



Et Ürünlerinde Kullanılan Fosfatların Antioksidan ve Antimikrobiyal Özellikleri

Azim Şimşek^{1*}, Birol Kılıç²

¹Gıda İşleme Bölümü, Eğirdir Meslek Yüksekokulu, Süleyman Demirel Üniversitesi 32500 Eğirdir/Isparta, Türkiye.

²Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi 32260 Merkez/Isparta, Türkiye.

MAKALE BİLGİSİ

Derleme Makale

Geliş 21 Ekim 2016
Kabul 20 Aralık 2016

Anahtar Kelimeler:

Fosfat
Et ürünleri
Antioksidan
Antimikrobiyal

*Sorumlu Yazar:

E-mail: azimsimsek@sdu.edu.tr

ÖZET

Fosfatlar et ürünlerinde su tutma kapasitesinin artırılması, pişirme kayıplarının azaltılması ve tekstürel özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan katkı maddeleridir. Ayrıca fosfatlar aromayı koruyucu, kürlenmiş et rengi oluşumunu hızlandırıcı özellik göstermelerinin yanı sıra antioksidan ve antimikrobiyal etkilere de sahiptirler. Et ürünlerinde fosfat kullanımına yönelik yapılan çalışmalar zincir uzunluğu artıkcça antioksidan ve antimikrobiyal etkinin arttığını göstermektedir. Fosfatların antioksidan etkilerinden en üst düzeyde yararlanmak için vakum veya modifiye atmosferde ambalajlama, doğal antioksidanlar ile birlikte kullanımın ve enkapsüle edilmelerinin faydalı yaklaşımlar olduğu belirtilmektedir. Fosfatların antimikrobiyal etkileri ile ilgili yapılan çalışmalarda ise ışınlama, vakum veya modifiye atmosferde ambalajlama, düşük sıcaklıklarda depolama ve tuz kullanımı ile daha güçlü sinerjistik etkilerin sağlanabileceği bildirilmektedir. Bu çalışmada fosfatların antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerine yönelik araştırmalar ile et endüstrisine yönelik tavsiye ve uygulamalar derlenmiştir.

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 5(4): 299-307, 2017

Antimicrobial and Antioxidant Properties of Phosphates Used in Meat Products

ARTICLE INFO

Review Article

Received 21 October 2016
Accepted 20 December 2016

Keywords:

Phosphate
Meat products
Antioxidant
Antimicrobial

*Corresponding Author:

E-mail: azimsimsek@sdu.edu.tr

ABSTRACT

Phosphates are widely used as food additives in meat products to increase the water-holding capacity, reduce the cooking loss and improve the textural properties. Furthermore, phosphates protect aroma and accelerate the formation of cured meat color as well as having antioxidant and antimicrobial effects. Many research about using phosphates in meat products showed that increasing chain length of phosphates improves antioxidant and antimicrobial effects. It has been stated that vacuum or modified atmosphere packaging, the use of phosphates with natural antioxidants and encapsulation of phosphates are useful approaches to enhance the antioxidant effects of phosphates. It has been reported that irradiation, vacuum or modified atmosphere packaging, storage at low temperature and the use of the salt provide strong synergistic effect on the antimicrobial properties of phosphates. In this review, researches about antioxidant and antimicrobial properties of phosphates and suggestions for the meat industry about industrial applications of phosphates are presented.

Giriş

Tüketici sağlığının korunarak et ürünlerinde raf ömrünün ve depolama stabilitesinin artırılması ve ekonomik kayıpların azaltılması et endüstrisinin temel hedeflerini oluşturmaktadır. Et ve et ürünleri, zengin besin içeriği nedeniyle mikrobiyolojik ve kimyasal açıdan kolay bozulabilir gıdalar içerisinde yer almaktadır (Zanardi ve ark., 2009; Addis, 2015). Et ürünlerinde güvenliğin sağlanması ve kalitenin korunabilmesi amacıyla birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu amaçla ısısal işlemler, soğutma, dondurma, vakum ve modifiye atmosferde ambalajlama başta olmak üzere doğal veya sentetik katkı maddelerinin kullanımı en çok başvurulan yöntemlerdir (Lund ve ark., 2007). Et endüstrisinde antimikrobiyal ve antioksidan özelliğe sahip katkı maddelerinin kullanılması ile mikrobiyolojik ve kimyasal değişimler açısından ürünlerin korunması hedeflenmektedir. Bu anlamda fosfatlar antimikrobiyal ve antioksidan özelliklerinin yanı sıra et ürünlerinde sağladıkları pek çok yararlı etkilerden dolayı et endüstrisinde yaygın olarak kullanılan katkı maddeleridir (Fonseca ve ark., 2011; Long ve ark., 2011; Gaddekar ve ark., 2014; O'Flynn ve ark., 2014).

Fosfatların antioksidan etkileri lipit oksidasyon katalisti olan metal iyonlarını bağlamak suretiyle gerçekleşmektedir (Etemadian ve ark., 2012). Et ve et ürünlerinin kalitesinin bozulmasına sebep olan lipit oksidasyonu ürünün tat, koku, renk, tekstür ve besleyici değerinde değişiklikler ve toksik bileşenlerin oluşumu ile sonuçlanan kimyasal bir reaksiyondur (Hayes ve ark., 2010; Waraho ve ark., 2011). Bu reaksiyon yağ asidi kompozisyonu ve doymamışlık derecesi, düşük moleküler ağırlıklı metal iyonları, pH, oksidatif enzimler, depolama sıcaklığı ve süresi, ışık, oksijen, su aktivitesi ve paketlenme gibi faktörler tarafından etkilenmektedir (Faustman ve ark., 2010; Jayawardana ve ark., 2011). Metal iyonları ısı işlem görmüş et ürünlerinde lipit oksidasyonun başlamasına veya hızlanmasına neden olan önemli bir faktördür (Kılıç ve ark., 2014). Grunwald ve Richards (2006) lipit oksidasyonunda hem molekülündeki demir atomunun önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Fosfatlar lipit oksidasyonunda rol oynayan metal iyonlarını bağlayarak antioksidatif etkilerini göstermektedirler. Sofos (1986) tarafından en iyi iyon tutucu maddelerin uzun zincirli polifosfatlar olduğu ve zincir uzunluğu artış gösterdikçe iyon tutma özelliğinin artış gösterdiği rapor edilmiştir. Yapılan çalışmalarda sodyum tripolifosfat, sodyum asit pirofosfat, sodyum heksametafosfat ve tetrasodyum pirofosfat gibi polifosfatların et ürünlerinde antioksidan etkili oldukları ve vakum veya modifiye atmosfer paketlenme ile birlikte kullanıldıklarında sinerjistik etki gösterdikleri belirtilmektedir (Lee ve ark., 1998; Masniyom ve ark., 2005a; Sickler ve ark., 2013a; Kılıç ve ark., 2014).

Fosfatların diğer bir özelliği ise et ürünlerinde sağladıkları antimikrobiyal etkileridir. Fosfatlar spesifik olarak antimikrobiyal etki gösteren katkı maddeleri olmayıp mikroorganizmaların gelişmeleri ve üremeleri üzerine belli koşullarda baskılayıcı etki gösteren kimyasal bileşenlerdir (Bunkova ve ark., 2008; Moon ve ark., 2011). Fosfatların antimikrobiyal etkileri ortamın kimyasal yapısını asitlendirme yoluyla değiştirerek,

mikrobiyal gelişme için ortamda bulunması zorunlu olan kalsiyum, magnezyum ve demir gibi metal iyonlarını bağlamak suretiyle veya nisin, etilendiamin tetraasetik asit (EDTA) ve nitrit gibi antimikrobiyal özelliğe sahip bazı katkı maddeleri ile birlikte kullanıldıklarında sinerjistik olarak ortaya çıkmaktadır (Maier ve ark., 1999; Akhtar ve ark., 2008; Bunkova ve ark., 2008; Moon ve ark., 2011). Gram pozitif bakteriler Gram negatif bakterilere göre fosfatlardan daha çok etkilenmektedir. Gram pozitif bakteriler üzerine olan engelleyici etki fosfatların zincir uzunluğuna bağlı olup zincir uzunluğu arttıkça engelleyici etki artmakta, ayrıca pH ve sıcaklıkta bu etki üzerine rol oynamaktadır (Akhtar ve ark., 2008; Bunkova ve ark., 2008; Palmeira-de-Oliveira ve ark., 2011). Bu çalışmada fosfatların fonksiyonel özellikleri hakkında genel bilgiler verilerek, antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerine yönelik çalışmalar derlenmiştir.

