

SU AKTİVİTESİNİN VE FARKLI KURUTMA SİSTEMLERİNİN BİYOAKTİF BİLEŞENLERİN STABİLİTELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Aslı Yıldırım, Mustafa Duran, Mehmet Koç*

Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 09010, Aydın, Türkiye

Geliş / *Received*: 30.01.2018; Kabul / *Accepted*: 12.04.2018; Online baskı / *Published online*: 18.05.2018

Yıldırım, A., Duran, M., Koç, M.. (2018). Su aktivitesinin ve farklı kurutma sistemlerinin biyoaktif bileşenlerin stabiliteeleri üzerine etkisi. *GIDA* (2018) 43 (3): 512-522 doi: 10.15237/gida.GD18023

ÖZ

Gıdaların yapısında bulunan temel bileşenlerden biri olan su, gıdanın kalite özellikleri ve genel kabul edilebilirliği üzerinde son derece etkilidir. Ancak gıdanın yapısını ve depolama stabilitesini etkileyen fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve enzimatik reaksiyonlar göz önüne alındığında gıdanın yapısında yer alan su miktarından çok su aktivitesi (a_w) ifadesi önem kazanmaktadır. Pek çok gıdanın yapısında yer alan fenolik bileşikler başta olmak üzere, terpen ve terpenoidler ile alkaloidler gibi biyoaktif bileşenler su aktivitesinden etkilenmektedirler. Kurutma ve dondurma gibi prosesler ile ortama şeker veya tuz ilavesi gibi uygulamalarla suyun moleküler mobilitesi azaltılarak raf ömrü arttırılmaktadır. Su aktivitesinin yüksek olması özellikle fenolik bileşikler gibi biyoaktif bileşenlerin depolama stabiliteelerini olumsuz yönde etkilemektedir. Enkapsülasyon teknolojisi ile gıda maddesi bir kaplama materyali ile immobilize edilmekte ve su aktivitesi düşürülerek biyoaktif bileşenlerin depolama stabiliteeleri arttırılmaktadır. Bu derlemede gıdaların yapısında yer alan bazı biyoaktif bileşenler üzerine a_w 'nin etkileri ile ilgili bilgi verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyoaktif bileşenler, enkapsülasyon, su aktivitesi

THE EFFECT OF WATER ACTIVITY AND DIFFERENT DRYING SYSTEMS ON THE STABILITY OF BIOACTIVE COMPOUNDS

ABSTRACT

Water, attributed as a major component of many foodstuffs, is considerably influential on quality characteristics and overall acceptability of foodstuffs. However, considering the physical, chemical, microbiological and enzymatic reactions that affect the structure and storage stability of a food, the term water activity (a_w) becomes crucial instead of water content of the foodstuff. Many phenolic compounds, including terpenes and terpenoids and alkaloids are mainly affected by a_w . Different approaches, including freezing and drying processes and the addition of sugar or salt, are applied to reduce the molecular mobility and thus to increase shelf life. High a_w lead to a poor storage stability of bioactive compounds such as phenolics. Using encapsulation technology, the foodstuff is immobilized within a coating material and the storage stability of the bioactive components is increased by reducing a_w . In this review, general information is provided about the effects of a_w on food bioactive components stability.

Keywords: Bioactive compounds, encapsulation, water activity

* Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*;

✉ mehmetkoc@adu.edu.tr

☎ (+90) 256 213 7503

☎ (+90) 256 213 6686

GİRİŞ

Su, gıdaların güvenilirliğini, stabilitesini, kalitesini ve fiziksel özelliklerini etkileyen temel bileşenlerden biri durumundadır (Lewicki, 2004). Gıdaların yapısında yer alan suyun miktarı oldukça geniş bir aralıkta yer almakta olup, %98'lerin üzerine çıkabilmektedir. 1950'li yıllardan önce su içeren gıdaların pek çok özelliği "su içeriği" üzerinden ifade edilmiştir. Ancak su içeriğinden ziyade "su aktivitesi" (a_w) ifadesinin fizyolojik işleyiş, teknolojik performans ve kalite üzerine daha doğru bir ölçüm sağladığı ifade edilmektedir (Slade vd., 1991). Gıdanın nem içeriğinden ziyade su aktivitesinin (a_w) referans parametre olarak alınmasının başlıca nedenleri; su aktivitesinin mikroorganizmaların gelişimi üzerine belirleyici faktör olması, su aktivitesinin fiziksel, kimyasal ve enzimatik pek çok degradasyon reaksiyonu üzerine etkili olması, karmaşık gıda sistemlerinde nem migrasyonunun nem miktarından çok su aktivitesi ile ilişkili olması, nem sorpsiyon izotermelerinden elde edilen tek tabakanın kurutulmuş gıdaların nem içeriği ile ilgili bir gösterge olması ve su aktivitesi ölçümünün nem miktarı ölçümünden daha kolay olması ile birlikte ölçümün gıdaya herhangi bir zarar vermemesi olarak belirtilmektedir (Maltini vd., 2003).

Son yıllarda gıda endüstrisi daha sağlıklı ve daha besleyici gıdaların araştırılması ve geliştirilmesine odaklanmış durumdadır (Madureira vd., 2014). Sağlık üzerine olan olumlu etkileri çeşitli çalışmalarda bildirilmiş olan biyoaktif bileşenler, fizyolojik ve hücrel aktiviteleri etkileyerek fonksiyonel özellik gösteren ikincil metabolitlerdir. Fitokimyasallar olarak da adlandırılan biyoaktif bileşenler bitki ekstraktlarından elde edilmekte olup üç ana kategoride sınıflandırılmaktadırlar. Bunlar; terpen ve terpenoidler, alkaloidler ve fenolik bileşiklerdir (Lagos vd., 2015). Bu derlemede fenolik bileşikler başta olmak üzere, gıda maddelerinin yapılarında yer alan biyoaktif bileşiklerin stabiliteyi üzerine su aktivitesinin etkisine ve stabiliteyi arttırmaya yönelik çalışmalara ilişkin bilgi sunulmuştur.

Su aktivitesinin fenolik bileşikler üzerine etkisi

Fenolik bileşikler sekonder bitkisel metabolitler olup; meyve, sebze ve diğer gıdaların hem duyuşal

hem de besleyicilik özelliklerini önemli düzeyde etkilemektedirler. Meyve, sebze, kahve, çay, bira, şarap ve çikolata gibi pek çok gıdada bulunan fenolik bileşikler yapılarına göre dört temel gruba ayrılmaktadırlar. Bunlar fenolik asitler, flavonoidler, stilbenler ve lignanlardır (Maqsood vd., 2014; Zhao vd., 2016).

