

Vakumlu Emdirim (İmpregnasyon) Teknolojisinin Fonksiyonel Meyve ve Sebze Ürünlerinin Geliştirilmesinde Kullanımı

Fatih Mehmet Yılmaz¹, Seda Ersus Bilek²¹Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 09010, Efeler, Aydın²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 26.01.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 16.05.2017

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): fatih.yilmaz@adu.edu.tr (F.M. Yılmaz)

☎ 0 256 213 75 03 📠 0 256 213 66 86

ÖZ

Vakumlu emdirim, meyve ve sebze gibi gözenekli yapıya sahip gıdanın kapiler yapısı ile içinde bulunduğu bir sıvı arasında kütle transferinin gerçekleştiği bir temel işlemdir. Vakumlu emdirim işleminde 'hidrodinamik mekanizma' ve 'deformasyon gevşeme olayları' ile açıklanan birtakım süreçler gerçekleşmektedir ve bu süreçlerde basınç farkından kaynaklanan kapiler yapının şişmesi, büzülmesi ile kapiler yapıdan gaz çıkışı ve emdirim çözeltisinden kapiler yapıya sıvı geçişi gerçekleşmektedir. Vakumlu emdirim, her ne kadar başlangıçta ozmotik dehidrasyonu hızlandıran bir işlem olarak ortaya çıkmış olsa da, son yıllarda meyve ve sebzelerin dokularının fonksiyonel maddeler ile zenginleştirilmesinde kullanılan oldukça popüler bir yöntem olmuştur. Vakumlu emdirim, meyve ve sebzelere mineral, vitamin, fenolik madde, antimikrobiyal madde, esmerleşmeyi önleyici madde, enzim vb. maddelerin aktarılmasında kullanılan faydalı bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Bu derleme kapsamında konuyla ilgili güncel çalışmalar da takip edilerek vakumlu emdirim tekniğinin uygulaması, hidrodinamik mekanizma ve deformasyon gevşeme olayları, işlem parametrelerini etkileyen faktörler ile fonksiyonel meyve ve sebze ürünleri geliştirmede kullanımı özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vakumlu emdirim (impregnasyon), Meyve ve sebze, Mikroyapı, Fonksiyonel gıda

The Use of Vacuum Impregnation Technology for Development of Functional Fruit and Vegetable Products

ABSTRACT

Vacuum impregnation is a unit operation where a mass transfer occurs between a liquid phase and a capillary of foods with a porous structure, like fruits and vegetables. In vacuum impregnation, a couple of processes take place explained by 'hydrodynamic mechanism' and 'deformation-relaxation phenomena' and during the processes, gas outlet from capillaries and liquid inlet from impregnation solution to capillaries are observed by swelling or shrinking of capillaries due to a pressure difference. Vacuum impregnation, however, previously developed to fasten the osmotic dehydration process, has become a popular method to enrich fruit and vegetable tissues with functional substances. Vacuum impregnation is described as a useful technique to transfer mineral, vitamin, phenolic compound, antimicrobial, anti-browning compounds, enzyme, etc. into fruit and vegetable tissues. In this review, the application of vacuum impregnation, hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena, factors affecting process parameters and its use for the development of functional fruit and vegetable products are summarized by presenting results of the latest studies.

Keywords: Vacuum impregnation, Fruit and vegetable, Microstructure, Functional food

GİRİŞ

Vakumlu emdirim tekniği, meyve ve sebzelerin gözenekli yapılarının vitamin, mineral, antimikrobiyal madde, fenolik madde, organik asit gibi maddelerle zenginleştirilmesinde ve fonksiyonel yeni ürün geliştirmede kullanılan faydalı bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır [1, 2]. Vakumlu emdirim tekniğinin gıda teknolojisinde uygulaması ikiye ayrılmaktadır. Birincisi, diğerine göre daha eskiye dayanan ozmotik dehidrasyon işlemini hızlandırma amaçlı olan uygulamadır. İkincisi ise, gözenekli yapıya sahip meyve ve sebzelerin amacına uygun maddelerle zenginleştirilmesidir [3]. Bu kapsamda yapılan çalışmaların özellikle son yıllarda gerçekleştirildiği ve sınırlı sayıda yayınlanmış çalışma bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmanın amacı ise vakumlu emdirim işleminin meyve ve sebze teknolojisinde kullanımıyla ilgili literatür çalışmalarının bulgularını baz alarak bir derleme sunmaktır. Bu kapsamda, vakumlu emdirim işleminin uygulaması, etkileyen faktörleri, fonksiyonel meyve ve sebze ürünleri geliştirmede kullanımı ve yeni teknolojiler ile birlikte kullanımı konularına değinilmiştir.

OZMOTİK DEHİDRASYON VE VAKUMLU EMDİRİM TEKNOLOJİSİ

Vakumlu emdirim işlemi, meyve ve sebzelere uygulanan 'ozmotik dehidrasyon' işlemine alternatif olarak geliştirilmiş yeni bir teknoloji olarak nitelendirilmektedir. Ozmotik dehidrasyon, ozmotik çözelti içerisinde bitki dokusundan suyun belli oranlarda uzaklaştırılması için kullanılan yaygın bir yöntemdir ve dondurma, dondurarak kurutma, mikrodalga kurutma, havalı kurutma, vakumlu kızartma gibi işlemler uygulanacak meyve ve sebzelere besinsel, duyu ve fonksiyonel özelliklerini geliştirmek ve bütünlüklerini korumak için uygulanan ön işlemdir [4]. Ozmotik işlemde, gıdadan ozmotik çözeltiye su geçişi ve çözeltiden gıdaya çözünen geçişi olmak üzere karşılıklı bir akış söz konusudur. Bunların haricinde, üçüncü akış olarak da gıdadan çözeltiye şeker, organik asit, renk maddesi, mineral ve vitaminler geçebilir; ancak bu geçişler oransal olarak önemsiz görülmektedir [3]. Vakumlu emdirim tekniği, ozmotik dehidrasyon işleminin belirli bir süre vakum altında gerçekleştirilmesidir. Bu teknik sayesinde ozmotik dehidrasyon işleminin verimliliğinin arttığı; böylece işlem süresinin kısaldığı bilinmektedir [5]. Vakumlu emdirim tekniğinde işlem, gıda maddesi çözeltiye daldırıldıktan sonra iki adımda gerçekleşmektedir. İlk adımda, sistem kapatılır ve vakum bir süreliğine uygulanır. Böylece, ürün içerisindeki gazın genişlemesi ve ürün dışına çıkışı kolaylaşır. İkinci adımda, vakum kesilir ve kapalı sistem atmosferik basınçta bir süre bekletilir. Bu aşamada kalan gazın sıkışması ve gözeneklerde yer alan gazın hacminde hızlı bir azalma meydana gelir, böylece dışarıdaki sıvının gözenekli yapıya geçişi gerçekleşir [6, 7]. Bu olaylar hidrodinamik mekanizma ve deformasyon – gevşeme olayları teorilerine göre gerçekleşmektedir [8]. Vakumlu emdirim işleminin ozmotik dehidrasyona kıyasla avantajı, katı-sıvı arafaz alanının artması ve her iki fazda kütle transferinin artmasıdır [9, 10]; ayrıca