Et Endüstrisinde Kullanılan Fosfatlar ve Kimyasal Yapıları

Et endüstrisinde kullanılan fosfatlar fosforik asitin, sodyum veya potasyum tuzları olup tek fosfor atomlu ortofosfatları ve iki veya daha fazla fosfor atomlu polifosfatları içermektedir. Ortofosfatlar, bir fosfor atomu ve dört oksijenden ibaret olup gıda endüstrisinde önemli bir grubu oluşturmaktadır (Lampila ve Godber, 2002). Et ürünlerinde kullanılan ortofosfatlar ortofosforik asidin sodyum ve potasyum tuzudur (Knipe, 1982; Sickler, 2000). Polifosfatlar ise ortofosfat karışımlarının kontrollü şartlarda yüksek sıcaklıkta ısıtılmasıyla elde edilmektedir (Ertaş, 1992). Bir fosfor atomu (PO_4)₃ içerenler monofosfat (ortofosfat), iki fosfor atomu (P_2O_7)⁻⁴ içerenler difosfat (pirofosfat), üç fosfor atomu (P_3O_{10})⁻⁵ içerenler tripolifosfat ve üçten fazla fosfor atomu (P_nO_{3n+1})⁻⁽ⁿ⁺²⁾ içerenler ise polifosfat olarak isimlendirilmektedir (Long ve ark., 2011).

Fosfatların zincir (lineer) ve halka yapıda olmak üzere iki temel formu bulunmaktadır. Pek çok ülkede gıda işleme endüstrisinde yalnızca zincir fosfatların kullanımına izin verilmektedir. Polifosfatlar hidrolize olarak çoğunlukla ortofosfatlar, pirofosfatlar ve tripolifosfatlar olmak üzere çeşitli ürünlerin açığa çıkmasına neden olmaktadır (Sickler, 2000). Monosodyum fosfat (MSP), monopotasyum fosfat (MKP), disodyum fosfat (DSP), dipotasyum fosfat (DKP), sodyum asit pirofosfat (SAPP), sodyum tripolifosfat (STPP), potasyum tripolifosfat (KTPP), tetrasodyum pirofosfat (TSPP), tetrapotasyum pirofosfat (TKPP), sodyum heksametafosfat (SHMP) et ürünlerinde kullanımına izin verilen fosfatlardır (Lampila, 2013). Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) son ürün ağırlığında kullanılacak maksimum dozu %0,5 olarak belirtmiştir (Alvarado ve McKee, 2007).

Fosfatların Et Ürünlerindeki Fonksiyonel Özellikleri

Fosfatlar et ürünlerinin işlenmesi esnasında sağlamış oldukları pek çok yararlı etkileri nedeniyle et endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Tompkin, 1984; Sofos, 1986; Ahmed ve ark., 1995; Fernández-López ve ark., 2004; Hourant, 2004; Fonseca ve ark., 2011; Long ve ark., 2011; Gaddekar ve ark., 2014;

O'Flynn ve ark., 2014). Fosfatların et ürünlerinde sağlamış oldukları fonksiyonel özellikler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- pH'yı ve su tutma kapasitesini arttırmaları,
- İyonik gücü değiştirici etkileri,
- Et emülsiyonlarının stabilizasyonunu sağlamaları,
- Pişirme kaybını azaltmaları,
- Metal iyonları ile şelat oluşturarak oksidatif acılaşmayı geciktirmeleri,
- Antimikrobiyal etkileri,
- Tekstürel ve duysal özellikleri geliştirmeleri.

Et ürünleri üretiminde fosfatların kullanımı ile pH ve iyonik güçteki artış etin su tutma kapasitesini arttırmakta ve böylece pişirme kayıpları azaltılabilmektedir (Vasavada ve ark., 2006; Kerth, 2013; Mudalal ve ark., 2014). Polifosfatların et pH'sını arttırarak miyofibriler proteinlerin izoelektrik noktasını değiştirmek suretiyle pişirme kaybının azaltılmasında etkili olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmektedir (Roldán ve ark., 2014; Çarkçioğlu ve ark., 2015). Erdoğan ve ark. (2007) tarafından kırmızı etlerde kullanılan STPP seviyesi arttıkça pişirme kaybının azaldığı, etlerin pişirme kaybı ve tekstürel özelliklerinin değişimi üzerine fosfat konstrasyonunun ve pişirme süresinin önemli düzeyde etkili olduğu bildirilmiştir. Puolanne ve ark. (2001) fosfat kullanımının sosislerde su tutma kapasitesini arttırdığını ve ürünlerin tekstürel özelliklerini geliştirdiğini, maksimum su bağlanma değerinin ise çiğ et pH'sı 6,3 olduğunda elde edildiğini rapor etmişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada da benzer şekilde STPP ve sodyum bikarbonatın tek başına veya kombinasyonlarının domuz eti marinasyonunda kullanılmasının et pH'sını arttırdığı ve pişirme kaybını azalttığı bildirilmiştir (Sheard ve Tali, 2004). Fosfatlar üründe sululuk ve gevrekliğe etki ederek istenilen tekstürel yapının oluşumunda, kürlenmiş et ürünlerinde pH'yı düşürerek kürlenme renginin oluşum hızının artırılmasında, ayrıca tuz ile birlikte sinerjistik etki göstererek protein çözünürlüğünün artırılmasında ve dolayısıyla emülsiyon oluşumunda ve emülsiyon stabilitesinin sağlanmasında etkili olabilmektedir (Lampila, 2013; Villamonte ve ark., 2013; O'Flynn ve ark., 2014; Roldán ve ark., 2014). Knipe ve ark. (1990) tuz oranı azaltılmış et emülsiyonlarına ilave edilen STPP ve TSPP'nin önemli düzeyde emülsiyon stabilitesini geliştirdiğini rapor etmişlerdir. Et emülsiyonlarında fosfat seviyesi arttıkça protein yapılarının küçüldüğü, yağların daha iyi emülsifiye edildiği ve böylece emülsiyonun daha homojen bir yapı kazandığı, emülsiyon kapasite ve emülsiyon oluşum oranının yükseldiği bildirilmektedir (Zorba, 1990). Zorba ve ark. (1993a) ve (1993b) yapmış oldukları iki farklı çalışmada fosfat ve tuz ilavesinin dondurulmuş sığır etlerinin emülsiyon özellikleri üzerine etkilerini incelemişler ve dondurulmuş sığır etlerinde emülsiyon stabilite değerinin %3 tuz ve %0,75 fosfat seviyesinde, buna karşın emülsiyon kapasitesi değerinin %2,5 tuz ve %0,75 fosfat seviyesinde ve emülsiyon viskozitesi değerinin %2,5 tuz ve %0,50 fosfat seviyesinde en yüksek değere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Fosfatlar et ürünlerinin depolanması sırasında oksidasyon reaksiyonlarında prooksidan olarak işlev gören metal iyonlarını bağlayarak, ısıl işlem görmüş

et ürünlerinde lipit oksidasyonunun sınırlandırılmasında güçlü bir antioksidan etki göstermektedirler. Bunun sonucunda ise ürünün tat ve renk özelliklerini koruyarak et ürünlerinin raf ömrünün uzatılmasında görev almaktadırlar. Metal iyonları fosfat tarafından bağlandıktan sonra halen gıda içerisinde mevcut olmalarına rağmen oksidasyon reaksiyonlarına katılamamaktadır (Cheng ve Ockerman, 2007; Kılıç ve ark., 2014). Min ve ark. (2010) tarafından sığır köftelerinde serbest formdaki demirin lipit oksidasyonunun başlıca katalizörü olduğu rapor edilmiştir. Etemadian ve ark. (2012) prooksidatif özellik gösteren metal iyonlarının fosfatlar tarafından bağlanması suretiyle oksidatif değişimlerin engellenebileceğini bildirmişlerdir. Fosfatların diğer bir fonksiyonel özelliği ise et ürünlerinde antimikrobiyal etki göstermeleri olup literatürde fosfatların mikrobiyal gelişimi kontrol amacıyla kullanımına yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Molins ve ark., 1985; Kim ve Marshall, 1999; Masniyom ve ark., 2006; Hue ve ark., 2007; Akhtar ve ark., 2008; Bunkova ve ark., 2008; Singh ve ark., 2010; Hwang ve Juneja, 2011; Sarjit ve Dykes, 2015).

