

Received: February 25, 2019
Accepted: April 22, 2019

Aljinat ve Meyve-Sebze Ürünlerindeki Uygulamaları

Bengü DEMİR¹, Aslıhan DEMİRDÖVEN^{2*}

^{1,2}Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Bölümü, 60250, Tokat, Türkiye

Öz

Yenilebilir filmler ve kaplamalar gıdaların raf ömrünün artması için önemli avantajlar sunan çevre dostu bir uygulamalardır. Yenilebilir filmler ve kaplamalar, gıda kalitesini ve güvenliğini artırmak amacıyla antioksidanlar, lezzet verici, renklendirici ve antimikrobiyal maddelerin taşıyıcıları olarak da kullanılabilirler. Bileşenlerine göre, yenilebilir filmler ve kaplamalar üç kategoriye ayrılabilir: hidrokolloidler, lipitler ve kompozitler. Hidrokolloid bazlı yenilebilir film ve kaplama materyallerinden biri de aljinattır. Aljinat, çoğunlukla kahverengi alg türlerinden elde edilen ve doğal olarak bulunan bir polisakkarittir. Aljinat esaslı yenilebilir filmler ve kaplamalar nem kaybını azaltmak, solunumu kontrol etmek, ürün görünümünü zenginleştirmek ve kaliteyi iyileştirerek raf ömrünü uzatmak gibi özelliklerinden dolayı ilgi çekmektedir. Bu çalışmada, kaplama işleminin temelleri, aljinatın yapısal ve kimyasal özellikleri ile aljinat bazlı yenilebilir film ve kaplamaların meyve sebze işlemedeki uygulamalarının derlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: yenilebilir film; yenilebilir kaplama; aljinat; meyve; sebze

Alginate and Applications in Fruit-Vegetable Products

Abstract

The use of edible films and coatings is an environmentally friendly treatment that offers substantial advantages for shelf-life increase of many food products. Edible films and coatings can also be used as carriers of antioxidants, flavoring agents, coloring agents and antimicrobials that will improve food quality and safety. According to their components, edible films and coatings can be divided into three categories: hydrocolloids, lipids, and composites. One of the hydrocolloid-based edible film and coating material is alginate. Alginate is a naturally occurring polysaccharide obtained from generally brown algae species. Alginate-based edible films and coatings are of interest because of their features such as reducing moisture loss, controlling respiration, enhancing the appearance of the product, and extending the shelf life by improving quality. In this study, it was aimed to review the fundamentals of coating process and structural and chemical properties of alginate, applications of edible films and coatings based on alginate in fruit and vegetable processing.

Keywords: edible film; edible coating; alginate; fruit; vegetable

1.Giriş

Gıda ambalajlarının başlıca rolleri gıdalarda, gıda bozulmalarını geciktirmek, işlemin faydalı etkilerini uzatmak, gıdanın raf ömrünü uzatarak kalite ve güvenliğini geliştirmek ve böylece fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilerden korumaktır [1]. Yenilenebilir olmayan, biyolojik olarak

*Corresponding Author, e- mail: aslihan.demirdoven@gop.edu.tr

bozunmayan ambalaj malzemeleri ciddi çevresel dezavantajlara sahiptir. Tüketiciler ve çevre aktivistleri tarafından katı atık ve çevre kirliliği için önemli bir kaynak olarak görülmüştür. Bu sorunu çözmek için şirketler ve araştırmacılar, yenilenebilir doğal polimerlerden yapılmış çevre dostu, biyolojik olarak parçalanabilir ambalaj malzemeleriyle yeni ambalajlama stratejileri geliştirmenin yolları üzerinde çalışmaktadırlar [2].

Yenilebilir filmler ve kaplamalar, gıda ürününde doğal tabakaların (kalınlıkları genellikle 0.3 mm'den azdır) yerini alarak veya tabakayı güçlendirmek için kullanılan ve ürünün bir parçası olarak tüketilebilen ince malzemedir. Bu nedenle, formülasyonda kullanılan malzemeler genel gıda yasalarına ve yönetmeliklerine uygun olmalıdır [3]. Ek olarak, kaplamalar ve filmler gıda ürününün organoleptik özelliklerini olumsuz etkilememelidir [4].

Yenilebilir kaplama uygulamaları, gıda kalitesini iyileştirme ve gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatma potansiyeline sahiptirler, çünkü bunlar oksijen, karbon dioksit ve aroma bileşenlerine seçici bariyerler sağlayabilirler. Ayrıca yenilebilir kaplamalar, doğal veya kimyasal antimikrobiyal maddeler, antioksidanlar, aromalar, enzimler, fonksiyonel bileşenler (probiyotikler) veya besin maddeleri (mineraller ve vitaminler) gibi çeşitli aktif bileşenlerin taşıyıcıları olarak da görev yapabilirler. Bu nedenle, yenilebilir kaplamalar gıdaların güvenliğini, besin kalitesini ve duyu özelliklerini arttırabilirler [5-8].

Film oluşturucu biyopolimerler, genellikle, birbirine yapışan ve sürekli matrisler oluşturan film oluşturucu malzemenin tipine göre sınıflandırılırlar [9]. Bunlar hidrokolloidler (polisakkaritler ve proteinler), lipitler ve kompozitlerdir [10,11]. Hidrokolloidler; mikrobiyolojik, bitkisel, hayvansal veya sentetik kökenli hidrofilik polimerlerden oluşurlar [12]. Genel olarak polisakkaritler gaz bariyerleri olarak kullanılırken; lipitler su iletimini azaltır, proteinler ise mekanik stabilite sağlarlar [13]. Lipit bazlı filmlerin ve kaplamaların ana dezavantajları matlık, kırılabilirlik ve kararsızlıktır. Hidrokolloid filmler ve kaplamalar daha nötr bir tada sahiptir [4]. Kompozitler ise yenilebilir kaplamaların ortak avantajlarından yararlanabilmek için formülasyona katılan hem lipit hem de hidrokolloit bileşenleri kullanılarak formüle edilirler [10].

Polisakkaritler ve proteinler, moleküller arasındaki güçlü etkileşimlerle (hidrojen bağları, Van der Waals etkileşimleri, kristalleşme veya primer değerlilik) kohezif (yapışık, bağlı) moleküler ağlar oluşturabilen polimerlerdir. Moleküler bağlar gazlara (O₂ ve CO₂) iyi bariyer özellikleri ve iyi mekanik özellikler kazandırır [14,15]. Bununla birlikte, polar polimerler, yani suda yüksek çözünür polimerlerin (aljinat, antiinflamatuvar madde (lambda-carrageenan) ve benzeri), matris kohezyonu düşüktür ve bu nedenle su ve gaz geçirgenliği artmaktadır. Bu durum, polimer ve su arasındaki hidrojen bağı oluşumuyla açıklanabilir [16-18].

Bu derleme çalışmasında yukarıda bahsi geçen yenilebilir film ve kaplama uygulamalarından olan aljinat bazlı yenilebilir film ve kaplamaların yapısal ve kimyasal özellikleri, film oluşturma koşulları ile meyve ve sebzelerde yenilebilir film olarak kullanım potansiyellerinin derlenmesi amaçlanmıştır.