Fenolik bileşiklerin sağlık açısından kanser, kardiyovasküler rahatsızlıklar ve nörodejeneratif rahatsızlıklar gibi dejeneratif hastalıklara karşı koruyucu etki gösterdiği literatürde bildirilmiştir (Xiao vd., 2013). Fenolik bileşiklerin bu özellikleri antioksidatif özellikleri ile ilişkilendirilmektedir (Zhao vd., 2016).

Polifenollerin sağlığa yararlı özelliklerini muhafaza etmek amacıyla yaygın olarak uygulanan yöntemlerden bir tanesi, bir matriks veya membran içerisine katı partiküller şeklinde enkapsüle edilmeleridir (Rijo vd., 2014). Enkapsülasyon işlemi genel olarak işleme ve depolama sırasında biyoaktif bileşenlerin stabiliteyi korumak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Enkapsülasyon prosesi aynı zamanda, gıda matrisleri ile istenmeyen reaksiyonları önlemekte, bu sayede stabiliteyi arttırmakta ve enkapsüle edilmiş bileşiğin kontrollü salınımına imkan sağlamaktadır (Nedovic vd., 2011). Ek olarak enkapsülasyon işlemi ile birlikte arzu edilmeyen tat ve aromaya neden olan bileşikler maskelenebilmekte ve aktif bileşiklerin biyoaktif formlarda gastrointestinal sistemde salınımlarının gerçekleşmesi sağlanmaktadır (Stojanovic vd., 2012; McClements, 2015). Gıdaların yapısında bulunan biyoaktif bileşenler de fenolik bileşikler başta olmak üzere depolama esnasında stabilitenin maksimum düzeyde korunabilmesi amacıyla sıklıkla enkapsüle edilmektedirler.

Çam vd. (2014) nar kabuğunda bulunan fenolik bileşikler enkapsüle edilmiş ve yapıda bulunan fenolik bileşiklerin depolama stabiliteyi artırılmış örneklerdeki fenolik bileşiklerin, enkapsüle edilmemiş olanlara göre depolama stabiliteyi artırarak daha yüksek olduğu bulgulanmıştır. Benzeri bir çalışma Aizpurua-Olaizola vd. (2016) tarafından yapılmış, çalışmada polifenollerce zengin olduğu

bildirilen şarap üretimi sırasında ortaya çıkan atıkların ekstraktları enkapsüle edilmiş ve depolama sırasında polifenollerin stabiliteyi araştırmıştır. Enkapsülasyon yönteminden ve uygulanan depolama koşullarından bağımsız olarak, enkapsüle edilmiş polifenollerin depolama süresince enkapsüle edilmemiş olanlara kıyasla daha stabil olduğu bulgulanmıştır. Pérez-Ramírez vd. (2015) yaptıkları çalışmada, bamya çiçeğinden (*Hibiscus sabdariffa* L.) yapılan bir içecekte bulunan fenolik maddelerin stabiliteyi üzerine stevia ve sitrik asit ilavesinin etkisini araştırmışlardır. Stevia ilavesinin depolama esnasında, ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyen kahverengi renkli kalkonların oluşumunu azalttığı tespit edilmiş, bunun nedeninin ise su aktivitesinde meydana gelen azalma olabileceği bildirilmiştir.

Kaplama materyalinin su aktivitesine olan etkisi Laine vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir. Bu çalışmada *Rubus chamaemorus*'tan elde edilen fenolik bileşikler farklı molekül ağırlığına sahip maltodekstrinler içerisine enkapsüle edilmiş ve depolama stabiliteyi incelenmiştir. Sonuç olarak maltodekstrinler arasında, molekül ağırlığının artmasıyla birlikte veya dekstroz eşdeğerliği değerinin azalmasıyla camsı geçiş sıcaklığının yükseldiği ve enkapsüle edilen meyvede bulunan tüm fenolik bileşenlerin yüksek buhar basıncına sahip ortamda depolandıklarında olumsuz etkilendikleri tespit edilmiştir. Mikroenkapsülasyon işleminin ise depolama stabilitesini arttırdığı tespit edilmiştir. Mishra vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada ise bir tür erik (*Spondia pinnata*) suyu püskürtmeli kurutma yöntemi ile kurutulmuş ve depolama stabilitesi incelenmiştir. Çalışmada üretilen meyve suyu tozlarının su aktiviteyi 0.20-0.32 aralığında değişim göstermiştir. Maltodekstrin ilavesi ortamdaki serbest su miktarını azaltmış, bu durum ise üretilen toz ürünün su aktivitesinin azalmasına neden olmuştur.

Su aktivitesi özellikle camsı geçiş sıcaklığını (T_g) doğrudan etkilemektedir. T_g , camsı faz ile plastik fazı ayıran önemli bir ifadedir. Ürünün sıcaklığı camsı geçiş sıcaklığından fazla olduğu durumlarda üründe plastikleşme meydana gelmekte ve ürünün yapısı bozulmaktadır. Depolama esnasında uçucu