Fosfatların Lipit Oksidasyonunu Önleyici Etkileri

Fosfatların temel kimyasal işlevlerinden biri oksidatif değişimleri sınırlandırıcı etkileridir. Fosfatlar antioksidan etkilerini oksidasyon katalisti olan metal iyonları ile şelat oluşturarak, iyonik gücü ve pH'yı arttırıcı fonksiyonları ile bazı prooksidanları bağlayarak gerçekleştirmektedir (Ünal ve ark., 2006; Nguyen ve ark., 2013; Sickler ve ark., 2013a,b; Kılıç ve ark., 2014). Böylece oksidasyonu sınırlandırmakta, renk koruyucu etki göstermekte ve oksidasyona bağlı acılaşmayı geciktirmektedirler. Lipit oksidasyonunun geciktirilmesinde ürüne ilave edilen fosfat konsantrasyonu, kullanılan fosfatın tipi ve kompozisyonu önemli bir rol oynamaktadır (Long ve ark., 2011; Kılıç ve ark., 2016a). Uzun zincirli polifosfatlar kısa zincirli polifosfatlara göre daha iyi şelat ajanları olarak işlev görmektedir (Long ve ark., 2011; Nguyen ve ark., 2013; Sickler ve ark., 2013a). Uzun zincirli polifosfatların sahip olduğu güçlü antioksidan etki et ürünlerinde pişirme işleminden önce et içerisinde bulunan fosfataz enzimleri tarafından azaltılabilmektedir. Fosfataz enzimleri polifosfatları hidrolize ederek zincir uzunluğunun kısalmasına ve fosfatların fonksiyonel özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır (Sickler ve ark., 2013a; Kılıç ve ark., 2014; Kılıç ve ark., 2015). Özellikle SHMP gibi uzun zincirli fosfatlar kalsiyum ve magnezyum gibi hafif metal kanyonlarını çok iyi bağlarken, demir ve bakır gibi ağır metaller ise STPP ve SAPP gibi kısa zincirli polifosfatlar tarafından çok etkili bir biçimde bağlanmaktadır. SHMP gibi uzun zincirli fosfatlarda pH yükseldikçe metallerle kompleks oluşturma etkinlikleri artarken, STPP ve SAPP gibi kısa zincirli fosfatlarda pH yükseldikçe metallerle kompleks oluşturma etkinlikleri azalmaktadır (Sickler, 2000).

Literatürde fosfatların antioksidatif etkilerine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalarda bu etkinin enkapsülasyon teknolojisi kullanılarak artırılabilmesi rapor edilmektedir (Kılıç ve ark., 2014; Du ve Claus, 2015; Kılıç ve ark., 2016a,b). Kılıç ve ark. (2016a) ve (2016b) tarafından yapılan çalışmalarda enkapsüle edilmiş veya edilmemiş

polifosfatların et sistemlerindeki antioksidatif etkileri incelenmiştir. Kullanılan polifosfat tiplerinin (STPP, SAPP ve SHMP) lipit oksidasyonunun sınırlandırılmasında etkili olduğu, STPP ve SAPP'nin SHMP'ye göre lipit oksidasyonunun sınırlandırılmasında daha etkili olduğu, fosfatların enkapsüle edilmesi ile birlikte bu etkinin daha da arttırılabildiği, ayrıca tüm polifosfat tiplerinde ilave edilen enkapsüle polifosfat oranı arttıkça lipit oksidasyonu seviyelerinin azaldığı rapor edilmiştir. Kıyma halindeki etlere enkapsüle polifosfat ilavesi ile birlikte farklı son pişirme sıcaklık uygulamasının lipit oksidasyonu üzerine etkilerinin incelendiği diğer bir çalışmada da polifosfatların benzer şekilde etki gösterdiği rapor edilmiştir (Kılıç ve ark., 2015). Du ve Claus (2015) STPP, SAPP ve SHMP'nin hindi kıymasında lipit oksidasyonunun sınırlandırılmasında önemli düzeyde etkili olduğunu, ayrıca fosfatların enkapsüle edilmesiyle fosfataz enzimlerine bağlı polifosfat parçalanmasının azaldığını ve pişmiş olarak depolanan örneklerde lipit oksidasyonunun sınırlandırılmasında enkapsüle polifosfatların önemli düzeyde etkili olduğunu rapor etmişlerdir. Sığır köftelerinin oksidatif stabilitesi ve pişirme verimi üzerine STPP enkapsülasyonunun etkisinin incelendiği diğer bir çalışmada ise STPP'nin enkapsülasyonu ile antioksidatif etkisinin geliştirilebildiği ve enkapsülasyon işlemine tabi tutulan fosfatların depolama süresince antioksidatif etki üzerine daha avantajlı olduğu bildirilmiştir (Xie ve ark., 2015). Yapılan diğer çalışmalarda da benzer şekilde STPP ve SAPP'nin lipit oksidasyonunu önlemede etkili oldukları, bu etkinliğin ise prooksidan olarak etki gösteren metal iyonlarını bağlamak suretiyle gerçekleştiği ve enkapsülasyon tekniği ile kaplama yapıldığında bu etkinliğin daha da arttığı belirtilmiştir (Sickler ve ark., 2013a,b; Kılıç ve ark., 2014).

Richards ve Bak (2015) tarafından hindi eti içeren ürünlerde doğal antioksidanlar ile birlikte kullanılan fosfatın lipit oksidasyonunun sınırlandırılmasında sinerjistik etki gösterdiği belirtilmiştir. İspanyol tipi fermente sucuklarda fosfat kullanımı üzerine yapılan bir çalışmada ise difosfat ve polifosfat karışımlarının kullanılması ile TBARS değerlerinin düştüğü belirtilmiştir (Fonseca ve ark., 2011). Mikkelsen ve ark. (1991) sığır köftelerine difosfat ve tripolifosfat ilavesinin TBARS değerlerinin düşürülmesinde etkili olduğunu bildirmişlerdir. Wang ve Brewer (1999) tarafından domuz köftelerine ilave edilen sodyum polifosfat (SP) miktarı arttıkça TBARS oluşum miktarlarının azaldığı rapor edilmiştir. Lee ve ark. (1998) yeniden yapılandırılmış ve pişirme işlemi uygulanmış sığır etlerine ilave edilen SAPP ve STPP'nin lipit oksidasyonunu sınırlandırmada etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Aksu ve Alp (2012) tarafından kıyma halindeki sığır etlerine STPP ilavesinin ve modifiye atmosfer paketlenmenin (MAP) renk, lipit stabilitesi ve mikrobiyal gelişme üzerine etkileri incelenmiş, en yüksek TBARS değerinin MAP uygulamasında, en düşük TBARS değerinin ise %0,5 STPP-MAP kombinasyon uygulamasında elde edildiği belirtilmiştir. Lund ve ark. (2007) et ürünlerinin modifiye atmosfer paketlenmesinde kullanılan yüksek orandaki oksijenin lipit oksidasyonunu arttırıcı yönde etkilediğini rapor etmişlerdir. MAP mikrobiyal gelişimin sınırlandırılması açısından etkili bir