2. Aljinat

Alginik asit, 1881 yılında ilk kez izole edilmiştir [19], 1900'lü yılların ortalarında ise ham aljinat üretimi gerçekleştirilmiştir. Günümüzde yaygın olarak kahverengi deniz yosunundan (*Phaeophyceae*) elde edilmektedir. Ticari açıdan değerlendirildiğinde ise üretim maliyeti ve aljinik asit içeriği kullanılan yosun seçiminde etkilidir. Ayrıca bu seçimde kullanılan deniz yosununun içerdiği aljinik asit tipi de etkili olmaktadır. Bu, kullanılan ham maddeye bağlı olarak aljinatın

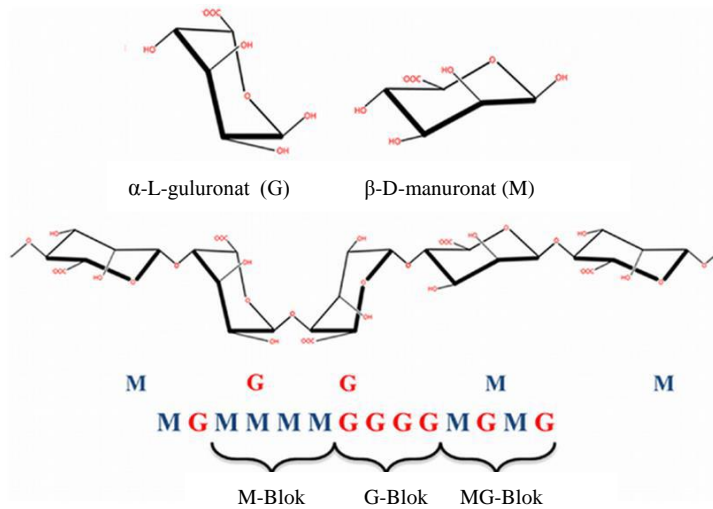
(aljinik asidin sodyum tuzu) oluşturduğu jelin karakteristik özelliği değiştiği için önem taşımaktadır. Aljinik asitten aljinat üretimi ise deniz yosununun kurutulması ile başlayıp suyla ve alkali çözeltilerle yıkama işlemleriyle devam eder. Saflaştırma, çöktürme ve CaCO_3 çözeltisiyle yıkama işlemlerini takiben kurutma ve karıştırma basamakları takip edilerek sodyum aljinat elde edilmektedir. Örneğin; *Laminaria hyperborea* tipi kahverengi deniz yosunundan elde edilen aljinat daha güçlü jel yapısı oluştururken, *Laminaria japonica* tipi deniz yosunundan elde edilen aljinat daha zayıf jel yapısı oluşturmaktadır [20].

ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), gıda sınıfı sodyum aljinatı, Federal Kurallar Kodunun (CFR) Başlığı 21'de GRAS (genel olarak güvenli olarak kabul edilir) madde olarak ve kullanımını ise emülsifiye edici, stabilizatör, koyulaştırıcı ve jelleştirici madde olarak sınıflandırmaktadır [21]. Avrupa Komisyonu (EC) da aljinik asit ve tuzlarını (E400–E404) izinli gıda katkı maddesi olarak listelemiştir [22]. Endüstriyel olarak kalınlaştırma maddesi, stabilizatör, emülgatör, şelatlama maddesi, kapsülleme, süspansiyon haline getirici madde olarak veya jel, film ve zar oluşturmak için gıda, içecek, tekstil ve ilaç sanayinde yaygın olarak kullanılır [23, 24]. Bu kapsamda aljinatın tuzu olan sodyum aljinat en yaygın kullanılanıdır [25].

2.1. Aljinat Polimerinin Yapısal ve Kimyasal Özellikleri

Aljinatlar çeşitli kahverengi alg türleri (çoğunlukla *Laminaria hyperborea*, *Macrocystis pyrifera*; daha az ölçüde *Laminaria japonica*, *Eclonia maxima*, *Lesonia negrescens*) tarafından yaygın olarak üretilen, doğal olarak meydana gelen ve rafine edilmeyen hazmı zor polisakkaritlerdir [26,27]. Ayrıca *Azotobacter vinelandii* veya *Pseudomonas aeruginosa*'nın mukoid suşları gibi bazı bakteriler de ekzopolisakkarit (hücre dışı polimerik madde) olarak aljinat benzeri polimerler sentezlerler [28,29].

Aljinatların moleküler yapısı, 1-4 glikozidik bağlarla bağlanan β -D-mannuronik asit (M) ve α -L-gulonik asidin (G) dallanmamış, doğrusal ikili kopolimeridir (Şekil.1) [23, 30, 31]. Aljinat yapısı üç fraksiyona ayrılabilir: Bunlardan ilk iki tipi genelde homopolimerik molekülleri G ve M'nin sıralı düzgün dağılımından oluşurken, üçüncü fraksiyon iki monomerin hemen hemen eşit oranlarından oluşur [32]. Bakteriyel aljinatlar, o-asetil gruplarına sahipken, alg aljinatların yapısında bu gruplar bulunmazlar [33]. Ek olarak, bakteriyel aljinatlar, algal polimerlere kıyasla daha yüksek molekül ağırlığına sahiptir [34].



Şekil 1. Aljinatın yapısal karakterizasyonu, blok molekülleri ve homopolimerik yapısı [35]

Çapraz bağlanmış aljinalarda fiziksel özellikler kimyasal yapı ile ilişkilidir. Yapı bileşiminde tekrarlayan grup sayısı ve molekül ağırlığı önem taşımaktadır. En yüksek mekanik dayanıklılığa ve monovalent katyonlara karşı kararlılığa, α -L-guluronik asit içeriği %70'ten fazla olan kürecikler sahiptir [36]. α -L-guluronik asit yüzdesi arttıkça daha sert ve sağlam yapılar elde edilirken, bu yüzde düştükçe daha sert yapılar oluşmaktadır [37]. Aljinat jelleri 0-100°C aralığında kararlılığa sahiptir. Sıcaklık arttıkça sertlikte ve viskozitede azalma görülür [38]. Ayrıca çapraz bağlı aljinat küreciklerinin gözeneklilikleri elektron mikroskobu ile 5-100 nm arasında olduğu belirlenmiştir [39].

2.2. Çözünürlük

Aljinaların su içindeki çözünürlüklerinde solventin pH değeri, ortamın iyonik gücü ve solvent içindeki jelleştirici iyonların varlığı önemlidir. Kalsiyum aljinat ve aljinik asit suda çözünmezken, sodyum aljinat, amonyum aljinat ve potasyum aljinat suda çözünürler. Çözünmeleri için protonlanmış karboksilik asit grupları ve pH değerlerinin belirli kritik değerlerin üzerinde olması gerekir. Ortamın değişen iyonik gücünün değişmesi, polimer konformasyonunu, zincir uzamasını, viskoziteyi ve sonuçta çözeltinin çözünürlüğünü etkiler. Ca^{+2} , Sr^{+2} ve Ba^{+2} gibi iki değerlikli katyonların varlığında jelleşebilen aljinaların çözünebilmesi için çapraz bağlanmış iyonlarının sulu serbest solvent olması gerekliliği vardır [40].

2.3. İki Değerlikli Katyonlarla Jel Oluşturma Özelliği

Aljinik asidin en önemli özelliği sodyum gibi katyonların eklenmesi ile düşük sıcaklıklarda viskoz yapı oluşturmasıdır [41]. Aljinat molekülü ile metal katyonların jel oluşturma hızları incelendiğinde $Pb > Cu > Cd > Ba > Ca > Ni = Zn$ şeklinde sıralama yapılabilmektedir.

Aljinik asidin kalsiyum, baryum ve alüminyum gibi elementlerle reaksiyona girmesi sonucunda ise suda çözünmeyen jel bir yapı oluşmaktadır [41,42]. Aljinat polimerinin yapısında bulunan monomerlerin oranı ve sıralamaları, elde edildiği kahverengi deniz yosununun tipine göre farklılık göstermektedir. Örneğin bu yapıda G-bloklarının fazla olması aljinaların jel oluşturma kapasitesini artırıcı; M-bloklarının fazla olması bu kapasiteyi azaltıcı etki yapar [43]. Sadece G-bloklarının Ca^{+2} ile molekül içi çapraz bağlar yaparak hidrojeller oluşturduğu düşünülmektedir [44,45]. Molekül ağırlığı ve G-blok uzunluğu, hidrojelleşmeyi etkileyen en kritik faktörlerdir [44].

