

Vakum Altında Kızartma İşleminin Gıda ve Kızartma Yağı Kalitesi Üzerine Etkisi

Esra Devseren¹, Dilara Tomruk¹, Mehmet Koç², Figen Kaymak-Ertekin¹ ✉

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir
²Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Aydın

Geliş Tarihi (Received): 29.01.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 21.03.2016

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): figen.ertekin@ege.edu.tr (F.Kaymak-Ertekin)

☎ 0 232 311 30 06 📠 0 232 342 75 92

ÖZ

Kızartma işlemi genellikle atmosferik basınçta yüksek sıcaklıklarda (150-200°C) ve oksijen varlığında gerçekleşmesi nedeniyle gıdanın besin değerinde kayıplara, yüksek yağ içerikli gıdaların elde edilmesine, pişme işlemi tam gerçekleşmeden renkte kararmalara ve kızartma yağında hızlı kalite kayıplarına sebep olmaktadır. Bu sorunların giderilmesi için yapılan çalışmalarda vakum kızartma işlemi öne çıkmaktadır. Vakum kızartma, kızartma işleminin düşük sıcaklık ve basınç değerlerinde gerçekleştirilmesi sağlayarak daha yüksek kalitede kızartılmış gıdaların elde edilmesini sağlarken aynı zamanda kızartma yağının kullanım süresini de artırmaktadır. Bu olumlu etkileri nedeniyle vakum kızartma işleminin gerçekleştirilmesi için laboratuvar, pilot ve sanayi ölçekli birçok cihaz üretilmiştir. Bu derlemede, vakum kızartma işlemi tanımlanarak bu amaç için geliştirilen sistemler ile vakum kızartmanın gıda ve yağ kalitesine etkisi hakkında bilgi sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Vakum kızartma, Yağ emilimi, Vakum kızartma sistemleri, Yağ kalitesi

Effect of Vacuum Frying on Food and Frying Oil Quality

ABSTRACT

Frying generally leads to losses in nutritional value of foods, the production of foods with high-fat content, darkening in color prior to complete cooking process and rapid reduction of frying oil quality because of high temperatures (150-200°C) and the presence of oxygen. Vacuum frying process can be used to eliminate these undesirable changes in both food and oil quality. Vacuum frying, a frying process at low temperature and pressure, ensures to obtain fried foods with superior quality, and also increases the frying time of oil. Due to the positive effects of vacuum frying, many vacuum frying equipments of laboratory, pilot, and industry scales have been recently production. In this study, vacuum frying process is defined and vacuum frying equipments and the effect of vacuum frying on food and oil quality are reviewed.

Keywords: Vacuum frying, Oil uptake, Vacuum frying equipment, Oil quality

GİRİŞ

Kızartma, gıdanın 150-200°C sıcaklıktaki yenilebilir yağ içerisine daldırılması veya ısıtılan yüzeyle arasına ince bir yağ tabakası eklenmesi sonucunda gıdanın arzulanan renk, doku ve lezzeti kazanarak kısa sürede

pişmesini sağlayan; yağ, gıda ve ortam havası arasında eş zamanlı gerçekleşen bir ısı ve kütle transfer işlemidir [1]. Bilinen en eski pişirme yöntemlerinden olan kızartma, tercih edilen duyuşal özellikleri nedeniyle evlerde ve endüstride sıklıkla kullanılmaktadır [2-3].

Kızartma işlemi, genel olarak derin ve sığ (temaslı) kızartma olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sığ kızartma işleminde ısıtıcı yüzey ve ürün arasında ince bir yağ tabakası bulunmaktadır. Gıdanın tek bir yüzeyinin yağ ile temas etmesi nedeniyle homojen bir kızartma gerçekleşmemektedir. Derin kızartma işleminde ise gıda yüzeyi yağ tarafından tümüyle sarıldığı için her noktada ısı transferi eşit olup, kızartma tek düze olmaktadır [4]. Arzulanan renk, doku ve lezzet özellikleri açısından kızartma sonrasında elde edilen ürün kalitesinin daha yüksek olması nedeniyle derin kızartma işlemi sığ kızartmaya göre daha çok tercih edilmektedir.

Kızartma işlemi genellikle, atmosferik koşullarda ve 165-190°C sıcaklıkta gerçekleştirilmektedir. Bu koşullarda gerçekleştirilen kızartmalarda sıklıkla karşılaşılan sorun, ürünün tamamıyla pişmeden aşırı kararması ya da yanmasıdır. Ayrıca, yüksek sıcaklığın ve oksijenin etkisi ile yağda kısa sürede bozunma reaksiyonları gerçekleşirken gıdanın da besleyici bileşenlerinde azalmaya ve sağlık üzerine olumsuz etkisi olan akrilamid gibi bileşiklerin oluşmasına sebep olmaktadır [5-6]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda kızartılmış ürünlerin (yüksek yağ içerikli) tüketimi ile obezite, kalp hastalıkları, kanser ve tip 2 diyabet arasında ilişki olduğu belirtilmektedir [7-9].

Günümüzde, tüketiciler gıdaların lezzetli olmasının yanı sıra sağlıklı olmasına da özen göstermektedirler [10]. Özellikle gelişmiş ülkelerde obezitenin giderek artan bir sorun haline gelmesi nedeniyle kızarmış gıdaların istenilen duyu özelliklerini bozmadan yağ içeriğini azaltmak hedeflenmektedir [11]. Besin değerini koruyan, derin yağda kızarmış, istenilen kalite özelliklerine sahip düşük yağlı ürünler üretmek için firmalar tarafından birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar ham veya formüle edilmiş ürünlere uygulanan ekstrüzyon, kurutma ve fırınlama gibi alternatif yöntemlerdir. Maalesef, bu yöntemlerden hiçbiri ile derin yağda kızarmış ürünlerde istenilen lezzet, doku, görünüş ve ağız tadı gibi kalite özellikleri beklenildiği kadar sağlanamamıştır [12]. Bu açıdan vakum kızartma meyve, sebze ve diğer ürünlerin düşük yağ içeriği ve istenilen doku ve lezzette üretilebilmesi için önemli bir seçenek olmuştur.

Bu derlemede, vakum kızartmanın atmosferik kızartmaya göre avantajları ortaya konularak, vakum kızartma işleminde kullanılan sistemler ve gıdanın ve yağın kalitesine etkisi hakkında bilgi sunulmaktadır.

VAKUM KIZARTMA

Vakum kızartma, kızartılmış ürünlerin kalite özelliklerini iyileştirmek için atmosferik basınçta gerçekleştirilen kızartma işlemine alternatif olarak düşük basınç ve sıcaklıkta uygulanan yeni bir teknolojidir [13-14]. Vakum kızartma, atmosferik basınçtan düşük basınçta kapalı bir sistemde gıdanın yağa daldırılması ile gerçekleştirilir. Genellikle vakum kızartma işleminde uygulanan basınç 6,65 kPa değerinin altında olurken [10, 15-17], yapılan bazı çalışmalarda basıncın 27,5 kPa değerine kadar yükseltilebildiği görülmüştür [14, 18-19]. Basıncın düşmesi ile gıdanın içerdiği suyun kaynama sıcaklığı düşmektedir. Böylece vakum kızartma işlemi,

atmosferik koşullardaki kızartmaya göre daha düşük sıcaklıklarda uygulanabilmekte ve gıdanın karakteristik dokusu ve rengini korurken daha düşük yağ içeriğine sahip ürünlerin elde edilmesini sağlamaktadır [17].

Bu teknolojinin en önemli özelliği yağ sıcaklığının ve oksijen içeriğinin daha düşük değerlerde olmasıdır [16, 20]. Böylece vakum kızartma ile;

- Daha az yağ içeren ürünlerin elde edilmesi
- Doğal rengin ve lezzetin korunması
- Kullanılan kızartma yağındaki kalite kayıplarının azaltılması
- Kızartma yağının kullanım süresinin artması
- Daha az miktarda akrilamid oluşması
- Besleyici bileşiklerin korunması sağlanmaktadır [20-22].

