez kapsamında sarımsağın püre haline getirilmesiyle hücre içerisinde izole halde bulunan allin proteini ve allinaz enziminin serbest hale getirilmesi neticesinde birbiriyle etkileşmesi sağlanarak allisin oluşturulması amaçlanmıştır. Oluşan allisin, kararsız yapısı nedeniyle hızla diğer sülfürlü bileşiklere ve sonunda tada ve aromaya olumsuz etkide bulunduğu bildirilen ajoen (E/Z ajoen) bileşiğine dönüşebilmektedir. Bu nedenle, sarımsağın toz formuna dönüştürülmesinde enkapsülasyon, köpük kurutma ve kuruma sürecini önemli ölçüde hızlandıran infrared destekli kırınım pencereli kurutma sistemi gibi yöntemlerle; aromaya olumlu katkı sağladığı bilinen allisin, diallil sülfit, diallil disülfit ve diallil trisülfit gibi bileşiklerin korunması hedeflenmiştir.



Şekil 2.2: Allinden allisin ve diğer sülfürlü bileşiklerin oluşumu, allisin parçalanmasıyla oluşan diğer sülfürlü bileşikler (Borlinghaus vd. 2014)

2.2. Kurutma Prosesi

Gıdaların muhafaza edilmesinde kullanılan en eski yöntemlerinden biri olan kurutma, başlangıçta yalnızca gölgede ve güneşte kurutma olarak uygulansa da 18. yy.'dan sonra endüstriyel olarak da uygulanmaya başlanmıştır (Geankoplis 1993, Cemeroğlu 2009). Herhangi bir ek enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaması nedeniyle kırsal bölgelerde güneşte ve gölgede kurutma yöntemleri olarak kullanılmaya devam etmektedir (Kartal 2011). Gıda maddelerinin muhafaza edilme sürelerini artırmak için nem içeriklerinin düşürülmesi yaklaşımı olarak ifade edilen kurutma prosesiyle ürünler üretim dönemleri dışında da değerlendirebilir, doğrudan tüketilebilir veya farklı proseslerde kullanılmak üzere yarı mamul olarak üretilebilir. Gıdalarda bulunan suyun uzaklaştırılmasıyla gıdaların su aktivitesinin düşürülmesi neticesinde mikroorganizma gelişimini ve enzim aktivitelerini sınırlandırma prosesi kurutma olarak adlandırılmaktadır. Genel anlamıyla gıdadaki serbest suyun uzaklaştırılabilmesi için suyun buharlaşma gizli ısınının gıdaya verilmesi işlemine de kurutma denmektedir.

Gerekli olan ısı; kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon olmak üzere üç farklı yolla gıdaya yüklenebilmektedir. Endüstriyel olarak meyve-sebzelerin ve çeşitli gıda formülasyonlarının kurutulmasında kullanılan farklı kurutma sistemleri işte bu temel prensiple çalışmaktadır (Geankoplis 1993, Cemeroğlu 2009).

Gıdanın özgül ısısı, nem difüzyon durumu, yoğunluğu, kapiller yapısı ve ısı iletim özelliklerinin yanında kurutma ortamının ısı ve kütle iletim özellikleri de kurutma prosesinin etkinliği ve hızını etkilemektedir. Sabit kuruma ortamında gıdadan suyun uzaklaştırılması;

1- Gıdanın kuruma koşullarına kadar ısınması,
2- Sabit hızda gıdanın yüzeyindeki suyun uzaklaşması,
3- Gıdanın iç kısımlarındaki suyun difüzyonla yüzeye taşınarak uzaklaştırılması,

olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalardan; gıdadan birim zamanda uzaklaştırılan su miktarının sabit olduğu birinci aşama "sabit hızda kuruma periyodu", uzaklaştırılan su miktarının giderek azaldığı ikinci aşama ise "azalan hızda kuruma periyodu" olarak adlandırılmaktadır. Kuruma hızının değiştiği andaki gıdanın nem düzeyine de "kritik nem" denmektedir (Geankoplis 1993).

Geçmişte 19. yüzyıla başlarına kadar gıdaların kurutulmasında doğal birer enerji kaynağı olan güneş ışığı ve rüzgar kullanılmıştır. Ancak bu yöntemler; hijyenik olmaması, işlemin uzun sürmesi, homojen ve istenilen kalitede son ürün elde edilememesi gibi dezavantajlara sahiptir. Bu sebeplerle; gıda kurutmada vakum altında kurutma, sıcak hava ile kurutma, mikrodalga ile kurutma, dondurarak kurutma, kırınım pencereli kurutma vb. yöntemler geliştirilmiş, bununla birlikte son dönemlerde farklı teknolojilerin bir arada kullanıldığı hibrit sistemlere ilgi artmış ve kurutma olgusu farklı bir boyut kazanmıştır (Hayashi 1989, Hii vd. 2021).

Endüstriyel çapta gıdaların kurutulmasında yeşil mutabakata uygun proseslerin kullanımına olan talep, fosil yakıt kullanılarak elde edilen ısı yardımıyla uygulanan proseslerdeki yüksek karbon emisyonu sebebiyle ortaya çıkan iklim krizi ardından artmıştır. Böylece yeşil mutabakata uyumlu endüstriyel gıda işleme proseslerinin önemi giderek artmış ve yeni yaklaşımlar da teşvik edilmeye başlamıştır. Düşük enerji girdili veya yenilenebilir enerji ile çalışarak yüksek kalitede kuru gıda ürününü hızlı bir şekilde elde etmeyi sağlayan kurutma sistemlerinin geliştirilmesi de önemini korumaktadır. Bu kapsamda farklı hibrit kurutma sistemleri geliştirilmesi önemli hale gelmiştir (Wang 2014, Tuncer vd. 2019, Anonymous 2020, Kumar vd. 2024).

2.2.1. Sıcak Havada Kurutma

Geleneksel kurutma uygulaması, açık alanda ürünlerin bir zemine serilmesi neticesinde oluşan konveksiyonla kurutma şeklinde gerçekleştirilir. Çevre koşullarına bağlı olan bu yöntem uzun sürebilen bir süreçtir. Teknolojik gelişmelerle birlikte, geleneksel yönteme göre daha homojen, hijyenik ve hızlı bir kurutma gerçekleştirebilen sıcak havada kurutma teknolojisi geleneksel açık havada kurutma sisteminin yerini almıştır (Karathanos ve Belessiotis 1997, Tunde-Akintunde vd. 2005). Gıda ürünlerinin dış etkenlerden korunarak kurutulması, sıcak hava ile kurutma yönteminde koşulların kontrol altında olmasıyla sağlanmaktadır.

Bu durum geleneksel yönteme göre daha hızlı bir kurutmanın hijyenik koşullarda gerçekleştirilebilmesiyle yöntemin gıda sanayiinde yaygın şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Güneşte kurutma yöntemi düşük ilk yatırım ve üretim maliyeti ile daha az işçilik gerektirmesi sebebiyle avatajlı gibi görünse de son ürün kalitesi yetersizdir. Sıcak havada kurutma ise daha kısa kurutma süresi sağlaması ve işlemin kapalı bir alanda yapılması sebebiyle daha hijyeniktir. Tüm bu avantajlar nedeniyle gıdaların kurutulmasında genellikle sıcak hava ile kurutma yöntemi tercih edilmektedir. Nitekim bu kurutma yönteminin kullanıldığı birçok farklı meyve-sebze kurutma çalışması mevcuttur. Bununla birlikte bu kurutma yöntemi son ürün kalitesini azaltarak tüketici tercihlerini olumsuz yönde etkileyen bazı dezavantajlara da sahiptir. Bazı durumlarda kurutma süresinin uzaması, kabuk sertleşmesi, esmerleşme, büzüşme, besin değerindeki ve birçok meyve ve sebzede bulunan aroma ve biyoaktif bileşenlerdeki kayıplar ve ürünün duyusal özelliklerinin azalması bu dezavantajlardan bazılarıdır (Voda vd. 2012, Barbosa vd. 2015). Öte yandan, kurutma işleminin asıl amacının sadece daha hızlı bir kurutma süreci sağlamak değil, aynı zamanda daha yüksek kaliteli bir ürün elde etmek olduğu açıkça görülmektedir (Esper ve Mühlbauer 1998). Bu nedenle, son yıllarda düşük sıcaklıklarda hızlı kurutma olanağı sağlayarak ürün kalitesini artıran, yeni ve yenilikçi teknikler, büyük bir ilgi görmeye başlamıştır. Bu yeni teknikler, gıda kurutma süreçlerinde hem kaliteyi artırmak hem de süreci daha verimli hale getirmek amacıyla kullanılmaktadır.

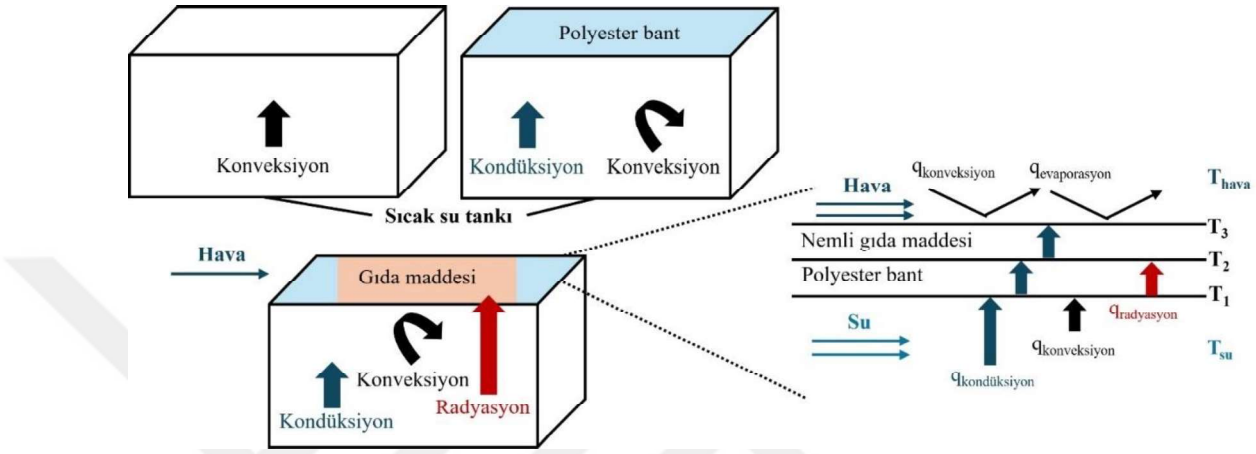
2.2.2. Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma, ya da daha yaygın bilinen adıyla liyofilizasyon, vakum altında gerçekleştirilen etkili bir kurutma yöntemidir. Bu teknik, sıcak hava ile kurutma yöntemine göre daha düşük seviyede katı madde hareketine izin verir, bu nedenle kabuk sertleşmesi gibi istenmeyen etkiler oluşmaz. Ürünün büzüşmesi ve yapısal değişimleri minimum düzeydedir, bu da nihai ürünün orijinal şeklini ve dokusunu büyük ölçüde korumasını sağlar. Renk, koku ve aroma gibi duyusal özellikler de bu yöntemle muhafaza edilir, bu da yüksek kalite standartlarına sahip ürünler elde edilmesine olanak tanır. Özellikle, rehidrasyon yeteneği oldukça yüksek olan son ürünler üretilir, bu da su eklenerek orijinal formuna yakın bir şekilde geri kazanılabileceği anlamına gelir.

Ancak, bu üstün kalite avantajlarının yanında ciddi dezavantajları da vardır. Dondurarak kurutma, sıcak hava ile kurutmaya göre yaklaşık beş kat daha maliyetlidir. Bu nedenle, genellikle ekonomik değeri yüksek olan hammaddelerin işlenmesinde tercih edilir. Örneğin, tıbbi ürünler, biyolojik materyaller ve bazı niş gıda maddeleri bu yöntemle kurutulmaktadır. Dondurarak kurutma süreci genel olarak iki aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada, ürün çok düşük sıcaklıklarda dondurulur. İkinci aşamada ise, düşük basınç altında, üründe bulunan donmuş su süblimasyon yoluyla doğrudan buharlaştırılarak uzaklaştırılır (Vega-Mercado vd. 2001). Bu yöntem, üstün kalite sunmasına rağmen, işlem süresi oldukça uzundur. Bu süreyi kısaltmak amacıyla, son yıllarda kızılötesi ve mikrodalga enerji destekleriyle zenginleştirilen hibrit sistemler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu sistemler, dondurarak kurutmanın uzun sürecini hızlandırarak verimliliği artırmakta ve daha kısa sürede kurutma işlemini tamamlamaktadır (Mongpraneet vd. 2002).

2.2.3. Kırınım pencereli kurutma

Kurutma teknolojisinde önemli bir gelişme olarak kabul edilen kırınım pencereli kurutma (KPK) sistemi ilk defa Richard Magoon tarafından 1986 yılında patentlenmiştir. Yenilikçi bir kurutma sistemi olan KPK ince dilimlenmiş, püre haline getirilmiş veya sıvı haldeki gıdaların ince tabaka halinde kurutulmasına olanak tanımaktadır. Yüksek ısı ve kütle transfer hızlarına sahip olmasıyla ürün kalitesini ve kuruma hızını artıran bu yönteme olan ilgi gittikçe artmaktadır (Shende ve Datta 2019, Kumar vd. 2024).

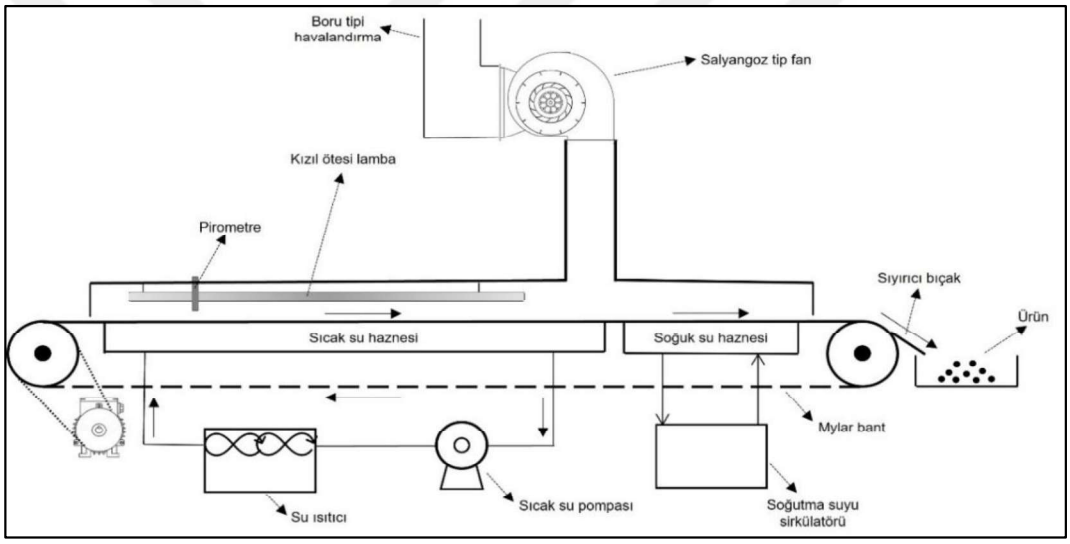


Şekil 2.3. KPK sistemi çalışma prensibi (Zalpouri vd. 2022)

Nemli gıdanın kuruyabilmesi için gerekli ısı enerjisi, sistemde yüksek sıcaklıklarda sirküle edilen su tarafından sağlanmaktadır. Isı aktarımı, suyun üzerine serilen polyester bir bant (Mylar film) yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Gıda maddesi, bu bandın üzerine serilir ve bandın altından banta temas ederek akan sıcak su, bant boyunca kızılötesi radyasyon yayarak gıdaya ulaşır. Bu süreçte bantta bir "pencere" oluştuğu varsayılır, bu pencere kızılötesi radyasyonun gıdaya nüfuz etmesine izin verir. Gıdanın içindeki su, bu enerji sayesinde buharlaşırken ürün nemini kaybetmeye başlar. Böylece diğer kurutuculardan farklı olarak, KPK sisteminde ısı transferinin üç yolu da (kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon) gerçekleşmektedir (Şekil 2.3). Sıcak suyun termal enerjisi konveksiyon ve kondüksiyon yoluyla filme taşınırken; filmden ürüne ise kondüksiyon yoluyla aktarılır. Ancak radyasyonla sıcak suyun termal enerjisinin bir kısmı doğrudan ürüne aktarılır. Radyasyon enerjisinin filmden geçişi su-film-gıda sisteminin kırılma indisine bağlıdır. Mylar film, su ve havanın kırılma indisleri sırasıyla 1.64, 1.33 ve 1'dir (Zotarelli vd. 2015). Hava-mylar sisteminin yansıma kaybı katsayısı su-mylar sisteminden neredeyse beş kat daha yüksektir (Zotarelli vd. 2015). Filmin üzerinde ürün olmadığında, su ve hava arasındaki kırılma indisi uyumsuzluğu o kadar yüksektir ki, radyasyon enerjisinin çoğu film-su arayüzünden suya yansıtılır. Filmin üzerine ıslak gıda (yüksek nem içeriği nedeniyle düşük kırılma indisine sahip) ürünleri yerleştirildiğinde, su-film-gıda sisteminin bu kırılma indisleri yakınlaşarak film-gıda temas yüzeyinde termal radyasyon için bir pencere açar. Bu da termal radyasyonun film üzerinden ürüne daha fazla iletilmesine neden olur. Ürün kurudukça, kırılma indisi artar ve bir uyumsuzluk yaratır. Bu nedenle, termal radyasyonun çoğu suya geri yansıtılır ve böylece termal radyasyon penceresi kademeli olarak kapanır (Şekil 2.3).

Bu kendi kendini düzenleyen mekanizma, kurutma işleminin son aşamasında ürünün hassas bir şekilde kurumasını sağladığından gıdaların kurutulmasında veya toz haline getirilmesinde kullanılmaya başlanmıştır (Topuz vd. 2009, Tontul vd. 2018, Aykın-Dinçer vd. 2021). Ayrıca bu yöntemle kurutmanın, ürün içerisinde bulunan termolabil bileşiklerin sıcaklık etkisiyle tamamen degrede olmasını önlediği ve gerçek ürün sıcaklığının 70 °C'nin altında kalması nedeniyle son ürünün kalitesini büyük oranda koruduğu da bildirilmiştir (Mahanti vd. 2021, Waghmare 2021, Kumar vd. 2024).

Kırınım pencereli kurutma yöntemi, kısa sürede yüksek kaliteli kurutma işlemi gerçekleştirme yeteneği nedeniyle gıda endüstrisinde önemli bir teknik olarak öne çıkmaktadır. Özellikle besin öğeleri ve duyusal özelliklerin korunması açısından, bu yöntem, diğer kurutma tekniklerine göre önemli avantajlar sunar. Bu kurutma yönteminin sahip olduğu avantajlar nedeniyle, sıcaklığa duyarlı sekonder metabolitlerin son üründe mümkün olan en yüksek düzeyde korunabilmesi amacıyla, laboratuvarımızda bulunan ve kızılötesi lamba ile desteklenerek hibrit hale getirilmiş kırınım pencereli kurutma yöntemi kullanılmıştır..



Şekil 2.4 Laboratuvarımızda bulunan KPK sistemi diyagramı

2.2.4. Köpük kurutma

Köpük kurutma, sıvı formdaki gıdaların çeşitli köpük yapıcı ajanlar kullanılarak stabil bir köpük haline dönüştürülüp ardından kurutulmasını sağlayan bir tekniktir. Bu yöntem, kuruma süresini önemli ölçüde kısaltarak gıda bileşenlerini sıcak havanın etkisine daha az maruz bırakır. Başarılı bir köpük kurutma sürecinin temel gereksinimi, kararlı ve düşük yoğunlukta bir köpüğün elde edilmesidir. Bu köpük yapısının oluşturulmasında zamklar, proteinler ve çeşitli emülgatörler köpük yapıcı ajan olarak kullanılır. Köpük kurutma işleminde, sıvı veya püre formundaki gıda maddesine belirli miktarda köpük yapıcı ajan eklenir ve bir blender veya özel olarak tasarlanmış çırpıcı cihazlarla köpük haline getirilir. Elde edilen köpük, kurutucuya ince bir tabaka halinde serilir ve diğer kurutma yöntemlerinde olduğu gibi belirli bir nem içeriğine kadar kurutulur (Brygidyr vd. 1977, Sangamithra vd. 2015, Varhan ve Koç 2017, Aktas ve Tontul 2021).

Köpük formundaki gıdaların kurutulması, geniş bir yüzey alanı oluşturduğu için suyun hızlı bir şekilde buharlaşmasını sağlar (Şekil 2.7). Bu kısalmış kuruma süresi, kimyasal, mikrobiyal ve biyokimyasal reaksiyonların kısıtlanmasına yardımcı olur ve böylece ürün kalitesi artar (Kadam ve Balasubramanian 2011).

2.2.5. Enkapsülasyon

Gıda kurutma proseslerinde gıdalarda bulunan bileşenlerin korunması amacıyla kullanılan enkapsülasyon, biyolojik olarak aktif bileşenlerin bir kapsül içine hapsedilerek korunmasında yaygın şekilde kullanılan bir yaklaşımdır. Gıdaların stabilitesini artırmak ve lezzeti, aroması ve besin değerini korumak için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik, bilhassa sıcaklığa karşı hassas bileşenlerin sıcaklık etkisiyle bozulmalarının önüne geçmek için etkilidir (Desai ve Jin Park 2005, Augustin ve Sanguansri 2015). Bu uygulamanın kurutma işlemi esnasında sağladığı bazı faydalar aşağıda sıralanmıştır.

- **Koruyucu Maddeler İçerme** :Doğal antioksidanlar veya koruyucu bazı ajanlar içerebilen bazı taşıyıcı materyaller termolabil bileşenlerin ısıl işlem esnasında korunmasına ek bir destek sağlayabilir.
- **Koruyucu Atmosfer Oluşturma** :Hassas bileşenlerin ortam oksijeniyle temasını sınırlamak yoluyla oksidatif bozulmayı azaltan enkapsülasyonun bazı uygulamalarında, inert gazlar veya vakum da kullanılarak aktif bileşenleri etkileme itimali bulunan oksijen miktarı daha da azaltabilir.
- **Isı Aktarımının Yavaşlatılması** :Enkapsülasyonda kullanılan taşıyıcı madde, ısının kapsüllenen maddeye doğrudan aktarılmasını azaltır veya durdurur. Böylece enkapsülasyon yaklaşımı, termolabil bileşenlerin maruz kaldığı ısı miktarını azaltıp bu bileşenlerin termal olarak etkilenmelerinin en düşük seviyelerde kalmasına yardımcı olur.
- **Fiziksel Bariyer Oluşturma** :Duvar materyali olarak kullanılan maddeler çekirdek bileşenleri çevresel faktörlerin olası etkilerinden izole edebilen fiziksel bir bariyer oluşturur. Bu, çekirdek bileşenleri oksijen, yüksek sıcaklık, ışık ve nem gibi zararlı olabilecek etkilerden koruyabilir.
- **Kimyasal Stabilite Sağlama** :Enkapsülasyon yaklaşımı, olası pH değişikliklerine karşı tamponlama etkisi göstererek termolabil bileşenlerin kimyasal stabilitesini artırabilir. Ek olarak, oksidatif hasarı azaltıcı etkilere sahip duvar materyalleri (antioksidan) de kullanılabilir.
- **Kontrollü Salınım** :Kullanılan duvar materyaleri, aktif bileşen salınımının kontrollü bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bileşenlerin kontrollü salınımı ısıl işlem sırasında bu bileşenlerin daha az hasar görmesine ve istenilen etkinin korunmasına yardımcı olabilmektedir.

Isıl işlemler esnasında termolabil bileşenlerin korunmasını sağlayan bu mekanizmaların son ürünün fonksiyonel özelliklerini, lezzetini ve besin değerini koruyabildiği rapor edilmiştir. (F. Gibbs 1999, Mcclements 2004, Jafari ve Rashidinejad 2021).

Son üründe bulunması arzu edilen bileşenlerin stabilitesi, korunması ve kontrollü salınımı açısından enkapsülasyonda kullanılan taşıyıcı materyal seçimi önem arzetmektedir.

Enkapsülasyon işleminde duvar materyali seçiminde bu materyalin mekanik dayanıklılığı, gıda güvenliği ve uyumluluğu, yapışkanlığı, viskozitesi, çözünürlüğü ve dağılımı, görünümü ve tadı, kontrollü salınım özellikleri, kimyasal kararlılığı gibi özelliklerin dikkate alınması gerektiği bildirilmiştir (Jafari 2017, Bao vd. 2019). Yaygın olarak kullanılan ve yukarıda sayılan özellikleri sağlayan çeşitli taşıyıcı materyaller ve bazı özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

1. Sodyum Aljinat: Doğal bir polisakkarittir ve jel oluşturma yeteneğine sahiptir.
2. Maltodekstrin: Düşük viskozite ve higroskopisiteye sahip olmasının yanında birçok çözücüde oldukça iyi çözünmektedir.
3. β-siklodekstirin: Hidrofobik özellikler gösteren bileşenleri kapsülleyebilen ve bunları sulu ortamda stabil hale getirebilen bir duvar materyalidir.
4. Pektin: Jel oluşturma yeteneği yüksek, doğal bir polisakkarittir.
5. Kazeinatlar: Yüksek besin değerine sahip süt proteinleridir ve ürün yüzeyinde mükemmel film oluşturabilirler.
6. Arap Zamkı: İyi film oluşturabilme yeteneğinin yanında yüksek emülsifiye edici özelliklere de sahiptir.

Sarımsakta bulunan biyoaktif bileşenlerin degradasyon, dekompozisyon, dehidrojenasyon, isomerizasyon, volatilizasyon, oksidasyon, polimerizasyon gibi yollarla kayba uğrayabildiği belirtilmiştir. Bu yollarla kayba uğrayabilen biyoaktif bileşenlerin korunması ve kontrollü şekilde salınımı ile birlikte istenmeyen kokunun baskılanması amacıyla enkapsülasyon uygulamalarından faydalanılabildiği rapor edilmiştir (Tavares vd. 2021).

2.2.6. Sarımsak kurutma çalışmaları

Dondurarak, sıcak havada, vakumla ve kızılötesi sıcak hava ile kurutma olmak üzere 4 farklı kurutma yönteminin iki farklı sarımsak çeşidinin (beyaz ve mor sarımsak) kalitesi üzerindeki etkisinin belirlendiği bir çalışmada kurutulmuş sarımsak dilimlerinin renkleri, biyoaktif bileşikleri ve antioksidan kapasiteleri de dahil olmak üzere kaliteleri araştırılmıştır. Kurutulmuş beyaz ve mor sarımsağın en yüksek beyazlık değerleri sırasıyla 87.04 ve 81.89 ile dondurarak kurutma uygulamalarında bulunduğu, aynı kurutma yöntemleri altında kurutulmuş mor sarımsak dilimlerinde beyaz olanlara kıyasla daha yüksek aktif madde içerikleri ve antioksidan kapasiteleri belirlendiği bildirilmiştir. Dondurarak kurutma ve kızılötesi kurutma uygulanmış mor sarımsaklardaki allisin içerikleri 2.60 ve 2.67 mg/g ve bu iki örnekteki toplam fenolik içerikleri 5.93 ve 4.33 mg/g olarak belirlendiği rapor edilmiştir. Farklı kurutma yöntemlerinde mor sarımsak dilimlerinde beyaz olana kıyasla daha yüksek allisin, toplam fenolik içerikleri ve antioksidan kapasiteleri belirlenmiştir. Sonuçta, kızılötesi kurutma işlemiyle kurutulan mor sarımsağın beyaz sarımsağa göre endüstriyel kurutma için daha uygun olduğu bildirilmiştir (Gong vd. 2022).

Yapılan bir çalışmada vakumlu dondurarak kurutma, sıcak hava ile kurutma, kızılötesi sıcak hava ile kurutma, bağıl nem ile kurutma ve darbeli vakum ile kurutmanın sarımsak dilimlerinin fiziksel, rehidrasyon, lezzet, biyoaktif bileşikler ve antioksidan özellikleri üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Çalışma sonucunda vakumlu dondurarak kurutma ile kurutulan sarımsak dilimlerinin çekici bir renge, düşük büzüşme oranına, düşük sertliğe ve en düşük rehidrasyon kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir.

Sıcak havada kurutulan sarımsak dilimlerinin hacimsel büzülme oranı, termal stabilitesi ve depolama stabilitesi en yüksek değerlere sahip olduğu, kızılötesi sıcak havada ve bağıl nem yöntemleriyle kurutulmuş örneklerin en yüksek rehidrasyon kapasitesi, biyoaktif bileşik içeriği ve antioksidan aktivite gösterdiği belirtilmiştir (Feng vd. 2021).

Allisin bileşiğinin kurutulmuş sarımsakta stabilize edilmesi ve konsantre hale getirilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada sarımsakların hem dilimlenerek hem de diş halinde, konvektif sıcak hava ile kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulduğu, her iki yöntemde de üç farklı sıcaklık denendiği bildirilmiştir. Diş halinde dondurarak kurutulan (20 °C) örneklerdeki allisinin miktarının en yüksek olduğu, dilimler için ise, allisin tutma özelliğinin hem sıcak hava hem de düşük sıcaklıklarda dondurarak kurutma için benzer sonuçlar verdiği rapor edilmiştir. Allisin içeriğinin her iki işlemde de sıcaklık artışına bağlı olarak azaldığı, ancak sıcaklık artışının allisin kaybı üzerindeki etkisinin sıcak hava ile kurutma işleminde daha belirgin olduğu belirtilmiştir (Ratti vd. 2007).

Sarımsak dişlerinin dilimlenerek vakumlu dondurarak kurutma, sıcak havayla kurutma, ısı pompasıyla kurutma, uzak kızılötesi kombine ısı pompasıyla kurutma, orta ve kısa kızılötesi radyasyonla kurutma yöntemleriyle kurutulduğu bir çalışmada sarımsağın kuruma özellikleri, rehidrasyon, renk, mikro yapı, lezzet ve doku üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Burada, kısa kızılötesi radyasyonla kurutma yönteminin en kısa kuruma süresini, nem içeriğindeki en hızlı düşüşü ve diğer kurutma yöntemlerine göre belirgin şekilde daha yüksek kuruma oranını sağladığı bildirilmiştir. Taze sarımsak dilimleri ile karşılaştırıldığında, kurutulmuş sarımsak dilimlerinin parlaklığının önemli ölçüde arttığı; ancak, orta ve kısa kızılötesi dalgaların sarımsak dilimlerinin kahverengiye dönmesine neden olarak yüzeyde gözle görülür bir sararmaya yol açtığı rapor edilmiştir. Gaz kromatografisi-iyon hareketlilik spektrometresi (GC-IMS) analizi yoluyla sarımsak dilimlerinde toplam 51 uçucu bileşik (9 alkol, 6 aldehit, 9 keton, 2 asit, 7 ester ve 18 diğer tür dahil) tespit edildiği ve bunlar arasında 28 maddenin beş kurutma işleminin ortak bileşeni olduğu belirtilmiştir (Xie vd. 2024).

Lagunas ve Castaigne (2008) tarafından yapılan bir araştırmada allisin öncü bileşeni olan alliin proteini ve allinaz enzimi stabilitesi üzerinden sarımsaktaki allisinin sıcaklık etkisiyle değişimi incelenmiş ve bu allisin oluşum potansiyeli olarak isimlendirilmiştir. Tünel kurutucuda sabit sıcaklıkta ve döngülü sıcaklıklarda kurutulan sarımsak dilimleri için 2 m/s sabit hava hızında 40-60 °C (artan döngü) ve 60-40 °C (azalan döngü) olmak üzere iki tür döngü üzerinde çalışıldığı belirtilen çalışmada allisin oluşturma potansiyelinin 40 ila 60 °C arasında sıcaklık döngüsü ile %91 oranında korunduğu rapor edilmiştir. Ayrıca sarımsakta bulunan şekerlerin ve enzimin yüksek moleküler kütlesinin yüksek kurutma sıcaklıklarında bozulmaya karşı korumadan sorumlu olduğu belirtilmiştir. Döngüsel koşullar altında allinaz enzim aktivitesinin korunması, sabit kurutma koşullarından ziyade daha uzun kurutma süreleri ve düşük sıcaklıklara maruz kalma ile gerçekleştiği belirtilmiştir.

Yüksek allisin içeriğine sahip sarımsak tozu üretimi amacıyla mikrodalga–vakum kurutma (MVD) ve vakum kurutma (VD) yöntemlerinin kullanıldığı ve bu yöntemlerin allisin tutma etkinliklerinin artırılması için mikroenkapsülasyon tekniklerinin de kullanıldığı bir araştırmada temel hedefin, sarımsaktaki allinaz enzim aktivitesini mide koşullarında koruyarak, alliin'den allisin oluşum oranını artırmak ve ürünün etkinliğini

geliştirmek olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada sarımsak dilimleri önce belirli aşamalarda farklı mikrodalga güçlerinde (376,1 W → 282,1 W → 188,0 W → 94,0 W) kurutulmuş, ardından vakum kurutma ile %5 nem içeriğine ulaşacak şekilde işlem görmüştür. En uygun kurutma koşullarında, kurutma sonrasında tiyosülfinatların %90,2 oranında korunabildiği bildirilmiştir. Kurutulan sarımsak tozu, modifiye edilmiş akışkan yatak tekniği kullanılarak mikroenkapsüle edilmiştir. Çalışmada, elde edilen mikroenkapsüle sarımsak tozunun yapısal bütünlüğü taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile doğrulanmış ve çekirdek materyallerin kapsül içerisinde etkili bir şekilde gömülü olduğu gözlemlenmiştir. İn vitro salım deneyleri sonucunda, mikroenkapsüle ürünün insan midesi koşullarına dayanıklı olduğu ve bağırsak ortamında kontrollü bir şekilde salım gerçekleştirdiği rapor edilmiştir. Sonuç olarak, MVD/VD kombinasyonunun, yüksek kalitede ve yüksek allicin içeriğine sahip sarımsak tozu üretiminde etkili bir yöntem olduğu; mikroenkapsülasyonun ise alliinaz aktivitesini koruyarak hedeflenen kontrollü salımı sağladığı ifade edilmiştir (Li vd. 2007).

2.2.7. Sarımsak biyoaktif bileşenleri enkapsülasyonu çalışmaları

Sarımsaktan elde edilen sarımsak esansiyel yağı (GEO) ve sarımsak ekstresinin (GE) biyoaktif bileşiklerinin korunmasına yönelik enkapsülasyon teknolojilerini incelendiği bir çalışmada moleküler inklüzyon, sprey kurutma, kompleks koaservasyon ve lipid bazlı nanoenkapsülasyon yöntemleri değerlendirilmiş; her yöntemin temel prensipleri, avantajları, sınırlamaları ve uygulama alanları tartışılmıştır. Ayrıca üretilen nano/mikro partiküllerin fizikokimyasal ve yapısal özellikleri çeşitli karakterizasyon teknikleriyle analiz edilmiştir. Sonuçta, sprey kurutmanın ısıya duyarlı bileşiklerde kayba yol açtığı, kompleks koaservasyon ve dondurarak kurutmanın ise biyoaktif bileşiklerin korunmasında daha etkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca γ-siklodekstrin ile moleküler inklüzyon tekniğinin en yüksek bileşik koruma kapasitesini sağladığı, nanolipozom ve nanoemülsiyon sistemlerinin de antimikrobiyal ve antioksidan özelliklerin sürdürülmesine katkı sağladığı belirtilmiştir. Genel olarak, GEO ve GE'den elde edilen enkapsüle ürünlerin fonksiyonel gıda uygulamaları için önemli bir potansiyel taşıdığı bildirilmiştir (Tavares vd. 2021).

İran sarımsak yağı (GO)'nın β-siklodekstrin (β-CD) ile kapsüllenme koşullarının optimize edilmesiyle oluşturulan kapsül kompleksinin karakterizasyonunu yapılması yoluyla; sarımsak yağının düşük suda çözünürlüğü, uçuculuğu ve keskin kokusunun gıdalarda kullanımını nispeten sınırlaması problemini ortadan kaldırarak gıda endsütrisinde kullanımının artırılmasının hedeflendiği bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, GO/β-CD kompleksinin hazırlanması için çöktürme yöntemi kullanıldığı ve deneysel tasarımda üç değişkenli, üç seviyeli Merkezî Bileşik Yüzeysel Tasarım (Central Composite Face-centered Design, CCF) uygulandığı belirtilmiştir. Kapsülleme sürecinde sıcaklık, çekirdek/duvar oranı (core/wall) ve duvar/çözücü oranı (wall/solvent) gibi faktörlerin etkilerinin değerlendirildiği, optimum koşullar olarak 35°C sıcaklık, 8/100 çekirdek/duvar oranı ve 5.5/100 duvar/çözücü oranı belirlendiği bildirilmiştir. Sonuçta, GO'nun β-CD içerisine başarıyla kapsüllendiğinin doğrulandığı belirtilmiştir. Ayrıca sabit sıcaklık (37°C) ve farklı pH değerlerinde sarımsak yağı kapsüllerine in vitro salınım testleri uygulanarak sarımsak yağı kapsüllerinin salınım profillerinin belirlendiği, iki gün sonunda en yüksek salınımın %36,59 ile pH 6,5'te, en düşük salınımın ise %1,12 ile pH 4'te gerçekleştiği belirtilmiştir. Sonuçların, GO/β-CD kompleksinin gıda sistemlerinde,

özellikle salata sosları ve sosis gibi ürünlerde fonksiyonel bileşen olarak kullanılabileceğini gösterdiği ileri sürülmüştür (Khoshtinat vd. 2017).

Düşük suda çözünürlüğü, yüksek uçuculuğu ve düşük fizikokimyasal stabilitesinin gıda endüstrisindeki kullanımını sınırlandırdığı belirtilen sarımsak yağı (SY) ile β-siklodekstrin (β-CD) arasında oluşturulan enkapsülasyon kompleksinin fizikokimyasal özelliklerinin ve salınım karakteristiklerinin araştırıldığı bir çalışmada; SY/β-CD enkapsülasyon kompleksi, çöktürme (co-precipitation) yöntemiyle hazırlanmıştır. Kompleksin oluşumu UV–görünür spektroskopisi, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve X-ışını difraktometrisi (XRD) ile doğrulandığı, faz çözünürlük çalışmaları ile kompleksin 1:1 stekiyometri oranına sahip olduğunun belirlendiği ve kompleksin görünür stabilite sabitinin 1141 M^{-1} olarak hesaplandığı bildirilmiştir. Ayrıca sarımsak yağının su çözünürlüğünün β-CD ile kapsüllendikten sonra önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir. Salınım çalışmaları kapsamında, farklı sıcaklıklarda (25–50 °C) ve asidik çözünme ortamında (pH 1.5) SY'nın salınım profilinin değerlendirildiği belirtilmiştir. Çalışma sonunda SY'nın β-CD ile etkin bir şekilde kapsüllenebildiğini, kompleksin SY'na kıyasla farklı fizikokimyasal özellikler sergilediği ve suda çözünürlüğü ile stabilitesinin önemli ölçüde arttığının ortaya konduğu belirtilmiştir. Ayrıca SY'nın enkapsülasyondan sonra kontrollü bir şekilde salınabildiğinin gözlemlendiği bildirilmiştir. Sonuçların, sarımsak yağı içeren fonksiyonel gıda ürünlerinin geliştirilmesinde β-CD kullanımının potansiyelini gösterdiği rapor edilmiştir (Wang vd. 2011).

Yapılan bir çalışmada, sarımsak yağının kompleks koaservasyon yöntemiyle mikroenkapsülasyonunun gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Duvar materyali olarak Tip A veya Tip B jelatin ile Arap zamkı kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, farklı pH değerlerinin sarımsak yağı enkapsülasyon verimi ve yükleme etkinliği üzerindeki etkilerini incelemek; ayrıca koaservatların kontrollü salım ve oksidatif stabilitelerini değerlendirmek olarak ifade edilmiştir. Çalışmada, 1:1 oranında hazırlanan jelatin ve Arap zamkı çözeltilerine sarımsak yağı eklenmiş ve pH değeri 3,0–5,0 arasında ayarlanarak kompleks koaservasyon sağlanmıştır. Ardından formaldehit ilavesiyle çapraz bağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikroenkapsülasyon verimi, yükleme etkinliği, partikül boyutu, kontrollü salım profili ve oksidatif stabilite analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, Tip A jelatin için en yüksek enkapsülasyon verimi ve yükleme etkinliğinin pH 4,5'te, Tip B jelatin için ise pH 3,5'te gerçekleştiği bildirilmiştir. Ayrıca, 1:1 jelatin:Arap zamkı oranı ve 6:1 çekirdek:duvar oranının en uygun koşullar olduğu vurgulanmıştır. SEM görüntülerinde koaservatların düzgün yüzeyli ve küresel yapıda oldukları gözlemlenmiştir. Çapraz bağlı koaservatların pepsin çözeltisinde kontrollü salım sağladığı ve serbest sarımsak yağına göre oksidasyona karşı daha yüksek koruma sunduğu belirtilmiştir (Siow ve Ong 2013).