2.4. Jel Oluşturmada pH ve Sıcaklığın Etkisi

İyonlaşma sabiti, aljinik asidin zincir yapısında bulunan iki monomerin oranına bağlıdır. Sodyum aljinat çözeltisinin viskozitesi pH 5-11 değerleri arasında sabittir. Aljinik asit suda çözünmediğinden pH 4 değerinin altına inildikçe suda çözünmeyen asit jeli yapısı oluşmaktadır [20].

Çoğu polisakkarit çözeltisinde olduğu gibi çözelti sıcaklığının artışıyla viskozitenin azaldığı görülür. Genel bir oranlama yapıldığında sıcaklıktaki her bir 6°C'lik artışla viskozite değerinde yaklaşık %12'lik azalma görülmektedir [43]

2.5. Çapraz Bağlanma

Aljinaların doğal bir iyon değiştirici olan poliuronit olduğu yaygın bir olarak bilinmektedir [46]. Aljinaların yüklü durumu film formasyonu için faydalıdır. İki değerlikli iyonların yokluğunda,

aljinat sadece viskoziteyi arttırmak için kullanılabilir [47]. Bununla birlikte, aljinat çözeltilisine belirli iki değerlikli katyonun eklenmesi, iyon değişimi yoluyla bir jel oluşumuna yol açar [24,48].

Aljinat jel oluşumu karmaşık bir süreçtir. Polimerik zincirdeki guluronik asit bloğunun (G-blokları) oranı ve uzunluğu, iki değerlikli iyonların sayısını etkilerken bağlama kapasitesi, jelleşme iyonları ve jelleşme koşulları aljinatın hidrojel özelliklerini kuvvetle etkiler [49-51].

Mancini ve McHugh'a göre [52], tüm bileşenleri içeren sıcak çözeltinin soğutulmasıyla jel oluşumu, kontrollü aljinat jelasyonunu başlatmak için üçüncü yöntem olarak değerlendirilebilir. Aljinat çözeltisinin sahip olduğu termal enerji nedeniyle, kalsiyumun neden olduğu bir hidrojel oluşumu sadece soğuduktan sonra gerçekleşebilir.

Kalsiyum kaynağı (kalsiyum klorür, kalsiyum laktat, kalsiyum glukonat, kalsiyum nitrat ve kalsiyum propiyonat) jel oluşumu üzerinde bir etkiye sahiptir. Kalsiyum klorür ile çapraz bağlanma kalsiyum glukonat, kalsiyum nitrat ve kalsiyum propiyonat ile karşılaştırıldığında daha güçlü aljinat jeli oluşturmaktadır [53]. Kalıcı haldeki jel kuvvetine en hızlı kalsiyum klorürle, ardından kalsiyum laktat ve kalsiyum glukonat ile ulaşılmaktadır [51]. Bununla birlikte, oluşan jelin gücü ve kalsiyum difüzyonuna karşı direnç, kalsiyum kaynağının tipine bağlıdır [47,51].

Yüksek çözünürlüğüne rağmen, kalsiyum klorür gıda üzerinde acı bir tada sahip olmasından dolayı çekici bir kalsiyum kaynağı değildir. Diğer taraftan, tat özelliklerinin önemli olduğu kaplama uygulamalarında kalsiyum glukonat ve kalsiyum laktat kullanılması önerilmektedir [47].

3. Uygulama Yöntemleri

Film oluşturma yöntemleri ve kaplama işlemlerinin koşulları, oluşan filmin fiziksel özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Düzgün ve hatasız (örneğin hava kabarcığı ve mekanik hasar olmayan) film oluşumunu sağlamak çok önemlidir [26].

3.1. Film Oluşumu

Yenilebilir film oluşumu mekanizmaları aşağıda listelenmiştir [3]:

1. Basit koaservasyon: Su içinde dağılmış olan hidrokolloidin çökeltilmesi veya faz değişimi, (i) çözücü buharlaştırma işlemi (kurutma); (ii) hidro çözünebilir elektrolit olmayan maddenin (hidrokolloidin çözünmez olduğu, örneğin etanol) dahil edilmesi; (iii) tuzlama veya çapraz bağlama yapan elektrolit ilavesiyle pH değerinin ayarlanmasıdır.
2. Karmaşık koaservasyon: Polimer kompleksinin çökmesi, karşı elektron yüküne sahip iki hidrokolloit çözeltisinin karıştırılmasıyla elde edilir.
3. Jelleşme veya termal koagülasyon: Çökme veya jelleşme, bozunmaya neden olan makromolekülün (örneğin protein olan ovalbümin gibi) veya hidrokolloit dispersiyonun (örneğin agar, jelatin) ısıtılmasıyla gerçekleştirilir.

Raf tipi film tekniklerinin (solvent döküm ve ekstrüzyon) üretim prensipleri, koşullar farklı olsa da, termoplastik filmlere benzer [26].

Solvent Döküm

Su veya su-etanol solüsyonlarının/dispersiyonlarının uygun bir yüzey üzerinde yayılması ve daha sonra infrared kurutma odaları gibi havalandırılmış bir fırında birkaç saat boyunca hava ile kurutulmasından oluşan ve en sık kullanılan film oluşturma tekniğidir. Çözücünün buharlaşmasının ardından, film herhangi bir zarar görmeden yüzeyden soyulur. Filmin yapısı, döküm solüsyonunun bileşimine, ıslak döküm kalınlığına, kurutma koşullarının sıcaklığına ve bağlı nemine bağlıdır. Solvent konsantrasyonunu çok hızlı bir şekilde azaltarak ve böylece polimer zincirinin hareketliliğini ve filmdeki moleküller arası etkileşimlerin gelişimini sınırlayarak, döküm çözeltisinin hızlı kurumasından kaçınılmalıdır [23, 24, 26].

Ekstrüzyon

Ekstrüzyon tekniği, polimerlerin termoplastik özelliklerine dayanmaktadır. Plastikleştirici ilavesinden sonra, çözelti düşük su içeriği koşulları altında camsı geçiş sıcaklığının üzerinde ısıtılır. Ekstrüzyon metodu, solvent ilavesi ve buharlaşma aşamalarının olmaması nedeniyle ticari uygulamalarda tercih edilmektedir [54]. Çok katmanlı filmler oluşturmak için koekstrüzyon tekniği kullanılabilir. Bununla birlikte, her bir film oluşturu malzemenin kimyasal-fiziksel özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle, mekanik, optik ve bariyer kusurları ortaya çıkabilir [26].

3.2. Kaplama Yöntemleri

Uygulama yöntemi ve kaplamaların gıda yüzeyine yapışması yeteneği, yenilebilir kaplamalarla ilgili iki önemli özelliktir [54]. Daldırma, akışkan yataklı işleme, yatay kaydırma (panning), püskürtme ve vakum emdirme kullanılan kaplama yöntemleridir.

Daldırma

Bu yöntem ürünü kaplama çözeltisi içeren bir kap içine batırmayı içerir ve tüm materyal yüzeyinin kaplanması gerektirdiği zaman avantajlıdır; kompleks ve pürüzlü bir yüzey etrafında homojen bir kaplama elde edilmesini sağlar. Ürünü daldırdıktan ve fazla kaplama alındıktan sonra, ya oda sıcaklığında ya da bir kurutucu yardımıyla kurutulur. Daldırma yöntemi kullanılarak, kaplama çözeltisi, çöp veya kir birikmesi ve daldırma tankındaki mikroorganizma büyümesi gibi çeşitli problemler ortaya çıkabilir. Bu yöntemden kaplama uygulamaları genellikle kalındır, bu da ürün solunumu ve depolama özelliklerinde sorunlara neden olabilir [55,56]. Daldırma yönteminin başka bir dezavantajı, çözeltinin, gıda yüzeyinin dış tabakasını seyretebilmesi ve işlevselliğini bozmasıdır. Örneğin, meyve ve sebzelerin doğal balmumu tabakası daldırıldıktan sonra çıkarılabilir [57].