Vakum kızartma yönteminde ortam havasının sistemden uzaklaştırılması ile oksidasyon hızı düşmekte, duyu özellikler açısından yüksek kalitede ürünler elde edilmekte, düşük kızartma sıcaklığı ve diğer yöntemlere göre daha kısa işlem süresi ile öne çıkmaktadır [23]. Moreira ve ark. [5] özellikle atıştırmalık meyve ve sebze ürünlerinin atmosferik koşullarda kızartılmasında yüksek sıcaklık ve oksijenden dolayı sıklıkla karşılaşılan aşırı kararma ve kavrulma sorununu vakum altında kızartma işlemi ile önleyebildiklerini belirtmişlerdir.

Vakum kızartma işlemi altı basamaktan oluşmaktadır; 1) yağın ısıtılması; 2) ürünün sepete yerleştirilmesi ve kapağın kapatılması; 3) kaptaki basıncın düşürülmesi ve ürünün yağ içine indirilmesi; 4) ürünün istenilen nem içeriğine ya da belirlenen süreye kadar kızartılması; 5) sepetin yağdan çıkarılması ve santrifüj edilerek veya bekletilerek süzülme ile yağın üründen uzaklaştırılması; 6) basıncın yükseltilip ürünün alınmasıdır [10, 13].

Vakum kızartma işlemi 90°C'nin altındaki sıcaklıklarda da gerçekleştirilebilmektedir. Fakat burada en fazla dikkat edilmesi gereken nokta, sıcaklığın yapısal değişikliklerin gerçekleşmesi için gerekli olan sıcaklığın altına düşmemesidir. Ayrıca sıcaklığın düşmesi ile evaporasyon hızı azalmakta ve böyle kabuk oluşumu yavaş gerçekleşmekte ve ürünün iç kısımlarında da kuruma gerçekleşmektedir [24].

Vakum kızartma ilk defa 1960'larda yüksek kalitede cips üretmek için geliştirilmiştir. Ancak, haşlama teknolojisi ve hammadde kalitesinin iyileştirilmesi nedeniyle, bu teknolojinin kullanımı neredeyse kaybolmuştur [5]. Günümüzde, vakum kızartma teknolojisi düşük sıcaklıkta uygulanması nedeniyle kızarmış ürünün güvenliğinin ve kalitesinin iyileştirilmesini sağlayarak gelecekteki kızarmış gıda üretimi için stratejik önem kazanmıştır [25]. Bunun bir sonucu olarak, vakum kızartma sistemlerinin tasarımına ve uygulamasına ilgi artmaktadır.

VAKUM KIZARTMA SİSTEMLERİ

Vakum kızartma sistemleri genel olarak vakum kızartma haznesi, yoğunlaştırıcı ve vakum pompası olmak üzere

üç kısımdan oluşmaktadır. Vakum kızartma haznesi, yağ ısıtıcı ve kızartma sepetini içeren hava geçirmez bir kaptır. Kızartılacak ürünün yerleştirildiği kızartma sepeti, hareketli çubuk yardımı ile ısıtılmış yağ içinde aşağı yukarı hareket ettirilebilmektedir. Yoğuşturucu kızartma esnasında çıkan su buharının soğuk bir yüzey üzerinde yoğunlaştırılmasını sağlamakta, vakum kızartma haznesi ve vakum pompası arasında yer alıp vakum pompasına su buharının ulaşarak pompanın mekanik yapısına zarar vermesini ve kavitasyona neden olmasını önlemektedir. Vakum pompası ise gerekli olan düşük basıncı sağlayarak, vakum kızartma haznesinde oluşan su buharının ortamdaki uzaklaşmasını sağlamaktadır [13].

Son yıllarda geliştirilen vakum kızartma sistemlerinde, ürün yüzeyinde kalan yağın uzaklaştırılması için kızartma sepetinin bağlı olduğu hareketli çubuk bir motora bağlanarak kızartma sepeti belirli bir süre boyunca sabit hızda döndürülerek santrifüj uygulaması yapılmaktadır [10].

Vakum kızartma sistemleri laboratuvar, pilot ve sanayi ölçekli olmak üzere üç farklı kapasitede kesikli ve sürekli olarak çalışabilecek şekilde tasarlanmışlardır [26]. Pilot boyutta ve endüstriyel boyutta, yaygın olarak kesikli vakum kızartma sistemleri kullanılmaktadır. Bunlar küçük ölçekli üretim için ya da çok özel ürünleri kızartmak için kullanılmaktadır. Ancak, bu işlem atmosferik koşullarda kızartmaya göre daha masraflıdır. Sürekli vakum kızartma sistemleri ise daha çok büyük ölçekli kızartmış gıda üretimi için kullanılmaktadır. Bu sistemlerde vakum kızartma haznesi paslanmaz çelik vakum tüpüne yerleştirilir. Çiğ materyal döner hava sistemi ile beslenir. Uygulamaya bağlı olarak, kızartma haznesi farklı ürün özelliklerine göre dizayn edilir. Taşıma bandı kızartmanın sonunda ürünü alır ve sistem dışına taşır. Vakum tüpünün çıkışında bulunan hazne vakum bölgesine hava girmesini engeller ve kayış sistemi ile ürün bir haznedeki diğerine aktarılır [26-27].

Literatürde gerçekleştirilen vakum pişirme ve kızartma çalışmalarında sıklıkla kullanılan cihazlardan biri GASTROVAC'dır [28-34]. Bu cihaz Valencia Politeknik Üniversitesi'nde dizayn edilip patenti alınmıştır. Cihaz sepetli pişirme kabı, vakumu sağlamak için membran vakum pompası ve sıcaklık probu ile kontrolü sağlanan ısıtma sistemini içermektedir. Cihaz pişirme işlemi için dizayn edilmesi nedeniyle yağ uzaklaştırma görevi gören santrifüj sistemi bulunmamaktadır. Bu cihazda basınç ayarı yapılamamakta, basınç işlemin sıcaklığından belirlenmekte olup en yüksek çalışma sıcaklığı 190°C'tir. Uygulanabilen en yüksek vakum basıncı ise 0,9 bar'dır. GASTROVAC ile gerçekleştirilen çalışmalar genellikle vakum pişirme (cook vide) üzerine gerçekleştirilmiş olup vakum kızartma için ise nugget [34] ve çipura balığı filetosu [29] üzerine çalışılmıştır.

Vakum pişirme işleminin gerçekleştirildiği yarı sürekli sistem olarak çalışan diğer bir cihaz ise Perez-Tinoco ve ark. [35] tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde vakum basıncı sabit ve 24±2 kPa'dır. Sıvı vakum pompası, buhar yoğuşturucusu ve buz tankı içeren sistemin, ayrıca konveyör bandı bulunmakta ve sıcaklığı kontrol

edilebilmektedir. Sıcaklık yağ banyosunun ortasından ölçülmekte ve sıcaklık kontrolörü kullanılarak kontrol edilmektedir. Kızartmış ürünler aynı konveyör bandı üzerinde süzülür ve emici kağıt havlu üzerine düşerek vakum bozulmadan önce soğumaya bırakılır. Bu cihazda 106.3 -117.7°C sıcaklıkta ve 24 kPa basınçta ananas cipsi üretimi gerçekleştirilmiştir.

Garayo ve Moreira [20] vakum kızartma sistemine santrifüj sistemi ekleyerek yüzeydeki yağın emilimini azaltmayı hedeflemişlerdir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen cihaz, 6 litre kapasiteli alüminyum döküm vakum kabı içermekte ve 140°C maksimum sıcaklığa ulaşabilmektedir. Cihaz vakum kabı, sepet ve maksimum dönme hızı 750 rpm olan santrifüj sisteminden oluşmaktadır. Kullanılan vakum pompasının minimum inebileceği basınç 1.33 kPa'dır. Vakum kabı ve pompa arasında bulunan yoğuşturucu, üründen gelen su buharını yoğuşturarak vakum pompasına ulaşmasını engellemektedir. Bu cihazda, patates cipsi [17, 20, 25, 36], mango, yeşil fasulye ve tatlı patates [23] kızartma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Asya ve Avrupa'da birçok şirket tarafından farklı ticari boyutlarda vakum kızartma sistemleri tasarlanmıştır. Bu sistemler kesikli ya da sürekli. Tayvan'da I-Tung Machinery Industry tarafından geliştirilen ticari kesikli vakum kızartma sistemleri 50-100 kg patates cipsi/saat ve 20-50 kg meyve/saat ve 1.42 kPa vakum uygulayabilmektedir [37]. Japonya'da Apple & Snack Company farklı meyve ve sebzelere vakum kızartma teknolojisi uygulamak için vakum kızartma ekipmanları üretmişlerdir [38].