Biyopolimer temelli mikrojel sistemlerinin, sarımsakta bulunan lipofilik bir bileşik olan allil metil disülfidin (AMDS) enkapsülasyonu ve kontrollü salımı amacıyla kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Bu araştırmada AMDS'nin yüksek uçuculuğu nedeniyle gıda işleme ve pişirme sırasında kayba uğradığı ve bu kaybın önlenmesinin hedeflendiği ifade edilmiştir. Bu amaçla, AMDS yüklü yağ damlacıkları öncelikle yağ-su emülsiyonu hâline getirildiği, ardından sodyum aljinat çözeltisine katılarak kalsiyum iyonları içeren bir ortama enjekte edilmek suretiyle mikrojel yapılar oluşturulduğu ve bu yapıların oda sıcaklığından kaynama sıcaklığına kadar ısıtılması

sırasında AMDS'nin tutulma miktarının değerlendirildiği belirtilmiştir. Araştırma bulgularında, mikrojel içine enkapsüle edilen AMDS'nin salımının yaklaşık üç kat daha yavaş gerçekleştiği ve mikrojel yapıların pişirme koşulları boyunca stabil kaldığı rapor edilmiştir. Ayrıca, mikrojel içinde yaklaşık %15 oranında yağ damlacığı bulunmasının aroma korunumu açısından en uygun seviye olduğu vurgulanmıştır. Bu durum, yağ fazının aromatik bileşiğin fazlar arası dağılımı ve mikrojel stabilitesi üzerindeki etkisine bağlanmıştır. Sonuçta, biyopolimer mikrojel sistemlerinin, pişirme işlemleri sırasında aroma kaybını azaltmak için potansiyel bir taşıyıcı sistem olabileceği ve gıda endüstrisinde aroma kontrolü amacıyla kullanılabileceği ifade edilmiştir (Wang vd. 2019).

Sarımsak ekstraktının peynir altı suyu protein izolatı (WPI), kitin türevi kitosan (CH) ve polidekstroz (POL) ile; ayrıca Arap zamkı (GA), CH ve POL içeren çok katmanlı duvar materyalleri kullanılarak enkapsüle edildiği bir çalışmada Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi (FTIR) analizleri ile sarımsak bileşiklerinin duvar materyali matrislerine fiziksel etkileşimlerle dahil edildiği doğrulanmıştır. Araştırmada, 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda su adsorpsiyon izotermleri belirlenmiş ve verilerin en iyi Guggenheim–Anderson–de Boer (GAB) modeli ile uyum sağladığı rapor edilmiştir. Termodinamik analiz sonuçlarına göre, su adsorpsiyonu entalpi kontrollü bir süreç olarak değerlendirilmiş ve WPI/CH/POL tozlarının yüzeyinde GA/CH/POL tozlarına kıyasla daha fazla polar bağlanma bölgesi bulunduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, su ve azot adsorpsiyon izotermlerinden yüzey alanı ve gözenek boyutları hesaplanmış, elde edilen sonuçların tozların işlenmesi, kullanımı ve depolanması için yol gösterici nitelikte olduğu vurgulanmıştır. WPI/CH/POL tozlarının daha yüksek higroskopisiteye ve daha büyük yüzey alanına sahip olduğu, buna karşın GA/CH/POL tozlarının daha düşük su aktivitesi ve nem içeriği sergileyerek daha iyi depolama stabilitesi sunduğu belirtilmiştir. Elde edilen sonuçların, bu çalışmada geliştirilen enkapsüle sarımsak ekstraktı sistemlerinin, biyoaktif bileşenlerin korunması ve gıda uygulamalarında kullanılabilirliğinin artırılmasını olumlu yönde etkileyebileceği rapor edilmiştir (Tavares ve Noreña 2021).

Sarımsak oleorezininin püskürtmeli kurutma yöntemiyle mikroenkapsülasyonunun gerçekleştirildiği bir çalışmada kurutma koşulları ve taşıyıcı materyal kompozisyonunun yanıt yüzey metodolojisi (RSM) kullanılarak optimize edildiği belirtilmiştir. Araştırmada, taşıyıcı materyal olarak maltodekstrin seçildiği, oleorezin konsantrasyonu (%10, %20, %30), taşıyıcı materyal konsantrasyonu (%40, %50, %60) ve giriş hava sıcaklığı (180 °C, 200 °C, 220 °C) bağımsız değişkenler olarak belirlendiği belirtilmiştir. Deneysel tasarım, Box-Behnken yaklaşımıyla oluşturulmuş ve allisin içeriği ile nem oranı yanıt değişkenleri olarak değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda, en yüksek allisin içeriği ve en düşük nem oranının; %60 maltodekstrin duvar materyali, %10 sarımsak oleorezin çekirdek materyali ve 202 °C giriş hava sıcaklığında elde edildiği bildirilmiştir. Elde edilen verilere göre, çekirdek materyal konsantrasyonunun artmasının allisin içeriğinde düşüşe neden olduğu; duvar materyali konsantrasyonundaki artışın da allisin korunumunu artırdığı belirtilmiştir. Ayrıca, kurutma sıcaklığının başlangıçta allisin stabilitesini desteklediği, ancak sıcaklığın çok yükselmesi durumunda allisin kayıplarının olduğu bildirilmiştir. Optimum koşullarda üretilen mikroenkapsüle sarımsak oleorezin tozunun hem yüksek allisin içeriği hem de düşük nem oranı ile başarılı bir şekilde üretildiği ve bu yöntemin endüstriyel ölçekte uygulanabilir olduğu belirtilmiştir (Balasubramani vd. 2013).

3. MATERYAL VE METOT

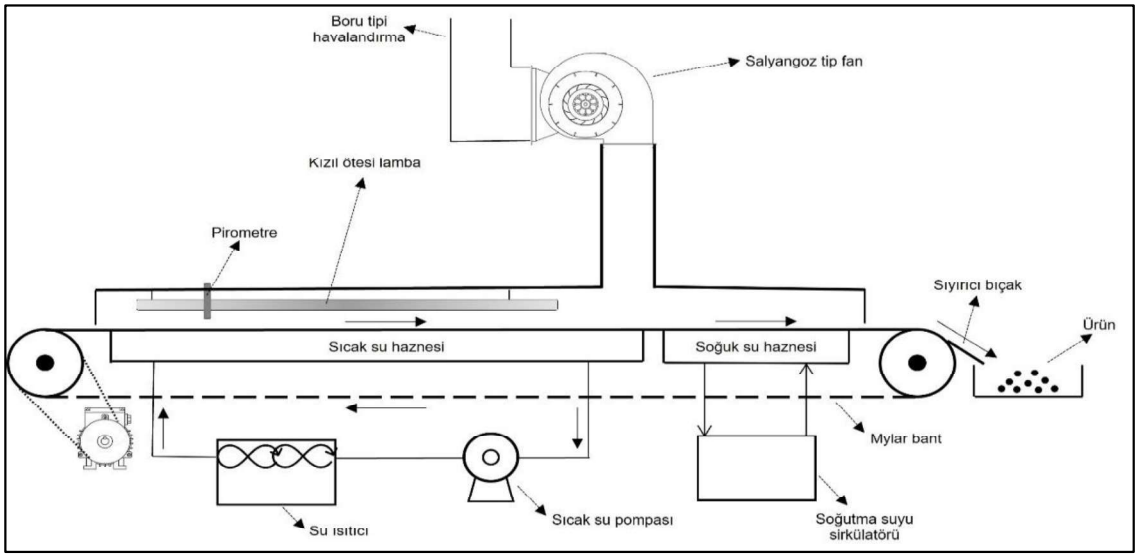
3.1. Materyal

Tez çalışmalarında kullanılmak üzere ülkemizde yaygın olarak yetiştirilen, biyoaktif bileşenler ile lezzet ve aroma bileşenleri bakımından zengin olan, coğrafi işaretli Taşköprü sarımsağı (*Allium sativum* L.) kullanılmıştır. Denemeler boyunca hasat sonrası işlemlerden geçirilmiş olan sarımsak taze satın alınmıştır. Satın alınan ürünlerin çimlenmemiş, pörsümemiş ve hasara uğramamış olmasına özen gösterilmiştir. PKD-KPK sisteminde sarımsak tozu üretiminde kullanılan diğer katkı/yardımcı maddeler Na-aljinat, beta-siklodekstrin, maltodekstrin, arap zamkı, sitrik asit ve askorbik asit "Roquette Frères" (Lestrem, Fransa) firmasından temin edilmiştir. Yapılan analizlerde kullanılan kimyasallar analitik/kromatografik saflıkta olup Sigma-Aldrich (Darmstadt, Almanya) veya Merck (Darmstadt, Almanya) firmalarından temin edilmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. PKD-KPK kurutma ünitesi

Sarımsak püreleri laboratuvarımızda mevcut olan ve sürekli rejimde kurutma yapabilen 0.75 m^2 kurutma alanına sahip, bant hızı ve sıcaklığı ayarlanabilen PKD-KPK kurutma ünitesi kullanılarak kurutulmuştur. Vural (2024) tarafından ilk kez modifiye edilerek kullanılan PKD-KPK kurutma ünitesi, kuruma hızının arttırılabilmesi ve kuruyan ürün yüzeyinde su buharını geçiren selektif film oluşumunun sağlanabilmesi amacıyla bant üzerine uygun konumda yerleştirilmiş bulunan ışın gücünü yüzey sıcaklığına göre ayarlayabilen (300-800 W) kızılötesi ışın kaynağı (tüp tipi) ile desteklenerek hibrit hale getirilmiş bir kurutma sistemidir. Kurutma sırasında oluşan su buharı ve koku sistemin üzerine monte edilmiş olan davlumbaza bağlı salyangoz fan vasıtasıyla 5m^3/dk. debi ile ortamda uzaklaştırılmıştır.

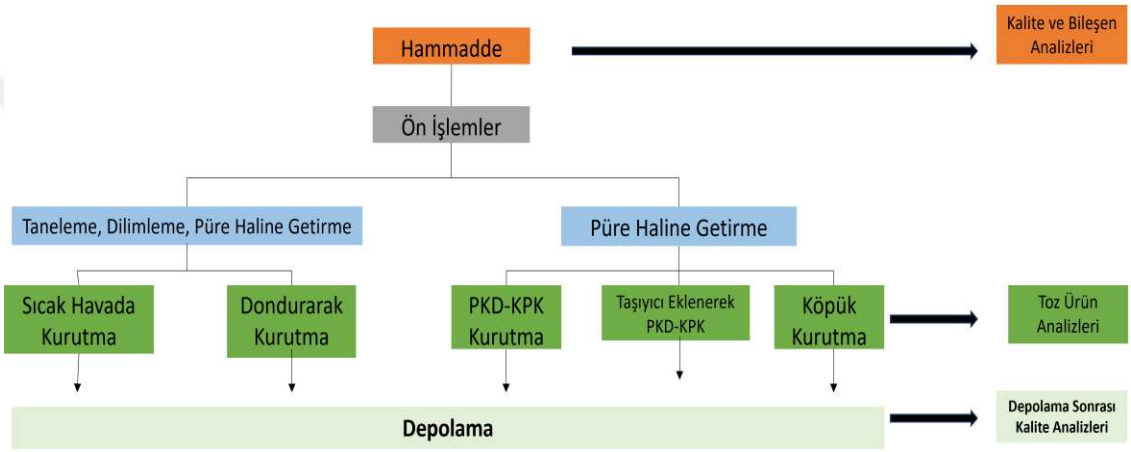


Şekil 3.1. Pirometre kontrollü kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutucu (PKD-KPK) sistemi (Vural 2024)

3.2.2. Kurutma işlemlerinin deneysel tasarımı

PKD-KPK sisteminde sarımsak tozu üretimin farklı yaklaşımlarla kurutma optimizasyonları yapılmıştır. Bunlar sırasıyla sarımsak püresi kurutma koşulları optimizasyonu, en uygun taşıyıcı kompozisyonu belirlenmesine yönelik optimizasyon ve köpük kurutma işlemine yönelik köpük oluşturma koşullarının optimizasyonudur.

Çalışmada kapsamında PKD-KPK yanında endüstride uygulanmakta olan sıcak hava kurutma ve aroma ile biyoaktif bileşen kayıplarının minimum seyiyede olduğu ürünlerin elde edilebileceği düşünülen dondurarak kurutma yöntemleri de son ürünlerin karşılaştırılması amacıyla hem diş, hem püre haline getirilmiş, hem dilimlenmiş sarımsakta denenmiştir. Bu uygulamaların tamamını içeren iş akış şeması şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Sarımsak tozları üretilirken kullanılan kurutma yaklaşımları

3.2.3. Sarımsak püresi hazırlanması

Kurumanın gerçekleşeceği film yüzeyine pürenin pürüzsüz formda serilebilmesi amacıyla ön denemeler yapılmış ve püre hazırlığı süreci standardize edilmiştir. Sarımsak başlarının saplarından ayrılmasını takiben, başlar tanelerine ayrılmış ve taneler soyulduktan sonra (Şekil 3.3) elde edilen bu sarımsak dişleri ev tipi bir parçalayıcıda sarımsak miktarının % 25'i kadar su eklenerek (DS Produkte 3186-1 blender) püre haline getirilmiştir. Püre haline dönüştürme işlemi için gerekli su miktarı, yapılan ön denemelerle belirlenmiştir. Ev tipi parçalayıcı cihazın tüm sarımsak içeriğini homojen bir püre haline getirebilmesi için gerekli olan minimum su oranı, sarımsak miktarının %25'i olarak tespit edilmiştir. Yine ön denemelerle homojen ve pürüzsüz püre eldesi için gerekli parçalanma süresi 1 dk. olarak belirlenmiştir. Elde edilen püre, mümkün olan en hızlı sürede mikrometre ayarlı bir serme aparatı (BEVS 1806, BEVS Industrial Co., Guangzhou, Çin) kullanılarak önceden kurutma şartlarına getirilen film (Mylar, D tipi şeffaf, 0.25 mm kalınlık) üzerine 2 mm homojen kalınlıkta serilerek kurutma yapılmıştır.

Şekil 3.3. Sarımsak püresinin hazırlanması ve film üzerine serilmesi

3.2.4. PKD-KPK sisteminde kurutma koşulları optimizasyonu

Çizelge 3.1. Kurutma koşulları optimizasyonu için Box Benkhen deneme deseni

Örnek	HAH (m/s)	PYS (°C)	KSS (°C)	A (alan)	Eİ	TA (alan)	t (dk)
1	0	35	60				
2	0	35	90				
3	0,6	30	90				
4	0,6	35	75				
5	1,2	35	60				
6	0	40	75				
7	0,6	35	75				
8	0	30	75				
9	0,6	30	60				
10	0,6	40	60				
11	0,6	35	75				
12	1,2	35	90				
13	1,2	30	75				
14	0,6	35	75				
15	0,6	35	75				
16	1,2	40	75				
17	0,6	40	90				

HAH :Hava Akış hızı
PYS :Püre Yüzey Sıcaklığı
KSS :Kurutma Suyu Sıcaklığı
A :Allisin İçeriği
Eİ :Esmerleşme İndeksi
TA :İstenilen Alan
t :Kuruma Süresi

PKD-KPK kurutma ünitesinde optimum kurutma koşullarının belirlenmesi amacıyla yanıt-yüzey metodu kullanılmış olup sistemin bağımsız değişkenleri olan kurutma suyu

sıcaklığı (60 – 90 °C), hava akış hızı (0 – 1.2 m/s) ve püre yüzey sıcaklığı (30 – 40 °C) Design Expert (Design-Expert 13.0 for Windows, Stat-Ease Inc., ABD) paket programı yardımıyla oluşturulan Box Benkhen Deneme Deseni kullanılarak optimize edilmiştir (Çizelge 3.1). Bu bağımsız değişkenlerin alt ve üst sınırları ön denemeler ve literatür verileri dikkate alınarak belirlenmiştir (Raghavi vd. 2018, Baeghbali vd. 2019, Shende ve Datta 2019, Puente-Díaz vd. 2020). Deneme deseninin yanıtları olan bağımlı değişkenler ise sarımsağa özgü kalite parametreleri dikkate alınarak allisin içeriği (A) (maksimum), toplam aroma (TA) (maksimum), kuruma süresi (t) (minimum) ve esmerleşme indeksi (Eİ) (minimum) olarak belirlenmiştir. Bağımsız değişkenlerin yanıtlar üzerindeki etkisi, programın önerdiği modele ait eşitlikler ve 3 boyutlu yüzey grafikleri ile ifade edilmiştir. İstenebilirliği en yüksek olan üç optimum koşul ise deneysel olarak da doğrulanmıştır

3.2.5. PKD-KPK sisteminde taşıyıcı eklenerek kurutma

Taşıyıcı eşiliğinde sarımsak püresinin kurutulmasında kullanılan taşıyıcı oranları optimze edilmiştir. Bu deneme I-Optimal deneysel tasarımı kullanılarak (Design-Expert 13.0 for Windows, Stat-Ease Inc., ABD) yapılmıştır (Çizelge3.2). Her deneme için 100 g soyulmuş sarımsak tartılmış, püreye eklenecek toplam taşıyıcı miktarı püre ağırlığının %6'sı olacak şekilde (6 g) belirlenmiştir (Jakubczyk vd. 2010). Bu amaçla karışımda bulunması istenen Arap zamkı (AG), Sodyum Aljinat (NaA) ve Maltodekstrin (MD) miktarları 0-5 g aralığında değişecek şekilde, β-Siklodekstrin (β-CD) miktarı ise tüm denemelerde 1 g olacak şekilde programa girilmiştir.

Çizelge 3.2. Taşıyıcı karışımı optimizasyonu için oluşturulan I-Optimal deneme deseni

Karışım	NaA (g)	AG (g)	MD (g)	A (alan)	AK (alan)	AS (alan)	Eİ	t
1	0.52	2.63	1.86					
2	1.00	4.00	0.00					
3	1.00	3.14	0.86					
4	0.52	2.63	1.86					
5	0.10	4.90	0.00					
6	0.00	3.52	1.48					
7	0.38	0.00	4.63					
8	1.00	1.60	2.40					
9	0.00	4.24	0.76					
10	0.00	1.69	3.31					
11	0.52	2.63	1.86					
12	1.00	0.63	3.37					
13	0.52	2.63	1.86					
14	0.38	0.00	4.63					
15	1.00	0.63	3.37					
16	0.00	0.90	4.10					

β-sikoldekstrin tüm denemelere 1g olarak eklendiğinden deneme desenine yazılmamıştır.
NaA :Sodyum Aljinat
AG :Arap zamkı
MD :Maltodekstrin
A :Allisin
AK :Aroma Kazanım
AS :Aroma Salınım
Eİ :Esmerleşme İndeksi

Yapılan ön demelerde NaA miktarı 1 g'ı geçtiğinde yapışkanlık çok artmış ve muhtemelen NaA kuruma esnasında kabuk oluşumuna neden olduğundan kuruma süresi 120 dk'yı geçmiştir. Bu sebeple NaA'ın karışımdaki miktarı 1 – 0 olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Bağımsız değişkenler olarak A (alan olarak, maksimum), aroma kazanımı (AK) (alan olarak, maksimum), aroma salınımı (AS) (alan olarak, minimum), Eİ (minimum) ve (t) (minimum) seçilmiştir. İstenebilirliği en yüksek olan üç optimum koşul ise deneysel olarak da doğrulanmıştır.

3.2.6. Köpük kurutma

Sarımsak püresinin köpük kurutulmasında köpük oluşumunun optimizasyon işlemi Design Expert 13.0 (Stat-Ease Co., Mineapolis, ABD) paket programı ile yanıt yüzey metodu kullanılarak Centrel Composite deneme desenine göre gerçekleştirilmiştir. Köpük yapıcı ajanların olarak literatürde köpük kurutma yöntemi için sıklıkla kullanılan çöven ekstraktı kullanılmıştır. Optimizasyonun bağımlı değişkenleri olarak püreye katılacak çöven oranı ve köpürtme süresi seçilmiştir. yanıtlarolarak da köpük kapasitesi (KK) ve köpük stabilitesi (KS) belirlenmiştir. Optimizasyon işleminin sınır değerleri literatür verileri deikkate alınarak belirlenmiş olup, çöven ekstraktı için %0-5, köpürtme süresi için ise 1-5 dk. seçilmiştir.

3.2.7. Sıcak hava akımında kurutma

PKD-KPK sisteminde gerçekleştirilen kurutma uygulamalarının pratikte yaygın uygulanan sıcak hava kurutma ve nitelikli ürün eldesinde başarılı olduğu bilinen dondurarak kurutma yöntemleriyle karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla; sarımsak örnekleri diş halinde, dilimlenerek ve püre halinde önce sıcak hava akımında kurutulmuştur.

Sıcak havada kurutma işleminde daha önce sarımsak kurutmayı konu alan çlaışmalarda uygulanan koşullar esas alınmıştır (Thuwapanichayanan vd. 2014, İlter vd. 2018). Bu çalışmalarda en iyi ürün sıcak hava kurutma şartlarının 70 °C sıcaklık ve 1m/sn hava akış hızı olduğunu belirtmektedir. Hazırlanan sarımsak örnekleri (diş/dilim/püre) tepsilere serilerek bölümümüzde mevcut olan tepsili kurutma cihazında son ürünün nem düzeyi %6 ± 0.5 altına düşene kadar kurutulmuştur.

3.2.8. Dondurarak kurutma

Dilimlenmiş, püre haline getirilmiş ve diş halindeki örnekler ayrı ayrı -80°C'de dondurulduktan sonra, laboratuvar tipi dondurarak kurutucuda (Operon FDU-7003, Güney Kore) 0,08-0,20 mmHg vakum altında hedeflenen son nem düzeyine (%6 ± 0.5) kadar kurutulmuştur. Hedef nem düzeyine ulaşılan kurutma süresi ön denemeler ile belirlenmiştir.

Farklı yöntemlerle kurutulan sarımsak taneleri/dilimleri/püreleri bir öğütücü (Kiwi KSPG-4811, BMVA Elektronik Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye) kullanılarak gözenek çapı 250 µm olan elekten (Retsch 60 mesh) geçecek şekilde öğütülmüş/inceltilmiş ve homojen parçacık iriliğine (<250 µm) getirilerek Doypack® kilitli ambalajlar içerisinde +4°C'de muhafaza edilmiştir.

3.2.9. Sarımsak tozlarının depolanması

Denemelerde üretilen 9 farklı sarımsak tozu Doypack® (üç katmanlı; kraft kağıt – alüminyum – PE. Alüminyum katman sebebiyle O_2 geçirmez, nem geçirgenliği: 0.004–0.05 g H_2O /gün.m².mmHg) kilitli ambalajlarda oda sıcaklığında (25±3 °C) depolanmıştır (Anonymous 2025). Depolamanın, 0., 15., 30., 60., ve 90. günlerinde her tekerrürden 1'er örnek alınmış ve bu örnekler allisin, toplam aroma, TFİ ve HMF miktarı ile Eİ açısından analiz edilerek depolama zamanına bağlı olarak karşılaştırılmıştır.

3.3. Analizler

3.3.1. Nem ve su aktivitesi

Sarımsak tozlarının nem miktarı 70±1°C sıcaklıkta gravimetrik olarak (Aoac 1990), su aktivitesi değerleri ise 25 °C sıcaklıkta su aktivitesi ölçüm cihazında (AquaLab 4TE) depolama süresi boyunca belirlenmiştir. Bu analizler hem püre hem de toz ürünlerde yapılmıştır.

3.3.2. Esmerleşme indeksi

Toz örneklerin esmerleşme indeksi (Eİ) Hunter skala parametreleri olan L* (aydınlık-karanlık), a* (yeşillik-kırmızılık) ve b* (mavilik-sarılık) kullanılarak, Eşitlik 1 ve 2 ile hesaplanmıştır. Bu maksatla aydınlatıcı D65 ile donatılmış bir tristimülüs kolorimetresi (CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Japonya) kullanılarak toz örnekler, cihazın haznesine doldurulmuş ve ölçüm üç farklı noktada gerçekleştirilmiştir (Choi vd. 2017, Wrolstad ve Smith 2017). Kolorimetre, siyah ve beyaz kalibrasyon plakaları kullanılarak kalibre edildikten sonra kullanılmıştır.

$$E\dot{I} = \frac{100(x-0.31)}{0.17} \quad (1)$$

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

3.3.3. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akış indikatörleri

Toz örneklerin yığın yoğunluğu ($\rho_{yığın}$) ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ($\rho_{sıkıştırılmış}$) değerleri Koç (2015) tarafından bildirilen metoda göre depolama süresi boyunca belirlenmiştir. Ayrıca belirlenen bu yoğunluk değerleri kullanılarak literatürde akış indeksleri olarak bildirilen Carr Index değeri (CI) ve Hausner oranı (HR) aşağıda verilen formüllere göre hesaplanmıştır (Mitra vd. 2017).

$$CI\ (\%) = ((\rho_{\text{sıkıştırılmış}} - \rho_{\text{yığın}}) / \rho_{\text{sıkıştırılmış}}) \times 100 \quad (3)$$

$$HR = \rho_{\text{sıkıştırılmış}} / \rho_{\text{yığın}} \quad (4)$$

3.3.4. Higroskopisite

Toz örneklerin su çekme özelliği Koç (2015) tarafından uygulanan metoda göre belirlenmiştir. Bu amaçla 1 g toz örnek petri kabına yayılmış ve petriler 25°C' de %75.3 bağıl nem oluşturan doymuş NaCl çözeltisi içeren desikatöre yerleştirilmiştir. %75.3 bağıl nemdeki atmosfere 90 dk. boyunca maruz kalan tozların gram başına ağırlık artışı belirlenmiştir. Higroskopisite sonuçları kg nem/100 kg kuru madde olarak verilmiştir.

3.3.5. Parçacık boyutu

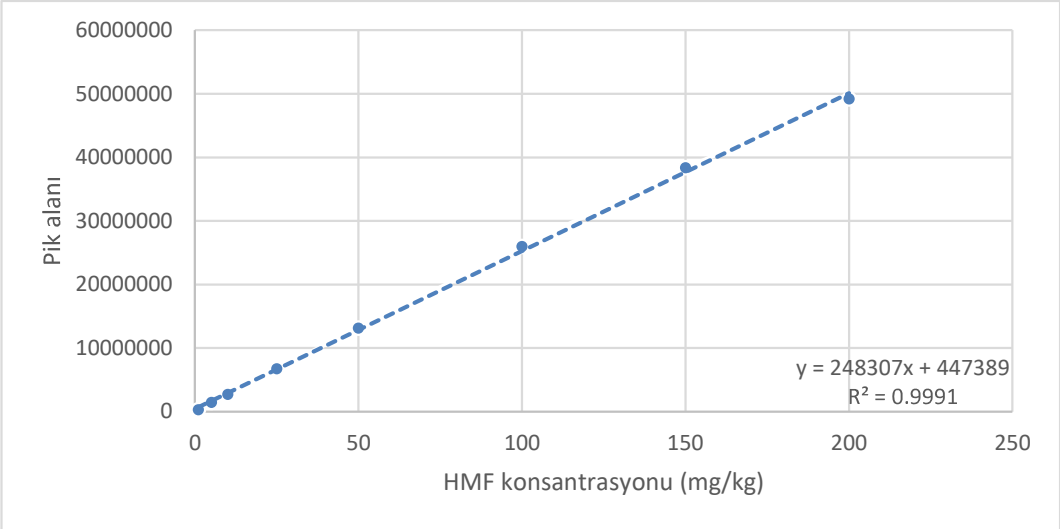
Toz örneklerin parçacık boyutu analizleri lazer difraksiyon prensibi ile çalışan parçacık boyutu analiz cihazı (Malvern, Mastersizer 2000SR, İngiltere) ve bu cihaza bağlanan toz modülü (Malvern Hydro 2000S, İngiltere) kullanılarak Fuchs ve Tiller (2006)'ya göre yapılmıştır. Sonuçlar cihazın yazılımı (Malvern Application Ver. 5.60) yardımıyla hacim ağırlıklı ortalama (D_{43}), yüzey ağırlıklı ortalama (D_{32}), span (açıklık/boyut homojenliği) değerleri (μm) olarak hesaplanmıştır.

3.3.6. HMF miktarı

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

Carrez I çözeltisi: Bir miktar saf suda çözdürülen potasyum hekzasiyanoferrat (150 g) 1000 mL'ye saf su ile tamamlanır.

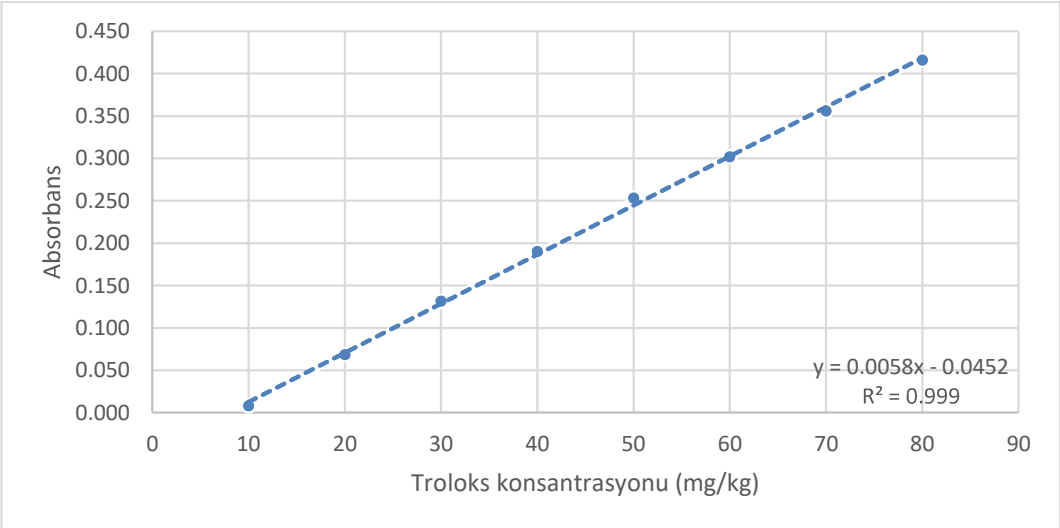
Carrez II çözeltisi: Bir miktar saf suda çözdürülen çinko sülfat heptahidrat (300 g) 1000 mL'ye saf su ile tamamlanır.



Şekil 3.4. Hidroksimetilfurfural standart eğrisi

3.3.7. Antioksidan aktivite

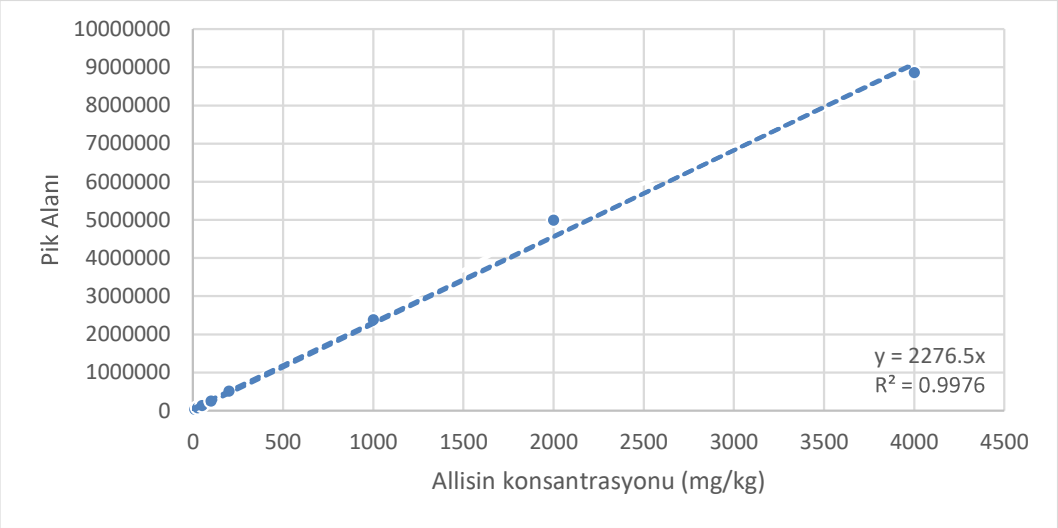
Örneklerin antioksidan aktivitesi DPPH radikalinin inhibisyonu yöntemi ile analiz edilmiştir (Fernández-León vd. 2013). Bu amaçla hazırlanan ekstraktlar belli oranda metanol ile seyreltildikten sonra 50 µL'lik kısmı 1.5 mL santrifüj tüplerine aktarılmış ve üzerlerine 950 µL taze hazırlanmış 60 µM DPPH çözeltisi ilave edilerek karanlıkta ve oda sıcaklığında 30 dk. bekletilmiştir. DPPH çözeltisinin absorbansı bekleme süresinin başında saf metanole karşı 517 nm dalga boyunda kaydedilmiştir. 30 dk. inkübasyon sonrası örneklerin absorbans ölçümü yapılmış ve DPPH çözeltisine göre absorbans farkları hesaplanmıştır. Örneklerin antioksidan aktivitesi farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış troloks çözeltisi ile elde edilen eğri (Şekil 3.5) yardımıyla g troloks eşdeğer aktivite/100g kuru örnek ağırlığı cinsinden hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. Troloks standart eğrisi

3.3.8. Allisin miktarı

Taze, püre halinde ve toz sarımsak örneklerinin allisin miktarının hesaplanması için örnekler Arzanlou ve Bohlooli (2010)'e göre ekstrakte edilecek daha sonra HPLC (Shimadzu, LC 20A Serisi) kullanılarak allisin miktarları belirlenmiştir (Shimadzu, LC 20A Serisi). Püre haline getirilen örneklerden 20 g alınmış, üzerine 60 mL su ilave edilerek 5 dk. buzlu ultrasonik banyoda ekstrakte edilmiştir. Elde edilen süspansiyon kaba filtre kağıdından süzülerek 50 mL'lik falkon tüplerine aktarılmış daha sonra da 4ºC ve 1260 g'de 20 dk. boyunca santrifüj edilmiştir. HPLC'de analiz edilecek örnekler uygun seyreltme işleminden sonra 0.45 µm'lik membran filtreden süzülerek, HPLC (Shimadzu-UV 160A)'ye enjekte edilmiştir. Örneklerin allisin miktarının belirlenebilmesi için Torun (2015)'in kullandığı izokratik elusyon şartları uygulanmıştır.



Şekil 3.6. Allisin standart eğrisi

3.3.9. Uçucu bileşenler

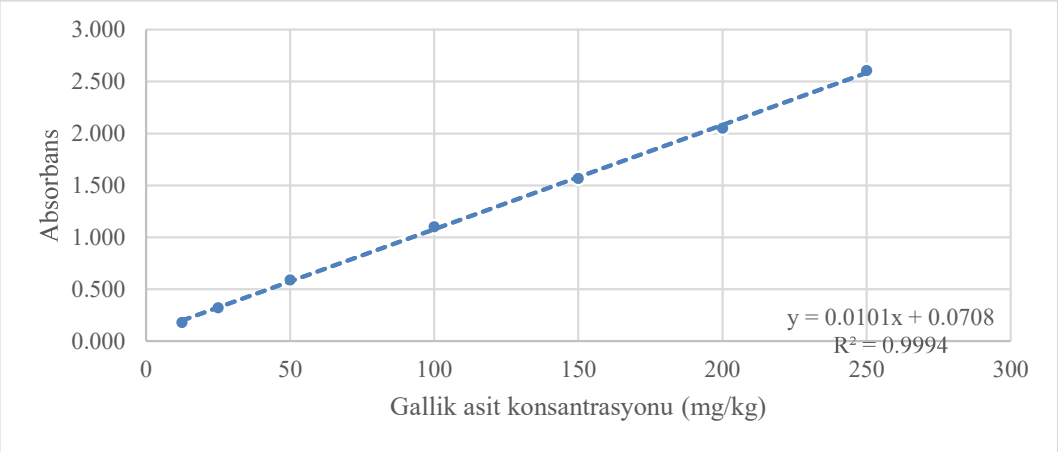
Püre ve toz örneklerin uçucu bileşenleri Torun (2015) tarafından kullanılan SPME metodu modifiye edilerek GC-MS (Shimadzu GCMS-QP2010 Plus, Tokyo, Japonya) ile belirlenmiştir. Bu amaçla 1 g toz örnek üzerine 10 mL saf su eklenerek Ultra-Turrax cihazı ile homojen hale getirilmiştir. Bu karışımdan 0.5 g alınarak 20 mL'lik viallere aktarılmıştır. Parçalanan örneklerden uçucu bileşenlerin ektraksiyonunda 50/30 µm DVB/CAR/PDMS fiber (Supelco 57348-U, Bellefonte, Pensilvanya, USA) kullanılmıştır. GC-MS ve SPME'de kullanılan analiz koşulları aşağıda verilmiştir.

GC-MS koşulları	
Kolon	TRB5-MS (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm)
Fırın sıcaklık programı	50ºC'de 3 dk. bekleme, 5ºC/d artışla 240ºC'ye yükselme ve bu sıcaklıkta 10 dk. bekleme
Dedektör sıcaklığı	275 ºC
Taşıyıcı gaz	He (1.53 mL/min)
Enjeksiyon sıcaklığı	240ºC
İyon kaynağı sıcaklığı	200ºC
Enjeksiyon modu	Split (50)
İyonlaştırıcı kaynak	EI, uyarılma (excitation) enerjisi 70 eV
Kütle aralığı	m/z= 50-500
Tarama hızı	1000 kütle/s

SPME koşulları	
İnkübasyon sıcaklığı	40 ºC
Ekstraksiyon süresi	30 dk.
Karıştırıcı hızı	250 rpm (5 s açık, 2 s kapalı)
Desorpsiyon süresi	5 dk.

3.3.10. Toplam fenolik içerik (TFİ)

Toplam fenolik içeriğin belirlenmesi amacıyla Dincer vd. (2012)'nin uyguladığı metoda göre örnekler uygun seyreltme faktörlerine göre seyreltildikten sonra bu seyreltikten 0.5 mL tüplere aktarılmış, üzerine sırasıyla 2.5 mL 0.2 N Folin Cioceltau çözeltisi ve 2 mL Na_2CO_3 (%7.5) çözeltisi ilave edildikten sonra girdap karıştırıcıda karıştırılmış ve 50 °C su banyosunda 5 dk. bekletilmiştir. Süre sonunda oda sıcaklığına soğutularak, absorbansı aynı şartlarda ekstrakt yerine ekstraksiyon çözeltisi ile hazırlanmış köre karşı 760 nm dalga boyunda belirlenmiştir. Sonuçlar, elde edilen absorbans değerleri kullanılarak gallik asit çözeltileri ile oluşturulan standart eğri yardımıyla mg gallik asit eşdeğeri (GAE) /100 g kuru örnek ağırlığı cinsinden ifade edilmiştir.



Şekil 3.7. Gallik asit standart eğrisi

3.3.11. Duyusal testler

Sarımsak tozu örneklerinin duyusal analizi, Akdeniz Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden 10 kişilik eğitimli panelistler (3 erkek – 7 kadın; yaşları 21-42 arasında) tarafından aroma profil testi uygulanarak yapılmıştır. Örnekler bir harf ve bir rakamdan oluşacak şekilde kodlanmış ve 20 mL'lik GC viallerine yerleştirilmiştir. Panelistler aroma profilini önceden belirlenen 6 farklı kritere göre (Taze sarımsak, keskin koku, otsu çiğ sarımsak, pişmiş sarımsak, istenmeyen koku, tatlımsı, karamelimsi koku), göre aromanın hissedilme şiddeti 1 en zayıf, 5 en güçlü olacak şekilde değerlendirmişlerdir (Wagner vd. 2016, Wagner vd. 2017). Sonuçlar, istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve örümcek ağı diyagramında gösterilmiştir.

Panelistlerin duyusal analizler yapılmadan önce sarımsağa ait olan ve panel formunda yer alan kokularla ilgili eğitilmeleri sağlanmıştır. Örneğin taze sarımsak kokusu için yeni ezilmiş sarımsak panelistlere koklatılmış, keskin koku için allisin satndardından hazırlanan allisin solüsyonu (allisinin sulu çözeltisinde allisinin parçalanma ürünleri olan diallilsülfit, diallildisülfit, dialliltrisülfit, allil metil sülfit gibi aroam bileşenleri de bulunmaktadır) (Ilić vd. 2011) koklatılmış, pişmiş sarımsak için hafifçe kavrulmuş sarımsak örneği koklatılmış, tatlımsı karamel koku için ise ticari karamel (Kent, Topping caramel souce) ile pişmiş sarımsak püresi karıştırılarak solüsyon hazırlanmış ve panelistlere koklatılmıştır. Böylece panelistlerin sarımsak tozlarının kokularını ayırt edebilmelerini sağlayacak koku hafızaları oluşturulmuştur.

