

Kırmızı Pancardan Renk Maddesi Üretimi ve Stabilesinin Sağlanması

Kardelen Özcan , Seda Ersus Bilek 

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

Geliş Tarihi (Received): 01.11.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 05.02.2018

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): kardelen.oozcan@gmail.com (K. Özcan)

☎ 0 232 388 23 95 📠 0 232 311 48 31

ÖZ

Gıdaların tercih edilebilirliğini etkileyen en önemli kalite kriterlerinden biri renktir. Bu nedenle gıda endüstrisinde istenilen rengin elde edilebilmesi veya mevcut rengin artırılması amacıyla renklendirici maddeler kullanılmaktadır. Doğal renk maddeleri genellikle çeşitli bitkisel kaynaklardan elde edilmekte ve gıdaların duyuşal özelliklerinin yanı sıra besleyici özelliklerini de arttırdıkları için tercih edilmektedir. Kırmızı pancar bitkisi (*Beta vulgaris* L.), doğal gıda renklendiricisi olan betalainler yönünden oldukça zengin olması nedeniyle bu konuda yapılan birçok çalışmada hammadde olarak kullanılmaktadır. Betalainler ile ilgili yapılan çalışmalar, bu maddelerin gıda renklendiricisi olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Artan talep doğrultusunda en yüksek verimle betalain ekstraksiyonu ve ekstrakte edilen betalainlerin stabilesinin sağlanması gibi konular önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, kırmızı pancar ve betalainler hakkında genel bilgi verilmiş, ekstraksiyonda kullanılan yöntemler ve sonrasında betalain stabilesi için yapılan enkapsülasyon uygulamaları derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kırmızı pancar, Betalain, Stabiliate, Enkapsülasyon

Production and Stability of Food Colorant from Red Beetroot

ABSTRACT

Color is one of the most important quality criteria that affect the preference of foods. Therefore, food colorants are used in order to obtain the desired color in the food industry or to improve current color of foods. Natural colorants are generally obtained from various vegetable sources and are preferred because they increase the nutritional properties of foods as well as their sensory properties. Red beet plant (*Beta vulgaris* L.) is used as a raw material in many studies on this subject because it is very rich in betalains, which are natural food colorants. Studies on betalains have shown that these substances can be used as food colorants. With an increasing demand, the extraction of betalains with the highest yield and the stability of the extracted betalains are gaining importance. In this study, general information about red beetroot and betalains, methods used in extraction and encapsulation applications for stability of betalains were reviewed.

Keywords: Beetroot, Betalain, Stability, Encapsulation

GİRİŞ

Günümüzde tüketici bilincinin ve sağlıklı beslenme ihtiyacının artması nedeniyle doğal gıdalar ve gıda formülasyonunda kullanılan doğal içerikler önem

kazanmaktadır. Bu nedenle, gıdaların renklendirilmesi ve ya mevcut rengin artırılması amacıyla tercih edilen renklendiricilerde de sentetik katkıları yerine doğal renklendiriciler kullanılmaya başlanmıştır. Doğal gıda renklendiricilerinden olan betalainlerin en önemli

kaynaklarından biri kırmızı pancardır. Kırmızı pancar yüksek betalain içeriği ve besleyici değerleri nedeniyle doğal gıda renklendirici kaynağı olarak rağbet görmektedir. Kırmızı pancar ve diğer kaynaklardan elde edilen betalainler diğer doğal gıda renklendiricileri gibi stabilitesi az olan pigmentlerdir. Bu nedenle yüksek stabilitede ve verimde betalain elde edilmesi için en uygun ekstraksiyon koşulları belirlenmeye çalışılmaktadır. Ekstrakte edilen betalainlerin stabilitesinin artırılması amacıyla ise enkapsülasyon işlemi uygulanmaktadır.

KIRMIZI PANCAR

Kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.), yüzlerce yıldır tüm iklim koşullarında yetiştirilebilen, *Amaranthaceae* ailesine ait çiçekli bir bitkidir [1, 2]. Amerika, Avrupa ve Hindistan'a kadar uzanan geniş bir alanda yetiştirilmektedir. Ülkemizde kırmızı pancar en çok Ege ve Marmara bölgesinde kısmen de Akdeniz bölgesinde üretilmektedir [3, 4]. Ülkemizde yıllara bağlı kırmızı pancar üretim miktarı Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Ülkemizde kırmızı pancar üretim miktarları [5].

Yıllar	Kırmızı Pancar Üretimi (ton)
2009	8.048
2010	7.861
2011	7.815
2012	7.540
2013	7.286
2014	7.161
2015	7.028
2016	7.774

Tablo 1'de yer alan verilere bakıldığında, en fazla üretimin yaklaşık 8 bin ton ile 2009 yılında olduğu görülmektedir, Kırmızı pancar üretimi 2015 yılına kadar 6 sene içerisinde yaklaşık 1000 ton azalmıştır. 2016 yılında ise bir önceki yıla göre üretim 746 ton artmıştır.

Üretilen kırmızı pancarlar ülkemiz endüstrisinde sadece turşuluk olarak değerlendirilmektedir. Ancak, zengin besin içeriğine sahip olması kırmızı pancarın yemeklerde ve salatalarda yaygın olarak kullanılmasını ve çiğ olarak da tüketilmesini sağlamıştır [3, 6]. Kırmızının pancarın besin içeriği Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kırmızının pancarın besin içeriği ve miktarları [4].

Besin İçeriği	Miktar (100 g'da)
Karbonhidrat	9.56 g
Yağ	0.17 g
Protein	1.61 g
Lif	2.80 g
Sodyum	78 mg
Potasyum	325 mg
Magnezyum	23 mg
Kalsiyum	16 mg
Fosfor	40 mg
C vitamini	4.9 mg

Tablo 2'ye bakıldığında, kırmızı pancarın mineraller bakımından zengin olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle potasyum içeriğinin diğer besin öğelerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, yapısında bulunan nitrat, karotenoidler, askorbik asit, fenolik maddeler ve betalainler sağlık açısından önemli bileşenlerdir ve kırmızı pancarın beslenmedeki önemini arttırmaktadır [6].

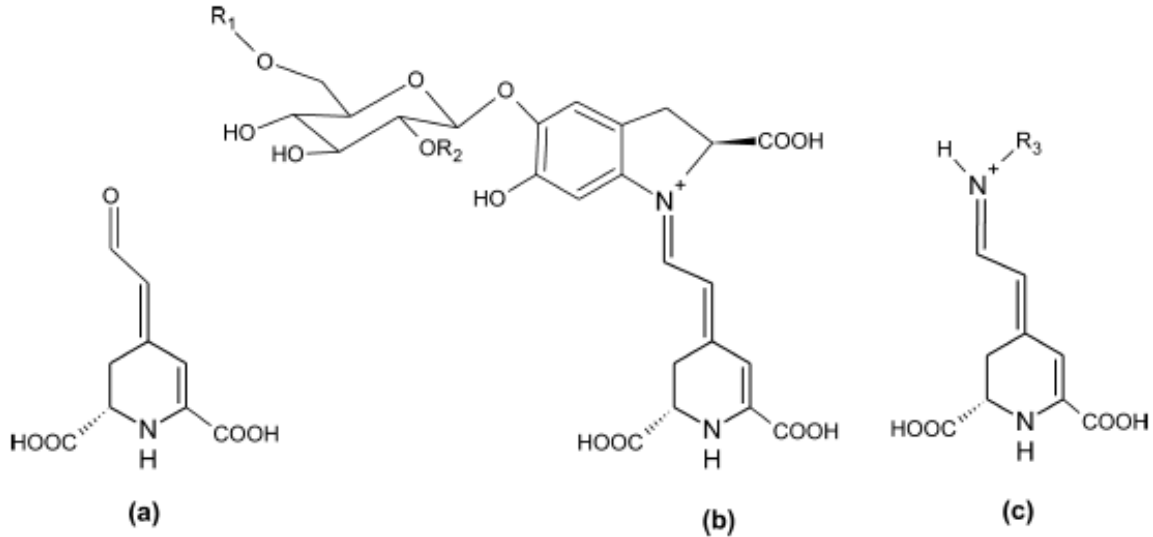
Kırmızı pancarın sahip olduğu betalainleri ve diğer fenolik maddelerin lipit oksidasyonunu azaltıcı etkisinin olduğu ve betalainlerin DNA zincir parçalanmasını azalttığı bilinmektedir. Yapısındaki nitrit ve nitratların indirgenmesi sonucu oluşan nitrozaminler sebebiyle hücre mutasyonlarını azaltma potansiyeli, antioksidan kapasitesi sayesinde ise kalp ve damar hastalıklarını önleme etkisi olduğu belirlenmiştir [3, 7].

