



Etin Duyusal Niteliklerinden Yumuşaklık Üzerinde Kasların Histolojik ve Biyokimyasal Yapılarının Rolü

The Role of Histological and Biochemical Structures of Muscle in Meat Tenderness, one of the Sensory Qualities of Meat

Hidayet BOZDOĞAN^{1*}, Tarık Halûk ÇELİK²

¹Tarım ve Orman Bakanlığı Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Çankaya, Ankara

²Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Gıda Hijyeni ve Teknolojisi AD, Ankara

¹ORCID: 0000-0001-5712-8628  ²ORCID: 0000-0003-4887-8886 

*Sorumlu Yazar: hidayet.bozdogan@tarimorman.gov.tr Geliş Tarihi: 11.04.2023 Kabul Tarihi: 31.10.2023

ÖZET

Etler sahip oldukları üstün besleyici özellikleri yanında tüketiciler tarafından algılanan duyusal özellikleri sebebiyle de ilgi görmektedir. Etlerin tüketiciler tarafından kabul gören en önemli duyusal özellikleri başta yumuşaklık olmak üzere, sululuk ve lezzetten oluşur. Tüketici araştırmaları sonuçlarına göre, bu üç özellikten en önemlisinin yumuşaklık olduğu tespit edilmiştir.

Etler başlıca kas doku, bağ doku ve yağ dokudan meydana gelir. Bu üç ana bileşen etin yumuşaklık özelliği üzerinde farklı yollardan etkilidir. Etin yumuşaklığı üzerinde etkili olan çok sayıda faktör, gerçekte belirtilen bu üç etkenden birini veya daha fazlasını etkilemek suretiyle yumuşaklık üzerinde etkisini göstermektedir. Bu makale, söz konusu doku ve biyokimyasal yapıların etin yumuşaklık özelliği üzerindeki etkileri konusunda bilgi vermek amacıyla hazırlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Yumuşaklık, Et kalitesi, Sarkomer boyu, Mermerleşme, Olgunlaşma, Kolajen

ABSTRACT

Meats attract interest due to their sensory properties perceived by consumers as well as their superior nutritive properties. The most important sensory properties of meat that are accepted by the consumer are primarily tenderness, juiciness and flavor. According to the results of consumer research, it has been determined that the most important of these three features is tenderness.

Meat consists mainly of muscle tissue, connective tissue and adipose tissue. These three main ingredients affect the tenderness of meat in different ways. Numerous factors that affect the tenderness of the meat actually affect one or more of these three factors and thus affect the tenderness. This article has been prepared to give information about the effects of the aforementioned tissues and biochemical structures on the tenderness of meat.

Keywords: Tenderness, Meat Quality, Sarcomer Length, Marbling, Aging, Collagen

GİRİŞ

Etin duyuşsal özellikleri başlıca yumuşaklık (*tenderness*), sululuk ve lezzetten meydana gelir (Miller vd., 2000; Miller, 2014). Bu özelliklerden her biri önemlidir ve herhangi birindeki yetersizlik tüketicilerin memnuniyetsizliğine yol açabilir. Ancak tüketiciler açısından yumuşaklık daha önemli olduğu için bu alandaki araştırmaların çoğu yumuşaklık üzerinde yoğunlaşmıştır (King vd., 2009). Nitekim tüketici araştırma sonuçları, bu üç özellik arasında yumuşaklığın daha öncelikli kriter olduğunu göstermiştir (Miller vd., 1995). Diğer taraftan, bu üç duyuşsal özellik içerisinde en fazla değişkenlik gösteren özellik yumuşaklık özelliğidir (King vd., 2009). Bir karkasta bulunan, kaslar arasındaki yumuşaklık özelliğindeki farklılık lezzet ve sululuk özelliğindeki farklılıklara kıyasla çok daha fazladır (Carmack vd., 1995; Rhee vd., 2004).

ETİN YUMUŞAKLIK ÖZELLİĞİ

Etin yumuşaklığı, çiğneme sırasında etlerin ne kadar kolaylıkla parçalanabildiği şeklinde tanımlanabilir. Sertlik ise (*toughness*) tam tersi olup, çiğneme sırasında etin parçalanmaya gösterdiği direnç şeklinde tanımlanabilir (Miller, 2014). Bu özellikler çeşitli araçlar vasıtasıyla ölçülebilir özelliktedir. Ancak, bu özellikler yumuşaklığın sadece bir bölümünü tanımlayabilir. Yumuşaklık ayrıca sertlik (*hardness*), sıklık (*firmness*), parçalanma kolaylığı (*ease of fragmentation*) ile esnek (*springy*), hamurumsu (*mushy*), unumsu (*mealy*) ve kolayca ufalanan (*crumbly*) gibi çok sayıda tekstürel tanımlamalar ile de ifade edilebilmektedir. Bu bakımdan ilk bakışta yumuşak (*tender*) ve sert (*tough*) olarak görünen bir özelliği çok geçmeden tanımlamanın aslında oldukça zor olduğu görülmektedir (Kerth, 2013). Etin yumuşaklığının belli bir değer aralığında olması arzu edilmekte olup, aşırı sertlik yanında etlerin hamurumsu ve tekstürsüz olacak derecede aşırı yumuşak olması da kabul edilebilirlik açısından uygun değildir (Purchas, 2014).