uçucu bileşenlerin ve ürün renginin kaybı daha azdır ve kütle transfer hızı yüksektir [3].

HİDRODİNAMİK MEKANİZMA VE DEFORMASYON GEVŞEME OLAYI TEORİLERİ

Vakumlu emdirim işleminde, gıda maddesi emdirim çözeltisine daldırıldığında kapiler yapının içindeki ve dışındaki basınç atmosferik basınca eşit durumdadır. Bu anda kapiler yapının içi gazla doludur. İlk durumda, yani vakum sağlanarak basıncın düşmesiyle kapiler borudaki gaz dışarı çıkar. Basıncın düşmesi, aynı zamanda kapiler yapının deformasyonuna ve genişlemesine neden olur. Bu olay, deformasyon – gevşeme olayının (DRP) ilk aşamasıdır. Kapiler yapının hacmi artar ve bu durum basınç dengelenene dek devam eder. Sonrasında, hidrodinamik mekanizma (HDM) sonucu kapiler borular yavaş yavaş sıvı ile dolmaya başlar, kapiler yapının iç basıncı yavaşça yükselir ve serbest hacim azalır. Vakumlu emdirim işleminde vakum kesilip atmosferik basınca döndüğünde, DRP gevşeme aşamasına geçilmiş olur. Kapiler borular büzülme başlar ve bu büzülme sonucu oluşan hacim, gıdanın ilk andaki kapiler yapısının hacminden daha düşük seviyelere gelir. Bu anda, kapiler yapının iç basıncının yükselmesi ve büzülme sonucu, dışardan içe doğru yoğun şekilde sıvı akışı meydana gelir [11]. Gevşeme olayı, uygulama açısından çok önemlidir; çünkü maddelerin emdirimi bu aşamada gerçekleşmektedir. Vakumun kesilmesi bir anda çok hızlı olmamalıdır; aksi halde kapiler boruların sıkışıp kapanması sonucu HDM gerçekleşemeyebilir [12].

VAKUMLU EMDİRİM İŞLEMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Vakumlu emdirim işleminin uygulanması aşamasında, işlem verimliliğini ve işlemler sonunda gıda maddesinin kalitesini etkileyen faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Vakumlu emdirim işlemini etkileyen faktörleri iç ve dış faktörler olarak ikiye ayırarak açıklamak mümkündür [13]. İç faktörler, meyve ya da sebzelerin yapısal özelliklerini; dış faktörler ise emdirim çözeltisinde kullanılan maddeler ile işlem parametrelerini kapsamaktadır. Literatürde vakumlu emdirim konusunda yapılan çalışmalar derlendiğinde, hem vakumlu emdirim işlemini hem de son ürün özelliklerini etkileyen aşığıdaki faktörlerden söz edilmektedir [14 - 16]:

İç Faktörler:

- Meyve sebzelerin gözenek yapısı (kapiler yapının genişliği ve dağılımı),
- Meyve ve sebzelerin çeşidi, türü,
- Meyve ve sebzelerin yüzey alanı, kalınlığı, şekli.

Dış Faktörler:

- Vakum basıncı,
- Vakum uygulama süresi,
- Vakum sonrası restorasyon süresi,
- Emdirim çözeltisinin konsantrasyonu (izotonik, hipertonic veya hipotonik),

- Emdirim çözeltisinde kullanılan çözgenin çeşidi, moleküler ağırlığı,
- Emdirim çözeltisinin viskozitesi, sıcaklığı,
- Karıştırma işlemi,
- Emdirim çözeltisi – gıda oranı.

Öncelikle, meyve ve sebzenin gözenek yapısı vakumlu emdirim işleminin uygulanmasında en önemli parametredir, çünkü işlemin amacına ulaşması için emdirim çözeltisinin kapiler yapıya geçişinin olması gerekmektedir. Meyve ve sebzelerin kapiler yapısının çaplarının genellikle et, balık, peynir gibi gıdalara kıyasla çok daha geniş olması onların vakumlu emdirim işleminde kullanılmasına olanak sağlamaktadır [13]. Kütle transfer hızını etkilediği bilinen yüzey alanı ve yüzey kalınlığı, vakumlu emdirim işlemini etkileyen diğer faktörlerdendir. Dolayısıyla, meyve sebzelerin işlem öncesi hazırlanmasında vakumlu emdirim işleminin amacına yönelik bu faktörlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çalışmalarda aynı zamanda meyve ve sebzenin mekanik özelliklerinin de emdirim işlemini en az gözenek yapısı kadar etkilediğine vurgu yapılmaktadır [16]. Gras ve ark. [17], emilim oranının, dokunun yapısal ve mekanik özelliklerine bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Meyve ve sebzenin aynı çeşit ve türleri kullanıldığında dahi farklılıklar gözlemlenmektedir. Bu farklılıklar, meyve ya da sebzelerin hasat olgunluğu, yetiştiği coğrafya, depoda bekleme süresi gibi birçok faktörden kaynaklanabilmektedir. Buna örnek olarak, Anino ve ark. [18], aynı çeşit elmanın (Granny Smith) farklı zamanlarda elde edilmesi ile elma dilimlerine kalsiyum emdirilmesinde farklı sonuçlar gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Her iki elma örneğinin başlangıçta 11 ppm olan kalsiyum miktarının aynı işlem koşullarında birinde 1150 diğerinde 2050 ppm'e kadar yükselbildiğini göstermişlerdir.

