



Yoğurt Üretiminde Hidrokolloid Kullanımı: Gelişen Teknolojiler ve İnovatif Çözümler

Hydrocolloid Use in Yoghurt Production: Emerging Technologies and Innovative Solutions

Nihat AKIN¹, Damla ÖZİŞİK^{2*}, Furkan ARSLAN³

^{1,2,3}Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya

¹ORCID: 0000-0002-0966-1126  ²ORCID: 0009-0006-9406-1518 

³ORCID: 0000-0003-3004-1615 

*Sorumlu Yazar: damlaozisik29@gmail.com

Geliş Tarihi: 11.10.2024

Kabul Tarihi: 14.03.2025

ÖZET

Son zamanlarda, teknolojinin ilerlemesi ve inovasyonun getirdiği değişimlerle birlikte hidrokolloidlerin önemi giderek artmıştır. Gıda sektörünün insan yaşamında temel bir rol oynaması nedeniyle hidrokolloidler, çeşitli gıdalarda farklı oranlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Jelleştirici, kıvam artırıcı, stabilize edici ve süspansiyon oluşturucu özellikleri sayesinde hidrokolloidler, gıda sanayisinde vazgeçilmez bileşenler haline gelmiştir. Farklı hidrokolloidlerin farklı oranlarda kullanılması, ürün çeşitliliğini artırmış ve gıda ürünlerinin yelpazesini genişletmiştir. Özellikle gıdaların taşınması ve tedarik zincirinde, gıdaların tekstürünü koruyarak tüketiciye ulaşmasında hidrokolloidlerin rolü büyük önem taşımaktadır. Bu derlemede, özellikle karragenan, aljinat ve karboksimetil selüloz gibi hidrokolloidlerin yapıları, kullanım alanları ve etkileri detaylı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrokolloidler, Karragenan, Aljinat, Karboksimetik selüloz, İnovasyon

ABSTRACT

Recently, with the advancement of technology and the changes brought by innovation, the importance of hydrocolloids has gradually increased. Since the food industry plays a fundamental role in human life, hydrocolloids are widely used in various foods at different ratios. Thanks to their gelling, thickening, stabilising and suspending properties, hydrocolloids have become indispensable components in the food industry. The use of different hydrocolloids in different ratios has increased product diversity and expanded the range of food products. Especially in the logistics and supply chain of foods, the role of hydrocolloids is of great importance in preserving the texture of foods and reaching the consumer. In this review, the structures, usage areas and effects of hydrocolloids such as carrageenan, alginate and carboxymethyl cellulose were examined in detail.

Keywords: Hydrocolloid, Carrageenan, Alginate, Carboxymethyl cellulose, Innovation

GİRİŞ

Hidrokolloidler (gamlar), jelleştirici veya kıvam artırıcı etkiler sağlamak amacıyla suda çözünebilir veya dağılılabilen (dispersiyon) polimerik maddelerdir (Gibson ve Maughan, 2002). “Hidrokolloid” terimindeki “hidro” Yunanca’da su anlamına gelirken; “kolloid” terimi, Fransızca’da “col” (tutkal) ve ‘oid’ (benzer) sözcüklerinden türetilmiştir (Sworn, 2013). Binlerce yıl öncesine dayanan bir geçmişe sahip olan gamlar, başlangıçta bitkilerden sızan doğal, yapışkan, zamkimsi maddeler için kullanılmıştır (Ahmad vd., 2020). Mısırlıların mumyalama tekniklerinde kullandıkları ve “arabik” olarak adlandırılan zamkimsi madde ile İsrail halkının tükettiği cennet helvası, bu maddelerin tarihsel kullanımına dair kanıtlar sunmaktadır (Davis ve Williams, 2018). Teknik olarak, gamlar jelleştirici veya kıvam artırıcı etki sağlamak için suda çözünebilir veya dağılılabilen polimerik karbonhidratlar olarak tanımlanmaktadır (Brown vd., 2021).

Gıda endüstrisinde hidrokolloidler, kıvam artırıcı, jelleştirici, stabilize edici ve süspansiyon oluşturucu ajanlar olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar (Miller ve Thompson, 2019). Hidrokolloidlerin yaygın kullanılma sebepleri arasında ürün kalitesini artırmaları, yeni teknolojilerin uygulanmasını desteklemeleri ve bu teknolojilerle uyumlu üretim süreçlerini kolaylaştırmaları bulunmaktadır (Roberts ve King, 2022). Gamların gıdalardaki en önemli fonksiyonları arasında donma derecesini değiştirme, nem buharlaşmasını ve su tutma oranlarını azaltma, viskoziteyi düzenleme, reolojik özellikleri modifiye etme ve buz-kristali oluşumlarını kontrol etme yer almaktadır (Williams ve Patel, 2015). Ayrıca, insan sağlığı üzerinde olumlu etkiler yaratabilecek bazı hidrokolloidlerin, özellikle bağırsak sağlığı ve sindirim sistemi üzerine faydalı etkileri olduğu da bilinmektedir. Örneğin, bazı hidrokolloidler prebiyotik özellikler göstererek, bağırsak florasını destekleyebilir ve sindirim sisteminin düzenlenmesine yardımcı olabilir (Gibson ve Maughan, 2002). Bunların dışında, hidrokolloidler gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatabilir ve gıda güvenliği açısından da önemli bir rol oynamaktadır (Aslan vd., 2014).