ETİN YUMUŞAKLIĞINI BELİRLEYEN KAS BİLEŞENLERİ VE ETKİLİ FAKTÖRLER

Etler başlıca kas doku, bağ doku

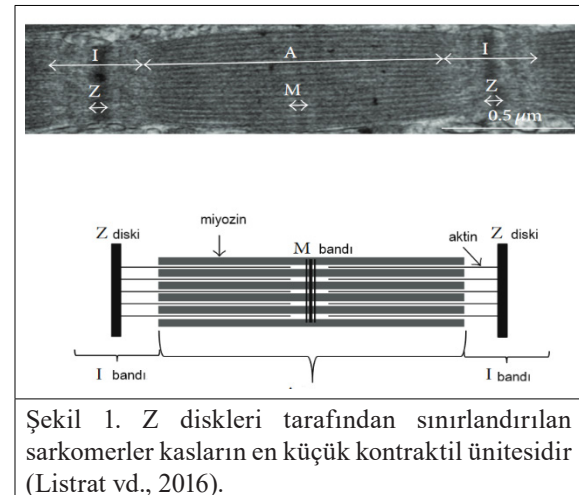
ve yağ dokudan meydana gelir. Bu üç ana bileşen etin yumuşaklık üzerinde farklı yollardan etkilidir (Listrat vd., 2016; Miller, 2014). Etin yumuşaklığı üzerinde etkili olan çok sayıda faktör aslında belirtilen bu üç etkenden birini veya daha fazlasını etkilemek suretiyle yumuşaklık üzerinde etkisi gösterebilir (Kerth, 2013).

Kas Dokunun Etin Yumuşaklık Özelliği ile İlişkisi

Kas dokuyla ilişkili olarak sarkomerlerin boyu (*sarcomer length*, sarkomerlerin kontaklı durumu) ile miyofibriller proteinlerin Postmortem enzimatik yıkılma durumu (*Postmortem proteolizis*) etin yumuşaklığı üzerinde etkili en önemli hususlardır (Kerth, 2013).

Sarkomer Boyunun Yumuşaklık Üzerindeki Etkileri

Sarkomer boyu miyofibriller yapı içerisinde iki Z hattı arasında yer alan uzaklıktır (Şekil 1). Sarkomerlerin boyu 1,5 mikron ile 2,7 mikron arasında değişir. Araştırmalara göre, diğer faktörler eşit olduğunda, sarkomer boyu ne kadar kısa ise etin sertliği o kadar fazla olmaktadır. Bunun sebebi, kalın ve ince filamentlerin daha fazla üst üste gelmeleri, daha fazla aktomiyozin bağının şekillenmesi ve uzun boylu bir sarkomere kıyasla daha yoğun bir sarkomer yapısının oluşmasıdır (Koochmaraie vd., 1996; Kerth, 2013). Bu nedenle sarkomer boyunun kısalmasına yol açan koşullar daha sert bir et üretimine yol açarken, sarkomer boyunun artmasına yol açan koşullar ise daha yumuşak et üretimi sağlar (Marsh ve Leet, 1966; Miller, 2014).



Şekil 1. Z diskleri tarafından sınırlandırılan sarkomerler kasların en küçük kontraktıl ünitesidir (Listrat vd., 2016).

Sarkomerlerin boyu üzerinde etkili iki önemli olay vardır. Bunlar, kasların rigor mortis şekillenirken fiziksel bir sınırlama ve gerilmeye maruz kalıp kalmaması ile rigor mortis şekillenirken karkasların soğutulma şekli ile ilişkilidir (Kerth, 2013).

