

Karkaslarda Elektriksel Stimülasyon Uygulamaları

Seran TEMELLİ*

Geliş Tarihi: 07.12.2009

Kabul Tarihi: 21.12.2009

Özet: Bu makalede, son yıllarda özellikle et kalitesinin iyileştirilmesinde sıklıkla kullanılan elektriksel stimülasyon uygulamalarının önemi, tarihsel gelişim süreci, uygulama tipleri ile avantaj ve dezavantajları, elektriksel stimülasyon uygulanmış etlerde meydana gelen fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikler, elektriksel stimülasyonun etin duyuşal özellikleri, gevrekliği, su tutma kapasitesi ve diğer kalite özellikleri üzerine olan etkileri güncel literatür bilgileri kullanılarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel stimülasyon, karkas, et kalitesi.

Electrical Stimulation Applications to Carcasses

Abstract: In this review, information on the importance of electrical stimulation applications frequently used in enhancing meat quality attributes, background information on the development of electrical stimulation technique, application types with their advantages and disadvantages, physiological and biochemical changes occurring in electrically stimulated meat, effect of electrical stimulation on sensory characteristics, tenderness, water holding capacity and other quality attributes of meat are presented by using current scientific literature.

Key Words: Electrical stimulation, carcass, meat quality.

Giriş

Taze, soğutulmuş ve/veya dondurulmuş etin kalitesini etkileyen en önemli faktörler arasında etin besleyici değeri, hijyenik kalitesi ve duyuşal özellikleri gelmektedir. Doğum öncesine ait genetik faktörler ile hayvanın gelişimi sırasında ya da çevresel olarak oluşan faktörlerin yanı sıra etin olgunlaşması, depolanması, işlenmesi ve ürüne dönüştürülmesi sırasında meydana gelen değişiklikler de et kalitesi üzerine etkili olmaktadır^{2,25}.

Post mortem (PM) depolama sürecinde karkaslarda gelişen ve rigor mortis (RM) olarak bilinen bir seri kimyasal, histolojik ve fiziksel olaylar gerçekleşmektedir. Bu olaylardan biri veya birkaçına uygulanan farklı işlemler ile et

ürünlerinde kalite arttırılabilmektedir. Gevreklik, etin renk ve lezzet ile birlikte en önemli kalite özelliği olarak kabul edilmektedir. Tüketicilerin ette daha iyi lezzet ve üniform kalite talebinin artmasına bağlı olarak, PM gevrekliğinin etkin bir şekilde sağlanmasına yönelik yapılan çalışmalara hız verilmiştir. Çeşitli araştırmacılar, et gevrekliğini iyileştirmek amacı ile özellikle miyofibriller proteinler ve/veya bağ doku yapısı üzerine etkili olan bazı metotlar geliştirdiklerini rapor etmişlerdir^{12,35}.

Bu metotlar içerisinde bulunan henüz keşilmiş ve iç organları çıkarılmış olan karkasa elektrik akımının uygulanması işlemi elektriksel stimülasyon (ES) olarak tanımlanmaktadır. Elektrik akımının şiddeti, süresi ve elektrotların karkaslara uygulanma yerleri ülkeler arasında

* Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Görükle, 16059, Bursa, Türkiye, E-mail: seran@uludag.edu.tr

hatta işletmeler arasında bile farklılık göstermektedir. Uygulanan ES tiplerinin özellikleri, avantajları ve dezavantajları Tablo 1’de belirtilmektedir¹¹.

Bu işlem ile RM öncesi doğal sürecin hızlandırılması yanı sıra etin renk, koku, lezzet ve gevreklik gibi ana duyuşal özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Elektrik akımı uygulanması sonucunda kas fibrillerinde oluşun aşırı kasılma ve ani ekstansiyon nedeni ile daha ileri kasılmalar ve RM oluşumu sonrasında meydana gelecek kas kışalmasını önüne geçilmektedir¹ Miyofibriller matriksin parçalanması veya proteolizin hızlandırılması olarak da bilinen bu durum, glikoliz hızında artış, dolayısı ile de et pH’ında ani düşme ile sonuçlanmaktadır^{13,14,26}.

Genel olarak etkin bir ES sisteminde, karkaslar öncelikle *Musculus longissimus dorsi* (LD)’nin merkez sıcaklığı 10 saat içerisinde 10°C’nin altına inecek şekilde hızla soğutulup sonrasında aynı kısın en az % 95’inin son pH’ının 5.8’in altında olması gerekmektedir^{11,18}.

Tablo 1. Elektriksel stimülasyon uygulama tipleri: özellikleri, avantajları ve dezavantajları*

Table 1. Types of electrical stimulation applications: their specifications, advantages and disadvantages*

Sistem Tipi	Elektrot Uygulama Bölgesi	Özellik ve Kapasite	Avantaj	Dezavantaj
Yüksek Voltaj (300-800 V)	Kabinet sistemi içerisinde: 1. Asmadan hemen sonra 2. Deri çıkarıldıktan sonra iç organlar çıkarılmadan önce 3. İnspeksiyondan sonra	- Kesim alanının genellikle sonunda yer alır - Maksimum ≥ 30 sığır/s kapasiteli - Kesimden sonra 60 d içerisinde uygulanabilir (Erken olması tercih edilmeli)	- İşçilik az - Kanatma bölümünde uygulanırsa ekstra kan elde edilir.	- Kabinet sistemi kurulması başlangıçta pahalı - Bel kemiği kırıkları oluşabilir
Çok Düşük Voltaj (≤ 45 V)	1. Burun deliğine (elektrot en az 12 cm sokulmalı) ve zincirle monoraya 2. Burun deliğine ve bacağa 3. Burun deliğine ve rektuma 4. Rektuma (sadece arka butta etkili)	- Uygulamada karkaslar birbirine değmemeli - ≤ 30 sığır /s kapasiteli - Düşük kapasiteli işletmeler için daha uygun	- Göreceli olarak ucuz - 0.5-1 kg ekstra kan elde edilir - Ticari bir ünite olarak mevcut	- Bayıltma sonrası elektrotun uygulanması için işçilik gerekli - Kesimden sonraki ilk 4 d içerisinde kanatmadan hemen sonra uygulanmalı

