

Ohmik Isıtmanın Gıdalardaki Enzimler ve C Vitamini Üzerine Etkisi

Bilge Taşkın, Hasan Yıldız

Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Muradiye, Manisa

Geliş Tarihi (Received): 03.04.2012, Kabul Tarihi (Accepted): 07.07.2012✉ *Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): bilge.taskin@bayar.edu.tr (B. Taşkın)*

☎ 0 236 241 21 44 / 221 📠 0 236 241 21 43

ÖZET

Ohmik ısıtma gıdaların ısı işlenmesinde kullanılabilen alternatif bir yöntemdir. Ohmik ısıtma ile havuç, portakal suyu ve parçalanmış domateste pektin esteraz, bezelyede peroksidad ve üzüm suyunda polifenol oksidaz enzimlerinin aktivasyonu azalmıştır. Yapılan çalışmalarda genel olarak, ohmik ısıtmanın geleneksel ısıtma yöntemlerine göre enzimlerin inaktivasyon sürelerini kısalttığı, askorbik asidin daha yüksek oranda korunmasını sağladığı görülmektedir. Bu çalışmada ohmik ısıtmanın gıdalardaki enzim ve C vitamini üzerine etkilerini konu alan çalışmalar derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ohmik ısıtma, Enzim, C vitamini

Effects of Ohmic Heating on Enzymes and Vitamin C in Foods

ABSTRACT

Ohmic heating is an alternative method can be used as a thermal treatment of foods. In comparison to traditional heat treatment methods, ohmic heating has been reported to reduce the inactivation time for the enzymes and provide more protective effects on the ascorbic acid contents of foods. In this review, the effect of ohmic heating on enzymes and ascorbic acid in foods is presented.

Key Words: Ohmic heating, Enzyme, Vitamin C

GİRİŞ

Tüketicilerin hem sağlıklı hem de yüksek kalitede ürünlere artan ilgisi, üreticileri yeni ürün ve teknolojiler geliştirmeye itmiştir [1]. Gıda işlemede son yıllarda üzerinde yoğun olarak çalışılan teknikler arasında mikrodalga, infrared ısıtma ve ohmik ısıtma gibi elektriksel yöntemler de yer almaktadır. Ohmik ısıtma, gıdaların içerisinde elektrik akımının geçmesi ve gıdada içsel ısı üretimi ile oluşturulan bir elektriksel direnç ısıtma yöntemidir [2]. Joule ısıtma, ya da alternatif akım ısıtma olarak da isimlendirilmektedir. Ohmik ısıtma, gıda ile temas halindeki elektrotların varlığı, frekans ve elektrotlar arasındaki elektriksel alanın dalga biçimi ile diğer elektriksel ısıtma yöntemlerinden ayrılmaktadır [1]. Ohmik ısıtma sistemi temelde çeşitli voltaj ve akım kombinasyonları ile

elektriğin madde içinden geçişini sağlayan elektrotlardan meydana gelmektedir. Burada ısınma, içerisinde geçen elektriksel akıma karşı gıda maddesinin direnç oluşturması ile gerçekleşmektedir [2]. Sistemin ısı üretim hızı, gıdanın elektriksel iletkenliği ve sistem içerisindeki gıdanın akış şekli ohmik prosesin başarısını etkileyen anahtar faktörlerdir [3].

Son yıllarda gıda endüstrisinde ohmik ısıtma yöntemi üzerine artan bir ilgi gözlenmektedir. Bu artan ilginin başlıca nedenlerinden biri de bu yöntemin 1990'lardan bu yana birçok çalışma ile ortaya çıkarılan avantajlarıdır. Ohmik ısıtma teknolojisi özellikle koyu kıvamlı ve sıvı fazda katı parçacıklı gıda ürünlerinin sürekli işlenmesinde uygulanma potansiyeli yüksek bir yöntem olarak görülmektedir [4]. Pratik bir yaklaşım ile, ohmik ısıtmada ürün içerisinde çok geniş sıcaklık gradyanları

yaşanmamakta ve sıvı faz ile katı parçacıklar adeta eş zamanlı olarak ısınmaktadır. Bu durum sıvı fazda daha az bir ısı tahribata neden olurken katı parçacıkların dış yüzeyinin aşırı ısınmasına da engel olmaktadır. Dolayısıyla bu yöntem gıda işletmecileri için yeni, yüksek değerli, uzun raf ömrüne sahip ve daha önceki alternatif sterilizasyon teknikleri ile elde edilenlerden daha yüksek bir kalitede ürün üretme fırsatını sağlamaktadır [5]. Gıda maddelerinin hacimsel olarak ve homojen biçimde ısıtılması, geleneksel ısıtma ile mümkün olmayan sıvı faz ve katı parçacıkların eş zamanlı olarak ısıtılması, ısı transfer yüzeyindeki tortu oluşumu ve gıdadaki yanma gibi risklerin azaltılmış olması, yüksek enerji verimi ve sistemin anında açılıp kapatılabilmesi ohmik ısıtmanın en önemli avantajlarından bazılarıdır [6].