Kaslara Uygulanan Fiziksel Sınırlama ve Gerilmelerin Sarkomer Boyu Üzerindeki Etkisi

Kesimden sonra ölüm sertliği (*rigor mortis*) şekillenirken her bir kasa uygulanan gerdirme ve fiziksel sınırlamalar sarkomer boyu üzerinde etkilidir. Bütün haldeki karkaslarda ölüm sertliği şekillenirken kasların sarkomer boyunun kısalma derecesi kasların bağlı olduğu iskelet sistemi tarafından kısıtlanır. Buradan hareketle, rigor mortis şekillenirken değerli kaslar üzerindeki gerginliği artırmak ve sarkomer boyunun kısalmasını azaltarak daha yumuşak et elde etmek için farklı karkas asma teknikleri üzerinde çalışılmıştır. Örneğin, karkaslar aşil tendonlarından asıldığı zaman bazı kaslar gerilirken bazı kasların kasılmasına imkân sağlanmış olur (Dinçer, 1997; Hostetler vd., 1970). Buna karşılık, *tenderstretch* adı verilen teknikte karkaslar daha bilindik olan aşil tendonundan asılmak yerine pelvik kemiklerde bulunan *foramen obturatorium* vasıtasıyla asılırlar. Bu teknikle arka bacaklar normal yürüme pozisyonuna benzer bir pozisyonda bulunurlar. Bu sayede longissimus kasları ile arka bacakta bulunan bazı değerli kaslar üzerinde gerginlik uygulanarak aktin ve miyozinin proteinlerinin birbiri üstüne gelmesinin azaltılması yoluyla fiziksel olarak sarkomer boylarının kısaltmaları engellenir (Şekil 2) (Hostetler vd., 1970; Hopkins, 2014).

Karkas alternatif asım şekillerinden bir diğeri de *tendercut* adlı metottur (Şekil 2). Bu metotta karkasta 12 ve 13. kaburgalar arasından vertebra kemik ve bağ dokuları kesilerek sadece *longissimus* kasları bütün halde bırakılır ve ön çeyreğin ağırlığının longissimus kasları üzerine uygulanması sağlanarak bu kasların gerdirilmesi amaçlanır. Bu metotta ikinci bir keside but ve kalça birleşim yerinde işial kemiğin kesilmesidir. Bu metotta da karkaslar aşil tendonundan asılırlar (Hopkins, 2014).

Gerdirme uygulaması kullanılarak sarkomer boyunun kısalmasının azaltılması

neticesi yumuşaklıkta sağlanan ilerleme ile bazı kaslarda ilave bir olgunlaştırma (*aging*) işlemine gerek duyulmayabileceği belirtilmektedir (Hopkins ve Ertbjerg, 2023).

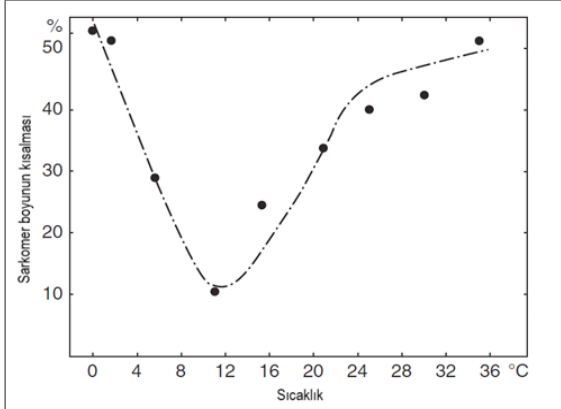


Şekil 2. *Tenderstretch* (sol) ve *Tendercut* (sağ) metoduyla asılan karkaslar (Hopkins, 2014)

Etin Soğutulma Hızının Sarkomer Boyu Üzerindeki Etkisi

Bütün kaslar kesimi takiben rigor mortis (ölüm sertliği) adı verilen bir süreçten geçerler. Rigor mortis sırasında kas hücrelerinin içerisinde bulunduğu biyokimyasal çevre sarkomerlerin nihai kasılma durumunu ve sarkomer boyunu ciddi şekilde etkileyebilir. Rigor mortis süreci sonunda kas dokusunda sarkomer boyunda rigor kısaltması (*rigor shortening*) adı verilen yaklaşık %10-15 oranında bir kısalma meydana gelir. Ancak, kas hücrelerinde henüz ATP mevcut iken aşırı kalsiyum bulunmasına yol açan koşullar sarkomer boyunun çok daha aşırı derecede kısaltılmasına neden olurlar (Şekil 3). Bu durum etlerin hızla soğutulması ve bu durumda sarkoplazmik retikulumun depolanmış kalsiyumu tutma yeteneğinin azalması sonucu meydana gelir. Soğuma kısaltığı (*cold shortening*) ve erime sertliği (*thaw rigor*) olarak tanımlanan olaylar rigor mortis tamamlanmadan önce kas dokusunun maruz kaldığı düşük kas ısısıyla ilişkili durumlardır. Sarkomer boyunda soğuma kısaltığı durumunda %50, erime sertliği durumunda ise %60-80 civarında kısalma meydana gelmektedir (Dinçer, 1997; Honikel, 2014; Kerth, 2013; Matarneh vd., 2023).

