

EKSİPIYAN GIDA VE EMÜLSİYONLARIN KAROTENOİD BİYOERİŞİLEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ

Birgül Hızlar, Sibel Karakaya*

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye

Geliş / *Received*: 24.10.2016; Kabul / *Accepted*: 26.01.2017; Online baskı / *Published online*: 01.06.2017

Hızlar, B., Karakaya, S. (2017). Eksipiyen gıda ve emülsiyonların karotenoid biyoerişilebilirliği üzerine etkisi. *GIDA* (2017) 42 (4): 447-456 doi: 10.15237/gida.GD16095

Öz

Son yıllarda beslenme alanındaki araştırmalar karotenoidlerin biyoerişilebilirliği ve biyoyararışlılığı üzerine yoğunlaşmıştır. Karotenoidlerin lipofilik yapısı ve bitkisel gıdalardaki spesifik lokalizasyonunun bir sonucu olarak, genellikle çiğ meyve ve sebzelerdeki biyoerişilebilirlikleri ve biyoyararışlılıkları düşüktür. Çünkü karotenoidlerin emilimlerinden önce hücre matriksinden açığa çıkmaları ve sindirim sırasında lipit fazına geçmeleri gerekmektedir. Karotenoidler gibi lipofilik karakterdeki biyoaktif bileşiklerin çoğunun biyoyararışlılığı suda çözünürlüğün düşük olması, yüksek erime sıcaklığı ve kimyasal stabilitenin zayıf olması gibi nedenlerle düşüktür. Bu sorunu çözmeye yönelik günümüz yaklaşımı, gıda matriksinin dizayn edilmesidir. Bu kapsamda araştırmalar halen devam etmektedir. Ancak en yeni yaklaşım faydalı etkinin eksipiyen gıdalarla artırılmasıdır. Buradaki temel fikir gıdanın, kompozisyonu ve/veya yapısı sağlık faydasını artıracak şekilde özel olarak dizayn edilmiş diğer bir gıda ile (eksipiyen gıda) birlikte tüketilmesidir. Bu makalede gıda matriksinin ve yapısının karotenoid biyoerişilebilirliği üzerine etkisi ve bu bilgiler ışığında dizayn edilen eksipiyen gıda ve emülsiyonlarla ilgili yapılan çalışmalar derlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Eksipiyen gıda, eksipiyen emülsiyon, karotenoidler, biyoerişilebilirlik, biyoyararışlılık

THE EFFECTS OF EXCIPIENT FOODS AND EMULSIONS ON CAROTENOID BIOACCESSIBILITY

Abstract

Recently, increasing attention has been given to carotenoid bioaccessibility and bioavailability in the field of nutrition research. As a consequence of their lipophilic nature and their specific localization in plant-based tissues, carotenoid bioaccessibility and bioavailability is generally quite low in raw fruits and vegetables, since carotenoids need to be released from the cellular matrix and incorporated in the lipid fraction during digestion before being absorbed. However, the poor water-solubility, high melting point, and low oral bioavailability of lipophilic bioactive agents like carotenoids make them difficult to incorporate into many aqueous-based food products and may reduce their bioaccessibility within the gastrointestinal tract. Today's approach related to improve bioaccessibility is to design of food matrix. Recently, the newest approach, excipient food, has been introduced to improve the bioavailability of orally administered bioactive compounds. The main idea is combining food and another food (the excipient food) whose composition and/or structure is specifically designed to improve health benefits. This article reviews studies related to the impact of food matrix and structure on the bioaccessibility of carotenoids, and excipient foods and emulsions designed in the light of this knowledge.

Keywords: Excipient foods, excipient emulsions, carotenoids, bioaccessibility, bioavailability

* Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*;

✉ sibel.karakaya@ege.edu.tr,

☎ (+90) 232 311 3012,

☎ (+90) 232 342 7592

GİRİŞ

Günümüzde kalp hastalıkları, obezite, diyabet, hipertansiyon ve kanser gibi beslenmeyle ilişkili kronik hastalıkların riskini azaltmak üzere, işlem görmüş ya da görmemiş gıdalarda bulunan biyoaktif bileşiklere duyulan ilgi son derece yüksektir (1, 2). Özellikle, gıdalardan elde edilen w-3 yağ asitleri, yağda çözünen vitaminler, karotenoidler ve polifenoller gibi biyoaktif bileşiklerin tanımlanması, izolasyonu ve karakterizasyonu konusuna odaklanılmıştır. Aynı zamanda bu bileşiklerden maksimum düzeyde sağlık faydası elde edilmeye çalışılmaktadır (2). Ancak biyoaktif bileşiklerin ticari gıda ürünlerinde kullanımına ilişkin bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Meyve ve sebzeler gibi çok sayıda doğal kaynaktan yer alan bu bileşiklerin biyoyararışlılığı/biyoerişilebilirliği oldukça düşüktür (2, 3).

Biyoerişilebilirlik, gastrointestinal bölgede gıda matriksinden ayrılan ve emilim için uygun olan sindirilmiş besin ögesi ve/veya biyoaktif bileşen miktarı ya da fraksiyonudur. Bu nedenle biyoerişilebilirlik genellikle, gastrointestinal bölgenin modellendiği *in vitro* metotlarla değerlendirilmektedir (4, 5). Ancak intestinal mukozanın modellendiği Caco-2 hücre hatları da kullanılmaktadır (6). Biyoyararışlılık ise gıdanın bileşimindeki biyoaktif bileşenlerin sistemik dolaşıma geçebilen ve fiziksel fonksiyonlar ya da depolanmak üzere kullanılabilen oranı şeklinde tanımlanır. Biyoyararışlılık; biyoerişilebilirlik ve ardından gelen metabolik olayları, dokulara dağılım ve biyoaktiviteyi içeren bir terimdir (4, 5). Fakat biyoaktivite kavramı analizlerde, pratik ve etik olarak çeşitli zorluklara yol açar. Bu nedenle biyoyararışlılık genellikle, biyoaktivite kavramı göz ardı edilerek, sistemik döngüye ulaşan bileşen fraksiyonları şeklinde tanımlanır (7, 8). Bu makalede, karotenoid biyoerişilebilirliğine/biyoyararışlılığına etki eden faktörler ve bu konuda yapılmış çalışmalara yer verilmiştir. Aynı zamanda karotenoid biyoerişilebilirliğini/biyoyararışlılığını arttırmaya yönelik günümüz yaklaşımlarından ekspiyan gıda ve emülsiyonlarla ilgili yapılan çalışmaları derlemek amaçlanmıştır.