Diğer yandan ohmik ısıtma sistemlerinin sahip olduğu bazı dezavantajlar da yok değildir. Bu olumsuzluklar; iyi elektriksel izolasyon gereksinimi, sistemde yaşanabilecek olası sorunlara dair çözüm üretebilecek yetişmiş personel ihtiyacı, özel çalışma giysisi gereksinimi, iyi bir kontrol sistemi, işlem hattının optimizasyonu, özel ekipmanların gerekliliği, ürüne göre farklı çalışma koşullarının uygulanabilirliğinin sağlanması, parçacıkların ısıtılma özelliklerinin modellenmesini zorlaştıran sıvı-katı fazlar arasındaki elektriksel iletkenlik farkı ve ohmik işleme teknolojisinin hala çalışma ve araştırma aşamasında olması şeklinde sıralanabilir [7].

Ohmik ısıtma büyük parçacıklar içeren çorbaların, güveç ve yahnilerin, sos ve şurup içerisine dilimlenmiş meyvelerin ve ısıya duyarlı gıdaların ısıtılmasında kullanılabilir. Bu teknoloji sıvı yumurta gibi ısı işlem altında kolayca bozunabilecek proteinli gıdaların işlenmesinde de büyük kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca meyve sularının tadını etkilemeden içerdikleri enzimlerin inaktivasyonu için de bu yöntem baş vurulabilmektedir. Ohmik ısıtmanın diğer potansiyel uygulama alanları; haşlama, çözündürme, fermentasyon, kabuk soyma, dehidrasyon ve ekstraksiyon olarak sıralanabilir [8].

Ohmik ısıtma teknolojisinin endüstriyel alanda uygulanması tamamen bu yöntemin; mikroorganizmalar, enzimler ve biyolojik dokular üzerine etkilerinin değerlendirildiği deneysel veriler ile geçerli kılınmasına bağlıdır [1]. Endüstride gıda kalitesini artırmak için birçok enzim kullanılmaktadır. Diğer taraftan da bazı enzimler koku ve tat kaybı, dokusal özelliklerde değişiklikler gibi gıda kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Bu nedenle proseslerde enzimatik aktivitelerin desteklenmesi ya da önlenmesi için birçok aşamada enzimatik aktivitenin kontrol edilmesine gerek duyulmaktadır [1]. Ohmik ısıtmanın enzimler üzerine etkilerini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır.

Vitaminler, beslenmenin vazgeçilmez öğelerinden olup çok çeşitli kimyasal yapılara sahiptirler. İnsanoğlunun vitamin ihtiyacı başlıca çeşitli meyve, sebze, tahıl ve et ürünlerinden karşılanmaktadır. Ancak vitaminlerin besin içerisindeki miktarı, gıdanın işlenmesi ve depolanmasından önemli oranda etkilenmektedir. Isı,

nem, oksijen, pH ve ışık vitamin dayanıklılığını etkileyen en önemli faktörlerdir [6].

Bu derleme çalışmasında, gıdalardaki bazı enzimler ile vitaminler arasında ısıya en duyarlıları olarak bilinen C vitamini üzerine ohmik ısıtma uygulamasının etkileri incelenmiştir.

OHMİK ISITMANIN GIDALARDAKİ ENZİMLER ÜZERİNE ETKİSİ

Isıtma işlemi gıda içerisindeki sıcaklık dağılımını etkiler ve doğrudan enzim inaktivasyonundaki zaman-sıcaklık ilişkisini değiştirir [9]. Ohmik ısıtmanın gıdalardaki enzimler üzerine etkisini inceleyen çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Bu alanda incelenen başlıca enzimler ise; pektin esteraz, peroksidaz, polifenol oksidaz, lipoksigenaz, alkalın fosfataz ve β -galaktosidazdır.

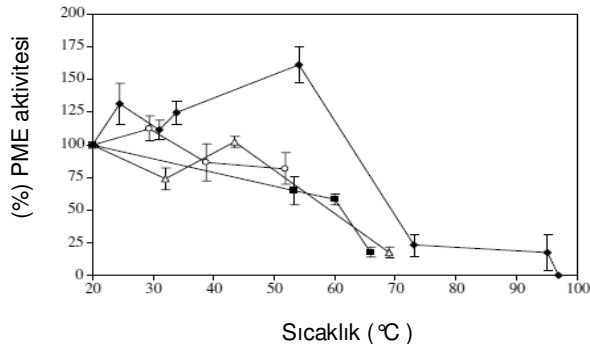
Pektin esteraz enzimi hücre duvarındaki pektin yapı bileşenini parçalayarak portakal suyunun istenilen bulanıklığında bir azalmaya neden olur. Bu nedenle pektin esteraz enzimini inaktive etmek için ısı işlem uygulanır [10].

Ohmik ısıtmanın portakal suyundaki pektin esteraz enzimi aktivitesi üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada uygulanan ısı işlem yönteminin pektin esteraz inaktivasyonu üzerine belirgin bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre ohmik ısıtma pektin esteraz aktivitesinde taze portakal suyundakine oranla % 90-98 azalma sağlarken; geleneksel pastörizasyon işlemi sonrasında pektin esteraz aktivitesinin de benzer biçimde % 95 azaldığı rapor edilmiştir. Böylece iki ısıtma yönteminin ilgili enzim üzerinde inaktivasyon etkileri arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür [3]. Ohmik ve geleneksel ısıtma uygulamalarının portakal suyu üzerindeki etkilerinin karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada ohmik ısıtma ile portakal suyundaki pektin esteraz aktivitesindeki değişim ile geleneksel ısıtma ile elde edilen değişim oranları arasındaki farkın yine ihmal edilebilir bir düzeyde olduğu belirtilmiştir [10].