* Kaynak: Green, J. M.,
www.meatupdate.csiro.au/data/Chilling_carcasses_10-93.pdf
* Reference: Green, J. M.,
www.meatupdate.csiro.au/data/Chilling_carcasses_10-93.pdf

Tarihçe

ES ile ilgili çalışmalar ilk olarak 1940’larda Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nde başlamış olup kayda değer bir başarı elde edilememesine rağmen bu konu üzerine daha fazla eğilen ve 1951’de karkaslarda gevrekliği arttırmak amaçlı ES kullanımına yönelik patent alan araştırmacılar bulunmaktadır. ES uygulanan etlerin endüstriyel anlamda et işleme amaçlı olarak ilk kullanımına ise 1950lerde rastlanılmaktadır^{2,25}. Bu süreci, 1970lerde kuzu karkaslarında gözlenen soğuk kışalması (cold shortening-CS)’ni engellemek amacı ile ES kullanımı izlemiştir. 1975 yılında ise ilk olarak ABD’nde ES uygulayan bir prototip cihaz üretilmiş ve bu ülkede kesimhanelerde ES işlemlerinde başarı ile kullanılmıştır. Bu cihaz ileriki yıllarda daha da geliştirilerek saatte 300 adet hayvanın stimüle edilmesini sağlayacak kapasiteye getirilmiştir. 1976’dan günümüze değin ABD, Yeni Zelanda, Avustralya, İrlanda, Hollanda gibi ülkelerden de ES sistemlerinin kullanımını sonrasında et gevrekliğini belirgin olarak arttırdığı yönünde yapılan çalışmalar rapor edilmiştir^{7,8,13,28,29}.

ES Uygulanan Etlerde Fizyolojik ve Biyokimyasal Değişiklikler

PM olarak gözlenen en önemli iki süreçten biri olan pH değeri, ES uygulaması ile RM oluşumu sırasında 6.4 ve altındaki değerlere kadar inerek glikoliz sürecinin de hızlanmasına neden olmakta, stimülasyonun azalması ile bu süreçlerin yavaşladığı gözlenmektedir².

Çin’de sığır karkaslarında yapılan bir çalışmada, düşük voltaj ES uygulamasının PM’in ilk 24 saati içerisinde *Musculus longissimus* kaslarında pH düşüş oranını önemli ölçüde hızlandırdığı, hızlı soğutmanın da karkastaki sıcaklık düşüş oranını arttırdığı bildirilmiştir¹⁸.

Channon ve ark.⁴, daha önceden kanı akıtılmış domuz karkaslarına 50-200 mA sabit elektrik akımını 30 sn süre ile uygulamış, ES uygulanan karkaslarda final pH değerine 30 dakikada ulaşılırken ES uygulanmayan (NES) karkaslarda bu değere ancak 8 saat sonra ulaşıldığı rapor edilmiştir.

Young ve ark.³³, tavuk karkaslarında yaptıkları çalışmada, ES’un karkaslarda pH’ın 2 saat içerisinde düşmesine neden olduğunu bildirmişlerdir.

Hindi işleme tesislerinde ES uygulamalarının PM glikoliz açısından yararlı olabileceğini belirten bir başka çalışmada, 36 adet dişi hindi-

nin (ortalama 7 kg'lık) boyun bölgesine 570 V, 45 mA'lık elektrik akımı 10 vuruş aralıklı 2 ve 1 sn süre ile uygulanmış ve PM'in ilk 2 saati içerisinde kas metabolizmasının hızlandığı (pH düşüşü ve aşırı sarkomer kısalmasının engellenmesi) tespit edilmiştir²⁰.

Benzer şekilde keçilerde yapılan bir çalışmada, yüksek voltaj (580 V, 5 sn aralıklarla 120 sn süre ile) ES uygulanmış, LD kasında 24 saat 2°C'de soğutma sonrasında NES gruba göre pH değerinin daha düşük olduğu, kas glikojen konsantrasyonunun hızla azaldığı sonuçta ES'un PM glikolizi hızlandırdığı belirlenmiştir¹⁰.

ES ayrıca, sıcak karkasların rigor çözülmeden dondurulması sonucu gözlenen erime kısalması (thaw shortening-TS) oluşumuna da engel olmaktadır. ES'un özellikle kesimi izleyen ilk 30 dakika içerisinde uygulanması gerekirken bazı durumlarda önceden kesilmiş ve bekletilmiş olan karkaslara da uygulandığı görülmektedir. Böyle durumlarda asıl amaç, buzdolabı sıcaklıklarında muhafaza sırasında ani sıcaklık düşmesine bağlı olarak karkasta gelişebilecek olan CS'in önüne geçilmesidir^{8,13,29,30}.

Fizyolojik açıdan değerlendirildiğinde, ES'un et gevrekliği üzerindeki etki mekanizması, sarkoplazmik retikulumdan Ca⁺⁺ iyon salınımı ile myosin-ATPaz enziminin aktive olması ve kas kasılmasının sağlanması şeklinde açıklanabilir. Kas kasılması sırasında açığa çıkan Ca⁺⁺, spesifik sarkoplazmik proteinlerden biri olan ve Z hattının yok olmasına neden olan kalpainleri stimüle etmektedir. Bu durum meydana geldiğinde, kas sıcaklığı halen yüksek (30°C) ve pH 6.5'in üzerinde olup kalpainler yüksek derecede aktivite göstermektedirler. Aynı zamanda lizozomlar da parçalandığı için kas proteolizini arttıran katepsin ve diğer endojen proteazların da salınımı söz konusu olmaktadır^{2,18,23,25}.