KAROTENOID BİYOERİŞİLEBİLİRLİĞİNİ VE BİYOYARAYIŞLILIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Gıdaların içinde yer alan biyoaktif bileşiklerin biyoyararışlılığı ve biyoerişilebilirliği üzerine gıda işleme yöntemleri (kesme, öğütme, yüksek basınç homojenizasyon, fermantasyon, termal uygulamalar, ultrasound, depolama vb.), gıdaların fizikokimyasal karakteristikleri (gıda matriksi, kristal ya da amorf yapı, mikro yapı içinde diğer bileşenlerin bulunması vb.), biyoaktif gıda bileşiklerinin özellikleri (kimyasal yapı, lipofilik ya da hidrofilik yapı, gıdadaki konsantrasyon) ve konakçı özellikler (sindirim enzimi aktivitesi, kolondan taşınma süresi, kolon mikroflorası, yaş ve cinsiyet gibi sistemik faktörler, patolojik rahatsızlıklar, fizyolojik koşullar) etki etmektedir (9-13).

Gıdadaki biyoaktif bileşenin biyoaktivitesini gösterebilmesi için tek koşul sindirim sırasında gıda matriksinden açığa çıkmasıdır. Genellikle kesme, öğütme, fermantasyon ve ısıl işlemler gıdanın hücresel yapısını parçalar. Bu uygulamaların biyoyararışlılık üzerine etkisi biyoaktif bileşene göre değişkenlik göstermektedir. Gıdanın yapısı ve uygulanan işlemlerin biyoerişilebilirlik ve biyoyararışlılık üzerine etkisi; gıdanın dokusu içinde yer alan biyoaktif bileşiklerin lokasyonuna göre de değişkenlik göstermektedir (7).

Ksantofiller genellikle proteinlerle birlikte yer alırlar. Örneğin yeşil yapraklı sebzelerde bulunan lutein kloroplastlarda yer alır. Karotenler ise kloroplastlar içinde yağ damlacıkları gibi bulunurlar. Ksantofiller bazen de kloroplast içinde yağ damlacıkları gibi yer alarak karotenlerle bir arada bulunabilirler. Örneğin havuç, domates ve papayada yarı kristal halde bulunurlar (14).

Karotenoidlerin biyoyararışlılığı ürünle ilgili endojen faktörlerle, prosesle ilişkili eksojen faktörlere bağlıdır. Karotenoid biyoerişilebilirliğini/biyoyararışlılığını etkileyen faktörler SLAMENGGHI kısaltmasıyla ifade edilmektedir. Kısaltmadaki harfler sırasıyla karotenoid türü, moleküler düzeydeki bağlar, karotenoid miktarı, matriks, efektör organ, besin ögesi durumu, genetik faktörler, konakçı özellikler ve bu değişkenler arasındaki etkileşimler olarak ifade edilebilir (15).

Gıda matriksinin kompozisyonu ve yapısal organizasyonu biyoaktif gıda bileşiklerinin biyoyararışlılığını etkilemektedir (3). Karotenoidler meyve ve sebze matriksinde gömülü halde bulunurlar. Biyoaktif gıda bileşiklerinin metabolize olabilmeleri için öncelikle buldukları gıda matriksinden açığa çıkmaları gerekmektedir (16). Tydeman ve ark., gerçekleştirdikleri çalışmada havuçta β -karoten biyoreişilebilirliği için sindirim öncesi hücre duvarı yapısının tahrip edilmesinin mutlak bir gereklilik olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır (17). Lemmens ve ark., işlem görmemiş ve pişirilmiş havuçta partikül boyutu ile β -karoten biyoreişilebilirliği arasında güçlü bir ilişki olduğunu ve pişirme sonrası, çalışılan tüm partikül boyutlarında biyoreişilebilirliğin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Termal ya da mekanik yollarla matriks tahribatının β -karoten biyoreişilebilirliği açısından kritik öneme sahip olduğu ortaya konmuştur (18). Havuç parçalarına uygulanan ön-ısısal işlem sonucundaki havuç sertliği ile β -karoten biyoreişilebilirliği arasında negatif bir ilişki olduğu, havuç püresi eldesinde kullanılan ısısal işlemle matriksin hasar görmesi nedeniyle β -karoten biyoreişilebilirliğinin arttığı saptanmıştır (19,20). Knockaert ve ark., havuç püresiyle yaptıkları çalışmada, 50 MPa'ın üstündeki basınç değerlerinde tahrip olan hücrelerde β -karoten biyoreişilebilirliğinin arttığını, mikroskopik görüntülerin de bu bulguyu desteklediğini bildirmişlerdir (21). Isısal işlem görmüş havuç püresine yağ ilavesi karotenoidlerin (β -karoten ve β -karoten) biyoreişilebilirliğini, işlem görmemiş havuçlara göre 10 kat arttırmıştır (22). Havucun pişirilmesi sırasında zeytinyağı ilavesi karotenoid ekstraksiyonunu ve misel oluşumunu arttırmıştır (23). Anese ve ark., ultrasonik uygulamaların, hidrojen bağları ve hidroskopik interaksiyonlardan kaynaklanan yeni bir yapının oluşmasına neden olduğunu ifade etmişler ve bu durumun likopen biyoreişilebilirliğini azalttığını ortaya koymuşlardır (24). Colle ve ark., yüksek basınç homojenizasyonu sonucunda yapının direnciyle likopen biyoreişilebilirliği arasında ters bir ilişki olduğunu göstermişlerdir (25). Lemmens ve ark. çalışmalarında pilot ölçekli olarak uyguladıkları ısısal işlemlerin havucun kalitesi, tekstürel ve besleyici özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Havuç sertliği kompresyon testi ile β -karoten biyoreişilebilirliği ise *in vitro* sindirim ile değerlendirilmiştir. Sonuçta daha şiddetli olarak uygulanan ısısal