Parçalanmış domateste alternatif akım ısıtma esnasındaki pektin esteraz enzimi, *Aspergillus niger* inaktivasyonu ve toplam pektin miktarı değişiminin incelendiği bir çalışmada 36–108 V/cm arasında değişen voltaj gradyanları uygulanmıştır. Çalışmada; sıcaklığın 65 °C'ye çıkmasıyla pektin esteraz aktivitesi % 75' den fazla azalma göstermiştir. Şekil 1 ve 2'de görüldüğü gibi 36 V/cm voltaj gradyanında 80 s. süreyle yapılan ısıtma sonunda ürün sıcaklığı 98 °C'ye ulaşmış ve pektin esteraz tamamen inaktive edilmiştir. Buna karşın 48 V/cm'de 5 s; 36 V/cm'de 5, 10, 15 ve 30 s süreler ile uygulanan alternatif akım ısıtma uygulamalarında pektin esteraz aktivitesinin artış gösterdiği gözlenmiştir. Buna göre; uygulanan voltaj gradyanı ve/veya sıcaklık, pektin esteraz aktivitesini artırabilmektedir. Bu aktivite artışı; pektin esteraz bağlarının bozunmaya uğraması yerine bağlı pektin esteraz fraksiyonunun çözünür fraksiyonlarına dönüşmesi olarak yorumlanmıştır. Aynı çalışmada; 108

V/cm'de uygulama sürelerinin hiçbirinde enzim aktivitesinde artış gözlenmediği bildirilmiştir [11].

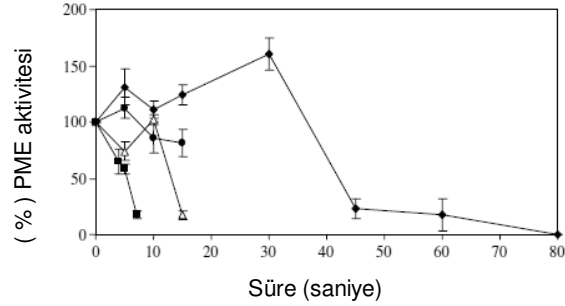
Enzim inaktivasyonu ve renk gelişimi haşlamada en önemli iki hedefdir. Peroksidaz sebzelerde ısıya en dayanıklı enzim olarak bilinmektedir. Bu nedenle sebzelerin haşlama yeterliliğinin belirlenmesinde indikatör enzim olarak kullanılan bir enzimdir. Bezelye püresinin ohmik haşlanması sırasında peroksidaz enzimi inaktivasyonu ve renk değişimlerinin incelendiği bir çalışmada bezelye hem ohmik hem de geleneksel yöntemle haşlanmıştır. Ohmik haşlamada bezelye püresi 20-50 V/cm arasında değişen voltaj gradyanlarında 30°C'den 100°C'ye ısıtılmıştır. Geleneksel yöntemde haşlama ise 100°C'lik su banyosunda gerçekleştirilmiştir. 30 V/cm ve üzerindeki voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik haşlamadaki peroksidaz inaktivasyonu geleneksel haşlamaya göre daha kısa sürede gerçekleşmiştir. 50 V/cm'de ise peroksidaz enzimi 54 s ile en kısa inaktivasyon süresini sergilemiştir. Bu çalışma göstermiştir ki; voltaj gradyanının peroksidaz inaktivasyonu süresi üzerinde belirgin bir etkisi vardır ve ohmik haşlamadaki inaktivasyon süreleri geleneksel haşlama yöntemine göre daha kısadır ($p < 0.01$). Aynı zamanda voltaj gradyanı arttıkça kritik inaktivasyon süresi azalma göstermiştir [12]. Sonuç olarak ohmik haşlamada peroksidaz enzimi geleneksel haşlama yöntemine göre, nispeten daha kısa sürede inaktive olmuştur. Esmerleşmenin geleneksel yöntemdekine kıyasla daha düşük seviyede gerçekleştiği bu çalışmaya göre ohmik haşlamanın bezelye işlenmesinde alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir.



Şekil 1. Çeşitli elektriksel alan değerlerindeki alternatif akım ısıtma uygulamasında son sıcaklığın parçalanmış domatesteki PME aktivitesi üzerine etkisi. (■) 108 V/cm, (△) 68 V/cm, (○) 48 V/cm, ve (◆) 36 V/cm [11].

Ancak farklı ısı işlem uygulamalarının incelendiği bir başka çalışmada ohmik ısıtmanın havuçtaki peroksidaz enzimi üzerine etkisinin [13] yukarıda belirtilen çalışmada [12] elde edilen sonuçlardan daha farklı olduğunu göstermiştir. Lemmens ve ark. [13], yaptıkları çalışmada havuç parçalarına uygulanan geleneksel, ohmik, ve mikrodalga haşlama yöntemlerinin peroksidaz ve pektin esteraz enzimleri üzerine etkisini araştırmışlardır. 90°C'de 4 dakikalık ısı işlem uygulamasında ohmik haşlama dışındaki diğer

yöntemlerde pektin esteraz enzimi tamamen inaktive olmuş, ohmik haşlamada ise bir miktar enzim aktivitesi gözlenmiştir. Benzer olarak aynı koşullarda peroksidaz enzimi diğer yöntemlere göre ohmik haşlamada daha düşük oranda inaktive olmuştur [13]. Çalışmalar, ohmik ısıtma uygulama koşulları ve uygulanan gıdaya bağlı olarak farklı sonuçlar alınabildiğini göstermektedir.