3.3.12. İstatistiksel Analizler

Kurutma işleminin koşulları Box Benkhen Deneme Deseni göre yanıt yüzey metodu kullanılarak optimize edilmiş ve optimum noktalar istenebilirlik (desirability) fonksiyonu ile Design Expert 13.0 (Design-Expert for Windows, Stat-Ease Inc., ABD) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında toz formda ürün üretim çalışmaları tekerrürlü, ürün analizleri ise paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Depolama analizleri sonucunda elde edilen veriler varyans analizine tabi tutularak, ortalamalar arasında önemli bulunan farklılıklar ($p<0.05$) Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile ortaya konulmuştur. Hesaplamalar SAS paket programları ile gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma altı aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanı ilk aşamasında pirometre kontrollü kırınım pencereli kurutma sistemi (PKD-KPK) kullanılarak sarımsak kurutma koşullarının optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve bu optimum kurutma koşullarında sarımsak püresi kurutulmuştur (S1). İkinci aşamada elde edilen bu optimum kurutma koşullarında sarımsakta bulunan aroma ve biyoaktif bileşenlerin korunabilmesi için sarımsak tozuna püre aşamasında eklenecek olan taşıyıcı kompozisyonunun optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada optimum kurutma koşullarında ve optimum taşıyıcı kompozisyonu kullanılarak PKD-KPK sisteminde sarımsak tozu (S2) üretimi yapılmıştır. Dördüncü aşamada yine aynı sistemde köpük kurutma planlanmıştır. Bu amaçla köpük kapasitesi ve stabilitesi için optimizasyon gerçekleştirilmiş olup, optimum köpük oluşum şartları ve stabilitesini sağlayan koşullarda elde edilen köpük, optimum kurutma koşullarında kurutularak sarımsak tozu (S3) üretilmiştir. Beşinci aşamada ise endüstride sarımsak tozu üretiminde yaygın kullanılan konvektif kurutma yöntemiyle (sıcak hava kurutma) sarımsak diş halinde (S4), püre halinde (S5) ve dilimlenerek (S6) kurutulmuştur. Altıncı aşamada taze ürün özelliklerine en yakın kuru ürün eldesi sağlayabildiği düşünülen dondurarak kurutucuda sarımsak diş halinde (S7), püre halinde (S8) ve dilimlenerek (S9) kurutulmuştur. Elde edilen tüm örnekler kalite özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Örnekler Doypack kilitli ve pencereli ambalajlara alınarak 90 gün boyunca depolanmıtır. Depolanan örnekler ilk, 15,30, 60, 90. günlerde bazı kalite kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Aşağıda; yapılan optimizasyonlar ve bu optimizasyonların şartları, optimizasyon sonucu elde edilen örneklere uygulanan analizler ve bu analizlerden elde edilen bulgular, bu bulguların karşılaştırılması sonucu elde edilen sonuçlar, depolama sonrası yapılan analizler ve bu analizlere ait sonuçlarla bu sonuçların literatür verileriyle karşılaştırmalı olarak tartışılması sırayla anlatılmıştır.

4.1. PKD-KPK kurutma koşulları optimizasyonu

Bu optimizasyon Yanıt Yüzey Metodolojisi Box-Behnken deney tasarımı ile gerçekleştirilmiştir. Optimizasyonda PKD-KPK kurutma suyu sıcaklığı (KSS) (60-90°C), hava akış hızı (HAH) (0-1.2 m/s) ve püre yüzey sıcaklığı (PYS) (30-40°C) bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Yanıtlar olarak da esmerleşme indeksi (Eİ) (minimum), allisin içeriği (A) (maksimum), toplam aroma bileşen miktarı (TA)(maksimum toplam alan), ve kurutma süresi (t) (minimum) belirlenmiştir. Kurutma koşulları ölçülen bu değerler kullanılarak optimize edilmiştir (Çizelge 4.1). Toplam aroma bileşenleri seçilirken toz ve rehidre toz örneklerinden elde edilen kromatogramlarda belirlenen bileşenlerden taze sarımsak aromasında en yaygın bulunan ve sarımsağa karakteristik aromasını veren bileşikler literatür bilgileri dikkate alınarak seçilmiş ve bu bileşiklerin oluşturduğu toplam alan dikkate alınarak optimizasyon yapılmıştır (Çizelge 4.2) (Tamaki vd. 2008, Block 2010, Molina-Calle vd. 2016, Abe vd. 2020).

Çizelge 4.1. Kurutma koşulları optimizasyonu deney tasarımı ve yanıtlar

	Bağımsız Değişkenler			Yanıtlar			
Örnek	HAH (m/s)	PYS (°C)	KSS (°C)	A (Alan)	Eİ	TA (Alan)	t (dk)
1	0.00	35.00	60.00	1.03×10^6	15.42	2.71×10^8	55.00
2	0.00	35.00	90.00	2.63×10^5	23.67	1.93×10^8	20.00
3	0.60	30.00	90.00	3.31×10^5	22.81	1.33×10^8	18.00
4	0.60	35.00	75.00	7.52×10^5	20.69	1.93×10^8	28.00
5	1.20	35.00	60.00	1.08×10^6	17.83	3.21×10^8	48.00
6	0.00	40.00	75.00	3.36×10^5	21.04	2.05×10^8	27.00
7	0.60	35.00	75.00	3.35×10^5	20.87	2.36×10^8	32.00
8	0.00	30.00	75.00	5.51×10^5	20.09	1.84×10^8	29.00
9	0.60	30.00	60.00	1.79×10^5	17.96	2.92×10^8	50.00
10	0.60	40.00	60.00	6.90×10^5	17.66	2.85×10^8	48.00
11	0.60	35.00	75.00	5.38×10^5	20.56	2.30×10^8	26.00
12	1.20	35.00	90.00	1.89×10^5	22.10	1.39×10^8	17.00
13	1.20	30.00	75.00	6.08×10^5	19.03	1.89×10^8	32.00
14	0.60	35.00	75.00	3.99×10^5	19.74	2.35×10^8	26.00
15	0.60	35.00	75.00	5.31×10^5	20.62	2.50×10^8	28.00
16	1.20	40.00	75.00	2.84×10^5	20.48	1.72×10^8	25.00
17	0.60	40.00	90.00	4.19×10^5	23.46	1.75×10^8	14.00

HAH:Hava Akış hızı
PYS :Püre Yüzey Sıcaklığı
KSS :Kurutma Suyu Sıcaklığı
A :Allisin İçeriği
Eİ :Esmerleşme İndeksi
TA :İstenilen Alan
t :Kuruma Süresi

Kurutma koşulları optimizasyonu için seçilen bağımsız değişkenler için sınır değerler ön denemeler ve literatür göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. KSS için minimum değer allinaz enzim inaktivasyonu ve allisin parçalanmasını en az seviyede tutulacağı aynı zamanda sıcaklık etkisiyle oluşabilecek esmerleşmeyi en düşük seviyede tutarak kuruma süresini de çok fazla uzatmadan kurumanın sağlanabileceği en düşük sıcaklık olarak belirlenmiştir (Lagunas ve Castaigne 2008, Lilia vd. 2017). Cihazın ulaşabileceği maksimum değer de bu değişkenin maksimum sınır değeri olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Sarımsak aroma bileşenleri ve optimizasyonda kullanılanlar

RI TRB5-MS	Uçucu Bileşen	Kaynak
683	1-Propen	
689	2-Propen-1-ol	b,e
709	Allil metil sülfit	c,d,e,f
724	Dimetil disülfit	a,b,c,d,e,f
726	2,4-Dimetilfuran	
759	Hegzametilsiklotrisiloksan	
764	Trimetilen sülfoksit	
776-1069	1,2-Dithiolan	b,e
786	Diallil sülfit	a,b,c,d,e,f
831-1199	***Allil metil disülfit***	***a,b,c,e,d,f***
843-851	Trans profenil metil disülfit	
866	2-Oksazolidinetion	
878	***Dimetil trisülfit***	***c,e,f***
899	Oktametilsiklotetrasiloksan	
970-1173	***Diallil disülfit***	***a,b,c,d,e,f***
1010	Siklopentil metil sülfit	e
1017	***Allil metil trisülfit***	***c,e,f***
1023	Dekametilsiklopentasiloksan	
1033-1037	Cis-Metil propenil sülfit	
1056	***3-vinil-[4H]-1,2-dithiin***	***a,b,c,d,e,f***
1077	***3-Vinil-1,2-dithiasikloheks-5-en***	***b,f***
1143-1160	***Diallil trisülfit***	***a,b,c,d,e,f***
1316	Diallil tetrasülfit	a,b,c,d,e,f
1331	1,2-Benzendikarboksilik asit, dietil ester	

Toplam aroma olarak optimizasyonda değerlendirilmiş olan bileşikler kalın ve italik harflerle yazılmıştır.
Tanımlanan uçucu bileşiklerin tamamı tabloda gösterilmemiştir.
a: (Block 2010)
b:(Molina-Calle vd. 2016)
c:(Yu vd. 1989)
d:(Lee vd. 2003)
e:(Tamaki vd. 2008)
f:(Mochizuki vd. 1998)

Diğer bağımsız değişken olan PYS için sınır değerler, yapılan ön denemelerde kızılötesi lamba ve kurutma suyu sıcaklığı etkisiyle püre yüzeyinde pirometre yardımıyla ölçülen minimum ve maksimum sıcaklığa göre seçilmiştir. Minimum PYS değerinde yapılan kurutma denemelerinde püre yüzey sıcaklığı sınır değerinin altına neredeyse hiç düşmediğinden IR lamba kurutma esnasında hemen hemen hiç aktifleşmemiş, maksimum PYS değerinde yapılan denemelerde ise başlangıçta püre yüzeyi sıcak olduğundan IR lamba aktifleşmemiştir. Bununla birlikte kuruma ilerledikçe nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak konvektif ısı transferi yavaşlamış, PYS düşmüş ve sonuç olarak IR lambanın kademeli olarak devreye girdiği gözlemlenmiştir. Kurutmanın sonuna doğru, maksimum yüzey sıcaklığına yaklaşıldıkça, PID tarafından lamba gücü %8 seviyesinin altına düşürülmüş ancak kurutma süresince devre dışı bırakılmamıştır. Bu durum PYS'nın kurutmanın ilk birkaç dakikası hariç maksimum sınır değerinin üzerine hiç çıkmadığını

göstermiştir. Buradan hareketle, manuel kontrollü kızılötesi entegre edilmiş sistemlerden farklı olarak, IR gücü yüzey sıcaklığına bağlı olarak kontrol edilebilmiş, böylece nem difüzyonunu engelleyecek şekilde bir kabuk oluşması önlenmiştir. Ayrıca kurutma boyunca sabit ve yüksek güçte çalışan lambanın ani esmerleşmeye ve yanmış aroma oluşumuna neden olmasının önüne geçilmiştir.

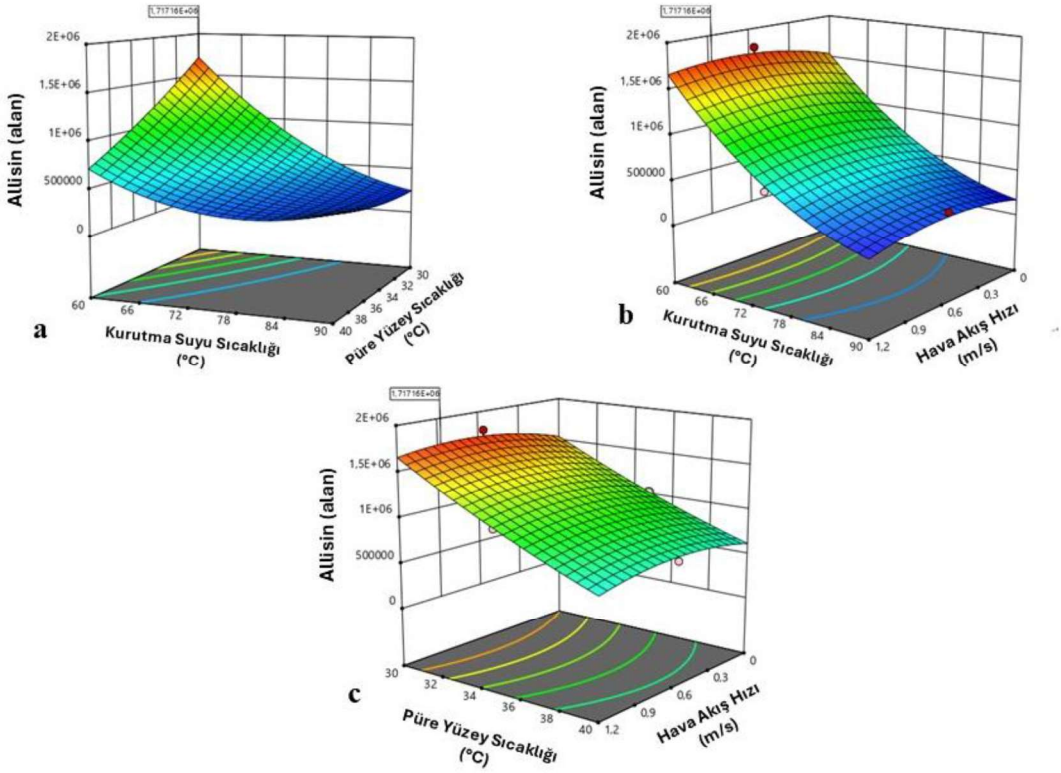
Son bağımsız değişken olan HAH sınırları PKD-KPK sisteminine entegre hava çekiş hızı manuel ayarlanabilen havalandırma sikolonu kapalıyken ve açık konumda, maksimum hava çekme hızında ölçülen hava akım hızları sırasıyla minimum ve maksimum değer olacak şekilde belirlenmiştir. Havalandırma sistemi kapalı konumdayken hava akış hızı, test ekipmanının en alt ölçüm sınırı dışına çıktığı için film yüzeyine paralel hava akış hızı minimum 0 m/s olarak kaydedilmiştir. Maksimum hava hızı ise fan maksimum güçte çalıştığında elde edilen değer olan 1.2 m/s olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.3. Kurutma koşulları optimizasyonunda kullanılan modelin denklem katsayıları

		A		Eİ		TA		t	
		Kuadratik		2FI		Kuadratik		Kuadratik	
		katsayı	p değeri	katsayı	p değeri	katsayı	p değeri	katsayı	p değeri
β_0	Sabit	5.11 x10^5	0.001*	20.24	<0.0001*	2.29 x10^8	0.0006*	28.00	<0.0001*
β_1	HAH	-1853,94	0.9705	-0,0974	0,6722	-4.23 x10^6	0,5077	-1.12	0,2262
β_2	PYS	-1,94 x10^5	0.0052*	0,3444	0,1543	4.81 x10^6	0,4528	-1.87	0,0626
β_3	KSS	-4,22 x10^5	<0.0001*	2,9	< 0.0001*	-6.60 x10^7	< 0.0001*	-16.50	< 0.0001*
β_{12}	HAHxPYS	-0.27 x10^5	0.7043	0,1237	0,7037	-9.77 x10^6	0,2913	-1.25	0,3318
β_{13}	HAHxKSS	-32073,25	0.6535	-0,9948	0,0104*	-2.60E x10^7	0,019*	1.00	0,4318
β_{23}	PYSxKSS	2,96 x10^5	0.0035*	0,2376	0,4696	1.25 x10^7	0,1865	-0.50	0,6891
β_{11}	HAHxHAH	-1,17 x10^5	0.1225			-1.58 x10^7	0,0998	1.37	0,2778
β_{22}	PYSxPYS	0.51 x10^5	0.4713			-2.55 x10^7	0,0183*	-1.13	0,3678
β_{33}	KSSxKSS	2,45 x10^5	0.0079*			1.81 x10^7	0,0664	5.63	0,0019*
		R^2	**D. R^2**	**R^2**	**D. R^2**	**R^2**	**D. R^2**	**R^2**	**D. R^2**
		0.9481	0.8814	0.9477	0.9163	0.9554	0.8981	0.9833	0.9619
		YH	**T. R^2**	**YH**	**T. R^2**	**YH**	**T. R^2**	**YH**	**T. R^2**
		14.6311	0.7572	19.1877	0.7893	14.0159	0.8702	21.7496	0.8768
Uyumsuzluk			0.7817		0.1702		0.9327		0.5140

**P<0.05* düzeyinde istatistiksel farklılığı belirtmektedir
D.R^2 : Düzenlenmiş R^2
T.R2 : Tahmini R^2
YH : Yeterli Hassasiyet (Modelin Tahmin Gücü)

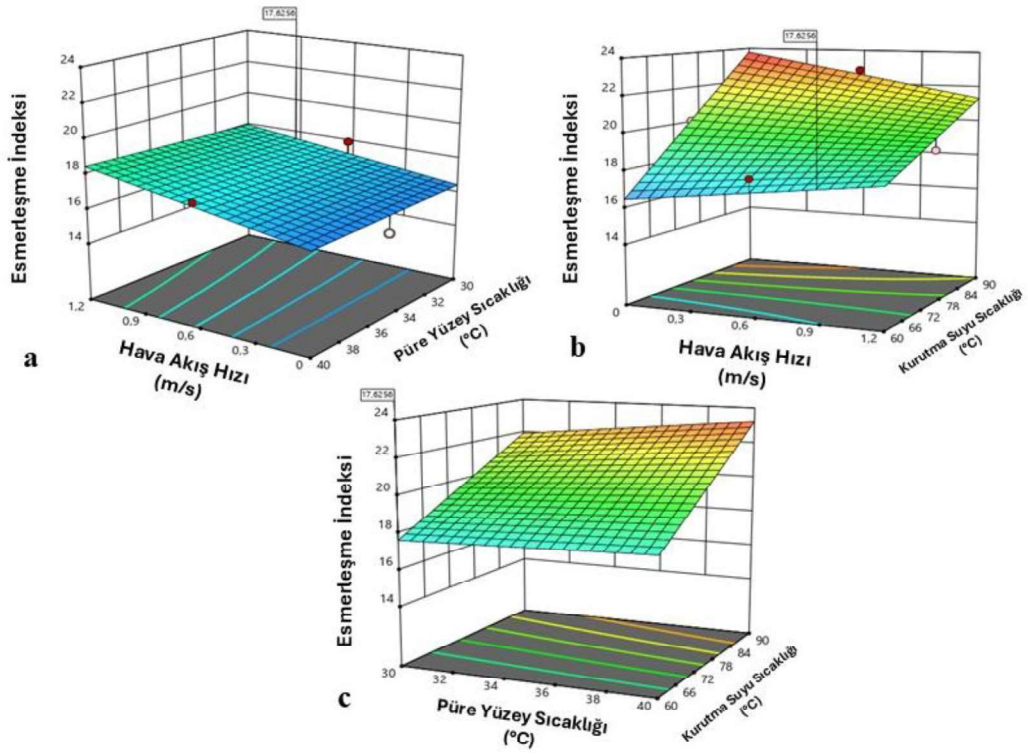
Çizelge 4.3'e göre genel olarak R^2 (0.9477 – 9833) ve düzeltilmiş R^2 (0.8814 – 0.9619) değerlerine bakıldığında kullanılan modellerin verilere uyum sağladığı anlaşılmaktadır. Kullanılan modeller (kuadratik, 2FI) en yüksek uyumsuzluk değerine göre belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Bağımsız değişkenlerin allisin içeriğine etkisi. **a.** Kurutma suyu sıcaklığı ile püre yüzey sıcaklığının allisin içeriğine etkisi. **b.** Hava akış hızının ve Kurutma suyu sıcaklığının allisin içeriğine etkisi. **c.** Püre yüzey sıcaklığı ile Hava akış hızının allisin içeriğine etkisi. (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri orta noktasında sabit tutulmuştur)

Design Expert programı kullanılarak oluşturulan üç boyutlu grafikler değişkenlerin ikili etkileşimlerini göstermektedir. Üç bağımsız değişkenin dört yanıt üzerine etikileri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri orta noktasında sabit tutulmuştur. Elde edilen yanıtlara göre püre yüzey sıcaklığı ve kurutma suyu sıcaklığının en düşük olduğu seviyelerde (sırasıyla 60 ve 30°C) allisin içeriği maksimum seviyede korunmuştur (Şekil 4.1.a). Daha yüksek kurutma suyu ve yüzey sıcaklıklarında ise allisin içeriğinde belirgin bir azalma gözlenmektedir. KSS artışı allisin kayıplarını önemli ölçüde ($p<0.05$) artırmıştır (Çizelge 4.3). Ayrıca PYS ve KSS yine allisin içeriğini önemli düzeyde ($p<0.05$) etkilemiştir. Bu durum, yüksek sıcaklıkların allisin degredasyonuna neden olduğunu düşündürmektedir. Nitekim sarımsak ekstraktlarında bulunan allisinin termal bozulmasını inceleyen bir çalışmada ekstraktlar 2, 10, 13, 16 ve 24 °C sıcaklıklarda 1 yıl boyunca depolanmış ve 24°C sıcaklıkta depolanan ekstraktlardaki allisinin çok daha çabuk degrede olduğu rapor edilmiştir (Cañizares vd. 2004). Ayrıca HAH düşük ve KSS yüksek olduğunda allisin kayıpları nispeten daha yüksek seviyelerde olmasına rağmen, HAH'nın artırılması (örneğin 0.9 m/s ve üzeri) ve KSS'nin azaltılmasıyla allisin kayıplarında belirgin bir azalış gözlemlenmiştir (Şekil 4.1.b). Nispeten yüksek HAH'nın homojen ve hızlı evoporasyon sağlayarak püre yüzeyindeki bölgesel ani ısınmaların önüne geçerek düşük KSS ile birlikte sıcaklığa karşı hassas bir bileşik olan allisin kayıplarını azalttığı söylenebilir. Sarımsak püresinde oluşan yeşillenmenin engellenmesi için 70, 80 ve

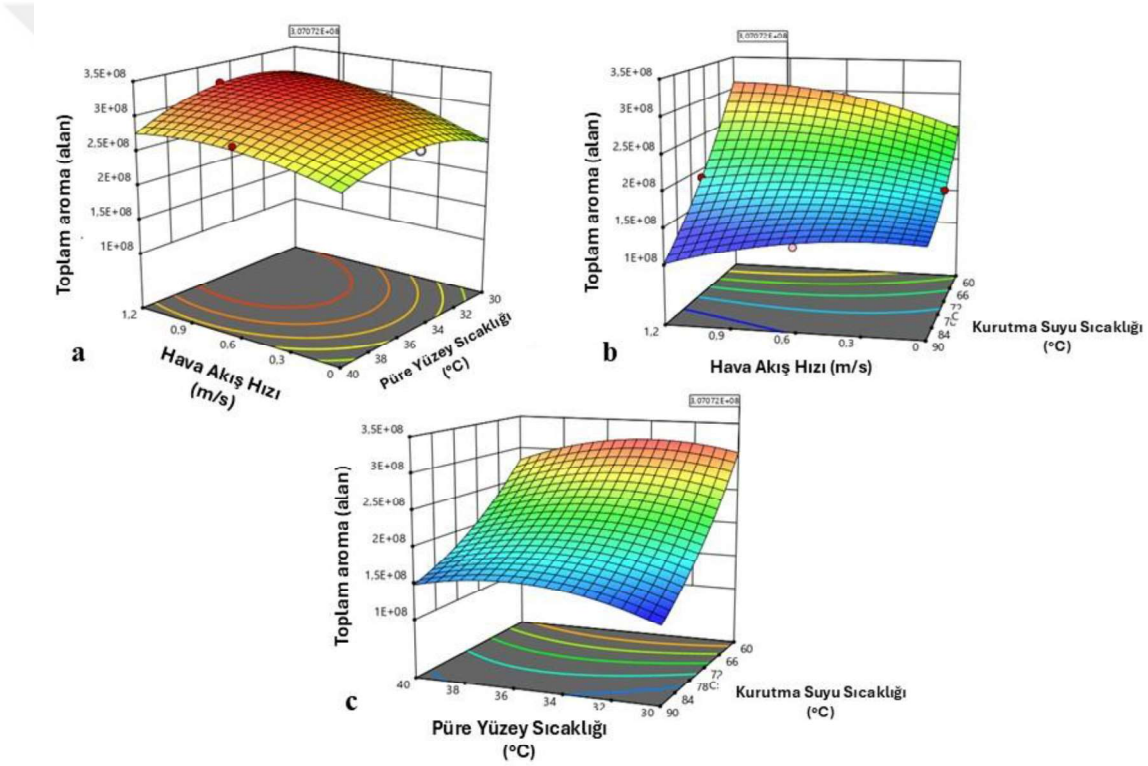
90°C'lik ısıl işlem uygulamasının denendiği bir çalışma sonucunda ısıl işlem uygulamalarının yeşillenmeyi engellediği ancak sıcaklıktaki artışın allisin içeriklerinde belirgin bir azalışa neden olduğu bildirilmiştir (Huang vd. 2019). Bunlara ilaveten PYS'nın 30-32 °C aralığında ve HAH'nın 0.9 m/s civarında olduğu durumda allisin kayıplarının en aza indirgendiği belirlenmiştir (Şekil 4.1.c). Genel olarak PYS 30 °C, KSS 60 °C ve HAH yaklaşık 0.9 civarında olduğunda allisin içeriklerinin maksimum seviyede korunabildiği söylenebilir. Özellikle yüksek sıcaklıkların (püre yüzey sıcaklığı >36 °C veya kurutma suyu sıcaklığı >65°C) allisin içeriğini düşürdüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2. Bağımsız değişkenlerin esmerleşme indeksine etkisi. **a.** Hava akış hızı ile Püre yüzey sıcaklığının ile esmerleşme indeksine etkisi **b.** Hava akış hızı ile Kurutma suyu sıcaklığının ile esmerleşme indeksine etkisi **c.** Püre yüzey sıcaklığı ile Kurutma suyu sıcaklığının ile esmerleşme indeksine etkisi. (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri orta noktasında sabit tutulmuştur)

Kurutma koşullarına bağlı olarak renk değişimleri meydana gelebileceği için Eİ, sarımsak kurutma işlemlerinde kaliteyi etkileyebilecek önemli bir kriterdir. Bu durum ürünün ticari değerini etkileyebilir. Bu sebeple bağımsız değişken olarak seçilen Eİ optimizasyon sonucunda elde edilene üç boyutlu yanıt yüzey grafiklerine göre PYS'da meydana gelen artışla birlikte düşük miktarlarda da olsa artmıştır (Şekil 4.2.a). Bu durum PYS değerinin yükselmesi için kızılötesi lambanın çalışmasına bağlı olarak püre yüzeyinde enzimatik olmayan esmerleşme neticesinde renk değişiklikleri meydana gelmiş olabileceğini düşündürmektedir. Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutucuda altın çilek meyve püresi kurutulan bir çalışmada kızılötesi lambanın son ürün renginde kararmalara neden olduğu bildirilmiştir (Puente-Díaz vd. 2020). HAH artışı da Eİ'yi nispeten düşük miktarda artırmıştır. Buradan hareketle Eİ'ni kontrol altında tutmak için,

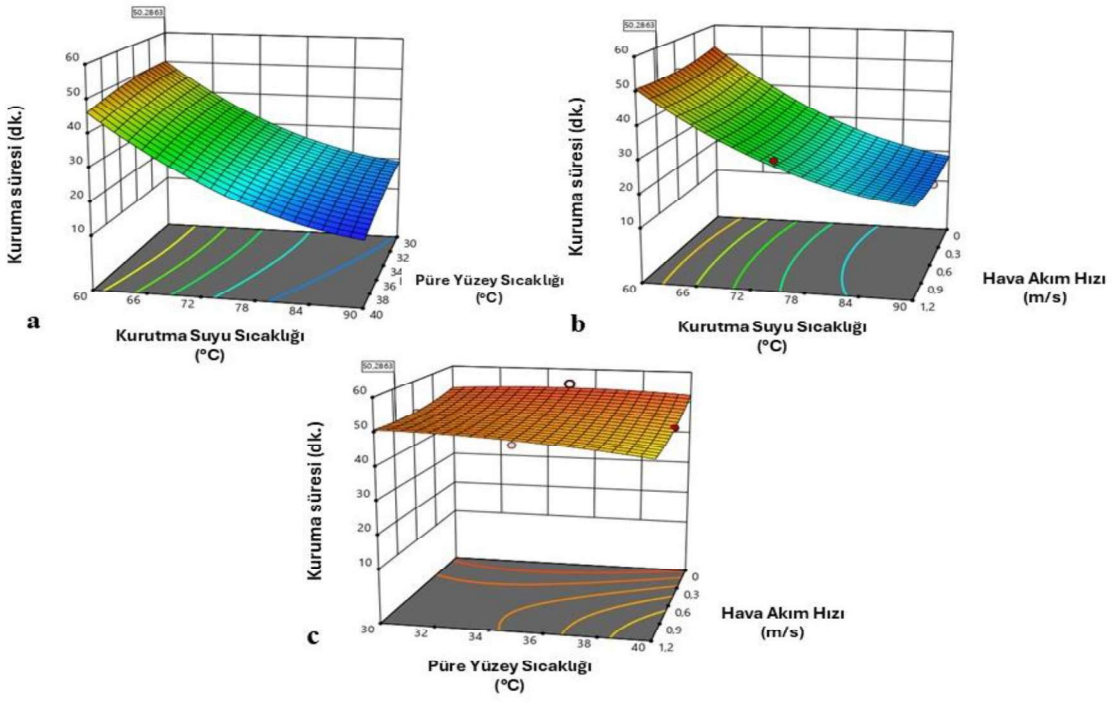
düşük HAH'nda (0.7 m/s veya daha düşük) ve düşük PYS'ında (<31 °C) kurutma işleminin gerçekleştirilmesinin gerektiği ileri sürülebilir. Ancak KSS'ında meydana gelen artış Eİ değerini önemli ölçüde ($p<0.05$) artırmıştır (Şekil 4.2.b) (Çizelge 4.3). Hava akış hızı tek başına Eİ değerinde önemli değişiklikler meydana getirmezken KSS artışıyla birlikte düşük HAH, Eİ değerini önemli miktarda ($p<0.05$) artırmıştır (Çizelge 4.3). Ayrıca PYS'ında meydana gelen artış, KSS de nispeten yüksekse (84 – 90 °C), Eİ değerini hızlı bir şekilde yükseltebilir (Şekil 4.2.c). Daha düşük KSS'ında (72-78 °C), PYS arttığında esmerleşme indeksi daha yavaş artış göstermektedir. Düşük sıcaklık kombinasyonlarında (PYS <35°C ve KSS <65°C), esmerleşme indeksi oldukça düşüktür. Esmerleşme indeksini en aza indirmek için püre yüzey sıcaklığının 30-32 °C ve kurutma suyu sıcaklığının 65-66 °C arasında tutulması ideal olabilir. Genel olarak Eİ üzerinde en etkili faktörlerin tek başına KSS ve KSSxHAH olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3, Şekil 4.2). Yüksek sıcaklıklar (>80 °C) ve düşük hava akım hızları, maillard reaksiyonları ve diğer termal etkiler nedeniyle esmerleşmeyi hızlandırabilir.



Şekil 4.3. Bağımsız değişkenlerin toplam aromaya etkisi. **a.** Hava akış hızı ile Püre yüzey sıcaklığının toplam aromaya etkisi **b.** Hava akış hızı ile Kurutma suyu sıcaklığının toplam aromaya etkisi **c.** Püre yüzey sıcaklığı ile Kurutma suyu sıcaklığının toplam aromaya etkisi. (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri orta noktasında sabit tutulmuştur)

Sarımsağın en karakteristik özelliklerinden biri olan TA, HAH arttıkça (0.9 m/s'den 1.2 m/s'ye), azalma eğilimi göstermektedir (Şekil 4.3). Bu durum, yüksek hava akımının aroma kaybını artırdığı hipotezini desteklemektedir (De Roos 2003, Reineccius 2004, Bisnoi vd. 2008, Mitra vd. 2012). Püre yüzey sıcaklığı arttıkça (30 °C'den 38 °C'ye), aroma miktarı belirgin bir artış göstermektedir. Bu, aroma bileşenlerinin korunması için uygun sıcaklık aralığının üst seviyelerine doğru çıkılması gerektiğini

göstermektedir. Hava akış hızının düşük seviyelerde tutulması (örneğin 0.9 m/s civarı) ve püre yüzey sıcaklığının 32-35 °C aralığında olması, toplam aromayı daha iyi korumuştur (Şekil 4.3.a). HAH artışının aroma miktarı azalttığından yukarıda bahsedilmişti, özellikle 1.2 m/s'de aroma kaybının daha belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 4.3.b). Bununla birlikte KSS azaldıkça (90 °C'den 60 °C'ye), TA'da belirgin bir artış gözlemlenmektedir. KSS TA üzerinde istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) düzeyde bir değişime neden olmuştur (Çizelge 4.3). Bu durumun düşük KSS'nda kurutmanın aroma bileşenlerine yüksek KKS'na kıyasla daha az zarar vermesi ve sarımsak aromasının daha iyi korunmasını sağlaması sebebiyle ortaya çıktığı söylenebilir (Dixon ve Hewett 2000, Qiu vd. 2022, Xie vd. 2024). HAH'nın düşük tutulması (0.9 m/s) ve KSS'nın 60-62 °C aralığında olması aroma kaybını azaltmak için faydalı olacağı açıktır. Ayrıca KSSxHAH etkileşimi TA'yı önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.05$). PYS arttıkça TA'da bir artış gözlemlenmektedir. Özellikle 36-38 °C arasında aroma miktarı maksimum seviyelere ulaşmaktadır. Ancak KSS artışı TA'yı genellikle azaltmıştır. 60-62°C aralığında aroma miktarı daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. KSS ve PYS birlikte değerlendirildiğinde ise düşük KKS ve PYS düzeylerinde kurutma işlemi gerçekleştirildiğinde TA maksimum değerini almaktadır. Bu kombinasyon, aroma miktarını koruyarak yüksek kaliteli bir ürün elde edilmesini sağlayabilir. Genel olarak orta seviyeli bir HAH (0.9 m/s), düşük KSS (60 °C) ve düşük PYS'nın (30 °C) aroma miktarını korumada etkili olabileceği ve süreci aroma açısından verimli kılabileceği söylenebilir.



Şekil 4.4. Bağımsız değişkenlerin kuruma süresine etkisi. **a.** Kurutma suyu sıcaklığı ile Püre yüzey sıcaklığının kuruma süresine etkisi **b.** Hava akış hızı ile Kurutma suyu sıcaklığının kuruma süresine etkisi **c.** Püre yüzey sıcaklığı ile Hava akış hızının kuruma süresine etkisi. (her grafikte gösterilmeyen değişkenin değeri orta noktasında sabit tutulmuştur)

Kuruma süresi sarımsakta bulunan aroma ve biyoaktif bileşenlerin korunmasında önemli faktörlerden biridir. Kısa kuruma süreleri sıcaklıktan kolayca etkilenebilen aroma bileşiklerinin ve allisinin sıcaklığa daha az maruz kalarak parçalanmalarının önlenmesinin yanı sıra yine uzun süre sıcaklığa maruz kalma sonucu oluşabilecek renk değişimlerinin de önüne geçmesi açsından önemlidir. Optimizasyon sonucu elde edilen grafiklere göre KSS artışları ve KSSxSS interaksiyonu kuruma sürelerini önemli düzeyde değiştirmiştir. KSS'de meydana gelen artış püre neminin hızla uzaklaşmasına ve kuruma süresinin kısalmasına neden olmuştur (Thuwapanichayanan vd. 2014, Zheng vd. 2023). Ancak HAH t üzerine belirgin bir etki göstermemiştir.

Optimizasyonda kullanılan 2FI ve quadratic modellerinin uyumsuzluk değerlerinin 0.05'ten büyük çıkması bu modellerin deneysel verilere uyum gösterdiği anlamına gelmektedir. Analizleri yapılan verilerden hareketle, istatistiki açıdan anlam ifade eden faktörler en yüksek istenebilirliğe sahip fonksiyonu (D) hesaplamak için eşitliğe dahil edilmiştir. Etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunduğu için, istenirlik fonksiyonu tüm yanıtlara uygulanmıştır. Bu teknikle, ilk olarak her yanıt için bireysel istenirlik fonksiyonları hesaplanmıştır. Daha sonra değişkenler, Eşitlik 6'da gösterildiği gibi genel tasarımın istenirliğini maksimuma çıkaracak şekilde seçilmiştir. m, yanıt sayısını göstermektedir.

$$D = (d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdot \ldots \cdot d_m)^{1/m} \quad (6)$$

PKD-KPK kurutma sisteminin optimum kurutma koşulları; 60 °C KSS, 30 °C PYS ve 0.9 m/s HAH olarak belirlenmiştir. Bu koşullar ve bu koşullara karşılık gelen istenebilirlik faktörü, Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Sarımsak püresinin PKD-KPK sisteminde optimum kurutma koşulları

	Minimum	**Optimum**	**Maksimum**
Kurutma suyu sıcaklığı (°C)	60.0	60.0	90.0
Püre yüzey sıcaklığı (°C)	30.0	30.0	40.0
Hava akış hızı (m/s)	0.0	0.9	1.2
Allisin içeriği (Alan)	1.89×10^5	1.72×10^6	1.79×10^6
Esmerleşme indeksi	15.4	17.6	23.7
Toplam aroma içeriği (Alan)	1.33×10^8	3.07×10^8	3.21×10^8
Kuruma süresi (dk.)	14.0	50.3	55.0
İstenebilirlik (%)	-	77.4	-

Sarımsak tozu üretimi için belirlenen optimum koşullarda üretim yapılmış ve değerler arasındaki fark incelenmiştir. Program verileri ve deneysel veriler arasında A, Eİ, TA ve KS değerleri açısından oldukça düşük oranda (<%10) fark bulunmuş ve böylece optimum koşullar doğrulanmıştır (Çizelge4.5).

Çizelge 4.5. PKD-KPK sisteminde kurutma için programdan elde edilen optimum değerler ile optimum şartlarda üretilmiş örnekte ölçülen değerlerin karşılaştırılması

	A (alan)	Eİ	TA (alan)	KS (dk.)
Programdan elde edilen veriler	1.72×10^6	17.60	3.07×10^8	50.30
Deneysel veriler	1.65×10^6	16.90	2.88×10^8	47.90
Fark (%)	4.07	3.98	6.19	4.77

A :Allisin İçeriği
Eİ :Esmerleşme İndeksi
TA :İstenilen Alan
t :Kuruma Süresi

4.2. Taşıyıcı kompozisyonu optimizasyonu

Sarımsakta bulunan aroma bileşikleri ve allisinin kurutma boyunca maksimum seviyede korunabilmesi amacıyla sarımsak pürelerinin taşıyıcı eşiliğinde kurutulması denenmiştir (Çizelge 4.6.).