bileşen kaybı yaşanmaması için matrisin camsı fazda tutulması gerekmektedir. Camsı faz ise depolama koşullarına bağlı olarak değişmekte olup, depolama esnasında nem ve sıcaklık artışı T_g 'nin düşmesine neden olmaktadır. Sagis (2015) yüksek molekül ağırlığına sahip kaplama maddelerinin kullanımının ve düşük nemin yapıda bulunan bileşenlerin moleküler difüzyonunu azalttığını ve bununla birlikte camsı geçiş sıcaklığının arttığını bildirmiştir. Mosquera vd. (2012) yaptıkları çalışmada su içeriğinin T_g ile olan ilişkisini incelemişlerdir. Deneyde çilek posası kullanılmış ve T_g 'nin 20°C olduğu kritik a_w değerini arttırmak için gam arabik veya maltodekstrin kullanılmıştır. Sonuç olarak sadece çilek posası kullanıldığında kritik a_w değeri 0.094 iken, çilek posası maltodekstrin ile birlikte kullanıldığında 0.237, gam arabik ile birlikte kullanıldığında ise 0.341 olduğu gözlenmiş ve gam arabik ilave edilen örneklerin stabilitesinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Galmarini vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada kırmızı şarap tozunun depolama esnasında fenolik bileşenlerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Kırmızı şarap (*Cabernet Sauvignon*) örneğine maltodextrin (DE 10) ilave edildikten sonra şarap dondurularak kurutulmuştur. Üretilen kırmızı şarap tozu 0.053 ve 0.330 su aktivitesine (a_w) sahip ortamlarda muhafaza edilmiştir. Çalışma sonunda hem yüksek hem de düşük su aktivitesi değerlerinde şarap tozunda bulunan fenoliklerden gallik asit, kaftarik asit, kuersetin 3-G, kafeik asit ve resveratrol miktarlarının sabit kaldığı tespit edilmiştir. Benzer bir sonuç şarap tozunda bulunan kateşinler için Galmarini vd. (2013) tarafından bildirilmiş ve su aktivitesinin 0.33 olduğu durumda epigallokateşin için maksimum degradasyon (% 61) gözlenmiştir. Li vd. (2011) ise kateşin degradasyonu üzerine su aktivitesi ve sıcaklığın etkili olduğunu bildirmişlerdir. Sıcaklığın degradasyon üzerine su aktivitesine göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca a_w değerinin 0.41 olduğu durumda epigallokateşinin, epikateşin ve epikateşin gallata kıyasla en yüksek degradasyon oranına sahip olduğu belirlenmiştir.

Li vd. (2016) gerçekleştirdikleri bir çalışmada, etil bütirat, laktoz/peynir altı suyu protein izolatu karışımının kaplama materyali olarak kullanıldığı ortamda püskürtmeli kurutucu ile enkapsülasyon işlemi gerçekleştirerek aroma maddesi salınımının su aktivitesi ile ilişkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak a_w 0.33 olduğu durumda, toz üründe herhangi bir aroma salınımı söz konusu olmazken, su aktivitesi 0.54 ve 0.65 değerlerine ulaştığında laktoz kristallenmesinden dolayı aroma toz partiküle tutunamamış ve aroma kaybı meydana gelmiştir.

Gıdanın kendisinin yanı sıra ambalaj materyali de su aktivitesi üzerine etki eden önemli bir faktördür. Maisuthisakul ve Gordon (2014) tarafından yapılan çalışmada thai mangosu çekirdeği içinden elde edilen ekstraktlar depolama süresince alüminyum folyo veya polietilen ambalajlarda muhafaza edilmiş ve depolama süresince su aktivitesi değerleri analiz edilmiştir. Çalışma sonunda polietilen ambalajda muhafaza edilen örneklerin fenolik bileşenlerinde daha yüksek oranda azalma görülmüştür. Bu durumun ise yüksek su aktivitesinden ve ortamda oksijen bulunmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. Kayacan vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada arı poleni sıcak havada veya vakum altında kurutulmuş biyoaktif bileşenlerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Çalışmada en düşük su aktivitesi 50°C'de sıcak hava uygulanarak gerçekleştirilen kurutma işlemi sonucu elde edilmiştir, ancak yapıda bulunan fenolik bileşikler ve diğer biyoaktif bileşenlerin stabilitesinin korunması açısından en uygun işlemin 45°C'de vakum altında kurutma işlemi olduğu belirtilmiştir. Wang vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise, farklı kurutma koşullarının fındıkta bulunan fenolik bileşikler, farklı biyoaktif bileşenler ve fındığın kalite özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen nem içeriği ve su aktivitesi değerleri uygulanan işlem koşullarına göre değişiklik göstermekle birlikte, ürün kalitesinin maksimum düzeyde muhafaza edilebilmesi için kurutma sıcaklığının ortalama düzeyde (43°C veya 49°C), bağıl nemin ise % 40 olması gerektiği vurgulanmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalarda fenolik bileşikler üzerine depolama sırasında su aktivitesinin

etkisine ilişkin yapılan çalışmaların önemli bir kısmı antosiyaninlerin enkapsülasyonu ve depolama sırasında stabilitesini arttırmaya yoğunlaşmış durumdadır.

Su aktivitesinin antosiyaninler üzerine etkisi

Antosiyaninler, doğal yapıdaki pigmentler olup flavonoidler grubuna ait olan biyoaktif bileşenlerdir. Genel olarak meyve ve sebzelerde bulunmaktadır. Antosiyaninler, izole edildiklerinde yapıları kararsız hale gelmekte ve kolaylıkla bozulabilmektedir (Reque vd. 2014). Literatürde yer alan farklı çalışmalarda antosiyanin stabilitesini etkileyen başlıca faktörlerin proses ve depolama sıcaklıkları, su aktivitesi ve gıda matriksi gibi etmenler olduğu bildirilmiştir (Bruijn vd. 2016).

Antosiyaninlerin ve diğer fenolik maddelerin stabilitesinin artırılması amacıyla Rocha-Parla vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada kırmızı şarap (*C. sauvignon*), dondurularak kurutulmuş ve enkapsüle edilmiştir. Ardından depolama koşullarının stabilize üzerine etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucu a_w değerinin 0.11'den 0.58'e artmasıyla birlikte fenolik bileşenlerin kayıp oranlarının önemli düzeyde arttığını göstermiştir. Bruijn vd. (2015) çileklerin depolama stabilitesini arttırmak amacıyla vakum destekli mikrodalga kurutma işlemi uygulamışlardır. Kurutma işlemi ile taze çileklerin su aktivitesi 0.99'dan 0.64'e düşürülerek depolama stabilitesinin sağlandığı görülmüştür. Ancak mikrodalga ısıtma ve depolama işlemleri esnasında en dayanıksız bileşiklerin antosiyaninler olduğu, bu durumun ise dehidrate edilmiş çileklerin kalite parametresini belirlemede kritik bir faktör olduğu vurgulanmıştır.

Khazaei vd. (2014) safran taç yaprağında bulunan antosiyaninleri ekstrakte ederek, maltodekstrin ve gam arabik ile enkapsüle etmişler ve antosiyaninlerin depolama stabilitesini incelemişlerdir. Enkapsülasyon işlemi ile a_w azaltılmış ve depolama süresince antosiyaninlerin stabilitesinin arttığı gözlemlenmiş, bu durum ise moleküler mobilitenin azalması ve camsı formdaki matriksin viskozitesinin artması ile ilişkilendirilmiştir.