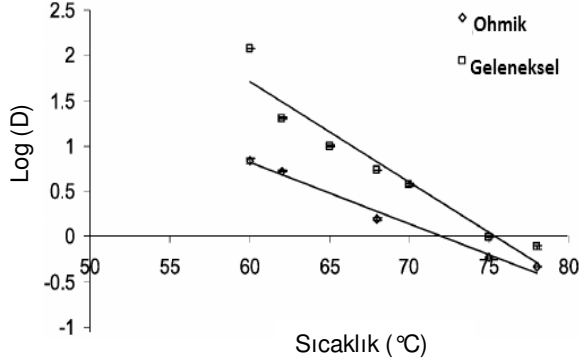


Şekil 2. Alternatif akım ısıtma boyunca uygulama süresinin parçalanmış domatesteki PME aktivitesi üzerine etkisi. (■) 108 V/cm, (△) 68 V/cm, (○) 48 V/cm ve (◆) 36 V/cm [11].

Ohmik ısıtma ile aktivite değişimi incelenen diğer bir enzim polifenol oksidazdır. Polifenol oksidaz enziminin katalitik etkisi ile gıdanın rengini etkileyen esmerleşme reaksiyonları gerçekleşmektedir. İstenmeyen enzimatik esmerleşme reaksiyonlarını önlemek amacıyla gıda üzerine bazı ısı işlemleri uygulanmaktadır. Taze üzüm suyunun farklı voltaj gradyanlarında (20, 30 ve 40 V/cm) ve farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 ve 90°C) ohmik olarak ısıtıldığı bir çalışmada polifenol oksidaz enziminin aktivitesindeki değişimler incelenmiştir. Polifenol oksidaz enziminin etkinliği 20°C'den 60°C'ye olan sıcaklık artışı ile birlikte artış göstermiştir. Enzimin inaktive olmaya başladığı sıcaklıklar ise 40 V/cm için 60°C, 20 ve 30 V/cm için 70°C olarak tespit edilmiştir. Üzüm suyunun 30 V/cm voltaj gradyanında 70°C'ye ohmik ısıtılması sonrası kalan polifenol oksidaz enzimi aktivitesinin % 50 civarı olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada eş sıcaklık değerlerinde voltaj gradyanı arttıkça enzimin inaktivasyon süresinin azaldığı belirtilmektedir. Bunun muhtemel nedeninin yüksek voltaj gradyanlarında elektriksel iletkenlikteki hızlı yükselme olduğu ifade edilmektedir. Aynı bekleme süresince ohmik ısıtma sıcaklığı arttıkça polifenol oksidaz enziminin inaktivasyon oranı da artmıştır. İncelemeye göre sıcaklık, bekleme süresi ve bu ikisinin etkileşimi polifenol oksidaz enzimi aktivitesi üzerinde belirgin bir etki yaratmıştır ($p < 0.05$). Ayrıca polifenol oksidaz enziminin 70-90°C sıcaklık aralığında birinci merteye indirgenme kinetiği sergilediği görülmüştür [9].

Castro ve ark. [1] enzim inaktivasyon kinetiğini incelediği çalışmada başlıca 5 enzimin (polifenol oksidaz, lipoksigenaz, pektinaz, alkalın fosfataz ve β -galaktosidaz), ohmik ve geleneksel ısıtma sırasındaki değişimlerini analiz etmiştir. Tüm enzimler her iki ısıtma da birinci dereceden inaktivasyon kinetiği sergilemiştir. Uygulanan voltaj gradyanının alkalın fosfataz, pektinaz ve β -galaktosidaz enzimleri

inaktivasyonu üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir ($p > 0.05$). Buna karşın lipoksigenaz ve polifenol oksidazın indirgenme kinetiklerinin voltaj gradyanından önemli ölçüde etkilendiği ve inaktivasyon için gerekli olan sürenin kısalacağı rapor edilmiştir (Şekil 3-4) [1]. Özellikle polifenol oksidazın inaktivasyon sürelerindeki azalmaya dair sonuçlar ohmik ısıtmanın meyvelerin haşlanması için teşvik edici olarak görülmektedir.



Şekil 3. Lipoksigenazın ohmik veya geleneksel ısıtmaya maruz bırakıldığında gösterdiği indirgenme kinetiği [1].

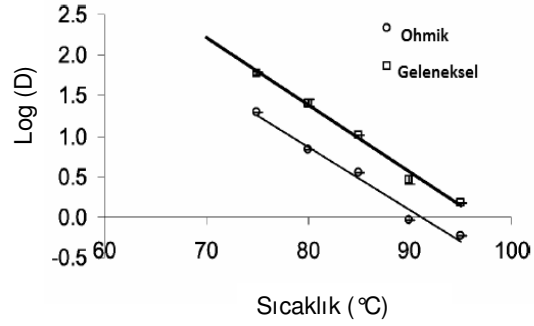
Yapılan çalışmalardan görüldüğü üzere ohmik ısıtma ile enzimler inaktive edilebilmektedir. Ancak uygulanan voltaj gradyanı, süre, gıdanın çeşidi ve enzim türüne göre inaktivasyon derecesi değişmektedir. Bazı koşullarda enzim aktivitesinin artmasına da sebep olabilmektedir.