Rhee ve Kim²³ tarafından PM bekletme sıcaklığı ve ES'un kombine etkisinin incelendiği bir çalışmada, yerli Kore ırkı sığırlara kesimden 3 dakika sonra 50 V, 60 Hz'lik, 20 sn süre ile düşük voltaj ES uygulanmış ve karkaslar farklı sıcaklık derecelerinde bekletilmiştir. ES ile birlikte 30°C'de PM bekletmenin, ilk 3 saati içerisinde *Musculus longissimus* kasındaki glikolitik oranı hızlandıran, kalpain ve kalpastatin aktivite-lerini geliştiren kombine bir uygulama olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı araştırmacılar aynı sistem içerisinde yaptıkları bir başka çalışmada, myofibriller protein degradasyonunu da incelemişler ve sonuç olarak nebulin, desmin ve troponin-T'nin bu ES ve sıcaklık uygulama

kombinasyonunda daha hızlı, titinin ise diğerlerinden daha biraz daha yavaş şekilde degrade olduğunu belirtmişlerdir²².

Prerigor'da vücut sıcaklığı düşmeden önce (ki bu arada kalsiyum pompasının parçalanması ile sarkoplazmadan çok fazla miktarda Ca⁺⁺ iyonu salınmakta) ve myosin-ATPaz halen aktif iken sıcak karkaslar yaklaşık 10-15°C'de soğutulduklarında gözlenen CS sırasında, kas ATP konsantrasyonu da yüksektir ve kontraksiyon için gereken enerjiyi halen sağlamaktadır. Bunun sonucunda, kas çok şiddetli kasılarak özellikle de pişirildiğinde daha belirgin olarak ortaya çıkan çok sert bir et oluşumuna neden olmaktadır^{2,8,25}.

Etlerde sertleşme aslında daha da fazla olmak üzere TS sırasında gözlenmektedir. Bu olay özellikle prerigordaki karkasların -10°C'nin altında dondurulması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, ATP henüz tümüyle tükenmemiş, kalsiyum pompası dondurmanın etkisi ile parçalanmış olmasına rağmen Ca⁺⁺ halen sarkoplazmada bulunmaktadır. Böyle etler çözdürüldükleri zaman ise çok fazla miktarda Ca⁺⁺ iyon salınımı gözlenmekte, ATP konsantrasyonu da halen oldukça yüksek seviyede olduğundan CS'de gözlenenden daha şiddetli bir kas kısalması meydana gelmektedir. TS gözlenen kesilmiş bir kasın orijinal uzunluğunun ancak % 30'una kadar kıaldığı, bununla birlikte hem CS hem de TS'de oluşan kısalmaların sonuçta kasın iskelete bağlı olması nedeniyle daha da fazla olamayacağı belirtilmektedir^{2,11}.

Kuzu ve koyun karkaslarında soğutma hızı karkastaki kıalmaya engel olacak hızda olduğundan CS olayı, sığır etlerine oranla daha az belirgindir. Fakat bu karkaslar dondurma sonrası hızlı bir şekilde çözdürüldüklerinde kas kısalması ve sertleşme oldukça fazla görülebilmekte, oluşan TS'in engellenebilmesi için karkasların donma derecesinin altındaki sıcaklıklarda birkaç gün süre ile bekletilmesi gerekmektedir¹¹.

TS, özellikle; 14-16°C'de RM'in oluşması ve tamamlanmasının sağlanması, karkasın alternatif pozisyonlarda örneğin pelvik bölgeden asılması ve ES uygulanması ile engellenebilmektedir. ES, ATP'ın tamamıyla IMP'a kadar parçalanarak protein polimerizasyonu için enerjinin kalmaması ve kas kasılmasının önüne geçilmesine böylece dondurmanın et gevrekliği üzerine olabilecek olumsuz etkisinin de ortadan kalkmasına neden olacaktır².

ES'un Etin Duyusal Özellikleri Üzerine Etkisi

Duyusal özellikler et kalitesinin belirlenmesinde en önemli faktör olarak bilinmektedir. Bu özelliklerin tüketici beklentilerinin altında kalması, kesim öncesi ve sonrası işlemeyi de içine alan çeşitli faktörlere bağlı olarak şekillenmekte ve üretici yönünden ekonomik kayıpların oluşmasına neden olmaktadır. ES uygulamaları özellikle duyusal özelliklerin iyileştirilmesinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır^{10,19,24,25}. Ancak bu uygulamaların başarısının hayvanın türü, yaş, ırk, genetik özellikleri, bireysel özellikleri, kesim öncesi taşıma, dinlendirme ve besleme gibi faktörlere de bağlı olabileceği unutulmamalıdır^{5,9,12,17}.

2009 yılında Umman Sultanlığı'nda yetiştirilen deve ve sığır etlerinin kalitesinin iyileştirilmesi ve yerel piyasada kabul edilebilirliğinin artırılmasına yönelik, kesimden 20 dakika sonra 90 V, 14 Hz'lik ve 60 sn süre ile ES'un uygulandığı çalışma sonucunda, bu uygulamalar ile yerel piyasada ekonomik değeri daha yüksek etlerin elde edildiği bildirilmiştir¹⁵.

Düşük voltajlı ES'un hızlı soğutma ile birlikte uygulanmasının etin duyusal özelliklerini olumlu yönde etkilediğini belirtilen bir çalışmada, 28 adet boğaya 24 V'da ve 30 sn süre ile elektrik akımı verilmiş, sonrasında karkaslara geleneksel veya hızlı soğutma uygulanmıştır. *Musculus longissimus* kasının ortalama et suyu firesi (drip loss) ve sıyrıntı firesi (purge loss) hızlı soğutulan karkaslarda geleneksel soğutma yapılanlardan daha düşük bulunmuştur. ES uygulanan kaslardan alınan etlerde pişirme kaybı, hızlı soğutma ile önemli derecede azalırken NES karkaslardan elde edilen etlerde pişirme kaybının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada, pişmiş etin kesilmeye karşı gösterdiği direnç (shear force-SF) değerinin ise ES sonrası geleneksel soğutma uygulanan kaslarda en düşük düzeyde bulunduğu rapor edilmiştir¹⁸.