Tonon vd. (2010), püskürtmeli kurutucuda kurutulmuş açai (*Euterpe oleracea* Mart.) suyunun antosiyanin stabilitesine olan etkisini incelemişlerdir. Antosiyanin stabilitesinin hem sıcaklık hem de su aktivitesi ile ters orantılı olduğu, sıcaklık ve su aktivitesindeki artışın antosiyanin stabilitesini olumsuz yönde etkilediğini gözlemlemişlerdir. Bu olayı yüksek su aktivitesinin su mobilitesini arttırması ile gerçekleşen oksijen transferi hızının artması, bu durumun da antosiyanin degradasyonunu hızlandırdığı şeklinde açıklamışlardır. Castagnini vd. (2015) elmaya, yaban mersini suyundan elde ettikleri antosiyanini vakum emdirme tekniği ile emdirmişler ve örnekleri hem püskürtmeli kurutucuda hem de dondurarak kurutma yöntemi ile kurutarak bu iki ürünün antosiyanin stabilitesini incelemişlerdir. Sonuç olarak dondurarak kurutulan ürünlerindeki antosiyanin stabilitesinin daha fazla olduğu gözlenmiş bunun nedeni ise dondurarak kurutulan örneklerin a_w değerlerinin püskürtmeli kurutucuda kurutulan örneklere kıyasla daha düşük olması ile ilişkilendirilmiştir.

Kamiloğlu vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada hem tatlandırıcı ile hem de şeker kullanılarak 2 farklı tür reçel üretilmiş ve reçellerin antosiyanin miktarlarının depolama süresince nasıl değiştiği incelenmiştir. Çalışma sonunda şekerle yapılan reçellerin çok daha yüksek antosiyanini muhafaza edebildiği gözlenmiştir. Bu durumun nedeninin ise şekerle yapılan reçelin daha düşük su aktivitesine sahip olması ve düşük su aktivitesinin oksijen transfer katsayısını düşürmesi olduğu belirtilmiştir. Hernández-Herrero ve Frutos (2015), marmelatlar ile yaptıkları çalışmada, yüksek antosiyanin stabilitesi için sistemdeki su aktivitesinin düşük olması gerektiğini bildirmişlerdir. Samoticha vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada ise farklı kurutma metodlarının (dondurarak kurutma, vakum altında kurutma, geleneksel kurutma, mikrodalga kurutma, kombine metod ile kurutma) bir tür kirazın kimyasal kompozisyonu üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada en düşük su aktivitesinin dondurularak kurutulan örneklerde tespit edildiği belirtilmiş olup, en yüksek antosiyanin miktarı yine aynı örneklerde tespit edilmiştir.

Degradasyon reaksiyonlarının su varlığında gerçekleştiği literatürde bildirilmektedir (Agrawal, 2013), ancak Jiménez vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada karadut suyunda bulunan antosiyaninlerin 100-140°C deki degradasyon hızlarına su aktivitesinin etkisi incelenmiş ve çalışma sonunda genel kanının aksine, yüksek sıcaklıklarda su aktivitesindeki azalışın antosiyanin degradasyonunu hızlandırdığı tespit edilmiştir. Bu durumunun nedeninin ise antosiyanin degradasyonunun, HMF ile antosiyanin molekülünün polimerizasyon reaksiyonundan kaynaklanması ve düşük su aktivitesinin HMF oluşum ve polimerizasyon reaksiyonlarını olumlu yönde etkilemesinden dolayı su aktivitesindeki azalışın antosiyanin degradasyon hızını arttırması olduğunu belirtmişlerdir. Fenolik yapıda olan ve gıda renk maddesi olarak kullanılan bir başka biyoaktif bileşik ise betalainlerdir. Kumar ve Giridhar (2016), malabar ıspanağından ekstrakte edilen betalaini maltodekstrin ile püskürtmeli kurutucuda enkapsüle ederek depolama stabilitesini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda betalainin düşük su aktivitesinde yüksek stabiliteye sahip olduğunu ve su aktivitesindeki azalışın, betalain degradasyon hızını azalttığını bildirmişlerdir.

Su aktivitesinin fenolik yapıda olmayan biyoaktif bileşenler üzerine etkisi

Fenolik bileşenlerin dışında biyoaktif bileşenler içerisinde terpen ve terpenoidler ile alkaloidler yer almaktadır (Lagos vd, 2015). Terpenler, doğada en yaygın bulunan biyoaktif bileşenlerdir. Terpenler sınıfında, D-limonen, lakton, retinol, α -karoten ve β -karoten gibi bileşikler yer almaktadır (Singh ve Sharma, 2015).

Soottitawat vd. (2004), D-limoneni kaplama materyalleri ile püskürtmeli kurutucuda kurutarak enkapsülasyonunu gerçekleştirmişler ve D-limonenin mikrokapsül içerisinde salınım ve oksidasyon hızlarının bağl nem ile değişimini incelemişlerdir. Çalışmada su aktivitesi bir noktaya kadar (~ 0.75) arttıkça salınım hızı ve oksidasyon hızı artan D-limonenin, camsı geçiş fazında su aktivitesi artışı ile birlikte oksidasyon ve salınım hızlarının keskin bir şekilde düştüğü gözlenmiştir.

Bu olayın nedeni ise depolama esnasında cam kapsül matriksin plastik faza geçişine atfedilmiştir.

Bir başka önemli terpen molekülü karotenoidlerdir. Karotenoidler A vitamininin prekürsörleri olup, bitki ve meyvelerde bol miktarda bulunmaktadır. Karotenoidler sağlık üzerine olan olumlu etkilerinin yanı sıra gıdalarda renk verici madde olarak da kullanılmaktadır (Leong vd., 2017).

Rascón vd. (2011) farklı kaplama materyalleri ile enkapsülasyonunu gerçekleştirdikten sonra toz üründeki karotenoidin farklı su aktivitesindeki depolama stabilitesini araştırmışlardır. Denemede, gam arabik ile yapılan enkapsülasyon işlemi en yüksek stabilite a_w değerinin 0.274 olduğunda gözlenmiş, soya protein izolatu ile yapılan enkapsülasyon işlemi ise en yüksek stabilite değeri a_w 0.710 olduğunda tespit edilmiştir. Aynı zamanda 0.743 a_w değerinden daha yüksek a_w değerlerinde mikrokapsüllerin yapısal bütünlüklerini koruyamadıkları gözlenmiş ve toz partiküllerde yapışkanlık artışı ile birlikte aglomerasyon gözlenmiştir. Su aktivitesinin 0.743 olduğu durumda daha az karotenoid degradasyonu gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeninin ise mikrokapsüllerin hamur benzeri bir yapı kazanmaları ile oksijen transferini engellemeleri bu sayede karotenoid degradasyonunu yavaşlatmaları olduğu belirtilmiştir.