işlemin β -karoten biyoreişilebilirliğini önemli derecede arttırdığı ortaya konulmuştur. Ancak bu durum havuç yapısında ve sertliğinde bozulmalara neden olmuştur. Sonuçta β -karoten biyoreişilebilirliğini arttıracak ve aynı zamanda istenen havuç tekstürünün de elde edilebileceği bir ısısal işlem uygulama stratejisinin benimsenmesi gerekliliği ifade edilmiştir (26). Knockaert ve ark. zeytinyağı ilave edilmiş havuç püresinin yüksek basınç homojenizasyonu ile pastörize edilmesi sonucunda β -karoten biyoreişilebilirliğinin arttığını saptamışlardır. Ancak yüksek basınçta uygulanan pastörizasyon için sonuç farklı olmuştur. Yağın yüksek basınç altında kristalleşerek β -karoten çözünürlüğünü engelleme olasılığı göz ardı edilmemelidir (21). Corte-Real ve ark., seçtikleri dört faktörün β -karoten biyoreişilebilirliğini etkilediği hipotezini kurmuşlardır. Bu faktörler (i) kullanılan lipit matriksinin tipi (süt, krema, yağ), (ii) emülsifiye ajanının varlığı/yokluğu (lesitin, taurokolat), (iii) gastriklipaz ilavesi (iv) diğestanın son (20 ya da 200 nm) filtrasyonudur. Emülsifiye karışımının (lesitin+monoolein+oleik asit) eklenmesi β -karoten biyoreişilebilirliğini üç kat arttırmıştır. Ancak intestinal sindirim öncesi gastrik lipaz ve taurokolat ilavesi ile önemli bir değişim söz konusu olmamıştır. β -karoten biyoreişilebilirliği özellikle filtrasyon sonrasında yağ ile birlikte kullanımda süt ile birlikte kullanımına kıyasla daha yüksek bulunmuştur (16).

β -karoten biyoyararışlılığı (%10-65) karotenler ile kompleks oluşturan proteinler, lif ve hücre duvarının sindirime direnç göstermesi nedeniyle genellikle düşüktür (27). Hidrofilik matriks içinde emülsiyon yapısındaki formülasyonların karotenoidlerin biyoyararışlılığını arttırdığı rapor edilmiştir (28). Hidrofobik karakterdeki biyoaktif bileşiklerin düşük biyoreişilebilirliğine çok sayıda faktör neden olmaktadır (29). Çeşitli fizikokimyasal ve fiziksel proseslerle gıda matriksinden kolaylıkla açığa çıkamamaları, gastrointestinal sıvılardaki düşük çözünürlük, yüksek erime noktası ve düşük kimyasal stabiliteye sahip olmaları lipofilik karakterdeki biyoaktif gıda bileşiklerinin biyoyararışlılığını azaltan faktörlerdir. Bu nedenle uzun dönemde potansiyel sağlık etkilerini tam anlamıyla gerçekleştirmezler (2,3). Bu noktadan hareketle lipofilik özellikteki biyoaktif bileşiklerin biyoyararışlılığını/ biyoreişilebilirliğini arttıracak stratejilerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Doğru bir strateji geliştirebilmek

için öncelikle biyoaktif gıda bileşiğinin fizikokimyasal ve fizyolojik mekanizmalarının çok iyi bilinmesi gerekmektedir (30).

Genellikle gıdalarda bulunan hidrofobik karakterdeki biyoaktif bileşiklerin biyoyararışlılığını artırmak üzere iki yaklaşım söz konusudur. İlki biyoaktif bileşiklerin bulunduğu yapıdan (meyve ve sebzelerden) izole edilerek uygun bir taşıma sistemine aktarılmasıdır (14). Biyoaktif bileşiklerin enkapsülasyonunda çoğunlukla kollodial taşıma sistemleri (moleküler kompleksler, mikroemülsiyonlar, emülsiyonlar, lipozomlar, katı sıvı nanopartiküller, biyopolimer partiküller ve mikrojeller) kullanılmaktadır. Emülsiyon bazlı taşıma sistemleri bu amaç için oldukça uygundur (3). Lipofilik karakterdeki biyoaktif bileşiklerin enkapsülasyonu; agregasyona karşı direnç sağlar, tekstür modüle edilir ve biyoyararışlılık artar (31). Çok sayıda gıdada uygulanabilir olması ve prosese dönüştürülmesi kolay olduğu için gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. İkinci yaklaşım ise, biyoaktif bileşiklerin biyoerişilebilirliğini artırmak üzere onları özel olarak dizayn edilen eksojen gıdalarla tüketmektir (3). Bu konuda beslenme, eczacılık ve gıda bilimleri tarafından yapılan çalışmalar, çok sayıda biyoaktif bileşiğin birlikte tüketildiği gıdalardan etkilendiğini ortaya koymaktadır (30). Örneğin; lipit ilavesi eklenen lipidin tipine, miktarına ve yapısına bağlı olarak lipofilik biyoaktif bileşiklerin biyoerişilebilirliğini arttırmaktadır (3). Karotenoidlerin çözünmesi ve emilimi için ortamda yağın bulunması gerekmektedir. Yağ asidinin zincir uzunluğu arttıkça lipofilik karakterdeki biyoaktif bileşiklerin karışım misel formu içinde çözünabilirliği de artmaktadır. Uzun zincirli yağ asitlerinin kullanımıyla apolar karakterdeki moleküller, orta zincirli yağ asitlerine göre karışım misel formunda daha kolay hapsolurlar. Orta zincirli yağ asitleri emülsiyonu çevreleyen sulu faza hızlıca geçme eğilimi gösterirken, uzun zincirli yağ asitleri o/w emülsiyonun ara fazında birikirler. Bu farklılık sonucunda uzun zincirli yağ asitlerinin kısa ve orta zincirli yağ asitlerine göre lipofilik bileşiklerin biyoerişilebilirliğini daha fazla artırdığı saptanmıştır (32). Havuç ve domatesin *in vitro* sindirimi sırasında lipit ilavesi ile oluşan misel yapıların biyoaktif bileşiklerin çözünürlüğünü ve dolayısıyla biyoerişilebilirliklerini artırdığı belirlenmiştir.