Hücreler arası boşluk, emilim oranını belirleyen en önemli faktörlerdendir [19]. Dolayısıyla, farklı meyve ve sebzeler yapıca farklılık gösterdiği için vakumlu emdirim tekniğine uygunlukları incelenmekte ve optimum işlem koşulları belirlenmektedir. Vakumlu emdirim işleminde vakum basıncı, vakum süresi ve vakum sonrası restorasyon süresi gıdaya emdirilen madde(ler)in miktarını, emdirim sonrası gıdanın hücre yapısını ve gıdanın işlem sonrası fiziksel, kimyasal kalite özelliklerini etkileyen en önemli işlem parametreleridir. Bu parametrelerin birbiriyle ilişkili olduğu; özellikle vakum basıncı ile vakum süresinin son ürün özellikleri ve ürün hücre yapısı üzerinde oldukça etkili olduğu vurgulanmaktadır [10, 20]. Dolayısıyla her iki parametrenin optimum koşulları ayarlanarak vakumlu emdirim işlemlerinde parametrelerinin belirlenmesi önemlidir. Hironaka ve ark. [21], iki farklı çeşit bütün patateslerin askorbik asit ile zenginleştirilmesinde 15, 30 ve 60 dakika vakum sürelerinin etkilerini incelemişler ve 60 dakika vakum süresinin diğerlerine kıyasla askorbik asit geçişini 2.5 ila 5 kat artırdığını bildirmişlerdir. Panarese ve ark. [20] vakumlu emdirim tekniğinde kütle transferinin ve gaz çıkışının gerçekleşmesinde basınç eşliğinin belirlenmesi için mikroskobik yöntem geliştirmişlerdir. Ürün gözeneklerine emdirim çözeltisinin geçişinin olduğu HDM aşamasının vakum sonrası

atmosferik basınçta gerçekleşen restorasyon süresince gerçekleştiği bildirilmektedir [21]. Literatür incelendiğinde, vakum basıncının genellikle 100 – 650 mmHg basınç aralığında, vakum süresinin 1 – 10 dakika ve vakum sonrası restorasyon süresinin de 5 – 30 dakika aralığında seçildiği görülmektedir. Bazı çalışmalarda bu aralıkların çok daha ötesinde sürelerin seçildiğine de rastlanılmaktadır. Örneğin, bütün patates diliminin askorbik asit ile zenginleştirilmesinde 180 dakika [21]; mantarın pH değerini düşürmede toplam 720 dakikaya kadar restorasyon süresi denenmiştir [6].

Vakumlu emdirim işleminde diğer bir faktör de emdirim çözeltisinin konsantrasyonudur. İzotonik; çözeltide yer alan çözünenin konsantrasyonunun, çözelti içinde bulunan gıdanın hücre içindeki konsantrasyonu ile aynı olmasıdır. Hipotonik; çözeltide yer alan çözünenin konsantrasyonunun, hücre içi konsantrasyonundan daha düşük olmasıdır. Hipertonik ise; çözeltide yer alan çözünenin konsantrasyonunun, hücre içi konsantrasyonundan daha yüksek olmasıdır. İzotonik çözeltide, hücrede değişim gözlenmezken; hipotonik çözeltide suyun hücre içine girmesi ile hücre şişer ve hipertonik çözeltide ise hücre su kaybederek büzülür. Dolayısıyla, vakumlu emdirim işleminde kullanılması gereken emdirim çözeltisinin seçimi ve amacına yönelik konsantrasyonunun hazırlanması da önemlidir. Ozmotik dehidrasyon işleminde hipertonik çözeltiler kullanılırken [22]; zenginleştirme işlemlerinde ise gıda maddesinden emdirim çözeltisine geçiş sınırlandırılması amacıyla izotonik çözeltiler tercih edilmektedir [7, 20].

Meyve-sebzelerin işlenmesinde vakumlu emdirim işleminde daha çok düşük moleküler ağırlıklı karbonhidratlar seçilir, çünkü çözünenler daha hızlı emilebilmektedir. Örneğin, sakarozun difüzyon hızı glikozdan düşüktür, çünkü glikozun moleküler ağırlığı sakarozun yaklaşık yarısı kadardır [23]. Glikoz, mısır şurubu, meyve suyu konsantreleri meyve sebzelerin vakumlu emdirim işleminde en yaygın kullanılan emdirim çözeltileridir [18, 24, 25]. Emdirim çözeltisine belirli miktarda tuz eklenmesi de ozmotik dehidrasyon işleminde meyve ve sebzelerde maksimum su kaybı ve minimum çözücü emilimi sağladığı gösterilmiştir [3].

Çözelti viskozitesi, sıcaklığı, karıştırma işleminin varlığı ozmotik dehidrasyon işleminde olduğu gibi, vakumlu emdirim işleminde de etkili faktörlerdir. Emdirim çözeltisi olarak hipertonik çözelti kullanıldığında çözelti viskozitesi de doğal olarak artmaktadır ve bu artış sonucu emdirim çözeltisinden kapiler yapıya geçişin sınırlandırıldığı, dolayısıyla emdirim işleminde maddelerin geçişinin sınırlandırıldığı rapor edilmektedir [13, 26]. Sıcaklığın kütle transfer kinetiğini etkilediği bilinmektedir. Genel olarak, ozmotik dehidrasyon işleminde sıcaklığın artışıyla gıdanın ağırlık kaybının arttığı; ancak gıdaya çözünen geçişinin önemli oranda değişmediği rapor edilmektedir [9, 27]. Emdirim çözeltisinin sıcaklığının artışı aynı zamanda çözeltinin viskozitesini düşürmektedir. Bu nedenle, sıcaklığın kütle transferine etkisi açıklanırken çözelti viskozitesindeki azalma da gösterilmektedir [28]. Vakumlu emdirim uygulamalarında karıştırma işleminin türbülent akış oluşturması nedeniyle her iki fazla kütle transferinin arttığı bildirilmektedir [10].

Emdirim çözeltilisinin gıdaya oranı da önemli bir parametredir. Bu oranın yüksek olması çözelti konsantrasyonunun işlem süresince benzer olmasını sağlamakta; ancak yüksek oran daha çok çözelti harcanmasına yol açtığından daha yüksek maliyeti de beraberinde getirmektedir [13].