Florigo (Hollanda) firması tarafından sürekli vakum kızartma sistemi 1970'lerin başlarında yüksek kaliteli patates kızartması üretmek için geliştirilmiştir. Patates kızartmada haşlama teknolojisinin gelişmesi ve hammadde kalitesinin artması nedeniyle vakum kızartma haşlama uygulamadan üretim yapan birkaç firma dışında kullanılmamıştır. Bu teknolojiye olan ilgi 1990'larda kızartılmış ürünlerle ilgili sağlık endişeleri ortaya çıkması ile artmıştır [10]. Günümüzde Florigo otomatik sürekli vakum kızartma sistemleri meyve cipsi, patates cipsi, patates kızartması ve sebze cipsi üretiminde kullanılmaktadır. Patates cipsi için bu sistemin kapasitesi 350 kg/saat'dir. Ayrıca önce atmosferik koşullarda ön kızartma uygulanıp daha sonra vakum kızartma ile kızartma işlemi tamamlanan iki aşamalı hibrid kızartmanın da uygulanabildiği bildirilmiştir [39].

VAKUM KIZARTMANIN ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Vakum kızartma işleminin anlaşılabilmesi için öncelikle atmosferik basınçta kızartma (geleneksel derin kızartma) işleminin mekanizmasının anlaşılması gerekmektedir.

Kızartma, eş zamanlı ısı ve kütle transferi ile gerçekleşen bir işlemdir. Yağdaki yüksek sıcaklığın gıdaya iletilmesi nedeniyle gıdadaki su buharlaşarak

gıdadan ayrılır ve suyun uzaklaşmasıyla gıdada oluşan boşluklara yağ difüze olur [22].

Sıcaklık profili ve nem analizlerine dayanılarak kızartma işleminin, nem transferi açısından dört ayrı bölümden oluştuğu gözlenmiştir. İlk aşamada ürünün yüzey sıcaklığı başlangıç sıcaklığından suyun kaynama noktası sıcaklığına ulaşır. Bu aşama daima çok kısa sürede gerçekleşir ve gıdadan ihmal edilebilir miktarda su uzaklaşır. İkinci aşama, yüzeydeki suyun hızla buharlaşması ile yüzeydeki nemin kaybedilmesi ve böylece kabuk oluşumunun başlamasıdır. Üçüncü aşamada üründen toplu nem kaybı gerçekleşir. Bu aşama en uzun süren aşamadır ve çekirdek bölgesinin sıcaklığı suyun kaynama noktasına yaklaşır. Buhar kabarcıklarının bitiş noktası ise son aşamadır, üründen görünür nem kaybının bitışı ile tanımlanır. Ayrıca, kızarmış ürünün ve kızartma yağının kalitesini belirleyen gıda ana bileşenlerinde fizikokimyasal değişimler ve mikroyapıda önemli değişiklikler gerçekleşir [24, 40]. Kızartma sırasında ısı etkisiyle gıdada meydana gelen değişimler, nişastanın jelatinizasyonu, protein denatürasyonu, renk ve aroma gelişimi, nem içeriğinin azalması, sıcaklığın artması, kabuk oluşumu, ürünün büzülmesi veya kabarması şeklinde sıralanabilir [1].

Gıdada uzaklaşan su buharı öncelikle geniş çaplı gözeneklerden uzaklaşırken oluşan boşluklar yağ tarafından doldurulur. Gıdanın merkezine ulaşan ısı enerjisiyle de pişme işlemi yani nişasta jelatinizasyonu ve protein denatürasyonu gerçekleşir. Kısa bir süre sonra, gıdanın yüzeyinde oluşan kuruma sonucu, içe doğru ilerleyen bir kabuklaşma meydana gelir. Bundan sonraki aşamada ise, gıdanın yüzey sıcaklığı içinde bulunduğu yağın sıcaklığına kadar yükselir. İşlem süresince oldukça kompleks kütle ve ısı transfer olayları oluşmaktadır. Aynı zamanda da özel çıtır gevrek doku ve lezzet meydana gelmiş olur [4, 41-42].

Kızartma işlemi ile gıdanın yapısı kabuk (dış tabaka) ve iç kısım (çekirdek) olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadır. Kızartılmış gıdalarda istenen özellikler, kabuğun kuru, gevrek ve yağlı, iç kısmın ise nemli ve pişmiş olmasıdır. Nem kaybının hızlı bir şekilde gerçekleştiği kabuk kısmı, çıtır bir yapı kazanırken yağ emilimi gerçekleşir. İç kısımda ise daha ılımlı değişiklikler gerçekleşmektedir. Nişasta granülleri 60-70°C civarında jelatinizasyona uğrayarak hücre içi suyunun etkisi ile şişerler ve hücre içini kaplarlar. 60-80°C aralığında, hücreleri ayıran hücre duvarı parçalanır ve hücreler dağılır. Böylece unlu bir doku oluşmakta ve proteinler denatüre olabilmektedir [24, 43].

Kızarmış ürünün kalitesini etkileyen ana faktör kızartmada uygulanan süre ve sıcaklık kombinasyonudur. Doğru kombinasyon ile kabul edilebilir fiziksel özelliklere sahip ürün elde edilebilmektedir. Vakum kızartmada ise sıcaklık ve süreye ilave olarak vakum basıncı da gıdanın nem kaybı, yağ emilimi, tekstür ve renk gibi özelliklerini etkileyen ana faktörlerden biridir [29].

Kızartılmış ürünlerin genel kalite kriterleri renk, doku, lezzet ve yağ içeriğidir. Vakum kızartma meyve ve

sebze gibi şeker içeriği yüksek hassas ürünlerin kızartılması için en dikkat çeken teknolojidir. Genel olarak vakum altında kızartılmış olan atıştırmalıklar düşük kızartma sıcaklığı ve daha az oksidasyon gerçekleşmesi nedeniyle doğal rengini ve lezzetini korumaktadır [36]. Tablo 1'de literatürde farklı ürünler üzerine gerçekleştirilen vakum kızartma çalışmaları ve kalite özellikleri üzerine etkileri yer almaktadır.

Vakum Kızartmanın Yağ İçeriğine Etkisi

Kızarmış ürünün yağ absorpsiyonu kompleks bir olaydır ve henüz tam olarak açıklanamamıştır [18]. Kızarmış ürünün yağ absorpsiyonu kızartma süresince ve soğuma aşamasında gerçekleşmektedir. Kızartma işleminde gerçekleşen yağ absorpsiyonu genellikle üç mekanizma ile açıklanır. Bunlar, su ile yer değiştirme, kapiler basınç ile emilim ve buharın yoğunlaşması ile emilimdir. Su ile yer değiştirme mekanizması ile yağ emilimi, gıda maddesi yüzeyindeki suyun buharlaşması ile yüzeyde kabuk ve iç kısımda büyük boşluklar oluşup yağın gıdadaki bu boşluklara girmesi ile gerçekleşir [11]. Kapiler basınç ile emilimde kabuğa emilen ve yüzeyde bulunan yağın gıdanın kızartma yağından çıkarılması ile çevre ve gıda arasındaki sıcaklık farkı etkisi ile yüzeyde kapiler kuvvet oluşarak emilmesidir [5]. Buharın yoğunlaşması ile emilim ise, kızartma sonrası gıda soğurken, gıda içindeki buharın yoğunlaşması, iç basıncın azalması ve vakum etkisi yaratarak yağın içeri emilmesi şeklinde gerçekleşmektedir [11].