Lavelli ve Scarafoni (2012) domates kabuklarından elde ettikleri likopeni yeşil çay ekstraktlarında bulunan flavanol ile karıştırarak likopen ve flavonoidlerce zengin karışımı kuruttuktan sonra elde ettikleri ürünün depolama stabilitesini incelemek amacı ile farklı su aktivitesinde (0.17-0.75) depolamışlardır. Maksimum likopen degradasyonu su aktivitesi 0.17 olduğunda gözlenmiş ve su aktivitesi arttıkça likopen degradasyon hızının azaldığı tespit edilmiştir. Flavonoid degradasyonunun ise a_w değeri arttıkça arttığı saptanmıştır. Çalışmada ayrıca a_w değerinin kritik değerin (0.56) üzerine çıkmasıyla birlikte antioksidan aktivitenin azalmaya başladığı gözlenmiştir. Ng vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada ise bir tür yeşil bitki (*Clinacanthus nutans* Lindau) farklı kurutma

teknikleri (güneşte kurutma ve ısıtıcı pompa destekli güneşte kurutma) ile kurutulmuş ve bu işlemlerin flavonoid miktarları ve su aktivitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda ısıtıcı pompa destekli güneşte kurutma işlemi ile daha düşük su aktivitesi ile birlikte daha yüksek flavonoid tespit edildiği bildirilmiştir.

Fitosteroller çok çeşitli biyolojik aktiviteye sahip bileşiklerdir. Bu nedenle diyetle ve/veya gıda zenginleştirilmesinde kullanılabilecek önemli bir sterol grubudurlar. Ancak fitosterollerin yüksek erime noktasına sahip olmaları, kireç benzeri tatları ve sudaki düşük çözünürlükleri gıdaların bu bileşikler yönünden zenginleştirilmelerini güçleştirmektedir (Tolve vd., 2017). Bu nedenle, Tolve vd. (2017) yaptıkları çalışmada fitosterollerin olumsuz özelliklerini önlemek veya azaltabilmek için bu molekülleri; peynir altı suyu protein izolatları, inülin ve kitosan ile püskürtmeli kurutucu vasıtası ile enkapsüle etmişlerdir. Çalışmada, 0.2-0.4 su aktivitesi değerlerinde enkapsüle fitosteroller elde edilmiştir. Mikrobiyal büyüme için kritik su aktivitesi (0.6) değerinden daha düşük su aktivitesini elde edilerek mikrobiyal bozunma önlenirken, fitosterollerin oksidatif stabiliteyi arttırılamamıştır.

Sawalha vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada su aktivitesinin beta-sitosterol ve gama- oryzanol karışımının silindirik yapıda bir organojel oluşturabilme kapasitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Bu iki molekülün emilimi için silindirik yapının oluşumu gerekmektedir. Yağlı bir ortamda rahatlıkla silindirik yapı oluşturabilen bu iki biyoaktif bileşen emülsiyon ortamında su moleküllerinin β -sitosterol ile bağlanması ile β -sitosterol hidratlarını oluşturmakta ve hidratlanmış molekül ise silindirik yapı oluşturamadığı için emilimi azalmaktadır. % 0-25 aralığında 9 farklı tuz çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilen denemede sitosterol monohidrat oluşumunun su aktivitesi arttıkça azaldığı gözlenmiştir. Yapılan denemelerde % 25 tuz çözeltisi kullanıldığında, su aktivitesinin düşük olmasından dolayı beta sitosterollerden sitosterol monohidrat oluşumunun bir yıllık depolama süresince baskılandığı gözlenmiştir.

Su aktivitesi bazı durumlarda biyoaktif bileşiklerin oluşumunu dolaylı yoldan etkilemektedir. Örneğin lahanada bulunan bir glukosinolat olan sinigrinin, lahanada bulunan myrosinaz enzimi tarafından hidrolizi sonucu allil izotiyosiyanat açığa çıkmaktadır. Bu enzimatik reaksiyon ise su aktivitesinden doğrudan etkilenmektedir. Oliviero vd. (2012, 2014) gerçekleştirdikleri farklı çalışmalarda izotiyosiyonatin enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucu oluşumunun su aktivitesi ile değişimini incelemişlerdir. Bu çalışmalardan birincisinde, Oliviero vd. (2012) dondurarak kuruttukları, dondurulmuş brokolilerin myrosinaz aktivitesini inhibe ederek farklı su aktiviteyi (0.32-0.99) ve farklı sıcaklıklarda glukozitlerin enzimatik olmayan termal degradasyonunu incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, 60-100°C arasında su aktivitesi 0.32 olan örneklerde en düşük degradasyon hızının gerçekleştiğini, su içeriğinin artması ile de degradasyon hız sabitinin arttığını tespit etmişlerdir. 120°C deki termal degradasyonda ise termal degradasyon hızı en yüksek olan örneğin en düşük su içeriğine sahip olan örnek olduğu gözlenmiştir. Yapılan diğer çalışmada (Oliviero vd., 2014) ise brokolide bulunan myrosinaz enziminin aktivitesi üzerine su aktivitesinin ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Dondurarak kurutma işlemi ile dondurulan ürün, su aktivitesi 0.10-0.96 arasında değişen 4 farklı ortamda depolanmıştır. Deney sonucunda düşük su aktivitesi olan örneğin en yüksek enzim stabilitesi gösterdiği görülmüştür.