yöntem olarak görülmesine rağmen özellikle lipit oksidasyon gibi kimyasal değişimleri önleyemediği bildirilmektedir (Maqsood ve Benjakul, 2010). Polifosfatların MAP ile birlikte kullanıldığında bakteri çoğalmasını engellediği ve doymamış yağ asidi oksidasyonunu yavaşlattığı belirtilmektedir (Masniyom, 2011). Masniyom ve ark. (2005a) MAP ile birlikte fosfat uygulamasının etkilerini araştırdıkları çalışmalarında en yüksek TBARS değerlerinin MAP ile depolanan örneklerde elde edildiğini, MAP ile birlikte fosfat uygulamasının ise TBARS değerlerini düşürdüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca MAP'de kullanılan yüksek orandaki CO₂'ten kaynaklanan karbonik asitin glutatyon ve peroksidaz gibi antioksidatif enzimlerin inaktivasyonuna neden olduğunu ve sonuç olarak da kaslarda oksidasyonun arttığını belirtmişlerdir. Aynı çalışmada fosfat tipinin etkisi de karşılaştırılmış ve SAPP içeren örneklerin TBARS değerlerinin TSPP veya STPP içeren örneklerin değerlerinden daha düşük olduğu rapor edilmiştir. Etemadian ve ark. (2012) aerobik ve vakum paketlenmiş balık filetolarından elde edilen TBA değerlerinin fosfat uygulaması ile birlikte vakum paketlenmiş örneklerden elde edilen değerlerden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar vakum paketlenen örneklerdeki artışın buzda depolama süresince kaslardaki karbonik asit formunun kas proteinlerinin denatürasyonunu teşvik etmesi ve buna bağlı olarak kas sistemlerinde prooksidan potansiyeli bulunan demirin hem molekülünden ayrılarak serbest kalmasından kaynaklanmış olabileceğini, aerobik ortamda depolanan örneklerdeki artışın ise havanın oksijeni ile lipitlerin etkileşimine bağlı olabileceğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada STPP içeren denemelerdeki TBA değerlerinin SAPP ile SAPP ve STPP kombinasyonunu içeren denemelerdeki değerlerden daha düşük olduğu rapor edilmiştir (Etemadian ve ark., 2012). Etemadian ve ark. (2011) tarafından yapılan diğer bir çalışmada da en düşük TBA değerlerinin polifosfat içeren denemelerde elde edildiği ve lipit oksidasyonunu sınırlandırmada en etkili polifosfat tipinin STPP olduğu bildirilmiştir.

Allen ve Cornforth (2009) doğal antioksidanlar ile şelat ajanlarının etkilerini inceledikleri çalışmalarında STPP'nin metal bağlama kapasitesinin diğer antioksidanlara göre daha yüksek olduğunu, 1mg/ml ile 0,05 mg/ml oranları arasında ilave edilen STPP'nin 0,05 mg oranında ilave edilen demir metalini bağlama oranının %88 ile %21 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Cheng ve Ockerman (2007) sığır rostolarına 200 ppm α -tokoferol, 550 ppm askorbik asit ve %0,5 oranında STPP enjeksiyonunun etkisini inceledikleri çalışmalarında enjekte edilen üç antioksidanın da lipit oksidasyonunun yavaşlatılmasında etkili olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada da benzer şekilde STPP, askorbik asit ve α -tokoferol enjeksiyonunun pişmiş sığır rostolarında lipit stabilitesinin sağlanmasında başlıca düzenleyici etki gösterdiği rapor edilmiştir (Cheng ve ark., 2011). Cheng ve Ockerman (2003) tarafından yapılan diğer bir çalışmada da sığır rostosuna STPP ilavesinin demir bağlama özelliği sayesinde TBARS değerlerinin düşük tutulmasında etkili bir uygulama olduğu bildirilmiştir. Lee ve ark. (2005) sığır köftelerinde STPP'nin lipit oksidasyon düzeyini azaltma eğiliminin olduğunu, STPP'nin tek başına kullanıldığı grup ile STPP ile

sodyum eritorbatın birlikte kullanıldığı gruplarda lipit oksidasyon değerleri açısından bir farkın bulunmadığını bildirmişlerdir. Vara-Ubol ve Bowers (2002) hindi etinde kullanılan %0,3 oranındaki STPP ile α -tokoferol karışımının tek başına kullanılan %0,5 oranındaki STPP kadar lipit oksidasyonunu engellemede etkili olduğunu belirtmişlerdir. Craig ve ark. (1996) kıyım halindeki hindi ve sığır etine inorganik fosfat ilavesi ile daha düşük pişirme kaybı ve hekzanal seviyesine ulaştıklarını, fosfatların pişmiş hindi köftelerinde serbest formdaki demiri bağlamakta daha etkili olduklarını ancak sığır köftelerindeki etkilerinin daha düşük kaldığını rapor etmişlerdir.

Fosfatların Antimikrobiyal Etkileri

Fosfatlar spesifik olarak antimikrobiyal etki gösteren katkı maddeleri olmayıp, bazı Gram pozitif, Gram negatif bakteriler ile maya hücrelerinin üremeleri ve gelişmeleri üzerine belli koşullarda baskılayıcı etki gösteren kimyasal bileşenlerdir (Bunkova ve ark., 2008; Moon ve ark., 2011). Kim ve Marshall (1999) fosfatların soğutulmuş etlerde su aktivitesini azaltmak, hücre bütünlüğü ve bakteriyel metabolizma için gerekli olan metal iyonlarını bağlamak suretiyle dolaylı olarak antimikrobiyal etkili olabileceğini bildirmişlerdir. Molins (1991) Gram pozitif bakterilerin çeşitli piro- ve polifosfatlar tarafından inhibisyona karşı Gram negatif bakterilerden daha duyarlı olduklarını bildirmiştir. Fosfatların gelişimini etkilediği başlıca Gram pozitif bakteriler *Leuconostoc carnosum*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus brevis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus spp.*, *Micrococcus luteus*, *Corynebacterium glutamicum*, *Sarsina lutea* olarak bildirilmekte, ayrıca *Salmonella Typhimurium*, *Salmonella Enteritidis*, *Escherichia coli* gibi Gram negatif bakteriler üzerinde de az da olsa etkili oldukları belirtilmektedir (Akhtar ve ark., 2008; Bunkova ve ark., 2008; Long ve ark., 2011; Moon ve ark., 2011; Moon ve ark., 2014). Fosfatlar hücre bölünmesi için gerekli olan metal iyonları ile kompleks oluşturmak suretiyle bakteri çoğalmasını baskılayarak, sodyum asit pirofosfat gibi asidik polifosfatların ortam pH'sını düşürmesi ile, hücre duvarı bütünlüğünü veya hem/hemin kullanımını bozarak, hücre morfolojisinde değişikliğe neden olarak, oksidatif stresi artırarak antimikrobiyal etkilerini göstermektedirler (Maier ve ark., 1999; Knipe, 2004; Masniyom ve ark., 2005a; Feiner, 2006; Cheng ve Ockerman, 2007; Akhtar ve ark., 2008; Bunkova ve ark., 2008; Moon ve ark., 2011). Ayrıca fosfatlar çoğu bakterinin ısıya karşı olan dayanıklılığını da azaltmaktadır (Luck ve Jager, 1997). Gram pozitif bakteriler üzerinde inhibe edici etkinin fosfatların zincir uzunluğuna bağlı olduğu ve uzun zincirli fosfatların kısa zincirli fosfatlardan daha iyi inhibitör etki gösterdiği bildirilmektedir (Zaika ve Kim, 1993; Bunkova ve ark., 2008). Diğer taraftan Masniyom ve ark. (2005a) ve (2005b) pirofosfatların mikroorganizmaları inhibi edici etkilerinin tripolifosfatlar veya daha uzun zincirli fosfatlardan daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Fosfat tipi ve konsantrasyonu, ürün pH'sı, üründeki NaCl miktarı, ortamdaki diğer inhibitör maddelerin (nitrit, askorbat vb.) varlığı, kontaminasyon tipi ve düzeyi, mikroorganizma türü, sıcaklık ve depolama koşulları gibi

faktörler fosfatların mikrobiyal gelişmeyi engelleyici özellikleri üzerinde etkili olmaktadır (Knipe, 2004; Akhtar ve ark., 2008; Bunkova ve ark., 2008). Scullen ve Zaika (1994) tarafından sodyum polifosfatın düşük sıcaklık, düşük pH ve yüksek tuz konsantrasyonunda *Listeria monocytogenes* çoğalmasını engelleyici etkisini arttırdığı rapor edilmiştir.