Bu makale, teknolojik yeniliklerle birlikte gıda sektöründe giderek artan hidrokolloidlerin önemine odaklanmaktadır. Karragenan, aljinat ve karboksimetil selüloz

gibi öne çıkan hidrokolloidlerin yapısal özellikleri, çeşitli gıdalarda kullanım alanları ve bu ürünlere sağladıkları etkiler ayrıntılı olarak incelenmektedir. Ayrıca, hidrokolloidlerin insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri de tartışılmakta ve bu bileşenlerin gıda sanayisindeki kritik rolü vurgulanmaktadır. Hidrokolloidlerin jelleştirici, kıvam artırıcı ve stabilize edici özellikleri doğrultusunda, bu bileşenlerin ürün çeşitliliği ve taşıma süreçlerindeki önemini açıklamak hedeflenmiştir.

HİDROKOLLOİDLERİN İNSAN SAĞLIĞINA FAYDALARI

Hidrokolloid yapıları gıdaların sindirim sisteminde kontrollü olarak parçalanması, sindirim, emilim ve fermantasyon oranlarına bağlı olarak birçok besinsel özelliği belirlemektedir (Gidley, 2013). Epidemiyolojik çalışmalar ve çeşitli *in vitro* model sistem çalışmalarından elde edilen ikna edici kanıtlara rağmen, hidrokolloidlerin (özellikle diyet lifi) sindirim sistemindeki ayrıntılı mekanizmaları şu anda sadece sınırlı bir şekilde belirlenmiştir (Slavin, 2013). Gastrik, ince bağırsak ve kalın bağırsak ortamlarında farklı hidrokolloid bazlı süreçler meydana gelmekte ve bu bölgeler arasında önemli biyolojik çapraz etkileşimler gözlemlenmektedir (Englyst vd., 2009). Hidrokolloidler, glisemik tepkinin (diyabet), plazma kolesterol seviyelerinin (kardiyovasküler hastalık) ve kalın bağırsak boyunca karbonhidrat fermantasyonunun (kolon kanseri) kontrolü yoluyla besin değerini uyarlamak ve potansiyel sağlık yararları sağlamak için önemli bir fırsat sunmaktadır (Poutanen vd., 2017). İnsan sindirim sisteminin sindirmek için evrimleştiği bitkisel orijinli gıdaların işlevselliği ile modern gıda yapılandırma teknolojisinde ekstrakte edilmiş hidrokolloidlerin kullanımı arasında genellikle bir paralellik vardır (Gidley, 2013).

Gıda matrisindeki hidrokolloidler, enzimlerin aktif bölgesini bağlayarak veya enzim ve substrat etkileşimlerini bloke ederek karbonhidrat, lipid ve protein sindirim enzim aktivitelerini azaltabilir. Örneğin, kitosan ve aljinat gibi hidrokolloidler emülsifiye lipidlerin sindirimini farklı mekanizmalarla geciktirmektedir (Tablo 1). Kitosanın, bağ oluşturma yoluyla lipid damlacıklarının bir araya gelmesini teşvik ederek lipazın bu damlacıklara erişimini sınırladığı düşünülmektedir. Aljinatın ise

aynı işlevi kalsiyum iyonlarını tutarak ve emülsifiye lipid damlacıklarının birikmesini destekleyerek gerçekleştirdiği öne sürülmektedir (Qin vd., 2016).

Tablo 1. Hidrokolloidlerin Gıda Endüstrisindeki Kullanım Alanları ve Özellikleri

| Hidrokolloid | Kaynağı | Fonksiyonları | Kullanım Alanları | Konsantrasyon Aralığı | Özellikler |
|------------------------|--|--|---|-----------------------|---|
| Karragenan | Kırmızı deniz yosunu (<i>Chondrus crispus</i>) | Jelleştirici, koyulaştırıcı, bağlayıcı, stabilizatör | Süt ve süt ürünleri, dondurulmuş tatlılar, pastalar | %0.005-3 | Düşük konsantrasyonlarda etkili jel yapma, viskozite arttırma, süt proteinleri ile kompleks oluşturma (Xu, 2021; Kobayashi vd., 2021) |
| Aljinat | Kahverengi deniz yosunu (<i>Phaeophyceae</i>) | Kalınlaştırıcı, jelleştirici, stabilizatör | Sulu çözeltiler, enkapsülasyon, filmler, lifler | - | Yüksek viskozite, ısıya dayanıklı jel oluşturma, toksik olmayan mekanik dayanıklılık (Gökbulut ve Sezer Öztürk, 2018; Rinaudo, 2006; Qin vd., 2018) |
| Karboksimetil Seliüloz | Seliüloz (bitki kaynaklı) | Stabilizatör, Bağlayıcı, Film oluşturu | Yoğurt, puding, krema, çorba, firn ürünleri | %0-0.5 (yoğurt için) | Düşük sinerez, yüksek viskozite, uzun depolama ömrü, düşük serum ayrılması (Arslan vd., 2014; Bakry vd., 2019) |