OHMİK ISITMANIN GIDALARDAKİ VİTAMİNLER ÜZERİNE ETKİSİ

C vitamini (askorbik asit), hem antioksidan hem de pro-oksidan olarak etki gösteren önemli bir vitamindir. Bu vitamin doğada çok yaygın olarak bulunmaktadır. Bazı meyve ve sebzelerde yüksek oranlarda bulunurken, karaciğer ve böbrek gibi organlarda da belli miktarlarda yer almaktadır [6]. Askorbik asit kuvvetli bir indirgeyici ajandır. İyi bir antioksidan olarak meyve ve sebzelerin raf ömrünü uzatmasının yanı sıra renk karamalarını da önemli ölçüde engellemektedir. Bu güçlü özelliklerine karşın askorbik asidin ısıya en duyarlı vitamin olduğu da bilinmektedir. Literatürdeki farklı ısıtma koşullarının askorbik asit üzerine etkilerini inceleyen pek çok araştırma arasında yeni ve gelişmekte olan ohmik ısıtmanın bu vitamin üzerine etkilerinin tanımlandığı araştırmalar nispeten az sayıdadır.

Lima ve ark. [15], pastörize portakal suyunun ohmik ve geleneksel yöntemle ısıtılması sırasında askorbik asit indirgenmesini incelemiştir. Farklı sıcaklıklarda yapılan çalışmada askorbik asit indirgenmesi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak birinci mertebe indirgenme kinetiği sergilemiştir. İstatistiksel analizler 65-90°C arası sıcaklıklarda uygulanan 18.2 V/cm'lik voltaj gradyanının askorbik asit indirgenmesi üzerine belirgin bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Çalışmada elektriksel işlem

Ohmik ısıtmanın pirinç kepeğinden yağ ekstraksiyonu veriminin geliştirilmesinde kullanıldığı bir çalışmada, nem ilavesi olmadan uygulanan ohmik ısıtma işlemi sonrasında ekstrakte edilen pirinç kepeği yağı örneğindeki serbest yağ asidi oranlarının diğer kontrol örneklerindeki oranla daha yavaş artış gösterdiği görülmüştür. Bunun nedeni uygulanan voltaj gradyanının lipaz enzimi aktivitesi üzerinde azaltıcı bir etki yaratması olarak tanımlanmıştır [14].



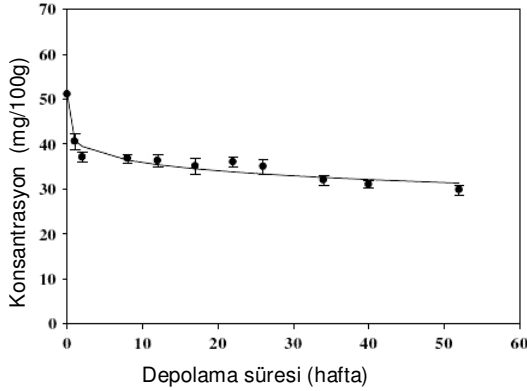
Şekil 4. Polifenol oksidazın ohmik veya geleneksel ısıtmaya maruz bırakıldığında gösterdiği indirgenme kinetiği [1].

sırasında kullanılan elektrotlara bağlı olarak meydana gelen elektrolizin askorbik asit indirgenmesi üzerine etkisi de araştırılmıştır. Bu amaçla iki farklı materyalden yapılmış elektrotlar kullanılmıştır (paslanmaz çelik ve titanyum). Sonuçta ne elektrolizin gözlemlendiği paslanmaz çelik elektrot denemelerinde ne de elektroliz gözlenmeyen titanyum kaplı elektrot denemelerinde elde edilen askorbik asit indirgenme oranlarının farklı olmadığı saptanmıştır. Bu çalışmaya göre, ohmik ısıtmanın askorbik asit indirgenmesi üzerinde geleneksel ısıtmaya kıyasla önemli bir farklılık meydana getirmedeği ortaya konmuştur.

Askorbik asit yalnızca sıcaklıktan etkilenmemekte aynı zamanda oksijen varlığında da kolayca okside olabilmektedir. İşlenmiş ve işlenmemiş ürünlerde askorbik asit konsantrasyonunun genel gıda kalitesinin önemli bir indikatörü olarak değerlendirildiği bir çalışmada Pataro ve ark. (2011), aseptik ohmik ısıtma işleminin şurupta kayısının kalite ve raf ömrü üzerine etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada şurupta kayısı 90°C'de 113 s. boyunca 25 kHz'lik alternatif akım kullanılarak 30 kW'lık sürekli aseptik ohmik sistemde pastörize edilmiş ve takiben 25°C'de 52 hafta boyunca depolanmıştır. Depolama sonunda askorbik asit konsantrasyonu %18 azalma göstermiştir (Şekil 5). Depolama süresince askorbik asit indirgenmesi aerobik ve anaerobik koşullara bağlı olarak gerçekleşmiştir. İlk olarak gerçekleşen aerobik indirgenme bir miktar askorbik asidin ohmik sistemde tepede boşluğundaki ya da çözünmüş haldeki başlangıç oksijen ile hızlı bir reaksiyonu sonucu meydana gelmiş ve ani bir azalma görülmüştür. Sonraki kontrollü oksijen varlığında gerçekleşen daha düşük hızdaki anaerobik indirgenme ise daha çok depolama sıcaklığına bağlı olarak gelişim