Literatürde fosfatların antimikrobiyal etkilerinin varlığını ortaya koyan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayari ve ark. (2016) sığır kıymalarına sinamaldehit ve SAPP ilavesi ile birlikte ışınlama uygulamasının sadece ışınlama uygulaması ile karşılaştırıldığında mezofilik ve psikrotrofik bakteri sayılarının azaltılmasında daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Sarjit ve Dykes (2015) ördek ve tavuk etinde *Campylobacter* ve *Salmonella* gelişimine karşı TSP ve sodyum hipokloritin etkisini inceledikleri çalışmalarında, hem ördek hem de tavuk etinde kullanılan tüm TSP konsantrasyonlarında *Campylobacter* ve *Salmonella* sayılarının önemli düzeyde azaldığını belirtmişlerdir. Ördek etinde TSP'nin yüksek konsantrasyonlarında tespit edilebilir limitlerin altında *Campylobacter* sayılarının, TSP'nin tüm konsantrasyonlarında ise tespit edilebilir limitlerin altında *Salmonella* sayılarının belirlendiğini vurgulamışlardır. Tavuk etinde ise düşük inokülüm seviyelerinde ve yüksek TSP konsantrasyonlarında tespit edilebilir limitlerin altında *Campylobacter* ve *Salmonella* sayılarının elde edildiği rapor edilmiştir (Sarjit ve Dykes, 2015). Khan ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada ise tavuk köftelerinde STPP kullanımı ile toplam canlı sayısının kontrolünde önemli bir etkinin elde edilemediği bildirilmiştir.

Aksu ve Alp (2012), kıyım halindeki sığır etlerine STPP ilavesi yaptıkları çalışmalarında toplam mezofilik aerobik, psikrotrofik, laktik asit bakterisi, *Pseudomonas* spp. ve *Enterobacteriaceae* spp. sayılarındaki değişimleri incelemişlerdir. Sonuç olarak en düşük mezofilik, psikrotrofik bakteri sayılarına %0,25 STPP ve modifiye atmosfer paketlemenin birlikte yapıldığı örnekte ulaştıklarını bildirmişlerdir. Etemadian ve ark. (2012) balık filetoalarının buzda depolanması esnasında en düşük psikrotrofik bakteri sayısının vakum paketleme ile birlikte STPP kullanılan deneme örneklerinde elde edildiğini, vakum paketleme ile birlikte STPP kullanılan örneklerin psikrotrofik bakteri sayılarının daha yavaş artış gösterdiğini, sonuç olarak vakum paketleme ile birlikte fosfat kullanımının bakteri çoğalmasının geciktirilmesinde sinerjistik etki göstermiş olabileceğini belirtmişlerdir. Etemadian ve ark. (2011) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise balık filetoalarına TSP ve STPP çözümü uygulamasının mikrobiyal yükün azaltılmasında etkili olduğu bildirilmiştir. Polifosfatların bu etkinliği hücre bölünmesi için gerekli olan metal iyonlarını bağlamak suretiyle göstermiş olabileceğini belirtmişlerdir (Etemadian ve ark., 2011).

Palmeira-de-Oliveira ve ark. (2011) STPP'nin bazı *Candida* spp. karşı türe bağlı aktivite gösterdiğini, özellikle *C. glabrata* ve *C. guilliermondii* üzerine etkili olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca *In vitro* şartlarda STPP'nin konsantrasyona bağlı sitotoksik etki gösterdiği rapor edilmiştir. Moon ve ark. (2011) tarafından polifosfatların *Porphyromonas gingivalis*'e karşı bakterisidal etki gösterdiği, bunun da hem/hemin

kullanımının bozulması ve oksidatif stresin artması suretiyle gerçekleştiği bildirilmiştir. Hwang ve Juneja (2011) sığır kıymalarında *Escherichia coli* O157:H7 suşunun çoğalması üzerine sodyum laktat, SAPP ve tuzun etkisini inceledikleri çalışmalarında, sodyum laktatın yüksek konsantrasyonlarında *E. coli* O157:H7 suşunun çoğalma olasılığının azaldığını, %1,3'ün altındaki tuz konsantrasyonlarında ise SAPP'nin artan konsantrasyonlarında *E. coli* O157:H7 suşunun çoğalma olasılığının artışı gösterdiğini belirtmişlerdir. Singh ve ark. (2010) *Clostridium perfringens* sporlarının çimlenmesi ve çoğalması üzerine et tipi (DFD, normal, PSE) ve fosfatların (SAPP ve TSPP) etkisini araştırdıkları çalışmalarında pişmiş domuz etlerinde *C. perfringens* sporlarının çimlenmesi ve çoğalmasının et tipi ve fosfat tipinden etkilendiğini, *C. perfringens*'in inhibe edilmesinde SAPP'nin daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Akhtar ve ark. (2008) %0,6 oranında kullanılan STPP'nin *C. perfringens*'in gelişimini baskıladığını, %0,8 ve %1,0 konsantrasyonlarında kullanımının ise antimikrobiyal etki gösterdiğini belirtmişlerdir. Hue ve ark. (2007) etlerde TSPP ve STPP kullanımının doza bağlı olarak *Escherichia coli* O157:H7 suşunun üremesini engellediğini rapor etmişlerdir. Cheng ve Ockerman (2003) ve (2007) tarafından yapılan çalışmalarda sığır bifteklerine %0,5 oranında STPP enjeksiyonunun mezofilik, psikrofilik ve termofilik bakteri sayılarında azalmaya neden olduğu bildirilmektedir. Masniyom ve ark. (2006) levrek filetolarına pirofosfat uygulaması yapıldığında *E. coli* O157'nin koloni sayısının azaldığını ve *L. monocytogenes*'in lag fazının uzadığını rapor etmişlerdir. Masniyom ve ark. (2005a) tarafından yapılmış başka bir çalışmada ise modifiye atmosfer paketlenme ile birlikte kullanılan SAPP'nin mezofilik ve psikrofilik bakteri sayılarının azaltılmasında sinerjistik etki gösterdiği bildirilmiştir.

Maier ve ark. (1999) %0,1 ve daha yüksek konsantrasyonlarda kullanılan polifosfatların log fazdaki *Bacillus cereus* hücreleri üzerine bakterisidal etkisinin olduğunu ve canlı hücre sayılarında 3 log birimlik azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Benzer sonuçları *Bacillus cereus* sporları içinde tespit ettiklerini, %0,1 oranında polifosfatın sporların çimlenmesini engellediğini, daha yüksek konsantrasyonda (%1) ise sporisidal etki gösterdiğini rapor etmişlerdir. Zaika ve ark. (1997) polifosfatların mineral bağlama özellikleri ile antimikrobiyal etkileri arasında bir ilişkinin olduğunu, düşük mineral içeren ortamlarda uzun zincirli sodyum polifosfatların *Listeria monocytogenes* gelişimini engellediğini, ortama Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi polivalent metal iyonları eklendiğinde ise bu etkinin tersine döndüğünü ve mineral içeriği yüksek gıdalarda sodyum polifosfat ilavesinin *Listeria monocytogenes* gelişimini engelleme etkisinin çok düşük kaldığını belirtmişlerdir. Lee ve ark. (1994a) *Staphylococcus aureus* üzerine uzun zincirli polifosfatların antibakteriyel mekanizmasını araştırmışlar ve çalışma sonucunda polifosfatların hücre duvarında bulunan Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi esansiyel metalleri bağlayarak bakterisidal ve bakteriyostatik etki göstermiş olabileceğini bildirmişlerdir. Yapmış oldukları diğer çalışmalarda ise metal iyonlarının Gram pozitif bakterilerinin hücre duvarlarında teyikoik asit zincirleri arasında çapraz