Sebzelerle yağın birlikte tüketiminin, karotenoid biyoerişilebilirliğini artırdığı bilinmektedir (2). Hornero-Méndez ve ark., havuçların pişirilmesi sırasında eklenen zeytinyağının, karotenoid biyoerişilebilirliğini artırdığını saptamışlardır (33). Partikül boyutunun zeytinyağı ilave (o/w emülsiyon) edilmiş havuç ve domates örneklerindeki karotenoidlerin biyoerişilebilirliği üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, elde edilen o/w emülsiyonuyla karotenoid biyoerişilebilirliğinin arttığı ifade edilmiştir (34). Bir başka çalışmada ise domates pulpuna proses öncesi yağ ilave etmenin likopen biyoerişilebilirliğini artırdığı ancak farklı yağ asidi kompozisyonuna sahip (hindistan cevizi yağı, zeytinyağı ve balık yağı) yağ kullanımının proses koşullarına oranla karotenoid biyoerişilebilirliğini daha az etkilediği ifade edilmiştir (35). Domates pulpunda likopen biyoerişilebilirliğinin değerlendirildiği bir çalışmada ise karotenoid biyoerişilebilirliğinin ilave edilecek yağın miktarına ve yağ asidi kompozisyonuna göre ilave edilen yağ çeşidine bağlı olduğu ortaya konulmuştur (36). Salata yağının, sebzelerde bulunan karotenoidler üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, ilave edilen yağ ile birlikte β -karotenin hücreden açığa çıkma oranının ve çözünürlüğünün arttığı belirlenmiştir. Ancak lutein β -karotene göre daha az hidrofobik olduğu için kullanılan tüm yağ tiplerinde lutein biyoerişilebilirliğinde artış görülmemiştir (37). Su, %5 oranında β -karotene zenginleştirilmiş (havuç kaynaklı) zeytinyağı ve emülsifiyer olarak farklı konsantrasyonlarda (%1-2-3-4) L- α -fosfotidilkolin içeren havuç bazlı model gıda emülsiyonuna *in vitro* lipit sindirimi uygulanarak β -karoten biyoerişilebilirliği değerlendirilmiştir. Sonuçta, fosfotidilkolinin emülsiyona eklenmesiyle biyoerişilebilirlikte artış gözlenmiştir (38).

Çoğu polisakkarit gastrointestinal sistemde vizkoziteyi, jel formunu artırarak kütle transferini değiştirir. Bazı diyet lifleri ise gıda matriksini oluşturan bileşiklerin etrafını geçirimsiz şekilde kaplayarak sindirimini inhibe eder ve biyoaktif gıda bileşenin açığa çıkma oranını azaltır (3). Yapılan bir çalışmada, yağ damlacıklarının nişasta temelli hidrojel içinde yer alması ile lipit sindiriminin ve β -karoten biyoerişilebilirliğinin serbest halde olan yağ damlacıklarına oranla arttığı ortaya konulmuştur. Bu durumun nişastanın,

lipit damlacıklarının ağız ve mide içerisinde agregasyonunu önlemesi ve bu yolla lipazın lipit fazına erişiminin artmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Aynı zamanda nişastanın ortamda bulunması, gastrointestinal sıvıda β -karoten içeren misellerde yer alan proteinin çökmesini engellemiştir (39, 40). Pektin gibi çözünabilir liflerin diyetdeki yağların sindirimi süresince gerçekleşen fizikokimyasal olayları ve karotenoidler gibi lipofilik mikro besin öğeleri emilimini etkilediği bilinmektedir. Bu konuda yapılan bir başka çalışmada ise pektin konsantrasyonunun ve metil esterefikasyon derecesinin su içinde yağ emülsiyonunda (o/w emülsiyon) yer alan β -karoten üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada pektin tipine bağlı olarak lipit sindiriminin ve karotenoid biyoerişilebilirliğinin değiştiği saptanmıştır. En yüksek emülsiyon stabilitesi orta ya da yüksek metil esterefikasyon derecesine sahip %2 konsantrasyonda pektin kullanıldığında elde edilmiştir. *In vitro* mide sindirimi süresince pektinle oluşan jel benzeri yapının β -karotenin yağ damlacıkları içerisinde tutulmasını önemli derecede arttırdığı belirlenmiştir (41).

Çoğu gıda proteini ve peptitleri güçlü antioksidan aktiviteleri nedeniyle biyoaktif bileşiklerin kimyasal degradasyona uğramalarını engeller. Örneğin ω -3 yağ asitlerinin ve karotenoidlerin gastrointestinal sistemde okside olmasının önüne geçerler (3). Proteince zengin, yağı alınmış soya unu ilavesi, yaban mersini suyundaki antosiyaninlerin biyoyararışlılığını arttırmıştır (42).

EKSİPIYAN GIDA

Son yıllarda fonksiyonel gıdaların üretimi ve kullanımına ilişkin talep artmaktadır. Yapılan çalışmalar, tüketicilerin fonksiyonel gıdaları satın alma kararlarında geleneksel gıdalara göre daha fazla bulunan sağlık üzerine olumlu özelliklerin etkili olduğunu göstermektedir (43). Ancak bilim dünyasında bu konuya yönelik başlıca kaygı biyoaktif bileşiklerin düşük biyoyararışlılığıdır. Bu sorunu çözmeye yönelik günümüz yaklaşımı gıda matriksinin dizayn edilmesidir. Bu kapsamda yukarıda özetlenen çalışmalar yapılmakta ve devam etmektedir. Ancak en yeni yaklaşım faydalı etkinin eksipiyen gıdalarla artırılmasıdır. Buradaki temel fikir gıdanın kompozisyonu ve/veya yapısı sağlık faydasını artıracak şekilde özel olarak dizayn edilmiş diğer bir gıda ile (eksipiyen gıda) birlikte tüketilmesidir (2). Eksipiyen gıdalar nutrasötiklerin biyoyararışlılığını arttırmak üzere onların biyoerişilebilirliği (B^*), emilimi (A^*) ve sindirim sonrası transformasyonu (T^*) modüle edilerek spesifik olarak dizayn edilmektedir (44). Çizelge1’de bazı nutrasötiklerin biyoyararışlılığını/ biyoerişilebilirliğini arttırmak üzere hazırlanabilecek potansiyel eksipiyen gıdalara örnekler verilmiştir (2).

Literatürde karotenoid biyoerişilebilirliğini birlikte tüketildiği eksipiyen gıdalarla arttırmaya yönelik bazı çalışmalar mevcuttur. Liu ve ark., gerçekleştirdikleri bir çalışmada, işlem görmemiş ve pişirilmiş sarı biberdeki karotenoid biyoerişilebilirliğinin eksipiyen gıda olarak yağ ilavesiyle arttığını saptamışlardır. Yağın zincir uzunluğunun; mikro yapısal değişiklikler, partikül özellikleri, lipit sindirilirliği ve karotenoid

Çizelge 1. Gıdalarda yer alan biyoaktif bileşenlerin biyoyararışlılığını/ biyoerişilebilirliğini arttırmak üzere hazırlanabilecek bazı potansiyel eksipiyen gıda örnekleri (2).