Davel ve ark.⁶, ES uygulanan 40 ila 50 kg'lık kuzu karkaslarından alınan et örneklerini duyusal özellikler açısından incelemiştir. Bu çalışmada 20 V, 45 Hz'lik elektrik akımının 45 sn boyunca uygulandığı karkaslar, 24 saat 2°C'de bekletildikten sonra *Musculus longissimus thoracis* (LT) ve *Musculus longissimus lumborum* (LL) kasları ayrılarak 2 parçaya bölünmüş, parçalar vakum paketlenildikten sonra -30°C'de dondurulmuş ve sonrasında duyusal analizlerin yapılabilmesi için iç sıcaklık 160-173°C olacak şekilde pişirilmiştir. Sonuçlar,

ES uygulanan örneklerde duyusal özellikler yönünden kabul edilebilirliğin daha yüksek olduğunu, kesim sırasında ağırlık kaybı ile karkas yağı yönünden pişirme kaybı üzerine ES'un etkisinin olmadığını göstermiştir.

ES uygulaması ile kan damarlarının kontrakte olması ve iyi bir kan akışının sağlanması sonucu hem açık ve parlak renkli et elde edilebilmekte hem de renk stabilitesi sağlanmaktadır. Young ve ark.³³, ES'un etin renk değişimi üzerindeki etkisini 96 adet tavuk karkasında incelemişler, özellikle *Musculus pectoralis major* (PM) kasında daha parlak fakat daha az yoğunlukta kırmızılık gözlemlediklerini rapor etmişlerdir.

Roeber ve ark.²⁴, 100 adet sığır karkasında yaptıkları bir çalışmada, ES için kullanılan pozitif elektrotu *Musculus latissimus dorsi* kasına negatif elektrotu ise *Musculus biceps femoris* (BF) kasına bağlamışlar, ortalama voltaj olan 100 V ile yüksek voltaj olan 300 V'u 60 Hz'de 11 ile 16 sn süre uygulamışlardır. Çalışmanın sonucunda, ES uygulanan kasların renginin daha parlak ve daha kırmızı olduğunu belirtmişlerdir.

2001 yılında Wiklund ve ark.²⁹ tarafından geyik etleri üzerinde yapılan diğer bir çalışmada ise, ES uygulamasının (90-95 V, 15 Hz, 55 sn süre ile) *Musculus triceps brachii*, LD ve BF kaslarının renk stabilitesi ve et suyu firesi oranı üzerine etkisinin olmadığı bildirilmiştir.

Et rengi üzerine taşıma süresi ve dinlendirme periyodunun etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 45 adet erkek sığıra (ortalama 37 haftalık) iki farklı taşıma süresi ve 5 farklı dinlendirme periyodunu takiben kesim sonrası ES uygulanmıştır. LD kasının parlaklığının taşıma süresi ve dinlendirme periyodundan etkilenmediği, kırmızılık değerlerinin ise 12 saat dinlendirilen karkaslarda arttığı tespit edilmiştir⁹.

Domuzlarda bayıltma sonrası 5 dakika içerisinde ES uygulamalarının özellikle strese duyarlı olanlarda et renginde solgunluğu arttırdığı bildirilmiştir. Yavaş soğutmanın uygulandığı ve CS'in oluşmadığı durumlarda, domuz karkaslarına ES uygulanması ile et suyu firesinin yaklaşık % 0.3 oranında arttığı, hızlı soğutma yapıp CS'in engellendiği durumlarda ES uygulanması ile de et suyu firesinin yaklaşık aynı oranda azaldığı gözlenmiştir¹¹.

Channon ve ark.⁴, düşük voltaj ES uygulanan domuz karkaslarından elde edilen etlerin NES etlere kıyasla daha fazla et suyu firesine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

ES'un, olgunlaşma zamanını azaltması ve renk geliştirmesi ile ilişkili olarak sığır etlerinde lezzeti arttırdığı aynı zamanda ette bıçak yaralarından kaynaklanan renk koyulaşmasını (dark-cutting beef) azalttığı ve aromadaki iyileşmeye bağlı olarak tüketici kabul edilebilirliğini de pozitif yönde etkilediği belirtilmektedir^{2,27}.

ES'un Etin Gevrekliği Üzerine Etkisi

Et rengi ve sululuğu ile birlikte gevreklik en önemli duyuşal özelliklerden biridir. Günümüzde etin doğal olgunlaşma sürecine ilaveten ES uygulanması, et kalitesi için gevrekliğin artırılmasında başarı ile kullanılmaktadır^{7,31,32}.

Etin yapısını miyofibriller proteinler ve bağ dokusu oluşturur. Bağ doku proteinlerinin toplam proteine oranı % 2 ile 6 arasında değişmektedir. Bu farkın nedenleri arasında kas tipi, hayvanın yaşı ve ırkı, hayvanın genotipik özellikleri daha etkili olmakla birlikte kasın spesifik aktivitesinin fazla veya az olması da yer almaktadır. ES uygulanan LD, *Musculus semimembranosus* (SM), *Musculus gluteus medius* (GM), *Musculus vastus lateralis* (VL) kaslarında özellikle PM gevrekliğin arttığı, bu durumun en belirgin şekilde LD'de gözlemlendiği belirtilmektedir¹¹.

PM'in 10-12 saati içerisinde etin pH'ı 6.0 civarında olup bu değere ES uygulanan etlerde 1-2 saat içerisinde ulaşılabilir. ES uygulanan etlerde kas kontraksiyonlarındaki artış sonrası hızlı glikoliz ve pH düşmesi gözlenmektedir. Bununla birlikte, bu hızlı düşüş, erken RM oluşumu ile kaslarda daha hızlı bir gevşeme olmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda hücre içi Ca^{++} iyonu hızlı olarak salınmakta, buna bağlı olarak kalpain ve proteoliz aktivitesi artarak et daha gevrek bir hale gelmektedir²⁷.