Postmortem karkas ve etlerin soğutulması sürecinde belirtilen olumsuz



Şekil 3. Rigor mortis sürecinde sıcaklığın sarkomer boyu üzerindeki etkisi (Honikel, 2014)

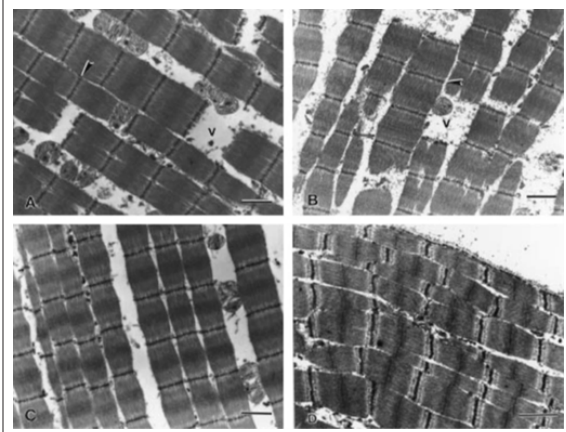
durumların oluşumunu engellemek için gerekli tedbirler alınmalıdır. Kesimden sonra karkaslara soğutma odalarına girmeden önce uygulanan elektriksel stimülasyon soğuma kısalığının önlenmesine yardımcı olmaktadır. Elektrik akımı kalsiyum salınmadan önce ATP'nin tüketilmesini sağlar. Burada amaç, kas içerisinde hem kalsiyum hem de ATP'nin aynı anda bulunmamasının sağlanmasıdır. Böylece, sarkomerlerde soğuma kısalığı oluşma ihtimali etkili bir şekilde azaltılır (Devine vd., 2014; Kerth, 2013; Özdemir ve Mutluer, 1995).

Miyofibriler Proteinlerin Enzimatik Yıkımın (Postmortem Proteolysis) Etilerin Yumuşaklığı Üzerindeki Etkisi

Etilerin yumuşaklığına ilişkin en yaygın çalışılan konulardan birisi de etin Postmortem olgunlaştırılması (*aging*) sırasında miyofibriler proteinlerin yıkımına (Etherington, 1984; Koohmaraie vd., 1991). Miyofibriler proteinler kaslarda bulunan kasılmadan sorumlu yapısal proteinlerdir. Bu proteinler belirtilen görevleri gerçekleştirmelerine olanak sağlayacak şekilde çok parçadan oluşan ve oldukça organize bir yapıda bulunurlar. Bu proteinlerin kas kasılmasını gerçekleştirmek ve oluşan gerginliği kas, ligament, tendon ve kemik üzerine iletmek için gerekli olan mekanik fonksiyonlarından dolayı kasların fiziksel yapısının çok güçlü olması önem taşır. Ancak, miyofibriler proteinlerin sağlamlığı etlerin yumuşaklığı artırılmaya çalışıldığında olumsuz etki etmektedir. Bu bakımdan, yenildiği zaman kolaylıkla parçalanana daha zayıf yapıya bir et elde etmek için etlerde bulunan miyofibriler

protein yapısının Postmortem dönemde sağlamlığının azaltılarak zayıflatılması gereklidir. Postmortem protein yapısını zayıflatmak için bu proteinlere spesifik olan ve bu proteinleri parçalayan enzimlere ihtiyaç vardır (Kerth, 2013; Miller, 2014). Postmortem proteolizde rol oynayan enzimler kasın yapısında doğal olarak bulunan ve Postmortem dönemde de etkisini devam ettirebilen kas dokusunun kendi enzimleridir (Devine, 2014).

Postmortem dönemde miyofibriller mikroskop ile incelendiğinde Postmortem 21. güne doğru Z disklerinin kademeli olarak belirsizleşmesi dikkat çekmektedir (Şekil 4) (Taylor vd., 1995). İlk zamanlarda, bu durumun Z disklerinin başlıca proteinlerinden biri olan α -aktininin yıkımından kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Ayrıca rigor mortis sonucu şekillenen kalıcı