Kırmızı pancarın kendine has rengi yüksek betalain içeriğinden (~200mg/100g taze ağırlık) kaynaklanmaktadır. Son yıllarda sentetik gıda boyalarının sağlığa olumsuz etkilerinin anlaşılmasıyla doğal renk maddelerine dolayısıyla doğal renk maddesine kaynak oluşturacak hammaddelere ilgi artmıştır. Kırmızı pancar da bu doğal renk maddesi kaynaklarından biridir. Yapısında bulunan betalainler sayesinde, dondurma, şekerleme, yoğurt, puding, şerbet gibi gıdalarda, süt ve fırıncılık ürünlerinde doğal gıda boyası olarak kullanılmaktadır [8-10].

BETALAINLER

Doğal gıda renklendiricileri, daha sağlıklı olmaları sebebiyle sentetik gıda renklendiricilerinin yerine kullanılmaktadır. Günümüzde, doğal gıda renklendiricisi olarak suda çözünen betalain, antosiyanin ve karminik asit ile yağda çözünen karotenoidler ve klorofiller kullanılmaktadır. Karotenoidler ve antosiyaninler üzerine çalışmalar çoğunluktadır [11]. Ancak, zayıf asidik özellik gösteren ortamlarda (pH değeri 3-7 arasında) antosiyaninlerden daha stabil ve suda çözünürlüklerinin daha yüksek olması nedeniyle betalainlere olan ilgi giderek artmakta ve antosiyaninler yerine tercih edilebilmektedir. Özellikle pH değeri 3-7 arasında stabil bir yapıya sahip olan betalainler, asidik ve nötr gıdalarda doğal renklendirici olarak kullanılmaktadır [12].

Betalainler, suda çözünebilen, nitrojen içeren pigmentlerdir ve bir aminoasit olan tirozinden iki yapısal gruba sentezlenmektedir; betasiyaninler ve betaksantinler. Betasiyaninler kırmızı-mor renklidir ve betalainlerin optikçe aktif formlardır. Betaksantinler ise sarı-turuncu renklidir ve yapılarında indol çekirdeği amino asitle yer değiştirmiştir [11, 13]. Şekil 1'de betalainik asit, betasiyanin ve betaksantin kimyasal yapısı gösterilmektedir. Kimyasal yapıları bakıldığında betasiyanin ve betaksantin gruplarının yapılarında ortak olarak betalainik asit bulunduğunu görülmektedir. Betaksantinde indol çekirdeğinin aminoasitle yer değiştirmesi ise bu grupların farklılaşmasına neden olmuştur.

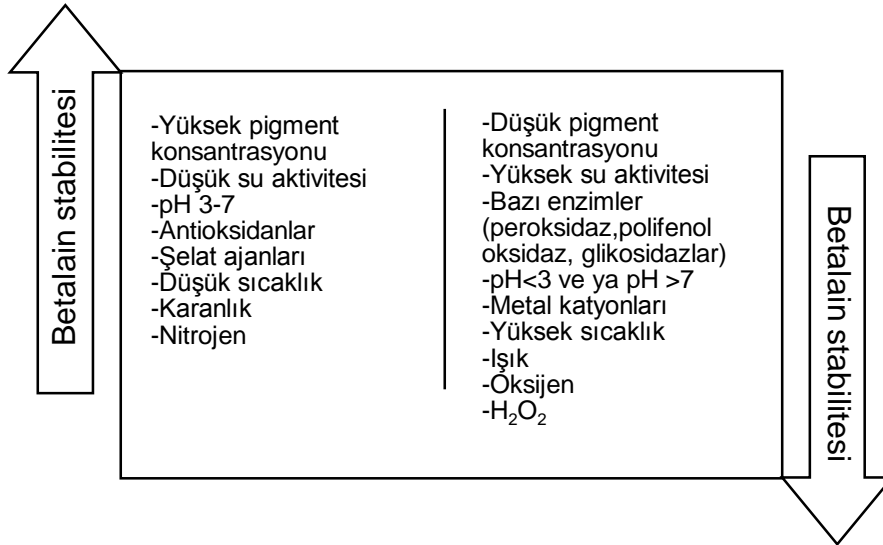


Şekil 1. Betalamik asit (a), Betasiyanin (b) ve Betaksantin (c) kimyasal yapıları [11].

Betalainler doğada en fazla kök, meyve ve çiçeklerde bulunmaktadır. Kırmızı ve sarı pancar (*Beta vulgaris* L. sp. *vulgaris*), amarant (*Amaranthus* sp.), kaktüs meyvesi (*Opuntia* ve *Hylocereus* genera) ve pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) betalainler bakımından zengin kaynaklardır [7, 11, 14]. Bu bitkiler arasında betalain kaynağı olarak en fazla kullanılan kırmızı pancardır. Kırmızı pancarda betasiyanin grubundan betanin ve isobetanin,

betaksantin grubundan ise vulgaksantin I bulunmaktadır [12].

Betalainler, pH değeri, su aktivitesi, ışık, oksijen, metal iyonları, sıcaklık ve enzimatik aktiviteler gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Şekil 2'de betalain stabilitesini arttıran ve azaltan faktörler gösterilmektedir.



Şekil 2. Betalain stabilitesine etki eden faktörler [15]

Şekil 2'de belirtilen unsurlar değişik yollarla betalain stabilitesini etkilemektedir. Örneğin, hafif alkali ortamlar betanin stabilitesini olumsuz yönde etkileyerek betalamik asit ve siklodopa-5-O-glukozid'e (CDG) parçalanmalarına neden olmaktadır. Betanin parçalanması sadece hafif alkali ortamlarda değil sıcaklık etkisi ile asidik ortamlarda da gerçekleşebilmektedir. Sıcaklığın etkisinin bulunmadığı ve pH değeri'nin 3-7 arasında olduğu düşük su aktivitesi değerine sahip ortamlarda ise betaninler bozunmadan kalabilmektedir. Sıcaklık, betalain bozunmasına etki eden en önemli kriterlerdendir. Betalainlerin bozunmasına etki eden diğer bir unsur ise oksijendir.

Oksidasyon sebebi ile oluşan CDG bileşikleri enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarına katılarak melanoidinlere dönüşebilmektedir. Oksidasyon hızının yavaşlatılabilmesi için ise ortamdaki ışığın en az düzeyde ve pH değeri'nin 4-5 arasında olması gerekmektedir. Betalain stabilitesinin artırılmasında pH değeri, oksijen ve ışık kadar antioksidanlar da etkilidir. Ortamda antioksidanların bulunması betalain stabilitesini olumlu yönde etkilemektedir. Antioksidanların aksine bazı enzimlerin (peroksidaz, polifenol oksidaz, glikosidazlar) varlığı betalainlerin bozunmasına neden olabilmektedir. Özellikle pancarda bulunan peroksidaz enziminin, dokulardaki hidrojen peroksit ile etkileşimi ile

betasiyanin ve betaksantin pigmentlerinde renk kaybına neden olduğu belirlenmiştir. Oluşan bu renk kaybı, asidik ortamda hız kazanmakta ve turşuya işlenecek kırmızı pancarlarda renk sorunlarına neden olmaktadır. Kırmızı pancardaki istenmeyen renk kayıplarının önlenmesi için işleme ve depolamasından önce haşlanması önerilmektedir [15-21].

Codex Alimentarius Komisyonuna (2004) göre, betalain kullanımı sadece iyi üretim uygulamaları ile sınırlandırılmıştır. Avrupa Birliği ve ABD'de pancardan elde edilen ve pancar kırmızısı olarak bilinen doğal gıda renklendiricisi ticari olarak kullanılmakta ve E-162 kodu ile etiketlenmektedir [11]. Betalainler özellikle pH değeri 3-7 arasında stabil oldukları için antosiyaninlerin doğal renk maddesi olarak kullanımının sınırlı olduğu süt ve süt ürünleri gibi düşük asitli gıdalarda renklendirici olarak tercih edilmektedir. Bu bileşenlerin gıdalarda kullanımı ve depolanması sırasında stabilitesine etki eden parametrelere dikkat edilmelidir.