KARRAGENAN

Karragenan ilk olarak İrlanda yosunu olarak adlandırılan *Chondrus crispus*'tan (kırmızı deniz yosunu) ekstrakte edilmiştir (Aslan vd., 2014). *Chondrus crispus* adlı kırmızı deniz yosunlarının en kıymetli kaynaklarının Kuzey Amerika'nın doğu sahillerinde bulunduğu belirtilmiştir (Haug ve Liener, 1982). Deniz seviyesine göre yaklaşık 7 metre derinlikte yetişen bu yosunlar, çalı görünümündedir ve ortalama olarak 8-15 cm yüksekliğe sahiptirler

(Kumar vd., 2021). Ticari anlamda, İrlanda yosunundan endüstriyel olarak saflaştırılması ve ekstraksiyonu ilk kez 1937 yılında gerçekleştirilmiştir (Ersöz, 2019). Son 200 yıldır gıda katkısı olarak kullanılan karragenanın en önemli özelliklerinden biri, süt veya su bazlı gıdalarda düşük konsantrasyonlarda bile farklı çeşitlerde jel oluşturabilmesidir (Xu, 2021). Bu özelliklerinden dolayı gıda sanayisinde koyulaştırıcı, bağlayıcı, jel yapıcı ve stabilizör ajanlar olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Aslan vd., 2014).

Mandıra tipi ürünlerde karragenanın tipik etkileri, tart tipi pastaların dolgusunda, donmuş tatlılarda, süt jellerinde, sterilize ve pastörize edilmiş sütlerde gözlemlenmektedir (Xu, 2021). Karragenan, viskozite ve jel yapısı istenen süt ürünlerinde fonksiyonel ve ekonomik avantajlar sunmaktadır. Süt proteinleri ile reaksiyona girerek, tuz, su ve diğer partikülleri tutarak üç boyutlu bir jel yapısı oluşturmaktadır (Xu, 2021). Kullanım dozu genellikle %0.005-3 arasında değişmektedir, ancak ürünün türüne ve istenilen özelliklere bağlı olarak bu oranlar değişebilmektedir (Doğan ve Şimşek, 2002). Karragenanın, özellikle düşük konsantrasyonlarda bile etkili bir şekilde jel yapabilmesi, onu süt ve süt ürünlerinde yaygın bir tercih haline getirmektedir (Miller ve Thompson, 2019).

Süt proteinleri ile kalıcı kompleksler oluşturabilen karragenan, bu işlemi kazein misellerinin yüzey kısmında bulunan birçok pozitif yük ile sülfat iyonları arasındaki elektrostatik etkileşimler sayesinde gerçekleştirebilmektedir (McHugh ve Morris, 2022). Karragenan, amonyum, kalsiyum, potasyum ve diğer çeşitli katyonların varlığıyla geri dönüşümlü ve elastik jeller oluşturmaktadır (Kumar vd., 2021). Karragenanın seyreltik çözeltileri viskoz olup, viskozite, pH, konsantrasyon, sıcaklık/süre, molekül ağırlığı, molekül tipi ve ortamda bulunan diğer maddelere bağlı olmaktadır (Li vd., 2023). Konsantrasyonun artması sonucunda viskozite artarken, çözelti ısıtıldığında depolimerizasyon nedeniyle viskozite düşer (Kobayashi vd., 2021). Bu düşüşün miktarı, zaman, pH değeri, karragenanın yapısında bulunan polisakkaritler ve sıcaklık/süre gibi etkenlere bağlı olarak değişmektedir (Sandıkçı, 2004; Yang vd., 2022). Polisakkaritler, asidik pH değerlerinde nötr pH değerlerine göre daha hızlı bir şekilde depolimerize olmaktadır. Depolimerizasyon, jel kuvvetinde ve

viskozitede düşüşe yol açmakta ancak jel sertliğinde düşük seviyelerde etkili olduğu bilinmektedir (Kobayashi vd., 2021).

Oda ısısındaki suda çözünebilir karragenanın tamamının çözünebilmesi için 55-80 °C arası bir sıcaklık gerekmektedir (Xu, 2021). Kappa, iota ve lambda karragenan türlerinin sodyum tuzları soğuk suda çözünürken, sıcaklık uygulandığında tamamen çözünebilir ve organik çözücülerde çözünmeyen özellikler göstermektedirler (Ali ve Ahmed, 2018). Karragenan, dondurmada mükemmel bir stabilite sağlamak ve ağızda dolgunluk hissi vermektedir; hoş, ince ve uygun bir yapı oluşturmaktadır (Miller ve Thompson, 2019). Dondurma için önerilen en iyi κ -karragenan dozu %0.6'dır. Ayrı üretiminde kullanılan λ -karragenan ise suda %0.05-1 ve sütte %0.05-0.1 oranında en iyi viskoziteyi sağlamaktadır (Kumar vd., 2021). Ticari önemi agardan daha fazla olan karragenan, kuru maddeler ile karıştırılarak, sütle ve soğuk su ile kuvvetli karıştırma işlemiyle dağıtılmalıdır (Sandıkçı, 2004; Li vd., 2023).