Akışkan Yataklı İşleme

Geçtiğimiz birkaç on yıl içerisinde, akışkan yataklı kaplama, kimyasal, farmasötik ve gıda endüstrilerindeki çeşitli anahtar uygulamalar için bir araştırma odağı olmuştur. Başlangıçta ilaç endüstrisi tarafından geliştirilen, çok düşük yoğunluklu ve/veya küçük boyutlu kuru parçacıklar üzerine çok ince bir film tabakası uygulamak için kullanılmıştır. Gıda endüstrisi ise başlangıçta bu uygulamayı yüksek maliyet nedeniyle reddetmiştir. Bununla birlikte, günümüzde bu uygulama, işleme yardımcıları (enzimler), koruyucular (asitler ve tuzlar), takviye maddeleri (vitaminler ve mineraller), aroma maddeleri (doğal ve sentetik) ve baharatlar dahil olmak üzere fonksiyonel ingredientler ve katkı maddeleri gibi gıda ürünlerine kadar uzanmaktadır [58,59].

Tipik olarak, bir akışkan yataklı kaplama işleminde ya bir çözelti ya da süspansiyon biçiminde bir kaplama malzemesi, kabuk-tipi yapı oluşturmak için akışkanlaştırılmış tozların yüzeyi üzerine bir dizi meme içinden püskürtülür. Akışkan yataklar, üç farklı konfigürasyonla kategorize edilir: üst sprej, alt sprej ve döner akışkan yatak; fakat geleneksel üst-püskürtme yönteminin, gıda endüstrisinde diğer yöntemlere kıyasla daha büyük bir başarı olasılığı vardır [58]. Akışkanlaştırma, parçacıkların bir yatağından yukarıya doğru bir akışkan akışı, parçacıkları sıvı akışında taşımadan desteklemek için yeterli hıza ulaştığında gerçekleşmektedir. Parçacıkların yatağı daha sonra, kaynayan bir sıvının özelliklerini, dolayısıyla akışkanlaşmayı ifade eder. Sıvılaştırılmış yatakta kaplanan partiküllerin boyutu 100 µm'den daha büyüktür, çünkü daha küçük boyutlu tozlar ya geleneksel sıvılaştırılmış yatakta sabit bir akışkanlaştırma durumuna sahip değildir ya da aşırı aglomerler oluştururlar [59-61]. Akışkan yataklı kaplama, gıda endüstrisinde, çok çeşitli kapsüle edilmiş gıda bileşenlerinin ve şişirilmiş buğday, fındık ve yer fıstığı gibi katkı maddelerinin üretilmesi için kullanılmaktadır. Peynir altı suyu proteini ile kaplanmış yer fıstığında ise akışkan yataklı kaplama ayrıca yüksek kurutma verimi sağlar, daldırma ve kaydırma işlemlerine kıyasla daha düşük bir yüzey aktif madde ilavesinin kullanılmasına izin verir [62,63].

Yatay Kaydırma (Panning)

Panning işleminin Yunan-Arap kültürlerinde 9. yüzyıldan beri ilaç kaplamalarına uygulandığı bilinmektedir. Uygulama karıştırma ve kaydırma işlemlerinden oluşmaktadır. Kaydırma işleminde kaplanacak ürün "tava" olarak adlandırılan büyük, döner bir kaba yerleştirilir ve kaplama çözeltisi döner tavaya dökülerek veya püskürtülerek kaplama solüsyonunun gıda maddesinin yüzeyine eşit olarak dağıtılması için tava içine yuvarlanır. Kaplamayı kurutmak için ortam sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta hava uygulanır [64,65]. Yuvarlak veya oval formda farklı boyutlardaki ürünleri kaplamak için uygun bir yöntemdir. Özellikle fındık ve kuru üzüm gibi küçük parçalar panning işlemi ile kaplanmaktadır [66-68].

Püskürtme

Püskürtme metodu, gıda ürünlerinin yüzeyinde yarı geçirgen bir zar oluşturmak için kullanılan bir başka geleneksel tekniktir [69]. Sprej kaplama, gıda yüzeyi üzerinde daha düzgün kalın veya ince bir kaplama tabakası uygulamak için kullanılır. Diğer sistemlerden farklı olarak, sprej kaplama geniş yüzey alanları ile çalışabilir. Ayrıca, ürünün taban yüzeyi, ilk kaplama ve kurutma işlemlerinin uygulanmasından sonra ayrı bir işlemle de kaplanabilir [70]. Püskürtme uygulamaları, örneğin, aljinat ve kalsiyum klorür çözeltileri ile bir jel tabakası yapmak için çift veya daha fazla ardışık uygulama gerektiğinde de kullanılabilir [65].

Püskürtme uygulamasında kaplama solüsyonu, nozulların yardımıyla hedeflenen gıda yüzey alanı üzerinde damlacık oluşumu yoluyla dağıtılır [71]. Püskürtme tekniğinin, yüksek püskürtme basıncı (yaklaşık 60-80 psi) nedeniyle iyi bir kaplama elde etmek için daha az kaplama malzemesi gereklidir [72]. Bu yöntemin diğer avantajları, tek tip kaplama, kalınlık kontrolü, çok katmanlı uygulama olasılığı, kaplama çözeltisinin kontaminasyonundan kaçınma, çözeltinin sıcaklık kontrolü ve geniş yüzey alanları ile çalışmanın sağlanmasıdır [71].

Püskürtme çözeltisi yüksek bir viskoziteye sahip olmamalıdır. Püskürtme akışı özellikleri (i) sıvı özelliklerine (yoğunluk, viskozite, yüzey gerilimi), (ii) çalışma koşullarına (akış hızı, hava basıncı vb.) ve (iii) sistem koşullarına (nozül tasarımı, püskürtme açısı) bağlıdır [73].

Ticari kaplama uygulama yöntemleri çok çeşitli olmasına rağmen, bunların seçimi istenen son ürüne, kaplamanın istenen kalınlığına, çözelti reolojisine ve kullanımdaki kurutma teknolojisine bağlıdır. Hem kaydırma hem de akışkan yataklı kaplama sistemleri yoğun bir şekilde yuvarlanma gerektirirken, daldırma uygulaması kaplama çözeltisini seyreltebilir ve önemli miktarda kalıntı kaplama malzemesi ile sonuçlanabilir. Aynı zamanda, uygun miktarlarda kaplama çözeltisi, daldırma yoluyla kolay kontrol edilemez ve daldırma prosedüründe daha fazla zaman gerektiren ve bu nedenle endüstriyel uygulamayı engelleyebilecek fazla çözeltinin kurutulması için ilave bir adım gereklidir. Bu nedenle, sprey kaplama daha uygun bir tekniktir ve gıda yüzeyinde kaplama çözeltisinin homojen dağılımını sağlar ve fabrika ölçeğinde uygulamayı kolaylaştırır.

Vakumlu Emdirme

Vakumlu emdirme yöntemi dispersiyon tutma özelliğini iyileştirmek ve daha kalın bir kaplama oluşturmak için kullanılan alternatif bir yöntemdir. Bu kapsamda gözenekli ürüne vakumlu emdirme sırasında basınç değişimleri ile desteklenen hidrodinamik mekanizmaların etkisiyle, açık gözenekler ve hücreler arası boşluklardaki iç gaz ya da sıvının dış sıvı faz ile değiştirilmesinden oluşan bir yöntemdir. Gıda araştırmalarında vakumlu emdirme metodu ürünün vitamin ve minerallerce zenginleştirilmesinde kullanılmıştır. Son zamanlardaki çalışmalar ise bu tür kaplamanın, meyve ve sebzeler gibi gözenekli gıda matrislerinde havayla çözünen maddelerin katılmasıyla daha kalın ve daha etkili bir film oluşturulabildiğini göstermektedir [74,75].