MEYVE VE SEBZE DOKULARININ ZENGİNLEŞTİRİLMESİNDE VAKUMLU EMDİRİM TEKNİĞİNİN KULLANILMASI

Vakumlu emdirim tekniği fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesinde ve minimum işlem görmüş gıdaların muhafazasında meyve ve sebzelerin canlı hücrelerine çeşitli maddelerin aktarılmasında denenmiş ve başarılı sonuçlar alınmış bir teknolojidir [29]. Literatür incelendiğinde, vakumlu emdirim tekniği kullanılarak meyve ve sebzelere çeşitli vitaminlerin, minerallerin, probiyotiklerin, pH düşürücü ajanların, aroma maddelerinin, fenolik maddelerin, enzimlerin, antimikrobiyal maddelerin, kriyoprotektanların aktarıldığı çalışmalar bulunmaktadır [6, 7, 14, 21, 25, 30, 31].

Vakumlu emdirim tekniği kullanılarak ilk önce meyve ve sebzelerin mineral maddeler ile zenginleştirilmesi çalışmalarına rastlanılmaktadır [18, 32]. Özel tüketici gruplarını ve tavsiye edilen günlük mineral tüketim miktarını hedef alarak meyve ve sebzelerin dokularına demir, çinko, kalsiyum gibi minerallerin aktarıldığı çalışmalar mevcuttur [24, 33].

Tüketime hazır taze meyve ve sebzelerin kabuk soyma, dilimleme gibi işlemleri olduğundan üründe esmerleşme ve mikrobiyal bozulma riskleri bulunmaktadır. Aynı zamanda, raf ömrü süresince dokuda istenmeyen bozulmalar meydana gelebilmektedir [34]. Söz konusu olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla, vakumlu emdirim tekniği ile meyve ve sebzelere esmerleşmeyi önleyici ajanlar, antimikrobiyal maddeler ve dokunun korunmasını sağlayacak kalsiyum tuzlarının aktarılması pratik bir yöntem olarak değerlendirilmektedir [35]. Tüketime hazır taze meyve ve sebzelere aktarılan maddeler yalnızca raf ömrünü uzatmak amacıyla değil aynı zamanda besin değerini ya da fonksiyonel özelliğini artırmaya yönelik de olabilmektedir. Vitaminler, mineraller, aroma maddeleri, probiyotik bakteriler, fenolik maddeler bunlara örnektir [25, 31, 36]. Burada ürünün taze olması ve hücrenin de canlı olmasından dolayı işlem parametrelerinden özellikle vakum basıncı ve vakum süresinin kontrollü uygulanması gerekmektedir [29].

Perez-Cabrera ve ark. [7], minimum işlem görmüş armut dilimlerini bazı esmerleşmeyi önleyici ajanlarla (trisodyum sitrat, sodyum L-askorbat, EDTA, 4-heksilresorkinol sitrat) vakumlu emdirim işlemine tabi tutmuşlar ve kontrole kıyasla bu ürünlerin mikrobiyolojik, duyuşal, mekanik özelliklerinin ve raf ömrünün yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Raf ömrü süresince ürünlerin renk, doku ve mikrobiyolojik kalitelerini dikkate alarak en uygun emdirim çözüneni olarak askorbatı belirlemişlerdir. Vakumlu emdirim işlemi ile üretilmiş meyve ve sebzelerde depolama boyunca mikrobiyal kalitenin daha çok korunduğu ve ürünlerin raf ömrünün

arttığı yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur [7, 31]. Park ve ark. [31], Fuji çeşidi elma dilimlerine farklı emdirim çözeltileri kullanarak E vitamini, kalsiyum ve çinko aktarmışlardır. Vakum basıncının 100 mmHg, vakum süresinin 15 dakika ve restorasyon süresinin 30 dk olarak belirtildiği çalışmada, vakumlu emdirim işlemi ile üretilmiş elma örneklerinin taze elmaya kıyasla yaklaşık 100 kat yüksek E vitamini ve 20 kat yüksek kalsiyum ve çinko içeriğine sahip olduğu rapor edilmiştir. Yedi gün soğukta depolamanın sonunda 1 gram elmada toplam canlı sayısını 2.6 log Koloni Oluşturma Birimi (KOB) olarak tespit etmişler ve bu değer endüstriyel standartların çok altında olduğunu rapor etmişlerdir. Vakumlu emdirim işleminin, üç haftalık soğukta depolama süresince elmalarda toplam renk değişimini önemli oranda azalttığı; ayrıca elmaların mekanik özellikleri arasında olan 'sıklık' değerini korumada yardımcı olduğu rapor edilmiştir.

Meyve ve sebzelerin dokularına çeşitli maddelerin aktarıldığı bazı çalışmalara ait temel veriler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de ürün çeşidi, emdirilmesi amaçlanan madde(ler), emdirim çözeltisi özelliği ve işlem koşulları incelenmiştir.

Vakumlu emdirim işleminin her ne kadar birçok avantajı bulunsa da, işlemler sonunda meyve ve sebzelerin fenolik madde miktarlarında, dolayısıyla ürün antioksidan kapasitelerinde azalma meydana gelebilmektedir [43, 44]. Bu durumu göz önünde bulundurarak meyve ve sebzelerin fenolik maddeler ile zenginleştirilmesi çalışmaları da bulunmaktadır [45]; ancak literatürde bu konuda sınırlı sayıda çalışma olduğu söylenebilir. Schulze ve ark. [36], atık olarak görülen elma kabuklarından özütleyerek elde ettikleri kuarsetin türevlerinin kabuğu soyulmuş elmanın paransima hücrelerine geçişini sağlamak amacıyla vakumlu emdirim tekniğini uygulamışlar ve uygun işlem koşullarında vakumlu emdirim tekniğinin kabuğu soyulmuş elma dilimlerinin kuarsetinle zenginleştirilmesinde etkili bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir.