Moreira ve ark. [49] göre ise yağ absorpsiyonu ürün kızartıcıdan çıkarıldığında (soğuma aşaması) ürün ve ortam sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı nedeni ile gerçekleşen bir yüzey olayıdır. Sıcaklık değişimi nedeniyle ürün gözeneklerindeki kapiler basınç artmaktadır ve böylece yağ açık gözenek boşluklarından içeri girmektedir. Böylece, soğumanın ilk saniyelerinde ürünün iç kısımlarındaki yağ içeriği hızla artmakta ve daha sonra yavaş yavaş artarak son değere ulaşmaktadır. Tortilla cipsi üzerine yapılan bir çalışmada toplam yağ içeriğinin %20'sinin kızartma esnasında, %64'ünün ise soğuma aşamasında emildiği tespit edilmiştir [49].

Kızartma işleminde ürünün yağ emilimini etkileyen birçok etken vardır. Bunlar; gıdanın fiziksel ve kimyasal özellikleri, yağın yapısı, işlem koşulları, ön işlem ve kızartma sonrası uygulanan işlemler ve kabuk oluşumudur [11]. Gıdanın fiziksel özelliklerinden şekli, boyutu (kalınlığı), gözeneklilik, yoğunluk ve yüzey alanının pürüzlülüğü yağ emilimini etkilerken, kimyasal özelliklerinden nem içeriği ve nişastanın jelatinizasyonu emilim üzerine etkilidir. Yapılan çalışmalar ürünün kalınlığının azalması ve yüzey alanının artması ile yağ emiliminin arttığını göstermiştir [50]. Buna en iyi örnek parmak patates (French fries) ürününün patates cipsine oranla daha küçük yüzey alanı/hacim oranına sahip olmaları nedeniyle daha az yağ emmesidir [51]. Yüzeyin pürüzlü olması da yüzey alanını artıracığı için yağ emilimini artırır. Ürünün başlangıç nem içeriği yağ emilimi ve nem kaybı arasında önemli bir ilişki olduğundan son ürünün yağ içeriğini etkilemekte ve başlangıçta yüksek nem içeriğine sahip olan ürünlerin

yağ içeriği daha yüksektir [52]. Ön işlemlerden haşlama, buhara maruz bırakma, hava ile kurutma, ozmotik difüzyon ve kaplama işlemi yağ emiliminde etkili olurken, kızartma sonrası uygulanan işlemlerden

soğutma, sarsma, vakum uygulanması, kurutma, kızgın buhar uygulanması ve mikrodalga uygulanması yağ emilimi üzerine etkili olmaktadır [11].

Tablo 1. Farklı ürünler üzerine gerçekleştirilen vakum kızartma çalışmaları

Ürün	Kızartma sıcaklığı (°C)	Basınç (kPa)	Süre	Kalite özellikleri	Kaynak
Patates dilimi (Kalınlık: 3 mm Çap: 30 mm)	120 ve 140	5,37	-	Yağ içeriğinde artma Daha açık renk Daha iyi duyuşsal kalite	[15]
Patates cipsi (Kalınlık:1,6 mm Çap: 50,8 mm)	120 ve 140	1,33	6 dak.	Santrifüj uygulaması ile yüzey yağının %81'inin uzaklaştırılması	[17]
Patates cipsi	118, 132 ve 144	16,7, 9,9 ve 3,1	5-10 dak.	Daha az yağ içeriği Daha yumuşak tekstür Daha açık renk	[20]
Patates cipsi (Kalınlık: 1,5 mm)	118,125 ve 140	1,3	1-10 dak.	% 94 daha az akrilamid İstenen lezzet ve tekstür	[25]
Patates cipsi (Kalınlık: 3 mm Çap: 30 mm)	140	27,5	10 dak.	Basınç yükselme hızı düşükçe yağ içeriğinde azalma Süzme için 30 s yeterli	[18]
Churros İspanyol kızarmış hamuru	100, 120 ve 140	27,5	8 s -18 dak.	Yağ içeriğinde değişim yok Daha gevrek yapı Düşük HMF içeriği Yavaş kahverengileşme	[19]
Elma dilimleri (Kalınlık: 5 mm Çap: 38 mm)	95, 105 ve 115	15	2-15 dak.	Rengin korunması İstenilen tekstür Atmosferik koşullara göre %50 daha az yağ içeriği	[14]
Mango cipsi (Kalınlık: 1.48-1,70 mm Çap: 50,8 mm)	120, 130 ve 138	1.33	2 dak.	Karotenoid korunumunun %35'den %65'e yükselmesi	[44]
Ananas cipsi (Kalınlık: 2,5 mm)	106.3–117.7	24	6.3- 7.7 dak.	Kızartma süresi ve sıcaklık artkça toplam fenolik madde içeriğinde artma, renk parametreleri ve C vitamininde azalma	[35]
Muz dilimleri (Kalınlık: 3,5-4,5 mm Çap: 25-30 mm)	100, 110 ve 120	8	5, 10, 15 ve 20 dak.	Lezzette belirgin farklar oluşmazken, sertlikte kızartma süresi artkça artma eğilimi	[45]
Havuç, elma ve patates cipsi	108	6,5	3.5-5 dak.	Elmada %16, havuçta %45,3 ve patatesten %49,7 yağ içeriğinde azalma	[46]
Tatlı patates cipsi (Kalınlık: 3 mm)	100	10	15 dak.	Fenolik bileşiklerde %60-69 korunma	[47]
Nugget (5x3x1 cm)	130, 140 ve 150	-	2, 4, 6 ve 8 dak.	Duyusal özelliğın korunması Yağ emiliminde belirgin oranda azalma olmaması Gevreklikte artış	[34]
Çipura balığı filetosu	90, 100 ve 110	15, 20 ve 25	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 ve 10 dak.	Yağ içeriğinde azalma Daha az büzülme	[29]
Havuç cipsi (Kalınlık: 2 mm Çap: 38 mm)	98 ve 118	6,5	1, 2, 3 ve 5 dak.	Yağ içeriğinde % 50 azalma Trans α -karotende %90 ve trans β -karotende %86 korunma	[12]
Tatlı patates, mango ve yeşil fasulye	120-130	1,33	2-7 dak.	Tatlı patatesten %24 ve yeşil fasulyede %16 yağ içeriğinde azalma	[23]
Karides	80, 100 ve 120	11-13	1-10 dak.	Yağ içeriğinde azalma Akrilamid içeriğinde azalma	[48]

Yağ emilimini etkileyen parametrelerin başında kızartma işleminin koşulları yani sıcaklık ve süre gelmektedir. Kızartma yağının penetrasyon sınırı ve gıdanın iç basıncının dış basınçtan daha büyük olması arasındaki ilişki su kaybını ve yağ emilimini belirler. Genellikle yüksek sıcaklıklarda ve düşük sürede daha az yağ emilimi gerçekleşmektedir [42].

Kızartma sıcaklığı ürünün tipine, boyutuna ve içeriğine bağlı olarak genellikle 120-190°C arasında değişmektedir. Yüksek yağ sıcaklığı (160-190°C) kütle transferinin hızlı gerçekleşmesine ve hızlı esmerleşmeye neden olurken kızartma süresini kısaltmaktadır. Gamble ve Rice [50] ve Moreira ve ark. [49] yaptıkları çalışmalarda yağ sıcaklığının 140-190°C aralığında değişiminin yağ emilimine etkisinin olmadığını bulgulamışlardır. 120°C gibi düşük sıcaklıklarda ise kızartma süresi ve yağ emilimi artmaktadır [53-54]. Ayrıca kızartmanın düşük sıcaklıkta gerçekleştirilmesi ile kabuk sertliği azalır ve yağın ürüne nüfuz etmesi kolaylaşır [55].