köprüler oluşturulmasında etkili olduklarını fosfatların ise bu metalleri bağlamak suretiyle antimikrobiyal etkisini göstermiş olabileceğini belirtmişlerdir (Lee ve ark., 1994b,c). Zaika ve Kim (1993) sodyum fosfatların (SP) *Listeria monocytogenes*'in gelişmesini engellediğini, SP'nin engelleyici etkisinin ise zincir uzunluğu arttıkça artış gösterdiğini bildirmişlerdir. SP'nin en belirgin etkisinin lag fazı üzerine olduğu, bu etkinin ise SP konsantrasyonundaki artışa ve inkübe edilen sıcaklıktaki düşüşe bağlı olarak artış gösterdiğini belirtmişlerdir (Zaika ve Kim, 1993). Molins ve ark. (1985) 5°C'de depolanan sosislerde SAPP, STPP, TSP ve camsı sodyum polifosfatların (SPG) bakteriyel gelişmeyi engelleyici etkisinin önemli düzeyde bulunmadığı, ancak SAPP'nin 24°C inkübe edilen sosislerde aerobik ve anaerobik bakterilerin gelişmesinin önlenmesinde önemli düzeyde etkili olduğunu bunu sırasıyla TSP ve STPP'nin takip ettiğini bildirmişlerdir. İşlenmiş et ürünlerinde fosfatların antimikrobiyal özelliklerinin kaybolmasında başlıca etkinin fosfatların enzimatik hidrolizine bağlı olduğunu rapor etmişlerdir. Wagner ve Busta (1985) ve (1984) yapmış oldukları çalışmalarında SAPP içeren ortamlarda *Clostridium botulinum* 52A suşunun toksin üretiminin engellenebildiğini, ayrıca SAPP kullanımı ile *Clostridium botulinum*'un çeşitli suşlarının gelişmesinin geciktirilebildiğini vurgulamışlardır.

Sonuç

Fosfatlar sağlamış oldukları pek çok yararlı etkilerden dolayı et endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Et endüstrisi açısından, su tutma kapasitesinin artışı, iyonik gücü değiştirebilmeleri, emülsiyonlarının stabilizasyonunu sağlamaları, pişirme kaybını azaltmaları gibi yararlı özelliklerinden dolayı fosfat kullanımı tercih edilirken, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri göz ardı edilebilmektedir. Polifosfatların antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri zincir uzunluklarından etkilenmekte, uzun zincirli polifosfatların daha iyi antioksidatif ve antimikrobiyal aktivite gösterdiği yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. Ancak et sistemleri içerisinde bulunan endojen fosfataz enzimleri polifosfatları hidrolize ederek daha kısa zincirli polifosfatlara veya ortofosfatlara parçalamakta ve dolayısı ile polifosfatların antioksidan ve antimikrobiyal etkileri azalmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda fosfatların var olan etkinlikleri test edilmiş ancak etkinliğin artırılması veya azalmasının önlenmesine yönelik çalışmalara son yıllarda yer verilmeye başlanmıştır. Fosfataz enzimlerinin etkinliğinin azaltılmasına veya fosfatların söz konusu enzimlerden korunmasına yönelik farklı çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu sayede fosfatların var olan etkinlikleri artırılabilir ve et endüstrisinin çok yönlü amaçlar için kullandığı fosfatlardan üst düzeyde yararlanılabilecektir.

Kaynaklar

- Addis M. 2015. Major causes of meat spoilage and preservation techniques: A Review. Food Sci. Qua. Man., 41: 101-114.
Ahmed AM, Marriott NG, Claus JR. 1995. Phosphates and meat. the use of phosphate in meat products to control microbial growth. Meat Foc. Int., 4: 189.