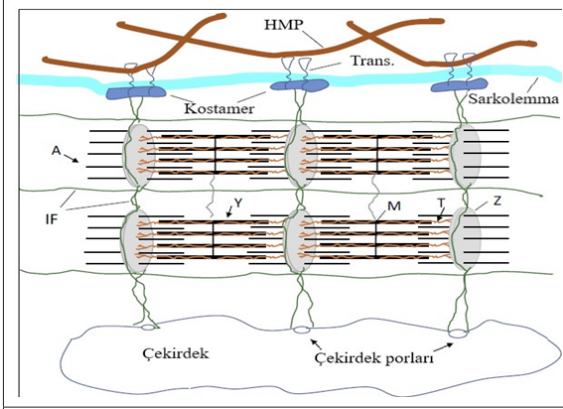


Şekil 4. (A) Ölümünden sonraki 14. günde miyofibrillerin elektron mikroskopik görünümü, (B) kuzu *longissimus* kasında I bandı parçalanması (v) ve Z hattı kaybına ilişkin Postmortem değişiklikler, (C) ve (D) I-bandı parçalanmasının olmadığı düzgün *longissimus* kası (Koohmaraie ve Geesink, 2006).

aktinomyozin kompleksinin proteolitik enzimler tarafından yıkılabileceği belirtilmiştir (Kerth, 2013). Ancak, yapılan araştırmalar kalıcı aktinomyozin kompleksinin Postmortem dönemde önemli bir yıkıma uğramadığını göstermiştir. Postmortem dönemde aktinomyozin kompleksi değil, diğer miyofibriler proteinler olan tidin ve nebulin (özellikle aktin ve miyozini Z disklerine birleştirdikleri yerlerde) ile desmin, vinkulin, distrofin ve troponin T gibi düzenleyici (*intermediate*) ve kostamerik proteinler yıkılmaktadır (Şekil 4-5) (Honikel, 2014; Huff-Lonergan,

2014; Kerth, 2013).

Endojen enzimlerin varlığında yıkımlandığı bilinen proteinlerin çoğu aslında sarkomerlerin Z disklerinde veya Z disklerinin yakınlarında yerleşik bulunmaktadır. Tidin ve nebulin



Şekil 5. Aktin (A) ve miyozin (Y) proteinlerinin oluşturduğu miyofibriller yapı ve buna ilişkin hücre iskeletini oluşturan *intermediate* filamentlerin (IF) durumu. M: M hattı; Z: Z diskleri, T: tidin, Kostamer: talin, vinkulin, spektrin, gamma aktin, Trans: trans membran proteinleri (integrin, distroglikan), HMP: hücre dışı matriks proteinleri ve proteoglikanlar (Purslow, 2017).

miyofibrillere paralel longitudinal yönde yer alırlar ve aktin ve miyozini Z disklerine sabitlerler. İlave olarak, düzenleyici ve kostamerik flamentler miyofibriller boyunca dik olarak uzanırlar ve miyofibrilleri birbirlerine ve sarkoplazmaya sabitlerler (Şekil 5). Sonuç olarak, bu filamentlerin proteolizi miyofibrillerin yapısal bütünlüğü üzerinde yıkımlayıcı bir etki doğurur. Miyofibriller protein yapısını zayıflatan bu durum etin parçalanması için daha az güce ihtiyaç duyulmasına ve etin daha yumuşak olmasına yol açar (Kerth, 2013; Purslow, 2017).

Postmortem kaslarda enzimler tarafından miyofibriller proteinlerin yıkımlanmasından kaynaklı doğal yumuşama süreci kesimden sonra başlar ve etlerin soğutulmuş halde muhafazada tutulduğu 2-3 hafta boyunca gerçekleşmeye devam eder (Huff-Lonergan, 2014). Etlerin olgunlaştırılması (*aging*), daha yumuşak et üretmek adına yapılan çalışmalarda dikkatli yürütülmesi gereken işlemlerden birisidir. Olgunlaştırmanın hızı ve derecesi kaslardaki kalpastatin aktivitesi, pH değeri ve depolama sıcaklığı gibi çok sayıda faktör tarafından etkilenir ve optimum olgunlaştırma

zamanını belirlemek zordur (King vd., 2009). Koohmaraie vd. (1996), sığır, koyun ve domuz longissimus kasında yeterli bir yumuşama sağlanabilmesi için sığırlarda 10-14 gün, koyunlarda 7-10 gün ve domuzlarda 5 gün depolanması gerektiğini belirtmiştir. Kanatlılarda ise 0-3 °C'de 1-2 gün depolama yeterli etkiyi sağlayabilmektedir (Feiner, 2006).

Bağ Dokunun Etin Yumuşaklığı Üzerinde Etkileri

Bağ doku etlerde başlıca epimizyum, perimizyum ve endomizyum şeklinde üç önemli pozisyonda bulunur. Bunlardan epimizyum kısmı etlerin hazırlanması sırasında genellikle kolayca uzaklaştırılabilmektedir. Buna karşılık perimizyum ve endomizyum kısmı çevreledikleri kaslardan kolayca uzaklaştıramadıkları için bu kısımların etin yumuşaklığı yumuşaklık üzerindeki etkisi önemlidir (Kerth, 2013; Purslow, 2017). Postmortem dönemde bağ doku proteinlerinde, pişmiş etin yumuşaklığına etki edebilecek önemli bir enzimatik değişim meydana gelmemektedir (Purslow, 2014).