göstermiştir. Anaerobik azalma sadece sıcaklığın 25°C'yi aştığı anlarda etkili olmuştur. Lima ve ark.'nın [15] çalışmasında askorbik asidin elektrotlarda meydana gelen elektrolizden etkilenmediği belirtilirken bu çalışmada askorbik asit indirgenmesinin elektrolizden etkilenebileceği belirtilmiş, dolayısıyla 25 kHz'lik yüksek frekans alternatif akım kullanımının paslanmaz çelik elektrot yüzeylerinde elektrokimyasal reaksiyon oluşumunu engellediği ve böylece elektroliz ile elektrot korozyonundan gelebilecek ilave bir askorbik asit oksidasyonunun minimize edildiği rapor edilmiştir [16].

Assiry ve ark. [17], ohmik ısıtmanın pH 3.5 tampon çözeltisi içerisinde askorbik asidin indirgenme kinetiği üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmada askorbik asidin indirgenme hızı birinci merteye model olarak tanımlanmıştır. Genel olarak hem ohmik hem de geleneksel ısıtmada birbirine oldukça yakın indirgenme hızları ölçülmüştür. Ancak yüksek güç (1500 W), yüksek tuz içeriği (%1) ve düşük sıcaklık (40°C) kombinasyonunda uygulanan ohmik ısıtma geleneksel yöntemle kıyasla oldukça yüksek bir indirgenme hızı sergilemiştir. Lima ve ark. (1999)'nin çalışma sonuçlarına [15] karşıt olarak, bu çalışmada paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı ohmik ısıtma yönteminde elektroliz ve elektrot korozyonu reaksiyonları askorbik asidin indirgenme hızı üzerinde etkili olmuştur. Ancak bu etkilerin özelliklerinin daha kapsamlı bir çalışma ile tanımlanması gerektiği belirtilmiştir.

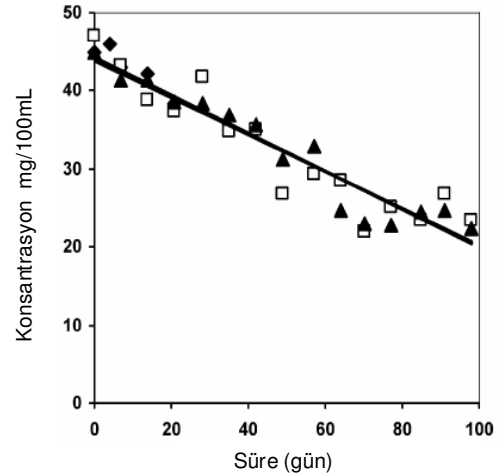


Şekil 5. Ohmik ısıtma sisteminde pastörize edilmiş şurupta kayısının 25°C'deki depolama süresince askorbik asit miktarındaki değişim [16].

Assiry ve ark. [18] yaptıkları başka bir çalışmada, ohmik ısıtma sırasında sıcaklık, elektriksel iletkenlik, elektriksel alan kuvveti ve pH'nın askorbik asidin indirgenme kinetiği üzerine etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada da askorbik asit birinci derece indirgenme kinetiği göstermiştir. Ohmik ısıtma süresince sıcaklık ve elektriksel alan, askorbik asit indirgenmesi üzerinde birbirine bağımlı ve beklenmeyen modellerde bir etki göstermiştir; sıcaklık 40°C'den 80°C'ye doğru yükseldikçe reaksiyon hızında azalma görülmüştür. Genel olarak sıcaklık ve NaCl miktarı ile doğru orantılı olarak elektriksel iletkenlik arttıkça askorbik asidin indirgenme hızı azalmıştır. Artan elektriksel alan değeri ise indirgenme reaksiyonu üzerinde hızlandırıcı bir etki göstermiştir. pH 5.7'lik tampon çözeltinin indirgenme

etkisi incelenirken Assiry ve ark. [17] belirtilen pH 3.5 ortamındaki indirgenme sonuçlarından faydalanılmıştır. 80°C sıcaklıkta pH 3.5 ve pH 5.7'deki indirgenme hızlarında belirgin bir farklılık gözlenmez iken; 40°C gibi düşük sıcaklıkta pH 5.7'deki indirgenme hızı pH 3.5'teki değerinden daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada NaCl ilavesinin askorbik asidin indirgenme reaksiyonu hızını azalttığı da rapor edilmiştir.