Pospiech ve ark.²¹, ette gevrekliğin oluşumunda asıl etkenin olgunlaşma sırasında meydana gelen protein yıkımı olduğunu, bunun da özellikle kas fibrilleri ile ilgili olan 3 faktöre dayandığını rapor etmişlerdir. Bu faktörlerden ilki, RM'in yavaş fazının azaltılmasına bağlı olarak CS'in engellenmesi, fakat ileri kontraksiyonun hızlandırılmasıdır. İkinci faktör, ES ile oluşan Ca^{++} iyon salınımı ve kalpain aktivasyonu sonrasında miyofibriller proteoliz oluşumudur. Üçüncü faktör ise ani elektrik akımı ile oluşan aşırı kontraksiyonlara bağlı miyofibriller kırılmalarıdır.

Gevrekliğin geliştirilmesi için enzimlerin, mekanik metotların ve ES'un kullanımı gibi farklı metotlar denenmiştir. Bu metotlar, erken RM'e giriş neticesinde olgunlaşma süresinin

kısaltılması, ayrıca daha parlak/daha gevrek et elde edilmesi amacı ile kullanılmışlardır^{7,28}.

Ülkemizde yapılan bir çalışmada, 3-5 yaşlı 14 adet koyunun LD ve SM kaslarına 350 V, 1.5 sn aralıklı 15 vuruş şeklinde 45 sn'lik ES uygulanmış ve eğitilmiş panelistler tarafından yapılan gevreklik analizi sonrasında, ES uygulanan etlerin daha gevrek olduğu sonucuna varılmıştır³².

İrk farklılıkları ile gevreklik ilişkisinin incelendiği bir çalışmada 2 farklı keçi ırkı üzerinde PM ES uygulamasının et kalitesi üzerine etkisi incelenmiş, karkasın sol yarımına yüksek voltaj (580 V, 5 sn aralıklı 120 sn süre ile) uygulanırken sağ yarımına ise ES uygulanmamıştır. 24 saat 2°C'de soğutma sonrasında ES uygulanan karkasların LD kasında SF değerinin daha düşük olduğu buna bağlı olarak da gevrekliğin arttığı saptanmıştır¹⁰.

Ferguson ve ark.⁸, tarafından genotipik farklılıkların gevreklik üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, 3 farklı oranda *Bos indicus* genotipine sahip sığırlar 800 V, 14.3 vuruş aralıklı 55 sn süre ile ES uygulamasına tabi tutulmuşlardır. Soğutulma sonrasında PM'in 3. saatinde karkaslardan alınan *Musculus longissimus* örneklerinde diğer genotiplerin aksine % 100 *Bos indicus* (Brahman) genotipinde olan sığırların ES sonrası kalpain I ve II aktivitelerinin artış gösterdiği saptanmıştır. Çalışmada, genotip farklılıklarından doğan SF değeri değişikliklerinin, dolayısı ile de proteolitik aktivite ve gevrekliğin ES uygulaması ile düzeltilebileceği bildirilmiştir.

Bu konuda yapılan diğer bir çalışmada ise Wulf ve ark.³¹, *Bos indicus* ve *Bos taurus* sığırlara kesimden 40 dakika sonra 15-34 V'da 8-50 sn süre ile ES uygulanmış ve karkaslar 24 saatlik soğutmaya bırakılmışlardır. *Bos taurus* sığırlarda, LL kasının SF ve kırmızılık değeri *Bos indicus* sığırlara göre daha düşük iken panel gevreklik oranı ve parlaklık değerinin daha yüksek düzeyde bulunduğu rapor edilmiştir.

2008 yılında yapılan bir çalışmada, kesim sonrası karkas sıcakken kemiklerin ayrılması (hot boning) ve hızlı dondurma (3°C, 48 saat) işlemi öncesinde uygulanan ES'un et kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Alaska ren geyiklerine (3 yaş altındaki) ait LD kaslarına kesimden 45 dakika sonra 80 V'luk 2 sn süre ile ES uygulanmıştır. Sonuçta, LD kasında final pH ve SF değerleri ES uygulanan etlerde önemli derecede düşük bulunmuştur. Bununla birlikte duyuşal panel sonuçlarında iki grup arasında farklılık tespit edilmemiş, tüketici tercih testlerine göre ise ES uygulanmış ve dondurulmuş etlerde artan

bir yumuşaklık olduğu belirlenmiştir. Kemiksiz sıcak ve dondurulmuş etlerin ES uygulaması ile kombine edilmesinin geyik kesimhanelerinde et kalitesini geliştirmek ve karkasın potansiyel değerini arttırmak için kullanılabilmesi rapor edilmiştir³⁰.

İrlanda'da sığır karkaslarında düşük ES uygulaması (90 V, 50 Hz) sonrasında hızlı veya yavaş soğutmanın LD ve SM kaslarındaki gevreklik üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, sıcak karkaslara yavaş soğutma ile birlikte ES uygulamasının gevreklik üzerine pozitif etki oluşturduğu belirlenmiştir²⁸.

ES'un kesim sonrası uygulama zamanının et gevrekliği üzerine önemli etkisinin olduğu ve bu uygulamanın çok erken yapılmaması gerektiği de bilinmektedir. Konu ile ilgili olarak sığır karkaslarında yüksek voltajda ES'un gevreklik üzerine etkisi Strydom ve ark.²⁶ tarafından incelenmiş, 10 adet Charolais ırkı sığır karkası PM'in 45. dakikasında 400 V'luk 45 sn ES'a tabi tutulmuş ve sonrasında merkez sıcaklığı 18 saat içerisinde 10°C olacak şekilde soğutulmuştur. Sonuçta, ES uygulanan karkaslarda LD kasının olgunlaşmanın ilk 2 gününde NES kaslara göre daha gevrek olduğu, ancak olgunlaşmanın ilerleyen dönemlerinde (ör. 14 gün sonra) ES'un bu avantajının önemini yitirdiği bildirilmiştir. Ayrıca geleneksel olarak kesim sonrası erken ES uygulamalarının aksine, ES'un geç uygulanmasının (45 dakika sonra) olgunlaşmanın ilerleyen zamanlarında, gevrekliğin erken geliştirilmesi açısından faydalı olduğu rapor edilmiştir.