KIRMIZI PANCAR BETALAINLERİNİN EKSTRAKSİYONU

Betalainler hassas pigmentlerdir ve ekstraksiyon sırasında pH değeri, sıcaklık, ışık, oksijen, su aktivitesi gibi bir çok faktörden etkilenebilmektedir. Betalainlerin ekstraksiyonunda en yüksek verimin elde edilmesi amacıyla betalain stabilitesine olumsuz etki eden durumların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu amaçla ekstraksiyondan önce enzim inaktivasyonu sağlanması önerilmekte ve bunun için kısa süreli sıcaklık uygulamaları (70°C, 2 dakika) kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem betalainlerin stabilitesini arttırsa da hem pigment hem de önemli bileşen kayıplarına neden olabilmektedir [22]. Bu nedenle, sıcaklık uygulamaları yerine alternatif yöntemler denenmektedir. Kırmızı pancar dilimlerine 7 dakika boyunca uygulanan 650 MPa yüksek basınç işleminin, 2 dakika boyunca 70°C'de yapılan ekstraksiyona göre daha az betalain kaybına neden olduğu ve elde edilen betalain miktarını yaklaşık olarak 3 kat arttırdığı belirlenmiştir [23].

Kırmızı pancardan betalain ekstraksiyonunda ön işlemler kadar kullanılan çözügen de önem taşımaktadır. Ekstraksiyonda çözügen olarak, her an ulaşılabilir ve ucuz olması, kalıntı oluşturmaması nedeniyle soğuk veya oda sıcaklığında saf su kullanılır. Bazı çalışmalarda etanol (hacimce %20-50) ve metanol (hacimce %50-80) kullanıldığı da görülmektedir. Ayrıca betasiyaninlerin elde edilmesinde HCl veya asitlendirilmiş etanol (%0.4-1) kullanımının olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir [1, 24, 25, 26, 27]. Bazı araştırmacılar, ekstraksiyon verimine asitlendirilmiş saf su, etanol ve metanol kullanımının etkilerini araştırmıştır. Asitlendirilmiş saf su ve etanol kullanılarak yapılan çalışmada elde edilen betalain miktarı yaklaşık olarak aynı bulunurken, asitlendirilmiş metanol ile yapılan çalışmada asitlendirmenin betalain ekstraksiyonuna olumlu etki ettiği bulgulanmıştır [28, 29].

Betalainler diğer doğal gıda renklendiricileri gibi çevresel etmenlerden kolayca etkilenebilen kararsız yapıda pigmentlerdir. Bu nedenle ekstraksiyon sırasında

betalain stabilitesine etki eden pH, sıcaklık gibi parametrelere ve ekstraksiyon süresine dikkat edilmelidir. Ayrıca, en iyi verimle ekstrakt elde edilmesi için hammaddeye uygun çözügen tipi ve miktarı özenle seçilmelidir. Kırmızı pancardan betalain eldesinde de en uygun ekstraksiyon koşullarının belirlenmesi amacıyla, farklı sulu çözeltilerin, katı:çözügen oranının, sıcaklık ve pH değerinin etkisi incelenmiş, %0.2 sitrik asit ve %0.1 asetik asit ile %0.5 asetik asit ve %20 etanol içeriğine sahip sulu çözeltilerin, 1:5 (katı:çözügen) oranında kullanımı ile en etkin ekstraksiyona ulaşıldığı belirtilmiştir. Ekstrakte edilen betalainlerin depolama sırasındaki stabilitesinin belirlenmesi amacı ile 10 gün oda sıcaklığında depolama çalışması yapılmış ve düşük asitli sulu çözeltilerin birlikte kullanımının betalain stabilitesini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda pH değerinin ekstraksiyon miktarına önemli bir etkisi yoktur ancak düşük sıcaklıklarda asidik ortamlar daha olumlu sonuçlar vermektedir [30]. Diğer yandan, asetik asitin sülfürik asitle birlikte kullanılması da yine düşük sıcaklık ve pH değeri uygulamalarında betalain ekstraksiyonu üzerine olumlu etki yapmaktadır [31]. Azeredo ve ark. [32] tarafından yapılan benzer bir çalışmada en uygun ekstraksiyon koşullarının belirlenmesi amacıyla pH değeri (3.0-5.0), katı:çözügen oranı (1:1-1:5), başlangıç çözügen sıcaklığı (30-70°C) ve ekstraksiyon süresi (2-10 dakika) parametreleri değişken olarak seçilmiştir. Bu denemeler sonucunda en uygun ekstraksiyon koşullarının pH değeri: 3.0, katı:çözügen oranı 1:5, başlangıç çözügen sıcaklığı 70°C ve ekstraksiyon süresi 2 dakika olduğu belirlenmiştir. Başlangıç çözügen sıcaklığı ve katı:çözügen oranının artırılmasının betasiyanin ekstraksiyon verimliliğini olumlu yönde etkilediği, yüksek pH değerinin ise verimlilik üzerinde olumsuz etki gösterdiği saptanmıştır. Sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen renk maddesinin parlak kırmızı-mor renkli olduğu ve, kurutularak veya konsantre edilerek dayanıklı hale getirilmesinin mümkün olacağı belirtilmiştir [32]. Sulu ekstraksiyonun kullanıldığı bir diğer çalışmada ise 40-70°C sıcaklıkta, 30-90 dakika boyunca ekstraksiyon gerçekleştirilmiş ve bu amaçla 0.5-1.5 g kırmızı pancar ve 50 mL saf su kullanılmıştır. Elde edilen betalain miktarının, betaksantin ve betasiyanin miktarlarının, kullanılan kırmızı pancar miktarı ile doğru orantılı olduğu, 84 dakika boyunca 60°C'de yapılan ekstraksiyonun en etkili sonucu verdiği gözlemlenmiştir [33].

Ekstraksiyonda sıcaklık, pH değeri, işlem süresi ve çözügen miktarı gibi faktörlerin yanında çözügen tipi de etkilidir. Farklı çözügen tipi (su veya %80 metanol), çözügen miktarı (10 mL ve 25 mL) ve işlem süresi (1 dakika ve 40 dakika) kullanılması kırmızı pancar betalainlerinin (betanin, isobetanin ve neobetanin) ekstraksiyon veriminde etkili olmuştur. Betanin ve neobetanin miktarları 25 mL çözügen, 40 dk işlem süresi ve %80 metanol ile yapılan ekstraksiyonda en yüksek sonucu vermiştir. İsobetanin miktarı ise 25 mL çözügen, 40 dakika işlem süresi ve su ile yapılan ekstraksiyonda en yüksek bulunmuştur. Çözügen miktarı ve işlem süresinin artırılması betalain ekstraksiyonuna olumlu etki göstermektedir [1].

Sulu ekstraksiyon betalainlerin elde edilmesinde en çok kullanılan yöntem olmakla birlikte, diğer teknolojilerle birleştirilmesi ve bunun sonucunda daha yüksek betalain eldesi için çalışmalar yapılmaktadır. Vurgulu elektrik alan uygulaması da betalain veriminin artırılması için kullanılan teknolojilerden biridir. Ayrıca, sulu ekstraksiyon öncesinde vurgulu elektrik alan uygulamalarının ekstraksiyon süresini kısalttığı ve betalain eldesini daha hızlı hale getirmek için etkili bir yöntem olduğu da belirtilmiştir. Bu yöntem ile 2 µs boyunca 5 elektrik vurgusu yapılarak 7 kV/cm etki şiddeti uygulaması ile kırmızı pancardaki toplam betaninlerin %90'ı 300 dakikada elde edilmiştir. Vurgulu elektrik alan kullanılmadan yapılan ekstraksiyonda ise aynı miktarda betanin beş kat daha yavaş elde edilmiştir [34, 35]. Ekstraksiyonda vurgulu elektrik alan etkinliğinin artırılması amacıyla farklı işlem süreleri (10, 30, 60 milisaniye ve 30, 75, 150 mikrosaniye) ve elektriksel alan kuvvetleri (0.4, 0.6, 4 ve 6 kV/cm) denenmiştir. 6 kV/cm elektriksel alan kuvveti ile 150 mikrosaniye boyunca yapılan uygulama en yüksek betanin verimi sağlanmıştır [36]. Betalain ekstraksiyonunda düşük elektriksel alan uygulamaları (0-40 V/cm) da denenmiştir. Yöntemin dokuların parçalanmasına gerek kalmadan ve uygun maliyetle ekstraksiyon gerçekleştirilmesi nedeniyle kullanılabilir olduğu saptanmıştır. Pigmentlerin elde edilmesinde verimin artırılması için daha yüksek elektriksel kuvvetlerin (400-750 V/cm) de kullanılabileceği, betasiyanin için yapılan denemelerde bulgulanmıştır [37, 38].