Leizerson ve Shimoni [3], sürekli yöntemle ohmik ısıtmanın portakal suyu üzerindeki etkilerini incelediği çalışmada taze portakal suyunu hem ohmik ısıtma hem de geleneksel pastörizasyon işlemlerine maruz bırakmıştır. Her iki yöntem de C vitamini indirgenmesinde birbirine benzer sonuçlar vermiştir. 90-150°C gibi yüksek sıcaklık ve 0.68-1.13 s gibi kısa uygulama sürelerinde gerçekleştirilen ohmik ısıtma işleminde *F* değerindeki artışa rağmen C vitaminindeki (askorbik asitteki) azalma %15 değerinde sabit kalmıştır ($p>0.05$). Bunun nedeni; işlemdeki oldukça kısa olan tutulma süresinin (<2s), ısıya duyarlı olan C vitamininin tahribatını önlemesidir. Ayrıca tüm ohmik ısıtma denemelerinde, akış hızının ve akış hızı-sıcaklık arasındaki interaksyonların C vitamininin indirgenmesi üzerindeki etkileri arasında belirgin bir fark olmadığı bulunmuştur. Aynı araştırmacıların bir diğer çalışmada ohmik ve geleneksel ısıtmanın C vitamini üzerine etkilerinin anlaşılabilmesi için işlem sonrası depolama süresince C vitamininin indirgenme düzeyleri incelenmiştir. Depolama süresince hem işlenmemiş portakal suyunun hem de ohmik ısıtma uygulanmış portakal suyunun C vitamini indirgenme eğrilerinin birbirine çok benzer olan doğrusal bir azalma gösterdiği belirtilmiştir (Şekil 6). Her iki yöntem arasında C vitamini konsantrasyonu ve indirgenme hızı bakımından belirgin bir fark saptanmamıştır [10].



Şekil 6. Taze portakal suyu (◆), geleneksel yöntemle (□) ve ohmik ısıtma yöntemiyle (▲) pastörize edilmiş portakal suyunun C vitamini konsantrasyonu değişimi [10].

Çilek ile yapılan başka bir ohmik ısıtma çalışmasında ise, <20 V/cm voltaj gradyanında 60-97 °C'lik ohmik ısıtma koşullarında askorbik asidin yine birinci merteye

indirgenme kinetiği gösterdiği bulunmuştur. Ancak voltaj gradyanının indirgenme üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir [19].

Ohmik ve geleneksel ısıtma işlemlerinin çeşitli gıda ürünlerindeki kimyasal ve fiziksel parametreler üzerine etkilerini araştıran Pereira ve ark. [20], frambuaz benzeri bir meyve olan "cloudberry" reçelinin askorbik asit içeriğini incelemiştir. Ölçüm sonuçlarında hem ohmik hem de geleneksel ısıtmadaki askorbik asit miktarı işlenmemiş meyvedeki (hammadde) değerine göre daha düşük olarak bulunmuştur. İşlenmemiş meyvede askorbik asit miktarı 3.08 ± 0.10 mg/100 g iken ohmik ısıtma sonrasında bu değer 2.76 ± 0.08 mg/100 olarak bulunmuştur. Buradan da ohmik ısıtmanın "cloudberry" reçelinin askorbik asit miktarı üzerinde yaklaşık % 10'luk bir azaltıcı etki yarattığı anlaşılmaktadır.

Üç farklı elektriksel ısıtma yöntemi (kızılötesi, mikrodalga ve ohmik ısıtma) ve geleneksel ısıtma yöntemlerinin askorbik asit üzerine etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada yine askorbik asit bozunmasının ısıtma yönteminden ve işlem sıcaklığından etkilendiği belirtilmiştir. Çalışılan bu dört yöntem içerisinde ve çalışılan tüm sıcaklıklarda askorbik asidin en iyi korunduğu yöntemin ohmik ısıtma yöntemi olduğu rapor edilmiştir [21].

SONUÇ

Yapılan çalışmalar ohmik ısıtmada enzimler üzerinde etki yapan başlıca faktörlerin voltaj gradyanı ve sıcaklık olduğunu göstermektedir. Genel olarak 60°C ve üzerindeki sıcaklık artışları enzimlerde belirgin bir inaktivasyona neden olmaktadır. Voltaj gradyanındaki artış ile birlikte pektin esteraz, peroksidaz, polifenol oksidaz, lipaz ve lipoksigenaz enzimlerinin aktivitelerinde azalma görülürken alkalın fosfataz ve β -galaktosidaz enzim aktivitesi üzerinde geleneksel ısıtmaya oranla belirgin azaltıcı bir etki göstermemiştir. Ohmik ısıtma, geleneksel ısıtma yöntemlerine göre nispeten daha kısa sürelerde gerçekleştirilen enzim inaktivasyonu, işlem esnasında diğer gıda bileşenlerinin daha iyi korunması ve ürünün yanma riskinin daha düşük olması gibi önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu yöntemin endüstride başarılı olarak kullanılabilmesi için ohmik ısıtmanın gıda kalitesi üzerine etki eden enzimlerin aktiviteleri üzerine etkilerini tam olarak tanımlayan detaylı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Çalışmalarda ohmik ısıtmanın askorbik asit indirgenmesi üzerine etkisi; uygulanan sıcaklık, voltaj gradyanı, ortamdaki oksijen konsantrasyonu ve pH gibi pek çok farklı etkene bağlanmıştır. Genel olarak ohmik ısıtmada uygulanan sıcaklık ve uygulama süresi arttıkça indirgenme hızı da artış göstermiştir. Yüksek elektriksel güç, yüksek tuz içeriği ve düşük sıcaklık kombinasyonunda hızlı bir indirgenme sağlamaktadır. Bazı karşılaştırmalı çalışmalarda ise hem ohmik hem de geleneksel ısıtmada birbirine oldukça yakın askorbik asit indirgenme hızları ölçülmüştür. Askorbik asit korunması amacıyla ohmik ısıtmanın önemli bir alternatif yöntem olarak kullanılabileceği önerilebilmektedir. Ancak, işlemin başarısı için yapılacak çalışmalarla voltaj