Benzer şekilde bir başka çalışmada, 38 adet sığır karkasından elde edilen LT ve LL kaslarına PM'in 3. ve 40. dakikalarında yüksek (800 V) ve düşük (70 V) voltajlık ES, 55 sn süre ile uygulanmıştır. İncelenen kaslara ait SF değerlerinin PM'in 3. dakikasında stimüle edilen kaslarda 40. dakikada stimüle edilenlere oranla çok düşük olduğu, bunun da erken stimülasyonun kaslarda çok hızlı pH düşmesine bağlı olarak önemli derecede sert et oluşumuna, dolayısı ile de et kalitesinin düşmesine neden olduğu bildirilmiştir¹³.

ES'un yararları özellikle uygulanan balyıtma metodu ve voltaj ile ilişkilendirilmiş, ölüm sonrası geçen sürenin de optimal koşulların sağlanması yönünden önemli olduğu bildirilmiştir⁴. ABD'nde yüksek (400 V) ve düşük (40 V) voltajlı ES uygulamalarının sığır karkaslarında gevreklik üzerine olan etkisini araştırmak üzere yapılan bir çalışmada, yüksek voltaj uygulamasının düşük voltaj uygulamasına göre etin gev-

rekliğini daha fazla arttırdığı, ancak etin sululuk skorunu ise azalttığı bildirilmiştir¹⁹.

Ayrıca, ES'un karkas kalitesi ve özellikle gevreklik üzerine yeterince etkili olabilmesi için sığırların kesim öncesinde strese maruz kalmamış olmaları, dolayısı ile de glikojen rezervlerinin tükenmemesi gerektiği de bildirilmektedir⁵.

2005 yılında yapılan bir çalışmada, broyler göğüs etine 450 V, 450 mA'lık, 7 vuruş aralıklı 2 sn süre ile uygulanan ES'un, PM et gevrekliğini, kaslarda ATP kaybını hızlandırarak, pH'ı düşürerek ve kas liflerinin fiziksel parçalanmasını sağlayarak arttırdığı belirtilmiştir³.

ES ve cinsiyetin etin gevrekliği üzerine olan etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada, 18 aylık düve ve boğaların sol yarım karkaslarına 330 V, 17 Hz'lik, 0.9 vuruş olacak şekilde 120 sn süre ile ES uygulanmış, sağ yarım karkaslar ise kontrol (NES) olarak bırakılmıştır. Kesim sırasındaki balyıtma işleminden 24 saat sonra, hemiaponeurotik kas, karkastan ayrılarak 1 kg'lık parçalara bölünmüş ve pişirme işlemi uygulanmıştır. Yapılan duyusal ve diğer laboratuvar analizleri sonrasında yüksek voltaj uygulamasının pişmiş etteki etkisinin hayvanın cinsiyetine bağlı olduğu, en iyi et kalitesinin ES uygulanan düve kaslarından elde edildiği bildirilmiştir³⁵.

Marinasyon, kas liflerinin çevresindeki elektriksel yükü etkileyen ve kalpini gibi spesifik enzimleri aktive ederek tuzlama işlemi ile birlikte et tekstürünün değiştirilmesi üzerine olumlu yönde etkisi olan bir işlem olarak bilinmektedir. Konu ile ilgili kanatlılarda yapılan bir çalışmada, 93 adet kanatlı göğüs eti polifosfatlar ile marine edildikten sonra 220 V'da, 90 ve 0.5 sn süre ile ES uygulanmıştır. Sonuçta, etin pH'ının hızla düştüğü ve sodyum tripolifosfat emiliminin arttığı, pişirme sonrası su kaybı oranının ise etkilenmediği belirlenmiştir³⁴.

ES'un Etin Su Tutma Kapasitesi Üzerine Etkisi

Castaneda ve ark.³, 54 adet dişi broyler (1.5-1.6 kg) göğüs etine yüksek voltajda (450 V, 450 mA, 7 vuruş aralıklı 2 sn süre ile) uygulanan ES sonrasında yapılan hızlı soğutmanın (4°C) protein fonksiyonelliğini değiştirmediğini böylece Solgun-Yumuşak-Sulu (Pale Soft Exudative-PSE) et oluşmasını engellediğini, ES sonrasında yapılan yavaş soğutmanın ise PSE et oluşturduğunu ve etin STK'ni azalttığını belirtmişlerdir.

Hollanda'da ES uygulaması ile etin proteini denatürasyonu sonrası STK üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, Holstein ırkı boğa

karkaslarına kanatmayı takiben 85 V, 14 Hz'lik ES 15 sn süre ile uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, ES uygulanan hem SM hem de LT kaslarının yüksek oranda et suyu firesi ve çözümlenme firesine (thaw loss) sahip olduğu, miyofibriller STK'nin ise düşük olduğu bildirilmiştir⁷.

2007 yılında ülkemizde yapılan bir araştırmada, 20 adet kıvrıkcık ırkı kuzu karkaslarına 2 farklı voltajda (50 V ve 100 V) 100 Hz'lik ve 120 sn süre ile ES uygulanmıştır. Sonuç olarak, ES uygulanan karkaslardan alınan LD kasının STK'nin azaldığı belirtilmiştir¹⁶.

ES'un Diğer Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi

ES uygulamaları ilk olarak et endüstrisinde gevrekliğin artırılması amacı ile kullanılmaya başlanmış olup uygulamanın ette kalite kriterlerinden biri olan yağsız et görünümü/rengi (lean color) özelliğini de iyileştirdiği bildirilmiştir²⁴. Bunun yanı sıra ES'un sıcaklık halkası oluşumunu (heat ring formation) azalttığı, kas rengine daha parlak ve daha diri görünüm kazandırdığı, mermerleşme gelişimini hızlandırdığı, perakende et görünümünü iyileştirdiği ve raf ömrünü uzattığı belirtilmektedir³¹.