Vakumlu emdirim işlemine tabi tutulan meyve ya da sebzelerin çözeltiyle teması sonucu dokuda istenmeyen değişimler de gözlenmektedir. Buna çözüm olarak da emdirim çözeltilisine kalsiyum tuzları eklenmektedir. Kalsiyum tuzlarının dokuya aktarılarak pektin moleküllerini çapraz bağlayarak dokunun yumuşaması önlenmektedir. Kalsiyum tuzları olarak kalsiyum glukonat, kalsiyum klorür, kalsiyum laktat, kalsiyum kazeinat kullanılmaktadır; ancak bunlar arasında çözünürlüğünün yüksek olması ve üründe istenmeyen tat değişimine neden olmadığı için kalsiyum laktat daha çok tercih edilmektedir [18, 46].

Meyve ve sebzelerin pastörizasyona uygun ısıl işlem koşullarını sağlamak amacıyla ürünlerin pH'larının düşürülmesinin (pH<4.6) hedeflendiği çalışmalar da bulunmaktadır. Derossi ve ark. [6, 40], iki farklı çalışmada, mantarın ve biberin laktik asit ile pH değerlerini düşürebilmek amacıyla vakumlu emdirim tekniğinden yararlanmışlar ve vakumlu emdirim tekniğinin bu ürünlerin asitliğinin artırılmasında

kullanılabilecek bir yöntem olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmalarda farklı vakum basınçları (460-610 mmHg), vakum süreleri (2 ve 5 dakika) ve restorasyon süreleri

(10, 15 ve 30 dakika) denenmiş ve vakum basıncının ürünlerin pH değerlerini düşürmede çok önemli bir parametre olduğu rapor edilmiştir.

Tablo 1. Vakumlu emdirim tekniği ile meyve ve sebzelere çeşitli maddelerin aktarıldığı literatür çalışmaları

Hammadde	Emdirilen madde	Emdirim Çözeltisi / Çözelti : ürün oranı	İşlem koşulları	Sonuç	Kaynak
Elma Çilek Ahududu	Pektinmetilesteraz (PME) ve kalsiyum klorür (CaCl ₂ .2H ₂ O)	%35 sakaroz çözeltisi içerisinde %0.6 PME ve %1 CaCl ₂ .2H ₂ O / 1:1	50 mmHg vakum basıncı, 2 dk. vakum süresi + pastörizasyon	PME ve CaCl ₂ sinerjik etki ile ürünlerin sıklılığını artırmıştır	[37]
Çilek (Totem)	Kriyoprotektanlar: Yüksek fruktozlu mısır şurubu (YFMS) ve yüksek metoksi pektin (YMP); ayrıca mineraller (kalsiyum ve çinko)	1. % 50 YFMS içinde %12 Ca-glukonat – Ca-laktat karışımı ve %0.04 Zn-laktat 2. %3 YMP içinde %12 Ca-glukonat – Ca-laktat karışımı ve %0.04 Zn-laktat / 3:1	Vakum basıncı = 50 mmHg Vakum süresi = 15 dk. Restorasyon süresi = 30 dk.	Dondurulmuş çözündürülmüş çileğin dokusal özelliklerinin korunmasında etkili olmuştur. Mineraller de besinsel içeriğin artırılmasında etkili olmuştur.	[38]
Trabzon hurması (Diospyros kaki L.)	-	24 'Bx sakaroz çözeltisi / -	Vakum basıncı = 722.5 mmHg Vakum süresi = 5 dk. Restorasyon süresi = 5 dk.	Duyusal, mekanik ve optik özelliklerinde kontrole kıyasla olumlu değişim gözlenmiştir.	[39]
Biber	Laktik asit	Suyun pH değerini 2.70'e düşürecek kadar laktik asit ilavesi / 5:1	Vakum basıncı = 460 ve 610 mmHg Vakum süresi = 2 ve 5 dk. Restorasyon süresi = 10, 15 ve 30 dk.	pH değişim değeri (RpH) 460 ve 610 mmHg vakum basınçları için sırasıyla 0.894 ve 0.929 olarak bulgulanmıştır. Vakum uygulanmadığında bu değer 0.968 olarak kalmıştır.	[40]
Kabak (Cucurbita pepo, L.)	Kalsiyum klorür (CaCl ₂)	%10 maltodekstrin çözeltisi içerisinde %0 – 5 NaCl ve 0 – 1000 mM CaCl ₂ / 3.3:1	Vakum basıncı = 741.25 mmHg Vakum süresi = 10 dk. Restorasyon süresi = 30 dk.	Örneklere çözünen madde ve su geçişi hızlanmıştır. Kalsiyum sayesinde doku korunmuştur.	[41]
Elma (Golden delicious)	Sorbitol, glikoz, sakaroz, trehaloz, maltoz	İlk aşama: saf su İkinci aşama: %13'lük farklı izotonik çözeltiler (sorbitol, glikoz, sakaroz, trehaloz ve maltoz) / her iki aşamada da 4:1	İlk aşama: 642.8 ve 37.5 mmHg arasında değişen vakum basınçları (10 s vakum süresi) ve 642.8, 553.5 ve 464.3 mmHg vakum basınçları (100 ve 1000 s vakum süresi) İkinci aşama: 553.5 mmHg vakum basıncı, 10 s vakum süresi 1 dk. restorasyon süresi (her aşamada)	553.5 mmHg vakum basıncı ve 10 s vakum süresi en az çözünen kaybının olduğu ve renk değerlerinin en çok korunduğu işlem koşulu olarak belirlenmiştir. İzotonik karbonhidratların kullanımının (özellikle sorbitol, trehaloz ve sakaroz) ürünün duyusal özelliklerini ve raf ömrünü artırmada katkıları olmuştur.	[42]

Meyve suyu sanayinde, meyvelerin hücre duvarını parçalamak ve pres verimini artırmak amacıyla çeşitli enzimlerin kullanıldığı bilinmektedir [47]. Guillemin ve ark. [30], ise pektinmetilesteraz enzimini vakumlu emdirim işlemi ile elma dokusuna aktararak enzimatik işlem uygulamanın meyve suyu sanayi için verimi artırmada yeni potansiyel bir yöntem olabileceğini yaptıkları çalışmanın sonuçlarıyla bildirmişlerdir.