Yapılan bir çalışmada, süt yağının yerine kullanılan karbonhidrat bazlı (karragenan, selüloz ve guar gam), protein bazlı (sütten elde edilen, %7.9 laktoz ve %81 protein içeren) ve peynir altı suyu bazlı (%52 laktoz ve %35 peynir altı suyu proteini) ticari yağ ikamelerinin Cheddar peynirinin viskoelastik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Zhu vd., 2022). Karragenan ve kazein arasındaki etkileşimlerin yanı sıra, karragenanın su tutma kapasitesinin sinerjik olarak jelin kuvvetini artırdığı ve bu nedenle karbonhidrat bazlı yağ ikamelerinde kullanılabileceği rapor edilmiştir (Chen vd., 2021). Karragenan-kazein misel ağı, karragenanın su bağlama kapasitesi ile birlikte, %1.2 gibi düşük konsantrasyonlarda bir süt jeli oluşturma yeteneğini sinerjik olarak yaklaşık 10 kat artırmıştır (Ma vd., 1997).

Sweeney vd. (2020), κ -karragenan probiyotik bakteriler (*Lactobacillus acidophilus* ve *Bifidobacterium bifidum*) ile birlikte kullanıldığında yoğurt kalitesini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Araştırma, karragenanın yoğurdun viskozitesini artırarak kıvamını iyileştirdiğini ve probiyotiklerin canlılığını desteklediğini ortaya koymuştur. Bu bileşenlerin etkileşimi, karragenanın su tutma kapasitesini artırarak yoğurdun raf ömrünü uzatmış ve duyuşal özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir. Çalışma sonucunda, karragenan ve

probiyotik kombinasyonu ile elde edilen yoğurtların genel kabul edilebilirliği belirgin bir şekilde artmıştır.

ALJİNAT

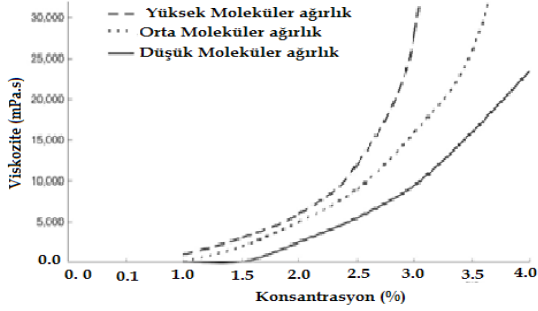
Aljinat, *Phaeophyceae* sınıfından kahverengi alglerden elde edilen doğal bir polisakkarittir (Haug ve Lien, 1980). Deniz yosununun biyokütlesindeki aljinik asidin alkali bir çözeltide çözülmesi, ardından sodyum aljinatın kalsiyum klorür ile çökeltmesi ve bu sürecin sonrasında filtreleme, saflaştırma ve kurutma aşamaları içeren işlemlerle deniz yosunundan elde edilmektedir (Tharanathan, 2003; Sandıkçı, 2004).

Aljinat, uzun zamandır gıda endüstrisinde yoğunlaştırıcı (kıvam artırıcı), jelleştirici ve koloidal stabilizör olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, çeşitli protein ve diğer bileşenlerin hücre dağılımı veya tutulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Aljinat, neredeyse tüm enkapsülasyon yöntemlerine uygunluk göstermesi, farklı kabuk materyalleri ile uyumlu kombinasyonlar oluşturabilmesi, toksik yapı sergilememesi, oluşturduğu enkapsüllerin mekanik olarak dayanıklı olması, yüksek poroziteye sahip olması ve şelatlayıcı ajanlara karşı yüksek tolerans göstermesi gibi özellikleri nedeniyle geniş bir kullanım avantajı sunmaktadır (Rinaudo, 2006; Gökbulut ve Sezer Öztürk, 2018; Giddings vd., 2018).