Betalainlerin elde edilmesi için kullanılan bir diğer yöntem ise mikrodalga destekli ekstraksiyondur. Bu yöntemin betalain ekstraksiyonuna etkisinin incelenmesi amacıyla, , çözügen olarak etanol:su çözeltisi (1:1) kullanılmış, katı:çözgen oranı 0.1:25 olarak belirlenmiş ve en uygun işlem parametrelerinin saptanması amacıyla farklı mikrodalga gücü (400, 800 ve 1200 W), - görev döngüsü (%50 ve 100) ve işlem süresi (0-160 s) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en iyi sonuç 90-120 s işlem süresi, %100 ekstraksiyon döngüsü ve 400 W mikrodalga gücünde elde edilmiştir. 100-120 ve 140-150 dakikadan daha uzun ekstraksiyon süreleri betaninlerin ve betaksantinlerin verimini azaltmıştır. Mikrodalga destekli ekstraksiyonun, %52 ekstraksiyon yüzdesi ile betalain elde edilmesine olanak sağladığı saptanmıştır. Çalışmada aynı zamanda ekstraksiyon verimi üzerine askorbik asit (0.04 mol/L çözügen) kullanımı değerlendirilmiş ve ısı işlem sırasında betaninlerin korunabilmesine rağmen betaksantinler için zararlı bir etki oluşturduğu gözlemlenmiştir [39].

Kırmızı pancar betalainlerinin ekstraksiyonu için yeni yöntemler de denenmektedir. Sulu ikili faz sistemi ve ultrases bu yöntemlerdendir. Sulu ikili faz sistemi kullanılan araştırmalarda, farklı molekül ağırlıklı polietilen glikol ile denemeler gerçekleştirilmiş ve en uygun sistemin polietilen glikol (molekül ağırlığı:6000)/amonyum sülfat olduğunu belirlenmiştir. Sulu ikili faz yönteminde polietilen glikol ve amonyum sülfat, kırmızı pancarın sulu ekstraktı içerisine sistemdeki toplam ağırlık %100 olacak şekilde eklenmiş ve faz ayrımı oluşana kadar karıştırılmıştır. Elde edilen üst faz %70-75 oranında betalain içermektedir. [40, 41].

Ultrases yöntemi de kırmızı pancardan renk maddesi ekstraksiyonda kullanılan bir diğer yöntemdir. Ultrases uygulaması ile kırmızı pancar renk maddelerinin ekstraksiyon veriminin artırıldığı ilk defa bulunmuştur. Ekstraksiyon için farklı parametreler denenmiş ve işlemin 1:1 etanol:su oranı kullanılarak 80 W ultrases gücü ile 3 saat boyunca yapılması ile 1 g kırmızı pancardan yaklaşık 0.20 g betalain elde edilmiştir [42].

Yapılan bu çalışmalar sonucu betalainlerin ekstraksiyonunda en fazla kullanılan yöntemin sulu ekstraksiyon olduğu görülmektedir. Çözgen olarak asitlendirilmiş sulu çözümlerin kullanılması ekstraksiyon verimini artırmaktadır [28, 29, 30, 31]. Bunun yanı sıra, sulu ekstraksiyon öncesi kullanılan vurgulu elektrik alan uygulamaları ekstraksiyon hızını artırmakta ve daha kısa sürede betalain elde edilmesine olanak sağlamaktadır [34, 35]. Sulu ekstraksiyon dışında kullanılan, ultrases ve yüksek elektriksel kuvvet uygulamaları da kırmızı pancar betalainlerinin ekstraksiyon verimini arttıran yöntemlerdendir [37, 38, 42].

ENKAPSÜLASYON YÖNTEMİ İLE BETALAINLERİN STABİLİTESİNİN SAĞLANMASI

Bir gıdanın rengi, tercih edilirliliği etkileyen en önemli kalite karakteristiklerinden biridir [11]. Bu nedenle, gıdalarda homojen renk görünümünün sağlanması, işleme sırasındaki renk kayıplarının giderilmesi ve ya gıdanın kendi renginin korunması amacıyla gıda renklendiricilerinden yararlanılmaktadır [43]. Günümüzde, sağlıklı beslenmenin değerinin anlaşılması ile gıdaların renklendirilmesinde sentetik renk maddeleri yerini doğal renk maddelerine bırakmaktadır. Ancak doğal renk maddelerinin sentetik olanlara göre yüksek maliyet ve düşük stabilite gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bitkilerden elde edilen çoğu renklendiriciler, betalain ve antosiyaninler, sıcaklık, oksijen, ışık ve su aktivitesi gibi parametreler sebebiyle kolayca bozunabilmektedir [11, 44]. Bu bozunmanın en aza indirilebilmesi, pigmentlerin stabilitesinin sağlanması ve raf ömrünün artırılması için kullanılan yöntemlerden biri de enkapsülasyon işlemidir. Bu işlemin asıl amacı, duyarlı bileşenlerin çevresinde kaplama materyalleri ile bir bariyer veya matris oluşturulması ve böylece bileşenler ve çevre arasındaki etkileşimin en aza indirilmesinin sağlanmasıdır. Enkapsülasyon işlemi sonunda, bileşenler çevresel faktörlerden korunmakta ve böylece daha stabil hale gelmektedir [45].

Enkapsülasyon işlemi genellikle püskürtmeli kurutma, dondurarak kurutma ve iyonik jelleşme ile yapılmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanı ise püskürtmeli kurutmadır. Bu yöntemin kullanılmasının en önemli nedenleri arasında kolay, ekonomik ve sürekli çalıştırılabilir olması ve kaliteli toz ürün üretilmesine olanak sağlaması söylenebilir. Örneğin, dondurarak kurutmaya göre 30-50 kat daha az işlem maliyeti gerektirmektedir. Ayrıca, kurutma parametrelerinin (sıcaklık, çözelti akı hızı ve kaplama materyali konsantrasyonu) değiştirilmesi ile çeşitli fiziksel özelliklere sahip ürün elde edilebilmektedir [45, 46].

Püskürtmeli kurutma yönteminde hava giriş sıcaklığı, besleme hızı, kullanılan kaplama materyalleri ve konsantrasyonları elde edilen toz ürün kalitesini ve stabilitesini etkileyen parametrelerdendir. Kırmızı pancar suyundan püskürtmeli kurutma yöntemi ile yüksek betalain içeriğine sahip toz ürün elde edilmesi için kurutma parametreleri optimize edilmiştir. Hava giriş sıcaklığı (160-180°C), maltodekstrin veya peynir altı suyu proteini konsantrasyonu (%5-15) ve besleme hızı (400-600 mL/saat) değişken olarak kullanılmıştır. Çalışma sonunda, 160°C hava giriş sıcaklığı, %15 maltodekstrin veya peynir altı suyu proteini konsantrasyonu ve 400 mL/saat besleme hızı optimum olarak belirlenmiştir. Giriş sıcaklığının azalması ve maltodekstrin veya peynir altı suyu proteini konsantrasyonunun artması betalainlerin alıkonmasını arttırmaktadır. Besleme hızı ise betalainlerin alıkonması üzerine etki etmemektedir [47, 48].

Enkapsülasyon sonucu elde edilen toz ürünlerin yüksek pigment içeriğine sahip olması ve bu pigmentlerin stabilitesinin sağlanabilmesi için kullanılan kaplama materyali büyük önem taşımaktadır. Seçilecek olan kaplama materyali ile enkapsüle edilecek çekirdek materyalin fizikokimyasal özelliklerinin birbiriyle uyumlu olması gerekmektedir.