Gıda kaynağı	Biyoaktif bileşenler	Potansiyel eksipiyen gıda
<i>Salata</i> Marul, lahanana, havuç, domates, biber vb.	Karotenoidler	Salata sosu
<i>Pişmiş sebzeler</i> Havuç, biber, ıspanak, lahanana vb.	Karotenoidler	Sos
<i>Fındık ve tohumlar</i> Badem, ceviz, fıstık, ayçiçeği tohumu vb.	Karotenoidler, vitaminler, fitosteroller	Yenilebilir kaplamalar
<i>Meyveler</i> Yaban mersini, çilek, ahududu, elma, armut vb.	Flavonoidler, vitaminler	Krema, dondurma, yoğurt
<i>Balık</i> Somon, ton balığı, ringa balığı, uskumru vb.	ω -3 yağ asitleri	Sos
<i>İçecekler</i> Çay, kahve, sıcak çikolata vb.	Polifenoller	Süt, krema

biyoerişilebilirliği üzerine etkisi olduğu belirlenmiştir. Uzun zincirli yağ asitleri karotenoid biyoerişilebilirliğini arttırmıştır (45). Karakaya ve ark., tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise salata ile birlikte tüketildiğinde sebzelerde yer alan biyoaktif bileşiklerin olumlu etkilerini arttıracak bir sos dizayn edilmiştir. Çalışmada, salata sosu içerisinde yer alan biyoaktif bileşik içeriğini arttırmak üzere çimlendirilmiş mercimek, bürülce filizi ve tohumu ile peynir altı suyu proteininden izole edilen kazeinomakropeptit ilave edilmiştir (46).

EKSİPIYAN EMÜLSİYON

Bu kısımda, doğal ürünlerde bulunan biyoaktif gıda bileşiklerinin biyoerişilebilirliklerini arttıracak ekşiyan emülsiyonların potansiyel uygulamalarından bahsedilecektir. Ekşiyan emülsiyonların yaygın olarak kullanımlarından biri gastrointestinal sıvılarda yer alan hidrofobik özellikteki biyoaktif bileşiklerin biyoerişilebilirliğini arttırmaya yönelik yapılan çalışmalardır. Lipit damlacıkları apolar bir solvent gibi davranarak hidrofobik biyoaktif bileşiklerin bitki dokuları içerisinde açığa çıkmalarını kolaylaştırmaktadır. Buna ek olarak triaçilgliseroller gibi sindirilebilir yağları içeren ekşiyan emülsiyonlar hızlıca sindirilerek monoaçilgliseroller ve serbest yağ asitlerine dönüşeceklerdir. Bu lipit sindirim ürünleri fosfolipit, safra tuzları, kolesterol ile birlikte misel formundadır. Ekşiyan emülsiyonların hidrofobik özellikteki biyoaktif bileşiklerin biyoerişilebilirliğini artırma özelliği miktara, kompozisyona, lipit damlacıklarının boyutuna bağlıdır. Bu faktörlerin etkisi biyoaktiflerin açığa çıkışı ve çözünürlüğünün artışından ileri gelmektedir (29).

Su içinde yağ emülsiyonları ya da nanoemülsiyonlar farklı mekanizmalarla hidrofobik, hidrofilik ve amfilik bileşenler içerecek şekilde dizayn edilebilirler ve bu özellikleri nedeniyle farklı biyoaktif bileşiklerin biyoyararışlılığını/ biyoerişilebilirliğini arttırabilirler. Nanoemülsiyon çözelti fazı içinde dağılmış halde 100 nm damlacık boyutundan küçük yapıları içeren emülsiyonlardır (47). Nanoemülsiyonlar, yerçekimine bağlı olarak ayrılmaya ve damlacık agregasyonuna karşı daha yüksek bir stabilite gösterirler ve geleneksel emülsiyonlara göre termodinamik açıdan daha stabildirler (44,48). Küçük damlacık boyutu bitki dokuları içerisinde kolaylıkla penetre olmak anlamına da geldiğinden karotenoid çözünürlüğünün artması

beklenmektedir. Bunun yanı sıra küçük yağ damlacıkları daha geniş yüzey alanına sahip olduklarından gastrointestinal bölgede daha kolay sindirilmekte ve bu özellik karotenoidler gibi lipofilik karakterdeki bir biyoaktif bileşiğin biyoerişilebilirliğini artırıcı etki oluşturmaktadır (47).

Su içinde yağ emülsiyonları, su fazı içinde dispers halde yer alan küçük yağ damlacıklarından oluşan ve her bir yağ damlası ince tabakalı emülsifiyer tarafından kaplanmış heterojen sistemlerdir (49). Yağ fazı sindirilebilir yağlar (triacilgliseroller), sindirilemeyen yağlar (esansiyel yağlar, mineral yağları), antioksidanlar, renk maddeleri, fitokimyasallar, vitaminler gibi çok sayıda bileşeni bünyesinde barındırır. Su fazı içerisinde de emülsiyonun özelliklerini etkileyen çok sayıda bileşen yer alır. Örneğin asitler, bazlar, karbonhidratlar, tuzlar, proteinler, sürfektanlar, şelatlama ajanları bunlardan bazılarıdır. Başka bir deyişle, ekşiyan emülsiyonların dizaynında farklı tiplerde ve konsantrasyonlarda çok sayıda bileşen kullanılabilir. Su içinde yağ emülsiyonlarında, gıda bileşenleri ve proses kolaylıkla formüle edilebilir ve geniş bir çeşitlilikte gıda üretimi (içecekler, yoğurtlar, salata sosları, soslar ve tatlılar vb.) gerçekleştirilebilir (29). Sonuç olarak nanoemülsiyonlar biyoaktif bileşiklerin biyoyararışlılığını/ biyoerişilebilirliğini arttırmak üzere gıda ile birlikte tüketilen bir ekşiyan emülsiyon olabilirler. Ancak biyoaktif gıda bileşiklerinin biyoyararışlılığını arttırmada ekşiyan nanoemülsiyonların etkisinin detaylı olarak incelenmesine gereksinim duyulmaktadır (48).