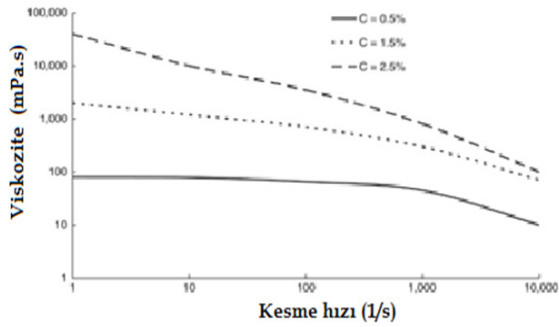
Aljinatın uygulamaları üç ana özelliğe dayanmaktadır: Öncelikle, sulu çözeltilerde çözüldüğünde ortaya çıkan çözeltiyi kıvam artırma kabiliyeti sayesinde, aljinat sulu çözeltilerin viskozitesini artırmaktadır (Qin vd., 2018). İkinci olarak, sudaki sodyum aljinat çözeltisine eklenen kalsiyum tuzu varlığında, ısı gereksiz ısıya dayanıklı jel oluşturabilme kapasitesi ile biyoaktif bileşenler üzerinde zararlı etkileri olan karragenan ve agar jellerinden farklıdır (Rinaudo, 2006). Üçüncü olarak, aljinat, sodyum veya kalsiyum aljinat filmleri ve kalsiyum aljinat lifleri oluşturma kabiliyetine sahip olduğu belirtilmektedir (Gökbulut ve Sezer Öztürk, 2018).

Suda çözünen doğal bir polimer olan aljinat, suda çözüldüğünde viskoz bir çözelti oluşturur. Şekil 1 ve Şekil 2, sırasıyla konsantrasyon ve karıştırma/kesme hızının sodyum aljinat çözeltilerinin viskozitesi üzerindeki etkilerini göstermektedir. Sodyum aljinat çözeltilerinin viskoziteleri, diğer kıvam artırıcı maddelere kıyasla

daha yüksektir ve kayda değer bir kesme ve kıvam azaltıcı etkisi gösterirler. Bu özellik, işleme sırasında uygulanan kesme işleminin, diğer faydalarının yanı sıra, gıda karışımının viskozitesini düşürerek daha düzgün bir akış sağlamasına yardımcı olabilmesi açısından önemli olmaktadır (Qin vd., 2018).



Şekil 1. Konsantrasyonun sodyum aljinat çözeltisi viskozitesi üzerine etkisi (Qin vd., 2018).



Şekil 2. Kesme hızının sodyum aljinat çözeltisi viskozitesi üzerine etkisi (Qin vd., 2018).

Öztürk vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, aljinatın düşük yağlı yoğurtların viskozitesini artırarak sinerezisini azalttığı belirlenmiştir. Aljinat, su tutma kapasitesini artırarak yoğurdun kıvamını iyileştirmekte ve böylece daha hoş bir ağız hissi sağlamaktadır. Ayrıca, aljinatın mikroorganizmalar üzerindeki olumlu etkisi, yoğurtların raf ömrünü uzatmaktadır. Bu, ürünlerin mikrobiyolojik stabilitesini artırarak, tüketiciye daha kıvamlı ve güvenilir bir ürün sunulmasına olanak tanımaktadır. Araştırma, aljinatın yoğurt teknolojisinde önemli bir katkı sağladığını vurgulamaktadır.

KARBOKSİMETİL SELÜLOZ

Karboksimetil selüloz, kimyasal formülü $C_6H_7O_2Na(n)$ olan ve selülozun alkali selüloz polimeri ile monokloroasetik

asidin sodyum tuzu ile muamele edilmesiyle elde edilen bir selüloz türevidir (Arslan vd., 2014). En çok kullanılan selüloz türevidir olan karboksimetil selüloz, doğada bol miktarda bulunan hammadde kaynaklarından elde edilir ve bitkilerin yapılarında bulunmaktadır (Sandıkçı, 2004). Su ile çözünebilen bu madde, çeşitli endüstriyel ve ticari uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Karboksimetil selüloz, selülozun en önemli türevlerinden biri olup tipik bir anyonik polisakarittir. Karboksimetil selüloz; deterjan, kâğıt, gıda, tekstil, ilaç ve boya sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ayten ve Arslan, 2016). Bunların yanı sıra karboksimetil selüloz puding, krema ve hazır çorba gibi gıdalarda serum ayrılmasını engelleme, dondurulmuş çeşitli ürünlerde küçük buz kristalleri oluşturma, dondurmada ise stabilizatör özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir. Fırın ürünlerinde karboksimetil selüloz, bayatlamayı geciktirici ve hacim artışı sağlayıcı olarak kullanılmaktadır (Arslan vd., 2014).

Ticari alanda, stabilizatör ve bağlayıcı olarak kullanılırken, aynı zamanda film ve kaplama malzemesi olarak da tercih edilmektedir (Arslan vd., 2014). Ayrıca, gıda katkı maddesi olarak da kullanımı yaygındır. Karboksimetil selülozun bu çok yönlü özellikleri, onun geniş bir kullanım yelpazesine sahip olmasını sağlamaktadır (Sandıkçı, 2004).

Karboksimetil selüloz, yoğurt üretiminde kıvam artırıcı ve stabilizatör olarak kritik bir rol oynamaktadır. Arslan vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, karboksimetil selülozun yoğurtların doku kalitesini iyileştirdiği ve su tutma kapasitesini artırarak raf ömrünü uzattığı belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada karboksimetil selülozun probiyotik bakterilerin canlılığını destekleyerek yoğurdun duyuşal özelliklerini olumlu şekilde etkilediği vurgulanmıştır.