Vakum uygulamasının kızartma işleminde gerçekleşen yağ emilimine etkisi oldukça komplekstir [20]. Başlangıçtaki ürün yapısı, ürün ve ısıtma ortamı arasındaki çeşitli etkileşimler, ürün ve yağ özellikleri çeşitliliği, yağ ve üründe gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar kızartma işlemini kompleks hale getirmektedir [11, 26, 56]. Garayo ve Moreira [20] basınç uygulanmasının kritik bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Normal bir vakum kızartma işleminde, kızartma işleminin tamamlanması ile birlikte ürün yağ banyosundan çıkarılır ve soğutma gerçekleştirilmeden önce vakum kapatılarak basınç hızla atmosferik basınca yükseltilir. Bu işlem gözleneklerdeki buharın yoğunlaşmasına neden olur ve böylece gözleneklerde basınç azalır. Dış basıncın göznenek basıncından daha fazla olması nedeniyle soğuma aşamasından önce yağ emilimi başlar. Vakum kızartmada ise vakumun kırılması ile hava göznenek boşluklarına çok daha hızlı yayılır ve bu da soğuma süresince yağın geçişi için bir engel oluşturabilir. Bu olay ile vakumda kızartılmış atıştırmalıklar atmosferik basınçta kızartılmışlara göre daha az yağ içerebilirler [24].

Garayo ve Moreira [20] patates cipsinin kızartılmasında vakum uygulanmasının %30 daha az yağ içeriği ile sonuçlandığını ve atmosferik koşullardaki karakteristik rengin ve tekstürün aynı olduğunu göstermişlerdir. Mariscal ve Bouchon [14] ise elma dilimlerinin yağ absorpsiyonuna vakum kızartmanın etkisini analiz etmişler ve atmosferik koşullara göre vakumda kızartılan örneklerin %50 daha az yağ içerdiğini belirtmişlerdir. Dueik ve ark. [12] da vakum kızartmanın havuç cipsinin yağ absorpsiyonuna etkisini incelemiş ve atmosferik koşullara göre yaklaşık %50 daha az yağ içerdiğini gözlemlemişlerdir. Da Silva ve Moreira [23] yaptıkları çalışmada tatlı ve mavi patates, mango ve yeşil fasulyeyi vakum altında ve atmosferik basınçta kızartmışlardır. Vakum kızartma ile atmosferik basınca göre yağ içeriğinde tatlı patatesten %24 ve yeşil fasulyede %16 azalma olmuştur. Dueik ve ark. [46] ise elma, havuç ve patates üzerine çalışmış; sırasıyla yağ içeriğinde %16, %45.3 ve %49.7 azalma olduğunu

belirlemişlerdir. Pan ve ark. [48] tarafından yapılan bir çalışmada vakum altında aynı süre kızartma uygulanan karideslerde sıcaklık arttıkça yağ içeriğinin arttığı, fakat atmosferik basınçta kızartılan örneklerin yağ içeriğinden daha az olduğu bulunmuştur.

Mir-Bel ve ark. [19] vakum altında (100, 120 ve 140°C, 21 kPa) ve atmosferik basınçta (140 ve 180°C) kızartılmış Churros'un (İspanyol kızarmış hamuru) yağ içeriği üzerine vakum uygulamasının etkisi olmadığını tespit etmişlerdir. Troncoso ve ark. [15] ise vakum altında kızartılmış patates cipsinin duyu kalitesinin iyi olduğunu, fakat yağ içeriğinin atmosferik koşullardaki kızartmaya göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Gastrovac cihazı kullanılarak Teruel ve ark. [34] tarafından tavuk nuggeti ve Andres-Bello ve ark. [29] tarafından çipura balığı filetosu üzerine gerçekleştirilen kızartma çalışmalarında; atmosferik basınçta kızartma ile vakum altında kızartma karşılaştırılmıştır. Tavuk nuggetına vakum uygulaması ile yağ emiliminde belirgin oranda azalma olmadığı gözlemlenirken, çipura balığı filetosunun vakum kızartma ile daha düşük yağ içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Mir-Bel ve ark. [18] yaptıkları çalışmada patatesin vakum altında kızartılmasında (140°C ve 24,9 kPa) süzdürme süresinin (30, 60 ve 90 s) ve vakum kırılma hızının (0.75, 2.21, 4.43 ve 12.43 kPa s⁻¹) yağ emilimine etkisini incelemişlerdir. Kısa süzdürme süresi ve düşük vakum kırılma hızı uygulamasının yağ içeriğini artırdığı görülmüştür. 30 s süzdürme uygulamanın yağ içeriğini azalttığı, fakat süzülme süresinin artmasının yağ içeriğine etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Moreira ve ark. [36] vakum altında kızartılan ürünlerin yüzey yağının uzaklaştırılabilmesi için yağ uzaklaştırma (de-oiling) işleminin uygulanmasının gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Ürünün içerdiği toplam yağın %14'ü iç kısımda bulunurken, %86'sının ise yüzey yağı olduğu tespit edilmiştir. Kızartma haznesindeki basınç artırılmadan önce uygulanan yağ uzaklaştırma işlemi santrifüj uygulanarak gerçekleştirilmiştir. 750 rpm'de 40 s santrifüj uygulanması ile patates cipslerinin toplam yağ içeriğinde %77 azalma gözlenmiştir. Elma ve havuç cipsinin vakumda kızartılması üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada santrifüj uygulaması ile (400 rpm, 2 dak.) yağ emiliminde sırası ile %35 ve %70 azalma gerçekleşmiştir [24]. Pandey ve Moreira [17] patates cipsine 750 rpm'de 40 saniye santrifüj uygulayarak yüzey yağının %81'ini uzaklaştırmış ve en az yağ içeriğine sahip ürünün kısa kızartma süresi ve uzun santrifüj işlemi ile elde edildiğini belirtmişlerdir.

Vakum Kızartmanın Renk Üzerine Etkisi

Kızarmış ürünlerin en önemli kalite kriterlerinden biri olan renk, kızartma süresi ve sıcaklığı kadar yüzeyde bulunan indirgen şekerler ve amino asitler ya da proteinlerin miktarına bağlı olarak gerçekleşen Maillard reaksiyonundan da etkilenmektedir [57]. Kızartma işlemi atmosferik basınçta yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilir. Bu yüzden ısı işlem daha yoğundur ve gıda tamamen pişmeden önce yüzeyde kararma ve daha birçok

istenmeyen reaksiyon gerçekleşir. Vakum kızartmada ise gıda yağın ve gıdanın içerdiği suyun kaynama noktasının daha düşük olduğu negatif basınç altında ısıtılır. Ayrıca, kızartma süresince havanın olmaması lipid oksidasyonunu ve enzimatik esmerleşmeyi önleyebilmektedir. Böylece gıdanın rengi ve besin değeri içeriği önemli oranda korunabilmektedir [58-59].

Mariscal ve Bouchon [14] elma dilimleri üzerine yaptığı çalışmada en önemli değişimin L* ve a* değerlerinde gerçekleştiğini ve atmosferik basınçta pişirilen ürünlerin çok daha fazla karardığını belirtmişlerdir. Ayrıca vakum kızartmada sürenin artması ile renk değişimini gösteren ΔE değerinde çok az değişim gerçekleşmiştir. Da Silva ve Moreira [23] yaptıkları çalışmada tatlı patates, mango ve yeşil fasulyenin L*, a* ve b* değerlerinde belirgin değişimler olduğunu ve atmosferik basınçta koyu ve yanık renk oluşurken vakum altında kızartılan ürünlerin doğal rengini koruduğunu belirtmişlerdir. Troncoso ve ark. [15] ise vakum altında kızartılmış patates cipsi L* değerinin atmosferik basınçta kızartılan patates cipslerine göre çok yüksek olduğunu, a*, b* ve ΔE değerlerinin ise atmosferik basınçta kızartma ile çok daha yüksek değerlere ulaştığını tespit etmişlerdir. Karides üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada ise vakum uygulanmasının rengi belirgin olarak etkilediği ancak vakum kızartmada uygulanan sıcaklığın (80, 100 ve 120°C) değişiminin renk üzerinde etkili olmadığını belirtmişlerdir [48].

Vakum Kızartmanın Tekstür Üzerine Etkisi

Kızartma işlemi ile çiğ ürünün mikroyapısında önemli değişiklikler meydana gelerek ürün istenilen fiziksel ve duyu özellikleri kazanır. Cipslerin en önemli dokusal özelliği, tazeliği ve yüksek kaliteyi gösteren gevrekliktir. Gevrek ürünler sert ve eğilerek kolayca kırılmalıdır [41]. Kızartma sırasında, meyve ve sebzelerin dokusu başlangıçta yumuşarken daha sonra dehidrasyon nedeniyle sertleşir. Ayrıca, vakum kızartma ile atmosferik basınçta kızartmaya göre daha az yapısal değişiklik gerçekleşir [26]. Mariscal ve Bouchon [14] elma dilimlerinde yapılan görsel gözlemlere göre vakumda kızartılmış ürünlerin yüzeyinin atmosferik basınçta kızartılanlara oranla daha az genişlediğini belirtmişlerdir.