Vakumlu emdirim işlemi ile meyve ve sebzelerin çeşitli maddeler ile zenginleştirilmesinin ardından kurutma işlemi uygulanarak kurutulmuş atıştırmalık meyveler de üretilebilmektedir [2, 48]. Castagnini ve ark. [2], elma dilimlerine vakumlu emdirim işlemi ile yaban mersini suyunu aktardıktan sonra konvektif ve dondurarak kurutma işlemleri ile atıştırmalık elma dilimi üretmişlerdir. Konvektif kurutma işleminin farklı sıcaklıklarının (30, 40 ve 50°C) ve dondurarak kurutma işleminin karşılaştırıldığı çalışmada ürünlerin antosiyanin, fenolik madde ve antioksidan kapasiteleri dikkate alındığında en uygun yöntemlerin dondurarak kurutma ya da 40°C'de konvektif kurutma olduğunu bildirmişlerdir.

VAKUMLU EMDİRİM İLE BİRLİKTE YA DA EŞ ANLI UYGULANAN YENİ TEKNOLOJİLER

Vakumlu emdirim uygulamalarında ön işlem ya da son işlem olarak birlikte uygulanan ya da vakumlu emdirim işlemi esnasında eş anlı uygulanan teknolojilerin yer aldığı çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda, yeni (novel) teknolojilerin vakumlu emdirim işleminin etkinliğini artırmada etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Vakumlu emdirim ile birlikte ohmik ısıtma, vurgulu elektrik alanı, elektron demeti ışınlama ve ultrases teknolojilerinin kullanıldığı görülmektedir. Konuyla ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunsa da, söz konusu teknolojilerin vakumlu emdirim işleminin etkinliğini artırmada oldukça etkili oldukları görülmektedir. Çalışmaların tamamının son yıllarda gerçekleştirildiği ve her çalışmanın sonucunda da eş anlı işlemlerin etkisini gösteren ve açıklayan çok daha fazla çalışmanın yapılması gerektiği vurgulanmaktadır [25, 49].

Moreno ve ark. [50], çileklerin ozmotik dehidrasyonu aşamasında vakumlu emdirim işlemine eş anlı olarak ohmik ısıtmanın etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, ozmotik dehidrasyon/ohmik ısıtma ve vakumlu emdirim/ohmik ısıtma işlemleri uygulanmış ve son ürünlerin su aktivitesi, renk, sıklık ve mikro yapısı dikkate alınarak eş anlı uygulanan işlemler karşılaştırılmıştır. Çalışmada ayrıca, 50 günlük depolama süresince mikrobiyal değişim de incelenmiştir. Ohmik ısıtma; 70, 100 ve 130 V değerlerine karşılık gelen 9.2, 13 ve 17 V/cm elektrik alan kuvvetlerinde uygulanmıştır. En yüksek çözünen geçişi, dokuda en az kayıp ve en az renk kaybı 13 V/cm vakumlu emdirim/ohmik ısıtma işleminin uygulandığı ozmotik dehidrasyon işleminde gözlenmiştir. Aynı işlemin sonunda elde edilen ürünlerin 5°C'de depolanması ile raf ömrünün kontrole kıyasla 12 günden 25 güne uzadığı bulgulanmıştır. Ohmik ısıtmanın vakumlu emdirim işlemi ile eş anlı uygulanmasında, ohmik

ısıtmanın elektrik alan yaratarak ozmotik çözümlerden çözünen geçişini artırdığı düşünülmektedir.

Moreno ve ark. [51], armutların ozmotik dehidrasyonunda ohmik ısıtmanın (100 V) vakumlu emdirim işlemi ile eş anlı uygulanmasının dehidrasyon kinetiği ve ürün mikro yapısına etkisini incelemişlerdir. Ohmik ısıtmanın vakumlu emdirim ile eş anlı uygulanması işlem süresini %40'lara kadar kısaltmış ve ürün dokusunda sıklığın çok daha az kaybolduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ohmik ısıtma uygulamasının hücreye madde geçirgenliğini artırdığı ve böylece işlem süresinin kısaltıldığı yorumu yapılmıştır.

Donma dayanıklılığını artırmak amacıyla bir kriyoprotektan olan trehalozun vakumlu emdirim ile ıspanağa aktarılması çalışmasında, ön işlem olarak vurgulu elektrik alan (Pulsed electric field; PEF) uygulaması yapılmış ve yalnızca vakumlu emdirim işlemi uygulamasına kıyasla farkı değerlendirilmiştir [52]. PEF uygulaması ile hücre duvarının etkilenmesi sağlanmış (iyon sızıntısı değeri artmış), dolayısıyla trehalozun hücre içine geçişi sağlanmıştır. Vakumlu emdirimin tek başına uygulanması ile trehalozun yalnızca hücreler arası boşluğa aktarıldığı gözlenmiştir. Bundan dolayı, yalnızca vakumlu emdirim uygulamasına kıyasla PEF ön işleminin ıspanakların donma dayanımını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Dilimlenmiş mantarlara farklı esmerleşme önleyici ajanlar vakumlu emdirim tekniği ile aktarılmış ve işlem sonunda elde edilen mantarlar iki gruba ayrılarak bir grup mantara 'elektron demeti ışınlama' işlemi uygulanmış; diğer grup ise 'kontrol' olarak değerlendirilmiştir. Kontrol örneklerinin ışınlama işlemi görmüş örneklerle kıyasla depolama süresince dokusal kayıplara uğradıkları gözlenmiştir. Depolama sonunda, yalnızca ışınlama işlemi uygulanmış mantar dilimlerinin kabul edilebilir renge sahip olduğu bildirilmiştir. Işınlama ile mikrobiyal gelişim sınırlandırıldığından, ışınlama işlemi görmüş mantar dilimleri duyu analizi panelistlerince beğenilmiştir [49].

Vakumlu emdirim işleminde vakum sonrası restorasyon süresince ultrases uygulamasının elma dokusuna aroma maddelerinin aktarılmasına etkisinin incelendiği bir çalışmada [25], ultrases uygulandığı durumda restorasyon süresinin 5. dakikasında en yüksek aroma emdiriminin gerçekleştiği bulgulanmıştır.

Vakumlu emdirim işleminde restorasyon süresince ultrases uygulandığı diğer bir çalışmada, muz dilimlerine kurkumin renk maddesinin (zerdeçalın pigmenti) aktarılmasında, kontrole kıyasla ultrases uygulamasının daha çok kurkumin aktarımına, örneklerin daha az sıkıştırıcı basınç değerine sahip olmasına ve en yüksek toplam renk farkı değerine sahip olmasını sağlamıştır. Ayrıca, ultrases varlığında örneklerin dehidrasyonunda kurkuminin daha çok korunduğu rapor edilmiştir [45].