Kırmızı pancar betalainlerinin püskürtmeli kurutma ile enkapsülasyonunda kaplama materyali olarak düşük kristalizasyon dereceli maltodekstrin (6 ve 10 dekstroz eşdeğeri (DE)) kullanımının elde edilen toz üründeki betalain ve betasiyaninlerin stabilitesini arttırdığı belirlenmiştir. Özellikle oda sıcaklığında yapılan çalışmalarda, koyu renkli cam kaplarda muhafaza edilen toz ürünlerin 6 ay boyunca betalain stabilitesini koruduğu belirlenmiştir. Yine aynı süre boyunca 20°C'de depolanan toz ürünlerdeki betasiyanin miktarı istatistiksel açıdan farklılık göstermezken, 60°C'de depolanan toz ürünlerin başlangıç betasiyanin miktarının %60'ı korunmuştur. Yüksek maltodekstrin oranının betasiyanin stabilitesini arttırdığı ve enkapsüle edilen kırmızı pancar suyunun, enkapsüle edilmeyenlere göre çok daha fazla betasiyanin stabilitesine sahip olduğu görülmüştür [11, 49]. Janiszewska ve ark. [44] düşük kristalizasyon dereceli maltodekstrini (11 DE), çözeltinin kuru madde konsantrasyonu %30 (kütlece) olacak şekilde kırmızı pancar suyu ile karıştırarak, farklı giriş sıcaklıklarının betalain (betanin ve vulgaksantin) stabilitesine etkisini incelemiştir. 120 ve 140°C hava giriş sıcaklığında elde edilen betanin ve vulgaksantin miktarları arasında istatistiksel açıdan fark bulunamazken, 160°C'nin her iki pigment miktarına olumsuz etki yaptığı görülmüştür. Çalışmada kırmızı pancar betalainlerinin %26.7-29.3 oranında bulunduğu bulunmuştur [45].

Kırmızı pancar betalainlerinin maltodekstrin dışında başka kaplama materyalleri ile enkapsülasyonu da çalışılmaktadır. Betalain enkapsülasyonu amacıyla arabik gam (kütlece %30) kaplama maddesi olarak kullanılmış, kırmızı pancar suyu:arabik gam çözeltisi 1:3 (kütlece) olacak şekilde püskürtmeli kurutucu ile toz ürünler elde edilmiştir. Elde edilen toz ürünlerin depolama sırasındaki stabilitesinin belirlenmesi

amacıyla 30°C'de 45 gün depolama çalışması yapılmıştır. 30°C'de depolanan toz ürünlerin 0.110 su aktivitesinde yaklaşık %80 betalain korunumu ile en yüksek stabilitesi, 0.748 ve 0.898 su aktivitesinde ise yaklaşık %65 ve 75 betalain korunumu ile en düşük stabilitesi gösterdiği belirlenmiştir [50]. Kaplama materyali olarak arabik gamın kullanıldığı bir diğer çalışmada ise, elde edilen toz ürünler ile 25°C'de 30 ve 60 gün boyunca farklı su aktivitesine sahip ortamlarda depolama çalışması yapılmıştır. Toz ürünler en yüksek betalain stabilitesini 0.5-0.6 su aktivitesinde göstermiştir. 30 gün 0.5 ve 0.6 su aktivitesinde depolanan toz ürünlerdeki betalainlerin %99.6 ve %95.7'sinin korunduğu görülmüştür. 60 gün sonunda ise 0.5 su aktivitesinde %92.4, 0.6 su aktivitesinde ise %84.1 betalain korunumu gerçekleşmiştir. Sonuç olarak su aktivitesinin az olduğu ortamlarda betalainlerin daha stabil olduğu belirlenmiştir [51].

Kırmızı pancar pigmentlerinin püskürtmeli kurutucu ile enkapsülasyonunda farklı kaplama materyallerinin birlikte kullanımının etkisi de incelenmiştir. Bu amaçla, düşük kristalleşme dereceli maltodekstrin, arabik gam ve bunların karışımı (1:1), kuru madde konsantrasyonu %25 olacak şekilde kırmızı pancar suyuna eklenmiştir. 160°C hava giriş sıcaklığının kullanıldığı sistemden elde edilen toz ürünler 6 hafta boyunca, oda sıcaklığında ve düşük su aktivitesi değerinde (aw=0.44) depolanmıştır. Püskürtmeli kurutucudan elde edilen toz ürünlerde, betanin konsantrasyonu arabik gam, vulgaksantin konsantrasyonu ise maltodekstrin kullanılan kapsüllerde en fazladır. Depolama süresince ise toz ürünlerin pigment konsantrasyonlarında istatistiksel açıdan önemli bir değişim olmamıştır. Bu koşullar altında ve kullanılan kaplama materyalleri ile pigment stabilitesinin korunduğu görülmektedir [6].

Betalainler hassas pigmentler olduğu için enkapsülasyonunda dondurarak kurutma yöntemi de denenmiştir. Bu yöntem pahalı olmasına rağmen pigmentlere en az zararı vererek kurutması açısından önemlidir. Kırmızı pancar betalainleri dondurarak kurutma yardımı ile mikroenkapsüle edilmiş ve mikroenkapsülasyonda farklı kaplama materyalleri kullanarak 40°C'de 10 hafta depolama süresince betalain stabilitesini incelenmiştir. Kullanılan kaplama materyali konsantrasyonu kitosan için %2 iken diğer kaplama materyalleri %15 konsantrasyonda kullanılmıştır. 10 hafta depolama sonunda en yüksek betalain stabilitesi gösteren kaplama materyalleri sırasıyla; maltodekstrin, arabik gam, arabik gam ve modifiye nişasta karışımı, maltodekstrin ve kitosan karışımı, modifiye nişasta, maltodekstrin ve kitosan karışımı olmuştur [52]. Bir başka çalışmada, kırmızı pancar ezmesinden elde edilen ekstrakt dondurarak kurutma yoluyla soya proteini ile farklı enkapsülasyon parametreleri kullanılarak enkapsüle edilmiştir. En yüksek enkapsülasyon verimi 50 g/L kaplama materyali:çekirdek materyali oranı kullanılan ve 15 dakika karıştırılan deneme ile bulunmuştur. Toz ürünler 25°C'de 3 ay boyunca depolanmış ve betasiyanin ve betaksantin pigmentlerinin kaybı ilk ay boyunca, sırasıyla %24.25 ve %24.17 iken ikinci ve üçüncü

aylarda pigment kayıpları istatistiksel açıdan farklılık gösterecek düzeyde olmamıştır [53].

Yapılan bir diğer çalışmada ise, kırmızı pancar betalainleri dondurarak kurutulmuş ve kaplama materyali olarak maltodekstrin (5 ve 20 DE) ve pullulan (kütlece %10) kullanılmıştır. Kaplama materyali:çekirdek materyali oranı 20:1 olarak sabit tutulmuştur. Betalain stabilitesinin belirlenmesi amacı ile farklı su aktiviteleri ve sıcaklıklarda depolama yapılmış ve sıcaklık değeri ne olursa olsun su aktivitesi 0.64 olan ortamın en uygun depolamayı sunduğu belirlenmiştir [54].

Dondurarak kurutma yönteminde kaplama materyali olarak gliserol (%20 kütle/hacim) kullanımı da denenmiş ve elde edilen toz ürün çilek reçeli, domates püresi ve hamburger ekmeğinde doğal renk maddesi olarak kullanılmıştır. Farklı pH değeri değerlerinde yapılan stabilite çalışmasında betasiyanin ve betaksantinlerin asidik ortamlarda daha stabil kaldığı ve doğal renk maddesi olarak kullanımında en uygun gıdanın hamburger ekmeği olduğu görülmüştür [55].

Kırmızı pancar betalainlerinin enkapsülasyonunda en fazla kullanılan püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma yöntemlerinin karşılaştırılması ve en uygun enkapsülasyon yönteminin belirlenmesi için de çalışmalar yapılmaktadır. Dondurarak kurutma yönteminin yüksek maliyet gerektirmesi, püskürtmeli kurutmaya göre daha az tercih edilmesine sebep olsa da enkapsülasyon işlemi sonunda dondurarak kurutma ile elde edilen toz ürünlerin betalain miktarlarının püskürtmeli kurutucu ile elde edilenlerden 1.3 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ksantan gam içeren maltodekstrinin kaplama materyali olarak kullanılması sonucu oluşturulan toz ürünlerin yaklaşık 9 mL ile en yüksek betalain miktarına sahip olduğu görülmüştür [56]. Ksantan gam (%0.5) ve maltodekstrinin (%99.5) birlikte kullanıldığı bir başka çalışmada ise betalain stabilitesine farklı pH değerlerinin etkisi incelenmiş ve toz ürünler 7 gün 30°C'de depolanmıştır. Maltodekstrin ve püskürtmeli kurutucu kullanılarak elde edilen toz ürünler için pH değeri etkili olurken, diğerleri için betalain stabilitesine pH değeri'nin etkisi gözlemlenmemiştir. Toz ürünlerin en stabil olduğu pH değeri 4-5 olarak bulunmuştur. 7 gün depolama sonucunda dondurarak kurutulan toz ürünlerin diğerlerine göre daha stabil olduğu bulgulanmıştır. Maltodekstrinin ksantan gam ile birlikte kullanımını yüksek betanın stabilitesi göstermiştir [57]. Kırmızı pancardan elde edilen renk maddelerinin enkapsülasyonunda kullanılan bir diğer yöntem çift katlı emülsiyonlardır. Kırmızı pancarın sulu çözeltisi su/yağ/su emülsiyon yöntemi kullanılarak enkapsüle edilmiştir. Çift katlı emülsiyon matrisinin iç fazını kırmızı pancarın konsantre sulu çözeltisi, yağ fazını kolza tohumu yağı ve dış fazını polisakkarit çözeltisi oluşturmaktadır. Çift katlı emülsiyon betalain enkapsülasyonunda %89.1 ile yüksek verim göstermiştir. Oluşan kapsüllerin stabilitesinin incelenmesi amacıyla in vitro betalain salınımı incelenmiş ve 3 saatin sonunda salınım %35 olarak bulunmuştur. 3 saat sonrasında ise betalain salınımı durmuştur [58].