Yağsız et görünümü/rengi: ES uygulaması sonrasında PM glikolizin hızla gelişmesi ve laktik asit oluşumunun etin daha parlak ve daha genç bir görünüme sahip olmasını sağladığı, bu görünümün özellikle kesimden 18-24 saat sonra daha belirgin olduğu belirtilmektedir.

Sıcaklık halkası: Sıcaklık halkasının engellenmesi durumu özellikle yavaş soğutma uygulanmış sığır etlerinde belgözü kası üzerindeki dış yağ tabakasının ince olduğu durumlarda bu kasın çökük ve iki renkli olarak (dış kısım koyu, iç kısım açık) gözlenmesi durumudur. Aslında 'sıcaklık halkası' terimi yanlış bir terimdir. Çünkü bu olay, belgözü kasının dış yüzeyinde etkin bir soğutma yapılamaması sonrası renk ve RM gelişiminin yavaşlaması nedeni ile olduğundan doğru terimin 'soğuk halkası' olması gerekmektedir²⁵.

Mermerleşme: ES yağsız etin daha diri ve parlak renkli ayrıca daha ince tekstürde görülmesini sağlamakta, dolayısı ile ette bulunan yağ, etin kırmızı rengi ile bir kontrast oluşturarak mermerleşmenin daha belirgin gözlemlenmesine neden olmaktadır.

Derecelendirme: ES, sığır ve kuzu etlerinin derecelendirme sınıflarının yüzde olarak daha yüksek grupta yer almasını sağlamaktadır.

Perakende raf ömrü: ES uygulanmış karkas etlerinde, özellikle parça etlerde renk kaybı açısından, raf ömrünün ½-1 gün arasında daha uzaması sağlanmaktadır²⁵.

Sonuç

ES'un çeşitli hayvan türlerine ait etlerin kalitesinin ve özellikle gevrekliğinin artırılmasında etkin bir metot olduğu kanıtlanmıştır. Başarılı bir ES uygulaması, birtakım teknolojik faktörlerin kontrollü olarak uygulanmasını da gerektirmektedir. Uygulanan elektrik akımının şiddeti, süresi ve elektrotların karkaslardaki uygulama yerleri ile ilgili olarak birçok farklı deneme yapıldığı, genellikle personel güvenliği dikkate alındığında düşük voltaj uygulamaların tercih edildiği görülmektedir.

Bu metot ile esas olarak glikoliz hızlandırılarak kas fibrillerinin aşırı kısalmasının önüne geçilmektedir. ES, karkaslarda RM'in hızla başlaması ve tamamlanmasını, dolayısı ile de kesim sonrası uygulanan diğer işlemler olan soğutma ve hatta dondurmaya da kolayca geçiş sağlanabilmesini olanaklı kılmaktadır. Tüm bunlar, aynı zamanda işleme süresinden ve harcanan iş gücünden de önemli derecede kar edilmesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak, karkas kalitesini arttırmak amacı ile yurt dışında yaygın kullanım alanı bulunan ES'un, hem tüketici açısından kabul edilebilirliği yüksek et ve et ürünlerinin elde edilmesi hem de üreticilerin ekonomik kayıplarının azaltılması açısından ülkemiz et endüstrisine kazandırılması ve konu ile ilgili olarak yapılacak uygulama ve çalışmalara destek verilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

1. Bruce, H.L., Ball, R.O., 1990. Postmortem interactions of muscle temperature, pH and extension on beef quality. *J. Anim. Sci.*, 68, 4167-4175.
2. Carrillo del Valle, M., Vêlez-Trujillo, D.T., Guerrero-Lega arrêta, I., Becerril-Herrera, M., 2008. Effect of carcass electric stimulation on meat quality. *J. Anim. Vet. Adv.*, 7, 1335-1340.
3. Castañeda, M.P., Hirschler, E.M., Sams, A.R., 2005. Research note: Functionality of electrically stimulated broiler breast meat. *Poultry Sci.*, 84, 479-481.
4. Channon, H.A., Walker, T.J., Kerr, M.G., Baud, S.R., 2003. Application of constant current, low voltage electrical stimulation system to pig