Etlerde bulunan bağ dokusunun yapısı ve bileşimi bağ dokusunun temel çözünebilirlik özelliklerini belirlediği için önemlidir (Kerth, 2013). Bağ doku proteoglikan bir matriks içerisine gömülü kolajen ve elastin fibrillerinin ağından oluşur (Lepetit, 2008). Elastin, sindirim enzimlerine yüksek derecede dirençlidir. Kolajen sulu pişirme metotları ile yıkımlanırken, elastin yıkımlanmaz. Ancak ette bulunan miktarı nispeten oldukça azdır (Guo ve Greaser, 2017). Bağ dokunun başlıca proteini kolajendir. Kolajen fibrillerinin içerisinde ve aralarında meydana gelen çapraz bağlar kolajenin dayanıklılığı ve ısıl işlem ile çözümlülüğü üzerinde etkilidir. Dolayısıyla söz konusu kolajen çapraz bağların sayısı ve tipi de etlerin yumuşaklığını etkiler. Çapraz bağlar ısıyla çözünebilir ve ısıyla çözünmeyen bağlar olarak da ikiye ayrılırlar. Çiğ ette kolajen oldukça elastiktir. Kolajen pişirme sırasında 53-63 °C arasında ısının etkisiyle küçülmeye (Tornberg, 2005), 60-65 °C'den itibaren ise jelatine dönüşmeye başlar (Astruc, 2014). Eğer kolajen ısıyla çözülebilir bağlarla bağlıysa kolayca jelatine dönüşür ve bu durumda bağ doku etlerin

sertliğine katkıda bulunmaz. Buna karşılık kolajen ısıya dirençli çapraz bağlarla bağlı ise pişirmenin etkisiyle kolajen yeterli düzeyde jelatine dönüşmez, bağ dokunun sertlik üzerindeki etkisi ortadan kalkmaz ve böylece etler daha sert olur.

Hayvanlar yaşlandıkça kolajen fibrillerinde ısıya dirençli çapraz bağlar artar ve bundan dolayı yaşlı hayvanların etleri daha sert özelliktedir. Genç hayvanların etleri genellikle yaşlı hayvanların etlerinden daha yumuşak olup, bu olay genç hayvanların etlerinde ısıyla çözünebilen kolajen çapraz bağlarının daha fazla olmasından kaynaklanır (Astruc, 2014; Kerth, 2013; Miller, 2014). Örneğin, piliç etlerinde kolajen etin yumuşaklık özelliği üzerinde genellikle sınırlı bir etkiye sahiptir. Çünkü etlik piliçler genç yaşlarda kesime tabi tutulmakta olup, söz konusu gelişim döneminde kaslarda bulunan kolajende önemli ölçüde çapraz bağ şekillenmemiş durumdadır (Bailey ve Light, 1989).

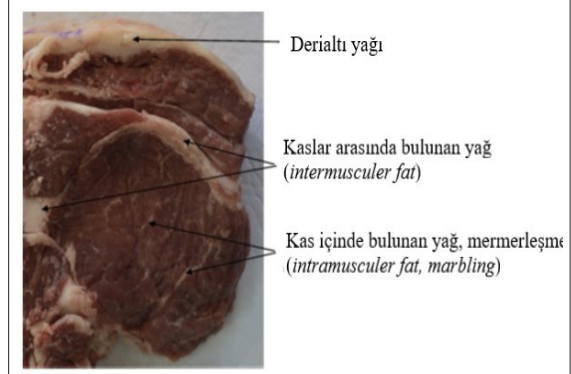
Kas dokusunda bulunan kolajen miktarı da etlerin yumuşaklığında rol oynar. Kaslarda bağ doku içeriği arttıkça etler daha sert olma eğilimindedir. Toplam kolajen miktarı kasların karkasta bulunduğu pozisyona ve fonksiyonuna göre değişiklik gösterir. Genel bir kural olarak hareket için kullanılan kaslar, destek ya da çok hafif hareketlerde kullanılan kaslardan daha fazla kolajen ihtiva etmektedir (Miller, 2014).