- Akhtar S, Paredes-Sabja D, Sarker MR. 2008. Inhibitory effects of polyphosphates on clostridium perfringens growth, sporulation and spore outgrowth. *Food Microbiol.*, 25: 802-808.
- Allen K, Cornforth D. 2009. Effect of chelating agents and spice-derived antioxidants on myoglobin oxidation in a lipid-free model system. *J. Food Sci.*, 74(5): 375-379.
- Alvarado C, McKee S. 2007. Marination to improve functional properties and safety of poultry meat. *J. Appl. Poult. Res.*, 16: 113-120.
- Aksu Mİ, Alp E. 2012. Effects of sodium tripolyphosphate and modified atmosphere packaging on the quality characteristics and storage stability of ground beef. *Food Technol Biotech.*, 50(1): 81-87.
- Ayari S, Han J, Vu KD, Lacroix M. 2016. Effects of gamma radiation, individually and in combination with bioactive agents, on microbiological and physicochemical properties of ground beef. *Food Control*, 64: 173-180.
- Bachmann N, Bergmann C. 2012. Epigenetics and imprinting. *Archives de Pe'diatrie* 19: 1145-1147.
- Bunkova L, Pleva P, Bunka F, Valasek P, Kracmar S. 2008. Antibacterial effects of commercially available phosphates on selected microorganisms. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendel. Brun.*, 56: 19-24.
- Cheng J-H, Ockerman HW. 2003. Effect of phosphate with tumbling on lipid oxidation of precooked roast beef. *Meat Sci.*, 65: 1353-1359.
- Cheng J-H, Ockerman HW. 2007. Effects of phosphate, ascorbic acid, α -tocopherol and salt with nonvacuum tumbling on lipid oxidation and warmed-over flavor of roast beef. *J. Muscle Foods*, 18(3): 313-329.
- Cheng J-H, Wang S-T, Sun Y-M, Ockerman HW. 2011. Effect of phosphate, ascorbic acid and α -tocopherol injected at one-location with tumbling on quality of roast beef. *Meat Sci.*, 87: 223-228.
- Craig JA, Bowers JA, Wang XY, Seib PA. 1996. Inhibition of lipid oxidation in meats by inorganic phosphate and ascorbate salts. *J. Food Sci.*, 61: 1062-1066.
- Çarkçioğlu E, Rosenthal AJ, Candoğan K. 2015. Rheological and textural properties of sodium reduced salt soluble myofibrillar protein gels containing sodium tripolyphosphate. *J Texture Studies*, 47(3): 181-187.
- Du C, Claus JR. 2015. Inhibition of lipid oxidation in ground turkey with encapsulated phosphates as affected by meat age, phosphate type, and temperature release point. *Meat Sci.*, 101: 110.
- Erdogdu SB, Erdogdu F, Ekiz HI. 2007. Influence of sodium tripolyphosphate (STP) treatment and cooking time on cook losses and textural properties of red meats. *J. Food Process Eng.*, 30: 685-700.
- Ertaş AH. 1992. Tuz oranı düşük et ürünlerinde fosfatların kullanımı. *Gıda*, 17(5): 341-351.
- Etemadian Y, Shabanpour B, Mahoonak ARS, Shabani A. 2012. Combination effect of phosphate and vacuum packaging on quality parameters of *rutilus frisii kutum* fillets in ice. *Food Res Int.*, 45: 9-16.
- Etemadian Y, Shabanpour B, Mahoonak ARS, Shabani A, Alami M. 2011. Cryoprotective effects of polyphosphates on *rutilus frisii kutum* fillets during ice storage. *Food Chem.*, 129: 1544-1551.
- Faustman C, Sun Q, Mancini R, Suman SP. 2010. Myoglobin and lipid oxidation interactions: mechanistic bases and control. *Meat Sci.*, 86: 86-94.
- Feiner G. 2006. *Meat products handbook*. Woodhead Publishing, 629p, Cambridge, England.
- Fernández-López J, Sayas-Barberá E, Pérez-Alvarez JA, Aranda Catalá V. 2004. Effect of sodium chloride, sodium tripolyphosphate and pH on color properties of pork meat. *Color Res. Appl.*, 29: 67-74.
- Fonseca B, Kuri V, Zumalacarregui JM, Mateo J. 2011. Effect of the use of a commercial phosphate mixture on selected quality characteristics of 2 spanish-style dry-ripened sausages. *J Food Sci.*, 76(5): 300-305.
- Gadekar YP, Sharmaa BD, Shinde AK, Vermac AK, Mendiratta SK. 2014. Effect of natural antioxidants on the quality of cured, restructured goat meat product during refrigerated storage (4±1°C). *Small Ruminant Res.*, 119: 72-80.
- Grunwald EW, Richards MP. 2006. Studies with myoglobin variants indicate that released hemin is the primary promoter of lipid oxidation in washed fish muscle. *J. Agric. Food Chem.*, 54(12): 4452-4460.
- Hayes JE, Stepanyan V, Allen P, O'Grady MN, Kerry JP. 2010. Effect of lutein, sesamol, ellagic acid and olive leaf extract on the quality and shelf-life stability of packaged raw minced beef patties. *Meat Sci.*, 84: 613-620.
- Hourant P. 2004. General properties of the alkaline phosphates: major food and technical applications. *Phosphorus Res. Bull.*, 15: 85-94.
- Hue J, Li L, Lee Y, Lee K, Nam S, Yun Y, Jeong J, Lee S, Yoo H, Lee B. 2007. Antibacterial activity of sodium phytate and sodium phosphates against *escherichia coli* o157:h7 in meats. *J. Food Hyg. Safe.*, 22: 37-44.
- Hwang C, Juneja V. 2011. Effects of salt, sodium pyrophosphate, and sodium lactate on the probability of growth of *escherichia coli* o157:h7 in ground beef. *J. Food Protection*, 4: 622-626.
- Jayawardana BC, Hirano T, Han K, Ishii H, Okada T, Shibayama S, Fukushima M, Sekikawa M, Shimada K. 2011. Utilization of adzuki bean extract as a natural antioxidant in cured and uncured cooked pork sausages. *Meat Sci.*, 89: 150-153.
- Kerth CR. 2013. *The science of meat quality*. John Wiley and Sons, 312p, New York.
- Khan A, Allen K, Wang X. 2015. Effect of type I and type II antioxidants on oxidative stability, microbial growth, pH, and color in raw poultry meat. *Food Nutrition Sci.*, 6: 1541-1551.
- Kılıç B, Şimşek A, Claus JR, Atılğan E. 2016a. Melting release point of encapsulated phosphates and heating rate effects on control of lipid oxidation in cooked ground meat. *LWT-Food Sci Technol.*, 66: 398-405.
- Kılıç B, Şimşek A, Claus JR, Atılğan E, Bilecen D. 2016b. Impact of added encapsulated phosphate level on lipid oxidation inhibition during the storage of cooked ground meat. *J Food Sci.*, 81(2): 359-368.
- Kılıç B, Şimşek A, Claus JR, Atılğan E, Aktaş N. 2015. Effects of different end-point cooking temperatures on the efficiency of encapsulated phosphates on lipid oxidation inhibition in ground meat. *J Food Sci.*, 80(10): 2161-2169.
- Kılıç B, Şimşek A, Claus JR, Atılğan E. 2014. Encapsulated phosphates reduce lipid oxidation in both ground chicken and ground beef during raw and cooked meat storage with some influence on color, pH, and cooking loss. *Meat Sci.*, 97(1): 93-103.
- Kim CR, Marshall DL. 1999. Microbiological, colour and sensory changes of refrigerated chicken legs treated with selected phosphates. *Food Res Int.*, 32: 209-215.
- Knipe CL. 1982. Effects of inorganic polyphosphates on reduced sodium and conventional meat emulsion characteristics. Iowa State University, PhD Thesis, 259p, Iowa.
- Knipe CL, Rust RE, Olson DG. 1990. Some physical parameters involved in the addition of inorganic phosphates to reduced-sodium meat emulsion. *J. Food Sci.*, 55: 23-25.
- Knipe CL. 2004. Use of phosphates in meat products. Erişim Adresi: <http://www.ag.ohio-state.edu>. [Erişim: 22.05.2015].
- Lampila LE. 2013. Applications and functions of food-grade phosphates. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1301: 37-44.