Dueik ve ark. [12] havuç cipsinin atmosferik basınçta ve vakum altında kızartılmasının dokusal değişime etkisini, eğme testindeki maksimum güç ile belirlemişlerdir. Kızarmış havuç cipsinin maksimum gücünün kızartma teknolojisinden ve sıcaklığından etkilenmediği ve böylece vakum altında kızartılmış cipslerin atmosferik basınçta kızartılmış cipsler ile aynı gevrekliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Vakum kızartmanın dokusal kalite kaybına neden olmadığı belirtilmiştir. Da Silva ve Moreira [23], tatlı patates, mango ve yeşil fasulyenin tekstüründe atmosferik basınçta ve vakum altında kızartma ile fark oluşmadığını gözlemlemişlerdir. Patates cipsinin tekstürel özelliklerini belirlemek için maksimum kırılma gücü, sertlik ve gevreklik özelliklerine bakılmış ve vakum kızartma ile bu değerlerin azaldığı tespit edilmiştir [15]. Fakat duyu analizi ile belirlenen tekstürel kalite ve genel kalite vakum kızartma ile elde

edilen patates cipsinde daha yüksek bulunmuştur. Pan ve ark. [48] vakum kızartma ile karidesin daha düşük sertliğe sahip olduğunu belirlemişlerdir. Teruel ve ark. [34] ise yaptıkları çalışmada, tavuk nuggeti için gevrekliğin vakum altında kızartma ile arttığını tespit etmişlerdir.

Vakum Kızartmanın Besin Değeri İçeriğine ve Akrilamid Oluşumuna Etkisi

Meyve ve sebzeler birçok vitamin ve antioksidanın kaynağıdır, fakat bu bileşikler kızartma işleminde uygulanan yüksek sıcaklık nedeniyle önemli ölçüde azalmaktadır. Vakum kızartmada oksijenin olmaması ve uygulanan daha düşük sıcaklıklar nedeni ile besin değeri yüksek atıştırmalıklar elde edilebilir. Shirsat ve Thomas [60] kızartma süresi ve kızartma yönteminin fitokimyasalların stabilitesini etkileyen önemli faktörler arasında olduğunu bildirmişlerdir. Da Silva ve Moreira [23], atmosferik basınçta ve vakum altında kızartılmış tatlı patates, mango ve yeşil fasulyenin karotenoid ve antosiyanin içeriğinde azalma olduğunu, bu azalmanın atmosferik basınçta kızartma ile daha fazla gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Antosiyanin oksijen varlığında yıkılmakta ve renkte, fonksiyonel özelliklerde ve besin kalitesinde azalma gerçekleşmektedir. Vakum kızartma ile daha az oksidasyon ve daha düşük kızartma sıcaklığı nedeniyle tatlı patates, mango ve yeşil fasulyenin doğal rengi ve lezzeti korunmuştur. Dueik ve ark. [12] vakum kızartma ile havuç cipslerinin içerdiği alfa-karotenin %90'ının ve beta-karotenin %86'sinin korunduğunu belirtmişlerdir. Nunes ve Moriera [44] ise mango cipslerinin içerdiği karotenoidin atmosferik kızartma ile %35'inin korunduğunu vakum kızartma ile bu değerlerin %65'e yükseldiğini ifade etmişlerdir. Fang ve ark. [47] tarafından ise tatlı patatesin fenolik madde içeriğinin vakum kızartma ile %60-69 aralığında korunduğu belirlenmiştir.

Akrilamid, Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı tarafından muhtemel kanserojen olarak sınıflandırılmaktadır [26]. Akrilamid gıdaların doğal yapılarında bulunmayan, karbonhidrat ve protein içerikli gıdaların yüksek sıcaklıklarda (kızartma ve fırında) (120°C ve üzeri) pişirilmesi sonucu oluşan zararlı bir bileşiktir. Maillard reaksiyonunun bir yan ürünü olarak akrilamid oluşumu en çok kabul edilen teorilerden biridir. Çalışmalar, gıdalardaki akrilamid içeriğinin gıdanın çeşidine ve üretim şekline bağlı farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur [61-62]. Sıcaklığın artması ile akrilamid oluşumu artmaktadır [63].

Gıdalarda yapılan akrilamid taramaları sonucunda, akrilamid içeriği yüksek olan gıdalardan birinin de patates kızartması olduğu görülmüştür ve akrilamid içeriğinin yaklaşık 3600 µg/kg olduğu tespit edilmiştir. Granda ve Moreira [64] yaptıkları çalışmada patates cipsinde vakum kızartması ile atmosferik basınçta kızartmaya oranla daha az akrilamid oluştuğunu ve böylece vakum kızartma teknolojisinin akrilamid içermeyen yüksek kalitede patates cipsi üretilmesine imkan sağladığını belirtmişlerdir. Granda ve ark. [25] ise patates cipsinin vakum kızartma uygulandığında akrilamid içeriğinin atmosferik koşullara göre % 94 daha

az olduğunu belirtmişlerdir. Pan ve ark. [48] da kaplanmış karidesin vakum altında 80, 100 ve 120°C'ta kızartılması ile akrilamid içeriğinde sırasıyla atmosferik kızartmaya göre %56, %60 ve %39 azalma olduğunu belirlemişlerdir.

Vakum Uygulamasının Kızartma Yağı Üzerine Etkisi

Kızartma işlemi ile yağda hidroliz, oksidasyon ve polimerizasyon reaksiyonları gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar sonucunda uçucu olan ve olmayan bileşenler oluşur. Uçucu olan bileşiklerin bir kısmı buharlaşarak uzaklaşırken, bir kısmı gıda tarafından emilir ya da diğer reaksiyonlara girerler. Yağdaki uçucu olmayan bileşenler ise yağın ve kızaran gıdanın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirir. Uçucu olmayan bileşenler kızarmış gıdanın lezzet stabilitesini ve kalitesini ve tekstürünü değiştirir. Derin yağda kızartma yağda doymamış yağ asitlerini azaltırken, yağın yoğunluk, dumanlanma, viskozite, renk, spesifik ısı, yağ asidi içeriği, polar madde ve polimerik bileşiklerinin artmasına sebep olur [6].

Kızartma işlemi sırasında yağda gerçekleşen bozunma reaksiyonları yağın ısı, su ve oksijene maruz kalması nedeniyle oluşmaktadır. Gıdadan ayrılan su triağılglicerol yapısındaki yağın hidrolize uğramasına neden olup, ester bağları açılarak serbest yağ asitleri, monoglisericid, diğlisericid ve gliserol oluşturmaktadır. Oluşan bu bileşikler ısı bozunmaya ve oksidasyona daha hassastırlar. Oksidasyon ısı, ışık, iz metal ve oksijenin etkisi ile gerçekleşmekte ve hidroperoksit ve uçucu bileşikler olan aldehit, keton gibi bileşikler oluşmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklığın (120-200°C) etkisi ile gerçekleşen polimerizasyon reaksiyonu ile dimerler, trimerler ve polimerler ortaya çıkmaktadır. Bu bozunma reaksiyonları sonucunda yağın renginde koyulaşma, viskozite, polar madde içeriği, serbest yağ asidi içeriği ve köpürmede artış gerçekleşirken, esansiyel yağ asitleri, lezzet kalitesi ve dumanlanma noktasında azalma gerçekleşmektedir [6, 11, 24].

Kızartma yağında gerçekleşen bozunma reaksiyonları yağın kullanım süresini kısaltmanın yanı sıra aşırı kullanım sonucunda gastrointestinal bozukluklara yol açmakta ve hatta mutajenik özellik göstererek insan sağlığını tehdit edebilmektedir [65]. Yağın kalitesini etkileyen en önemli faktörün lipid oksidasyonu olduğu ve kızartma sırasında oksidatif bozunmayı etkileyen temel etkenin ise oksijen olduğu bilinmektedir. Bu nedenle kızartma ortamındaki oksijeni azaltmak oksidasyonu önlemek için en iyi yollardan biridir. Günümüzde, vakum altında kızartma düşük oksijen varlığında ve düşük sıcaklıkta gerçekleştirilmesi nedeniyle dikkat çekmektedir [66].