Bağ doku içeriği yüksek olan etler için uygun bir pişirme yöntemi seçilmesi önemlidir. Çiğ ya da yeterince pişmemiş etlerde sertliğe büyük oranda bağ doku yol açmakta iken, uygun pişirme koşullarında bağ dokudaki kolajenin jelatine dönüşmesi sağlanmış etlerde sertlik büyük oranda miyofibriller protein kısmından kaynaklanmaktadır (Astruc, 2014). Kolajen sulu pişirme koşullarında uygun bir süre tutulması durumunda, daha düşük ısı derecelerinde de jelatine dönüşebilmektedir (Bejerholm vd., 2014).

Yağ Dokunun Etin Yumuşaklık Özelliği Üzerindeki Etkileri

Yağlar karkasta deri altında, iç organ çevrelerinde, kasların arasında (*intermuskuler*) ve kas demetleri arasında (*intramuskuler*) mermerleşme (*marbling*) şeklinde bulunabilmektedir (Şekil 6). Mermerleşme şeklinde bulunan intramuskuler yağın etin yumuşaklık, sululuk ve lezzeti

üzerinde etkisi vardır. Genel olarak etlerin yağ içeriği arttıkça yumuşaklık yanında sululuk ve lezzeti de artmaktadır. Ancak yağ içeriğindeki



Şekil 6. Genç bir sığırın kaburga bölgesine ait olan ve yağ dağılımını gösteren kesit. Mermerleşmenin gösterildiği kas *longissimus thoracis* kasıdır (Purslow, 2017).

artışla yumuşaklık, sululuk ve lezzet aynı oranda artmaz. Genelde %3 veya daha az oranda yağ içeren etlerde yumuşaklık en düşük düzeydedir. Yağ içeriği %1 veya daha az miktardan %3'e yükseldiğinde yumuşaklık önemli ölçüde artar. Yağ miktarı %3'ten %6'ya yükseldiğinde yumuşaklık artar, ancak bu artış ilk verilen örneklerdeki kadar yüksek bir artış değildir.

Yağ miktarı %7,3'ü aştığı durumlarda, yağlar açık bir şekilde görüleceği için sağlık konusunda dikkatli tüketiciler tarafından aşırı yağlı olarak algılanabilmektedir. Gıdalarda yüksek yağ oranı koroner kalp hastalıkları, obezite ve insanlarda bazı kanser türleri ile ilişkilendirilmektedir. Sağlıklı beslenme hassasiyeti taşıyan tüketiciler beslenme kaynaklı sağlık risklerini azaltmak için yumuşaklık, sululuk ve lezzet gibi özelliklerden fedakârlık yapmak uğruna bile olsa düşük yağ oranlı etleri tercih edebilirler. Bu nedenle, etlerde %3-7,3 arasındaki yağ oranı genellikle kabul edilebilir olarak düşünülmektedir (Miller, 2014).

İntramuskuler yağ içeriği etlerin yumuşaklığını etkiler. Ancak, bu ilişki her zaman çok güçlü değildir. Et yağ içeriği ile yumuşaklık arasındaki ilişki üzerinde tartışılmalı bilgiler vardır. Bu kapsamda, yüksek yağ içerikli etlerin neden daha yumuşak olduğuna dair dört teori bulunmaktadır (Miller, 2014).

Kitle Yoğunluk Etkisi Teorisi

Yağlar ısıyla denatüre olmuş et proteinleri kadar yoğun olmadığı için yağ içeriği yüksek etlerin daha yumuşak olacağı

belirtilmektedir (Miller, 2014). Yüksek yağ içerikli etler daha az yoğun olacağı için ısırılmalarının daha kolay olacağı ileri sürülmektedir (Kerth, 2013).

Kayganlaştırma Etkisi Teorisi

Yağ hücreleri mermerleşme tabir edilen intramuskuler yağı da meydana getirirler. Yağ hücreleri kas demetlerini çevreleyen perimizyum adı verilen bağ doku içerisine gömülmüş haldedir. Et çiğnendiği zaman bu yağlar salınır ve kas hücreleri arasında bir kayganlaştırma etkisi sağlarlar. Yağ içeriği fazla olduğunda kas hücreleri birbirleri üzerinde daha rahat kayarlar. Çiğneme sırasında daha az direnç vardır ve dolayısıyla etler daha yumuşak algılanır (Miller, 2014).

Koruma Etkisi Teorisi

Bu teoriye göre yağlar pişirme sırasında kas hücrelerinin şiddetli ısı kaynaklı sertleşmesini yavaşlatır ve buna karşı koruma sağlarlar. Yağlar bir izolasyon katmanı olduğu için ısı yağlar üzerinden kolayca iletilmez. Yüksek yağ içeriği pişirme sırasında ısı transferini azaltır. Isı iletiminin hızı ve şiddeti azaldığında et proteinlerindeki denaturasyonun şiddeti de azalır. Pişirme sırasında etler daha az su kaybeder ve bu durum etlerin daha yumuşak olmasına neden olur (Miller, 2014).