4. Gıda Endüstrisindeki Uygulamalar

Literatürde aljinatın materyal olarak kullanıldığı yenilebilir film ve kaplama uygulamaları şeftali, kavun, elma, üzüm, papaya, erik, meyve barı, çilek, karpuz ve mandalina gibi meyvelerin bütün ya da dilimlenmiş olarak kaplanmalarında kullanılmıştır. Bu kapsamdaki araştırmalarda %1-3 aljinat konsantrasyonu denenmiş olup, aljinat dışında metil selüloz, kitosan ve jellan gibi diğer yenilebilir film ve kaplamalarla kalite bakımından materyallerin karşılaştırılmaları yapılmıştır. Ayrıca probiyotik, esansiyel yağlar ve bazı organik asitlerin ilavelerinin aljinat film oluşumuna ve materyal kalitesine etkileri incelenmiştir [76-87]. Aşağıda literatürde yer alan bazı çalışmaların öne çıkan sonuçlarına değinilmiştir.

Maftoonazad ve ark. [76] sodyum aljinat (%2 w/v) veya metil selüloz (%3 w/v) bazlı kaplamaların şeftalinin raf ömrüne etkisini incelemişlerdir. Kaplanmamış ve kaplanmış meyveler 15°C'de ve %40 bağıl nemde depolamış ve 3 günlük aralıklarla solunum hızı, nem kaybı, doku, asitlik, pH ve toplam çözünebilir katı madde değerleri belirlenmiştir. Kaplanmış şeftalilerde kalite parametrelerindeki değişikliklerin kontrol örneklerinde çok daha düşük olduğu, kontrol numuneleri için 15°C'de kabul edilebilir raf ömrü 15 günken, kaplanmış örneklerin raf ömrü sodyum aljinat ve metil selüloz kaplama ile sırasıyla 21 ve 24 güne kadar uzamıştır. Ayrıca kaplanmış örneklerde azalan solunum ve terleme oranlarının kalitenin korunmasında ve şeftalilerin raf ömrünün uzamasında etkili olduğunu bildirilmiştir.

Senturk Parreidt ve ark. [77] taze kesilmiş kantaloop kavunlarını, sodyum aljinat bazlı yenilebilir film (%1.25 w/w) kullanarak daldırma ve vakum emdirme yöntemleriyle kaplamış ve en iyi kaplama koşullarını (daldırma süresi, boşaltma süresi, vakum periyodu uzunluğu, vakum basıncı, atmosferik yenileme süresi) tanımlamak amacıyla, farklı kaplama parametrelerinin, kaplanmamış ve kaplanmış örneklerin fiziksel kalite parametreleri (ağırlık kazanımı yüzdesi, renk ve doku) üzerine etkisini belirlemiştir. Her iki sürecin de kavun parçalarının sertliğini arttırmış ancak

vakum emdirme uygulamasında daha yüksek sertlik ve daha az ağırlık kaybı sonuçları tespit edilmiştir.

Röfle ve ark. [78] taze kesilmiş elma dilimlerinin oligofruktoz ve inülin gibi prebiyotikler içeren yenilebilir filmle kaplanmasını konu alan çalışmada, %35 (w/v) oligofruktoz veya %15 (w/v) inülin veya %20/15 (w/v) oligofruktoz/inülin karışımı içeren sulu çözeltilerin her birine %1 (w/v) sodyum aljinat tozunun ilave edilmesiyle hazırlanan kaplama solüsyonu ile örnekler kaplanmıştır. Tüm prebiyotiklerin 14 gün depolama periyodu boyunca sabit kaldığı; esmerleşme indeksi, sertlik ve asitlik değerlerinin kontrole göre (sadece %1 sodyum aljinat ile kaplanmış) 14 gün boyunca stabil kaldığı, prebiyotik kaplama uygulananlarının çözünebilir kuru madde miktarını arttığı ve polifenolik bileşiklerin daha kararlı olduğu belirlenmiştir.

Aloui ve ark. [79] tarafından yapılan bir çalışmada sofralık üzümlere greylift çekirdeği ekstraktı veya greylift esansiyel yağı içeren ve içermeyen %1 ve %2 sodyum aljinat (NaAlg) bazlı biyobozunur kaplamalar uygulanmıştır. Greylift çekirdeği ekstraktı içeren saf sodyum aljinat bazlı biyolojik olarak bozunabilir kaplamaların, ağırlık kaybını azaltmada ve depolama sırasında sertliğin korunmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Greylift esansiyel yağı veya greylift çekirdeği ekstraktı içeren kaplamaların, üzümlerin antioksidan aktivitesini koruyabildiği ve inokule edilmiş meyvelerdeki çürüme sıklığını azaltabildiği, ayrıca %2 sodyum aljinat - %1 greylift çekirdeği ekstresi ile formüle edilen kaplamaların, su ve sertlik kayıplarının etkili bir kontrol ile sağlandığı ayrıca antioksidan aktivitenin ve antifungal etkinin korunduğu saptanmıştır.

Diğer bir çalışmada ise %1.5 (w/v) kitosan ve %1.5 (w/w) aljinat bazlı yenilebilir kaplamaların askorbik asitle zenginleştirilmiş meyve barlarının (beyaz üzüm konsantrasyonu ve toz haline getirilmiş armut gevreğinin karıştırılması ile hazırlanan) kalitesi üzerine, tek katmanlı kaplama tekniği ile layer-by-layer (LbL) kaplama tekniğinin etkileri incelenmiştir. Aljinat-kitosan LbL kaplamaları içeren meyve barlarında, depolama boyunca askorbik asit içeriği, antioksidan kapasite ve sertlikteki değişimin en az olduğu ve maya gelişimini önlediği bildirilmiştir [80].

Gliserol (%0.6-%2.0), Nasetilsistein (%1) ve/veya askorbik asit (%1) ve sitrik asit (%1) içeren aljinat (%2 w/v) veya jellan bazlı (%0.5) yenilebilir filmler, taze kesilmiş elma ve papaya dilimlerini kaplamak için kullanılmıştır. Su buharı geçirgenliği, aljinat filmlerinde ($0.30-0.31 \times 10^{-9} \text{ g m / Pa s m}^2$), jellanda ($0.26-0.27 \times 10^{-9} \text{ g m / Pa s m}^2$) daha yüksek bulunmuştur ($P < 0.05$). Ayrıca taze kesilmiş elma ve papaya dilimleri, canlı bifidobakteriler içeren %2 (w/v) aljinat veya jellan bazlı filmlerle kaplanmış ve probiyotik kaplamalarında su buharı geçirgenliği, aljinat dökme filminde (6.31 ve $5.52 \times 10^{-9} \text{ g m / Pa s m}^2$) jellandakinden (3.65 ve $4.89 \times 10^{-9} \text{ g m / Pa s m}^2$) daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Taze kesilmiş meyvelerin buzdolabında 10 gün boyunca saklanması sırasında $10^6 \text{ CFU / g B. lactis Bb-12}$ 'den büyük değerlerin korunması, taze kesilmiş meyvelerde canlı probiyotiklerin taşınması ve desteklenmesi için aljinat ve jellan bazlı yenilebilir kaplamaların uygulanabilir olduğu ifade edilmiştir [81].

Dört erik çeşidinin ("Blackamber", "Larry Ann", "Golden Globe" ve "Songold") yenilebilir aljinatla (%1 ve %3 aljinat içeren kaplama çözeltisi) kaplanması işleminin, hasat sonrası depolama boyunca meyve kalitesine etkisi incelenmiştir. Kaplanan örnekler 2°C 'de 7, 14, 21, 28 ve 35. gün sonunda ve 20°C 'de 3 günlük periyotlar sonunda analiz edilmiştir. Her iki materyalin (özellikle %3 aljinatlı kaplama) tüm çeşitler için etilen üretiminin engellenmesinde etkili olduğu ifade edilmiştir. Eriklerin hasat sonrası olgunlaşma ile ilgili, ağırlık ve asitlik kayıpları, yumuşama ve renk değişiklikleri gibi meyve kalitesi parametrelerindeki değişikliklerin, her iki yenilebilir kaplamanın kullanılması ile önemli ölçüde geciktirildiği tespit edilmiştir [82].