- Lampila LE, Godber JP. 2002. Food phosphates. In: Branen, A.L., Davidson, P.M., Salminen, S., Thorngate III, J.H. (Ed.), In Food Additives - 2nd edition 988p, New York. Marcel Dekker Inc., 869-963.
- Lee RM, Hartman PA, Stahr HM, Olson DG, Williams FD. 1994a. Antibacterial mechanism of long-chain polyphosphates in staphylococcus aureus. *J. Food Protect.*, 4(6): 289-294.
- Lee RM, Hartmann PA, Olson DG, Williams FD. 1994b. Bactericidal and bacteriolytic effects of selected food-grade polyphosphates, using staphylococcus aureus as a model system. *J. Food Protect.*, 57: 276-283.
- Lee RM, Hartmann PA, Olson DG, Williams FD. 1994c. Metal ions reverse the inhibitory effects of selected food-grade polyphosphates in staphylococcus aureus. *J. Food Protect.*, 57: 284-288.
- Lee BJ, Hendricks DG, Cornforth DP. 1998. Effect of sodium phytate, sodium pyrophosphate and sodium tripolyphosphate on physico-chemical characteristics of restructured beef. *Meat Sci.*, 50(3): 273-283.
- Lee S, Decker EA, Faustman C, Mancini RA. 2005. The effects of antioxidant combinations on color and lipid oxidation in n-3 oil fortified ground beef patties. *Meat Sci.*, 70: 683-689.
- Long NHBS, Gál R, Buňka F. 2011. Use of phosphates in meat products. *African J. Biotech.*, 10(86): 19874-19882.
- Luck E, Jager M. 1997. Antimicrobial food additives: characteristics, uses, effects. 2nd Rev. And Enlarged Edn. Berlin. Springer-verlag, ISBN-13: 978-3540611387
- Lund MN, Hviid MS, Skibsted LH. 2007. The combined effect of antioxidants and modified atmosphere packaging on protein and lipid oxidation in beef patties during chill storage. *Meat Sci.*, 76(2): 226-233.
- Maier SK, Scherer S, Loessner MJ. 1999. Long-chain polyphosphate causes cell lysis and inhibits bacillus cereus septum formation, which is dependent on divalent cations. *Appl. Environ. Microb.*, 65(9): 3942-3949.
- Masniyom P. 2011. Deterioration and shelf-life extension of fish and fishery products by modified atmosphere packaging. *Songklanakarın J. Sci. Technol.*, 33(2): 181-192.
- Masniyom P, Benjakul S, Visessanguan W. 2006. Synergistic antimicrobial effect of pyrophosphate on listeria monocytogenes and escherichia coli o157 in modified packaged and refrigerated seabass slices. *LWT- Food Sci. Technol.*, 39: 302-307.
- Masniyom P, Benjakul S, Visessanguan W. 2005a. Combination effect of phosphate and modified atmosphere on quality and shelf-life extension of refrigerated seabass slices. *LWT- Food Sci. Technol.*, 38: 745-756.
- Masniyom P, Benjakul S, Visessanguan W. 2005b. Collagen changes in refrigerated seabass muscle treated with pyrophosphate and stored in modified-atmosphere packaging. *Eur. Food Res. Technol.*, 220: 322-325.
- Maqsood S, Benjakul S. 2010. Synergistic effect of tannic acid and modified atmospheric packaging on the prevention of lipid oxidation and quality losses of refrigerated striped catfish slices. *Food Chem.*, 121: 29-38.
- Mikkelsen A, Bertelsen G, Skibsted LH. 1991. Polyphosphates as antioxidants in frozen beef patties. *Eur. Food Res. Technol.*, 192: 309-318.
- Min Z, Haixia CL, Hinlei Y, Ying P, Ying W. 2010. Antioxidant properties of tartary buckwheat extracts as affected by different thermal processing methods. *Food Sci. Technol.*, 43: 181-185.
- Molins RA, Kraft AA, Olson DG. 1985. Adaptation of a method for the determination of soluble orthophosphates in cooked and uncooked pork containing acid-labile poly- and pyrophosphates. *J. Food Sci.*, 50: 1482-1483.
- Molins RA. 1991. Phosphates in food. CRC Press, Inc., Boca Raton.
- Moon J-H, Lee J-H, Lee J-Y. 2014. Microarray analysis of the transcriptional responses of porphyromonas gingivalis to polyphosphate. *BMC Microbiology*, 14: 218.
- Moon J, Park J, Lee J. 2011. Antibacterial action of polyphosphate on porphyromonas gingivalis. *Antimicrob. Agents Chemother.*, 55(2): 806-812.
- Mudalal S, Petracci M, Tappi S, Rocculi P, Cavani C. 2014. Comparison between the quality traits of phosphate and bicarbonate-marinated chicken breast fillets cooked under different heat treatments. *Food Nutrition Sci.*, 5: 35-44.
- Nguyen MV, Arason S, Thorkelsson G, Gudmundsdottir A, Thorarinsdottir KA, Vu BN. 2013. Effects of added phosphates on lipid stability during salt curing and rehydration of cod (gadus morhua). *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 90: 317-326.
- O'Flynn CC, Cruz-Romero MC, Troy DJ, Mullen AM, Kerry JP. 2014. The application of high-pressure treatment in the reduction of phosphate levels in breakfast sausages. *Meat Sci.*, 96: 633-639.
- Palmeira-de-Oliveira R, Palmeira-de-Oliveira A, Gaspar C, Silvestre S, Martinez-de-Oliveira J, Amaral MH, Breitenfeld L. 2011. Sodium tripolyphosphate: an excipient with intrinsic in vitro anti-candida activity. *Int. J. Pharmaceutics*, 421: 130-134.
- Puolanne EJ, Ruusunen MH, Vainionpää JI. 2001. Combined effects of nacl and raw meat ph on water-holding in cooked sausage with and without added phosphate. *Meat Sci.*, 58: 1-7.
- Richards MP, Bak K. 2015. Effect of natural antioxidants and phosphate on lipid oxidation in a commercial deli Turkey product. *Meat Sci.*, 101:115.
- Roldán M, Antequera T, Pérez-Palacios T, Ruiz J. 2014. Effect of added phosphate and type of cooking method on physico-chemical and sensory features of cooked lamb loins. *Meat Sci.*, 97: 69-75.
- Sarjit A, Dykes GA. 2015. Trisodium phosphate and sodium hypochlorite are more effective as antimicrobials against campylobacter and salmonella on duck as compared to chicken meat. *Int. J. Food Microbiol.*, 203: 63-69.
- Scullen OJ, Zaika LL. 1994. Effect of temperature, salt and ph on growth inhibition of listeria monocytogenes by sodium polyphosphate. Presented at 18th general annual meeting of IAMFES, San Antonio, TX, July 31-August 3.
- Sheard PR, Tali A. 2004. Injection of salt, tripolyphosphate and bicarbonate marinade solutions to improve the yield and tenderness of cooked pork loin. *Meat Sci.*, 68: 305-311.
- Sickler ML. 2000. Inhibition of lipid oxidation with phosphates in muscle foods. Virginia Polytechnic Institute and State University, M.Sc. Thesis, 95p, Blacksburg, VA.
- Sickler ML, Claus JR, Mariott NG, Eigel WN, Wang H. 2013a. Reduction in lipid oxidation by incorporation of encapsulated sodium tripolyphosphate in ground Turkey. *Meat Sci.*, 95: 376-380.
- Sickler ML, Claus JR, Mariott NG, Eigel WN, Wang H. 2013b. Antioxidative effects of encapsulated sodium tripolyphosphate and encapsulated sodium acid pyrophosphate in ground beef patties cooked immediately after antioxidant incorporation and stored. *Meat Sci.*, 94: 285-288.
- Singh A, Korasapati NR, Juneja VK, Thippareddi H. 2010. Effect of phosphate and meat (pork) types on the germination and outgrowth of clostridium perfringens spores during abusive chilling. *J. Food Protect.*, 5: 879-887.
- Sofos JN. 1986. Use of phosphates in low-sodium meat products. *Food Technol.*, 40(9): 52-69.
- Tompkin RB. 1984. Indirect antimicrobial effect in foods: phosphates. *J. Food Safety*, 6: 13-27.
- Ünal SB, Erdoğan F, Ekiz Hİ. 2006. Effect of temperature on phosphate diffusion in meats. *J. Food Eng.*, 76: 119-127.

- Vara-Ubol S, Bowers JA. 2002. Inhibition of oxidative flavor changes in meat by alpha-tocopherol in combination with sodium tripolyphosphate. *J Food Sci.*, 67(4): 1300-1307.
- Vasavada MN, Twiveti S, Cornforth T. 2006. Evaluation of garam masala spices and phosphates as antioxidants in cooked ground beef. *J. Food Sci.*, 71(5): 292-297.
- Villamonte G, Simonin H, Durantou F, Chéret R, De Lamballerie M. 2013. Functionality of pork meat proteins: impact of sodium chloride and phosphates under high-pressure processing. *Innovative Food Sci. and Emerging Technol.*, 18: 15-23.
- Wagner MK, Busta FF. 1984. Inhibition of clostridium botulinum growth from spore inocula in media containing sodium acid pyrophosphate and potassium sorbate with or without added sodium chloride. *J Food Sci.*, 49(6): 1588-1594.
- Wagner MK, Busta FF. 1985. Inhibition of clostridium botulinum 52a toxicity and protease activity by sodium acid pyrophosphate in media systems. *Appl. Environ. Microb.*, 50:16-20.
- Wang C, Brewer MS. 1999. Sodium lactate/sodium polyphosphate effects on oxidation in precooked frozen pork patties. *J. Muscle Foods*, 10: 147-162.
- Waraho T, McClements DJ, Decker EA. 2011. Mechanisms of lipid oxidation in food dispersions. *Trends Food Sci. Technol.*, 22: 3-13.
- Xie J, Yuan P, Jenkins R. 2015. Impact of encapsulation of sodium tripolyphosphate on cook yield and oxidative quality of beef patties. *Meat Sci.*, 101:116.
- Zaika LL, Kim AH. 1993. Effect of sodium polyphosphates on growth of listeria monocytogenes. *J. Food Protect.*, 7(4): 577-580.
- Zaika LL, Scullen OJ, Fanelli JS. 1997. Growth inhibition of listeria monocytogenes by sodium polyphosphate as affected by polyvalent metal ions. *J. Food Sci.*, 62: 867-869.
- Zanardi E, Battaglia A, Ghidini S, Conter M, Badiani A, Lanieri A. 2009. Lipid oxidation of irradiated pork products. *LWT-Food Sci. Technol.*, 42: 1301-1307.
- Zorba Ö. 1990. Taze ve dondurulmuş sığır etlerinin çeşitli emülsiyon parametreleri üzerinde farklı yağ sıcaklığı, fosfat ve tuz seviyesi etkisinin model sistemde araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 74s, Erzurum.
- Zorba Ö, Gökalp HY, Yetim H, Ockerman HW. 1993a. Salt phosphate and oil temperature effects on emulsion capacity of fresh or frozen meat and sheep tail fat. *J. Food Sci.*, 58(3): 492-496.
- Zorba Ö, Gökalp HY, Yetim H, Ockerman HW. 1993b. Model system evaluations of the effects of different levels of K_2HPO_4 , NaCl and oil temperature on emulsion stability and viscosity of fresh or frozen Turkish style meat emulsions. *Meat Sci.*, 34: 145-161.