SONUÇ

Vakumlu emdirim ilk olarak 25 yıl kadar önce ortaya çıkmış bir teknoloji olsa da günümüzde bu konu üzerinde çalışmaların sürüyor olması ve farklı potansiyel uygulamalarının bulunması sebebiyle hâlihazırda yeni teknoloji olarak nitelendirilmektedir. Vakumlu emdirim tekniğinin, meyve ve sebze teknolojisinde başlı başına kullanılmasının haricinde ön işlem ya da son işlem olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. Vakumlu emdirim işleminde etkili birçok parametrenin bulunması ve son ürün özelliklerinin de bu parametrelerden etkilendiğinin bilinmesinden ötürü konuyla ilgili daha çok çalışmanın yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, özel tüketici gruplarını göz önünde bulundurarak vakumlu emdirim tekniği ile meyve ve sebzelere çeşitli maddelerin aktarıldığı ve gıda endüstrisinde uygulaması olabilecek yeni çalışmalara ihtiyaç olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Mao, J., Zhang, L., Chen, F., Lai, S., Yang, B., Yang, H., 2017. Effect of Vacuum Impregnation Combined with Calcium Lactate on the Firmness and Polysaccharide Morphology of Kyoho Grapes (*Vitis vinifera* x *V. labrusca*). *Food and Bioprocess Technology* 10(4): 699 – 709.
- [2] Castagnini, J.M., Betoret, N., Betoret, E., Fito, P., 2015. Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix. *LWT-Food Science and Technology* 64(2): 1289-1296.
- [3] Zhao, Y., Xie, J., 2004. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science & Technology* 15(9): 434 – 451.
- [4] Maran, J.P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., Sridhar, R., 2013. Artificial neural network and response surface methodology modeling in mass transfer parameters predictions during osmotic dehydration of *Carica papaya* L. *Alexandria Engineering Journal* 52(3): 507 – 516.
- [5] Fito, P., Chiralt, A., 2000. An approach to the modeling of solid food-liquid operations: Application to osmotic dehydration. *Food engineering* 231-252.
- [6] Derossi, A., Pilli, T.D., Severini, C., 2013. Application of pulsed vacuum acidification for the pH reduction of mushrooms. *LWT - Food Science and Technology* 54(2): 585 – 591.
- [7] Perez-Cabrera, L., Chafer, M., Chiralt, A., Gonzalez-Martinez, C., 2011. Effectiveness of antibrowning agents applied by vacuum impregnation on minimally processed pear. *LWT - Food Science and Technology* 44(10): 2273 – 2280.
- [8] Fito, P., Chiralt, A., Barat, J.M., Andres, A., Martinez-Monzo, J., Martinez Navarrete, N., 2001. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering* 49(4): 297 – 302.
- [9] Lombard, G., Oliveira, J., Fito, P., Andres, A., 2008. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *Journal of Food Engineering* 85(2): 277 – 284.
- [10] Mujica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., Lopez-Malo, A., Palou, E., Welti-Chanes, J., 2003. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *Journal of Food Engineering* 57(4): 305 – 314.
- [11] Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., Kidoń, M., 2014. Applicability of vacuum impregnation to modify physico-chemical, sensory and nutritive characteristics of plant origin products—a review. *International journal of Molecular Sciences* 15(9): 16577-16610.
- [12] Yılmaz, F.M., 2017. Vakumlu emdirim tekniğinin tüketime hazır taze elmanın doğal renk maddesi ve bazı katkı maddeleri ile zenginleştirilmesi amacıyla kullanılması. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- [13] Derossi, A., De Pilli, T., Severini, C., 2012. The application of vacuum impregnation techniques in food industry. In *Scientific, health and social aspects of the food industry*. InTech, Croatia.
- [14] Martínez-Monzó, J., Martínez-Navarrete, N., Chiralt, A., Fito, P., 1998. Mechanical and structural changes in apple (var. Granny Smith) due to vacuum impregnation with cryoprotectants. *Journal of Food Science* 63(3): 499-503.
- [15] Tappi, S., Tylewicz, U., Romani, S., Siroli, L., Patrignani, F., Dalla Rosa, M., Rocculi, P., 2016. Optimization of vacuum impregnation with calcium lactate of minimally processed melon and shelf-life study in real storage conditions. *Journal of Food Science* 81(11): 2734 - 2742.
- [16] Salvatori, D., Andres, A., Chiralt, A., Fito, P., 1998. The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. *Journal of Food Process Engineering* 21(1): 59-73.
- [17] Gras, M., Vidal, D., Betoret, N., Chiralt, A., Fito, P., 2003. Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation: Interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering* 56(2): 279 – 284.
- [18] Anino, S.V., Salvatori, D.M., Alzamora, S.M., 2006. Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Food Research International* 39(2): 154 – 164.
- [19] Fito, P., Pastor, R., 1994. Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering* 21(4): 513 – 519.
- [20] Panarese, V., Dejmek, P., Rocculi, P., Galindo, F.G., 2013. Microscopic studies providing insight into the mechanisms of mass transfer in vacuum impregnation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 18: 169 – 176.
- [21] Hironaka, K., Kikuchi, M., Koaze, H., Sato, T., Kojima, M., Yamamoto, K., Yasuda, K., Mori, M., Tsuda, S., 2011. Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation. *Food Chemistry* 127(3): 1114-1118.