Vakum kızartma üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda, vakum uygulamasının gıda kalitesi üzerine etkisi yoğun olarak araştırılırken, kızartma yağına etkisini araştırın sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır [16, 66]. Croşa ve ark. [16], vakum uygulamasının kızartmada kullanılan yağın bozunması üzerine etkisini araştırmışlardır. Patates cipsinin vakum altında (5.2 kPa ve 130°C) ve

atmosferik koşullarda (180°C) kızartılması için kullanılan yağın peroksit sayısı, serbest yağ asidi, antioksidan stabilitesi ve toplam polar bileşik miktarı gibi değerlerini dikkate alarak vakum uygulamasının yağın bozunmasını geciktirdiğini böylece yağın kullanım süresinin arttığını tespit etmişlerdir.

Aladedunye ve Przybylski [66] ise yaptıkları çalışmada, karbondioksit uygulayarak, vakum altında (9,7 kPa) ve atmosferik koşullarda kanola yağı kullanarak 180°C'ta patates kızartmışlardır. Vakum kızartmanın toplam polar maddeyi atmosferik koşullara göre %76 azalttığı ve daha yavaş oksidatif bozunma gerçekleştiği gözlenmiştir. Ayrıca tokoferol bozunma hızının vakum altında kızartma ile diğer yöntemlere kıyasla çok daha yavaş olduğunu belirlemişlerdir.

SONUÇ

Günümüzde tüketiciler, gıdanın tekstürü, rengi, lezzeti gibi özelliklerinin yanı sıra sağlıklı olmasına da önem vermektedirler. Gıdaların hem düşük kalorili hem de vitamin, lif ve doğal antioksidanlarca zengin olması istenmektedir. Sıklıkla kullanılan pişirme yöntemlerinden biri olan kızartma, gıdanın yüksek yağ ve yüksek akrilamid içermesi ve besin öğelerinde kayıplar meydana gelmesi ve sağlığa zararlı bileşenler oluşması nedeniyle geliştirilerek vakum altında kızartma işlemi ortaya çıkarılmıştır.

Vakum kızartma ile ortamda sağlanan düşük oksijen ve uygulanan düşük sıcaklık nedeniyle gıdaların doğal lezzet ve renginin korunduğu, kızartma yağının işlemde daha az etkilendiği ve kullanım süresinin arttığı, genellikle daha az yağ içeren ve besleyici bileşenlerin daha fazla korunduğu kızartılmış gıdalar elde edilebilmektedir. Vakum kızartmanın daha kaliteli ürünlerin elde edileceği alternatif bir kızartma yöntemi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, vakum altında kızartma ile kızartma işlemi tüketicinin talebine uygun olan daha sağlıklı bir form kazanmaktadır.

Vakum kızartma işleminin gerçekleştirilmesi için geliştirilen cihazlar genellikle kızartma haznesi, yoğunlaştırıcı ve vakum pompasından oluşmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar doğrultusunda, vakum kızartma cihazlarına santrifüj sistemi eklenerek kızartma sonrası yağdan çıkarılan gıdanın yüzeyindeki yağın uzaklaştırılması ile ürünlerin yağ içeriğinde daha yüksek oranda azalma sağlanmıştır. Ancak yüksek kaliteli ürünlerin elde edilmesini sağlayan vakum kızartma yönteminin uygulanması için geliştirilen cihazların maliyetinin yüksek olması nedeniyle bu yöntem ülkemizde henüz etkin olarak kullanılmaya başlanmamıştır. Ayrıca, geliştirilen cihazların laboratuvar, pilot ve sanayi ölçekli olması nedeniyle evsel kullanıma uygun vakum kızartma cihazı da bulunmamaktadır. Evlerde doğrudan tüketicilerin rahatlıkla kullanabileceği ergonomik vakum kızartma cihazlarının dizayn edilmesi bu yöntemin evlerde uygulanmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Farkas, B.E., Singh, R.P., Rurnsey T. R., 1995. Modelling heat and mass transfer in immersion frying model development. *Journal of Food Engineering* 29: 227-248.
- [2] Moreira, R.G., Palau, J., Sin, X., 1995. Simultaneous heat and mass transfer during the deep fat frying of tortilla chips. *Journal of Food Process Engineering* 18: 307–320.
- [3] Varela, G., 1988. Current facts about the frying of food. Frying of food: Principles, changes, new approaches, In Varela, Bender and Morton (Eds.), Chichester: Ellis Horwood.
- [4] Yılmaz, E., 2009. Bazı bitkisel yağların derin-yagda kızartma performanslarının ve bunlara uygulanan adsorban tedavisinin etkenliğinin araştırılması, Tübitak Projesi, Proje No: 108O565.
- [5] Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E., Barrufet, M.A., 1999. Deep Fat Frying: Fundamentals and Applications, Aspen Publishers, Gaithersburg, MD, USA.
- [6] Choe, E., Min, D.B., 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science* 72(5): 77-86.
- [7] Cahill, L.E., Pan, A., Chiuve, S.E., Sun, Q., Willett, W.C., Hu, F.B., 2014. Fried-food consumption and risk of type 2 diabetes and coronary artery disease: a prospective study in 2 cohorts of US women and men. *The American Journal of Clinical Nutrition* 100(2): 667-675.
- [8] Sayon-Orea, C., Bes-Rastrollo, M., Gea, A., Zazpe, I., Basterra-Gortari, F.J., Martinez-Gonzalez, M.A., 2014. Reported fried food consumption and the incidence of hypertension in a mediterranean cohort: the SUN (Seguimiento Universidad de Navarra) project. *British Journal of Nutrition* 112(06): 984-991.
- [9] Stott-Miller, M., Neuhouser, M.L., Stanford, J.L., 2013. Consumption of deep-fried foods and risk of prostate cancer. *The Prostate* 73(9): 960-969.
- [10] Moreira, R.G., 2014. Vacuum frying versus conventional frying – An overview. *European Journal of Lipid Science Technology* 116: 723–734.
- [11] Ziaifar, A.M., Achir, N., Courtois, F., Trezzani, I. and Trystram, G., 2008. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. *International Journal of Food Science and Technology* 43:1410–142.
- [12] Dueik, V., Robert, P., Bouchon, P., 2010. Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry* 119: 1143–1149.
- [13] Diamante, L.M., Shi, S., Hellmann, A., Busch, J., 2015. Vacuum frying foods: products, process and optimization. *International Food Research Journal* 22(1): 15-22.
- [14] Mariscal, M., Bouchon, P., 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry* 107: 1561–1569.
- [15] Troncoso, E., Pedreschi, F., Zuniga, R. N., 2009. Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. *LWT - Food Science and Technology* 42: 187–195.
- [16] Crosa, M.J., Skerl, V., Cadenazzi, M., Olazábal, L., Silva, R., Suburú, G., Torres, M., 2014. Changes produced in oils during vacuum and traditional frying of potato chips. *Food Chemistry* 146: 603–607.
- [17] Pandey, A., Moreira, R. G., 2012. Batch vacuum frying system analysis for potato chips. *Journal of Food Process Engineering* 35: 863–873.
- [18] Mir-Bel, J., Oria, R., Salvador, M.L., 2009. Influence of the vacuum break conditions on oil uptake during potato post-frying cooling. *Journal of Food Engineering* 95: 416–422.
- [19] Mir-Bel, J., Oria, R., Salvador, M. L., 2013. Reduction in hydroxymethylfurfural content in 'churros', a Spanish fried dough, by vacuum frying. *International Journal of Food Science and Technology* 48: 2042–2049.
- [20] Garayo, J., Moreira, R., 2002. Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering* 55: 181–191.
- [21] Sobukola, O.P., Dueik, V., Bouchon, P., 2013. Understanding the effect of vacuum level in structure development and oil absorption in vacuum-fried wheat starch and gluten-based snacks. *Food Bioprocess Technology* 6: 2010–2017.
- [22] Tarmizi, A.H.A., Niranjan, K., 2013. Combination of moderate vacuum frying with high vacuum drainage-relationship between process conditions and oil uptake. *Food Bioprocess Technology* 6: 2600–2608
- [23] Da Silva, P.F., Moreira, R.G., 2008. Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable based snacks. *LWT Food Science and Technology* 41: 1758-1767.
- [24] Dueik, V., Bouchon, P., 2011. Development of healthy low-fat snacks: understanding the mechanisms of quality changes during atmospheric and vacuum frying. *Food Reviews International* 27(4): 408-432.
- [25] Granda, C., Moreira, R.G., Tichy, S.E., 2004. Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. *Journal of Food Science* 69: 405–411.
- [26] Andrés-Bello, A., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., 2011. Vacuum frying: An alternative to obtain high-quality dried products. *Food Engineering Reviews* 3:63–78.
- [27] Fan, L.P., Zhang, M., Mujumdar, A.S., 2010. Vacuum frying technology. Innovation in food engineering, In: Passos M.L., Ribeiro C.P. (eds), New techniques and products, CRC Press, Boca Raton.
- [28] Aladedunye, F., Przybylski, R., 2009. Protecting oil during frying: A comparative study. *European Journal of Lipid Science and Technology* 111(9): 893–901.
- [29] Andrés-Bello, A., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., 2010. Vacuum frying process of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fillets. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11: 630-633.