Doğada en iyi betalain kaynağı kırmızı pancar olarak görülse de amarant, kaktüs meyvesi ve pitayadan da betalain ekstraksiyonu yapılmakta ve elde edilen betalainlerin stabilitesi için yine enkapsülasyon işlemi kullanılmaktadır.

Amarant bitkisinde bulunan renk maddelerinin enkapsülasyonunda kaplama materyali olarak maltodekstrin (10-20 DE), doğal ve modifiye nişasta kullanılmaktadır. Püskürtmeli kurutma yöntemi ile renk maddelerinin toz ürün olarak elde edilmesi sağlanmıştır. Farklı kaplama materyalleri kullanılarak elde edilen bu toz ürünlerin depolama sırasında stabilitesi incelenmesi ve en yüksek stabilite sağlayan kaplama materyali ve depolama koşulunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, 25°C'de 16 hafta boyunca farklı bağıl nem değerlerine sahip ortamlarda stabilite çalışması gerçekleştirilmiştir. En yüksek pigment stabilitesi, hem %5 hem de %32 bağıl nem değerlerindeki ortamlarda, maltodekstrin (10 ve 25 DE) ile enkapsüle edilen toz ürünlerde görülmüştür [44].

Kaktüs meyvesi ise betalain eldesinde kırmızı pancardan sonra en çok kullanılan bitkilerdendir. Kaktüs meyvesinde bulunan indiksantin, maltodekstrin (%20 kütle/hacim) kullanılarak enkapsüle edilmiş ve stabilitesinin belirlenmesi amacıyla -20, 4 ve 20°C'lerde 6 ay depolanmıştır. Depolama sonunda, indiksantin enkapsülasyonu sayesinde stabilitesinin yüksek oranda arttırıldığı belirtilmiştir [59]. İndiksantin enkapsüle edildiği bir diğer çalışmada ise kaplama materyali olarak maltodekstrin ve inülin kullanılmıştır. Maltodekstrin ile yapılan enkapsülasyon işleminde 3:1 çekirdek materyal:kaplama materyali oranı ve 140°C hava giriş sıcaklığı optimum olarak bulunurken, inülin 120°C sıcaklıkta optimum sonuç vermiştir. 60°C'de 44 gün boyunca karanlıkta depolanan toz ürünlerdeki indiksantin yavaş bozunma gösterdiği ve betasiyaninden daha stabil olduğu belirlenmiştir [60].

Kaktüs meyvesini hammadde olarak kullanan Ruiz-Gutiérrez ve ark. [61], %15, 22.5 ve 30 konsantrasyonlarındaki çözünebilir lif (arpadan elde edilen [(1-3)(1-4) β-Dglucan pH değeri 5]) ile 160, 180 ve 200°C hava giriş sıcaklıkları kullanılarak enkapsülasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Hava giriş sıcaklığının ve çözünebilir lif konsantrasyonunun arttırılması ile betasiyanin miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. En yüksek betanın konsantrasyonu 160°C sıcakta %15 (kütlece) çözünebilir lif içeren toz ürünlerde, indiksantin konsantrasyonu ise aynı sıcaklıkta %30 (kütlece) çözünebilir lif içeren toz ürünlerde bulunmuştur [61].

Kaktüs meyvesi pulpunun (CP) soya proteini izolatı (SPI), maltodekstrin (MD) ve inülin (I) kullanılarak gerçekleştirilen enkapsülasyonunda, çekirdek materyali:kaplama materyali oranı 1:1-5:1, hava giriş sıcaklığı 100-140°C olarak denenmiştir. Elde edilen toz ürünlerin betasiyanin ve betaksantin enkapsülasyon verimi incelenmiştir. CP-SPI ve CP-(SPI+MD) sistemleri için optimum koşullar, çekirdek materyali:kaplama materyali oranı 5:1, hava giriş sıcaklığı 100 ve 140°C olarak bulunmuştur. CP-(SPI+I) sistemi için 4:1 çekirdek

materyali:kaplama materyali oranı ve 105°C en fazla enkapsülasyon verimi sağlamıştır. Toz ürünlerin stabilitesinin belirlenmesi amacıyla 60°C'de karanlık ortamda 56 gün boyunca depolama yapılmış ve depolama süresince betaksantin formunun betasiyanin formuna göre daha stabil olduğu belirlenmiştir. En yüksek pigment stabilitesi gösteren toz ürün CP-(SPI+MD) sistemi olmuştur (betasiyanin %53, betaksantin %93) [62].

Betalainlerin enkapsülasyonunda kullanılan bir yöntem de iyonik jelleşmedir. Hem kaktüs meyvesi hem de pitayanın renk maddeleri bu yöntemle enkapsüle edilmiştir. Pitaya suyu sodyum aljinat ile karıştırılmış (%1 kütle/hacim) ve toplama çözeltisi olan kalsiyum klorür çözeltisine (%1 kütle/hacim) damlatılarak enkapsüle edilmiştir. Elde edilen kapsüller izotonik çözelti (0.1 M sodyum klorür, 0.3 M sükröz) içerisinde, çözelti:kapsül oranı 3 mL/g olacak şekilde 4°C'de ve karanlıkta 120 saat boyunca depolanmıştır. Kapsüllerden çözeltiye geçen betalain difüzyonu 24 saat sonunda dengeye ulaşmış ve 120. saat sonunda kapsüllerdeki betalain miktarı istatistiksel olarak değişmemiştir [63]. Kaktüs meyvesi suyu ise sodyum aljinat ve siğir serum albümini ile ayrı ayrı karıştırılarak kalsiyum klorüre damlatılmış ve elde edilen kapsüller 25 ve 50°C'lerde farklı bağıl nemlerde 25 gün depolanmıştır. Depolama sonunda betalain stabilitesine nemin olumsuz etki gösterdiği kanıtlanmıştır. Depolama boyunca en yüksek stabilite, kalsiyum-aljinat kapsüllerinde 25°C ve %34.6 bağıl nem değerinde depolama sonucu elde edilmiştir. Elde edilen kapsüllerin düşük nem yüzdelerinde daha stabil olduğu belirlenmiştir. Depolama sıcaklığının artırılması pigment stabilitesini olumsuz yönde etkilemiştir [64].

Pitaya betalainlerinin enkapsülasyonunda genellikle püskürtmeli kurutma ve maltodekstrin kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda püskürtmeli kurutma için en uygun hava giriş sıcaklığının 155°C, en uygun kaplama materyalinin ise düşük kristalizasyon dereceli maltodekstrin (%20 konsantrasyonda) olduğu belirlenmiştir [65]. Dirençli maltodekstrin kullanımı ise enkapsülasyon sonunda yüksek betalain alıkonması sağlasa da 3 ay depolama sonunda stabilitesini yitirmiştir [66]. Maltodekstrinin pektin ile birlikte (60:30) kullanımı ise betalain stabilitesini arttırmıştır [67].