- [22] Azoubel, P.M., Murr, F.E.X., 2004. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering* 61(3): 291 - 295.
- [23] Panagiotou, N.M., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B., 1999. Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. *Drying Technology* 17(1-2): 175 - 189.
- [24] Xie, J., Zhao, Y., 2003. Nutritional enrichment of fresh apple (Royal Gala) by vacuum impregnation. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 54(5): 387 - 398.
- [25] Comandini, P., Blanda, G., Mujica Paz, H., Valdez Fragoso, A., Gallina Toschi, T., 2010. Impregnation techniques for aroma enrichment of apple sticks: A preliminary study. *Food and Bioprocess Technology, Springer-Verlag* 3(6): 861-866.
- [26] Barat, J.M., Chiralt, A., Fito, P., 2001. Effect of osmotic solution concentration, temperature and vacuum impregnation pretreatment on osmotic dehydration kinetics of apple slices. *Food Science and Technology International* 7(5): 451 - 456.
- [27] Sereno, A.M., Moreira, R., Martinez, E., 2001. Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering* 47(1): 43 - 49.
- [28] Khoyi, M.R., Hesari, J., 2007. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. *Journal of Food Engineering* 78(4): 1355 - 1360.
- [29] Yilmaz, F.M., Ersus Bilek, S., 2017. Natural colorant enrichment of apple tissue with black carrot concentrate using vacuum impregnation. *International Journal of Food Science & Technology* 52(6): 1508-1516.
- [30] Guillemin, A., Degraeve, P., Guillon, F., Lahaye, M., Saurel, R., 2006. Incorporation of pectinmethylesterase in apple tissue either by soaking or by vacuum-impregnation. *Enzyme and Microbial Technology* 38(5): 610-616.
- [31] Park, S. I., Kodihalli, I., Zhao, Y., 2005. Nutritional, sensory, and physicochemical properties of vitamin e and mineral-fortified fresh-cut apples by use of vacuum impregnation, *Journal of Food Science* 70(9): 593-599.
- [32] Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M., Cháfer, M., Martínez-Monzó, J., Andres, A., Vidal, D., 2001. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering* 49(2): 175-183.
- [33] Xie, J., Zhao, Y., 2003. Improvement of physicochemical and nutritional qualities of frozen Marionberry by vacuum impregnation pretreatment with cryoprotectants and minerals. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 78(2): 248 - 253.
- [34] Perera, C.O., 2007. Minimal processing of fruits and vegetables. In: *Handbook of Food Preservation*, Edited by S. Rahman, CRC Press, Second Edition, 137 - 138p.
- [35] Day, L., Seymour, R.B., Pitts, K.F., Konczak, I., Lundin, L., 2009. Incorporation of functional ingredients into foods. *Trends in Food Science & Technology* 20(9):388 - 395.
- [36] Schulze, B., Peth, S., Hubbermann, E.M., Schwarz, K., 2012. The influence of vacuum impregnation on the fortification of apple parenchyma with quercetin derivatives in combination with pore structures X-ray analysis. *Journal of Food Engineering* 109(3): 380 – 387.
- [37] Degraeve, P., Saurel, R., Coutel, Y., 2003. Vacuum impregnation pretreatment with pectin methyl esterase to improve firmness of pasteurized fruits. *Journal of Food Science* 68(2): 716 - 721.
- [38] Xie, J., Zhao, Y., 2004. Physical and physicochemical characteristics of three US strawberry cultivars grown in the Pacific Northwest. *Journal of Food Quality* 27(3): 181 - 194.
- [39] Igual, M., Castelló, M.L., Ortolá, M.D., Andrés, A., 2008. Influence of vacuum impregnation on respiration rate, mechanical and optical properties of cut persimmon. *Journal of Food Engineering* 86(3): 315 - 323.
- [40] Derossi, A., Pilli, T.D., Severini, C., 2010. Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation: A study on pepper. *Journal of Food Engineering* 99(1): 9 – 15.
- [41] Occhino, E., Hernando, I., Llorca, E., Neri, L. and Pittia, P., 2011. Effect of vacuum impregnation treatments to improve quality and texture of zucchini (Cucurbitapepo L.). *Procedia Food Science* 1: 829 - 835.
- [42] Neri, L., DiBiase, L., Sacchetti, G., DiMattia, C., Santarelli, V., Mastrocola, D., Pittia, P., 2016. Use of vacuum impregnation for the production of high quality fresh-like apple products. *Journal of Food Engineering* 179: 98 - 108.
- [43] Rößle, C., Brunton, N., Gormley, T.R., Butler, F., 2011. Quality and antioxidant capacity of fresh-cut apple wedges enriched with honey by vacuum impregnation. *International Journal of Food Science & Technology* 46(3): 626-634.
- [44] Blanda, G., Cerretani, L., Bendini, A., Cardinali, A., Scarpellini, A., Lercker, G., 2008. Effect of vacuum impregnation on the phenolic content of Granny Smith and Stark Delicious frozen apple cvv. *European Food Research and Technology* 226(5): 1229-1237.
- [45] Bellary, A.N., Rastogi, N.K., 2014. Effect of selected pretreatments on impregnation of curcuminoids and their influence on physico-chemical properties of raw banana slices. *Food and Bioprocess Technology* 7(10): 2803-2812.
- [46] Moraga, M., Moraga, G., Fito, P., Martínez-Navarrete, N., 2009. Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit. *Journal of Food Engineering* 90(3): 372 – 379.
- [47] Bilek, S.E., Yilmaz, F.M., Özkan, G., 2017. The effects of industrial production on black carrot concentrate quality and encapsulation of anthocyanins in whey protein hydrogels. *Food and Bioprocess Processing* 102: 72 - 80.
- [48] Martínez-Monzó, J., Martínez-Navarrete, N., Chiralt, A., Fito, P., 1998. Mechanical and structural changes in apple (var. Granny Smith) due to vacuum impregnation with cryoprotectants. *Journal of Food Science* 63(3): 499-503.

- [49] Karacaoğlu, C., Gürsoy, O., Yılmaz, Y., 2016. Ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon (emdirme) tekniği ile muamele işleminin kivi dilimlerinin kuruma kinetiği üzerine etkisi. *Akademik Gıda* 14(3): 256-266.
- [50] Yurttas, Z.S., Moreira, R.G., Castell-Perez, E., 2014. Combined vacuum impregnation and electron-beam irradiation treatment to extend the storage life of sliced white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of Food Science* 79(1): 39 - 46.
- [51] Moreno, J., Simpson, R., Pizarro, N., Parada, K., Pinilla, N., Reyes, J.E., Almonacid, S., 2012. Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the quality and microbial stability of osmotically dehydrated strawberries (cv. Camarosa). *Journal of Food Engineering* 110(2): 310 - 316.
- [52] Moreno, J., Simpson, R., Sayas, M., Segura, I., Aldana, O., Almonacid, S., 2011. Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv. Packham's Triumph). *Journal of Food Engineering* 104(4): 621 - 627.
-
-