Süt doğal bir ekşiyan emülsiyondur. Bünyesinde yer alan yağ damlacıkları, proteinler, karbonhidratlar ve mineraller sulu kısımına dispers halde yer alırlar. Ancak süt, gıdalarda yer alan biyoaktif bileşiklerin biyoyararışlılığını arttırdığı gibi azaltıcı etki de gösterebilmektedir. Çalışmalar yağsız sütün tam yağlı ya da yarım yağlı süte kıyasla çayın toplam antioksidan kapasitesini daha fazla azalttığını ortaya koymuştur. Bu noktada yağ damlacıkları koruyucu bir rol üstlenmektedir. Karışık meyve suyuna süt ilavesi, lipofilik nütrosötiklerin biyoerişilebilirliğinin artışına neden olurken, hidrofilik karakterde olanların biyoerişilebilirliğinde azalma meydana gelmiştir (29). Sütte yer alan proteinlerin ve minerallerin yeşil çay flavanollerinin (epikateşin, epigallokateşin-3-gallat, epigallokateşin vb.) biyoerişilebilirliği üzerine etkisinin incelendiği

bir çalışmada yeşil çay içerisine sodyum kazeinat, β -laktoglobulin ve α -laktalbumin içeren protein çözeltileri ilave edilmiştir. Süt proteinlerinden özellikle sodyum kazeinatın yeşil çaydaki flavanol biyoerişilebilirliğini önemli derecede azalttığı ortaya konulmuştur. Ancak sütte bulunan kalsiyum, magnezyum gibi minerallerin bu durumun aksine flavanol biyoerişilebilirliğini önemli derecede arttırdığı ifade edilmiştir. Bu durumun mekanizması tam olarak bilinmese de sütte bulunan kalsiyum, magnezyum gibi mineraller ile flavanol arasındaki interaksiyon sonucu oluşan kompleks yapının sindirim süresince flavanolein stabilitesini koruduğu düşünülmektedir (50).

Zhang ve ark., tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise işlem görmemiş ve pişirilmiş havuçta bulunan karotenoidlerin biyoerişilebilirliğini arttıracak eksipiyen emülsiyonda, lipit konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir. Bu amaçla gastrointestinal bölge simule edilmiştir. Eksipiyen emülsiyonda; uzun zincirli trigliserit (mısır yağı) ve doğal emülsifiyer olarak da peynir altı suyu proteini kullanılmıştır. Yağ konsantrasyonunun artışına bağlı olarak karotenoid biyoerişilebilirliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca ağız, mide ve ince bağırsak sindirimleri boyunca partikül boyutunda, partikül yükünde ve mikro yapıdaki değişimler incelenmiştir (51).

Fıstık yağı içeren emülsiyonların domates suyundaki karotenoidler üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada likopen biyoerişilebilirliğinin emülsifikasyona ve emülsiyon ajanının tipine bağlı olarak değiştiği ortaya konulmuştur (52). Çeşitli emülsiyonların salata ve sebzelerdeki karotenoidlere etkisinin incelendiği bir çalışmada salataya ve sebzelere yapılan yağ ilavesinin, yağ asidi tipine bağlı olarak likopen biyoerişilebilirliğini arttırdığı görülmüştür (37). Yapılan bir çalışmada gastrointestinal koşullar simule edilerek domates suyundaki likopenin biyoerişilebilirliğini arttırmak üzere eksipiyen emülsiyon kullanımı amaçlanmıştır. Damlacık çapının ve termal uygulamaların (90 °C, 10 dakika) likopen biyoerişilebilirliği üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Eksipiyen emülsiyon kullanılmadığı koşullarda likopenin kromoplastta gömülü halde olduğu veya, doğal yapısı gereği biyoerişilebilirliği düşük bulunmuştur. En yüksek biyoerişilebilirlik küçük damlacık içeren emülsiyon kullanımında saptanmıştır. Termal uygulamanın domates hücrelerini düşük oranda tahrip ettiği ve bunun sonucunda likopen biyoerişilebilirliğindeki

artışın düşük düzeyde kaldığı ifade edilmiştir. Sonuçta, eksipiyen emülsiyonun domates suyundaki likopen biyoerişilebilirliğini arttırdığını söylemek mümkündür (47).

Mangoda bulunan karotenoidlerin biyoerişilebilirliğini arttırmak üzere eksipiyen nanoemülsiyonun etkisinin incelendiği bir çalışmada; $d < 200$ nm olmak üzere sindirilebilir nanopartikülleri içeren su içinde yağ eksipiyen nanoemülsiyonu, yağ fazında orta ve uzun zincirli yağ asitleri içeren trigliserit kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan nanoemülsiyonlar mango ile karıştırılmış ve ağız, mide, ince bağırsak olmak üzere simule gastrointestinal bölgeden geçirilmiştir. Karotenoid biyoerişilebilirliği uzun zincirli yağ asidinden hazırlanan nanoemülsiyon > orta zincirli yağ asidinden hazırlanan nanoemülsiyon > tampon çözelti şeklinde olmuştur. Bu değişimin intestinal sıvıda yer alan misellerin çözünabilirliğindeki farklılıktan ileri geldiği bildirilmiştir (44).

SONUÇ

Tüm bu çalışmalar, eksipiyen gıda ve emülsiyonların dizaynında dikkatli olmanın önemini göstermektedir. Spesifik eksipiyen gıda bileşenlerinin rollerini anlayabilmek, interaksiyonlarını ve biyoyararlılık adına etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla gerçekleştirilmesi gereken daha fazla bilimsel çalışmaya gereksinim duyulmaktadır. Örneğin kompleks bir diyetle tüketilen eksipiyen gıdanın biyoaktif gıda bileşiminin biyoyararlılığı üzerine etkisi incelenmelidir. Bunun yanı sıra eksipiyen gıdaların insan sağlığı üzerine olası yan etkilerinin de belirlenmesi gereklidir (19).

KAYNAKLAR

1. Abuajah CI, Ogbonna AC, Osuji CM. 2015. Functional components and medicinal properties of food: A review. *J Food Sci Technol*, 52(5): 2522-2529.
2. McClements, D.J., 2015. Enhancing nutraceutical bioavailability through food matrix design. *Curr Opin Food Sci*, 4:1-6.
3. McClements, D.J., and Xiao, H., 2014. Excipient foods: designing food matrices that improve the oral bioavailability of pharmaceuticals and nutraceuticals. *Food Funct*, 5:1320-1333.