- [30] Garcia-Segoiva, P., Andres-Bello, A., Martinez-Monzo, J., 2007. Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (*M. pectoralis*). *Journal of Food Engineering* 80: 813–821.
- [31] Garcia-Segoiva, P., Andres-Bello, A., Martinez-Monzo, J., 2008. Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum L., cv. Monalisa*) as affected by different cooking processes. *Journal of Food Engineering* 88: 28–35.
- [32] Iborra-Bernad, C., Philippon, D., Garcia-Segovia, P., Martinez-Monzo, J., 2013. Optimizing the texture and color of sous-vide and cook-vide green bean pods. *LWT - Food Science and Technology* 51: 507-513.
- [33] Iborra-Bernad, C., Tarrega, A., Garcia-Segovia, P., Martinez-Monzo, J., 2013. Comparison of vacuum treatments and traditional cooking using instrumental and sensory analysis. *Food Analytical Methods* 7: 400-408.
- [34] Teruel, M.R., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., Linares, M.B., Garrido, M.D., 2014. Use of vacuum-frying in chicken nugget processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 26: 482-489.
- [35] Perez-Tinoco, M.R., Perez, A., Salgado-Cervantes, M., Reynes, M., Vaillant, F., 2008. Effect of vacuum frying on main physicochemical and nutritional quality parameters of pineapple chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: 945–953.
- [36] Moreira, R.G., Da Silva, P.F., Gomes, C., 2009. The effect of a deoiling mechanism on the production of high quality vacuum fried potato chips. *Journal of Food Engineering* 92: 297–304.
- [37] Anonymous, 2016. I-Tung Machinery Industry. <http://www.taiwanagriculture.org/itung/itungpro.html> Accessed 02.01.2016.
- [38] Anonymous, 2016. Apple & Snack Company. <http://www.net24.ne.jp/~applesnack/e/Vacuumfryer/vacuumfryer.htm> Accessed 02.01.2016.
- [39] Anonymous, 2016c. Flo-Mech. <http://www.flo-mech.com/p/vacuum.frying> Accessed 02.01.2016.
- [40] Farinu, A., Baik, O., 2005. Deep fat frying of foods-transport phenomena. *Food Reviews International* 21: 389–410.
- [41] Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B., Marinos-Kouris, D., 2001. Effect of osmotic dehydration pretreatment on quality of French fries. *Journal of Food Engineering* 49: 339–345.
- [42] Dobarganes, M.C., Marquez-Ruiz, G., Velasco, J., 2000. Interactions between fat and food during deep frying. *European Journal of Lipid Science and Technology* 102: 521–28.
- [43] Bouchon, P., Aguilera, J.M., 2001. Microstructural analysis of frying potatoes. *International Journal of Food Science and Technology* 36: 669–676.
- [44] Nunes, Y., Moreira, R.G., 2009. Effect of osmotic dehydration and vacuum-frying parameters to produce high-quality mango chips. *Journal of Food Science* 74(7): 355-362.
- [45] Yamsaengsung, R., Ariyapuchai, T., Prasertsit, K., 2011. Effects of vacuum frying on structural changes of bananas. *Journal of Food Engineering* 106; 298–305.
- [46] Dueik, V., Moreno, M.C., Bouchon, P., 2012. Microstructural approach to understand oil absorption during vacuum and atmospheric frying. *Journal of Food Engineering* 111: 528–536.
- [47] Fang, Z., Wu, D., Yü, D., Ye, X., Liu, D., Chen, J., 2011. Phenolic compounds in Chinese purple yam and changes during vacuum frying. *Food Chemistry* 128: 943–948.
- [48] Pan, G., Ji, H., Liu, S., He, X., 2015. Vacuum frying of breaded shrimps. *LWT - Food Science and Technology* 62: 734-739.
- [49] Moreira, R. G., Sun, X., Chen, Y., 1997. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *Journal of Food Engineering* 31: 485–498.
- [50] Gamble, M.H., Rice, P., 1987. Effect of pre-frying drying of oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. *International Journal of Food Science and Technology* 22: 535–548.
- [51] Paul, S., Mittal, G.S., 1997. Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food fryin. *Critical Review on Food Sciences and Nutrition* 37: 635–662.
- [52] Yamsaengsung, R., Moreira, R.G., 2002. Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying: Part I: Model development. *Journal of Food Engineering* 53: 1–10.
- [53] Moyano, P.C., Pedreschi, F., 2006. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: effect of pre-treatments. *LWT – Food Science and Technology* 39: 285–291.
- [54] Rojas, J., Avallone, S., Brat, P., Trystram, G., Bohuon, P., 2006. Effect of deep-fat frying on ascorbic acid, carotenoids and potassium contents of plantain cylinders. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 57: 123–136.
- [55] Blumenthal, M.M., Stier, R.F., 1991. Optimization of deep-fat frying operations. *Trends in Food Science and Technology* 2: 144– 148.
- [56] Velasco, J., Marmesat, S., Dobarganes, C., 2008. Chemistry of frying. In: Sahin S, Summu SG (eds), *Advances in deep-fat frying of foods*. CRC Press, Boca Raton, pp 33–56.
- [57] Marquez, G., Anon, M.C., 1986. Influence of reducing sugars and amino acid in the color development of fried potatoes. *Journal of Food Science* 51: 157–160.
- [58] Gao, J., Liang, Y., 1999. Study on vacuum frying sweet potato chips. *Science Technology Food In China* 20: 30–33.
- [59] Fan, L., Zhang, M., Mujumdar, A., 2005. Vacuum frying of carrot chips. *Dry Technology* 23: 645–656.
- [60] Shirsat, S.G., Thomas, P., 1998. Effect of irradiation and cooking methods on ascorbic acid levels of four potato cultivars. *Journal of Food Science Technology Mysore* 35(6):509–514.
- [61] Karagöz, A., 2009. Akrilamid ve Gıdalarda Bulunuşu. *TAF Prev Med Bull*, 8(2): 187-192.
- [62] Stadler, R., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P., Robert, M., Riediker, S., 2002. Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature* 419:448–449.
- [63] Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., Tornqvist, M., 2002. Analysis of acrylamide, a

- carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:4998–5006.
- [64] Granda, C., Moreira, R.G., 2005. Kinetics of acrylamide formation during traditional and vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Process Engineering* 28: 478–493.
- [65] Dana, D., Saguy, I.S., 2001. Frying of nutritious food: Obstacles and feasibility. *Food Science and Technology Research* 7(4): 265–279.
- [66] Aladedunye, F., Przybylski, R., 2009. Protecting oil during frying: A comparative study. *European Journal of Lipid Science and Technology* 111(9): 893–901.
-