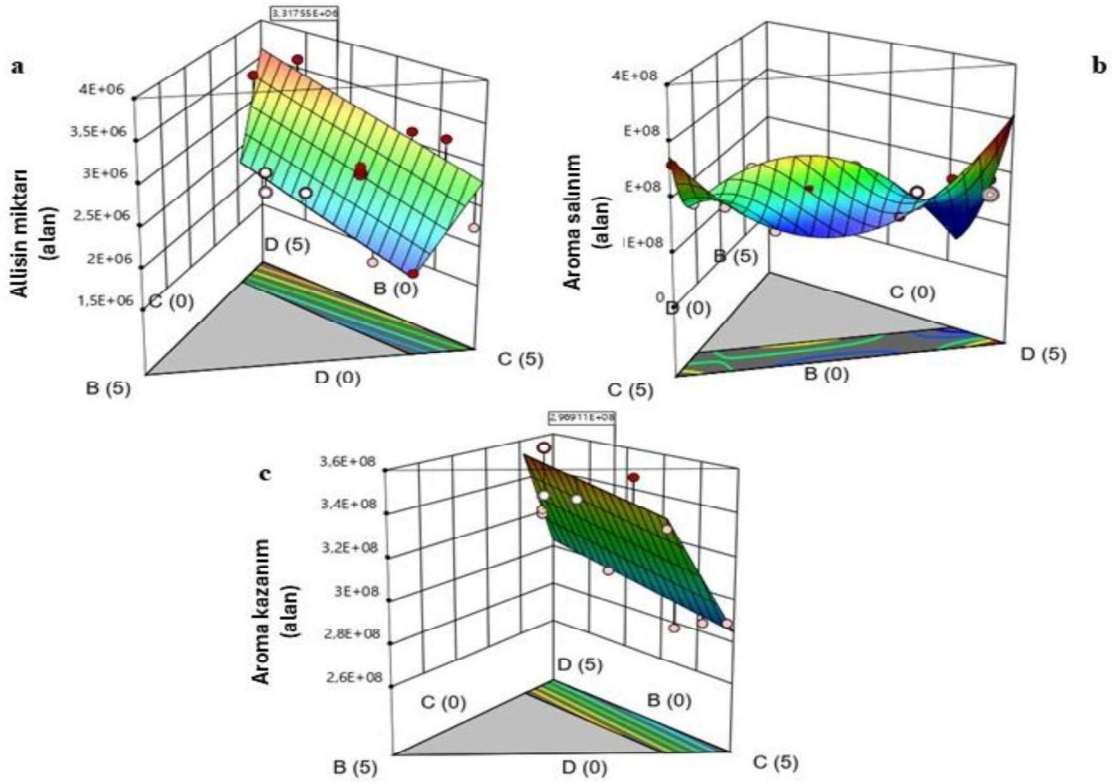
Çizelge 4.6. Optimum taşıyıcı kompozisyonunu belirlemek için oluşturulan I-Optimal deneme deseni ve yanıtlar

Bağımsız Değişkenler				**Yanıtlar**				
Karışım	**NaA (g)**	**AG (g)**	**MD (g)**	**A (alan)**	**AK (alan)**	**AS (alan)**	**Eİ**	**t**
1	0.52	2.63	1.86	2.56×10^6	3.24×10^8	1.45×10^8	15.27	45.00
2	1.00	4.00	0.00	1.71×10^6	3.33×10^8	1.54×10^8	17.33	38.00
3	1.00	3.14	0.86	1.65×10^6	3.53×10^8	2.16×10^8	17.80	40.00
4	0.52	2.63	1.86	2.66×10^6	3.33×10^8	1.75×10^8	15.07	41.00
5	0.10	4.90	0.00	2.24×10^6	2.89×10^8	2.56×10^8	16.10	34.00
6	0.00	3.52	1.48	3.14×10^6	2.77×10^8	1.24×10^8	13.78	33.00
7	0.38	0.00	4.63	2.69×10^6	3.19×10^8	1.78×10^8	13.36	35.00
8	1.00	1.60	2.40	2.23×10^6	3.36×10^8	2.02×10^8	15.89	46.00
9	0.00	4.24	0.76	3.18×10^6	2.84×10^8	1.76×10^8	15.48	34.00
10	0.00	1.69	3.31	3.24×10^6	2.96×10^8	1.33×10^8	13.20	35.00
11	0.52	2.63	1.86	2.61×10^6	3.23×10^8	1.71×10^8	14.69	43.00
12	1.00	0.63	3.37	2.05×10^6	3.58×10^8	1.46×10^8	13.94	45.00
13	0.52	2.63	1.86	2.54×10^6	3.19×10^8	1.8×10^8	15.86	46.00
14	0.38	0.00	4.63	3.35×10^6	3.22×10^8	1.5×10^8	12.58	38.00
15	1.00	0.63	3.37	2.30×10^6	3.34×10^8	1.22×10^8	14.62	45.00
16	0.00	0.90	4.10	3.62×10^6	3.11×10^8	1.96×10^8	13.78	30.00

NaA :Sodyum Aljinat
AG :Arap zamkı
MD :Maltodekstrin
A :Allisin
AK :Aroma Kazanım
AS :Aroma Salınım
Eİ :Esmerleşme İndeksi
t :Kurutma süresi

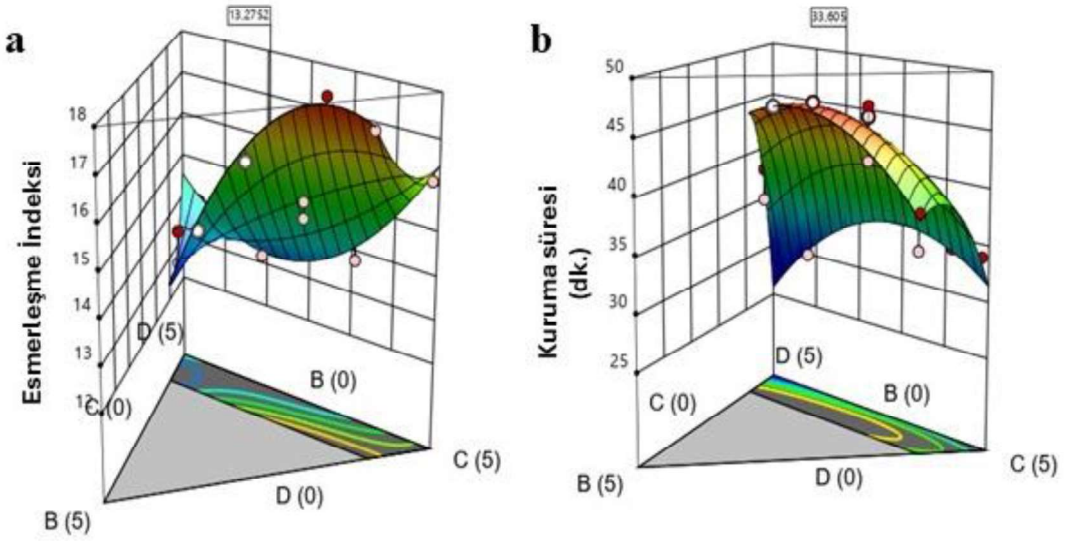
Katılacak taşıyıcı kompozisyonunun optimizasyonunda gıdalarda biyoaktif bileşenler ve aromanın enkapsülasyonunda yaygın kullanılan Na aljinat (B), Arap zamkı (C) ve maltodekstrin (D) kullanılmıştır (Zuidam ve Heinrich 2010, Perinelli vd. 2020, Tavares vd. 2021). Püre içindeki toplam taşıyıcı miktarı 6g olacak ve tüm karışımlarda sabit 1 g β-siklodekstrin olacak şekilde taşıyıcı oranları bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir (Jakubczyk vd. 2010). Yanıtlar olarak da A (alan olarak, maksimum), tozdan aroma salınımı (AS) (alan üzerinden, minimum), tozda aroma tutulumu/aroma kazanım (AK) (alan üzerinden, maksimum), Eİ ve t belirlenmiştir. Deneme deseni I-optimal design (Goos vd. 2016) kullanılarak oluşturulmuştur (Çizelge 4.6.).

Programdan elde edilen deneme desenine göre sarımsak tozları üretilmiş, yanıtlar için analizler yapılmış ve elde edlen sonuçlara (Çizelge 4.6) göre optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda elde edilen grafiklere bakıldığında, özellikle sodyum aljinat ve maltodekstrin seviyeleri yüksek olduğunda allisin içeriğinin daha yüksek oranda korunduğu gözlenmektedir (Şekil 4.5.a). Bu durum bu taşıyıcıların allisin stabilitesini koruyucu etkisi olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 4.5. Sodyum aljinat (B), Arap zamkı (C) ve Maltodekstrin miktarlarının allisin içeriği, aroma salınımı ve aroma kazanımı üzerine etkileri

Optimizasyonda hem toplam aroma miktarını korumak hem de aroma salınımını minimize etmek hedeflenmiştir. Aroma kazanımı ve aroma salınımı taşıyıcıların bileşimine bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte sodyum aljinat ve maltodekstrin oranlarının optimize edilmesiyle aroma kazanımı artırılmış dolayısıyla aroma salınımı da kısmen düşmüştür (Şekil 4.5 b,c). Bu da doğru taşıyıcı kombinasyonunun aroma kaybını minimize edebileceğini göstermektedir. Ayrıca Arap zamkı ve maltodekstrinin birlikte aroma kazanımına önemli seviyede ($p<0.05$) etkisi olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7). Sarımsak tozunda esmerleşmenin kontrol edilmesi önemli bir kalite parametresidir. Esmerleşme indeksi grafiğinden, belirli taşıyıcı kombinasyonlarının esmerleşmeyi azaltıcı etkisinin olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.6.a). Özellikle Arap zamkı ve sodyum aljinat oranlarının kontrol edilmesiyle esmerleşme daha düşük seviyelere çekilebilir. Üretim verimliliği açısından önemli bir parametre olan kuruma süresi üzerine taşıyıcı bileşiminde bulunan tüm komponentler önemli seviyede ($p<0.05$) etki göstermiştir (Çizelge 4.7). Özellikle maltodekstrin oranının arttığı durumlarda kuruma süresinin uzadığı görülmektedir (Şekil 4.6.b). Bu durum maltodekstrinin, özellikle yüksek oranlarda kullanıldığında, kuruyan ürünün camsı geçiş sıcaklığını artırması ve üründe film oluşturan bu camsı yapının kuruma esnasında nemin dışarı atılmasını zorlaştırmasıyla ilişkili olabilir (Nguyen vd. 2023). Buna ilaveten düşen kuruma hızını maltodekstrinin ürün viskozitesini artırması ve suyun difüzyonunu yavaşlatmasıyla da ilişkilendirilebilir(García-Coronado vd. 2020). Bu nedenle optimum kurutma süresini sağlamak için maltodekstrin miktarının belirli bir seviyede tutulması gerekir.



Şekil 4.6. Sodyum aljinat (B), Arap zamkı (C) ve Maltodekstrin miktarlarının esmerleşme indeksi ve kuruma süresi üzerine etkileri

Bu optimizasyon çalışması, sarımsak tozu üretiminde taşıyıcıların farklı kalite parametreleri üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. Programdan elde edilen verilere göre optimum taşıyıcı kombinasyonu 1.84 g Arap zamkı ve 3.16 g maltodekstrin olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.7. Taşıyıcı kompozisyonu optimizasyonunda kullanılan modelin denklem katsayıları

		A		AK		AS		Eİ		t	
		Lineer		Lineer		Özel Kübik		Özel Kübik		Quadratik	
		katsayı	p değeri	katsayı	p değeri	katsayı	p değeri	katsayı	p değeri	katsayı	p değeri
β_0	Sabit		<0.0001*		<0.0001*		<0.0001*		<0.0001*		<0.0001*
β_1	NaA	-2.86 x10^6		5.48 x10^8		2.49E+09		69.70		-240.54	
β_2	AG	2.79 x10^6		2.85 x10^8		2.73 x10^8		16.42		31.44	
β_3	MD	3.63 x10^6		3.04 x10^8		3.06 x10^8		14.59		25.79	
β_{12}	NaAxAG					-3.51 x10^8	0,0042*	-60.45	0.0741	377.07	0,0028*
β_{13}	NaAxMD					-4.35 x10^9	0,0017*	-82.45	0.0302*	446.55	0,001*
β_{23}	AGxMD					-7.38 x10^8	< 0.0001*	-8.54	0.0129*	24.67	0,0013*
β_{123}	NaAxAGxMD					7.60 x10^9	< 0.0001*	101.49	0.0083*		
		R^2	D.R^2	R^2	D.R^2	R^2	D.R^2	R2	D.R^2	R^2	D.R^2
		0.8651	0.8443	0.8623	0.8412	0.9109	0.8514	0.9449	0.9081	0.9292	0.8937
		YH	T.R^2	YH	T.R^2	YH	T.R^2	YH	T.R^2	YH	T.R^2
		18.4152	0.7651	15.6391	0.7912	13.1713	0.7449	15.6214	0.8369	13.7637	0.8373
Uyumsuzluk			0.5248		0.4498		0.8843		0.7176		0.7231

*$p<0.05$ düzeyinde istatistiksel farklılığı göstermektedir.
D.R^2 :Düzenlenmiş R^2
T.R^2 :Tahmini R^2
YH :Yeterli Hassasiyet (Modelin Tahmin Gücü)
A :Allisin
AK :Aroma kazanım
AS :Aroma Salınım
Eİ :Esmerleşme indeksi
t :Kuruma süresi
NaA :Sodyum aljinat
AG :Arap zamkı
MD :Maltodekstrin

Çizelge 4.8. Sarımsak püresine katılacak optimum taşıyıcı kompozisyonu

	Minimum	Optimum	Maksimum
Sodyum aljinat (g)	0.00	0.00	5.00
Arap zamkı (g)	0.00	1.84	5.00
Maltodekstrin (g)	0.00	3.16	5.00
β-Siklodekstrin (g)	1.00	1.00	1.00
Allisin içeriği (Alan)	1.66 x10^6	3.31 x10^6	3.62 x10^6
Aroma kazanım (Alan)	2.77 x10^8	2.97 x10^8	3.58 x10^8
Aroma salınım (Alan)	1.22 x10^8	1.22 x10^8	2.56 x10^8
Esmerleşme indeksi	12.58	13.27	17.80
Kuruma süresi (dk.)	30.00	33.31	46.00
İstenebilirlik (%)	-	79.60	-

Tüm karışımlara sabit 1g β-siklodekstrin katılmıştır.

Sarımsak tozu üretimi için belirlenen optimum koşullarda üretim yapılmış ve değerler arasındaki fark incelenmiştir. Program verileri ve deneysel veriler arasında A,

Eİ, AK, AS ve t değerleri açısından oldukça düşük oranda (<%10) fark bulunmuş böylelikle optimum koşullar doğrulanmıştır (Çizelge4.9).

Çizelge 4.9. Taşıyıcılı kurutma için programdan elde edilen optimum değerler ile optimum şartlarda üretilmiş örnekte ölçülen değerlerin karşılaştırılması

	A (alan)	Eİ	AK (alan)	AS (alan)	t (dk.)
Programdan elde edilen veriler	3.31 x10^6	13.27	2.97E x10^8	1.22 x10^8	33.31
Ölçülen veriler	3.29 x10^6	13.18	2.93 x10^8	1.24 x10^8	32.58
Fark	3.63	8.21	8.05	6.51	4.19

A :Allisin İçeriği
Eİ :Esmerleşme İndeksi
AK :Aroma korunum
AS :Aroma salınım
t :Kuruma Süresi

4.3. Köpük kurutma optimizasyonu

Tez kapsamında PKD-KPK sisteminde denenen diğer bir kurutma yaklaşımı da köpük kurutmadır. Köpük kurutmada köpük oluşumunun kalitesi oldukça önemlidir. Köpüğün kalitesi oluşan köpüğün miktarının bir ölçüsü olan köpük kapasitesi (KK) ve yine oluşan köpüğün stabil kalma süresinin bir ölçüsü olan köpük stabilitesi (KS) ile doğrudan ilişkilidir (Hardy ve Jideani 2017, Çalışkan Koç vd. 2022, Thuy vd. 2022). Ayrıca köpük miktarının artması kuruma yüzeyini genişleterek pürenin daha hızlı kurumasına olanak sağlayacaktır. Bu sebeple köpük kurutma optimizasyonunda bol ve stabil köpük oluşturarak kuruma yüzeyinin genişlemesi ve bu durumunu kurutma süresince koruyabilmesi hedeflenmiştir.

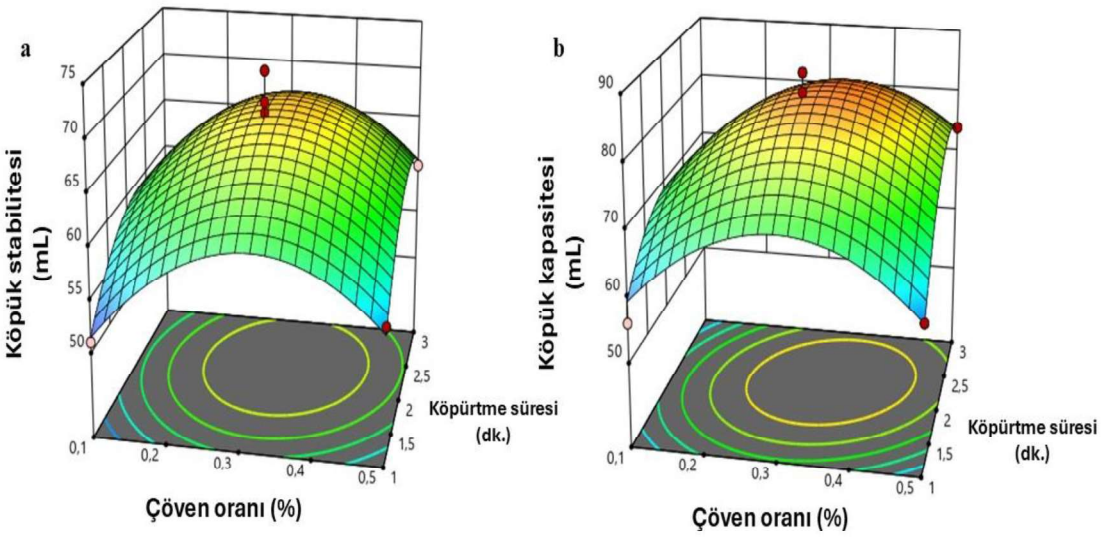
Çizelge 4.10. Köpük kurutma optimizasyonuna ait deneme deseni ve yanıtlar

	Bağımsız Değişkenler		Yanıtlar	
Deneme	ÇO (%)	t_k (dk)	KK (mL)	KS (mL)
1	0.50	3.00	74.00	60.00
2	0.30	2.00	83.00	70.00
3	0.30	2.00	85.00	73.00
4	0.30	2.00	80.00	69.00
5	0.02	2.00	60.00	52.00
6	0.58	2.00	65.00	55.00
7	0.10	1.00	56.00	51.00
8	0.30	0.59	62.00	54.00
9	0.10	3.00	57.00	55.00
10	0.50	1.00	60.00	55.00
11	0.30	3.41	71.00	64.00
12	0.30	2.00	88.00	66.00
13	0.30	2.00	85.00	65.00

ÇO :Çöven oranı
t_k :Köpürtme süresi
KK :Köpük kapasitesi
KS :Köpük stabilitesi

Köpük oluşumu için gıda endüstrisinde yaygın şekilde kullanılan bir köpürtme ajanı olan çöven ekstraktı kullanılmıştır. Optimizasyon Merkezi Birleşik Deney Desenine (Central Composite Design) göre yapılmış olup denemenin bağımlı değişkenleri olarak püreye katılacak çöven ekstraktı oranı (ÇO) ve pürenin köpürmesi için uygulanacak parçalama süresi (köpürtme süresi) (t_k) seçilmiştir (Çizelge 4.10). Bağımsız değişkenlerin alt ve üst sınır değerleri literatürdeki sınırlamalar ve ön denemeler dikkate alınarak belirlenmiştir(Anonim 2015). Bu desene göre yürütülen denemelerden elde edilen veriler yanıt yüzey metoduna göre en yüksek köpük yapma kapasitesi ve stabilitesini sağlayacak şekilde optimize edilmiştir.

Köpük kapasitesi, sarımsak püresinin ne kadar köpük üretebildiğini belirler. Gerçekleştirilen optimizasyon sonucu elde edilen üç boyutlu grafiklere göre t_k ve ÇO arttıkça köpük kapasitesin de belli bir yere kadar arttığı ve sonra hafif azalış gösterdiği görülmektedir. Maksimum KK değerine stabilitedekine benzer şekilde yaklaşık % 0.33 ÇO ve 2.25 dk t_k değerlerinde ulaşılmıştır (Şekil 4.7.b). Daha düşük ÇO ve t_k değerlerinde köpük kapasitesinin düşük olduğu, daha yüksek ÇO ve t_k değerlerinde ise KK değerinin benzer şekilde azalış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.7.Çöven oranı (ÇO) ve Köpürtme süresinin (t_k) Köpük kapasitesi (KK) ve Köpük stabilitesi (KS) üzerine etkisi

Köpük stabilitesi köpürtülen sarımsak püresindeki köpük oluşumunun zamanla sönümlenmeden kalabilmesinin bir ölçütü olarak değerlendirilmiştir. Bağımsız değişkenler olan çöven miktarı ve köpürtme süresi artışına paralel olarak köpük stabilitesi yükselmiştir (Şekil 4.7.a). Çöven miktarı ve köpürtme süresi sırasıyla yaklaşık % 0.35 ve 2.5 dk. olduğunda maksimum köpük stabilitesine ulaşılabilmiştir (Çizelge 4.11). Daha yüksek köpürtme süresi ve çöven miktarında stabilite daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Köpürtme süresi uzadığında (>2,8 dk) muhtemelen yapı zarar görmekte ve oluşan köpüğün sönümlenmesi de hızlanmaktadır. Ancak literatürde köpürtme süresi artışının daha büyük kabarcıkları azalttığı ve daha küçük kabarcıkların sayısını artırdığı belirtilmektedir (Hardy ve Jideani 2017). Her iki grafik de köpürtme süresi ve çöven

miktarının köpük stabilitesi ve köpük kapasitesi üzerinde pozitif etkisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca ÇO ve t_k, köpük kapasitesi üzerine istatisitksel olarak önemli seviyede ($p<0.05$) etki etmiştir (Çizelge 4.12). Optimizasyon süreci her iki yanıtı da maksimize etmeye yönelik yapıldığı için, % 0.33 çöven oranı ve 2.25 dk. köpürtme süresi optimum koşullar olarak belirlenmiştir . Bu bulgular, sarımsak püresinin köpük kurutma yöntemi ile kurutulması için en iyi köpük oluşumu ve stabilitesini sağlamak adına önemli ipuçları vermektedir. Köpük kurutma metoduyla kurutlan pürenin kuruma süresi 28 dk olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Köpük kurutma prosesinin optimum koşulları

	Minimum	**Optimum**	**Maksimum**
Çöven oranı (%)	0.10	0.33	0.50
Köpürtme süresi (dk)	1.00	2.25	3.00
Köpük kapasitesi (mL)	56.00	84.86	88.00
Köpük stabilitesi (mL)	51.00	69.09	76.00
İstenebilirlik (%)		86.00	

Çizelge 4.12. Köpük kurutma optimizasyonunda kullanılan modelin denklem katsayıları

		KK		**KS**	
		Kuadratik		**Kuadratik**	
		katsayı	**p değeri**	**katsayı**	**p değeri**
β_0	**sabit**	68.60	0.0007*	84.20	0.0001*
β_1	**ÇO**	3.51	0.0190*	1.66	0.1212
β_2	**KS**	3.47	0.0200*	2.89	0.0178
β_{12}	**ÇOxKS**	3.25	0.0870	0.25	0.8560
β_{11}	**ÇOxÇO**	-11.54	< 0.0001*	-7.80	0.0001*
β_{22}	**KSxKS**	-9.54	0.0001*	-5.05	0.0015*
		R^2	**D.R^2**	**R^2**	**D.R^2**
		0.9558	0.9243	0.9271	0.8750
		YH	**T.R2**	**YH**	**T.R^2**
		12.623	0.7999	9.947	0.8194
Uyumsuzluk			0.3359		0.8492

**P<0.05* düzeyinde istatistiksel farklılığı belirtmektedir
D.R^2 :Düzenlenmiş R^2
T.R^2 :Tahmini R^2
YH **:**Yeterli Hassasiyet (Modelin Tahmin Gücü)

4.4. Toz ürünlere ait fiziksel analiz sonuçları

Tez çalışmasında kullanılan Kastamonu Taşköprü sarımsağına püre ve dilim formda bazı fiziksel ve kimyasal analizler yapılmış ve sonuçlar sarımsak toz forma dönüştürüldüğünde muhtemel değişikliklerin karşılaştırılabilmesi için Çizelge 4.12'de verilmiştir. Farklı kurutma metotlarında kullanılan sarımsak püresinin nem ve su aktivitesi değerleri sırasıyla ortalama %64 ve 0.96 olarak belirlenmiştir. Ayrıca L*, a*, b*, H°, C ve esmerleşme indeksi değerleri sırasıyla 69.37, -3.25, 15.95, 101.6, 16.8 ve 2.12 olarak belirlenmiştir. Bu değerler, sarımsak püresinin açık renkli, hafif yeşilimsi ve sarımsı tonlara sahip olduğunu göstermektedir. Sonuçlar bu değerler bakımından literatürle uyumludur (Constenla ve Lozano 2005, Aguilar ve Rincón 2007, He vd. 2019, De Iseppi vd. 2021, Zang vd. 2023). Püre ve dilim sarımsak (taze) örneklerinde tespit edilen allisin içeriği (A) ve toplam aroma (TA) pik alanları dikkate alındığında açıkça görülmektedir ki sadece dilimlenen sarımsakta hücre yapısı nispeten daha az zarar gördüğünden allinaz enziminin katalizlediği tepkimeler sınırlı kalmakta ve hem aroma bileşenleri hem de allisin yeterince açığa çıkamamaktadır.

Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	**Püre**
Nem (%)	64.29 ± 0.18
Su aktivitesi (25.38°C)	0.96 ± 0.00
L*	69.37 ± 0.11
a*	-3.25 ± 0.13
b*	15.95 ± 0.02
Ton açısı (H°)	101.60 ± 0.31
Doygunluk (C*)	16.28 ± 0.27
Esmerleşme indeksi (Eİ)	2.12 ± 0.01
Toplam aroma (pik alanı)	$4.81 \times 10^8 \pm 1.55 \times 10^5$
Allisin miktarı (mg/kg KM)	7.54 ± 0.11
Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	**Dilim**
Allisin miktarı (mg/kg KM)	2.81 ± 0.12
Aroma bilşenleri toplamı (pik alanı)	$2.35 \times 10^7 \pm 0.27 \times 10^5$

4.4.1 Esmerleşme indeksi

Sarımsak tozları üretilirken uygulanan farklı kurutma yöntemleri ve ön işlemlerin sarımsak tozlarının esmerleşme indeksi (Eİ) değerleri üzerine istatistiksel açıdan önemli seviyede ($p < 0.05$) etkili olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.13). En yüksek Eİ değeri, fırın kurutucuda püre formunda kurutulan örnekte (S5) belirlenmiş ve bu örnek, tüm gruplar içinde istatistiksel olarak en farklı örnek olmuştur. Bunu, yine fırın kurutucuda diş formunda kurutulan örnek (S4) takip etmiştir (Çizelge 4.14). Bu durum, fırın kurutucuda uzun kuruma süresi esnasında yüksek sıcaklıklara maruz kalmanın yanı sıra, özellikle püre formunun artan yüzey alanı ve içerdiği çözünmüş bileşiklerin Maillard reaksiyonlarını teşvik etmesi sebebiyle ortaya çıktığı değerlendirilmiştir (Cardelle-Cobas vd. 2005, Kar ve Sutar 2023, Zheng vd. 2023). Ayrıca, en düşük Eİ değerleri kızılötesi destekli kurutucuda köpük kurutma yöntemiyle elde edilen örnek (S3) ve dondurarak kurutulan püre formundaki örnek (S8) ile elde edilmiştir. Her iki yöntemde de düşük sıcaklık ve/veya kısa kurutma süresi sayesinde Maillard reaksiyonları ve karamelizasyon sınırlanmıştır. Dondurarak kurutma işlemi, düşük sıcaklıklarda suyun süblimleşmesi esasına dayandığı için ısıya bağlı esmerleşme reaksiyonları minimum seviyede gerçekleşmiştir. Ayrıca, kızılötesi destekli sistemde taşıyıcı madde kullanımı da (S2), taşıyıcısız duruma göre (S1) Eİ'yi anlamlı derecede düşürmüştür; bu durum, maltodekstrin ve benzeri taşıyıcıların ısıya duyarlı bileşiklerin korunmasında rol oynayabileceğini göstermektedir (Shahidi ve Han 1993, Madene vd. 2006).

Çizelge 4.13. Esmerleşme indeksi değerlerinin Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu

Esmerleşme İndeksi	SD	KT	KO	F değeri	*P* değeri
Model	8	717.03	89.63	4312.93	<0.0001*
Hata	9	0.19	0.02		
Düzenlenmiş Toplam	17	717.22			

*$P<0.05$ düzeyinde istatistiksel farklılığı belirtmektedir

Sarımsak örneklerindeki form değişiminin de esmerleşme üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.14). Genel olarak, püre formunda kurutulan örnekler en yüksek Eİ değerlerine sahipken, dilim ve diş formundaki örneklerde bu değer daha düşük kalmıştır. Sarımsağın püre haline getirilmesiyle maillard reaksiyonun gerçekleşmesinde rol oynayan bileşiklerin mobilitesi artmış olması ve buna bağlı olarak reaksiyonun nispeten daha hızlı gerçekleşmesiyle esmerleşmenin artmış olabileceği değerlendirilmiştir. Sarımsak tozunun esmerleşme düzeyi hem kullanılan kurutma yöntemine hem de uygulanan ön işlemlere bağlı olarak önemli ölçüde değişmiştir. Esmerleşmenin sınırlandırılması sarımsak tozunun tercih edilebiliriğini önemli ölçüde etkilediğinden, düşük sıcaklıklı ve kısa süreli kurutma teknikleri tercih edilmelidir.

Çalışmada kullanılan PKD-KPK sistemi düşük maliyetlerle hem kısa kurutma süresi hem de düşük sıcaklıklarda kurutmaya imkan verdiğinden bazı örneklerde esmerleşmeyi yüksek maliyetli dondurarak kurutucuya nispetle bile azaltmıştır (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Son ürünlerin esmerleşme indeksi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

	Eİ	Eİ Değerlerine karşılık gelen gerçek renkler
S1	14.08 ± 0.07^{c}	
S2	11.94 ± 0.25^{d}	
S3	6.63 ± 0.04^{g}	
S4	23.31 ± 0.02^{b}	
S5	24.31 ± 0.29^{a}	
S6	12.11 ± 0.11^{d}	
S7	7.48 ± 0.04^{f}	
S8	6.56 ± 0.02^{g}	
S9	10.12 ± 0.13^{e}	

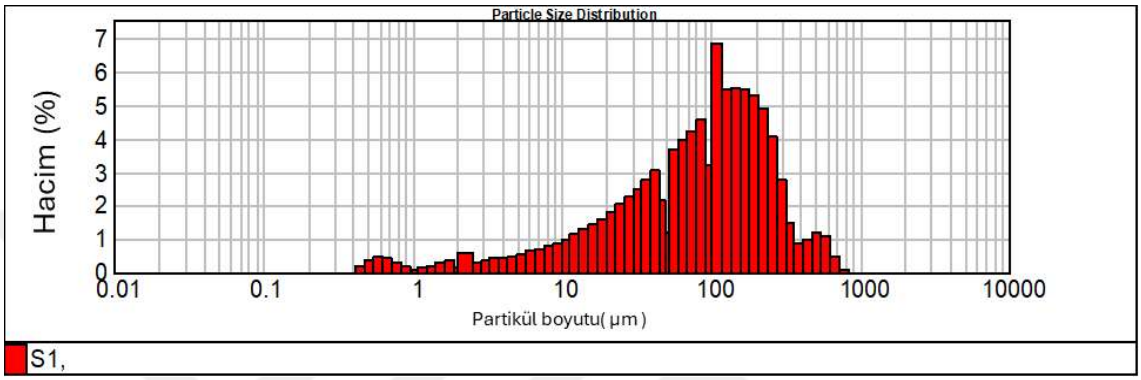
S1 : PKD-KPK sisteminde püre formda kurutulmuş toz örnek
S2 : PKD-KPK sisteminde püre formda taşıyıcılı kurutulmuş toz örnek
S3 : PKD-KPK sisteminde püre formda köpürtülerek kurutulmuş toz örnek
S4 : Fırın kurutucuda diş formda kurutulmuş toz örnek
S5 : Fırın kurutucuda püre formda kurutulmuş toz örnek
S6 : Fırın kurutucuda dilim formda kurutulmuş toz örnek
S7 : Dondurarak kurutucuda diş formda kurutulmuş toz örnek
S8 : Dondurarak kurutucuda püre formda kurutulmuş toz örnek
S9 : Dondurarak kurutucuda dilim formda kurutulmuş toz örnek

4.4.2. Partikül boyut analizi

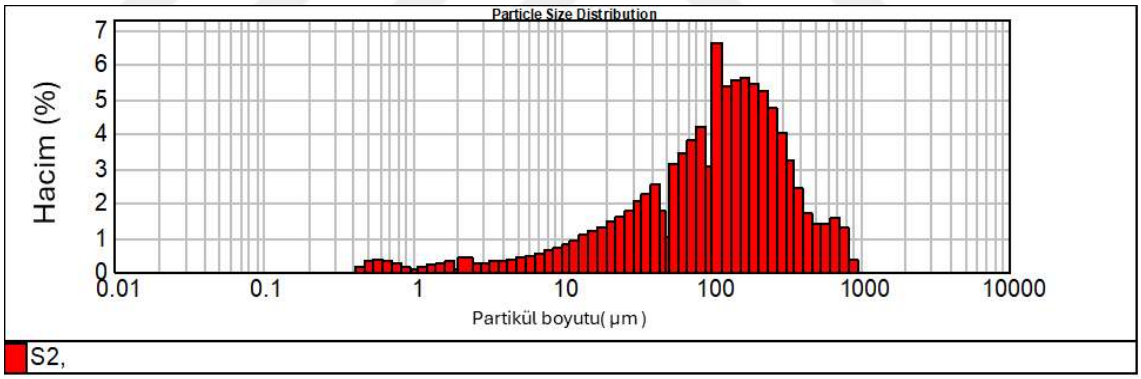
Farklı kurutma yaklaşımlarıyla üretilen sarımsak tozu örneklerinin partikül boyut analizi yapılmış, örnekler hacimsel ortalama çap (D_{43}), yüzey alanı çapı (D_{32}) ve açıklık (span) değerleri üzerinden değerlendirilerek cihazdan elde edilen dağılım eğrileri ile desteklenmiştir (Şekil.4.8-16). Grafiksel incelemeler ve istatistiksel analizler sonucunda örnekler arasında istatistiksel açıdan önemli ($P < 0.05$) farklılıklar tespit edilmiştir (Çizelge 4.15). Partikül boyutu açıklığı (span), partiküllerin dağılımının homojenliğini ifade eden önemli bir parametre olup, 2.92 ile 8.96 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.14). En düşük değer S1 (2.92) örneğinde gözlenmiştir. Bu durum, S1'in daha dar bir dağılıma ve dolayısıyla daha homojen bir partikül yapısına sahip olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, S2 ve S3 örnekleri de 3.36 ve 3.28 açıklık değerleriyle bu sınıfa dahil edilebilir. Bu örneklerin her üçü de PKD-KPK sisteminde kurutulduğundan benzer homojenlikte dağılım göstermiştir. Buna karşılık, S4 (8.96) ve S6 (8.16) örnekleri en yüksek açıklık değerlerine sahip olup, partikül boyutu bakımından en heterojen grubu oluşturmuştur.

Bu örneklerde çok modlu (çift zirveli) dağılım gözlenmiş, bu da öğütmenin tam anlamıyla homojen gerçekleşmediğine işaret edebilir. Ayrıca bu iki örnek de fırın kurutucuda kurutulmuş ve benzer homojenlik göstermiştir. Dondurarak kurutucuda kurutulan örnekler de (S7,8 ve 9) benzer dağılım göstermiştir. Örnekler hacimsel

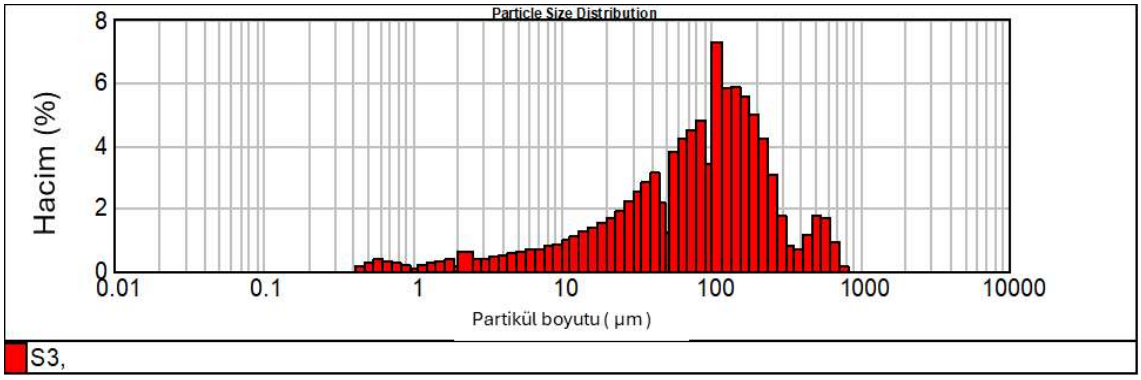
ortalama çap (D_{43}) açısından değerlendirildiğinde, S2 (17.27 µm) ve S3 (15.36 µm) örneklerinin en yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bu örneklerde büyük partiküllerin daha baskın olduğu söylenebilir. En düşük D_{43} değeri ise S8 (8.39 µm) ve S7 (9.73 µm) örneklerinde elde edilmiştir. Yüzey alanına dayalı ortalama çap (D_{32}) değerleri de D_{43} ile benzer eğilim göstermiştir; bu da boyut farklarının tüm partikül popülasyonu boyunca düzenli olduğunu göstermektedir. Düşük D_{32} ve D_{43} değerleri, daha ince öğütülmüş toz yapısını işaret etmektedir. Bu anlamda dondurarak kurutucuda kurutulan örneklerin diğer kurutma metotlarıyla kurutulanlara göre daha düşük D_{32} ve D_{43} değerleri aldıklarından dolayı daha ince toz yapısına sahip oldukları söylenebilir.