Korkmaz (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, karboksimetil selüloz kullanımının yoğurt üretimindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma bulguları, karboksimetil selülozun yoğurdun doku kalitesini iyileştirerek stabilitesini artırdığını ve su tutma kapasitesini geliştirerek raf ömrünü uzattığını göstermektedir. Ayrıca, karboksimetil selülozun probiyotik bakterilerin canlılığını desteklemesi sayesinde yoğurdun duyuşal özelliklerini olumlu yönde etkilediği vurgulanmıştır. Bu sonuçlar, karboksimetil selülozun yoğurt

üretiminde önemli bir katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

Sebayang (2019) çalışmasında, yer fıstığı selülozundan elde edilen karboksimetil selüloz inek sütü yoğurdunda stabilizatör olarak kullanılmıştır. Çalışmada, karboksimetil selülozun yoğurt üretiminde optimum konsantrasyonu %0,5 olarak belirlenmiş ve bu konsantrasyonla üretilen yoğurt, protein içeriği %7,69, yağ içeriği %2,11 ve pH 4,6 ile en iyi kalite sonuçlarını vermiştir. Organoleptik testlerde ise %0,3 karboksimetil selüloz eklenmiş yoğurt en beğenilen örnek olmuştur.

Hidrokolloidlerin nanoenkapsülasyon teknolojisi ile kullanımı, yoğurdun besinsel içeriğini ve fonksiyonel özelliklerini iyileştirmek amacıyla önemli bir uygulama alanı bulmuştur (Gharsallaoui vd., 2007). Hidrokolloidler, yoğurdun yapısal stabilitesini artırmak, su tutma kapasitesini geliştirmek ve kıvamını optimize etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, nanoenkapsülasyon yöntemiyle bu bileşiklerin besinsel bileşenlerle birleştirilmesi, yoğurdun sağlık faydalarını artırmada yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Özellikle, omega-3 yağ asitleri, vitaminler ve probiyotikler gibi biyoaktif bileşenlerin nanoenkapsülasyonu, yoğurdun besinsel değerini artırarak tüketici sağlığına katkı sağlar (Yıldız vd., 2018). İnsanlar tarafından canlı bakteri tüketildiğine dair ilk kayıtlar 2000 yıldan daha eskidir (Fuller, 1992). Ancak geçen yüzyılın başında, probiyotikler ilk olarak Metchnikoff'un Paris'teki Pasteur Enstitüsü'ndeki çalışmalarıyla bilimsel bir temele oturtuldu. Metchnikoff (1907), normal bağırsak mikrobiyotasının konak üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini ve "ekşi süt" tüketiminin yardımcı olabileceğini varsaymıştır. Bu, şimdi bildiğimiz şekliyle probiyotik kavramının doğuşuydu. Probiyotiklerin etkileri genellikle türe özgüdür ve genel olarak konuşursak, ana olumlu etkiler gastroenterite karşı koruma, gelişmiş laktoz toleransı, bağışıklık sisteminin patojenik olmayan yollarla uyarılması, atopik koşulları etkileme ve kan lipidlerinde azalma ile ilişkilidir (Gareau vd., 2010; Aureli vd., 2011; Quigley, 2010). Son yıllarda, probiyotik içeren fermente süt ürünleri, özellikle yoğurt, probiyotik taşıyıcı sistemler arasında öne çıkmıştır (Akın ve Özişik, 2023). Nanoenkapsülasyon, bu biyoaktif bileşenlerin sindirim sisteminde korunmasını sağlar ve biyoyararlanımlarını artırmaktadır (Huang vd., 2010). Yoğurt

gibi süt ürünlerinde nanoenkapsüle edilmiş probiyotikler, hem besinsel faydaların korunmasına hem de ürünün duyu özelliklerinin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu teknolojinin ilerleyen yıllarda gıda endüstrisinde daha yaygın bir şekilde kullanılacağı öngörülmektedir (Değirmencioğlu, 2020).

SONUÇ

Yoğurt üretiminde hidrokolloidlerin kullanımı, hem ürünün yapısal stabilitesini artırmak hem de ürünün uzatılmasından kritik bir öneme sahiptir. Hidrokolloidler, viskozite artırma, jel oluşturma ve sineresis azaltma gibi fiziksel özellikleri iyileştirerek yoğurt kalitesini yükseltirken, tüketici beklentilerini karşılamada da önemli bir rol oynamaktadır. Karragenan, aljinat ve karboksimetil selüloz gibi hidrokolloidler, yoğurt ve diğer süt ürünlerinde jelleştirici, kıvam artırıcı ve stabilizatör işlevleri ile öne çıkar. Karragenan düşük konsantrasyonlarda etkili bir jel oluştururken, aljinat ise mekanik dayanıklılığı ve ısıya dayanıklı yapısıyla dikkat çekmektedir. Karboksimetil selüloz ise özellikle yoğurt üretiminde düşük sineresis, yüksek viskozite ve uzun depolama ömrü sağlamaktadır. Bununla birlikte, doğal ve katkısız ürünlere olan talep arttıkça, hidrokolloidlerin sürdürülebilir ve bitkisel kaynaklardan elde edilmesi gerekliliği gündeme gelmiştir. Gelecek yıllarda nanoteknoloji ve enkapsülasyon gibi yenilikçi uygulamalar, yoğurdun besinsel içeriğini daha da zenginleştirerek fonksiyonel gıdalar kategorisindeki yerini güçlendirebilir.