gradyanı etkisi, elektrot seçimi ve elektrolizin ölçülebilir etkisinin daha net olarak ortaya konulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Castro, Macedo, B., Teixeira, J.A., Vicente, A.A., 2004. The effect of electric field on important food-processing enzymes: comparison of inactivation kinetics under conventional and ohmic heating. *Journal of Food Science* 69(9): 696-701.
- [2] Anderson, D.R., 2008. Ohmic Heating as an Alternative Food Processing Technology. A Report Submitted in Partial Fulfillment of The Requirements for The Degree Master of Science, Food Science Institute College of Agriculture Kansas State University Manhattan, Kansas.
- [3] Leizeron S., Shimoni, E, 2005. Effect of ultrahigh-temperature continuous ohmic heating treatment on fresh orange juice. *J. Agric. Food Chem.* 53: 3519-3524.
- [4] Goullieux, A., Pain, J-P., 2005. Ohmic Heating. Emerging Technologies for Food Processing. Edited by Da-Wen Sun, Food Science and Technology International Series, Elsevier Academic Press, 469-505p.
- [5] Parrott, D., 1992. Use of ohmic heating for aseptic processing of food particulates. *Food Tech.* 46: 68-72.
- [6] Ruan, R, Ye, X., Chen, P., 2002. Ohmic Heating. The Nutrition Handbook for Food Processors. Edited by C. J. K. Henry and C. Chapman. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 247-263p., 407-413 p.
- [7] Bozkurt, H., 2009. The Application, Mathematical Modelling and Exergetic Optimization of Ohmic Cooking in the Köfte Production. MSc Thesis., Institute of Natural and Applied Sciences of Aegean University, Bornova, İzmir.
- [8] Ramaswamy R., Balasubramaniam V.M., Sastry, S.K., 2005. Ohmic Heating of Foods- Fact Sheet for Food Processors. Columbus, OH: FSE 3-05. Ohio State University Extension Fact Sheet.
- [9] Icier, F., Yıldız, H., Baysal, T., 2008. Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice, *Journal of Food Engineering* 85: 410-417.
- [10] Leizeron, S.; Shimoni, E., 2005. Stability and sensory shelf life of orange juice pasteurized by continuous ohmic heating. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4012-4018.
- [11] Yıldız, H., Baysal, T., 2005. Effects of alternative current heating treatment on *Aspergillus niger*, pectin methylesterase and pectin content in tomato. *Journal of Food Engineering* 75: 327-332.
- [12] Icier, F., Yıldız, H., Baysal, T., 2006 Peroxidase inactivation and colour changes during ohmic blanching of pea puree, *Journal of Food Engineering* 74: 424-429.
- [13] Lemmens, L., Tibäck E., Svelander, C., Smout, C., Ahrné, L., Langton, M., Alminger, M., Loey A.V., Hendrickx, M., 2009. Thermal pretreatments of carrot pieces using different heating techniques:

- Effect on quality related aspects *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10: 522–529.
- [14] Lakkakula, N.R., Lima, M., Walker, T., 2003. Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating, *Bioresource Technology* 92: 157–161.
- [15] Lima, M., Heskitt, B. F., Burianek, L.L., Nokes, S. E., Sastry, S.K., 1999. Ascorbic acid degradation kinetics during conventional and ohmic heating, *J. Food Proc. Eng.* 23: 421-434.
- [16] Pataro, G., Donsi, G., Ferrari, G., 2011. Aseptic processing of apricots in syrup by means of a continuous pilot scale ohmic unit, *LWT-Food Science and Technology* 44: 1546-1554.
- [17] Assiry, A., Sastry, S.K., Samaranayake, C., 2003. Degradation kinetics of ascorbic acid during ohmic heating with stainless steel electrodes, *Journal of Applied Electrochemistry* 33: 187–196.
- [18] Assiry, A., Sastry, S.K., Samaranayake, C.P., 2005. Influence of temperature, electrical conductivity, power and ph on ascorbic acid degradation kinetics during ohmic heating using stainless steel electrodes. *Bioelectrochemistry* 68: 7-13.
- [19] Castro, Teixeira, J.A., Salengke, S., Sastry, S.K., Vicente, A.A., 2004. Ohmic heating of strawberry products: electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics, *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5: 27–36.
- [20] Pereira, R., Pereira, M., Teixeira, J.A., Vicente, A.A., 2006. Effects of Ohmic Heating Technology in Chemical Properties of Foods; 33rd International Conference of SSCHE ,Tatranske Matliare, Slovakia May 2006, 22–26 p.
- [21] Vikram, V.B., Ramesh, M.N., Prapulla, S.G., 2005. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods, *Journal of Food Engineering* 69: 31–40.
-
-