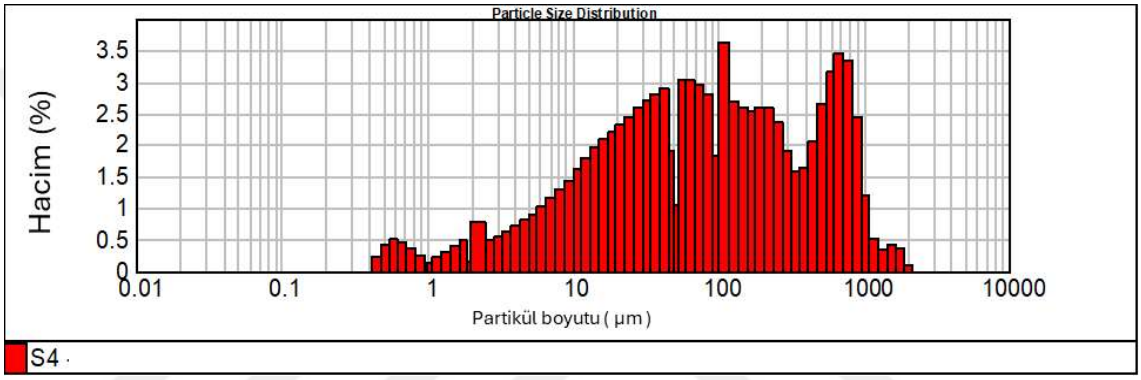
Şekil 4.8. PKD-KPK sisteminde kurutulmuş sarımsak tozunun (S1) parçacık boyutu dağılımı volüme, haCİM prticle size parçacık boyutu değiştir



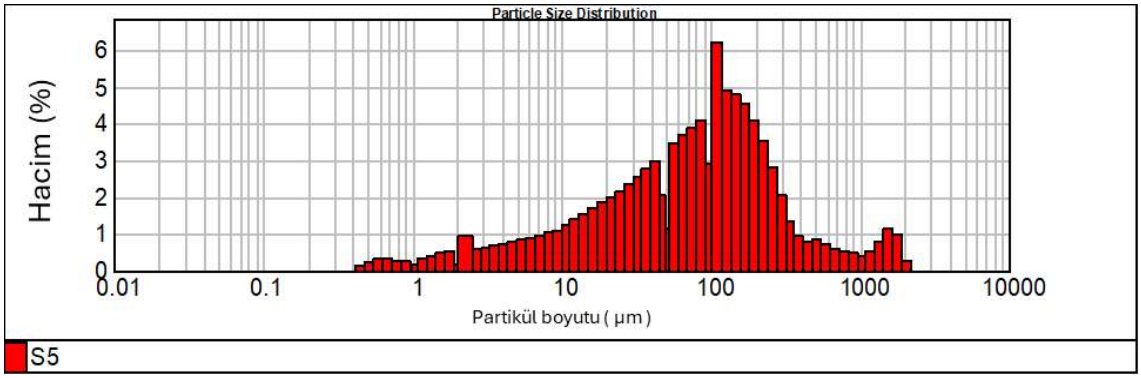
Şekil 4.9. PKD-KPK sisteminde taşıyıcı eklenerek kurutulmuş sarımsak tozunun (S2) parçacık boyutu dağılımı



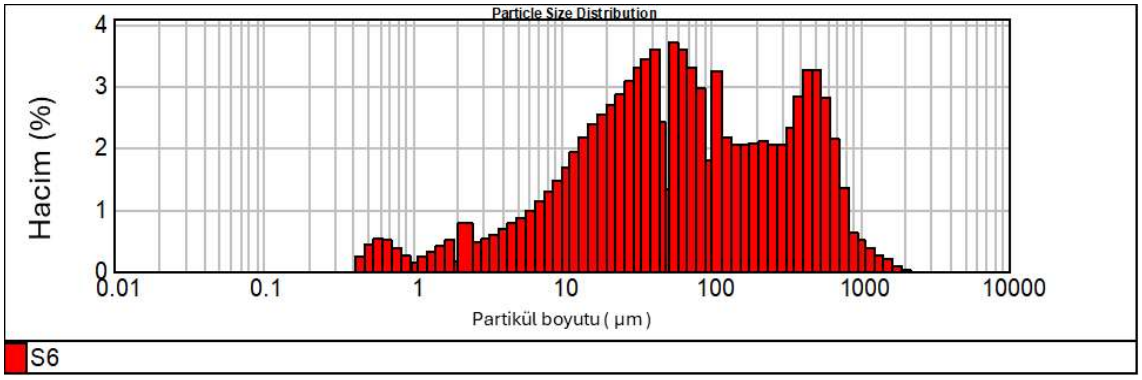
Şekil 4.10. PKD-KPK sisteminde köpük kurutulmuş sarımsak tozunun (S3) parçacık boyutu dağılımı



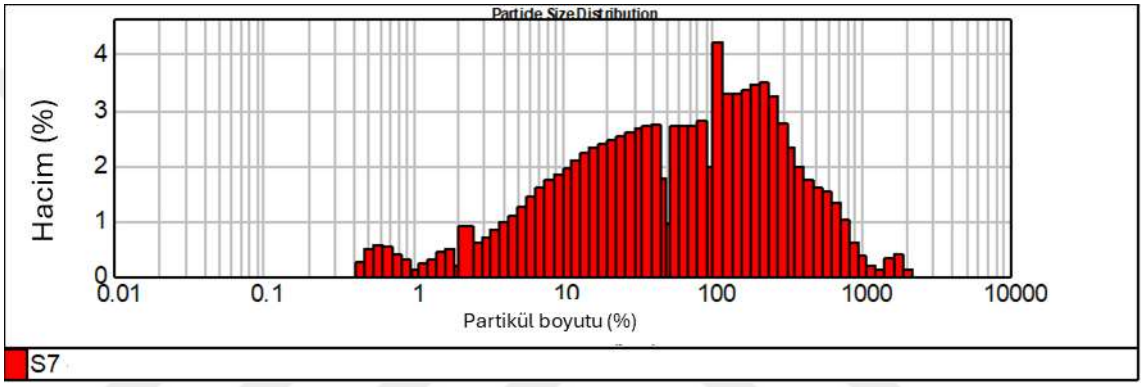
Şekil 4.11. Fırın kurutucuda diş formda kurutulmuş sarımsak tozunun (S4) parçacık boyutu dağılımı



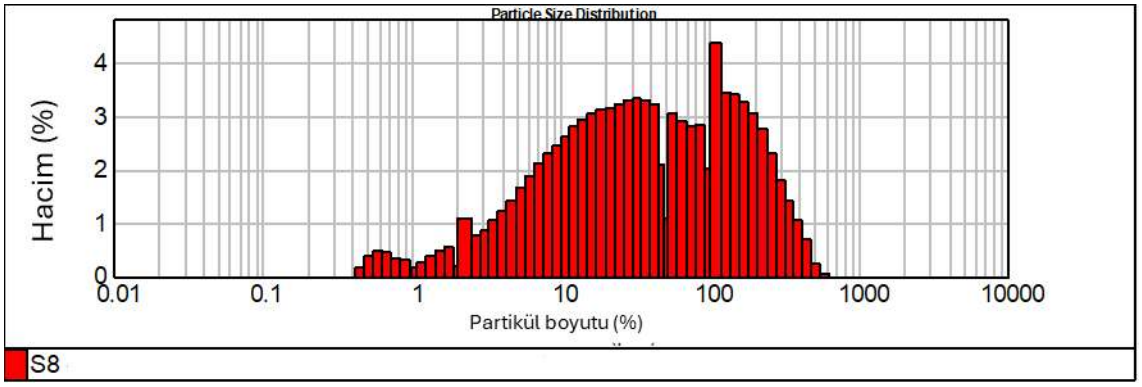
Şekil 4.12. Fırın kurutucuda püre formda kurutulmuş sarımsak tozunun (S5) parçacık boyutu dağılımı



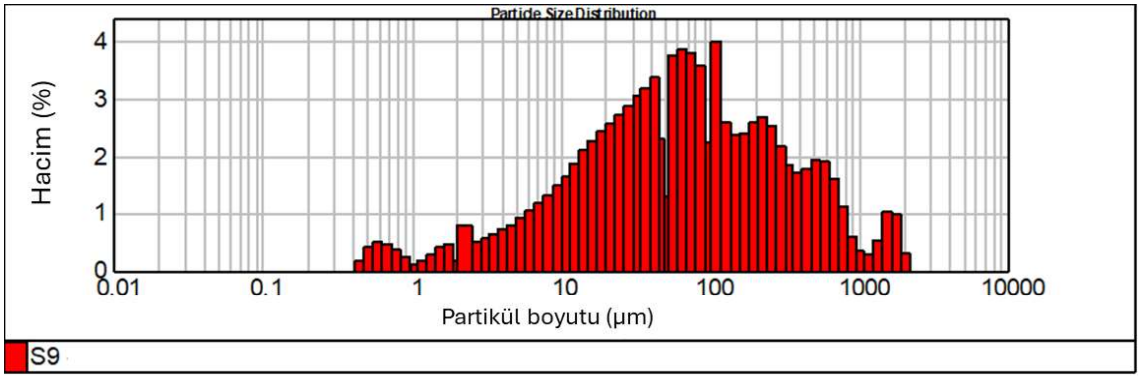
Şekil 4.13. Fırın kurutucuda dilim formda kurutulmuş sarımsak tozunun (S6) parçacık boyutu dağılımı



Şekil 4.14. Dondurarak kurutucuda diş formda kurutulmuş sarımsak tozunun (S7) parçacık boyutu dağılımı



Şekil 4.15. Dondurarak kurutucuda püre formda kurutulmuş sarımsak tozunun (S8) parçacık boyutu dağılımı



Şekil 4.16. Dondurarak kurutucuda dilim formda kurutulmuş sarımsak tozunun (S9) parçacık boyutu dağılımı

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

	Açıklık	**D_{43}**	**D_{32}**
S1	2.92 ± 0.19^{d}	14.36 ± 0.34^{b}	14.36 ± 0.34^{b}
S2	3.36 ± 0.51^{cd}	17.27 ± 1.29^{a}	17.27 ± 1.29^{a}
S3	3.28 ± 0.41^{d}	15.36 ± 0.88^{b}	15.36 ± 0.88^{b}
S4	8.96 ± 0.46^{a}	11.76 ± 0.76^{c}	11.76 ± 0.76^{c}
S5	4.17 ± 0.79^{c}	11.47 ± 0.21^{c}	11.47 ± 0.21^{c}
S6	8.16 ± 0.74^{a}	11.40 ± 0.91^{c}	11.07 ± 0.53^{c}
S7	5.60 ± 0.52^{b}	9.73 ± 0.19^{d}	9.73 ± 0.11^{d}
S8	5.58 ± 0.10^{b}	8.39 ± 0.25^{e}	8.39 ± 0.25^{e}
S9	6.46 ± 0.25^{b}	11.41 ± 0.51^{c}	11.41 ± 0.51^{c}

S1 : PKD-KPK sisteminde püre formda kurutulmuş toz örnek
S2 : PKD-KPK sisteminde püre formda taşıyıcılı kurutulmuş toz örnek
S3 : PKD-KPK sisteminde püre formda köpürtülerek kurutulmuş toz örnek
S4 : Fırın kurutucuda diş formda kurutulmuş toz örnek
S5 : Fırın kurutucuda püre formda kurutulmuş toz örnek
S6 : Fırın kurutucuda dilim formda kurutulmuş toz örnek
S7 : Dondurarak kurutucuda diş formda kurutulmuş toz örnek
S8 : Dondurarak kurutucuda püre formda kurutulmuş toz örnek
S9 : Dondurarak kurutucuda dilim formda kurutulmuş toz örnek

Toz örneklerin açıklık, D_{43} ve D_{32} değerlerinin istatistiksel açıdan birbirlerinden önemli derecede farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.15). Bu bulgular, farklı kurutma ve/veya öğütme işlemlerinin partikül morfolojisini anlamlı şekilde etkilediğini göstermektedir. S1–S3 örnekleri homojen ve büyük partikül dağılımına sahipken; S4 ve S6 gibi örneklerde daha dağınık ve düzensiz bir yapı gözlenmiştir. S7–S8 gibi örnekler ise küçük çaplı ve homojen dağılımlarıyla dikkat çekmektedir. Bu farklılıklar, elde edilen sarımsak tozlarının çözünürlük, renk, serbest akış özelliği gibi fonksiyonel özellikleri üzerinde önemli rol oynayabilir.

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

Açıklık					
	SD	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	113.62	14.20	58.55	<0.0001
Hata	18	4.37	0.24		
Düzenlenmiş Toplam	26	117.99			
D_{43}	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	188.23	23.53	48.81	<0.0001
Hata	16	8.68	0.48		
Düzenlenmiş Toplam	26	196.91			
D_{32}	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	190.4312667	23.803908	56.30	<0.0001
Hata	16	7.6103793	0.422799		
Düzenlenmiş Toplam	26	198.0416460			

Sarımsak tozlarına ait fiziksel özellikler arasında yer alan yığın yoğunluğu (ρ_b), sıkıştırılmış yoğunluk (ρ_t) ve kompresibilite indeksi (CI) parametreleri incelenmiş, elde edilen verilerin, varyans analizi sonuçlarına göre tüm değerlerin birbirlerinden istatistiki olarak önemli ($p < 0.05$) farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.18). Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve Carr index değerleri toz ürünlerin akış özelliklerinin tanımlanmasında sıklıkla kullanılmakta olan kalite parametrelerindendir. Toz ürünün belirli bir kütlesinin o kütledeki hacmine oranı olan yığın yoğunluğu, hacim ölçümü esnasında belirli standart titreşime tabi tutulan aynı kütledeki tozun sıkıştırılan hacmine oranı olan sıkıştırılmış yoğun ve bu iki değerden elde edilen Car index önemli akış parametreleridir. Özellikle Carr İndex toz ürüen akabilirliğinin bi ölçüsü olarak değerlendirilmektedir. Bu değer kullanılara toz gıdanın akış özellikleri ifade edilirken bir skala kullanılmaktadır. Buna göre Carr İndex değeri <%15 ise mükemmel akış, %15-20 ise iyi akış, %20-30 ise orta akış,>%30 ise zayıf akış özelliklerini gösterir. Üretilen sarımsak tozlarına ait akış özellikleri belirlenirken bu parametreden yayarlanılmıştır.

Çizelge 4.17. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akabilirlik değerlerinin Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu

ρ_b	SD	KT	KO	F değeri	*P* değeri
Model	8	0.26	0.03	961.79	<0.0001
Hata	9	0.00030	0.00003		
Düzenlenmiş Toplam	17	0.26			
ρ_t	SD	KT	KO	F değeri	*P* değeri
Model	8	0.71684444	0.08960556	3225.8	<0.0001
Hata	9	0.00025000	0.00002778		
Düzenlenmiş Toplam	17	0.71709444			
CI	SD	KT	KO	F değeri	*P* değeri
Model	8	0.08524444	0.01065556	119.87	<0.0001
Hata	9	0.00080000	0.00008889		
Düzenlenmiş Toplam	17	0.08604444			
Higroskopisite	SD	KT	KO	F değeri	*P* değeri
Model	8	16.19574814	2.02446852	31.88	<0.0001
Hata	9	0.57149215	0.063499913		
Düzenlenmiş Toplam	17	16.76724029			

4.4.3. Yığın yoğunluğu (ρ_b)

Gıda tozlarının paketlenmesi, taşınması ve depolanmasında önemli bir etkiye sahip olan yığın yoğunluğu, toz gıda ürünlerinin kütlesinin hacmine oranı olarak ifade edilmektedir. Bu değer; toz partiküllerinin boyutu, şekli ve dağılımı gibi özelliklerinden etkilenmektedir. Yığın yoğunluğu değerinin yüksek olması, tozun daha kompakt bir halde olduğunu belirtir ve bu durumda, paketleme hacmini ve dolayısıyla taşıma maliyetlerini azaltıcı yönde etki gösterebilir. Fakat, bu değer çok yüksek olduğunda karışım ve çözünme sorunları olan bir tozu ifade etmektedir (Bhandari vd. 1992, Higashitani vd. 2019, Wijayanti vd. 2024). Örnekler arasında en yüksek yığın yoğunluğu, PKD-KPK sisteminde kurutulmuş örneğe (S1: 0.61 g/cm³) ait olup, bu değeri fırın kurutucuda püre formunda kurutulan örnek (S5: 0.59 g/cm³) ve taşıyıcılı kurutulan örnek (S2: 0.58 g/cm³) izlemiştir. Dondurarak kurutulmuş örnekler ise belirgin şekilde daha düşük yığın yoğunluğu sergilemiştir.

En düşük değerler, S8 (0.30 g/cm³) ve S7 ile S9 örneklerinde (0.33 g/cm³) kaydedilmiştir (Çizelge 4.17). Bu durum, dondurarak kurutma işleminin daha gevşek yapılı, daha düşük yoğunlukta tozlar oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.18. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akabilirlik değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Örnek	ρ_b (g/cm³)	ρ_t (g/cm³)	CI (%)	Higroskopisite (kg/m³)
S1	0.61 ± 0.00^{a}	0.79 ± 0.00^{b}	22 ± 0.00^{d}	3.06 ± 0.27^{dc}
S2	0.58 ± 0.01^{e}	0.97 ± 0.00^{a}	40 ± 0.01^{e}	3.54 ± 0.10^{bc}
S3	0.58 ± 0.00^{c}	0.77 ± 0.00^{c}	26 ± 0.01^{a}	2.76 ± 0.19^{d}
S4	0.51 ± 0.00^{d}	0.74 ± 0.01^{d}	31 ± 0.01^{c}	1.90 ± 0.29^{e}
S5	0.59 ± 0.00^{b}	0.77 ± 0.00^{c}	24 ± 0.00^{b}	1.86 ± 0.24^{e}
S6	0.49 ± 0.00^{e}	0.63 ± 0.01^{e}	22 ± 0.01^{c}	1.91 ± 0.00^{e}
S7	0.33 ± 0.00^{f}	0.42 ± 0.00^{f}	22 ± 0.00^{c}	4.28 ± 0.19^{a}
S8	0.30 ± 0.01^{g}	0.37 ± 0.00^{h}	20 ± 0.01^{c}	4.31 ± 0.10^{a}
S9	0.33 ± 0.00^{f}	0.39 ± 0.00^{g}	15 ± 0.00^{c}	3.85 ± 0.14^{ab}

S1 : PKD-KPK sisteminde püre formda kurutulmuş toz örnek
S2 : PKD-KPK sisteminde püre formda taşıyıcılı kurutulmuş toz örnek
S3 : PKD-KPK sisteminde püre formda köpürtülerek kurutulmuş toz örnek
S4 : Fırın kurutucuda diş formda kurutulmuş toz örnek
S5 : Fırın kurutucuda püre formda kurutulmuş toz örnek
S6 : Fırın kurutucuda dilim formda kurutulmuş toz örnek
S7 : Dondurarak kurutucuda diş formda kurutulmuş toz örnek
S8 : Dondurarak kurutucuda püre formda kurutulmuş toz örnek
S9 : Dondurarak kurutucuda dilim formda kurutulmuş toz örnek
ρ_b : Yığın yoğunluğu
ρ_t : Sıkıştırılmış yığın yoğunluğı
CI : Akabilirlik

4.4.4. Sıkıştırılmış yoğunluk (ρ_t)

Sıkıştırılmış yoğunluk değerinin, gıda tozunun darbe veya titreşim gibi etkilerle sıkı ve yoğun hale getirildiğinde sahip olduğu yoğunluğu göstermekte olup, genellikle taşıma ve depolama sırasında karşılaşılan fiziksel değişimlerin değerlendirilmesinde önem taşıdığı belirtilmektedir (Higashitani vd. 2019). Sıkıştırılmış yoğunluk değerleri 0.37 – 0.97 arasında değişmekle birlikte en yüksek sıkıştırılmış yoğunluk değeri, taşıyıcı katkılı PKD-KPK yöntemiyle elde edilen S2 örneğinde gözlemlenmiştir (0.97 g/cm³). Bunu sırasıyla S1 (0.79 g/cm³), S5 ve S3 örnekleri (0.77 g/cm³) takip etmiştir. En düşük değerler yine dondurarak kurutulan örneklerde kaydedilmiş olup, S8 örneği 0.37 g/cm³ ile en düşük sıkıştırılmış yoğunluk değerini sunmuştur (Çizelge 4.17).

4.4.5. Akabilirlik (CI)

Akabilirlik değerinin (CI), toz ürünlerin serbest akış gösterme eğilimini belirleyen kritik bir parametre olduğu, genellikle Carr Idex (CI) değerinin düşük olmasının, toz ürünlerin daha iyi akışkanlık özelliklerine sahip olduğunu gösterdiği bildirilmiştir (Higashitani vd. 2019). Ayrıca Carr indeksi (CI), yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk arasındaki farkı yüzdesel olarak ifade etmekte ve tozun akış özelliği hakkında bilgi vermektedir. Kompresibilite indeksi (CI) <%15 ise mükemmel akış, %15-20 ise iyi akış, %20-30 ise orta akış,>%30 ise zayıf akış özelliklerini gösterir.

Elde edilen sonuçlara göre Carr Indeks değerleri 15 – 40 arasında değişmiş olup en yüksek CI değeri, S2 örneğinde ölçülmüştür (40 ± 0.01), bu durum bu toz örneğinin yüksek sıkıştırılabilirlik gösterdiğini ve nispeten daha kötü akışkanlığa sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.17). Bu örnek içerisinde bulunan taşıyıcı materyaller bu tozun diğer tozlara göre daha yapışkan bir yapıda olmasına sebep olduğu düşünülmektedir (Seerangurayar vd. 2017, Kleinschmidt vd. 2024). S3 (26), S4 (31), S5 (24) gibi örneklerdeki orta düzeydeki CI değerleri, bu örneklerin daha dengeli yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Dondurarak kurutulan tozlarda (S7, S8, S9), CI değerleri 15–22 aralığında seyretmiş ve nispeten daha iyi akışkanlık potansiyeli ortaya koymuştur.

Sonuçta en yüksek yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk, genellikle PKD-KPK sisteminde kurutulan örneklerde gözlemlenirken, en düşük yoğunluklar ve daha iyi akış özellikleri**,** dondurarak kurutulan sarımsak tozlarında belirlenmiştir. CI değerinin 15 – 40 aralığında değiştiği gözlemlenmiş, en düşük değerler ve dolayısıyla en iyi akabilirlik dondurarak kurutulmuş örneklerde belirlenmiştir. Partikül boyutu dağılımıyla kıyaslandığında, daha büyük partiküllere sahip olan örneklerin (örneğin S2) sıkıştırma sonrası daha yüksek yoğunluklara ulaştığı ancak akış özelliğinin zayıfladığı görülmektedir. Buna karşılık, daha küçük ve homojen yapıya sahip olan S9 örneği, düşük Carr indeksi ile en iyi akış performansını göstermiştir. Elde edilen bulgular, sarımsak tozlarının işlenebilirlik, ambalajlama ve taşıma özellikleri üzerine kurutma yöntemlerinin ve formlarının belirleyici rol oynadığını ortaya koymuştur.

4.4.6. Higroskopisite

Higroskopisite, toz ürünlerin yapısına suyun hangi düzeyde absorbe edildiği ve partikül yüzeyine hangi seviyelerde adsorbe olarak bağlandığı ile ilişkilidir. Amorf yapılı tozlar, kristal yapılı tozlara kıyasla çevreden daha fazla nem çekme eğilimindedir. Bu durum, özellikle püskürterek kurutma yöntemiyle elde edilen ürünlerde belirgin olup; küçük partikül boyutu ve yüksek toplam yüzey alanı nedeniyle çevresel nemin hızlı şekilde alınmasına yol açmaktadır (Goula vd. 2004, Palzer 2009, Yuksel ve Dirim 2020). Toz ürünlerin higroskopik davranışı, fizikokimyasal özelliklerde çeşitli değişimlere neden olabilmektedir. Ortamdan nem alınması sonucunda ürünün nem içeriği artmakta, bu da yığın yoğunluğunun azalması, kekleşme oluşumu ve akışkanlık özelliklerinde bozulma gibi olumsuz etkiler doğurmaktadır (Barbosa-Canovas vd. 2005, Torres Serra vd. 2018). Bu nedenle, düşük higroskopik özellik gösteren ürünlerin geliştirilmesi, ürün stabilitesi açısından büyük önem arz etmektedir.

Çalışma kapsamında üretilen toz örneklere uygulanan varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.16) farklı üretim koşulları ya da formülasyonların toz ürünlerin higroskopisite özellikleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek higroskopisite değerleri S8 ve S7 (4.31 kg su/100 kg KM) ve 4.28 kg su/kg KM) örneklerinde belirlenirken, en düşük değerler S5 ve S6 (1.86 su/100 kg KM ve 1.90 su/100 kg KM) örneklerinde belirlenmiştir. Bu durumun, ilgili formülasyonların veya kurutma koşullarının daha gözenekli yapıdaki veya hidrofilik karakterdeki tozlar oluşturmasıyla ilişkili olabileceğini düşündürmüştür. Elde edilen sonuçlar, taşıyıcı madde tipi ve oranı ile kurutma yönteminin higroskopisite üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

4.5. Toz ürünlere ait kimyasal analiz sonuçları

Toz ürünlerin kimyasal analiz verilerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.18'de verilmiş olup aşağıda farklı başlıklar altında tartışılmıştır.

Çizelge 4.19. Toz ürünlerin kimyasal analiz sonuçlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

	Nem (%)	a_w	TFİ (mg GAE/100 g KM)	Antioksidan aktivite (g TEAA /kg KM)	Allisin miktarı (mg/kg KM)	HMF miktarı (mg/100 KM g)	Toplam aroma (pik alanı)
S1	4.48 ± 0.18^{a}	0.25 ± 0.02^{a}	2.22 ± 0.05^{e}	21.93 ± 0.11^{a}	4.60 ± 0.02^{d}	0.69 ± 0.01^{c}	$3.82 \times 10^{8} \pm 1.54 \times 10^{5(b)}$
S2	4.56 ± 0.23^{a}	0.23 ± 0.04^{a}	2.81 ± 0.02^{c}	13.47 ± 0.04^{g}	6.33 ± 0.02^{b}	0.58 ± 0.01^{d}	$4.10 \times 10^{8} \pm 1.96 \times 10^{5(a)}$
S3	4.61 ± 0.51^{a}	0.24 ± 0.04^{a}	3.31 ± 0.01^{a}	14.00 ± 0.13^{f}	6.72 ± 0.02^{a}	0.17 ± 0.01^{e}	$3.74 \times 10^{8} \pm 1.70 \times 10^{6(c)}$
S4	4.64 ± 0.29^{a}	0.24 ± 0.03^{a}	1.91 ± 0.03^{f}	15.84 ± 0.02^{e}	0.10 ± 0.02^{i}	1.06 ± 0.01^{b}	$3.25 \times 10^{8} \pm 2.18 \times 10^{6(c)}$
S5	4.60 ± 0.35^{a}	0.27 ± 0.08^{a}	1.71 ± 0.00^{f}	14.23 ± 0.02^{e}	1.77 ± 0.02^{f}	1.08 ± 0.02^{b}	$3.11 \times 10^{8} \pm 2.52 \times 10^{4(f)}$
S6	4.61 ± 0.39^{a}	0.24 ± 0.04^{a}	2.66 ± 0.01^{d}	12.71 ± 0.02^{h}	1.40 ± 0.02^{g}	1.10 ± 0.01^{a}	$3.50 \times 10^{8} \pm 6.52 \times 10^{5(d)}$
S7	4.64 ± 0.38^{a}	0.24 ± 0.05^{a}	2.01 ± 0.03^{f}	18.26 ± 0.06^{b}	0.88 ± 0.02^{h}	-	$2.77 \times 10^{8} \pm 5.30 \times 10^{5(h)}$
S8	4.63 ± 0.42^{a}	0.24 ± 0.04^{a}	2.89 ± 0.01^{b}	15.20 ± 0.08^{d}	5.77 ± 0.04^{c}	-	$3.00 \times 10^{8} \pm 1.51 \times 10^{6(g)}$
S9	4.60 ± 0.35^{a}	0.26 ± 0.05^{a}	2.15 ± 0.02^{e}	11.64 ± 0.06^{i}	3.64 ± 0.01^{e}	-	$2.72 \times 10^{8} \pm 4.02 \times 10^{5(i)}$

S1 : PKD-KPK sisteminde püre formda kurutulmuş toz örnek
S2 : PKD-KPK sisteminde püre formda taşıyıcılı kurutulmuş toz örnek
S3 : PKD-KPK sisteminde püre formda köpürtülerek kurutulmuş toz örnek
S4 : Fırın kurutucuda diş formda kurutulmuş toz örnek
S5 : Fırın kurutucuda püre formda kurutulmuş toz örnek
S6 : Fırın kurutucuda dilim formda kurutulmuş toz örnek
S7 : Dondurarak kurutucuda diş formda kurutulmuş toz örnek
S8 : Dondurarak kurutucuda püre formda kurutulmuş toz örnek
S9 : Dondurarak kurutucuda dilim formda kurutulmuş toz örnek
a_w : Su aktivitesi

Çizelge 4.20. Toz ürünlerin kimyasal analiz sonuçlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarının varsyans analizi

TFİ	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	4.490	0.561	515.70	<0.0001
Hata	9	0.011	0.001		
Toplam	17	4.502			
Antioksidan aktivite	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	158.61	19.83	2091.88	<0.0001
Hata	9	0.09	0.01		
Toplam	17	158.70			
Allisin miktarı	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	101.260	12.657	14329.1	<0.0001
Hata	9	0.008	0.001		
Toplam	17	101.267			
HMF miktarı	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	5	1.400575	0.280115	3734.87	<0.0001
Hata	6	0.000450	0.000075		
Toplam	11	1.401025			
Toplam aroma	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	3.76×10^{16}	4.70×10^{15}	3892.72	<0.0001
Hata	9	1.09×10^{13}	1.21×10^{15}		
Toplam	17	3.76×10^{16}			

4.5.2. Toplam fenolik içerik (TFİ)

Fenolik bileşenler, sarımsak tozunun antioksidan kapasitesinde önemli rol oynayan sekonder metabolitlerdendir. Sarımsak tozu örneklerinin varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.19), kurutma yöntemi ve ön işlemlerin TFİ düzeyleri üzerinde önemli düzeyde etkisi olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek TFİ değerleri PKD-KPK sisteminde köpük kurutma yöntemiyle elde edilen S3 numunesinde (3.31 ± 0.01 mg GAE/100 g KM) belirlenmiştir (Çizelge 4.18). Bu yöntemin kurutma yüzey alanını artırarak kurutma süresini kısalttığı dolayısıyla fenolik bileşiklerin ısıl işlem maruziyetlerini düşürerek katkı sağladığı değerlendirilmiştir (Van Tai vd. 2024).

Dondurarak kurutulmuş S8 ve taşıyıcı eklenmiş PKD-KPK numunesi olan S2 de yüksek TFİ değerleriyle öne çıkmıştır. Buna karşın sıcak havada kurutulan S4, S5 ve S6 örneklerinde daha düşük TFİ değerleri tespit edilmiştir. Bu durum, uzun süreli ısı uygulamasının fenolik bileşenlerde kayba neden olduğunu göstermektedir (Liang vd. 2018).

4.5.3. Antioksidan aktivite analizi

Antioksidan aktivite, sarımsakta bulunan toplam fenolik bileşiklerin ve kükürtlü aromatik bileşiklerin toplam etkisini yansıtan önemli bir kalite göstergesidir. Analiz sonuçlarına göre antioksidan aktivite üzerinde örnekler arasında istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) farklılık bulunmuştur (Çizelge 4.19). En yüksek değer, PKD-KPK sisteminde doğrudan kurutulan S1 numunesinde (21.93 ± 0.11 g TEAA/kg KM) belirlenmiştir (Çizelge 4.18). Bu örneği dondurarak kurutulan S7 takip etmiştir. Bu sonuçlar düşük sıcaklıkta uygulanan kontrollü kurutma işlemlerinin, antioksidan bileşenlerin korunmasına katkı sağladığıyla ilişkili olduğunu göstermektedir (Shofian vd. 2011). En düşük antioksidan aktivite değeri ise dilim formunda sıcak havada kurutulan S6 örneğinde (11.64 ± 0.06) tespit edilmiştir. Bu bulgu, yüksek sıcaklık uygulamalarının oksidatif hasarı artırarak antioksidan aktiviteyi düşürdüğünü göstermektedir.

4.5.4. HMF (5-Hidroksimetilfurfural) miktarı analizi

HMF, Maillard reaksiyonları sırasında şekerlerin ısıl degradasyonu sonucu oluşan bir kalite ve işlem göstergesidir. Sarımsak tozu üretim süreçlerinde HMF oluşum düzeyi, uygulanan kurutma yaklaşımlarına bağlı olarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en yüksek HMF düzeyi sırasıyla S6 (1.10 mg/100 g KM) ve S5 (1.07 mg/100 g KM) numunelerinde belirlenmiş olup, bu sonuçlar kurutma sırasında uygulanan uzun süreli yüksek sıcaklığın etkisiyle sarımsaktaki şekerlerin HMF'ye daha yüksek oranda dönüştüğünü göstermektedir. En düşük HMF değeri ise hızlı kurumasıyla öne çıkan köpük kurutmalı S3 (0.16 mg/100 g KM) numunesinde tespit edilmiştir. PKD-KPK sisteminde köpük kurutma yöntemi kurutma yüzey alanını artırarak kurutma süresini kısalttığı ve dolayısıyla HMF oluşumunu sınırlayarak termal bozulmayı minimize ettiği değerlendirilmiştir (Cardelle-Cobas vd. 2005, Rufián-Henares vd. 2008, Chihara vd. 2013). Dondurarak kurutucuda kurutulan örnekler ısıl işleme maruz kalmadığından bu örneklere HMF analizi yapılmamıştır. Varyans analizi sonuçları, örnekler arasındaki farklılığın önemli düzeyde olduğunu ($p < 0.05$) ve sıcak hava kurutmalı örneklerde HMF oluşumunun belirgin şekilde arttığını göstermektedir.

4.5.5. Allisin miktarı analizi

Sarımsağın karakteristik keskin kokusu ve biyoaktif etkilerinden sorumlu olan başlıca bileşik allisin olup, bu bileşik doğrudan sarımsağın dokusal bütünlüğünün bozulması ile aktive olan bir enzim-substrat reaksiyonu sonucunda meydana gelir. Allisin, hücre yapısı bozulduğunda vakuollerde bulunan alliin ile sitozolde yer alan allinaz enziminin etkileşimi sonucunda kısa sürede sentezlenir. Bu reaksiyon oldukça hızlı olmakla birlikte, allisin kendisi yüksek oranda reaktif, termolabil ve oksidatif bozunmaya açık bir bileşiktir. Bu nedenle, kurutma işlemi sırasında hem allisin oluşum mekanizmasının korunması hem de oluşan allisinin bozulmasının önlenmesi hedeflenmelidir.

Çizelge 4.19 ve 4.20 incelendiğinde, sarımsak tozu üretimindeki uygulamaların elde edilen ürünlerin allisin miktarları üzerine önemli düzeyde ($p< 0.05$) etkili olduğu saptanmıştır. En yüksek allisin miktarı, S3 numunesinde (6.72 ± 0.02 mg/kg KM) belirlenmiştir. Bu numune, PKD-KPK sisteminde köpük kurutma yaklaşımıyla kurutulmuştur. Kurutma öncesi püre haline getirme işlemi hücresel yapıyı kademeli bozarak alliin-allinaz etkileşimini artırmış ve daha yüksek allisin sentezini mümkün kılmıştır. Nitekim Çizelge 4.19'da püre formunda işlenen ürünlerin daha yüksek allisin içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Buna ek olarak uygulanan köpürtme işlemi sarımsak püresinin yüzey alanını artırarak suyun hızlı uzaklaşmasını sağlamış ve kurutma süresini kısaltmıştır. Bu kısa süreli ısıl işlem ile allisin miktarı diğer örenklere nazaran daha iyi korunmuştur. Elde edilen bu bulgular tezin hipotezini doğrular nitelikte olmuştur. Allisin miktarı bakımından S3 numunesini taşıyıcı eşliğinde kurutulmuş olan S2 numunesi (6.33 ± 0.02 mg/kg KM) takip etmiştir. Bu durumun iki kurutma arasındaki süre farklılığıyla ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir. Nitekim S2 numunesi S3 'e göre 5 dk. daha uzun sürede kurumuştur. Ayrıca taşıyıcıların, oksijen geçirgenliğini azaltarak allisinin oksidatif bozunmasını engellediği (Lawson ve Wang 1993, Fujisawa vd. 2008, Borlinghaus vd. 2014) değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, bu numunelerde uygulanan püre oluşturma işlemi, alliin ve allinazın homojen temasına olanak sağladığı için allisin sentezi yönünden diş ve dilim formda kurutulan örneklere göre avantaj yaratmıştır.

Dondurarak kurutma yöntemiyle üretilen S8 numunesinde belirlenen allisin miktarı (5.77 ± 0.04 mg/kg KM) dondurarak kurutlan diş ve dilim olarak kurutulanlara göre önemli düzeyde yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.19). Dondurarak kurutucuda diş ve dilim halinde kurutulan numunelerde enzim supstrat etkileşimi sınırlı kalmış, allisin oluşumu püre formda kurutulmuş örneğe göre düşük düzeyde olmuştur. Bu numunede sarımsak püre haline getirdikten sonra uygulanan düşük sıcaklık ve vakum ortamı, allisin gibi uçucu ve ısıl kararsız bileşiklerin korunmasında oldukça etkili olmuştur.

Ticari olarak yaygın uygulanan sıcak hava kurutma yöntemi tüm sarımsak formlarına (diş, dilim, püre) uygulanarak bu yöntemin allisin üzerine etkisi de karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre (çizelge 4.19) sıcak hava kurutma yöntemi yuygulanan tüm numunelerde diğer kurutma uygulamalarına göre yüksek allisin kayıpları meydana gelmiştir. Bu numuneler arasında en düşük allisin miktarı diş formda kurutulan S4'te (0.10 ± 0.02 mg/kg KM) en yüksek allisin miktarı ise püre formda kurutulan S5'te (1.77 ± 0.02 mg/kg KM) belirlenmiştir. Dilim kurutulan S6 numunesindeki allisin miktarı ise 1.40 ± 0.02 mg/kg KM olarak tespit edilmiştir. Sıcak hava kurutma sisteminin kurutma süresinin uzun olduğu dikkate alındığında bu allisin kayıplarının yüksek sıcaklıkta uzun süreli oksijen maruziyetiyle ilişkili olabileceği (Liu et al., 2020) değerlendirilmiştir.

Uygulanan tüm yöntemler birlikte değerlendirildiğinde sarımsak tozundaki allisin miktarının özellikle sarımsağa uygulanan ön işlemlerle ilişkili olduğu, püre haline getirme işleminin allisin miktarını dilim ve diş sarımsaklara göre belirgin bir şekilde artırdığı görülmektedir. Bunula bilikte uygulanan kurutma yöntemlerinin de son ürünün allisin içeriği üzerine etkili olduğunu, özellikle kısa süreli uygulanan kurutma işlemlerinin (köpük kurutma, taşıyıcılı PKD-KPK ve PKD-KPK) allisin kayıplarını azalttığı, buna karşın uzun süreli kurutma işlemlerinin allisin kayıplarını belirgin şekilde artırdığı saptanmıştır (Çizelge 4.19).

4.5.6. Toplam aroma (Pik alanı)

Bu çalışmadan elde edilen toplam aroma verileri, sarımsak tozlarında uygulanan kurutma yöntemlerinin ve ön işlemlerin son ürünlerin uçucu bileşikleri üzerine etkisini ortaya koymuştur. Gaz kromatografisi ile belirlenen toplam pik alanlarına göre, en yüksek aroma içeriği 4.10 $x10^8$ pik alanı ile PKD-KPK sisteminde taşıyıcı ilaveli olarak kurutulan S2 numunesinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.19). Bu sonuç diğer tüm kurutma uygulamalarında belirlenen değerlerden önemli ($p<0.05$) düzeyde yüksek bulunmuştur. Tez kapsamında kullanılan taşıyıcı maddelerin (özellikle maltodekstrin ve gum arabic gibi karbonhidrat esaslı malzemelerin) uçucu bileşikleri kapsülleyerek oksidasyona ve uçucu bileşen kayıplarına karşı koruma sağladığı, bu sayede aroma stabilitesini artırdığı birçok çalışmada vurgulanmaktadır (Jafari vd. 2007, Carneiro vd. 2013, Zhao vd. 2021, Calderón-Oliver ve Ponce-Alquicira 2022). Nitekim Rao vd. (2007) aroma kayıplarının özellikle koruyucu ajan kullanılmadan yapılan kurutmalarda belirginleştiğini bildirmiştir. Benzer şekilde PKD-KPK sistemiyle taşıyıcı madde ilavesi yapılmadan kurutulan S1 numunesi, 3.82 $x10^8$ pik alanı ile ikinci yüksek aroma değerine sahip olmuştur. Bu veri PKD-KPK sisteminin hızlı kurutma performansı ve kurutma sırasındaki kontrollü sıcaklık dağılımı sayesinde aroma kayıplarını kısmen azalttığını göstermiştir.

Aynı sistemde uygulanan köpük kurutma yöntemiyle elde edilen S3 numunesi 3.74 $x10^8$ pik alanı ile üçüncü yüksek aroma değerine ulaşmıştır. Köpük kurutma tekniği, düşük sıcaklıkta geniş yüzey alanı ile hızlı kuruma sağlamakta ve protein esaslı köpük ajanlarının aromatik bileşikleri stabilize edici etkisi olduğu bildirilmektedir (Kadam vd. 2010). Ancak köpük oluşumuyla genişleyen yüzey alanı ve oluşan gözenekli yapı aromanın S1 ve S2'ye göre daha yüksek kayıplara uğramasına neden olmuş olabileceği değerlendirilmiştir.

Dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerde, özellikle püre (S8) ve dilim (S9) formlarında toplam aroma değerleri sırasıyla 3.00 $x10^8$ ve 2.72 $x10^8$ olarak belirlenmiştir.. Her ne kadar dondurarak kurutma işleminin düşük sıcaklık ve düşük basınç koşullarında aroma kaybını minimuma indirdiği rapor edilse de (Madhu vd. 2021). tez kapsamındaki sonuçlara göre dondurarak kurutmada elde edilen ürünlerin aroma içeriği PKD-KPK sisteminde kurutulan tüm örneklere nazaran daha düşük düzeyde bulunmuştur. Dondurarak kurutmadaki bu aroma kayıpları yüksek vakumda uygulanan uzun süreli kurutma işlemiyle ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir. En düşük aroma içeriği ise dondurarak kurutma yöntemiyle ve diş formunda kurutulan S7 numunesinde 2.77 $x10^8$ pik alanı ile kaydedilmiştir. Bu değer diğer kurutma yöntemleriyle elde edilen aroma sonuçlarından önemli ($p<0.05$) düzeyde düşüktür. Sarımsağın diş halde kurutulması aroma oluşum mekanizmasında aktif rol alan alliin allinaz etkileşimini sınırlamış ve aroma oluşumu daha düşük düzeyde kalmıştır.

Sıcak havada kurutulan örnekler ise PKD-KPK kurutulmuş örneklere nazaran daha düşük değerler almıştır. Sıcak hava kurutmanın yüksek sıcaklık ve uzun süreli işlem nedeniyle uçucu bileşiklerin termal bozunmasına neden olduğu ve özellikle kesilmiş, yüzeyi geniş materyallerde uçucu bileşen kaybının arttığı çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir (Zhang vd. 2006, Papu vd. 2014, Abe vd. 2020).

Elde edilen bu bulgular, aroma bileşiklerinin oluşumunda kontrollü enzim substrat etkileşimi ve oluşan aroma bileşiklerinin korunmasında düşük sıcaklık, kısa kurutma süresi ve uygun taşıyıcı madde kullanımının kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır.

4.5.7. Sarımsak tozlarına ait aroma profili

Farklı kurutma yöntemleriyle üretilen sarımsak tozlarının üretimden hemen sonra GC-MS ile belirlenen karakteristik uçucu bileşenlerinin düzeyleri kromatogramlardan elde edilen pik alanları üzerinden karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada literatürde (Bkz Çizelge 4.2) sarımsağa özgü olduğu belirtilen sekiz farklı aroma bileşiğinin (Allilmetil Sülfit, Allilmetil Disülfit, Dimetil Trisülfit, Diallil Disülfit, Allilmetil Trisülfit, 3-vinil-[4H]-1,2-dithiin, 3-vinil-1,2-dithiasikloheks-5-en ve Diallil Trisülfit) tez kapsamındaki uygulamalara bağlı değişimleri belirlenmiştir (Çizelge 4.21). Sarımsakta karakteristik aroma profilinin oluşmasında en baskın bileşiklerden biri olan Diallil Trisülfit (AZ: 17.673–17.689), özellikle S1 (PKD-KPK), S2 (taşıyıcılı PKD-KPK), ve S3 (köpük kurutmalı PKD-KPK) örneklerinde sırasıyla 181.08, 172.40 ve 193.23 milyon alan birimleriyle en yüksek uçucu bileşikler içeren örnekler olmuştur. Dondurarak kurutulan örneklerden S9'da ise bu değer 82.53 milyon alan olarak ölçülmüştür. Bu durum, PKD-KPK sistemlerinin aromatik sülfür bileşiklerinin korunumu açısından etkili olduğunu göstermektedir. Allilmetil Disülfit (AZ: 6.122–6.131), başta S2 numunesinde olmak üzere tüm sarımsak tozlarında (8.60 milyon alan) diğer bileşenlere göre düşük seviyede tespit edilmiştir. S1 (5.15 milyon alan), S3 (5.38 milyon alan) ve S4 (8.63 milyon alan) numuneleri bu bileşiği nispeten daha düşük düzeylerde taşımaktadır. Benzer şekilde Dimetil Trisülfit (7.673–7.679), S2 örneğinde 6.16 milyon alanla düşük bir düzeyde tespit edilen bileşiklerden biri olmuştur. Hatta bazı örneklerde (S5, S8, S9) tespit limitlerinin altında (T.E.) kalmıştır. Sarımsak karakteristik ana koku bileşenlerinden biri olan diallil disülfit (AZ: 11.100–11.783), PKD-KPK ile kurutulmuş S1 örneğinde 108.78, S4 (sıcak hava kurutmalı diş formu) örneğinde 119.17 ve S5 (sıcak hava kurutmalı püre formu) örneğinde 170.12 milyon alan birimiyle ölçülmüştür (Çizelge 4.21). Bu uçucu bileşenin yüksek ısıl işlem gören örneklerde daha yüksek düzeyde belirlenmesi dikkat çekici bulunmuştur. Bu bileşiğin allisinin parçalanması/bozunması sonucu oluşmuş olabileceği değerlendirilmiştir. Bu durum ısıl işlem gören örneklerdeki allisin azalışı (bkz Çizelge 4.19) ile bu bileşenin oluşumu arasında bir ilişki olabileceğini düşündürmektedir. Nitekim Zhou vd. (2025) allisinin parçalanması sonucunda dialil disülfit ve bazı sülfürlü bileşiklerin oluştuğunu belirtmiştir. Ancak diş ve bütün halde kurutulan sarımsak örneklerinde püre formuna kıyasla daha düşük düzeyde bulunması bu aroma bileşeninin daha çok alliin allinaz etkileşimi kaynaklı oluştuğu sonucuna götürmektedir.