Betalainlerin enkapsülasyonunda denenen değişik yöntemler sonucunda, yüksek stabilitede ürün elde edilebilmektedir. Yapılan çalışmalar, enkapsülasyon işleminin betalain stabilitesini artırdığını göstermektedir. Özellikle düşük su aktivitesinde muhafaza edilen ürünlerin daha stabil olduğu belirlenmiştir [50, 51]. Enkapsülasyonda, dondurarak kurutma yönteminin yüksek maliyeti ve uzun işlem süresi gerektirmesi nedeniyle en fazla püskürtmeli kurutma yöntemi kullanılmaktadır. Ancak, dondurarak kurutma sonucu enkapsüle edilen betalainlerin püskürtmeli kurutma yönteminden elde edilenlere göre daha stabil bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir [56, 57]. Betalain enkapsülasyonunda en uygun kaplama materyalinin düşük kristalizasyon dereceli maltodekstrin olduğu, maltodekstrinin arabik gam ve ksantan gam ile

kullanılmasının da toz ürün stabilitesini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir [52, 56, 57]. Çift katlı emülsiyon yöntemi ve iyonik jelleşme de betalain enkapsülasyonunda kullanılan diğer yöntemlerdir. Enkapsülasyon sonucu elde edilen ürünlerde depolama boyunca, betaksantin ve indiksantin formları, betasiyaninden daha stabildir [60, 62].

SONUÇ

Doğal renk maddeleri, artan tüketici bilinci sayesinde yapay renk maddelerinin yerine tercih edilmektedir ve doğada birçok bitkisel kaynaktan bulunmaktadır. Bu kaynaklardan biri de yüksek oranda betalain içeren kırmızı pancardır. Betalainler gıda endüstrisinde hem asidik hem de zayıf asidik özellik gösteren gıdalarda doğal renk maddeleri olarak kullanılmakta ve ticari önem taşımaktadır. Günümüzde kırmızı pancardan en kısa sürede en yüksek verimle betalain ekstraksiyonu için uğraşmaktadır. Ekstraksiyonda kullanılan çözgenlerin asitlendirilmesi betalain ekstraksiyonuna olumlu etki göstermektedir. Ayrıca sulu ekstraksiyon yöntemine ön işlem olarak kullanılan vurgulu elektrik alan uygulamaları ekstraksiyon hızını yüksek ölçüde hızlandırmıştır. Ultrases ve yüksek elektriksel kuvvet uygulamaları da kırmızı pancar betalainlerinin ekstraksiyon verimini arttıran yöntemlerden olmuştur. Ekstrakte edilen betalainlerin stabilitesinin sağlanmasında ise enkapsülasyon yöntemi oldukça etkilidir. Özellikle dondurarak kurutma yöntemi sayesinde yüksek stabilitede toz ürün elde edilebilmektedir. Elde edilen toz ürünlerde depolama boyunca betaksantin formu, betasiyaninden daha stabildir. Enkapsülasyon yöntemi ile betalainlerin stabilitesinin artırılması sayesinde gıdalarda doğal renklendirici olarak kullanımının artması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kujala, T., Loponen, J., Pihlaja, K. (2001). Betalains and phenolics in red beetroot (*Beta vulgaris*) peel extracts: extraction and characterisation. *Z Naturforsch C*, 56(5-6), 343-348.
- [2] Er, T. (2011). Kırmızı pancarın bazı fiziksel ve fitokimyasal özellikleri üzerine farklı kurutma sıcaklıklarının etkisi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [3] Eşiyok, D., Bozokalfa, M.K. (2007). Kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.) yetiştiriciliği ve besin içeriği. *Dünya Gıda*, <http://www.dunyagida.com.tr/haber/kirmizi-pancar-beta-vulgaris-l-yetistiriciligi-ve-besin-iceri/2283>.
- [4] Chawla, H., Parle, M., Sharma, K., Yadav, M. (2016). Beetroot: A health promoting functional food. *Inventi Rapid: Nutraceuticals*, (1), 1-5.
- [5] Anonim, (2017). Bügem Faaliyetleri. <http://www.tarim.gov.tr/> (29.09.2017).
- [6] Janiszewska, E., (2014). Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. *Powder Technology*, 64, 190-196.
- [7] Gengatharan, A., Dykes, G.A., Choo, W.S. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 645-649.

- [8] Kırca, A. (2004). Siyah Havuç Antosiyaninlerinin Bazı Meyve Ürünlerinde Isıl Stabilitesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- [9] Fletcher, A. (2006). Lycopene colorant achieves regulatory approval. <https://www.foodnavigator.com> (06.10.2017).
- [10] Gliszczynska-Świgło, A., Szymusiak, H., Malinowska, P. (2011). Betanin, the main pigment of red beet: Molecular origin of its exceptionally high free radical-scavenging activity. *Food Additives and Contaminants*, 23(11), 1079.
- [11] Azeredo, H., Santos, A., Spuza, A., Mendes, K., Andrade, M. (2007). Betacyanin stability during processing and storage of a microencapsulated red beetroot extract. *American Journal of Food*, 2(4), 307-312.
- [12] Stintzing, F.C., Carle, R. (2007). Betalains-emerging prospects for food scientists. *Trends in Food Science & Technology*, 18(10), 514-525.
- [13] Pavokovic, D., Krsnik-Rasol, M. (2011). Complex biochemistry and biotechnological production of betalains. *Food Technology and Biotechnology*, 49(2), 145.
- [14] Gandia-Herrero, F., Garcia-Carmona, F. (2013). Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments. *Trends in Plant Science*, 18(6), 334-343.
- [15] Herbach, K.M., Stintzing, F.C., Carle, R. (2006). Betalain stability and degradation-structural and chromatic aspects. *Journal of Food Science*, 71(4), 41-50.
- [16] Cemeroglu, B.S. (2013). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Bizim Grup Basımevi, Kızılay, Ankara.
- [17] Von Elbe, J.H., Schwartz, S.J. (1996). Colorants. In *Food Chemistry*, Edited by O.R. Fennema, Marcel Dekker, Inc., New York.
- [18] Wasserman, B.P., Eiberger, L.L., Guilfooy, M.P. (1984). Effect of hydrogen peroxide and phenolic compounds on horseradish peroxidase-catalyzed decolorization of betalain pigments. *Journal of Food Science*, 49, 536.
- [19] Shih, C.C., Wiley, R.C. (1981). Betacyanine and betaxanthine decolorizing enzymes in the beet (*Beta vulgaris* L.) root. *Journal of Food Science*, 47, 164.
- [20] Stintzing, F.C., Carle, C. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends Food Science Technology*, 15, 19.
- [21] Kanner, J., Harel, S., Granit, R. (2001). Betalains--a new class of dietary cationized antioxidants. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 49, 5178.
- [22] Celli, G.B., Brooks, M. (2016). Impact of extraction and processing conditions on betalains and comparison of properties with anthocyanins — A current review. *Food Research International*, 100(3), 501-509.
- [23] Paciulli, M., Medina-Meza, I.G., Chivara, E., Barbosa-Canovas, G.V. (2016). Impact of thermal and high pressure processing on quality parameters of beetroot (*Beta vulgaris* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 68, 98-104.
- [24] Jaafar, M.S. (1992). Studies on the biosynthesis of betalains in cell cultures of *Beta vulgaris* L. University of Edinburgh, Scotland.
- [25] Manus, V. (1994). Development and Characterisation of an Inducible System of Betalain Synthesis in Cell Cultures of Beetroot (*Beta vulgaris*). Dublin City University, Ireland.
- [26] Scotter, M. (2010). Review and Evaluation Of Available Methods of Extraction and Analysis For Approved Natural Colours In Food And Drink, London, 59-60.
- [27] Delgado-Vargas, F., Jiménez, A.R., Paredes-López, O. (2010). Natural pigments: Carotenoids, anthocyanins, and betalains — characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(3), 173-289.
- [28] Bruno, E., Campanone, Martino, M. (2012). Some functional properties of pigment extracts from red cabbage (*brassica oleracea*) and redbeet (*Beta vulgaris*). *Latin American Applied Research*, 42, 427-432.
- [29] Suganyadevi, P., Saravanakumar, M., Aravinthan, K.M., Arunkumar, A., Krishna, R.K., Karthikeyani, S. (2010). Extraction of betacyanin from red beet root (*Beta vulgaris* L.) and to evaluate its antioxidant potential. *Journal of Pharmacy Research*, 3(11), 2693-2696.
- [30] Sturzoiu, A., Stroescu, M., Stoica, A., Dobre, T. (2011). Betanine extraction from *Beta vulgaris*-experimental research and statistical modeling. *U.P.B. Sci. Bull.*, 73(1), 145-156.
- [31] Xu, H., Peng, Q., Yuan, F., Gao, Y. (2015). Mathematical modeling of betanin extraction from red beet (*Beta vulgaris* L.) by solid-liquid method. *International Journal of Food Engineering*, 11(1), 17-22.
- [32] Azeredo, H., Pereira, A., Souza, A., Gouveia, S., Mendes, K. (2009). Study on efficiency of betacyanin extraction from red beetroots. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 2464-2469.
- [33] Swamy, G.J., Sangamithra, A., Chandrasekar, V. (2014). Response surface modeling and process optimization of aqueous extraction of natural pigments from *Beta vulgaris* using Box-Behnken design of experiments. *Dyes and Pigments*, 111, 64-74.
- [34] Loginova, K.V., Lebovka, N.I., Vorobiev, E. (2011). Pulsed electric field assisted aqueous extraction of colorants from red beet. *Journal of Food Engineering*, 106(2), 127-133.
- [35] Lopez, N., Puertolas, E., Condon, S., Raso, J., Alvarez, I., 2009. Enhancement of the extraction of betanin from red beetroot by pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 60-66.
- [36] Luengo, E., Martinez, J.M., Alvarez, I., Raso, J. (2016). Effects of millisecond and microsecond pulsed electric fields on redbeet cell disintegration and extraction of betanines. *Industrial Crops and Products*, 84, 28-33.
- [37] Zvitov, R., Nussinovitch, A. (2005). Low DC electrification of gel-plant tissue 'sandwiches' facilitates extraction and separation of substances