- carcasses and its effects on pork quality. *Meat Sci.*, 65, 1309-1313.
5. Cross, H.R., Sorinmade, S.O., Ono, K., 2007. Effect of electrical stimulation on carcasses from stressed and unstressed steers. *J. Food Quality*, 6, 73-79.
 6. Davel, M., Bomsan, M.J.C., Webb, E.C., 2003. Effect of electrical stimulation of carcasses from Dorper sheep with two permanent incisors on the consumer acceptance of mutton. *South Afr. J. Anim. Sci.*, 33, 206-212.
 7. den Hertog-Meischke, M.J., Smulders, F.J., Van Logtestijn, J.G., van Knapen, F., 1997. The effect of electrical stimulation on the water-holding, capacity and protein denaturation of two bovine muscles. *J. Anim. Sci.*, 75, 118-124.
 8. Ferguson, D.M., Jiang, S.-T., Hearnshaw, H., Rymill, S.R., Thompson, J.M., 2000. Effect of electrical stimulation on protease activity and tenderness of *M. longissimus* from cattle with different proportions of *Bos indicus* content. *Meat Sci.*, 55, 265-272.
 9. Ferreira, G.B., Andrade, C.L., Costa, F., Freitas, M.Q., Silva, T.J.P., Santos, I.F., 2006. Effects of transport time and rest period on the quality of electrically stimulated male cattle carcasses. *Meat Sci.*, 74, 459-466.
 10. Gadiyaram, K.M., Kanana, G., Pringle, T.D., Kouakou, B., McMillin, K.W., Park, Y.W., 2008. Effects of postmortem carcass electrical stimulation on goat meat quality characteristics. *Small Rum. Res.*, 78, 106-114.
 11. Green, J. M., 1993. Electrical stimulation in: The commonwealth scientific and industrial research organisation of Australia workshop on chilling of sides and carcasses and subsequent chilled holding proceeding. Hypertext source: www.meatupdate.csiro.au/data/Chilling_carcasses_10-93.pdf
 12. Hollung, K., Veiseth, E., Frøystein, T., Aass, L., Langsrud, Ø., Hildrum, K.I., 2007. Variation in the response to manipulation of post-mortem glycolysis in beef muscles by low-voltage electrical stimulation and conditioning temperature. *Meat Sci.*, 77, 372-383.
 13. Hwang, I.H., Thompson, J.M., 2001. The effect of time and type of electrical stimulation on the calpain system and meat tenderness in beef *Longissimus dorsi* muscle. *Meat Sci.*, 58, 135-144.
 14. Hwang, I.H., Devine, C.E., Hopkins, D.L., 2003. The biochemical and physical affects of electrical stimulation on beef and sheep meat tenderness. *Meat Sci.*, 65, 677-691.
 15. Kadim, I.T., Mahgoub, O., Al-Marzooqi, W., Khalaf, S.K., Mansour, M.H., Al-Sinani, S.S.H., Al-Amri, S., 2009. Effects of electrical stimulation on histochemical muscle fiber staining, quality, and composition of camel and cattle *Longissimus thoracis* muscles. *J. Food Sci.*, 74, 44-52.
 16. Kahraman, T., 2007. Küçükbaş hayvan karkaslarına uygulanan düşük voltaj elektrik stimülasyonunun et kalitesi üzerine etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
 17. Kerth, C.R., Cain, T.L., Jackson, S.P., Ramsey, C.B., Miller, M.F., 1999. Electrical stimulation effects on tenderness of five muscles from Hampshire x Rambouillet crossbred lambs with the callipyge phenotype. *J. Anim. Sci.*, 77, 2951-2955.
 18. Li, C.B., Chen, Y.J., Xu, X.L., Huang, M., Hu, T.J., Zhou, G.H., 2006. Effects of low-voltage electrical stimulation and rapid chilling on meat quality characteristics of chinese yellow crossbred bulls. *Meat Sci.*, 72, 9-17.
 19. Nour, A.Y., Gomide, L.A., Mills, E.W., Lemenager, R.P., Judge, M.D., 1994. Influence of production and postmortem technologies on composition and palatability of USDA Select grade beef. *J. Anim. Sci.*, 72, 1224-1231.
 20. Owens, C.M., Sams, A.R., 1997. Muscle metabolism and meat quality of *Pectoralis* from turkeys treated with postmortem electrical stimulation. *Poultry Sci.*, 76, 1047-1051.
 21. Pospiech, E., Grzes, B., Lyczynski, A., Borzuta, K., Szalata, M., Mikolajczak, B., 2003. Muscle proteins and their changes in the process of meat tenderization. *Anim. Sci. Pap. Rep.*, 21, 133-151.
 22. Rhee, M.S., Ryu, Y.C., Imm, J.Y., Kim, B.C., 2000. Combination of low voltage electrical stimulation and early postmortem temperature conditioning on degradation of myofibrillar proteins in Korean native cattle (Hanwoo). *Meat Sci.*, 55, 391-396.
 23. Rhee, M.S., Kim, B.C., 2001. Effect of low voltage electrical stimulation and temperature conditioning on postmortem changes in glycolysis and calpains activities of Korean Native Cattle (Hanwoo). *Meat Sci.*, 58, 231-237.
 24. Roeber, D.L., Cannell, R.C., Belk, K.E., Tatum, J.D., Smith, G.C., 2000. Effects of a unique application of electrical stimulation on tenderness, color and quality attributes of the beef longissimus muscle. *J. Anim. Sci.*, 78, 1504-1509.
 25. Stiffler, D.M., Savell, J.W., Smith, G.C., Dutson, T.R., Carpenter, Z.L., 1982. Electrical stimulation purpose, application and results. *Tex. Agr. Ext. Serv. Bull.*, B-1375, College Station, Texas.
 26. Strydom, P.E., Frylinck, L., Smith, M.F., 2005. Should electrical stimulation be applied when cold shortening is not a risk? *Meat Sci.*, 70, 733-742.
 27. Warriss, P.D., 2000. Meat Science: An introductory text, Chapter 8, CABI Publishing, New York, pp. 162-167.

28. White, A., O'Sullivan, A., Troy, D.J., O'Neill, E.E., 2006. Effects of electrical stimulation, chilling temperature and hot-boning on the tenderness of bovine muscles. *Meat Sci.*, 73, 196–203.
29. Wiklund, E., Stevenson-Barry, J.M., Duncan, S.J., Littlejohn, R.P., 2001. Electrical stimulation of red deer (*Cervus Elaphus*) carcasses-Effects on rate of pH-decline, meat tenderness, colour stability and water-holding capacity. *Meat Sci.*, 59, 211–220.
30. Wiklund, E., Finstad, G., Johansson, L., Aguiar, G., Bechtel, P.J., 2008. Carcass composition and yield of Alaskan reindeer (*Rangifer Tarandus Tarandus*) steers and effects of electrical stimulation applied during field slaughter on meat quality. *Meat Sci.*, 78, 185–193.
31. Wulf, D.M., O'Connor, S.F., Tatum, J.D., Smith, G.C., 1997. Using objective measures of muscle color to predict beef longissimus tenderness. *J. Anim. Sci.*, 75, 684-692.
32. Yanar, M., Yetim, H., 2003. The effects of electrical stimulation on the sensory and textural quality properties of mutton carcasses. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 27, 433-438.
33. Young, L.L., Buhr, R.J., Lyon, C.E., 1999. Effect of polyphosphate treatment and electrical stimulation on postchill changes in quality of broiler breast meat. *Poultry Sci.*, 78, 267-271.
34. Young, L.L., Smith, D.P., Cason, J.A., Walker, J.M., Richard, B., 2004. Effects of intact carcass electrical stimulation on moisture retention characteristics of polyphosphate-treated non-aged boneless broiler breast fillets. *Int. J. Poultry Sci.*, 3, 796-798.
35. Zywica, R., Banach, J.K., 2007. Analysis of changes in electric current intensity during high voltage electrical stimulation in the aspect of predicting the pH value of beef. *J. Food Eng.*, 81, 560-565.