Allilmetil Trisülfit (AZ: 12.883–12.933), genel olarak sarımsak tozlarında daha düşük oranda tespit edilen bir bileşiktir. Bu bileşik PKD-KPK örneklerinde (S1, S2, S3) diğerlerine nazaran daha yüksek düzeyde bulunmuştur. 3-vinil-[4H]-1,2-dithiin (AZ: 14.398–14.418), özellikle S6 (sıcak hava kurutmalı dilim formu) örneğinde 12.33 milyon alan ile en yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Diğer numunelerde genellikle düşük düzeylerde bulunmuş, bu bileşiğin dilim formunda sıcaklığın daha iç yapıya nüfuz etmesiyle daha fazla açığa çıktığı düşünülmektedir. 3-Vinil-1,2-dithiasikloheks-5-en (AZ: 15.184–15.223), en yüksek değere PKD-KPK köpük kurutmalı S3 örneğinde (19.59 milyon alan) ulaşmıştır.

Bu bileşik ısıl bozunmaya daha az duyarlı olduğundan, köpük yapının kısa sürede kuruması bu bileşiğin korunmasına katkı sağlamış olabilir. Son olarak, Diallil Trisülfit (AZ: 17.673–17.689) için en yüksek değer S3 örneğinde (193.23 milyon alan), ardından S1 (181.08 milyon alan) ve S2 (172.40 milyon alan) olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.21). Bu durum, PKD-KPK sisteminde özellikle köpük kurutmanın aromatik sülfür bileşiklerinin korunması açısından belirgin avantaj sağladığını göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, PKD-KPK sistemleriyle kurutulan örneklerin, diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek düzeyde uçucu sülfür bileşikleri taşıdığı, bu yöntemin aroma kalitesi açısından önemli avantaj sunduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.21. Sarımsak tozunun karakteristik aromasını oluşturan aroma profili (milyon alan)

A.Z.	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
2.015-2.020	T.E.	0.09±0.00	T.E.	0.10±0.00	0.78±0.00	T.E.	0.93±0.00	0.76±0.00	0.73±0.00
6.122-6.131	5.15±0.01	8.60±0.02	5.38±0.01	8.63±0.02	4.42±0.01	3.83±0.01	2.60±0.01	5.22±0.01	4.39±0.01
7.673-7.679	1.82±0.01	6.16±0.01	2.33±0.01	0.78±0.00	T.E.	1.38±0.00	T.E	T.E.	T.E.
11.100-11.783	108.78±1.37	95.85±0.12	94.99±0.22	119.17±1.25	170.12±2.19	90.14±0.25	137.26±1.39	137.63±1.38	135.09±1.83
12.883-12.933	45.80±0.10	71.81±0.11	52.86±0.12	32.63±0.08	14.85±0.09	39.89±0.11	12.71±0.02	16.90±0.07	14.41±0.06
14.398-14.418	11.36±0.07	15.45±0.08	7.72±0.01	2.57±0.01	4.25±0.02	12.33±0.14	4.32±0.00	9.27±0.03	9.37±0.03
15.184-15.223	27.79±0.08	39.75±0.09	19.59±0.15	9.21±0.01	13.49±0.03	29.14±0.16	13.39±0.08	27.08±0.02	25.06±0.14
17.673-17.689	181.08±2.21	172.40±2.13	193.23±3.27	152.99±1.92	121.23±1.65	172.25±2.18	106.45±1.27	103.73±1.25	82.53±0.24

A.Z. : Alıkonma zamanı, T.E. : Tespit edilemedi, Bileşiklerin isimleri Ek1'de verilmiştir.
S1 : PKD-KPK sisteminde püre formda kurutulmuş toz örnek
S2 : PKD-KPK sisteminde püre formda taşıyıcılı kurutulmuş toz örnek
S3 : PKD-KPK sisteminde püre formda köpürtülerek kurutulmuş toz örnek
S4 : Fırın kurutucuda diş formda kurutulmuş toz örnek
S5 : Fırın kurutucuda püre formda kurutulmuş toz örnek
S6 : Fırın kurutucuda dilim formda kurutulmuş toz örnek
S7 : Dondurarak kurutucuda diş formda kurutulmuş toz örnek
S8 : Dondurarak kurutucuda püre formda kurutulmuş toz örnek
S9 : Dondurarak kurutucuda dilim formda kurutulmuş toz örnek

4.6. Toz ürünlere ait duyusal analiz sonuçları

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen sarımsak tozlarının koku profilleri; taze sarımsak kokusu, keskin koku, çiğ (otsu) sarımsak kokusu, pişmiş sarımsak kokusu, istenmeyen koku ve karamelimsi koku olmak üzere altı temel parametre üzerinden değerlendirilmiştir. Buna göre en yüksek taze sarımsak kokusu algısı S1 örneğinde (4.4) gözlemlenmiştir. Bu örnek PKD-KPK sisteminde taşıyıcı madde içermeden üretilmiştir. S2, S7–S9 örnekleri de bu özelliği kısmen yansıtmaktadır. Taze sarımsak kokusu açısından en düşük değerler ise yüksek sıcaklıkta kurutulmuş S4 ve S6 örneklerinde belirlenmiştir. Taze sarımsak kokusunun PKD-KPK sisteminde kurutulan örneklerde yüksek algılanması muhtemelen örneğin kısa sürede kuruması sebebiyle içerdiği aroma maddelerini diğer örnekelere göre daha az kaybetmiş olabileceği ile ilişkilidir.

Çizelge 4.22. Sarımsak tozlarının duyusal analiz verilerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

	taze sarımsak	keskin koku	çiğ sarımsak	pişmiş sarımsak	istenmeyen koku	karamelimsi koku
S1	4.4 ± 0.6^{a}	4.3 ± 0.6^{ab}	2.6 ± 1.4^{b}	2.1 ± 0.7^{cd}	1.6 ± 1.0^{b}	1.4 ± 0.5^{b}
S2	4.0 ± 0.7^{ab}	4.6 ± 0.6^{a}	3.0 ± 1.3^{b}	1.8 ± 0.7^{d}	1.8 ± 0.8^{b}	1.9 ± 0.9^{b}
S3	3.5 ± 1.2^{b}	3.6 ± 1.0^{b}	2.7 ± 1.4^{b}	1.9 ± 0.9^{d}	1.5 ± 0.5^{b}	1.3 ± 0.4^{b}
S4	1.7 ± 0.6^{c}	2.4 ± 0.9^{c}	1.9 ± 0.7^{b}	4.1 ± 0.8^{a}	3.5 ± 1.1^{a}	4.3 ± 0.9^{a}
S5	3.4 ± 1.2^{b}	3.4 ± 1.1^{b}	2.6 ± 1.3^{b}	2.8 ± 1.1^{bc}	2.1 ± 1.2^{b}	1.8 ± 1.1^{b}
S6	1.8 ± 0.6^{c}	1.7 ± 0.4^{c}	2.1 ± 0.8^{b}	3.3 ± 1.0^{b}	4.0 ± 0.6^{a}	4.3 ± 0.6^{a}
S7	3.6 ± 0.8^{ab}	3.9 ± 0.5^{ab}	4.1 ± 1.^{1a}	1.6 ± 0.6^{d}	1.8 ± 0.9^{b}	1.4 ± 0.6^{b}
S8	3.4 ± 0.6^{b}	3.6 ± 1.1^{b}	4.3 ± 0.7^{a}	1.8 ± 0.6^{d}	1.7 ± 0.7^{b}	1.4 ± 0.5^{b}
S9	3.7 ± 0.4^{ab}	3.7 ± 0.7^{b}	4.4 ± 0.6^{a}	1.8 ± 0.7^{d}	1.5 ± 0.6^{b}	1.2 ± 0.4^{b}

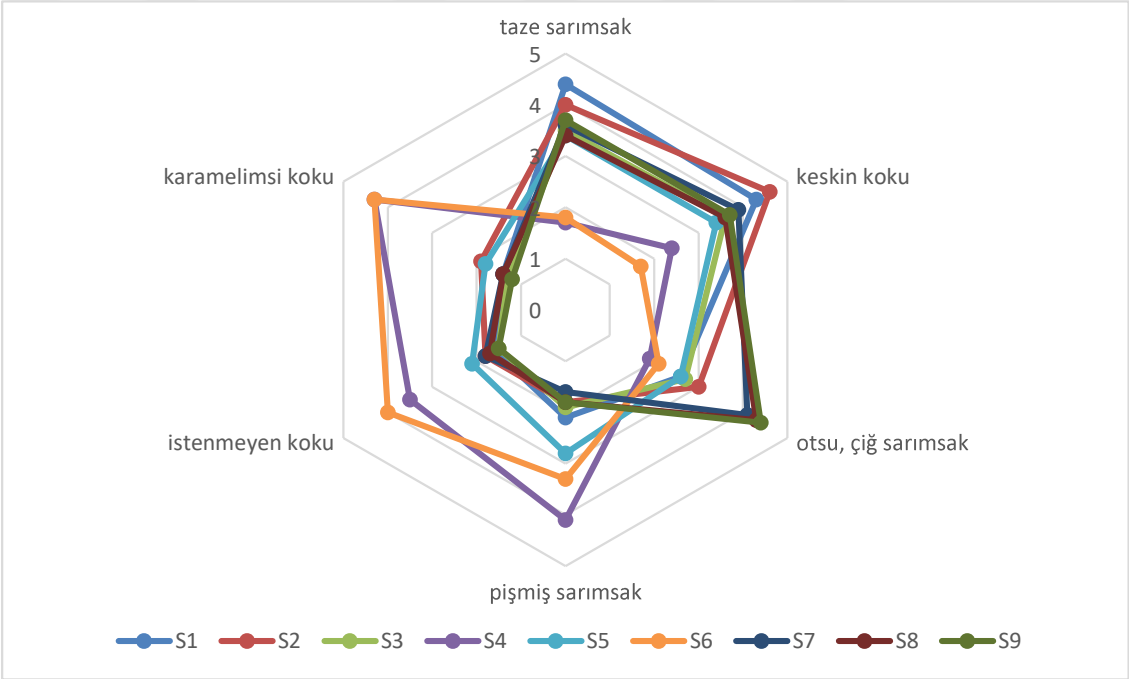
S1 : PKD-KPK sisteminde püre formda kurutulmuş toz örnek
S2 : PKD-KPK sisteminde püre formda taşıyıcılı kurutulmuş toz örnek
S3 : PKD-KPK sisteminde püre formda köpürtülerek kurutulmuş toz örnek
S4 : Fırın kurutucuda diş formda kurutulmuş toz örnek
S5 : Fırın kurutucuda püre formda kurutulmuş toz örnek
S6 : Fırın kurutucuda dilim formda kurutulmuş toz örnek
S7 : Dondurarak kurutucuda diş formda kurutulmuş toz örnek
S8 : Dondurarak kurutucuda püre formda kurutulmuş toz örnek
S9 : Dondurarak kurutucuda dilim formda kurutulmuş toz örnek

Keskin koku (pungency) sarımsağın karakteristik aromatik bileşenlerinden (diallilsülfit, diallildisülfit, dialliltrisülfit, allil metil sülfit) kaynaklanmaktadır. En yüksek panel puanları S2 ve S1 örneklerine (4.6 ve 4.3) ait olmuştur. Bu sonuçlar, PKD-KPK sistemin kurutma süresini önemli ölçüde kısaltılması ve özellikle taşıyıcı eklenmesinin aroma stabilitesine olumlu etkisini göstermektedir. Sıcak havada kurutulan örneklerde ise (S4, S6) nispeten daha düşük değerler ortaya çıkmıştır. En yüksek çiğ sarımsak kokusu, dondurarak kurutulan S7–S9 örneklerinde (4.1–4.4) algılanmıştır. Bunun, düşük sıcaklığın uçucu bileşen kaybını azaltarak taze aromayı daha iyi koruduğundan kaynakladığı söylenebilir. S4, S5, S6 gibi fırın kurutulan örneklerde değerler düşüktür. En yüksek pişmiş sarımsak kokusu S4 (4.1) ve S6 (3.3) örneklerinde gözlemlenmiş olup bu durum yüksek sıcaklıkta uygulanan kurutma işleminin pişmiş aromaların gelişimini teşvik ettiğini göstermektedir. Bu özellik dondurarak kurutulan veya PKD-KPK sisteminde kurutulan örneklerde zayıftır. S6 ve S4 örneklerinde istenmeyen koku seviyesi oldukça yüksektir (4.0 ve 3.5). Bu durum, uzun süreli ve yüksek sıcaklıkta kurutmanın aroma bozulmasına neden olabileceğini göstermektedir. Dondurarak kurutulan ve PKD-KPK sisteminde kurutulan örneklerde bu değerler belirgin şekilde düşüktür. Karamelimsi aromalar, Maillard reaksiyonu ve termal süreçlerin bir sonucu olarak değerlendirilmektedir. Bu özellik S4 ve S6 örneklerinde çok yüksek bulunmuştur (4.21). Diğer örneklerde bu aroma minimal düzeydedir. Bu da sıcak hava kurutmanın bu aromayı baskın şekilde oluşturduğunu göstermektedir. Tüm örneklerin birbirlerinden tüm parametreler açısından istatitiksel olarak önemli seviyede ($p < 0.05$) farklı oldukları belirlenmiştir (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.23. Sarımsak tozlarının duyusal analiz verilerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarının varsyans analizi

Taze sarımsak	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	68.16	8.52	10.80	<0.0001
Hata	81	63.9	0.79		
Toplam	89	132.06			
Keskin koku	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	65.2	8.15	10.13	<0.0001
Hata	81	65.2	0.81		
Toplam	89	130.40			
Çiğ sarımsak	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	72.36	9.04	6.42	<0.0001
Hata	81	114.10	1.41		
Toplam	89	186.46			
Pişmiş sarımsak	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	59.02	7.38	9.40	<0.0001
Hata	81	63.60	0.79		
Toplam	89	122.62			
İstenmeyen koku	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	68.40	8.55	9.35	<0.0001
Hata	81	74.10	0.92		
Toplam	89	142.50			
Karamelimsi koku	**SD**	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	8	127.29	15.91	27.08	<0.0001
Hata	81	47.60	0.59		
Toplam	89	174.89			

Ayrıca elde edilen veriler radar grafiğine aktarılmıştır. Bu garfikte sıcak hava kurutma yöntemiyle üretilen örneklerin "pişmiş", "karamelimsi" ve "istenmeyen" aromalarda ön plana çıktığı, buna karşılık taze, keskin ve çiğ sarımsak kokularının baskın olduğu örneklerin PKD-KPK ve özellikle dondurarak kurutulan sarımsak tozları olduğu görülmektedir (Şekil 4.17). Duyusal analiz sonuçları PKD-KPK sistemi ile kurutma yönteminin (S1–S3) taze sarımsağın karakteristik aromalarının korunmasında başarılı olduğu göstermiştir. Dondurarak kurutma (S7–S9), çiğ sarımsak ve keskin aromaların en iyi korunduğu yöntem olarak öne çıkmaktadır. Sıcak hava kurutmanın (S4–S6) ise pişmiş ve karamelimsi aromaları belirginleştirse de istenmeyen aromaların artmasına sebep olduğu söylenebilir. Bu bulgular, sarımsak tozu üretiminde hedeflenen aroma profilini elde etme PKD-KPK sisteminin daha iyi sarımsak aroması oluşumunda etkili olabileceğini göstermektedir.



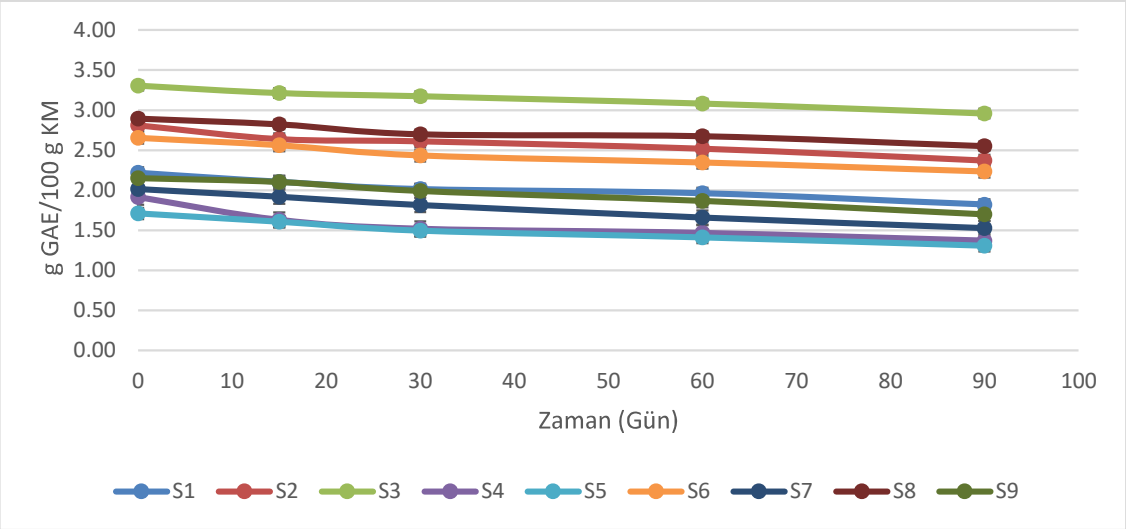
Şekil 4.17. Sarımsak tozlarının duyusal analiz sonuçları

4.7. Sarımsak tozlarında depolama analizleri

4.7.2. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı TFİ değişimi

Tez kapsamında toz örneklerin depolama süresince toplam fenolik içeriklerinde (TFİ) meydana gelen değişim değerlendirilmiştir. Ölçümler, 0., 15., 30., 60. ve 90. günlerde yapılmış ve sonuçlar mg GAE/100 g kuru madde cinsinden ifade edilmiştir. Grafikte, TFİ değerlerinin zaman içerisindeki değişim eğilimleri gösterilmiş olup tüm numunelerde istisnasız olarak TFİ'de azalma gözlemlenmiştir (Şekil 4.18).

En dikkat çekici azalma, S4, S5 ve S7 numunelerinde meydana gelirken; S3, S8 ve S2 numunelerinde azalma daha sınırlı kalmıştır. Bu, kurutma yöntemi ve örnek morfolojisinin fenolik bileşiklerin stabilitesi üzerinde doğrudan etkili olduğunu düşündürmektedir. S3 numunesi, PKD-KPK sisteminde köpük kurutma yöntemiyle elde edilmiş olup, hem başlangıç hem de 90. gün değerleri açısından en yüksek TFİ'yi korumuştur. Köpük yapının kısa sürede kuruması bu sonucu destekler niteliktedir. Dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen S8 ve S7 numuneleri de yüksek başlangıç değerlerine sahip olmakla birlikte, S8 püre formu sayesinde fenolik bileşikleri depolama boyunca daha etkin korurken, S7 (diş formu) daha fazla kayba uğramıştır. Bu fark, ürünün yüzey alanı ve yapısal geçirgenliği ile açıklanabilir. Sıcak hava kurutma yöntemiyle üretilen S4, S5 ve S6 numuneleri, TFİ açısından en düşük değerlere sahip olmuş ve zamanla bu değerlerde ciddi azalmalar gözlemlenmiştir. Özellikle S4 ve S5 örneklerinde görülen bu düşüş, yüksek sıcaklıkta uzun süreli kurutma işleminin fenolik bileşiklerin bozunmasına neden olduğunu göstermektedir. Taşıyıcılı PKD-KPK sisteminde kurutulan S2 numunesi ise fenolik içeriği koruma açısından oldukça başarılı olmuş, bu da taşıyıcıların fenolik bileşikleri enkapsüle ederek çevresel etkilere karşı koruyabildiğini göstermiştir.



Şekil 4.18. Depolama süresince sarımsak tozlarının TPC değişimleri

Kurutma yöntemine göre ortalama TFİ değerleri Çizelge 4.23'de gösterilmiştir. Numuneler arasında depolama süresince değişim açısından istatistiksel olarak önemli seviyede bir fark olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). Fenolik bileşiklerin zamanla oksidatif bozunmaya uğradığı, bu nedenle depolama süresi arttıkça fenolik içeriklerinin azaldığı görülmektedir. Depolama testlerinde uygulanan kurutma yöntemine ve depolama süresine bağlı değişimler faktöriyel deneme desenine göre varyans analizine tabi tutularak önemli bulunan farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testiyle karşılaştırılmıştır (Çizlge 4.23).

Çizelge 4.24. Depolama süresince TFİ değerlerindeki değişim ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

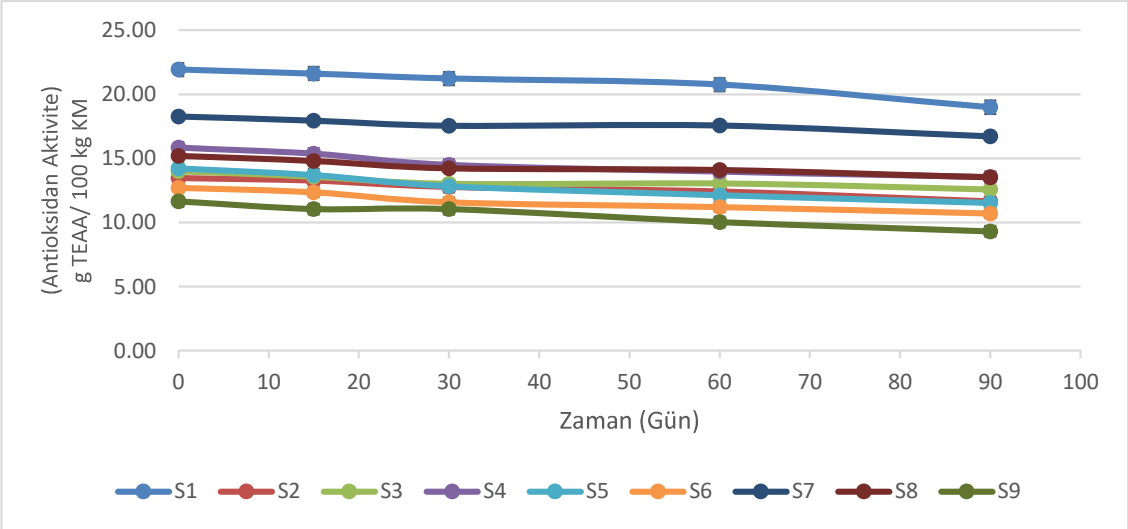
Varyasyon Kaynakları		TFİ (mg GAE/100 g KM)
Kurutma Yöntemi	S1	2.03 ± 0.04^{e}
	S2	2.59 ± 0.05^{c}
	S3	3.15 ± 0.04^{a}
	S4	1.58 ± 0.06^{h}
	S5	1.51 ± 0.05^{i}
	S6	2.45 ± 0.05^{d}
	S7	1.79 ± 0.06^{g}
	S8	2.73 ± 0.04^{b}
	S9	1.96 ± 0.05^{f}
Depolama Süresi (Gün)	0	2.41 ± 0.12^{a}
	15	2.29 ± 0.13^{b}
	30	2.19 ± 0.13^{c}
	60	2.11 ± 0.13^{d}
	90	1.98 ± 0.13^{e}

Çizelge 4.25. Depolama süresince TFİ değerlerindeki değişim ortalamalarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analiz sonuçları

	SD	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	12	26.93	2.24	1385.74	<0.0001
Hata	77	0.13	0.01		
Toplam	89	27.05			

4.7.3. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı AA değişimi

Bu bölümde farklı kurutma yöntemleriyle elde edilen sarımsak tozlarının antioksidan aktiviteleri (AA) üzerindeki etkiler, 90 günlük depolama süresi boyunca değerlendirilmiştir. Antioksidan aktivite, Trolox eşdeğeri (g TEAA/kg kuru madde) cinsinden ölçülmüş ve her numune için 0., 15., 30., 60. ve 90. günlerde analiz edilmiştir.



Şekil 4.19. Depolama süresince sarımsak tozlarının antioksidan aktivitelerindeki değişimler

Verilen grafiğe göre tüm numunelerde antioksidan aktivite değerlerinde zamana bağlı olarak azalma gözlemlenmiştir (Şekil 4.19). Ancak bu azalma, kurutma yöntemi ve numune formuna göre değişiklik göstermiştir. Örneğin S1 numunesi, PKD-KPK sisteminde taşıyıcısız olarak kurutulmuş olup başlangıçta en yüksek antioksidan aktiviteye sahip örnek olmuştur. Ancak depolama süresi ilerledikçe, S1 numunesi önemli oranda azalarak 90. gün sonunda belirgin düşüş göstermiştir. Bu durum, yüksek başlangıç düzeyinin taşıyıcı koruması olmaksızın depolama sürecine karşı daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Dondurarak kurutulan S7 numunesi, başlangıçta yüksek antioksidan kapasiteye sahip ikinci örnek olmuştur. Dondurarak kurutma yöntemi, düşük sıcaklık ve oksijen seviyelerinde gerçekleştiğinden, antioksidan bileşiklerin (özellikle sülfürlü bileşiklerin ve fenolik yapıların) ısıl bozunmaya maruz kalmadan korunmasını mümkün kılmaktadır. Depolama süreci boyunca S7, S1'e kıyasla daha kararlı bir değişim göstermiştir. Bu da dondurarak kurutmanın yalnızca başlangıç kalitesini değil, aynı zamanda raf ömrü boyunca ürünün stabilitesi de olumlu yönde etkilediğini ortaya koymaktadır. S4 ve S8 numuneleri ise orta düzeyde antioksidan aktiviteye sahip örneklerdir. Her iki örnek de 90 günlük süre boyunca değerlerinde anlamlı düşüş göstermiştir. Özellikle S4'te sıcak hava kurutma kaynaklı yüksek sıcaklığın başlangıçta bazı antioksidan bileşiklerde kayıplara neden olduğu, ancak kompakt yapı sayesinde depolama sırasında bu kaybın göreli olarak sınırlı kaldığı düşünülmektedir. S2, S3, S5 ve S6 numuneleri daha düşük başlangıç AA değerlerine sahiptir. S2 ve S5 gibi sırasıyla taşıyıcılı ve püre formlu örneklerden taşıyıcı içeren örnek, AA'yı başlangıçta stabilize etse de depolama sürecinde koruyucu etkisinin sınırlı kalabileceği görülmektedir. S3, köpük kurutma ile elde edilmiş olmasına rağmen, yapısal geçirgenliği nedeniyle depolama sürecinde daha fazla azalma göstermiştir. En düşük AA değeri ise S9 numunesinde ölçülmüştür, bu durum dondurarak kurutulmuş olsa da kullanılan ürün formunun (dilim) antioksidan bileşiklerin korunmasında yetersiz kaldığını göstermektedir (Şekil 4.19).

Çizelge 4.26. Depolama süresince antioksidan aktivitelerindeki değişim ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Antioksidan aktivite (g TEAA/kg KM)
Kurutma Yöntemi	S1	20.90 ± 0.36[a]
	S2	12.71 ± 0.22[f]
	S3	13.24 ± 0.17[e]
	S4	14.64 ± 0.29[c]
	S5	12.88 ± 0.33[f]
	S6	11.71 ± 0.25[g]
	S7	17.61 ± 0.17[b]
	S8	14.37 ± 0.20[d]
	S9	10.61 ± 0.28[h]
Depolama Süresi (Gün)	0	15.25 ± 0.72[a]
	15	14.85 ± 0.73[b]
	30	14.30 ± 0.74[c]
	60	13.91 ± 0.76[d]
	90	13.17 ± 0.69[e]

Çizelge 4.25 ve 4.26 incelendiğinde veriler, depolama süresi ilerledikçe antioksidan aktivitenin önemli ve sürekli bir biçimde azaldığını göstermektedir. Bu düşüşün enzimatik ve oksidatif reaksiyonlardan kaynaklandığı, ortam oksijenine maruz kalma ve yapı geçirgenliğinin bu süreci hızlandırdığı düşünülmektedir. Her bir zaman noktası, istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılık göstermiştir ($P < 0.05$).

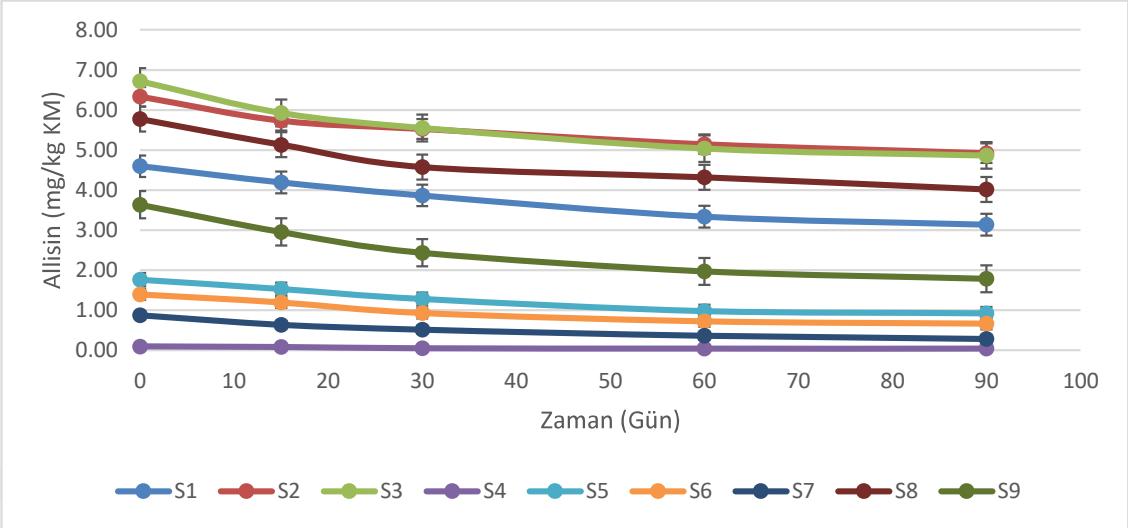
Çizelge 4.27. Depolama süresince antioksidan aktivitelerindeki değişim ortalamalarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analiz sonuçları

	SD	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	12	853.70	71.14	797.51	<0.0001
Hata	77	6.87	0.09		
Toplam	89	860.57			

4.7.4. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı allisin değişimi

Allisin (diallil tiyosülfinat), sarımsağın biyolojik etkilerinden büyük oranda sorumlu olan, ancak aynı zamanda son derece kararsız ve ısıya duyarlı bir bileşiktir. Bu çalışmada, farklı kurutma yöntemleriyle elde edilen sarımsak tozlarının 90 günlük depolama süresi boyunca allisin içeriklerindeki değişim takip edilmiştir.

Sonuçlar, mg/kg KM cinsinden değerlendirilmiş ve her numune için 0., 15., 30., 60. ve 90. günlerde analiz edilmiştir.



Şekil 4.20. Depolama süresince sarımsak tozlarının allisin miktarlarındaki değişimler

Grafikte yer alan sonuçlara göre, tüm örneklerde zamanla allisin miktarında istatistiksel olarak önemli bir azalma meydana gelmiştir. Ancak azalış miktarları açısından numuneler arasında belirgin farklar bulunmaktadır. En yüksek başlangıç allisin içeriği S3 (6.72 mg/kg KM) ve S2 (6.33 mg/kg KM) numunelerinde gözlemlenmiş, bu örnekler PKD-KPK sisteminde sırasıyla köpük kurutma ve taşıyıcılı kurutma ile elde edilmiştir (Şekil 4.20). Bu durum, allisinin kurutma sürecinde yeterince korunabildiğini, bunun da özellikle köpük yapının hızlı kuruma özelliği sayesinde allisinin ısıl bozunmaya daha az maruz kalmasıyla ilişkili olduğunu düşündürmüştür. Ayrıca taşıyıcı kullanımının da allisinin dış ortamla olan temasını azaltarak bileşiğin fiziksel olarak korunmasını kolaylaştırdığı söylenebilir. Bu iki örnek, 90 günlük depolama sonunda bile sırasıyla 4.88 mg/kg KM (S3) ve 4.81 mg/kg KM (S2) düzeylerinde yüksek allisin değerlerini koruyabilmiştir. Buna karşılık, S1 numunesi (aynı kurutma sisteminde taşıyıcısız olarak kurutulmuş) daha düşük başlangıç değerine sahip olmuş (4.60 mg/kg KM) ve depolama sürecinde daha hızlı azalma göstermiştir (3.00 mg/kg KM). Bu durum, taşıyıcı maddelerin allisinin stabilitesine katkısını açıkça desteklemektedir. Dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan numuneler arasında S8 (5.77 mg/kg KM), püre haline getirilmesi sırasında meydana gelen enzim-substrat etkileşimi nedeniyle daha yüksek allisin değerine ulaşmıştır. Ancak dondurarak kurutmanın ardından depolama sürecinde yavaş ama sürekli bir düşüşle 90. günde 4.10 mg/kg KM seviyesine inmiştir. Dondurarak kurutma yöntemi düşük sıcaklık avantajı sunsa da, oluşan gözenekli yapının oksijen geçirgenliği, özellikle depolama sırasında allisinin oksidatif bozulmasını kolaylaştırdığı değerlendirilmiştir. Aynı grupta yer alan S9 (dilim formu) örneğinin allisin içeriği ise depolama süresince 3.64 mg/kg KM'den 2.17 mg/kg KM' kadar önemli düzeyde ($p<0.05$) bir azalma göstermiştir. Sıcak hava kurutmayla elde edilen örneklerde (S4, S5, S6) ise allisin değerleri zaten oldukça düşüktür. S4 (0.10 mg/kg KM) örneği, başlangıçta en düşük allisin içeriğine sahip olmuş ve bu değer depolama boyunca da anlamlı bir değişiklik göstermeden düşük seviyede kalmıştır.

Bu, sıcak hava kurutmanın yüksek sıcaklık ve uzun süreli işlem nedeniyle allisini neredeyse tamamen bozduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.28. Depolama süresince allisin miktarındaki değişim ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Allisin Miktarı (mg/kg KM)
Kurutma Yöntemi	S1	3.82 ± 0.18^{c}
	S2	5.53 ± 0.16^{a}
	S3	5.62 ± 0.22^{a}
	S4	0.06 ± 0.01^{h}
	S5	1.30 ± 0.11^{e}
	S6	0.98 ± 0.09^{f}
	S7	0.54 ± 0.07^{g}
	S8	4.76 ± 0.21^{b}
	S9	2.56 ± 0.22^{d}
Depolama Süresi (Gün)	0	3.46 ± 0.58^{a}
	15	3.04 ± 0.52^{b}
	30	2.75 ± 0.50^{c}
	60	2.43 ± 0.47^{d}
	90	2.29 ± 0.45^{d}

Çizelge 4.27 incelendiğinde en yüksek ortalama allisin miktarlarının S2 ve S3 numunelerinde tespit edildiği görülmektedir. Bu numuneler, hem allisinin başlangıçta korunmasını hem de depolama boyunca stabil kalmasını sağlamıştır. Bunu takiben S8 numunesi gelmektedir. Dondurarak kurutma işleminin düşük sıcaklıklı karakteri, allisinin ısıl bozunmadan korunmasına katkı sağlamıştır. Ancak dondurarak kurutma sonrası elde edilen gözenekli yapı, depolama sürecinde oksijen geçirgenliğini artırarak bileşiğin yavaş bir şekilde azalmasına neden olmuş olabilir. S1 numunesi 3.82 mg/kg KM düzeyiyle orta grupta yer almıştır. Bu değer, taşıyıcı kullanımının allisin stabilitesine olan pozitif etkisini desteklemektedir. Fırın kurutulan örnekler olan S4, S5 ve S6, allisin değerleri açısından en düşük seviyelerdedir. Özellikle S4 numunesinde allisin neredeyse yok denecek kadar az kalmıştır (0.06 ± 0.01 mg/kg KM), bu da yüksek sıcaklık ve uzun süreli kurutmanın allisini termal olarak neredeyse tamamen bozduğunu göstermektedir. Aynı şekilde S7 (dondurarak kurutma, diş formu) numunesinde de oldukça düşük değer gözlenmiş, bu da ürün formunun (kompaktlık, yüzey alanı gibi) bileşik stabilitesi üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Depolama süresine bağlı olarak allisin miktarında istatistiksel olarak önemli bir azalma gözlenmiştir (Çizelge 4.28). Depolamanın başlangıcından itibaren başlayan düşüş, 90. güne kadar kademeli olarak devam etmiş ve 60. gün ile 90. gün arasındaki değerler istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir. Bu durum, allisin kaybının özellikle ilk 30–60 gün içerisinde daha hızlı gerçekleştiğini ve ilerleyen dönemlerde nispeten yavaşladığını göstermektedir.

Bu kayıplar, allisinin termal kararsızlığından kaynaklanmakta; depolama süresince oksijen, ışık ve sıcaklık gibi çevresel faktörler ile reaksiyona girerek daha stabil, ancak biyolojik olarak daha az aktif türev bileşiklere dönüşmektedir (ör. diallil disülfid, ajoen).

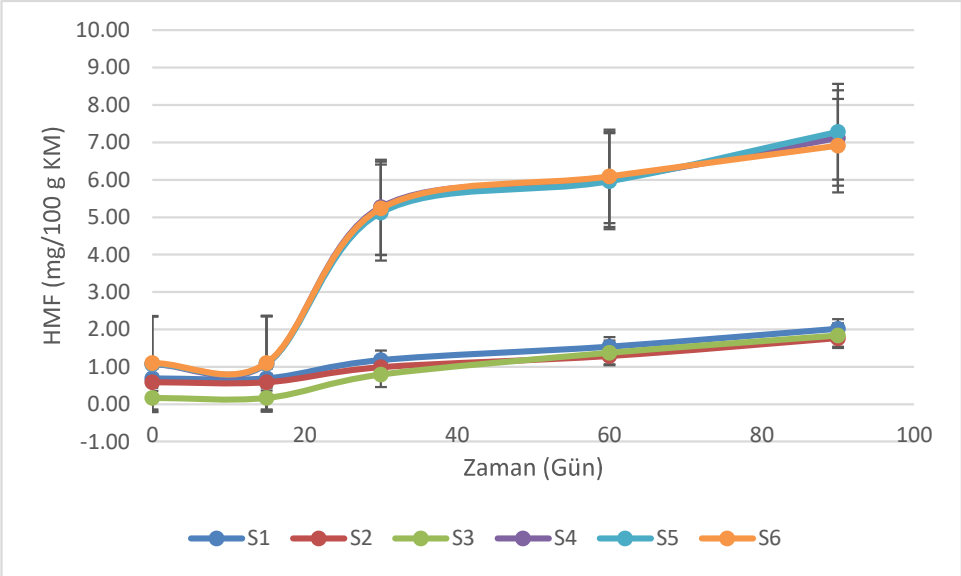
Çizelge 4.29. Depolama süresince allisin miktarındaki değişim ortalamalarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analiz sonuçları

	SD	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	12	401.54	33.46	593.88	<0.0001
Hata	77	4.34	0.056		
Toplam	89	405.87			

4.7.5. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı HMF değişimi

Özellikle şeker içeren gıdalarda ısıl işlem ya da depolama sırasında Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon gibi kimyasal süreçlerin bir sonucu olarak oluşan 5-Hidroksimetilfurfural (HMF), önemli bir kalite ve güvenlik belirtecidir. HMF oluşumu, ürünün renk, tat ve aroma karakteristiği üzerinde etkili olmasının yanı sıra, aşırı birikimi durumunda potansiyel toksisite riski de taşımaktadır. Tez kapsamında, sarımsak tozlarının farklı kurutma yöntemleriyle elde edilmesinin ardından, 90 gün süresince HMF miktarındaki değişim takip edilmiş (Şekil 4.21) ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.31'e; göre kurutma yöntemi, HMF miktarı üzerinde önemli bir etki göstermiştir ($p < 0.05$). Özellikle S4, S5 ve S6 numunelerinde HMF seviyeleri oldukça yüksektir (4.09–4.11 mg/100 g KM). Bu numunelerin tamamı sıcak hava kurutma yöntemiyle elde edilmiş olup, yüksek sıcaklık ve uzun işlem süresinin HMF oluşumunu hızlandırdığı görülmektedir. Buna karşılık, S1, S2 ve S3 numunelerinde HMF seviyeleri önemli ölçüde daha düşüktür (sırasıyla 1.22, 1.04 ve 0.87 mg/100 g KM). Bu numunelerde uygulanan pirometre kontrollü kızılötesi destekli kurutma sisteminde, daha kısa sürede hedef nem seviyesine ulaşıldığı için sıcaklığa maruz kalma süresi azalmış ve dolayısıyla HMF oluşumu minimumda tutulmuştur. Özellikle S3 örneği (köpük kurutma), düşük HMF değeri ile dikkat çekmekte; bu da köpük yapının daha hızlı kuruması sayesinde Maillard ara ürünlerinin HMF'ye dönüşümünü sınırlandırdığı şeklinde yorumlanabilir. Dondurarak kurutulan (S7, S8, S9) numunelere ait HMF miktarı analiz edilebilen sınırın altında kaldığı için ya N/A olarak belirtilmiş ve yöntemin karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılamamıştır. Dondurarak kurutma işleminin genellikle HMF oluşumuna neden olmadığı bilinmektedir, çünkü bu yöntem düşük sıcaklık ve vakum altında çalışır ve Maillard reaksiyonlarını başlatacak enerji koşullarını sağlamaz.