Fan ve ark. [83] maya antagonisti ile kombine edilen aljinat bazlı kaplamanın çileğin (*Fragaria × ananassa*) kalitesine etkisi üzerine yaptıkları çalışmada; meyve yüzeyini aljinat (%2 w/v), gliserol (%2 w/v), palmitik asit (%0.5 w/v), gliserol monostearat (%0.5 w/v) ve β-siklodekstrin (%0.5 w/v) kombinasyonu ile *Cryptococcus laurentii*'yi (10^9 kob/mL) içeren filmle kaplamışlardır. *C. laurentii* eklenmiş sodyum aljinat filminin mikrobiyal bozulmayı önemli ölçüde baskıladığı ağırlık kaybını azalttığı, çileklerin sertliğini koruduğu, meyvenin kalitesini ve depolama özelliklerini geliştirdiği bildirilmiştir.

Sodyum aljinat (0.5; 1; 2 g/100g), β-siklodekstrin ve mikroenkapsüllü transsinnamaldehit, pektin ve kalsiyum laktat içeren bir dizi çözelti kullanılarak geliştirilen çok katmanlı antimikrobiyal aljinat bazlı yenilebilir kaplamanın kesilmiş taze karpuzun (*Citrullus lanatus*) raf ömrüne etkisini incelemek için yapılan bir çalışmada ise numuneler Layer-by-Layer daldırma tekniği kullanılarak kaplanmış ve daha sonra 15 gün boyunca 4°C'de depolanmıştır. 1g/100g ve 2g/100g aljinat kaplamaların, kesilmiş taze karpuzun raf ömrünü 7 (kontrol) ile 12-15 gün arasında uzattığı tespit edilmiştir. Tüketici kabul testinde ise 2g/100g aljinat kaplama haricinde kaplanmış numunelerin yüksek kabul gördüğü belirtilmiştir [84].

Zhang ve ark.'nın yaptığı çalışmada [85] ise kantaluplar %2 tarçın kabuğu yağı ve %0-0.5 soya fasulyesi yağı içeren ve içermeyen %1 sodyum aljinatlı karışımlarla kaplanmıştır. Kaplamanın 21°C ortamda depolama boyunca, kantalupların kalitesine etkisi ile aşılınmış bakteri patojenlerinin, doğal olarak oluşan mayaların ve küflerin canlılığına etkisi incelenmiştir. Numunelerin ağırlık kaybı ve toplam çözünebilir kuru madde içeriğinde, kaplama çözeltileri arasında önemli farklılık oluşmadığı ve incelenen antimikrobiyal kaplama sisteminin, kantalupların mikrobiyolojik güvenlik ve kalitesini artırma potansiyelini ortaya koyduğu ifade edilmiştir.

Nanfeng mandalinalarının hasat sonrası kalitesini korumak için %1.5 sodyum aljinat (SA), %0.7 sitrik asit ve %1.0 sakkaroz esteri ile *Ficus hirta* (FH) meyve ekstraktı içeren ve içermeyen yenilebilir kaplamalar uygulanmıştır. Bozunma hızı, ağırlık kaybı, solunum hızı ve maleikdialdehit (MDA) içeriği FH-SA kaplı örneklerde kontrol grubuna göre çok daha düşük bulunmuştur. FH-SA kaplama işleminin, süperoksit dismutaz, katalaz, peroksidaz, kitinaz, p-1,3-glukanaz ve fenilalanin ammoniyaz gibi antioksidan ve savunma ile ilgili enzimlerin aktivitelerini arttırdığı ve fenolik bileşiklerin birikimini uyardığı bildirilmiştir [86].

Elma dilimleri (Gala çeşidi) önce kalsiyum klorür çözeltisine daldırıldıktan sonra üç farklı kaplama formülasyonundan (aljinat, aljinatla asetilatlanmış monoglisericid-linoleik asit ve aljinat-tereyağı-linoleik asit) biri ile kaplanmış ve %85 nisbi rutubette 5°C'de depolanmıştır. Genel olarak, aljinat kaplamaların, anaerobik solunuma neden olmaksızın, kesilmiş elmalarının raf ömrünü uzattığı bulunmuştur. Depolama esnasında, kullanılan tüm kaplamaların, ağırlık kaybını en aza düşürdüğü ve özellikle asetillenmiş monoglisericid içeren kaplamalı elmaların orijinal ağırlığa en yakın olduğu ve kontrol elmalarına göre kaplanmış elmaların sertliğinin kaplamanın türüne bakılmaksızın hemen hemen sabit kaldığı ifade edilmiştir [87].

5. Sonuç

İdeal bir durumda, yenilebilir kaplama veya film, gıdadaki su içeriğinin buharlaşmasını ve uçucu lezzet bileşenlerinin kaybını azaltmalı, solunumu bastırarak mikroorganizmaların gelişmesini önlemelidir. Bariyer tarafından yaratılan modifiye atmosfer, anaerobik solunuma (ve bu nedenle, anaerobik büyümeye) ve istenmeyen uçucu maddelere neden olmamalıdır. Tatsız, kokusuz ve

yenilebilir özelliğe sahip olan aljinat toksik olmaması, biyobozunur, ucuz ve hidrofilitésinin yüksek olması yanında çalışma kolaylığı avantajıyla gıda uygulamaları için tercih edilen bir kaplama materyalidir. Aljinat bazlı yenilebilir filmlerin ve kaplamaların, taze meyve ve sebzelerin raf ömrünü artırması amacını gerçekleştirmek için verimli bir şekilde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

6. Kaynaklar

- [1] Marsh K, Bugusu B (2007). Food packaging—Roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science*, 72, R39–R55.
- [2] Risch SJ (2000). New developments in packaging materials. In *Food Packaging; American Chemical Society: Washington, DC, USA, Volume 753*, pp. 1–7.
- [3] Guilbert S, Gontard N, Gorris LGM (1996). Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *LWT Food Sci. Technol.*, 29, 10–17.
- [4] Gontard N, Guilbert S (1994). Bio-packaging: Technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. In *Food Packaging and Preservation; Mathlouthi, M., Ed.; Blackie Academic and Professional: Glasgow, UK*, pp. 159–181.
- [5] Ribeiro C, Vicente AA, Teixeira JA, Miranda C (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biol Technol* 44(1):63–70.
- [6] Falguera V, Quintero JP, Jimenez A, Muñoz JA, Ibarz A (2011). Edible films and coatings: structures, active functions and trends in their use. *Trends Food Sci Technol* 22(6):292–303.
- [7] Avena-Bustillos RJ, McHugh TH (2012). Role of edible film and coating additives. In: Baldwin EA, Hagenmaier R, Bai J, editors. *Edible coatings and films to improve food quality*. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group. p 157–84.
- [8] Zhao Y (2012). Application of commercial coatings. In: Baldwin EA, Hagenmaier R, Bai J, editors. *Edible coatings and films to improve food quality*. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group. p 319–32.
- [9] Guilbert S, Gontard N, Cuq B (1995). Technology and applications of edible protective films. *Packag. Technol. Sci.*, 8, 339–346.
- [10] Donhowe IG, Fennema O (1994). Edible films and coatings: Characteristics, formation, definitions, and testing methods. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality; Krochta, J.M., Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O., Eds.; Technomic Publ Co: Lancaster, NH, USA*, pp. 1–24.
- [11] Zink, J., Wyrobnik, T., Prinz, T., Schmid, M., (2016). Physical, chemical and biochemical modifications of protein-based films and coatings: An extensive review. *Int. J. Mol. Sci.*, 17, 1376.
- [12] Shit SC, Shah P (2014). Edible Polymers: Challenges and Opportunities. *J. Polym.*, 2014, 1–13.
- [13] Pavlath AE, Orts W (2009). Edible films and coatings: Why, what, and how? In *Edible Films and Coatings for Food Applications; Huber, K.C., Embuscado, M.E., Eds.; Springer New York: New York, NY, USA*, pp. 1–23.
- [14] Wu Y, Weller C, Hamouz F, Cuppett SL, Schnepf M (2002). Development and applications of multicomponent edible coatings and films: a review. *Adv Food Nutr Res* 44:347–94.
- [15] Vargas M, Pastor C, Chiralt A, McClements DJ, Gonz'alez-Mart'inez C (2008). Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Crit Rev Food Sci Nutr* 48(6):496–511.