Su aktivitesinin vitaminler üzerine etkisi

Gıdaların raf ömrünü etkileyen faktörlerden biri vitaminlerin degradasyonudur. Depolama sırasında degrade olabilen başlıca vitaminler askorbik asit, tiamin ve riboflavindir (Bell, 2007). Guiamba vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada kızılotesi destekli haşlama işleminin kurutulmuş mangonun C vitamini ve β -karoten miktarı üzerine etkisi araştırılmıştır. Mango örneklerinin su aktivitesi kurutma işlemi ile 0.6'ya düşürülmüştür. Kurutma işlemi öncesinde kızılotesi ışınım destekli haşlama işlemi ile daha fazla C vitamininin korunabildiği ancak karotenoidlerin bu işlemde olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir. Maqsood vd. (2015) tarafından

yapılan çalışmada farklı kurutma işlemlerinin domatesin (*Lycopersicon esculentum* L.) fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Güneş altında kurutulan domatesler ile güneş enerjili kurutucuda kurutulan domateslere ait camsı geçiş sıcaklıklarının aynı olup, -12°C olduğu bulunmuştur. Ayrıca su aktivitesinin artmasıyla birlikte camsı geçiş sıcaklığının azaldığı tespit edilmiştir. Ek olarak, kurutma işlemi sırasında C vitamini kaybının meydana geldiği, bunun nedeninin ise C vitaminin suda çözünen bir vitamin olması ve kurutma işlemi sırasında suyun büyük ölçüde uzaklaşması olduğu belirtilmiştir. Lee ve Labuza (1975) tarafından yapılan çalışmada askorbik asit degradasyonunun su aktivitesinin bir fonksiyonu olduğu ve test edilen farklı su aktivitesi değerleri arasında (0.32-0.84) en yüksek degradasyon miktarının su aktivitesi 0.84 olduğu durumda tespit edildiği belirtilmiştir. Benzer şekilde Hiatt vd. (2010) hem sıcaklığın hem de su aktivitesinin C vitamini degradasyonu üzerine etkili olduğunu tespit etmiş ve kritik su aktivitesi değeri aşıldığında C vitamini stabilitesinin kayda değer düzeyde düştüğünü bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda, bu durumun nedeninin, reaksiyon ortamının viskozitesinin düşmesiyle birlikte oksijenin ve metal iyonlarının askorbik asite daha kolay difüze olabilmesi olduğu belirtilmiştir (Bell, 2007).

Benzer şekilde, yapılan araştırmalar riboflavin ve tiamin stabilitesinin su aktivitesinden etkilendiğini ve su aktivitesinin artmasıyla birlikte degradasyon oranının arttığını göstermiştir (Bell, 2007). Rockland ve Stewart (2013), tiaminin (vitamin B₁) işletme ve depolama stabilitesi üzerine yaptıkları çalışmada, tiamin molekülünün stabilitesini su aktivitesinden ziyade T_g'nin belirlediğini tespit etmişler ve düşük nem içerikli gıdaların olabildiğince yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahip olmalarını sağlayacak formülasyonlar kullanılarak üretilmeleri durumunda, tiaminin depolama stabilitesinin artabileceğini belirtmişlerdir. Bir başka B grubu vitamin olan riboflavin (vitamin B₂) ise düşük su aktivitesinde tamamen bozunmadan kalabildiği, su aktivitesindeki artışın ise degradasyonu hızlandırarak stabilizeyi olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir (Golbach vd., 2014).

SONUÇ

Biyoaktif bileşenler, sahip oldukları fonksiyonel özellikler nedeniyle insan diyetinde önemli bir role sahiptirler. Ancak biyoaktif bileşenlerin düşük miktarda oluşu, fiziksel, kimyasal ve enzimatik süreçlerden kolaylıkla etkilenmelerine ve gıda katkı maddesi olarak kullanılmalarının kısıtlanmasına yol açmaktadır. Bu nedenle biyoaktif bileşenlerin stabiliteilerinin özellikle depolama süresince maksimum düzeyde korunabilmesi amacıyla farklı kurutma teknikleri (güneşte kurutma, dondurarak kurutma, mikrodalga veya vakum destekli kurutma, farklı kombine yöntemlerle kurutma vb.) uygulanmaktadır. Bu işlemlerin temel amacını su aktivitesinin düşürülmesi ve raf ömrünün uzatılması oluşturmaktadır. Kurutma prosesi ile su yapıdan uzaklaştırılarak camsı geçiş sıcaklığı arttırılmakta bu sayede moleküler mobilite azaltılarak ürünün dayanıklılığı arttırılmaktadır. Ayrıca biyoaktif bileşenlerin stabiliteilerinin arttırılması amacı ile veya bazı özelliklerinin modifiye edilmesi amacıyla biyoaktif bileşenlerin genellikle bir duvar matriksi ile kaplanarak enkapsüle edilmeleri de yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Enkapsüle edilen biyoaktif bileşenin su aktivitesi düşürülmekte, duvar materyalinin oksijen bariyeri oluşturması ile oksijen ile teması kesilmekte, bu sayede ürün mikrobiyolojik ve kimyasal bozunmalara karşı daha stabil hale gelmektedir. Konu ile ilgili yapılacak yeni çalışmaların ürün kaybını minimum düzeyde tutacak şekilde raf ömrünü arttırmaya yönelik araştırmalara odaklanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Agrawal, A. (2013). Scope of betalains as a food colorant. *Int J Adv Sci Tech Res*, 3(3): 22-36.

Aizpurua-Olaizola, O., Navarro, P., Vallejo, A., Olivares, M., Etxebarria, N., Usobiaga, A. (2016). Microencapsulation and storage stability of polyphenols from *Vitis vinifera* grape wastes. *Food Chem*, 190: 614-621, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.05.117.

Bell, L.N. (2007). Moisture effects on food's chemical stability. *Water activity in foods. Fundamentals and applications*, Blackwell Publishing

and the Institute of Food Technologists, Iowa, USA, ISBN: 978-0-813-82408-6.

Bruijn, J., Rivas, F., Rodriguez, Y., Loyola, C., Flores, A., Melin, P., Borquez, R. (2016). Effect of vacuum microwave drying on the quality and storage stability of strawberries. *J Food Process Pres*, 40(5): 1104-1115, doi: 10.1111/jfpp.12691.

Castagnini, J.M., Betoret, N., Betoret, E., Fito, P. (2015). Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix. *LWT-Food Sci Technol*, 64(2): 1289-1296, doi: 10.1016/j.lwt.2015.06.044.

Çam, M., İçyer, N.C., Erdoğan, F. (2014). Pomegranate peel phenolics: microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. *LWT-Food Sci Technol*, 55(1): 117-123, doi: 10.1016/j.lwt.2013.09.011.

Galmarini, M.V., Maury, C., Mehinagic, E., Sanchez, V., Baeza, R.I., Mignot, S., Zamora, V.C., Chirife, J. (2013). Stability of individual phenolic compounds and antioxidant activity during storage of a red wine powder. *Food Bioprocess Tech*, 6(12): 3585-3595, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.081.