4. Parada, J., Aguilera, J.M., 2007. Food Microstructure Affects the Bioavailability of Several Nutrients. *J Food Sci*, 72(2):21-32.
5. Fernandez-Garcia, E., Carvajal-Lerida, I., Perez-Galvez, A., 2009. In vitro bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutr Res*, 29(11):751-760.
6. Courraud, J., Berger, J., Cristol, J.P., Avallone, S., 2013. Stability and bioaccessibility of different forms of carotenoids and vitamin A during in vitro digestion. *Food Chem*, 136(2):871-877.
7. Carbonell-Capella, J.M., Buniowska, M., Barba, F.J., Esteve, M.J., Frigola, A., 2014. Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 13:155-171.
8. Holst, B., Williamson, G., 2008. Nutrients and phytochemicals: from bioavailability to bioefficacy beyond antioxidants. *Curr Opin Biotechnol*, 19:73-82.
9. Silve de Lima, A.C., da Rocha Viana, J.D., de Souza Sabino, L.B., da Silva, L.M., da Silva, N.K., de Sousa, P.H., 2016. Processing of three different cooking methods of cassava: Effects on in vitro bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidant activity. *Food Sci Technol*, In press.
10. Anese, M., Bot, F., Panozzo, A., Mirolo, G., Lippe, G., 2015. Effect of ultrasound treatment, oil addition and storage time on lycopene stability and in vitro bioaccessibility of tomato pulp. *Food Chem*, 172:685-691.
11. Kamiloglu, S., Pashi, A.A., Ozcelik, B., Camp, J.V., Capanoglu, E., 2015. Influence of different processing and storage conditions on in vitro bioaccessibility of polyphenols in black carrot jams and marmalades. *Food Chem*, 186:74-82.
12. Pineda-Vadillo, C., Nau, F., Dubiard, C.G., Cheynier, V., Meudec, E., Sanz-Buenhombre, M., Guadaramma, A., Toth, T., Csvajda, E., Hingyi, H., Karakaya, S., Sibakov, J., Capozzi, F., Bordoni, A., Dupont, D., 2016. In vitro digestion of dairy and egg products enriched with grape extracts: Effect of the food matrix on polyphenol bioaccessibility and antioxidant activities. *Food Res Int*, 88:284-292.
13. Sengul, H., Surek, E., Erdil, D.N., 2014. Investigating the effects of food matrix and food components on bioaccessibility of pomegranate (*Punicagranatum*) phenolics and anthocyanins using an *in-vitro* gastrointestinal digestion model. *Food Res Int*, 62:1069-1079.
14. Alminger, M., Aura, A.M., Bohn, T., Dufour, C., El, S.N., Gomes, A., Karakaya, S., Martinez-Cuesta, M.C., Mcdougall, G., J., Requena, T., Santos, C., N., 2014. In vitro models for studying secondary plant metabolite digestion and bioaccessibility. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 13:413-436.
15. West, C., E., Castenmiller, J.J.J.M., 1998. Quantification of the "SLAMENGHI" factors for carotenoid bioavailability and bioconversion. *Int J Vitam Nutr Res*, 68:371-377.
16. Corte-Real, J., Richling, E., Hoffmann, L., and Bohn, T., 2014. Selective factors governing in vitro β -carotene bioaccessibility: negative influence of low filtration cutoffs and alterations by emulsifiers and food matrices. *Nutr Res*, 34:1101-1110.
17. Tydeman, E. A., Parker, M. L., Wickham, M. S. J., Rich, G. T., Faulks, R. M., Gidley, M. J., 2010. Effect of carrot (*Daucuscarota*) microstructure on carotene bioaccessibility in the upper gastrointestinal tract: In vitro simulations of carrot digestion. *Journal of Agricultural and Food Chem*, 58:9847-9854.
18. Lemmens, L., Van Buggenhout, S., Van Loey, A., and Hendrickx, M., 2010. Particle size reduction leading to cell wall rupture is more important for β -carotene bio-accessibility of raw compared to thermally processed carrots. *J Agric Food Chem*, 58:12769-12776.
19. Lemmens, L., Van Buggenhout, S., Oey, I., Van Loey, A., and Hendrickx, M., 2009. Towards a better understanding of the relationship between the β -carotene in vitro bio-accessibility and pectin structural changes: a case study on carrots. *Food Res Int*, 42:1323-1330.
20. Netzel, M., Netzel, G., Zabaras, D., Lundin, L., Day, L., Addepalli, R., 2011. Release and absorption of carotenes from processed carrots (*Daucuscarota*) using in vitro digestion coupled with a Caco-2 cell trans-well culture model. *Food Res Int*, 44:868-874.