- [16] Kester JJ, Fennema OR (1986). Edible films and coatings: a review. *J Food Technol* 40(12):47–59.
- [17] McHugh TH, Avena-Bustillos R, Krochta JM (1993). Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *J Food Sci* 58(4):899–903.
- [18] Park HJ, Weller CL, Vergano PJ, Testin RF (1993). Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films. *J Food Sci* 58(6):1361–4.
- [19] Draget KI (2009). Alginates. In *Handbook of Hydrocolloids*, 2nd ed.; Woodhead Publishing: Sarston, UK, pp. 807–828.
- [20] Ray WL, James BN (1993). *Industrial Gums*, Algin, 105-142, San Diego:Academic Press.
- [21] U.S. Food & Drug Administration. Code for Federal Regulations Title 21 Part 184—Direct Food Substances Affirmed as Generally Recognized as Safe. Available online: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1724> (accessed on 5 April 2018).
- [22] Younes M, Aggett P, Aguilar F, Crebelli R, Filipi'c M, Jose Frutos M, Galtier P, Gott D, Gundert-Remy U, Georg Kuhnle G (2017). Re-evaluation of alginic acid and its sodium, potassium, ammonium and calcium salts (e 400–e 404) as food additives. *EFSA J.*, 15, 5049.
- [23] Hay ID, Rehman ZU, Moradali MF, Wang Y, Rehm BHA (2013). Microbial alginate production, modification and its applications. *Microb. Biotechnol.*, 6, 637–650.
- [24] Kim YJ, Yoon KJ, Ko SW (2000). Preparation and properties of alginate superabsorbent filament fibers crosslinked with glutaraldehyde. *J. Appl. Polym. Sci.*, 78, 1797–1804.
- [25] Yoo S, Krochta JM (2011). Whey protein–polysaccharide blended edible film formation and barrier, tensile, thermal and transparency properties. *J. Sci. Food Agric.*, 91, 2628–2636.
- [26] Skurtys O, Acevedo C, Pedreschi F, Enrione J, Osorio F, Aguilera JM (2010). Food hydrocolloid edible films and coatings. In *Food Hydrocolloids Characteristics, Properties and Structures*; Hollingworth, C.S., Ed.; Nova Science Publishers, Inc.: New York, NY, USA, pp. 41–80.
- [27] Smidsrød O, Skjåk-Bræk G (1990). Alginate as immobilization matrix for cells. *Trends Biotechnol.*, 8, 71–78.
- [28] Evans LR, Linker A (1973). Production and characterization of the slime polysaccharide of *Pseudomonas aeruginosa*. *J. Bacteriol.*, 116, 915–924.
- [29] Emmerichs N, Wingender J, Flemming HC, Mayer C (2004). Interaction between alginates and manganese cations: Identification of preferred cation binding sites. *Int. J. Biol. Macromol.*, 34, 73–79.
- [30] Nisperos-Carriedo MO (1994). Edible coatings and films based on polysaccharides. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*; Krochta, J.M., Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O., Eds.; Technomic Publ. Co.: Lancaster, NH, USA, Volume 1, pp. 322–323.
- [31] Moe S, Skjåk-Bræk G, Smidsrød O, Ichijo H (1994). Calcium alginate gel fibers: Influence of alginate source and gel structure on fiber strength. *J. Appl. Polym. Sci.*, 51, 1771–1775.
- [32] Draget KI, Smidsrod O, Skjak-Braek G (2002). Alginates from algae, in *Biopolymers*, ed. by SteinbüchelA Wiley-VCH, Weinheim, pp.215–244.
- [33] Davidson I, Sutherland I, Lawson C (1977). Localization of o-acetyl groups of bacterial alginate. *Microbiology*, 98, 603–606.
- [34] Clementi F (1997). Alginate production by *Azotobacter vinelandii*. *Crit. Rev. Biotechnol.*, 17, 327–361.

- [35] Juárez GAP, Spasojevic M, Faas MM, deVos P (2014). Immunological and technical considerations in application of alginate-based microencapsulation systems. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, Biomaterials*, V(2), page: 1-15.
- [36] Gombotz WR, Wee SF (1998). Protein release from alginate matrices, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 31, 267-286.
- [37] Chapman VJ, Chapman DJ (1980). "Seaweeds and Their Uses", Chapman And Hall, Ch. 6.
- [38] Gacesa P (1988). Alginates, *Carbohydr. Polym.*, 8, pp. 161-182.
- [39] Andersen IL, Skipnes O, Smidsrod O, Ostgaard K, Hemmer PC (1977). *ACS Symp. Ser.*, 48, pp. 361-381.
- [40] Pawar SN, Edgar KJ (2012). Alginate derivatization: A review of chemistry, properties and applications. *Biomaterials*, 33, 3279-3305.
- [41] Göksungur Y, Güvenç U (2002). Kalsiyum Aljinatta Hücre İmmobilizasyonu ve Biyoteknolojideki Uygulamaları. *GIDA*, 27(6): 511-518.
- [42] Seventekin N (2003). Alginat Lifleri. *Kimyasal Lifler*, E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayını, Syf. 48-50.
- [43] Tezcan F (2008). Aljinat/ Kil Biyopolimer Nanokompozit Filmlerin Eldesi ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 65s. İstanbul.
- [44] Blandino A, Macias M, Cantero D (1999). Formation of Calcium Alginate Gel Capsules: Influence of Sodium Alginate and CaCl₂ Concentration on Gelation Kinetics. *Journal of Bioscience And Bioengineering*, Vol. 88, No. 6, 686-689.
- [45] Wang X, Spencer HG (1998). Calcium alginate gels: formation and stability in the presence of an inert electrolyte. *Polymer* Vol. 39 No. 13, pp. 2759-2764.
- [46] Kohn R (1975). Ion binding on polyuronates-alginate and pectin. *Pure Appl. Chem.*, 42, 371-397.
- [47] Lee P, Rogers MA (2012). Effect of calcium source and exposure-time on basic caviar spherification using sodium alginate. *Int. J. Gastron. Food Sci.*, 1, 96-100.
- [48] Lu J-W, Zhu Y-L, Guo Z-X, Hu P, Yu J (2006). Electrospinning of sodium alginate with poly(ethylene oxide). *Polymer*, 47, 8026-8031.
- [49] Grant GT, Morris ER, Rees DA, Smith PJC, Thom D (1973). Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: The egg-box model. *FEBS Lett.*, 32, 195-198.
- [50] Tapia MS, Rojas-Graü MA, Carmona A, Rodríguez FJ, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O (2008). Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocoll.*, 22, 1493-1503.
- [51] Soazo M, Báez G, Barboza A, Busti PA, Rubiolo A, Verdini R, Delorenzi NJ (2015). Heat treatment of calcium alginate films obtained by ultrasonic atomizing: Physicochemical characterization. *Food Hydrocoll.*, 51, 193-199.
- [52] Mancini F, McHugh TH (2000). Fruit-alginate interactions in novel restructured products. *Food/Nahrung*, 44, 152-157.
- [53] Gennadios A, Hanna MA, Kurth LB (1997). Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: A review. *LWT Food Sci. Technol.*, 30, 337-350.
- [54] Dhanapal A, Rajamani L, Shakila Banu M (2012). Edible films from polysaccharides. *Food Sci. Qual. Manag.*, 3, 9-17.
- [55] Grant LA, Burns J (1994). Application of coatings. In: Krochta JM, Baldwin EA, Nisperos-Carriedo MO, editors. *Edible coatings and films to improve food quality*. Lancaster, PA: Technomic Publishing Company. p 189-200.