Golbach, J.L., Ricke, S.C., O'Bryan, C.A., Crandall, P.G. (2014). Riboflavin in Nutrition, Food Processing, and Analysis-A Review. *J Food Res*, 3(6), 23-35, doi:10.5539/jfr.v3n6p23.

Guiamba, I. R., Svanberg, U., Ahrné, L. (2015). Effect of infrared blanching on enzyme activity and retention of β -carotene and vitamin C in dried mango. *J Food Sci*, 80(6): 1235-1242, doi: 10.1111/1750-3841.12866.

Hernández-Herrero, J.A., Frutos, M.J. (2015). Influence of rutin and ascorbic acid in colour, plum anthocyanins and antioxidant capacity stability in model juices. *Food Chem*, 173: 495-500, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.10.059.

Hiatt, A.N., Taylor, L.S., Mauer, L.J. (2010). Influence of simultaneous variations in temperature and relative humidity on chemical stability of two vitamin C forms and implications

- for shelf life models. *J Agr Food Chem* 58(6): 3532-3540, doi: 10.1021/jf903342f.
- Jiménez, N., Bohuon, P., Dornier, M., Bonazzi, C., Pérez, A.M., Vaillant, F. (2012). Effect of water activity on anthocyanin degradation and browning kinetics at high temperatures (100-140°C). *Food Res Int*, 47(1): 106-115, doi: 10.1016/j.foodres.2012.02.004.
- Kamiloğlu, S., Paslı, A.A., Özcelik, B., Van Camp, J., Capanoglu, E. (2015). Colour retention, anthocyanin stability and antioxidant capacity in black carrot (*Daucus carota*) jams and marmalades: Effect of processing, storage conditions and in vitro gastrointestinal digestion. *J Funct Foods*, 13: 1-10, doi: 10.1016/j.jff.2014.12.021.
- Kayacan, S., Sağdıç, O., Doymaz, İ. (2018). Effects of hot-air and vacuum drying on drying kinetics, bioactive compounds and color of bee pollen. *J Food Meas Charact*, 1-10, doi: 10.1007/s11694-018-9741-4.
- Khazaei, K.M., Jafari, S.M., Ghorbani, M., Kakhki, A.H. (2014). Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydr polym*, 105: 57-62, doi: 10.1016/j.carbpol.2014.01.042.
- Kumar, S.S., Giridhar, P. (2016). Stabilization of bioactive betalain pigment from fruits of *Basella rubra* L. through maltodextrin encapsulation. *Madridge J Food Tech*, 1(1): 66-70, doi: 10.18689/mjft.2016-111.
- Lagos, J.B., Vargas, F.C., de Oliveira, T.G., da Aparecida Makishi, G.L., do Amaral Sobral, P.J. (2015). Recent patents on the application of bioactive compounds in food: a short review. *Curr Opin Food Sci*, 5: 1-7, doi.org/10.1016/j.cofs.2015.05.012.
- Laine, P., Kylli, P., Heinonen, M., Jouppila, K. (2008). Storage stability of microencapsulated cloudberry (*Rubus chamaemorus*) phenolics. *J Agr Food Chem*, 56(23): 11251-11261, doi: 10.1021/jf801868h.
- Lavelli, V., Scarafoni, A. (2012). Effect of water activity on lycopene and flavonoid degradation in dehydrated tomato skins fortified with green tea extract. *J Food Eng*, 110(2): 225-231, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.05.025.
- Lee, S.H., Labuza, T.P. (1975). Destruction of ascorbic acid as a function of water activity. *J Food Sci*, 40(2): 370-373, doi: 10.1111/j.1365-2621.1975.tb02204.x.
- Leong, H.Y., Show, P.L., Lim, M.H., Ooi, C.W., Ling, T.C. (2017). Natural red pigments from plants and their health benefits: A review. *Food Rev Int*, 1-20, doi: 10.1080/87559129.2017.1326935.
- Lewicki, P.P. (2004). Water as the determinant of food engineering properties. A review. *J Food Eng*, 61(4): 483-495, doi: 10.1016/S0260-8774(03)00219-X.
- Li, N., Taylor, L.S., Mauer, L.J. (2011). Degradation kinetics of catechins in green tea powder: effects of temperature and relative humidity. *J Agr Food Chem*, 59(11): 6082-6090, doi: 10.1021/jf200203n.
- Li, R., Roos, Y.H., Miao, S. (2016). Flavor release from spray-dried amorphous matrix: Effect of lactose content and water plasticization. *Food Res Int*, 86: 147-155, doi: 10.1016/j.foodres.2016.06.003.
- Maqsood, S., Benjakul, S., Abushelaibi, A., Alam, A. (2014). Phenolic compounds and plant phenolic extracts as natural antioxidants in prevention of lipid oxidation in seafood: A detailed review. *Compr Rev Food Sci F*, 13(6): 1125-1140, doi: 10.1111/1541-4337.12106.
- Maqsood, S., Omer, I., Eldin, A.K. (2015). Quality attributes, moisture sorption isotherm, phenolic content and antioxidative activities of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) as influenced by method of drying. *J Food Sci Technol*, 52(11): 7059-7069, doi: 10.1007/s13197-015-1827-y.
- Madureira, A.R., Gomes, A., Pintado, M. (2014). Functional Dairy Ingredients. In: *Dairy Microbiology and Biochemistry: Recent Developments*, Ozer B., Akdemir- Evrendilek G. (eds.), CRC Press, UK, pp. 288-322, ISBN: 9781482235029.
- Maisuthisakul, P., Gordon, M.H. (2014). Characterization and storage stability of the extract of Thai mango (*Mangifera indica* Linn.