Ayrıca, kişiselleştirilmiş beslenme ihtiyaçlarına yönelik özel hidrokolloid formülasyonlarının geliştirilmesi, yoğurt endüstrisinde önemli bir trend haline gelecektir. Sonuç olarak, hidrokolloidlerin yoğurt üretimindeki rolü, gıda teknolojisindeki ilerlemelerle birlikte daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyan bir alan olarak varlığını sürdürecektir.

KAYNAKLAR

Ahmad, M., Ritzoulis, C., Pan, W. ve Chen, J. (2020). Molecular interactions between gelatin and mucin: Phase behaviour, thermodynamics and rheological studies. *Food Hydrocolloids*, 102,

105585. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105585>
- Akın, N. ve Özışık, D. (2023). İnsan Bağırsak Mikrobiyomu Covid-19 İçin Tedavi Stratejileriyle İlişkilendiren Mekanizmalar. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(2), 561-581. <https://doi.org/10.20479/bursauludagziraat.1276832>
- Ali, A. ve Ahmed, S. (2018). Carrageenans: structure, properties and applications. In *Marine Polysaccharides* (pp. 29-52). Jenny Stanford Publishing. <https://doi.org/10.1201/9780429058929-3>
- Arslan, N., Çolak, S. ve Koca, N. (2014). Karboksimetil selüloz (KMS) ve kullanım alanları. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(24), 40947.
- Aslan, E., Yılmaz, A. ve Karaca, S. (2014). Hydrocolloids in food industry: Applications and trends. *Food Chemistry*, 165, 272-283.
- Aureli, P., Capurso, L., Castellazzi, A. M., Clerici, M., Giovannini, M., Morelli, L., Poli, A., Pregliasco F., Salvini, F. ve Zuccotti, G. V. (2011). Probiotics and health: an evidence-based review. *Pharmacological Research*, 63(5), 366-376. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2011.02.006>
- Ayten, A. ve Arslan, N. (2016). Limon kabuğundan elde edilen selüloz ve karboksimetil selülozun reolojik özellikleri. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(2), 119-133.
- Bakry, A. M., Chen, Y. Q. ve Liang, L. (2019). Developing a mint yogurt enriched with omega-3 oil: Physiochemical, microbiological, rheological, and sensorial characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14287. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14287>
- Brown, J., Thompson, R. ve Lee, K. (2021). The role of hydrocolloids in food processing and stability. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2341-2350.
- Chen, X., Fu, X., Huang, L., Xu, J. ve Gao, X. (2021). Agar oligosaccharides: A review of preparation, structures, bioactivities and application. *Carbohydrate Polymers*, 265, 118076. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118076>
- Davis, L. ve Williams, T. (2018). Ancient uses of natural gums in food preservation. *Historical Food Technology Review*, 10(3), 112-125.
- Değirmenciöğlü, N. (2020). Su kefir: Kimyasal bileşimi ve sağlık üzerindeki etkileri. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(2), 443-459.
- Doğan, M. ve Şimşek, B. (2002). Süt Ürünlerinde Karregen. Süt Mikrobiyolojisi ve Katkı Maddeleri. 6. Süt ve Süt Ürünleri Sempozyumu Tebliğler Kitabı, 465-472.
- Englyst, H. N., Kingman, S. M. ve Cummings, J. H. (2009). Classification and measurement of dietary carbohydrates. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63(2), 134-146.
- Ersöz, D. (2019). Fındık sütünden muhallebi üretimi ve bazı özelliklerinin araştırılması (Yüksek lisans tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Fuller, R. (1992). History and development of probiotics. *Probiotics. The Scientific Basis*, Chapman and Hall.
- Gareau, M. G., Sherman, P. M. ve Walker, W. A. (2010). Probiotics and the gut microbiota in intestinal health and disease. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 7, 503-514. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2010.117>
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. ve Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>
- Gibson, R. ve Maughan, M. (2002). Introduction to Hydrocolloids. In *Food Hydrocolloids: Properties, Production, and Applications*. 1-20, CRC Press.
- Giddings, T. H., Ko, K. ve Liu, X. (2018). Applications of alginate in