- [56] Martin-Belloso O, Rojas-Graña MA, Soliva-Fortuny R (2009). Delivery of flavor and active ingredients using edible films and coatings. In: Embuscado ME, Huber KC, editors. *Edible films and coatings for food applications*. New York: Springer. p 295–314.
- [57] Lin D, Zhao Y (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Rev Food Sci Food Safety* 6(3):60–75.
- [58] Dewettinck K, Huyghebaert A (1999). Fluidized bed coating in food technology. *Trends Food Sci Technol* 10(4–5):163–8.
- [59] Chen Y, Yang J, Mujumdar A, Dave R (2009). Fluidized bed film coating of cohesive Geldart group C powders. *Powder Technol* 189(3):466–80.
- [60] Dewettinck K, Huyghebaert A (1998). Top-spray fluidized bed coating: effect of process variables on coating efficiency. *Lebensm Wiss Technol* 31(6):568–75.
- [61] Guignon B, Duquenoy A, Dumoulin ED (2002). Fluid bed encapsulation of particles: principles and practice. *Drying Technol* 20(2):419–47.
- [62] Lin SY, Krochta JM (2006). Fluidized-bed system for whey protein film coating of peanuts. *J Food Process Eng* 29(5):532–46.
- [63] Solis-Morales D, Sáenz-Hernández CM, Ortega-Rivas E (2009). Attrition reduction and quality improvement of coated puffed wheat by fluidised bed technology. *J Food Eng* 93(2):236–41.
- [64] Pandey P, Turton R, Joshi N, Hammerman E, Ergun J (2006). Scale-up of a pan-coating process. *AAPS PharmSciTech* 7(4):E1–E8.
- [65] Dangan K, Tomasula PM, Qi P (2009). Structure and function of protein-based edible films and coatings. In: Embuscado ME, Huber KC, editors. *Edible films and coatings for food applications*. New York: Springer. p 25–56.
- [66] Lee SY, Dangan KL, Krochta JM (2002). Gloss stability of whey-protein/plasticizer coating formulations on chocolate surface. *J Food Sci* 67(3):1121–5.
- [67] Geschwindner G, Drouven H (2009). Manufacturing processes: chocolate panning and inclusions. In: Talbot G, editor. *Science and technology of enrobed and filled chocolate, confectionery and bakery products*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited. p 397–413.
- [68] Talbot G (2009). Product design and shelf-life issues: moisture and ethanol migration. In: Talbot G, editor. *Science and technology of enrobed and filled chocolate, confectionery and bakery products*. Cambridge, U.K.: Woodhead Publishing Limited. p 211–32.
- [69] Zapata PJ, Guillén F, Martínez-Romero D, Castillo S, Valero D, Serrano M (2008). Use of alginate or zein as edible coatings to delay postharvest ripening process and to maintain tomato (*Solanum lycopersicon* Mill) quality. *J. Sci. Food Agric.*, 88, 1287–1293.
- [70] Debeaufort F, Voilley A (2009). Lipid-based edible films and coatings. In: Embuscado ME, Huber KC, editors. *Edible films and coatings for food applications*. New York: Springer. p 135–64.
- [71] Andrade RD, Skurtys O, Osorio FA (2012). Atomizing spray systems for application of edible coatings. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 11, 323–337.
- [72] Tharanathan RN (2003). Biodegradable films and composite coatings: Past, present and future. *Trends Food Sci. Technol.*, 14, 71–78.
- [73] Norton T, Sun D-W (2006). Computational fluid dynamics (cfd)—An effective and efficient design and analysis tool for the food industry: A review. *Trends Food Sci. Technol.*, 17, 600–620.
- [74] Guillemain A, Degraeve P, Noël C, Saurel R (2008). Influence of impregnation solution viscosity and osmolarity on solute uptake during vacuum impregnation of apple cubes (var. Granny smith). *J. Food Eng.*, 86, 475–483.

- [75] Vargas M, Chiralt A, Albors A, González-Martínez C (2009). Effect of chitosan-based edible coatings applied by vacuum impregnation on quality preservation of fresh-cut carrot. *Postharvest Biol. Technol.*, 51, 263–271.
- [76] Maftoonazad N, Ramaswamy HS, Marcotte M (2008). Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methyl cellulose edible coatings. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 951–957.
- [77] Senturk Parreidt T, Schmid M, Müller K (2018). Effect of Dipping and Vacuum Impregnation Coating Techniques with Alginate Based Coating on Physical Quality Parameters of Cantaloupe Melon. *Journal of Food Science*, 83 (4), 929-936.
- [78] Röβle C, Brunton N, Gormley RT, Wouters R, Butler F (2011). Alginate Coating as Carrier of Oligofructose and Inulin and to Maintain the Quality of Fresh-Cut Apples. *Journal of Food Science*, 76 (1), H19-H29.
- [79] Aloui H, Khwaldia K, Sanchez-Gonzalez L, Muneret L, Jeandel C, Hamdi M, Desobry S (2014). Alginate coatings containing grapefruit essential oil or grapefruit seed extract for grapes preservation. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 952-959.
- [80] Bilbao-Sainz C, Chiou B, Punotai K, Olson D, Williams T, Wood D, Rodov V, Poverenov E, McHugh T (2018). *Journal of Food Science*, 83 (7), 1880-1887.
- [81] Tapia MS, Rojas-Graü MA, Rodríguez FJ, Ramírez J, Carmona A, Martín-Belloso O (2007). Alginate- and gellan-based edible films for probiotic coatings on fresh-cut fruits. *J. Food Sci.*, 72(4), E190–E196.
- [82] Valero D, Díaz-Mula HM, Zapata PJ, Guillén F, Martínez-Romero D, Castillo S, Serrano M (2013). Effects of Alginate Edible Coating on Preserving Fruit Quality in Four Plum Cultivars During Postharvest Storage. *Postharvest Biology and Technology*. 77:1–6.
- [83] Fan Y, Xu Y, Wang D, Zhang L, Sun J, Sun L, Zhang B (2009). Effect of Alginate Coating Combined with Yeast Antagonist on Strawberry (*Fragaria × ananassa*) Preservation Quality. *Postharvest Biology and Technology*. 53:84–90.
- [84] Sipahi RE, Castell-Perez ME, Moreira RG, Gomes C, Castillo A (2013). Improved multilayered antimicrobial alginate-based edible coating extends the shelf life of fresh-cut watermelon (*Citrullus lanatus*). *LWT Food Sci. Technol.*, 51, 9–15.
- [85] Zhang Y, Ma Q, Critzer F, Davidson PM, Zhong Q (2015). Effect of Alginate Coatings with Cinnamon Bark Oil and Soybean Oil on Quality and Microbiological Safety of Cantaloupe. *International Journal of Food Microbiology*. 215: 25–30.
- [86] Chen C, Peng X, Zeng R, Chen M, Wan C, Chen J (2016). *Ficus hirta* Fruits Extract Incorporated into an Alginate-Based Edible Coating for Nanfeng Mandarin Preservation. *Scientia Horticulturae*. 202:41–48.
- [87] Olivas GI, Mattinson DS, Barbosa-Cánovas GV (2007). Alginate Coatings for Preservation of Minimally Processed ‘Gala’ Apples. *Postharvest Biology and Technology*. 45:89–96.