- from *Beta vulgaris* beetroots. *Food Hydrocolloids*, 19(6), 997-1004.
- [38] Hunter, C.S., Kilby, N.J. (1988). Electroporation and ultrasonic techniques for harvesting secondary metabolites from plant cells in vitro. *Manipulating Secondary Metabolism in Culture*, Edited by R. J. Robins, & M. J. C. Rhodes, Cambridge University Press, New York, 285–290p.
- [39] Cardoso-Ugarte, G.A., Sora-Morales, M.E., Ballard, T., Liceaga, A. (2014). Microwave-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris*). *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 276-282.
- [40] Chethana, S., Nayak, C.A., Raghavarao, K.S.M.S. (2007). Aqueous two phase extraction for purification and concentration of betalains. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 679-687.
- [41] Chandrasekhar, J., Sonika, G., Madhusudhan, M.C., Raghavarao, K.S.M.S. (2015). Differential partitioning of betacyanins and betaxanthins employing aqueous two phase extraction. *Journal of Food Engineering*, 144, 156-163.
- [42] Sivakumar, V., Anna, J.L., Vijayeeswarri, J., Swaminathan, G. (2009). Ultrasound assisted enhancement in natural dye extraction from beetroot for industrial applications and natural dyeing of leather. *Ultrasonics Sonochemistry*, 16(6), 782-789.
- [43] Yıldız, H., Toprak, E. (2009). Meyve ve sebzelerden doğal renk maddelerinin ekstraksiyonu. *Akademik Gıda* 7(4): 28-34.
- [44] Cai, Y.Z., Corke, H. (2000). Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, 65(6), 1248-1252.
- [45] Janiszewska, E., Włodarczyk, J. (2013). Influence of spray drying conditions on beetroot pigments retention after microencapsulation process. *Acta Agrophysica*, 20(2), 343-356.
- [46] Khan, M.I. (2016). Stabilization of betalains: A review. *Food Chemistry*, 197, 1280-1285.
- [47] Bazarria, B., Kumar, P. (2016a). Optimization of spray drying parameters for beetroot juice powder using response surface methodology (RSM). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 1-8.
- [48] Bazarria, B., Kumar, P. (2016b). Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. *Food Bioscience*, 14, 21-27.
- [49] Kaimainen, M., Laaksonen, O., Järvenpää, E., Sandell, M., Huopalahti, R., 2015a. Consumer acceptance and stability of spray dried betanin in model juices. *Food Chemistry*, 187, 398-406.
- [50] Pitalua, E., Jimenez, M., Vernon-Carter, E.J., Beristain, C.I. (2010). Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. *Food and Bioproducts Processing*, 88, 253-258.
- [51] Guadarrama-Lezama, A.Y., Cruz-Olivares, J., Martinez-Vargas, S.L., Carrillo-Navas, H., Roman-Guerrero, A., Perez-Alonso, C. (2014). Determination of the minimum integral entropy, water sorption and glass transition temperature to establishing critical storage conditions of beetroot juice microcapsules by spray drying. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13(2), 405-416.
- [52] Chranioti, C., Nikoloudaki, A., Tzia, C. 2015. Saffron and beetroot extracts encapsulated in maltodextrin, gum Arabic, modified starch and chitosan: Incorporation in a chewing gum system. *Carbohydrate Polymers* 127: 252-263.
- [53] Šaponjac, V.T., Canadanovic-Brunet, J., Cetkovic, G., Jakišić, M., Djilas, S., Vulic, J., Stajcic, S. (2016). Encapsulation of Beetroot Pomace Extract: RSM Optimization, Storage and Gastrointestinal Stability. *Molecules*, 21(5), 1-16.
- [54] Serris, G.S., Biliaderis, C.G. (2001). Degradation kinetics of beetroot pigment encapsulated in polymeric matrices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(8), 691-700.
- [55] Ibraheem, A.A., Makpoul, K.R., Amira, M.S. (2015). Improving Red Color of Some Food Products Using Red Beet Powder. *International Journal of Science and Research*, 5(12), 2319-7064.
- [56] Ravichandran, K., Palaniraj, R., Saw, N.M.M.T., Gabr, M.M.A., Ahmed, A.R., Knorr, D., Smeranska, I. (2014). Effects of different encapsulation agents and drying process on stability of betalains extract. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2216-2221.
- [57] Antigo, J., Bergamasco, R., Madrona, G. (2017). Effect of pH on the stability of red beet extract (*Beta vulgaris* L.) microcapsules produced by spray drying or freeze drying. *Food Science and Technology*, 38(1), 72-77.
- [58] Kaimainen, M., Marze, S., Järvenpää, E., Anton, E. (2015b). Encapsulation of betalain into w/o/w double emulsion and release during in vitro intestinal lipid digestion. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 899-904.
- [59] Gandia-Herrero, F., Jimenez-Atienzar, M., Cabanes, J., Garcia-Carmona, F., Escribano, J. (2010). Stabilization of the bioactive pigment of opuntia fruits through maltodextrin encapsulation. *J. Agric. Food Chemistry*, 2010(58), 10646-10652.
- [60] Saéñz, C., Tapia, S., Cháve, J., Robert, P. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, 114(2), 616-622.
- [61] Ruiz-Gutiérrez, M.G., Amaya-Guerra, C.A., Quintero-Ramos, A., Ruiz-Anchondo, T., Gutiérrez-Urbe, J.A., Baez-González, J.G., Lardizabal-Gutiérrez, D., Campos-Venegas, K. (2014). Effect of soluble fiber on the physicochemical properties of Cactus Pear (*Opuntia ficus indica*) encapsulated using spray drying. *Food Sci. Biotechnol.*, 23(3), 755-763.
- [62] Robert, P., Torres, V., Garcia, P., Vergara, C., Saenz, C. (2015). The encapsulation of purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) pulp by using polysaccharide-proteins as encapsulating agents. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 1039-1045.
- [63] Rodríguez-Sánchez, J.A., Cuatzo-Lozano, M.I., Perez-Loredo, M.G., Abarca-Sarro, D.I., Navarro,

- Y.G. (2017). Alginate Encapsulation as a Preservation Method of Pitaya Fruit Juice (*Stenocereus spp.*). *Journal of Food Science and Engineering*, 7, 127-134.
- [64] Carolina-Otálora, M., Carriazo, J.G., Iturriaga, L., Osorio, C., Nazareno, M.A. (2016). Encapsulating betalains from *Opuntia ficus-indica* fruits by ionic gelation: Pigment chemical stability during storage of beads. *Food Chemistry*, 202, 373-382.
- [65] Tze, N.L., Han, C.P., Yusof, Y.A., Ling, C.N., Talib, R.A., Taip, F.S., Aziz, M.G. (2012). Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. *Food Sci. Biotechnol*, 21(3), 675-682.
- [66] Shaaruddin, S., Ghazali, H.M., Mirhosseini, S.H., Muhammad, K. (2017). Stability of betanin in pitaya powder and confection as affected by resistant maltodextrin. *LWT - Food Science and Technology*, 84, 129-134.
- [67] Garcia-Lucas, K.A., Mendez-Lagunas, L.L., Rodriguez-Ramirez, J., Campanella, O.H., Patel, B.K., Barriada-Bernal, L.G. (2016). Physical properties of spray dried *Stenocereus griseus* pitaya juice powder. *Journal of Food Process Engineering*, 40, 1-9.
-