Şekil 4.21. Depolama süresince sarımsak tozlarının HMF miktarlarındaki değişimler (Dondurarak kurutulmuş örneklerde HMF tespit edilebilir limitlerin altındadır)

Çizelge 4.30. Depolama süresince HMF miktarındaki değişim ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

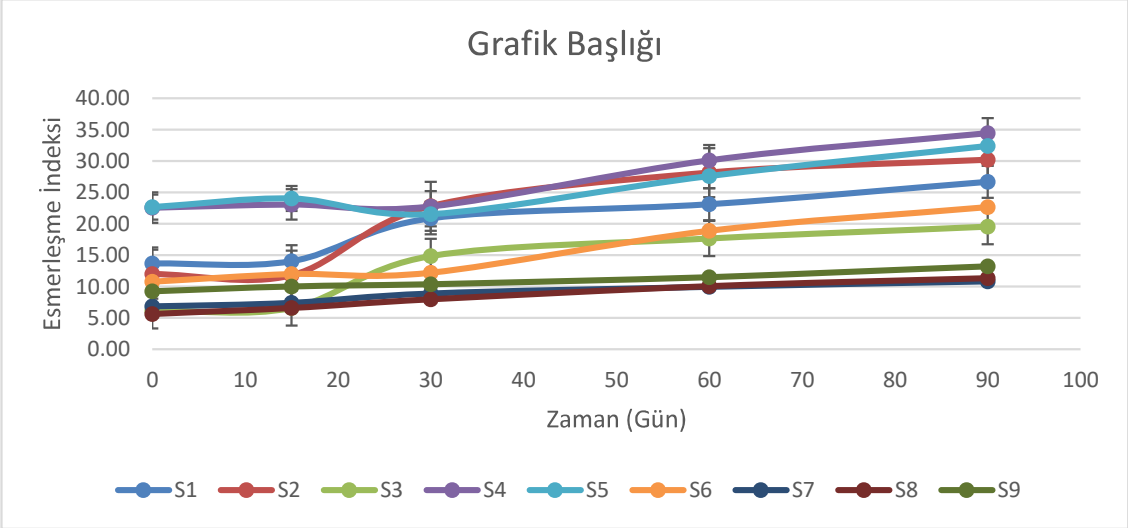
Varyasyon Kaynakları		HMF (mg/100 g KM)
Kurutma Yöntemi	S1	1.22 ± 0.54^{b}
	S2	1.04 ± 0.15^{b}
	S3	0.87 ± 0.22^{b}
	S4	4.11 ± 0.85^{a}
	S5	4.11 ± 0.86^{a}
	S6	4.09 ± 0.83^{a}
	S7	N/A
	S8	N/A
	S9	N/A
Depolama Süresi (Gün)	0	0.78 ± 0.10^{c}
	15	0.79 ± 0.10^{c}
	30	3.10 ± 0.64^{b}
	60	3.71 ± 0.70^{ab}
	90	4.49 ± 0.79^{a}

Çizelge 4.31. Depolama süresince HMF miktarındaki değişim ortalamalarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analiz sonuçları

	SD	KT	KO	F değeri	*P* değeri
Model	9	280.53	31.17	25.07	<0.0001
Hata	50	62.16	1.24		
Toplam	59	342.68			

4.7.6. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı Eİ değişimi

Grafikte tüm kurutma yöntemlerinde depolama süresi ilerledikçe EI değerinin kademeli olarak arttığı açıkça görülmektedir (Şekil 4.22). S3 numunesi depolamanın başlangıcında en yüksek başlangıç EI değerine sahiptir (yaklaşık ~24) ve 90. gün sonunda EI değeri ~35'e yükselerek tüm numuneler içinde en yüksek seviyede kalmıştır. Benzer şekilde, S6 numunesinin EI değeri ~21'den ~33'e çıkmıştır. Bütün örneklerde EI zamanla artmıştır; ortalama olarak depolamanın başlangıcındaki değeri ~14 civarında iken 90. gün sonunda yaklaşık %85 oranında artarak ~26'ya ulaşmıştır. Bu artış, sarımsak tozlarında depolama süresi boyunca belirgin bir renk koyulaşması yaşandığını göstermektedir. En fazla renk değişimi yaşanan numuneler incelendiğinde S2 numunesi dikkat çekicidir; EI değeri yaklaşık depolamanın başlangıcında 12'den 90. günde 30'a çıkarak en yüksek artışı (~18 birim) göstermiştir. Buna karşılık, renk değişiminin en az olduğu numuneler S7 ve S8'dir. S7'nin EI değeri ~9'dan ~18'e yükselirken, S8 örneğinde ~13'ten ~19'a daha sınırlı bir artış görülmüştür. Bu sonuçlar, S7 ve S8 numunelerinin renk açısından daha stabil kaldığını, buna karşın S2, S1 ve S9 numunelerinin depolama boyunca daha fazla kararma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır (Çizelge 4.31).



Şekil 4.22. Depolama süresince sarımsak tozlarının esmerleşme indekslerindeki değişimler

Çizelge 4.32. Depolama süresince esmerleşme indeksi miktarındaki değişim ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Eİ
Kurutma Yöntemi	S1	19.68 ± 1.70^{b}
	S2	20.99 ± 2.60^{b}
	S3	12.94 ± 2.60^{d}
	S4	26.60 ± 1.61^{a}
	S5	25.66 ± 1.32^{a}
	S6	15.30 ± 1.55^{c}
	S7	8.78 ± 0.50^{ef}
	S8	8.31 ± 0.71^{f}
	S9	10.87 ± 0.46^{de}
Depolama Süresi (Gün)	0	12.16 ± 1.49^{d}
	15	12.83 ± 1.51^{d}
	30	15.81 ± 1.42^{c}
	60	19.67 ± 1.84^{b}
	90	22.37 ± 2.10^{a}

Çizelge 4.33. Depolama süresince esmerleşme indeksi miktarındaki değişim ortalamalarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analiz sonuçları

	SD	**KT**	**KO**	**F değeri**	***P* değeri**
Model	12	5276.70	439.73	69.63	<0.0001
Hata	77	486.25	6.32		
Toplam	89	5762.95			

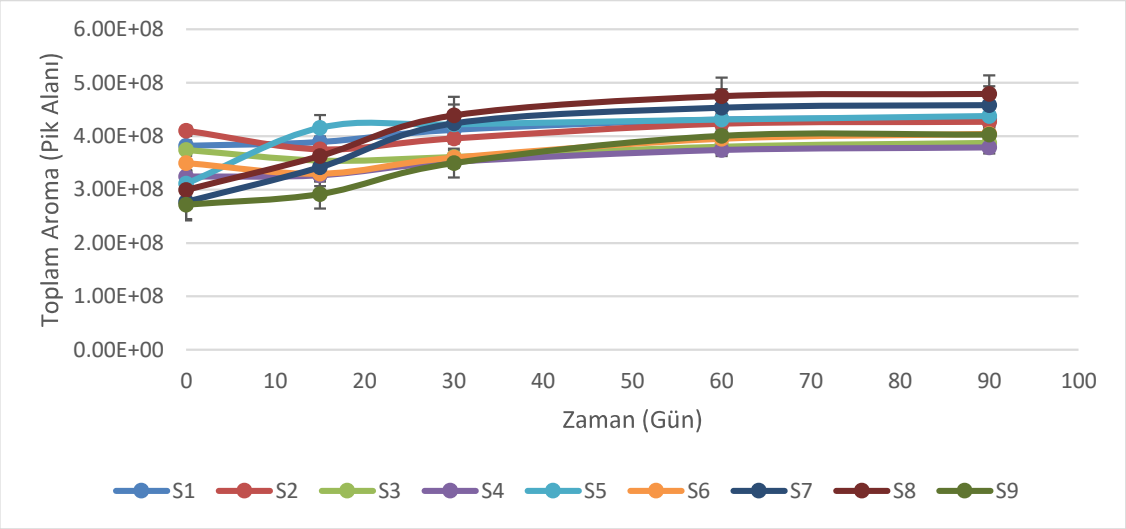
Elde edilen sonuçlar, kurutma yönteminin ve depolama süresinin EI değeri üzerinde istatistiki olarak önemli seviyede ($p<0.05$) etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.31). Depolama süresince sarımsak tozlarında gözlemlenen EI artışının temel nedeni, gıda maddelerinde zamanla gerçekleşen kimyasal esmerleşme reaksiyonlarıdır. Bunların başında Maillard reaksiyonu gelmektedir. Maillard reaksiyonu, indirgen şekerler ile amino asitler arasında gerçekleşen ve kahverengi "melanoidin" pigmentlerinin oluşumuna yol açan karmaşık bir dizi tepkimedir. Düşük nem içeriğine rağmen sarımsak tozunda kalan az miktarda nem ve uygun sıcaklık, depolama sırasında yavaş da olsa Maillard reaksiyonlarının ilerlemesine izin verebilir.

Bunun yanı sıra, pigment bozulmaları ve oksidatif reaksiyonlar da EI artışında rol oynar. Sarımsak tozunda başlangıçta mevcut olan doğal açık renkli bileşiklerin (örneğin bazı

fenolik bileşenlerin veya varsa iz miktarda karotenoidlerin) zamanla bozunarak daha koyu ürünler oluşturması mümkündür.

4.7.7. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı TA değişimi

Sarımsak tozlarının aroma kalitesi, özellikle uçucu bileşiklerin bileşim ve miktarına bağlı olarak şekillenir. Depolama süresince bu aroma bileşiklerinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi, ürünün raf ömrü ve tüketici kabulü açısından büyük önem taşır. Bu çalışmada, farklı kurutma yöntemleriyle elde edilen sarımsak tozlarının toplam aroma (TA) miktarları 0., 15., 30., 60. ve 90. günlerde ölçülmüş ve elde edilen veriler Şekil 4.23'de grafik olarak sunulmuştur. Aynı zamanda, standart sapmalarla birlikte ortalama değerler de analiz edilmiştir (Çizelge 4.33 ve 4.34).



Şekil 4.23. Depolama süresince sarımsak tozlarının toplam aroma miktarlarındaki değişimler

Tüm numunelerde depolama süresinin artmasıyla birlikte toplam aroma pik alanı genel olarak artan bir eğilim göstermiştir. Bu durum, depolama süreci boyunca allisin gibi kararsız bileşiklerin parçalanarak daha stabil ve uçucu aromatik sülfür bileşiklerine dönüşmesiyle ilişkilendirilebilir. Toplam aroma değerlerinde özellikle 30. günden sonra belirgin bir artış gözlenmekte; 60. ve 90. günlerde ise bazı numunelerde plato eğilimi oluşmaktadır. En yüksek aroma artışı S8 ve S9 (dondurarak kurutulmuş) numunelerinde gözlemlenmiştir. Dondurarak kurutma yöntemi; düşük sıcaklıkta ve vakum altında uygulandığından, uçucu bileşiklerin korunmasında ve potansiyel aroma kaynaklarının stabil kalmasında etkili olabilir. Özellikle S8, depolamanın başlangıcında 3.0×10^8 civarında olan toplam aroma değerini 90. günde 4.8×10^8'in üzerine taşıyarak en yüksek aroma gelişimini göstermiştir. Benzer şekilde, S5 ve S6 gibi sıcak hava kurutma yöntemiyle elde edilen numunelerde de aroma miktarında artış gözlemlenmiştir. Ancak bu artış S8 ve S9 kadar keskin değildir. Sıcak hava kurutmanın sıcaklık etkisiyle uçucu bileşiklerin bir kısmı kurutma sırasında kaybolmuş olabilir; ancak depolama sürecinde yeni bileşiklerin oluşumu ile bu kayıplar kısmen dengelenmiştir.

S1, S2 ve S3 numunelerinde aroma artışı daha stabil bir şekilde ilerlemiş, özellikle S2 ve S3'te 90. gün sonunda yaklaşık 4.3×10^8 seviyelerine ulaşılmıştır. Bu da kurutma sürecinde taşıyıcı veya köpük yapılarının aroma bileşenlerini koruma ve kontrollü serbest bırakma açısından etkili olduğunu göstermektedir. En düşük aroma artışı S4 ve S7 numunelerinde gözlemlenmiştir. S4 (sıcak hava kurutma – diş formu) numunesinde kurutma sırasında yüksek sıcaklık nedeniyle aroma bileşenlerinin önemli bir kısmının kaybolduğu, S7 (dondurarak kurutma – diş formu) numunesinde ise yüzey alanı düşük olduğu için uçucu bileşiklerin dönüşümünün sınırlı kaldığı düşünülmektedir.

Farklı kurutma yöntemleriyle elde edilen sarımsak tozlarının toplam aroma miktarlarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır ($p < 0.05$). En yüksek ortalama toplam aroma miktarı S2 numunesinde gözlenmiştir. Bu numuneyi S1 ve S8 numuneleri izlemiştir. Bu sonuçlar, taşıyıcı madde kullanımının (S2) ve dondurarak kurutmanın (S8) aroma korunumuna olumlu katkı sağladığını göstermektedir. Buna karşılık S4, S5, S6, S7 ve S9 numunelerinin toplam aroma miktarları anlamlı derecede daha düşük bulunmuştur. Bu gruptaki örneklerin çoğu sıcak hava kurutma veya düşük yüzey alanlı formda hazırlanmış numunelerdir. Özellikle S7 ve S9, düşük sıcaklıkta kurutulmuş olmalarına rağmen, ürün morfolojisi nedeniyle aroma bileşiklerinin oluşumu veya dönüşüm potansiyeli açısından sınırlı kalmış olabileceği değerlendirilmiştir. Depolama süresi açısından değerlendirildiğinde, ortalama toplam aroma miktarlarında anlamlı bir artış eğilimi saptanmıştır (Çizelge 4.32 ve 4.33). Bu sonuç, önceki grafiksel değerlendirme ile de uyumlu biçimde, depolama süresi ilerledikçe aroma bileşiklerinin arttığını ve özellikle ilk 30 gün sonrasında bu artışın daha belirgin hale geldiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.34. Depolama süresince toplam aroma miktarındaki değişim ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Toplam aroma (alan)
Kurutma Yöntemi	S1	409 ± 7.01^{ab}
	S2	423 ± 3.14^{a}
	S3	399 ± 8.05^{b}
	S4	351 ± 8.27^{c}
	S5	360 ± 10.20^{c}
	S6	367 ± 5.47^{c}
	S7	345 ± 20.38^{c}
	S8	411 ± 20.54^{ab}
	S9	390 ± 21.18^{c}
Depolama Süresi (Gün)	0	333 ± 11.35^{d}
	15	354 ± 8.24^{c}
	30	391 ± 8.18^{b}
	60	418 ± 8.34^{a}
	90	423 ± 8.61^{a}

Çizelge 4.35. Depolama süresince toplam aroma miktarındaki değişim ortalamalarının Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına ait varyans analiz sonuçları

	SD	KT	KO	F değeri	*P* değeri
Model	12	1.78×10^{17}	1.49×10^{16}	23.96	<0.0001
Hata	77	4.78×10^{16}	6.21×10^{14}		
Toplam	89	2.26×10^{17}			

Toplam aroma artışının altında yatan temel mekanizma, başta allisin olmak üzere kararsız kükürtlü bileşiklerin depolama sırasında daha stabil uçucu bileşiklere (ör. diallil disülfit, trisülfit vb.) dönüşümüdür. Bu dönüşüm, redoksal bozunma, enzimatik olmayan parçalanma ve hafif oksidatif koşullar altında gerçekleşebilir. Ayrıca Maillard reaksiyonlarının ileri aşamalarında da bazı uçucu aroma bileşenlerinin ortaya çıktığı bildirilmektedir. Bu sonuçlar, depolamanın aroma gelişimi açısından önemli olduğunu gösterse de daha uzun depolama sürelerinin diallil disülfit, trisülfit gibi aroma bileşenlerinin parçalanarak farklı bileşiklere dönüşmesiyle toplam aromanın azalmasına neden olabileceği öngörülmüştür.

4.7.8. Depolama süresi ve kurutma yöntemine bağlı aroma profili değişimi

Çalışmada farklı ön işlemler ve kurutma yaklaşımlarıyla elde edilip oda sıcaklığında depolanan sarımsak tozlarının depolama boyunca aroma profilleri analiz edilerek değerlendirilmiştir. Örneklerin uçucu bileşen değişimleri GC-MS kromatoramlarından elde edilen pik alanları üzerinden milyon alan olarak ifade edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Aroma profili içerisinde takip edilen uçucu bileşenler literatür verileri dikkate alınarak belirlenmiştir (Bkz Çizelge 4.2). S1 numunesinin 90 günlük depolama sürecinde, diallil trisülfit düzeyi (DATS) %26,7 artışla 229.43 milyon alan değerine ulaşmıştır. Buna karşın diallil disülfitte (DADS) ise benzer oranda azalma görülmüştür (%29,5). Bu bulgularla paralel olarak sarımsak üzerine yapılan bir çalışmada (Pluth vd. 2015) bu iki bileşiğin birbirine dönüştüğü rapor edilmiştir. Yapılan bir çalışmada DADS değerindeki azalma ve DATS değerindeki artışın sarımsak aroması açısından yakıcı, keskin ve olumsuz olarak algılandığı bildirilmiştir (Waring 1996). 3-vinil-[4H]-1,2-dithiin ve 3-vinil-1,2-dithiasikloheks-5-en bileşikleri S1 numunesinde diğer bileşiklere göre daha kararlı olmuş, aroma bütünlüğü büyük ölçüde muhafaza edilmiştir. Taşıyıcı kullanılarak gerçekleştirilen PKD-KPK ile sarımsak aromasının korunmasına nispeten katkı sağlanmış, S1'e nazaran DATS ve DADS değişimleri daha az olmuştur. Bu örnekte diallil trisülfitin pik alanı %21,9 artarak 210.13 milyona ulaşırken DADS pik alanlarında belirgin bir değişim olmamıştır. Bu bulgular belirlenen oranda taşıyıcı kullanımının aroma açısından daha stabil sarımsak tozu üretimine katkı sağladığını göstermiştir. PKD-KPK'da köpük kurutma yöntemiyle üretilen S3 numunesinde belirlenen DADS %20 azalırken diğer majör uçucu bileşen olan DATS %8.1 artış göstermiştir. Bu bulgular da S1 numunesindeki değişimlere benzerlik göstermiştir. Allilmetil disülfitte %133'lük bir artış gözlenmiştir, buna karşın 3-vinil bileşiklerinde kararlılık sağlanmıştır.

S4 numunesinde, sıcak hava kurutma yöntemiyle elde edilen tozda diallil trisülfit %46,2 artarken, diallil disülfit %23,8 azalmıştır. Allilmetil disülfitte %59 artış gözlenmiş, 3-vinil bileşiklerinden biri depolama sonunda tespit edilememiş, diğeri %45 artış göstermiştir. S5 numunesinde, püre formunun etkisiyle aroma bileşiklerinde belirgin değişiklikler oluşmuştur. Diallil trisülfit %85 artarak 209.64 milyon alana çıkmıştır. Allilmetil trisülfitte %217'lik artışın ardından belirgin düşüş gözlenmiştir. 3-vinil-1,2-dithiasikloheks-5-en bileşiği de %26 oranında artmıştır. S6 numunesi, sıcak hava kurutulmuş dilim formunda birçok bileşikte artış göstermiştir. Allilmetil disülfit %363, dimetil trisülfit %188, allilmetil trisülfit ise %47,4 oranında artmıştır. Diallil trisülfit ise çok az artış (%3,8) göstermiş genel olarak stabil kalmıştır. Diş formda dondurarak kurutulmuş S7 örneğinde DATS %122, allilmetil disülfit %173, allilmetil trisülfit %124 artmıştır. 3-vinil-[4H]-1,2-dithiin bileşiğinde %270 oranında belirgin bir artış meydana gelmiştir. S8 numunesinde, püre formu ve dondurarak kurutma kombinasyonu aroma gelişimi açısından olumlu sonuçlar vermiştir. DATS %128 artışla 236.67 milyon alana ulaşmıştır. Allilmetil disülfit %392, allilmetil trisülfit %401 oranında artarken, DADS %38,7 azalmıştır. S9 numunesinde de önemli artışlar gözlenmiştir. Allilmetil disülfit %493, allilmetil trisülfit %491 ve diallil trisülfit %104 oranında artmıştır.

Çizelge 4.36. Depolama süresi boyunca sarımsak tozlarının uçucu bileşen profili değişimi (milyon alan)

	D.S.	A.Z.							
		2.015-2.020	6.122 -6.131	7.673-7.679	11.100-11.783	12.883-12.933	14.398-14.418	15.184-15.223	17.673-17.689
S1	0	T.E.	5.15 ± 0.01	1.82 ± 0.01	108.78 ± 1.37	45.8 ± 0.10	11.36 ± 0.07	27.79 ± 0.08	181.08 ± 2.21
	15	T.E.	8.53 ± 0.04	3.06 ± 0.02	86.14 ± 2.19	56.14 ± 1.93	10.83 ± 0.11	27.09 ± 0.24	197.71 ± 3.48
	30	T.E.	8.94 ± 0.07	3.2 ± 0.03	80.23 ± 2.08	63.27 ± 1.83	11.75 ± 0.21	28.91 ± 0.31	213.71 ± 4.21
	60	0.1 ± 0.00	14.02 ± 0.19	3.41 ± 0.08	76.71 ± 2.05	65.10 ± 1.98	11.61 ± 0.17	30.51 ± 0.36	229.44 ± 4.30
	90	0.2 ± 0.00	14.32 ± 0.21	3.32 ± 0.10	76.69 ± 2.07	65.12 ± 1.99	11.63 ± 0.18	30.52 ± 0.37	229.43 ±4.31
S2	0	0.09 ± 0.00	8.6 ± 0.02	6.16 ± 0.01	95.85 ± 0.12	71.81 ± 0.11	15.45 ± 0.08	39.75 ± 0.29	172.4 ± 2.13
	15	0.12 ± 0.00	9.37 ± 0.02	4.40 ± 0.03	102.43 ± 1.13	63.51 ± 1.74	12.56 ± 0.08	32.85 ± 0.15	156.52 ± 3.14
	30	0.12 ± 0.00	10.52 ± 0.05	7.39 ± 0.04	98.42 ± 0.21	63.61 ± 1.81	12.61 ± 0.09	36.73 ± 0.21	170.71 ± 3.67
	60	0.11 ± 0.00	13.13 ± 0.06	3.63 ± 0.03	85.51 ± 2.13	63.32 ± 1.87	11.32 ± 0.19	33.65 ± 0.27	204.94 ± 3.97
	90	0.15 ± 0.00	13.85 ± 0.09	T.E	94.85 ± 3.01	63.76 ± 1.75	13.85 ± 0.21	37.91 ± 0.25	210.13 ± 4.52
S3	0	T.E.	5.38 ± 0.01	2.33 ± 0.01	94.99 ± 0.22	52.86 ± 0.12	7.72 ± 0.01	19.59 ± 0.15	193.23 ± 3.27
	15	T.E.	7.48 ± 0.02	3.04 ± 0.00	79.42 ± 1.11	58.49 ± 0.95	6.87 ± 0.05	17.30 ± 0.11	202.80 ± 3.96
	30	T.E.	8.35 ± 0.05	T.E.	72.67 ± 1.24	59.83 ± 1.75	7.05 ± 0.07	17.35 ± 0.17	198.25 ± 4.07
	60	T.E.	12.44 ± 0.12	3.31 ± 0.01	75.85 ± 2.18	66.13 ± 2.12	7.26 ± 0.21	18.43 ± 0.11	209.85 ± 4.45
	90	T.E.	12.53 ± 0.14	3.29 ± 0.01	75.68 ± 2.27	67.41 ± 217	7.12 ± 0.14	18.37 ± 0.12	208.98 ± 4.35
S4	0	0.1 ± 0.00	8.63 ± 0.02	0.78 ± 0.00	119.17 ± 1.25	32.63 ± 0.08	2.57 ±0.01	9.21 ± 0.01	152.99 ± 1.92
	15	T.E.	10.5 ± 0.12	0.62 ± 0.01	118.20 ± 3.42	28.43 ± 0.36	2.07 ± 0.00	7.76 ± 0.02	159.28 ± 2.28
	30	0.12 ± 0.00	12.21 ± 0.17	T.E.	120.41 ± 4.21	31.85 ± 0.47	3.21 ± 0.00	9.85 ± 0.05	171.74 ± 3.17
	60	0.07 ± 0.00	13.74 ± 0.14	0.72 ± 0.05	87.58 ± 2.18	35.50 ± 0.47	3.38 ± 0.03	12.02 ± 0.09	221.09 ± 4.36
	90	0.08 ± 0.00	13.76 ± 0.16	0.81 ± 0.06	90.85 ± 2.35	38.86 ± 0.85	T.E.	13.37 ± 0.12	223.76 ± 4.81
S5	0	0.78 ± 0.00	4.42 ± 0.01	T.E.	160.12 ± 2.18	14.85 ± 0.09	4.25 ± 0.02	13.49 ± 0.03	113.23 ± 1.65
	15	0.61 ± 0.00	14.17 ± 0.01	T.E.	180.56 ± 3.14	41.93 ± 0.08	13.57 ± 0.01	31.52 ± 0.05	128.67 ± 2.81
	30	0.62 ± 0.00	10.24 ± 0.02	T.E.	181.34 ± 3.49	47.12 ± 0.07	14.43 ± 0.01	11.45 ± 0.05	157.52 ± 2.85

Çizelge 4.36'nın devamı

	60	T.E.	5.86 ± 0.02	T.E.	169.06 ± 2.63	23.27 ± 0.15	5.40 ± 0.06	16.98 ± 0.12	210.62 ± 4.01
	90	0.69	7.94 ± 0.01	T.E.	170.14 ± 3.62	25.75 ± 0.19	6.73 ± 0.07	17.05 ± 0.14	209.64 ± 4.51
	0	T.E.	3.83 ± 0.01	1.38 ± 0.00	90.14 ± 0.25	41.89 ± 0.11	12.33 ± 0.14	29.14 ± 0.16	172.25 ± 2.18
	15	0.09 ± 0.00	8.67 ± 0.03	2.98 ± 0.01	69.82 ± 1.25	45.58 ± 1.18	11.05 ± 0.09	28.07 ± 0.11	164.68 ± 3.42
	30	0.10 ± 0.00	9.52 ± 0.07	3.24 ± 0.02	74.74 ± 1.35	49.76 ± 2.63	17.73 ± 0.12	31.72 ± 0.41	172.94 ± 3.74
S6	60	T.E.	16.11 ± 0.21	3.85 ± 0.01	79.72 ± 2.23	60.29 ± 2.05	22.71 ± 0.18	33. 67 ± 0.34	178.32 ± 3.62
	90	0.11 ± 0.00	17.74 ± 0.27	3.97 ± 0.02	81.49 ± 2.57	61.74 ± 2.41	23.67 ± 021	34.79 ± 0.57	178.73 ± 3.54
	0	0.93 ± 0.00	2.6 ± 0.01	T.E	137.26 ± 1.39	12.71 ± 0.02	4.32 ± 0.00	13.39 ± 0.08	106.45 ± 1.27
	15	1.04 ± 0.00	3.30 ± 0.02	0.41 ± 0.00	129.06 ± 2.85	16.77 ± 0.15	3.87 ± 0.06	14.46 ± 0.17	173.43 ± 2.41
	30	0.92 ± 0.00	5.57 ± 0.01	0.63 ± 0.00	136.23 ± 3.41	27.38 ± 1.25	8.05 ± 0.02	21.98 ± 0.24	223.36 ± 3.81
S7	60	0.09 ± 0.00	7.10 ± 0.02	0.93 ± 0.01	145.17 ± 2.67	28.29 ± 0.19	11.98 ± 0.02	24.06 ± 0.31	235.22 ± 4.37
	90	0.096 ± 0.00	7.10 ± 0.03	0.93 ± 0.01	146.17 ± 2.71	28.49 ± 0.21	15.98 ± 0.03	23.05 ± 0.25	236.73 ± 4.45
	0	0.76 ± 0.00	5.22 ± 0.01	T.E.	137.63 ± 1.38	16.9 ± 0.07	9.27 ± 0.03	27.08 ± 0.02	103.73 ± 1.25
	15	0.43 ± 0.00	12.73 ± 0.04	4.25 ± 0.01	102.94 ± 1.27	43.67 ± 2.54	5.86 ± 0.02	31.54 ± 0.59	162.39 ± 2.74
	30	0.55 ± 0.00	17.25 ± 0.09	3.56 ± 0.01	98.32 ± 2.35	68.15 ± 1.95	4.77 ± 0.02	33.01 ± 0.85	213.62 ± 3.72
S8	60	0.66 ± 0.01	25.40 ± 0.19	4.53 ± 0.02	86.56 ± 2.15	82.65 ± 2.11	4.47 ± 0.02	36.26 ± 2.10	233.82 ± 4.29
	90	T.E.	25.68 ± 0.27	4.79 ± 0.01	84.36 ± 2.41	84.73 ± 2.45	4.21 ± 0.01	38.49 ± 1.81	236.67 ± 4.16
	0	0.73 ± 0.00	4.39 ± 0.01	T.E.	135.09 ± 1.83	14.41 ± 0.06	9.37 ± 0.03	25.06 ± 0.14	82.53 ± 0.24
	15	0.48 ± 0.00	8.82 ± 0.11	3.92 ± 0.02	85.27 ± 2.10	51.69 ± 2.02	4.81 ± 0.02	28.73 ± 0.09	109.21 ± 3.65
	30	0.81 ± 0.01	16.72 ± 47	T.E.	83.94 ± 3.45	76.82 ± 3.86	8.25 ± 0.04	31.85 ± 74	131.97 ± 4.89
S9	60	0.84 ± 0.01	26.05 ± 0.17	4.88 ± 0.05	81.73 ± 2.14	84.14 ± 2.24	4.65 ±0.04	30.72 ± 0.37	168.17 ± 4.33
	90	0.86 ± 0.01	26.04 ± 0.15	4.89 ± 0.02	80.98 ± 2.54	85.12 ± 3.21	4.59 ± 0.02	32.49 ± 0.14	168.69 ± 3.98

A.Z. : Alıkonma zamanı, D.S. : Depolama süresi.

Genel olarak PKD-KPK sistemiyle kurutulan numuneler (S1–S3), özellikle diallil trisülfit ve allilmetil disülfit gibi karakteristik sülfür bileşiklerinde stabil kalmış veya artış eğilimleri göstermiştir. Köpük kurutma yöntemi (S3), aroma bileşikleri değişimi açısından dengeli bir profil sergilemiştir. Taşıyıcı katkısı (S2) ise aroma korunumunu destekleyen olumlu bir katkı sağlamıştır. Sıcak hava kurutma yöntemiyle elde edilen örneklerin (S4–S6), uçucu bileşen içeriklerinde özellikle diallil disülfit gibi bazı bileşiklerde azalma gözlenmiştir. Dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan numuneler (S7–S9), özellikle diallil trisülfit, allilmetil disülfit ve allilmetil trisülfit gibi sülfürlü bileşiklerde depolama boyunca önemli artışlar göstermiştir. Sonuç olarak, aroma bileşiklerinin korunması ve/veya zamanla zenginleşmesi açısından dondurarak kurutma ve PKD-KPK sistemlerinin, geleneksel sıcak hava kurutmaya kıyasla daha başarılı olduğu söylenebilir. Bu bağlamda, taşıyıcı katkı ve köpük form gibi ön işlemler de, uygun kurutma yöntemleriyle birlikte değerlendirildiğinde, aroma korunumunu güçlendiren stratejiler olarak öne çıkmaktadır.

5. SONUÇLAR

Tez kapsamında farklı ön işlem ve kurutma teknikleri ile elde edilen sarımsak tozlarının karakteristik özellikleri ve uygulamalara bağlı değişimleri ile depolama stabiliteleri araştırılmış ve önemli bulunan farklılıklar ortaya konular sarımsak tozu için en uygun ön işlem ve kurutma yöntemi belirlenmiştir. Bu kapsamda elde edilen önemli bulgular aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Sarımsak tozu üretiminde PKD-KPK yöntemi ulaşabildiğimiz literatür bilgilerine göre ilk kez kullanılmıştır. Bu sistemin kurutma koşulları optimize edilmiş ve optimum koşullar 0.9 m/s hava akış hızı, 60 °C su sıcaklığı ve 30 °C püre yüzey sıcaklığı olarak tespit edilmiştir. Bu koşullarda sarımsak püresi 50 dakikada hedef nem düzeyine (% 4-6) kadar kurutulabilmiştir. Elde edilen sarımsak tozunda esmerleşme minimum, aroma ve allisin miktarı ise maksimum olmuştur.
- Belirlenen optimum kurutma koşullarında sarımsak püresine eklenecek taşıyıcıların oranları da optimize edilmiştir. Literatür bilgileri ve ön çalışmalar dikkate alınarak sarımsak püresine eklenecek olan (%1 ‘i beta sikolodekstirin olmak üzere toplam %6) maltodekstrin, Arap zamkı ve sodyum aljinat oranları optimize edilmiştir. Yüz gram püreye eklenecek optimum taşıyıcı miktarları; 1 g beta siklodekstrin, 1.841 g Arap zamkı ve 3.159 g maltodekstrin olarak belirlenmiştir.
- Tez kapsamında PKD-KPK sisteminde denenen köpük kurutma için de köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi yanıtlarına göre kullanılacak köpürtme ajanı oranı (çöven ekstraktı) ve köpürtme süresi optimize edilmiştir. Bulgular %0.33 çöven oranı ve 2.25 dakikalık köpürtme süresinin en iyi köpük stabilitesini ve en düşük köpük yoğunluğunu oluşturduğunu göstermiştir. Bu köpük uygulamasında kuruma süresi 28 dakikaya düşmüştür.
- PKD-KPK ile üretilen sarımsak tozları, hem esmerleşme indeksi açısından daha düşük, hem de içerdiği allisin ve aroma bileşenleri açısından daha zengin bulunmuştur. Özellikle köpük kurutma yöntemiyle elde edilen sarımsak duyusal testlerde de daha yüksek beğeniye sahip olmuştur.
- Sıcak havada kurutulan örneklerde renk koyulaşması ve aroma kaybı daha belirginken, dondurarak kurutma yönteminde kalite bazı kriterler açısından kısmen korunmuş ancak uzun kuruma sürelerinin getireceği enerji maliyetleri ve düşük üretim kapasitenin pratikte bu uygulamanın kullanımını sınırlayacağı değerlendirilmiştir.
- Ön işlem olarak uygulanan püre haline getirme ile alliin ve allinaz enziminin kontrollü etkileşimi sayesinde allisin oluşumu artırılmıştır. Uygulanan kurutma teknikleri ile bu kararsız bileşik daha stabil hale getirilmiştir.
- Depolama süresince toplam fenolik içerik, antioksidan aktivite ve allisin miktarları zamanla azalmıştır. Ancak PKD-KPK yönteminde üretilen örneklerde bu kayıplar daha düşük düzeyde kalmıştır.
- Depolama sonuçları, sarımsak tozlarının toplam aroma miktarının hem uygulanan kurutma yöntemine hem de depolama süresine duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle taşıyıcı destekli kurutma (S2) ve dondurarak kurutma (S8) yöntemleri aromayı daha iyi korumuştur. Depolama süresi boyunca aroma kaybından çok aroma dönüşümünün ön plana çıktığı, bunun da ürünün duyusal kalitesini olumlu yönde etkilediği değerlendirilmiştir.

- Duyusal analiz sonuçlarına göre tat, aroma, renk ve genel beğeni açısından en yüksek puanı PKD-KPK sisteminde köpük kurutulan sarımsak tozları almıştır.
- Çalışma ile ithal ürünlere kıyasla daha yüksek kaliteli ve yerli kaynaklarla üretilebilecek sarımsak tozları geliştirilmiş; bu da dışa bağımlılığın azaltılması ve yerli sanayi için ekonomik değer yaratılması açısından önemli bir katkı sunmuştur.
- Tez kapsamında PKD-KPK sisteminde bireysel olarak uygulanan taşıyıcılı kurutmanın ve köpük kurutmanın ayrı ayrı olumlu etkileri dikkate alındığında daha sonraki çalışmalarda bu uygulamaların birlikte kullanımın daha kaliteli ürünü düşük enerji girdileri ile daha hızlı şekilde üretilmesine olanak sağlayacağı düşünülmüştür.

6. KAYNAKLAR

Abe, K., Hori, Y. and Myoda, T. 2020. Volatile compounds of fresh and processed garlic. *Experimental and therapeutic medicine*, 19 (2): 1585-1593.

Abonyi, B., Feng, H., Tang, J., Edwards, C., Chew, B., Mattinson, D. and Fellman, J. 2002. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with refractance windowtm system. *Journal of food science*, 67 (3): 1051-1056.

Aguilar, M. and Rincón, F. 2007. Improving knowledge of garlic paste greening through the design of an experimental strategy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (25): 10266-10274.

Aktas, R.N. and Tontul, I. 2021. Usability of soapwort and horse chestnut saponin extracts as foaming agents in foam mat drying of pomegranate juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101 (2): 786-793.

Alinezhad, H., Azimi, R., Zare, M., Ebrahimzadeh, M.A., Eslami, S., Nabavi, S.F. and Nabavi, S.M. 2013. Antioxidant and antihemolytic activities of ethanolic extract of flowers, leaves, and stems of hyssopus officinalis l. Var. Angustifolius. *International journal of food properties*, 16 (5): 1169-1178.

Anonim 2015. Tahin helvası tebliği https://mevzuat.Gov.Tr/file/generatepdf?Mevzuatno=20836&mevzuattur=teblig&mevzuattertip=5 (erişim tarihi: 03.07.2025). [Son erişim tarihi:

Anonim 2024. Sarımsağın besinsel içeriği, türkomp (ulusal gıda kompozisyon veri tabanı), https://turkomp.Tarimorman.Gov.Tr/food-233 [son erişim tarihi: 31.08.2024] [Son erişim tarihi:

Anonymous 2020. From farm to fork: How food systems can power climate action. https://news.un.org/en/story/2020/09/1071412 [Son erişim tarihi: 19.07.2024]

Anonymous 2025. Doypack packaging properties. Https://www.Flexico.Com/en/gamme/paper-alu-pe-doypack/ [son erişim tarihi: 03.07.2025]. [Son erişim tarihi:

Ansary, J., Forbes-Hernández, T.Y., Gil, E., Cianciosi, D., Zhang, J., Elexpuru-Zabaleta, M., Simal-Gandara, J., Giampieri, F. and Battino, M. 2020. Potential health benefit of garlic based on human intervention studies: A brief overview. *Antioxidants*, 9 (7): 619.

Aoac 1990. Association of official analytical chemists. *Official methods of analysis of AOAC International*:

Arzanlou, M. and Bohlooli, S. 2010. Introducing of green garlic plant as a new source of allicin. *Food chemistry*, 120 (1): 179-183.

Augustin, M.A. and Sanguansri, L. 2015. Challenges and solutions to incorporation of nutraceuticals in foods. *Annual review of food science and technology*, 6 (1): 463-477.

Aykın-Dinçer, E., Özdemir, M. and Topuz, A. 2021. Quality characteristics of bone broth powder obtained through refractance window™ drying. *LWT*, 147: 111526.

Baeghbali, V., Niakousari, M. and Farahnaky, A. 2016. Refractance window drying of pomegranate juice: Quality retention and energy efficiency. *LWT-Food science and technology*, 66: 34-40.

Baeghbali, V., Niakousari, M. and Ngadi, M. 2019. An update on applications of power ultrasound in drying food: A review. *Journal of Food Engineering and Technology*, 8 (1): 29-38.

Balasubramani, P., Viswanathan, R. and Vairamani, M. 2013. Response surface optimisation of process variables for microencapsulation of garlic (allium sativum l.) oleoresin by spray drying. *biosystems engineering*, 114 (3): 205-213.

Bao, C., Jiang, P., Chai, J., Jiang, Y., Li, D., Bao, W., Liu, B., Liu, B., Norde, W. and Li, Y. 2019. The delivery of sensitive food bioactive ingredients: Absorption mechanisms, influencing factors, encapsulation techniques and evaluation models. *Food Research International*, 120: 130-140.

Barbosa-Canovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P. and Yan, H. 2005. Bulk properties. *Food powders: physical properties, processing, and functionality*: 55-90.

Barbosa, J., Borges, S., Amorim, M., Pereira, M., Oliveira, A., Pintado, M. and Teixeira, P. 2015. Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder. *Journal of Functional Foods*, 17: 340-351.

Bhandari, B., Dumoulin, E., Richard, H., Noleau, I. and Lebert, A. 1992. Flavor encapsulation by spray drying: Application to citral and linalyl acetate. *Journal of Food Science*, 57 (1): 217-221.