21. Knockaert, G., Lemmens, L., Van Bugghenhout, S., Hendrickx, M., Van Loey, A., 2012. Changes in β -carotene bioaccessibility and concentration during processing of carrot puree. *Food Chem*, 133:60-67.
22. Hedren, E., Diaz, V., Svanberg, U., 2002. Estimation of carotenoid accessibility from carrots determined by an in vitro digestion method. *Eur J Clin Nutr*, 56:425-430.
23. Hornero-Mendez, D., Minguéz-Mosquera, M. I., 2007. Bioaccessibility of carotenes from carrots: effect of cooking and addition of oil. *Innov Food Sci and Emerg Technol*, 8:407-412.
24. Anese, M., Mirolo, G., Beraldo, P., and Lippe, G., 2013. Effect of ultrasound treatments of tomato pulp on microstructure and lycopene in vitro bioaccessibility. *Food Chem*, 136:458-463.
25. Colle, I., Van Bugghenhout, S., Van Loey, A., Hendrickx, M., 2010. High pressure homogenization followed by thermal processing of tomato pulp: influence on microstructure and lycopene in vitro bioaccessibility. *Food Res Int*, 43:2193-2200.
26. Lemmens, L., Colle, I., Knockaert, G., Van Bugghenhout, S., Van Loey, A., Hendrickx, M., 2013. Influence of pilot scale in pack pasteurization and sterilization treatments on nutritional and textural characteristics of carrot pieces. *Food Res Int*, 50:526-533.
27. Saini, R.K., Nile, S.H., Park, S.W., 2015. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. *Food Res Int*, 76:735-750.
28. Yi, J., Zhong, F., Zhang, Y., Yokoyama, W., Zhao, L., 2015. Effects of Lipids on in Vitro Release and Cellular Uptake of β -Carotene in Nanoemulsion-Based Delivery Systems. *J Agric Food Chem*, 63(50):10831-10837.
29. McClements, D.J., Salvia-Trujillo, L., Zhang, R., Zhang, Z., Zou, L., Yao, M., Xiao, H., 2015. Boosting the bioavailability of hydrophobic nutrients, vitamins, and nutraceuticals in natural products using excipient emulsions. *Food Res Int*, Article in press.
30. McClements, D.J., Zou, L., Zhang, R., Salvia-Trujillo, L., 2015. Enhancing nutraceutical performance using excipient foods: Designing Food structures and compositions to increase bioavailability. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 14:824-847.
31. Wang, Z., Neves, M.A., Isoda, H., Nakajima, M., 2015. Preparation and Characterization of Micro/Nano-emulsions Containing Functional Food Components. *Jpn J Food Eng*, 16(4):263-276.
32. Salvia-Trujillo, L., Qian, C., Martin-Belloso, O., McClements, D.J., 2013. Modulating β -carotene bioaccessibility by controlling oil composition and concentration in edible nanoemulsions. *Food Chem*, 139:878-884.
33. Hornero-Mendez, D., Minguéz-Mosquera, M. I., 2007. Bioaccessibility of carotenes from carrots: effect of cooking and addition of oil. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 8:407-412.
34. Moelants, K.R.N., Lemmens, L., Vandebroek, M., Van Bugghenhout, S., Van Loey, A.M., Hendrickx, M. E., 2012. Relation between particle size and carotenoid bioaccessibility in carrot- and tomato-derived suspensions. *J Agric Food Chem*, 60:11995-12003.
35. Colle, I.J.P., Lemmens, L., Van Bugghenhout, S., Met, K., Van Loey, A., and Hendrickx, M., 2013. Processing tomato pulp in the presence of lipids: the impact on lycopene bioaccessibility. *Food Res Int*, 51:32-38.
36. Colle, I.J.P., Van Bugghenhout, S., Lemmens, L., Van Loey, A. M., and Hendrickx, M. E., 2012. The type and quantity of lipids present during digestion influence the in vitro bioaccessibility of lycopene from raw tomato pulp. *Food Res Int*, 45:250-255.
37. Nagao, A., Kotake-Nara, E., & Hase, M., 2013. Effects of fats and oils on the bioaccessibility of carotenoids and vitamin E in vegetables. *Biosci Biotechnol & Biochem*, 77:1055-1060.
38. Verrijssen, T., A., J., Smeets, K., H., G., Christiaens, S., Palmers, S., Van Loey, A., M., Hendrickx, M., E., 2015. Relation between in vitro lipid digestion and β -carotene bioaccessibility in β -carotene-enriched emulsions with different concentrations of L- α -phosphatidylcholine. *Food Res Int*, 67:60-66.
39. Mun, S., Kim, Y., R., McClements, D., J., 2015. Control of β -carotene bioaccessibility using starch-based filled hydrogels. *Food Chem*, 173: 454-461.
40. Mun, S., Kim, Y., R., Shin, M., McClements, D., J., 2015. Control of lipid digestion and nutraceutical bioaccessibility using starch-based filled hydrogels: Influence of starch and surfactant type. *Food Hydrocoll*, 44:380-389.

41. Verrijssen, T.A.J., Balduyck, L., G., Christiaens, S., Van Loey, A., M., Van Buggenhout, S., Hendrickx, M., E., 2014. The effect of pectin concentration and degree of methyl-esterification on the in vitro bioaccessibility of β -carotene-enriched emulsion. *Food Res Int*, 57:71-78.
42. Ribnicky, D., M., Roopchand, D., E., Oren, A., Grace, M., Poulev A., Lila, M., A., Havenaar, R., Raskin, I., 2014. Effects of a high fat meal matrix and protein complexation on the bioaccessibility of blueberry anthocyanins using the TNO gastrointestinal model (TIM-1). *Food Chem*, 142:349-357.
43. Pappalardo, G, Lusk, J.L., 2016. The role of beliefs in purchasing process of functional foods. *Food Qual Pref*, 53:151-158.
44. Xuan Liu, Jinfeng Bi, Hang Xiao, David Julian McClements, 2016. Enhancement of Nutraceutical Bioavailability using Excipient Nanoemulsions: Role of Lipid Digestion Products on Bioaccessibility of Carotenoids and Phenolics from Mangoes. *J Food Sci*, 81(3):754-761.
45. Liu, X., Bi, J., Xiao, H., McClements, D.J., 2015. Increasing carotenoid bioaccessibility from yellow peppers using excipient emulsions: Impact of lipid type and thermal processing. *Agric Food Chem*, 63:8534-8543.
46. Karakaya, S., El, S.N., Şimşek, Ş., 2015. Functional Salad Dressing as an Excipient Food. *Turk J Agric - Food Sci Technol*, 3(11):849-855.
47. Salvia-Trujillo, L., McClements, D.J., 2016. Enhancement of lycopene bioaccessibility from tomato juice using excipient emulsions: Influence of lipid droplet size. *Food Chem*, 210:295-304.
48. Ranjan, S., Dasgupta, N, Chakraborty, A.R., Samuel, M., Ramalingam, C., Shanker, R., Kumar, A., 2014. Nanoscience and nanotechnologies in food industries: opportunities and research trends. *J Nanopartic Res*, 16:2464.
49. Bai, L., Huan, S., Gu, J., McClements, D.J., 2016. Fabrication of oil-in-water nanoemulsions by dual-channel microfluidization using natural emulsifiers: Saponins, phospholipids, proteins, and polysaccharides. *Food Hydrocoll*, 61:703-711.
50. Zhang, R., McClements, D.J., 2016. Enhancing nutraceutical bioavailability controlling the composition and structure of gastrointestinal contents: Emulsion-based delivery and excipient systems. *Food Struc*, 10:21-36.
51. Zhang, R., Zhang, Z., Zou, L., Xiao, H., Zhang, G., Decker, E.,A., McClements, D.J., 2015. Impact of Lipid Content on the Ability of Excipient Emulsions to Increase Carotenoid Bioaccessibility from Natural Sources (Raw and Cooked Carrots). *Food Biophys*, 11:71-80.
52. Degrou, A., George, S., Renard, C.M.G.C., Page, D., 2013. Physicochemical parameters that influence carotenoids bioaccessibility from a tomato juice. *Food Chem*, 136:435-441.