- encapsulation technology. *Current Opinion in Food Science*, 23, 48-54.
- Gidley, M. J. (2013). Food structure and digestion. In *Handbook of Food Structure Development*. Springer. 257-290.
- Gökbulut, İ. ve Sezer Öztürk, F. (2018). Gıda mikrokapsülasyonunda aljinat kullanımı. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 8(1/2), 16-28.
- Haug, A. ve Lien, J. (1980). The determination of the molecular weight of alginic acid. *Acta Chemica Scandinavica*, 34(4), 280-284.
- Haug, A. ve Liener, I. E. (1982). The polysaccharide composition of red seaweeds. In *Seaweed Resources in Europe*, 234-245. John Wiley & Sons.
- Huang, Q., Yu, H. ve Ru, Q. (2010). Bioavailability and delivery of nutraceuticals using nanotechnology. *Journal of Food Science*, 75(1), R50-R57. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01457.x>
- Kobayashi, M., Yamaguchi, T. ve Matsumoto, N. (2021). Temperature and pH effects on the viscosity and gel strength of carrageenan. *Food Hydrocolloids*, 112, 106345.
- Korkmaz, H. (2017). Utilization of carboxymethyl cellulose in yogurt production. *Journal of Food Science and Technology*, 54(11), 3469-3476.
- Kumar, P., Sharma, R. ve Kumar, R. (2021). Marine algae as a source of valuable polysaccharides. *Journal of Applied Phycology*, 33(2), 573-584.
- Li, X., Zhang, S., Luo, X., Wang, R., Feng, W., Zhang, H., Chen, Z. ve Wang, T. (2023). Co-assemblies of carboxymethyl cellulose and wheat glutenins as colloidal carriers of vitamin D3 with enhanced stability against long-term storage and ultraviolet radiation. *Food Hydrocolloids*, 135, 108145. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108145>
- Ma, L., Drake, M. A., Barbosa-Cánovas, G. V. ve Swanson, B. G. (1997). Rheology of full-fat and low-fat Cheddar cheeses as related to type of fat mimetic. *Journal of Food Science*, 62(4), 748-752. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15449.x>
- McHugh, D. J. ve Morris, E. R. (2022). Interactions of carrageenan with milk proteins: A review. *Dairy Science & Technology*, 102(5), 1349-1366.
- Metchnikoff, E. (1907). The prolongation of life. *Nature*, 77, 289-290.
- Miller, C. ve Thompson, A. (2019). Functional properties of hydrocolloids in dairy products. *Journal of Dairy Science*, 102(6), 5025-5035.
- Öztürk, B., Çelik, S. ve Koca, N. (2020). Aljinatın düşük yağlı yoğurtların fiziksel ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkileri. *Gıda Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 12(3), 123-134.
- Poutanen, K., Flander, L. ve Salminen, S. (2017). Dietary fibre and health. In *Handbook of Dietary Fiber*. 123-148. CRC Press.
- Qin, Y., Jiang, J., Zhao, L., Zhang, J. ve Wang, F. (2018). Applications of alginate as a functional food ingredient. *Biopolymers for Food Design*, 409-429. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811449-0.00013-X>
- Quigley, E. M. M. (2010). Prebiotics and probiotics; modifying and mining the microbiota. *Pharmacological Research*, 61(3), 213-218. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2010.01.004>
- Rinaudo, M. (2006). Alginates: Biological functions and industrial applications. *Carbohydrate Polymers*, 63(3), 277-292.
- Roberts, G. ve King, R. (2022). Emerging technologies in hydrocolloid production and usage. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 101-113.
- Sandıkçı, S. (2004). Yoğurt üretiminde stabilizatör maddelerin kullanılması ve bu maddelerin yoğurdun organoleptik ve bazı fiziksel, mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkileri (Doktora tezi). İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, 93s.
- Sebayang, F. (2019). The utilization of carboxymethyl cellulose (CMC) from groundnut (*Arachis Hypogaea* L)

- cellulose as stabilizer for cow milk yogurt. *Journal of Chemical Natural Resources*, 1(2), 38-51. <https://doi.org/10.32734/jcnar.v1i2.1252>
- Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417-1435. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>
- Sweeney, J., O'Neill, E. ve O'Sullivan, M. (2020). The effects of kappa-carrageenan and probiotic bacteria on the quality of yogurt. *Food Science & Nutrition*, 8(5), 2673-2681.
- Sworn, G. (2013). The Chemistry of Hydrocolloids. In *Hydrocolloids: The Science and Applications*, 25-45, Wiley-Blackwell.
- Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*, 14(3), 71-78. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)
- Xu, Y. (2021). Phage and phage lysins: New era of bio-preservatives and food safety agents. *Journal of Food Science*, 86(8), 3349-3373. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15843>
- Williams, P. ve Patel, M. (2015). Functional properties of hydrocolloids in food systems. *Journal of Food Engineering*, 156, 22-34.
- Yang, Y., Li, X. ve Xie, X. (2022). The effect of pH and temperature on carrageenan gelation. *International Journal of Biological Macromolecule*, 196, 659-665.
- Yildiz, G., Gibis, M., Ruiz-Moreno, M. J. ve Weiss, J. (2018). Encapsulation of omega-3 fatty acids in nanoparticle delivery systems for food fortification: A review. *LWT - Food Science and Technology*, 87, 127-137.
- Zhu, L., Li, C. ve Chen, H. (2022). Evaluation of fat replacers on the rheological properties of cheddar cheese. *Dairy Science & Technology*, 102(4), 789-803.