Bisnoi, N., Kumari, P. and Yadav, Y. 2008. Study of dehydration characteristics of garlic. *Journal of Dairying, Foods and Home Sciences*, 27 (3and4): 238-240.

Block, E. 1992. The organosulfur chemistry of the genus allium–implications for the organic chemistry of sulfur. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 31 (9): 1135-1178.

Block, E. 2010. Garlic other alliums. RSC publishing Cambridge, s.

Block, E. 2017. Fifty years of smelling sulfur: From the chemistry of garlic to the molecular basis for olfaction. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 192 (2): 141-144.

Bongiorno, P.B., Fratellone, P.M. and Logiudice, P. 2008. Potential health benefits of garlic (allium sativum): A narrative review. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 5 (1):

Borlinghaus, J., Albrecht, F., Gruhlke, M.C., Nwachukwu, I.D. and Slusarenko, A.J. 2014. Allicin: Chemistry and biological properties. *Molecules*, 19 (8): 12591-12618.

Brygidyr, A., Rzepecka, M. and Mcconnell, M. 1977. Characterization and drying of tomato paste foam by hot air and microwave energy. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 10 (4): 313-319.

Calderón-Oliver, M. and Ponce-Alquicira, E. 2022. The role of microencapsulation in food application. *Molecules*, 27 (5): 1499.

Cañizares, P., Gracia, I., Gómez, L.A., García, A., De Argila, C.M., Boixeda, D. and De Rafael, L. 2004. Thermal degradation of allicin in garlic extracts and its implication on the inhibition of the in-vitro growth of helicobacter pylori. *Biotechnology progress*, 20 (1): 32-37.

Caparino, O., Tang, J., Nindo, C., Sablani, S., Powers, J. and Fellman, J. 2012. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (philippine 'carabao'var.) powder. *Journal of food engineering*, 111 (1): 135-148.

Cardelle-Cobas, A., Moreno, F.J., Corzo, N., Olano, A. and Villamiel, M. 2005. Assessment of initial stages of maillard reaction in dehydrated onion and garlic samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (23): 9078-9082.

Carneiro, H.C., Tonon, R.V., Grosso, C.R. and Hubinger, M.D. 2013. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray

drying using different combinations of wall materials. *Journal of food engineering*, 115 (4): 443-451.

Cavagnaro, P. and Galmarini, C. 2007. Garlic. In: Vegetables, Springer, pp. 349-364.

Cavallito, C.J. and Bailey, J.H. 1944. Allicin, the antibacterial principle of allium sativum. I. Isolation, physical properties and antibacterial action. *Journal of the American Chemical Society*, 66 (11): 1950-1951.

Cavallito, C.J., Bailey, J.H. and Buck, J.S. 1945. The antibacterial principle of allium sativum. Iii. Its precursor and "essential oil of garlic". *Journal of the American Chemical Society*, 67 (6): 1032-1033.

Cemeroğlu, B.S. 2009. Meyve ve sebze işleme teknolojisi 2. Cilt. Nobel Akademik Yayıncılık, 636 s.

Chandrasekaran, S., Ramanathan, S. and Basak, T. 2013. Microwave food processing—a review. *Food research international*, 52 (1): 243-261.

Chihara, T., Shimpo, K., Kaneko, T., Tomatsu, A., Beppu, H., Higashiguchi, T. and Sonoda, S. 2013. The effect of preparatory conditions of high temperature-and pressure-treated garlic on 5-hydroxymethyl-2-furfural and s-allylcysteine formation. *Journal of Analytical Bio-Science Vol*, 36 (2):

Choi, S.M., Lee, D.-J., Kim, J.-Y. and Lim, S.-T. 2017. Volatile composition and sensory characteristics of onion powders prepared by convective drying. *Food chemistry*, 231: 386-392.

Constenla, D.T. and Lozano, J.E. 2005. Effect of pretreatments and processing conditions on the chemical, physical, microbiological and sensory characteristics of garlic paste. *Journal of Food Process Engineering*, 28 (3): 313-329.

Çalışkan Koç, G., Tekgül, Y., Yüksel, A.N., Khanashyam, A.C., Kothakota, A. and Pandiselvam, R. 2022. Recent development in foam-mat drying process: Influence of foaming agents and foam properties on powder properties. *Journal of Surfactants and Detergents*, 25 (5): 539-557.

De Iseppi, A., Curioni, A., Marangon, M., Vincenzi, S. and Lomolino, G. 2021. Garlic greening: Pigments biosynthesis and control strategies. *Italian Journal of Food Science*, 33 (1): 73-83.

De Roos, K.B. 2003. Effect of texture and microstructure on flavour retention and release. *International Dairy Journal*, 13 (8): 593-605.

Desai, K.G.H. and Jin Park, H. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying technology*, 23 (7): 1361-1394.

Dincer, C., Topuz, A., Sahin-Nadeem, H., Ozdemir, K.S., Cam, I.B., Tontul, I., Gokturk, R.S. and Ay, S.T. 2012. A comparative study on phenolic composition, antioxidant activity and essential oil content of wild and cultivated sage (salvia fruticosa miller) as influenced by storage. *Industrial Crops and Products*, 39: 170-176.

Dixon, J. and Hewett, E.W. 2000. Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: A review. *New Zealand journal of crop and horticultural science*, 28 (3): 155-173.

Esper, A. and Mühlbauer, W. 1998. Solar drying-an effective means of food preservation. *Renewable energy*, 15 (1-4): 95-100.

F. Gibbs, S.K., Inteaz Alli, Catherine N. Mulligan, Bernard 1999. Encapsulation in the food industry: A review. *International journal of food sciences and nutrition*, 50 (3): 213-224.

Fao 2024. Statistics division production and trade statistics, acces date: 31.08.2024.

Feng, Y., Xu, B., Yagoub, A.E.A., Ma, H., Sun, Y., Xu, X., Yu, X. and Zhou, C. 2021. Role of drying techniques on physical, rehydration, flavor, bioactive compounds and antioxidant characteristics of garlic. *Food Chemistry*, 343: 128404.

Fernández-León, M., Fernández-León, A., Lozano, M., Ayuso, M., 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.

Fuchs, A.D. and Tiller, J.C. 2006. Contact-active antimicrobial coatings derived from aqueous suspensions. *Angewandte Chemie International Edition*, 45 (40): 6759-6762.

Fujisawa, H., Suma, K., Origuchi, K., Seki, T. and Ariga, T. 2008. Thermostability of allicin determined by chemical and biological assays. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 72 (11): 2877-2883.

García-Coronado, P., Flores-Ramírez, A., Grajales-Lagunes, A., Godínez-Hernández, C., Abud-Archila, M., González-García, R. and Ruiz-Cabrera, M.A. 2020. The influence of maltodextrin on the thermal transitions and state diagrams of fruit juice model systems. *Polymers*, 12 (9): 2077.

Geankoplis, C.J. 1993. Transport processes and unit operations (3rd edition). Englewood Cliffs, NJ, USA, 150 s.

Gebreyohannes, G. and Gebreyohannes, M. 2013. Medicinal values of garlic: A review. *International Journal of Medicine and Medical Sciences*, 5 (9): 401-408.

Gong, H., Wang, T., Hua, Y., Wang, W.-D., Shi, C., Xu, H.-X., Li, L.-L., Zhang, D.-P., Sun, Y.-E. and Yu, N.-N. 2022. Garlic varieties and drying methods affected the physical properties, bioactive compounds and antioxidant capacity of dried garlic powder. *CyTA-Journal of Food*, 20 (1): 111-119.

Goos, P., Jones, B. and Syafitri, U. 2016. I-optimal design of mixture experiments. *Journal of the American Statistical Association*, 111 (514): 899-911.

Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. and Kazakis, N.A. 2004. Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying technology*, 22 (5): 1129-1151.

Granroth, B. 1970. Biosynthesis and decomposition of cysteine derivatives in onion and other ailium species.

Gruhlke, M.C. and Slusarenko, A.J. 2012. The biology of reactive sulfur species (rss). *Plant Physiology and Biochemistry*, 59: 98-107.

Han, J., Lawson, L., Han, G. and Han, P. 1995. Spectrophotometric method for quantitative determination of allicin and total garlic thiosulfinates. *Analytical biochemistry*, 225 (1): 157-160.

Hardy, Z. and Jideani, V. 2017. Foam-mat drying technology: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57 (12): 2560-2572.

Hashem, H., Tayel, S., Younes, O. and Mageed, A.O.A. 2019. Effect of refractance-window drying method on quality characteristics of balady menthol. *J Food Dairy Sci*, 10: 265-269.

Hayashi, H. 1989. Drying technologies of foods-their history and future. *Drying technology*, 7 (2): 315-369.

He, Y., Fan, G.J., Wu, C.-E., Kou, X.H. and Li, T.T. 2019. Influence of illumination on the greening and relative enzyme activity of garlic puree. *Journal of Food Biochemistry*, 43 (7): e12871.

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. and Herman-Lara,

E. 2016. Evaluation of physical and chemical properties of carrots dried by refractance window drying. *Drying Technology*, 34 (12): 1414-1422.

Higashitani, K., Makino, H. and Matsusaka, S. 2019. Powder technology handbook. CRC Press, s.

Hii, C.L., Ong, S.P., Yap, J.Y., Putranto, A. and Mangindaan, D. 2021. Hybrid drying of food and bioproducts: A review. *Drying Technology*, 39 (11): 1554-1576.

Huang, L., Liu, Z., Wang, J., Fu, J., Jia, Y., Ji, L. and Wang, T. 2023. Bioactivity and health effects of garlic essential oil: A review. *Food science & nutrition*, 11 (6): 2450-2470.

Huang, Z., Zhou, Q., Wu, W.L., Wan, J. and Jiang, A.M. 2019. Thermal kinetics of enzyme inactivation, color changes, and allicin degradation of garlic under blanching treatments. *Journal of Food Process Engineering*, 42 (3): e12991.

Ilić, D.P., Nikolić, V.D., Nikolić, L.B., Stanković, M.Z., Stanojević, L.P. and Cakić, M.D. 2011. Allicin and related compounds: Biosynthesis, synthesis and pharmacological activity. *Facta universitatis-series: Physics, Chemistry and Technology*, 9 (1): 9-20.

İlter, I., Akyıl, S., Devseren, E., Okut, D., Koç, M. and Kaymak Ertekin, F. 2018. Microwave and hot air drying of garlic puree: Drying kinetics and quality characteristics. *Heat and Mass Transfer*, 54 (7): 2101-2112.

Itakura, Y., Ichikawa, M., Mori, Y., Okino, R., Udayama, M. and Morita, T. 2001. How to distinguish garlic from the other allium vegetables. *The Journal of nutrition*, 131 (3): 963S-967S.

Jafari, S.M. 2017. Nanoencapsulation technologies for the food and nutraceutical industries. Academic Press, s.

Jafari, S.M., Azizi, D., Mirzaei, H. and Dehnad, D. 2016. Comparing quality characteristics of oven-dried and refractance window-dried kiwifruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40 (3): 362-372.

Jafari, S.M., He, Y. and Bhandari, B. 2007. Optimization of nano-emulsions production by microfluidization. *European Food Research and Technology*, 225 (5): 733-741.

Jafari, S.M. and Rashidinejad, A. 2021. Spray drying encapsulation of bioactive materials. CRC Press, s.

Jakubczyk, E., Ostrowska-Ligeza, E. and Gondek, E. 2010. Moisture sorption characteristics and glass transition temperature of apple puree powder. *International Journal of Food Science and Technology*, 45 (12): 2515-2523.

Kadam, D.M. and Balasubramanian, S. 2011. Foam mat drying of tomato juice. *Journal of food processing and preservation*, 35 (4): 488-495.

Kadam, D.M., Patil, R.T. and Kaushik, P. 2010. Foam mat drying of fruit and vegetable products. *Drying of foods, vegetables and fruits*, 1 (1): 111-124.

Kar, S. and Sutar, P. 2023. Shelf life prediction of dried garlic powder under accelerated storage conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 60 (3): 996-1005.

Karathanos, V. and Belessiotis, V. 1997. Sun and artificial air drying kinetics of some agricultural products. *Journal of Food Engineering*, 31 (1): 35-46.

Kartal, A.S.K. 2011. Mikrodalga ve kuru hava yardımıyla kurutma yöntemlerinin meyve pestillerinin kuruma sürelerine etkisinin incelenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, s.

Kayisoglu, S. and Ertekin, C. 2011. Vacuum drying kinetics of barbunya bean (phaseolus vulgaris l. Elipticus mart.). *The Philippine Agricultural Scientist*, 94 (3):

Khoshtinat, K., Barzegar, M., Sahari, M. and Hamidi, Z. 2017. Encapsulation of iranian garlic oil with β-cyclodextrin: Optimization and its characterization.

Kleinschmidt, S., Heide, I. and Kleinschmidt, T. 2024. Ultrafine food powders as clean-label flow additives. *Frontiers in Chemical Engineering*, 5: 1307309.

Koç, M. 2015. Farklı kurutma yöntemleri ile bal tozu üretim koşullarının optimize edilmesi ve depolama stabilitesinin belirlenmesi. Doktora Tezi, E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2015, İzmir (Danışman: Figen Ertekin). s.

Kumar, M., Madhumita, M., Prabhakar, P.K. and Basu, S. 2024. Refractance window drying of food and biological materials: Status on mechanisms, diffusion modelling and hybrid drying approach. *Critical reviews in food science and nutrition*, 64 (11): 3458-3481.

Lagunas, L.L.M. and Castaigne, F. 2008. Effect of temperature cycling on allinase activity in garlic. *Food chemistry*, 111 (1): 56-60.

Lawson, L. and Wang, Z. 1993. Pre-hepatic fate of the organosulfur compounds derived from garlic (allium sativum). *Planta Medica*, 59 (S 1): A688-A689.

Lawson, L.D. and Gardner, C.D. 2005. Composition, stability, and bioavailability of garlic products used in a clinical trial. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53 (16): 6254-6261.

Lawson, L.D. and Hughes, B.G. 1992. Characterization of the formation of allicin and other thiosulfinates from garlic. *Planta medica*, 58 (04): 345-350.

Lee, S.-N., Kim, N.-S. and Lee, D.-S. 2003. Comparative study of extraction techniques for determination of garlic flavor components by gas chromatography–mass spectrometry. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 377: 749-756.

Li, Y., Xu, S.-Y. and Sun, D.-W. 2007. Preparation of garlic powder with high allicin content by using combined microwave–vacuum and vacuum drying as well as microencapsulation. *Journal of Food Engineering*, 83 (1): 76-83.

Liang, W.-H., Chang, T.-W. and Charng, Y.-C. 2018. Effects of drying methods on contents of bioactive compounds and antioxidant activities of angelica dahurica. *Food Science and Biotechnology*, 27: 1085-1092.

Lilia, M.-L., Juan, R.-R., David, R.-V. and Anabel, L.-O. 2017. Changes in physical properties and relations with allicin degradation during convective drying of garlic. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11: 1227-1232.

Liu, P., Weng, R., Sheng, X., Wang, X., Zhang, W., Qian, Y. and Qiu, J. 2020. Profiling of organosulfur compounds and amino acids in garlic from different regions of china. *Food chemistry*, 305: 125499.

Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. and Desobry, S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release–a review. *International journal of food science and technology*, 41 (1): 1-21.

Madhu, B., Mudgal, V. and Champawat, P. 2021. Influence of the packaging material and storage temperature on the shelf life of garlic powder. *Journal of Food Science and Technology*: 1-11.

Mahanti, N.K., Chakraborty, S.K., Sudhakar, A., Verma, D.K., Shankar, S., Thakur, M., Singh, S., Tripathy, S., Gupta, A.K. and Srivastav, P.P. 2021. Refractance windowtm-drying vs. Other drying methods and effect of different process parameters on quality of foods: A comprehensive review of trends and technological developments. *Future Foods*, 3: 100024.

Martins, N., Petropoulos, S. and Ferreira, I.C. 2016. Chemical composition and bioactive compounds of garlic (allium sativum l.) as affected by pre-and post-harvest conditions: A review. *Food chemistry*, 211: 41-50.

Mcclements, D.J. 2004. Food emulsions: Principles, practices, and techniques. CRC press, s.

Misharina, T., Terenina, M. and Krikunova, N. 2009. Antioxidant properties of essential oils. *Applied biochemistry and microbiology*, 45: 642-647.

Mitra, H., Pushpadass, H.A., Franklin, M.E.E., Ambrose, R.K., Ghoroi, C. and Battula, S.N. 2017. Influence of moisture content on the flow properties of basundi mix. *Powder Technology*, 312: 133-143.

Mitra, J., Shrivastava, S.L. and Rao, P. 2012. Onion dehydration: A review. *Journal of food science and technology*, 49: 267-277.

Mochizuki, E., Yamamoto, T., Komiyama, Y. and Nakazawa, H. 1998. Identification of allium products using flame photometric detection gas chromatography and distribution patterns of volatile sulfur compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46 (12): 5170-5176.

Molina-Calle, M., Priego-Capote, F. and De Castro, M.D.L. 2016. Hs–gc/ms volatile profile of different varieties of garlic and their behavior under heating. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 408: 3843-3852.

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.

Nguyen, T.-V.-L., Nguyen, T.-T.-D., Huynh, Q.-T. and Nguyen, P.-B.-D. 2023. Effect of maltodextrin on drying rate of avocado (persea americana mill.) pulp by refractance window technique, and on color and functional properties of powder. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 73 (2): 187-195.

Palzer, S. 2009. Influence of material properties on the agglomeration of water-soluble amorphous particles. *Powder technology*, 189 (2): 318-326.

Papu, S., Singh, A., Jaivir, S., Sweta, S., Arya, A. and Singh, B. 2014. Effect of drying characteristics of garlic-a review. *Journal of Food Processing & Technology*, 5 (4): 1.

Perinelli, D.R., Palmieri, G.F., Cespi, M. and Bonacucina, G. 2020. Encapsulation of flavours and fragrances into polymeric capsules and cyclodextrins inclusion complexes: An update. *Molecules*, 25 (24): 5878.

Pluth, M.D., Bailey, T.S., Hammers, M.D., Hartle, M.D., Henthorn, H.A. and Steiger, A.K. 2015. Natural products containing hydrogen sulfide releasing moieties. *Synlett*, 26 (19): 2633-2643.

Puente-Díaz, L., Spolmann, O., Nocetti, D., Zura-Bravo, L. and Lemus-Mondaca, R. 2020. Effects of infrared-assisted refractance window™ drying on the drying kinetics, microstructure, and color of physalis fruit purée. *Foods*, 9 (3): 343.

Qiu, Z., Zhang, M., Li, L., Zhang, B., Qiao, Y. and Zheng, Z. 2022. Effect of blend oil on the volatile aroma profile and storage quality of garlic paste. *Food Chemistry*, 371: 131160.

Raghavi, L., Moses, J. and Anandharamakrishnan, C. 2018. Refractance window drying of foods: A review. *Journal of food engineering*, 222: 267-275.

Rahman, M.S. 2007. Allicin and other functional active components in garlic: Health benefits and bioavailability. *International Journal of Food Properties*, 10 (2): 245-268.

Rao, P.P., Nagender, A., Rao, L.J. and Rao, D.G. 2007. Studies on the effects of microwave drying and cabinet tray drying on the chemical composition of volatile oils of garlic powders. *European Food Research and Technology*, 224: 791-795.

Ratti, C. 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of food engineering*, 49 (4): 311-319.

Ratti, C., Araya-Farias, M., Mendez-Lagunas, L. and Makhlouf, J. 2007. Drying of garlic (allium sativum) and its effect on allicin retention. *Drying technology*, 25 (2): 349-356.

Reineccius, G.A. 2004. The spray drying of food flavors. *Drying technology*, 22 (6): 1289-1324.

Rostami, H., Dehnad, D., Jafari, S.M. and Tavakoli, H.R. 2018. Evaluation of physical, rheological, microbial, and organoleptic properties of meat powder produced by refractance window drying. *Drying technology*, 36 (9): 1076-1085.

Rufián-Henares, J.A., García-Villanova, B. and Guerra-Hernández, E. 2008. Occurrence of furosine and hydroxymethylfurfural as markers of thermal damage in dehydrated vegetables. *European Food Research and Technology*, 228: 249-256.

Saif, S., Hanif, M.A., Rehman, R. and Riaz, M. 2020. Garlic. In: Medicinal plants of south asia, Elsevier, pp. 301-315.

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.

Seerangurayar, T., Manickavasagan, A., Al-Ismaili, A.M. and Al-Mulla, Y.A. 2017. Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze dried date powder. *Journal of Food Engineering*, 215: 33-43.

Shahidi, F. and Han, X.Q. 1993. Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 33 (6): 501-547.

Shende, D. and Datta, A.K. 2019. Refractance window drying of fruits and vegetables: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99 (4): 1449-1456.

Shofian, N.M., Hamid, A.A., Osman, A., Saari, N., Anwar, F., Dek, M.S.P. and Hairuddin, M.R. 2011. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. *international Journal of molecular sciences*, 12 (7): 4678-4692.

Shukla, D., Jaiswal, A.K., Suryavanshi, A., Asati, V., Mahapatra, D.K., Kumar, V. and Bharti, S.K. 2024. Role of garlic and onion for better cognition and maintenance of neurodegenerative diseases. In: Nutraceutical fruits and foods for neurodegenerative disorders, Elsevier, pp. 333-352.

Siow, L.-F. and Ong, C.S. 2013. Effect of ph on garlic oil encapsulation by complex coacervation. *Journal of Food Processing & Technology*:

Slusarenko, A.J., Patel, A. and Portz, D. 2008. Control of plant diseases by natural products: Allicin from garlic as a case study. *Sustainable disease management in a European context*: 313-322.

Stoll, A. and Seebeck, E. 1948. Über alliin, die genuine muttersubstanz des knoblauchöls. 1. Mitteilung über allium-substanzen. *Helvetica Chimica Acta*, 31 (1): 189-210.

Sundaram, S. 1995. Antitumorigenic properties of allyl sulfur compounds in garlic. The Pennsylvania State University, s.

Talib, W.H., Baban, M.M., Azzam, A.O., Issa, J.J., Ali, A.Y., Alsuwais, A.K., Allala, S. and Al Kury, L.T. 2024. Allicin and cancer hallmarks. *Molecules*, 29 (6): 1320.

Tamaki, K., Sonoki, S., Tamaki, T. and Ehara, K. 2008. Measurement of odour after in vitro or in vivo ingestion of raw or heated garlic, using electronic nose, gas chromatography and sensory analysis. *International journal of food science & technology*, 43 (1): 130-139.

Tavares, L. and Noreña, C.P.Z. 2021. Characterization of the physicochemical, structural and thermodynamic properties of encapsulated garlic extract in multilayer wall materials. *Powder Technology*, 378: 388-399.

Tavares, L., Santos, L. and Noreña, C.P.Z. 2021. Bioactive compounds of garlic: A comprehensive review of encapsulation technologies, characterization of the encapsulated garlic compounds and their industrial applicability. *Trends in Food Science & Technology*, 114: 232-244.

Tekeli, F. and Gokce, A. 2015. Endemic plants and wild allium species in turkey. VII International Symposium on Edible Alliaceae 1143, ss. 327-332,

Tesfaye, A. 2021. Revealing the therapeutic uses of garlic (allium sativum) and its potential for drug discovery. *The Scientific World Journal*, 2021 (1): 8817288.

Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S. and Soponronnarit, S. 2014. Heat and moisture transport behaviour and quality of chopped garlic undergoing different drying methods. *Journal of Food Engineering*, 136: 34-41.

Thuy, N.M., Tien, V.Q., Tuyen, N.N., Giau, T.N., Minh, V.Q. and Tai, N.V. 2022. Optimization of mulberry extract foam-mat drying process parameters. *Molecules*, 27 (23): 8570.

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, s.

Tontul, İ., 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.

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.

Torres Serra, J., Romero Morales, E.E. and Rodríguez Ferran, A. 2018. Hygroscopicity issues in powder and grain technology. Unsaturated Soils: UNSAT 2018: The 7th International Conference on Unsaturated Soils, ss. 805-810, The Hong Kong University of Science and Technology (HKUST),

Torun, M. 2015. Gama ışınlama ve yenilebilir kaplamanın farklı koşullarda depolanan soyulmuş diş sarımsağın raf ömrü üzerine etkisi. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, 171 s.

Torun, M. and Ozdemir, F. 2022. Milk protein and zein coatings over peeled garlic cloves to extend their shelf life. *Scientia Horticulturae*, 291: 110571.

Tsai, C.-W., Chen, H.-W., Sheen, L.-Y. and Lii, C.-K. 2012. Garlic: Health benefits and actions. *BioMedicine*, 2 (1): 17-29.

Tuncer, A.D., Mavuş, R., Gökçe, C., Koşan, M. and Aktaş, M. 2019. Efficient energy systems models for sustainable food processing. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7 (8): 1138-1145.

Tunde-Akintunde, T., Afolabi, T. and Akintunde, B. 2005. Influence of drying methods on drying of bell-pepper (capsicum annuum). *Journal of Food Engineering*, 68 (4): 439-442.

Van Tai, N., Van Hao, H., Han, T.T.N., Giau, T.N., Thuy, N.M. and Van Thanh, N. 2024. Effect of foaming conditions and drying temperatures on total polyphenol content and drying rate of foam-mat dried banana powder: Modeling and optimization study. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18: 101352.

Varhan, E. and Koç, M. 2017. Drying of foods with foam mat drying method. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5 (6): 637-645.

Vega-Mercado, H., Góngora-Nieto, M.M. and Barbosa-Cánovas, G.V. 2001. Advances in dehydration of foods. *Journal of food engineering*, 49 (4): 271-289.

Voda, A., Homan, N., Witek, M., Duijster, A., Van Dalen, G., Van Der Sman, R., Nijsse, 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. PhD, Akdeniz Üniversitesi 85 s.

Waghmare, R. 2021. Refractance window drying: A cohort review on quality characteristics. *Trends in Food Science & Technology*, 110: 652-662.

Wagner, J., Granvogl, M. and Schieberle, P. 2016. Characterization of the key aroma compounds in raw licorice (glycyrrhiza glabra l.) by means of molecular sensory science. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64 (44): 8388-8396.

Wagner, J., Schieberle, P. and Granvogl, M. 2017. Characterization of the key aroma compounds in heat-processed licorice (succus liquiritiae) by means of molecular sensory science. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65 (1): 132-138.

Wang, J., Cao, Y., Sun, B. and Wang, C. 2011. Physicochemical and release characterisation of garlic oil-β-cyclodextrin inclusion complexes. *Food chemistry*, 127 (4): 1680-1685.

Wang, L. 2014. Energy efficiency technologies for sustainable food processing. *Energy efficiency*, 7 (5): 791-810.

Wang, M., Doi, T. and Mcclements, D.J. 2019. Encapsulation and controlled release of hydrophobic flavors using biopolymer-based microgel delivery systems: Sustained release of garlic flavor during simulated cooking. *Food Research International*, 119: 6-14.

Waring, R. 1996. Sulfur—sulfur compounds. In: Biological interactions of sulfur compounds, CRC Press, pp. 155-183.

Wijayanti, N., Widyaningsih, T.D., Wulan, S.N. and Rifai, M. 2024. Influence of spray drying inlet temperature on the physical properties and antioxidant activity of black garlic extract powder. *Trends in Sciences*, 21 (2): 7247-7247.

Wrolstad, R.E. and Smith, D.E. 2017. Color analysis. *Food analysis*: 545-555.

Xie, Y., Geng, J., Han, J., Wang, Z., Zhao, Y., Yang, H. and Li, P. 2024. Effect of drying technology on the physical, rehydration, flavor, and allicin content of single-clove garlic. *Industrial Crops and Products*, 222: 120020.

Yu, T.H., Wu, C.M. and Liou, Y.C. 1989. Volatile compounds from garlic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37 (3): 725-730.

Yuksel, H. and Dirim, S.N. 2020. Application of the agglomeration process on spinach juice powders obtained using spray drying method. *Drying Technology*, 39 (1): 19-34.

Zalpouri, R., Singh, M., Kaur, P. and Singh, S. 2022. Refractance window drying–a revisit on energy consumption and quality of dried bio-origin products. *Food Engineering Reviews*, 14 (2): 257-270.

Zang, B., Qiu, Z., Zheng, Z., Zhang, B. and Qiao, X. 2023. Quality improvement of garlic paste by whey protein isolate combined with high hydrostatic pressure treatment. *Foods*, 12 (7): 1500.

Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. and Wang, S. 2006. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 17 (10): 524-534.

Zhao, Y., Liu, R., Qi, C., Li, W., Rifky, M., Zhang, M., Xiao, P., Wu, T. and Sui, W. 2021. Mixing oil-based microencapsulation of garlic essential oil: Impact of incorporating three commercial vegetable oils on the stability of emulsions. *Foods*, 10 (7): 1637.

Zheng, Z.-A., Wang, S.-Y., Wang, H., Xiao, H., Liu, Z.-L., Pan, Y.-H. and Gao, L. 2023. Comparative study on the influence of various drying techniques on drying characteristics and physicochemical quality of garlic slices. *Foods*, 12 (6): 1314.

Zhou, S., Yan, X., Qiao, X., Qiu, Z., Zhu, W., Lu, X., Zheng, Z. and Zhang, B. 2025. Evaluate the stability of synthesized allicin and its reactivity with endogenous compounds in garlic. *npj Science of Food*, 9 (1): 18.

Zotarelli, M.F., Carciofi, B.a.M. and Laurindo, J.B. 2015. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by refractance window. *Food Research International*, 69: 410-417.

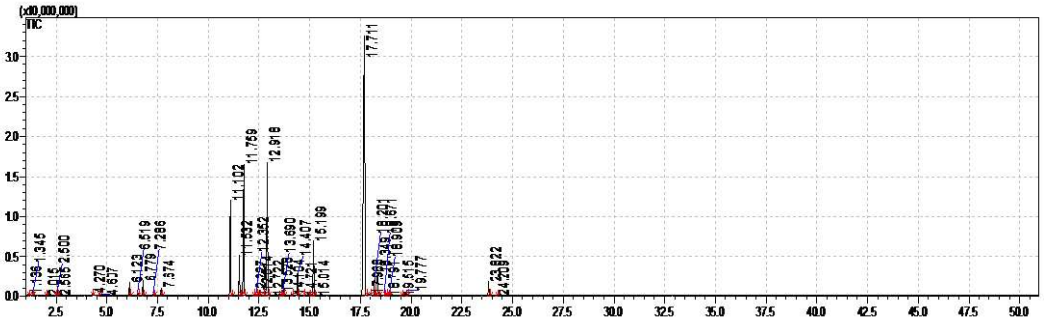
Zuidam, N.J. and Heinrich, E. 2010. Encapsulation of aroma. *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing*: 127-160.

7. EKLER

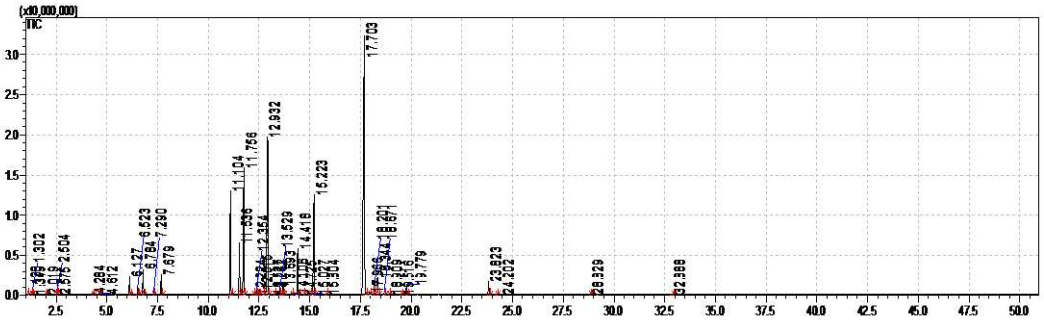
EK-1: Aroma profili ve toplam aroma değerleri için referans alınan uçucu bileşenler

Alıkonma zamanı	Uçucu bileşen
2.015-2.020	Allilmetil Sülfit
6.122-6.131	Allilmetil Disülfit
7.673-7.679	Dimetil Trisülfit
11.100-11.783	Diallil Disülfit
12.883-12.933	Allilmetil Trisülfit
14.398-14.418	3-vinil-[4H]-1,2-dithiin
15.184-15.223	3-Vinil-1,2-dithiasikloheks-5-en
17.673-17.689	Diallil trisülfit

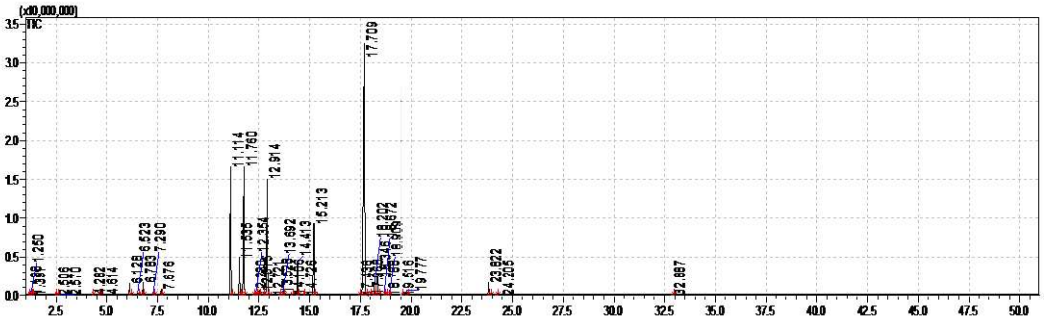
EK-2: farklı ön işlemler ve kurutma yaklaşımlarıyla üretilen sarımsak tozlarının uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogramlar



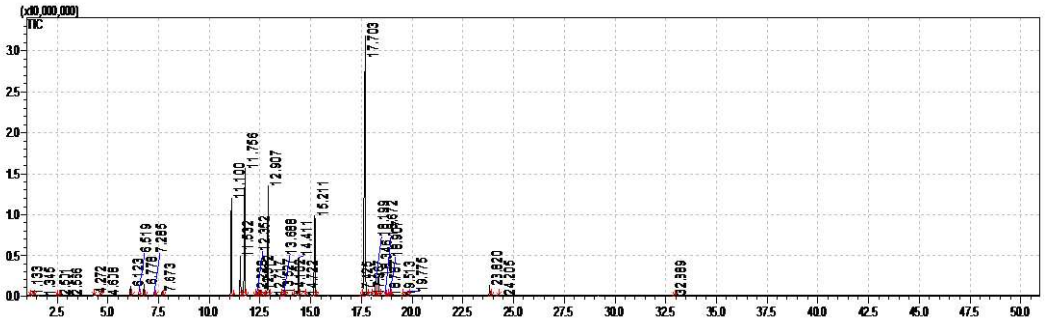
Şekil 24. S1 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu



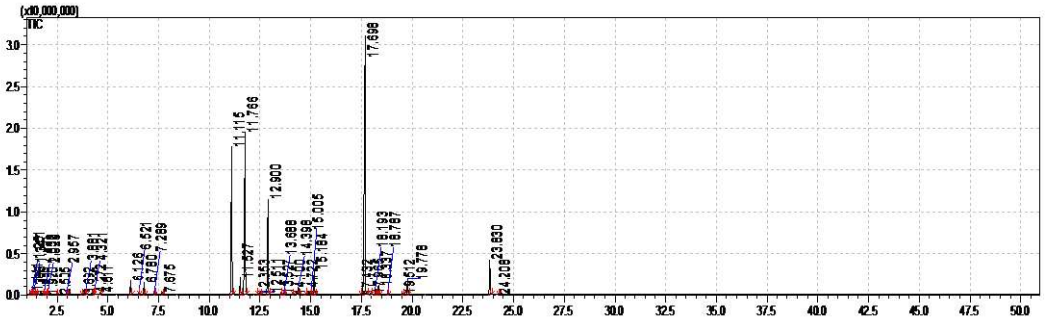
Şekil 25. S2 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu



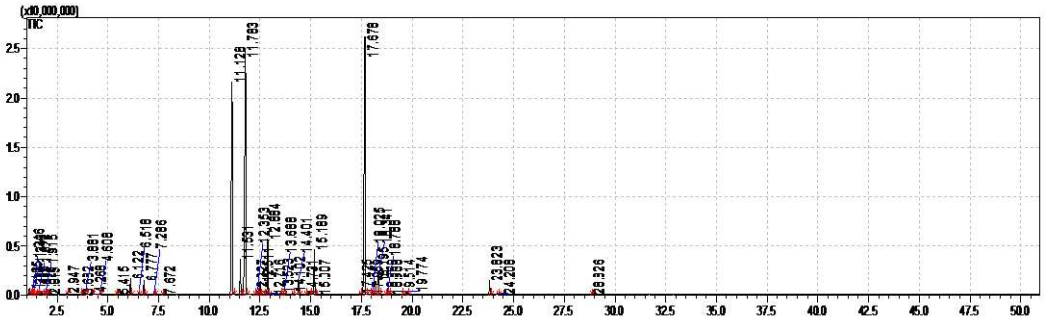
Şekil 26. S3 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu



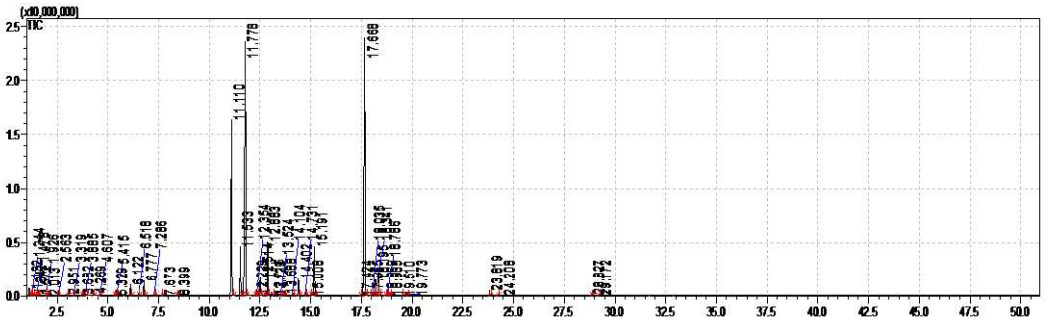
Şekil 27. S4 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu



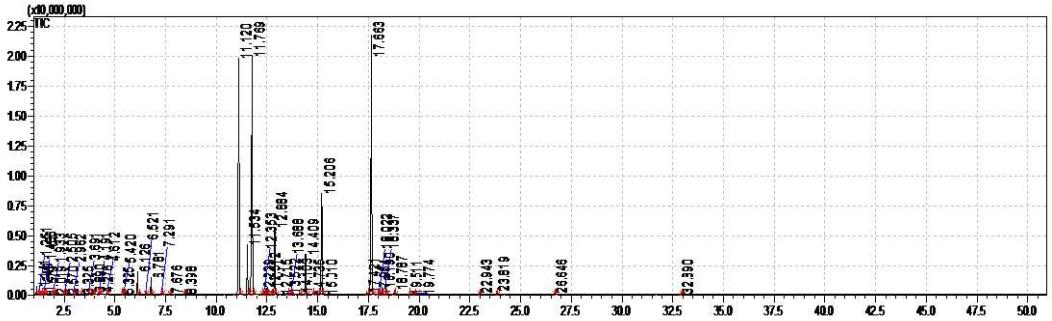
Şekil 28. S5 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu



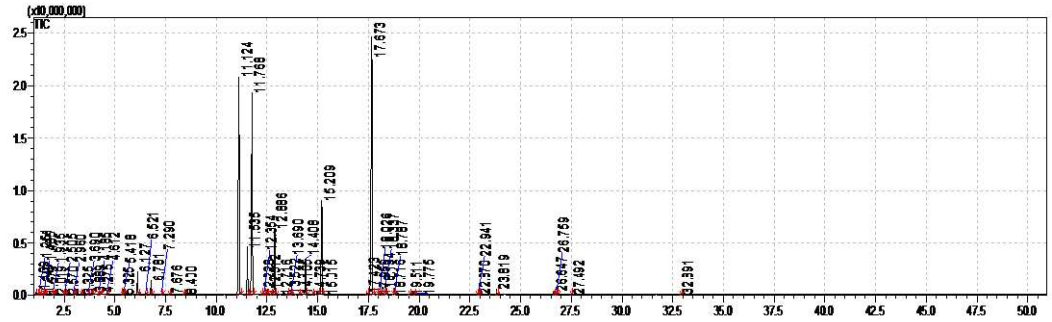
Şekil 29. S6 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu



Şekil 30. S7 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu



Şekil 31. S8 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu



Şekil 32. S9 örneğine ait uçucu bileşen kompozisyonu

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf YILMAZ

E-mail:

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2018 - 2025	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Estitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2012-2014	Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Estitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Van
Lisans 2001-2005	Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Erzurum

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Öğretim Görevlisi 2017- Devam ediyor	

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1- Yılmaz, Y., & Doğan, İ. S. (2015). Glutensiz Ekmek Karışımların Kalite Ve Bileşenler Yönünden Değerlendirilmesi. Gıda, 40(6), 335-342.

2- Yılmaz, Y., Vural, E., & Topuz, A. (2024). Optimization of Spray Drying Parameters and Wall Material Composition of Juniper (*Juniperus drupacea* L.) Extract Using Response Surface Methodology. *Akademik Gıda*, *22*(3), 167-178.