- Cultivar Chok-Anan) seed kernels. *J Food Sci Technol*, 51(8): 1453-1462, doi: 10.1007/s13197-011-0604-9.
- Maltini, E., Torreggiani, D., Venir, E., Bertolo, G. (2003). Water activity and the preservation of plant foods. *Food Chem*, 82(1): 79-86, doi: 10.1016/S0308-8146(02)00581-2.
- McClements, D.J. (2015). Encapsulation, protection, and release of hydrophilic active components: Potential and limitations of colloidal delivery systems. *Adv Colloid Interfac*, 219: 27-53, doi: 10.1016/j.cis.2015.02.002.
- Mishra, P., Brahma, A., Seth, D. (2017). Physicochemical, functionality and storage stability of hog plum (*Spondia pinnata*) juice powder produced by spray drying. *J Food Sci Technol*, 54(5): 1052-1061, doi: 10.1007/s13197-017-2531-x.
- Mosquera, L.H., Moraga, G., Martínez-Navarrete, N. (2012). Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and arabic gum. *Food Res Int*, 47(2), 201-206, doi: 10.1016/j.foodres.2011.05.019.
- Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Proc Food Sci*, 1: 1806-1815, doi: 10.1016/j.profoo.2011.09.265.
- Ng, M.X., Tham, T.C., Gan, S.H., Chua, L.S., Aziz, L., Baba, M.R., Abdullah, L.C., Chin, N.L., Oliviero, T., Verkerk, R., Dekker, M. (2012). Effect of water content and temperature on glucosinolate degradation kinetics in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Food Chem*, 132(4): 2037-2045, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.04.099.
- Oliviero, T., Verkerk, R., Van Boekel, M.A.J.S., Dekker, M. (2014). Effect of water content and temperature on inactivation kinetics of myrosinase in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Food Chem*, 163: 197-201, doi: 10.1016/j.foodchem.2011.12.045.
- Ong, S.P., Law, C.L. (2017). *Clinacanthus nutans* Lindau: Effects of drying methods on the bioactive compounds, colour characteristics and water activity. *Dry Technol*, 36(2):146-159, doi: 10.1080/07373937.2017.1304410.
- Pérez-Ramírez, I.F., Castaño-Tostado, E., Ramírez-de León, J.A., Rocha-Guzmán, N.E., Reynoso-Camacho, R. (2015). Effect of stevia and citric acid on the stability of phenolic compounds and in vitro antioxidant and antidiabetic capacity of a roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) beverage. *Food Chem*, 172: 885-892, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.09.126.
- Rascón, M.P., Beristain, C.I., García, H.S., Salgado, M.A. (2011). Carotenoid retention and storage stability of spray-dried encapsulated paprika oleoresin using gum Arabic and soy protein isolate as wall materials. *LWT-Food Sci Technol*, 44(2): 549-557, doi: 10.1016/j.lwt.2010.08.021.
- Reque, P.M., Steffens, R.S., Jablonski, A., Flóres, S.H., Rios, A.D.O., de Jong, E.V. (2014). Cold storage of blueberry (*Vaccinium* spp.) fruits and juice: Anthocyanin stability and antioxidant activity. *J Food Compos Anal*, 33(1): 111-116, doi: 10.1016/j.jfca.2013.11.007.
- Rijo, P., Falé, P.L., Serralheiro, M.L., Simões, M.F., Gomes, A., Reis, C. (2014). Optimization of medicinal plant extraction methods and their encapsulation through extrusion technology. *Measurement*, 58: 249-255, doi: 10.1016/j.measurement.2014.08.045.
- Rocha-Parla, D.F., Lanari, M.C., Zamora, M.C., Chirife, J. (2016). Influence of storage conditions on phenolic compounds stability, antioxidant capacity and colour of freeze-dried encapsulated red wine. *LWT-Food Sci Technol*, 70: 162-170, doi: 10.1016/j.lwt.2016.02.038.
- Rockland, L.B., Stewart, G.F. (Eds.). (2013). *Water activity: influences on food quality*. Academic Press, London, UK, 950 p ISBN: 9781483219851.
- Sagis, L.M.C. (ed) (2015). *Microencapsulation and microspheres for food applications*. Academic Press, Netherlands, 434 p. ISBN: 978-0-12-800350-3.
- Samoticha, J., Wojdyło, A., Lech, K. (2016). The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in

- chokeberries. *LWT-Food Sci Technol*, 66: 484-489, doi: 10.1016/j.lwt.2015.10.073.
- Sawalha, H., den Adel, R., Venema, P., Bot, A., Flöter, E., van der Linden, E. (2012). Organogel-emulsions with mixtures of β -sitosterol and γ -oryzanol: influence of water activity and type of oil phase on gelling capability. *J Agr Food Chem*, 60(13): 3462-3470, doi:10.1021/jf300313f.
- Singh, B., Sharma, R.A. (2015). Plant terpenes: defense responses, phylogenetic analysis, regulation and clinical applications. *Biotech*, 5(2): 129-151, doi: 10.1007/s13205-014-0220-2, doi: 10.1007/s13205-014-0220-2.
- Slade, L., Levine, H., Reid, D.S. (1991). Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Crit Rev Food Sci*, 30(2-3): 115-360, doi: 10.1080/10408399109527543.
- Sootitiantawat, A., Yoshii, H., Furuta, T., Ohgawara, M., Forssell, P., Partanen, R., Linko, P. (2004). Effect of water activity on the release characteristics and oxidative stability of D-limonene encapsulated by spray drying. *J Agr Food Chem*, 52(5): 1269-1276, doi: 10.1021/jf035226a.
- Stojanovic, R., Belscak-Cvitanovic, A., Manojlovic, V., Komes, D., Nedovic, V., Bugarski, B. (2012). Encapsulation of thyme (*Thymus serpyllum* L.) aqueous extract in calcium alginate beads. *J Sci Food Agr*, 92: 685-696, doi:10.1002/jsfa.4632.
- Tolve, R., Condelli, N., Can, A., Tchuenbou-Magaia, F.L. (2017). Development and characterization of phytosterol-enriched oil microcapsules for foodstuff application. *Food Bioprocess Tech*, 1-12, doi: 10.1007/s11947-017-1990-4.
- Tonon, R.V., Brabet, C., Hubinger, M.D. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Res Int*, 43(3): 907-914, doi: 10.1016/j.foodres.2009.12.013.
- Wang, W., Jung, J., McGorin, R.J., Traber, M.G., Leonard, S.W., Cherian, G., Zhao, Y. (2018). Investigation of drying conditions on bioactive compounds, lipid oxidation, and enzyme activity of Oregon hazelnuts (*Corylus avellana* L.). *LWT-Food Sci Technol*, 90: 526-534, doi: 10.1016/j.lwt.2018.01.002.
- Xiao, J., Kai, G., Yamamoto, K., Chen, X. (2013). Advance in dietary polyphenols as α -glucosidases inhibitors: a review on structure-activity relationship aspect. *Crit Rev Food Sci*, 53(8): 818-836, doi: 10.1080/10408398.2011.561379.
- Zhao, G., Zhang, R., Zhang, M. (2016). Effects of high hydrostatic pressure processing and subsequent storage on phenolic contents and antioxidant activity in fruit and vegetable products. *Int J Food Sci Tech*, 52(1): 3-12, doi: 10.1111/ijfs.13203.