Bağ Dokuyu Zayıflatma Teorisi

Mermerleşme arttıkça perimizyum yapısı zayıfladığı ve perimizyumun etlerin sertliği üzerindeki etkisinde azalma meydana geldiği ileri sürülmektedir (Miller, 2014).

Araştırmalar mermerleşmenin mekanik ölçümler (*shear force*) gibi etin yumuşaklığının nesnel ölçümleri üzerinde çok az etkisinin olduğunu göstermiştir. Mermerleşmenin etin yumuşaklığındaki toplam farklılıkların sadece %10'unu açıklayabildiği belirtilmektedir. Ancak mermerleşme miktarı arttıkça yumuşaklık ölçüm sonuçlarında artış görüleceğine dair genel bir eğilim vardır. Son tahlilde mermerleşme etin yumuşaklığını sağlamada bir güvenlik poliçesi olarak düşünülmelidir. Mermerleşme arttıkça etin sululuğu ve lezzeti de artar ve etin yumuşaklığındaki farklılıklar azalma eğilimindedir. Diğer bir ifadeyle, mermerleşmesi az bir et ile

çok yumuşak bir et elde edilebilir, ancak mermerleşme arttıkça daha yumuşak et elde etme şansı artar (Kerth, 2013; Miller, 2014).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Etler başlıca kas doku, bağ doku ve yağ dokudan meydana gelir. Bu üç ana bileşen etin yumuşaklık özelliği üzerinde farklı yollardan etkilidir. Etin yumuşaklığı üzerinde etkili olan çok sayıda faktör aslında belirtilen bu üç etkenden birini veya daha fazlasını etkilemek suretiyle yumuşaklık üzerinde olumlu ya da olumsuz şekilde etkisini gösterebilir. Etlerin yumuşaklık özelliği kesim öncesi ve kesim sonrası çok sayıda faktör tarafından etkilenmekte olup, etin yumuşaklık özelliğinin artırılması için kesim öncesi ve kesim sonrası süreçlerde uygulanabilen çok çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu bakımdan etlerin yumuşaklık özelliğini ve bu özelliğinin altında yatan sebepleri ve bunları etkileyen faktörlerin bilinmesi tüketiciler tarafından arzu edilen ürünler sunulabilmesi açısından önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Astruc, T. (2014). Connective tissue: Structure, function and influence on meat quality. In C. Devine & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences, 1*, (2nd ed., pp. 321-328). Oxford: Elsevier.
- Bailey, A. J. ve Light, N. D. (1989). *Connective tissue in meat and meat products*. London: Elsevier Applied Science.
- Bejerholm, C., Torngren, M. A. ve Aaslyng, M. D. (2014). Cooking of Meat. In C. Devine & M. Dikeman (eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences, 1*, (2nd ed., pp. 370-376). Oxford: Elsevier.
- Carmack, C. F., Kastner, C. L., Dikeman, M. E., Schwenke, J. R. ve Garcia Zepeda, C. M. (1995). Sensory evaluation of beef-flavor intensity, tenderness, and juiciness among major beef muscles. *Meat Science*, 39(1), 143-147. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)80016-6](https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)80016-6)
- Devine, C. E. (2014). Conversion of muscle to meat | Aging. In C. Devine & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences, 1*, (2nd ed., pp. 329-

- 338). Oxford: Elsevier.
- Devine, C. E., Hopkins, D. L., Hwang, I. H., Ferguson, D. M. ve Richards, I. (2014). Electrical stimulation. In C. Devine & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences*, 1, (2nd ed., pp. 486-496). Oxford: Elsevier.
- Dinçer, B. (1997). *Et bilimi ve teknolojisi*. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Öğrenci Ders Notları.
- Etherington, D. J. (1984). The contribution of proteolytic enzymes to postmortem changes in muscle. *Journal of Animal Science*, 59(6), 1644-1650. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5961644x>
- Feiner, G. (2006). *Meat products handbook*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Guo, W. ve Greaser, M. L. (2022). Chapter 2 - Muscle structure, proteins and meat quality. In P. P. Purslow (Ed.), *New Aspects of Meat Quality*, (2nd ed., pp. 15-37). Cambridge: Elsevier Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85879-3.00026-X>
- Honikel, K. O. (2014). Conversion of muscle to meat: Rigor mortis, cold, and rigor shortening. In C. Devine & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences*, 1, (2nd ed., pp. 358-365). Oxford: Elsevier.
- Hopkins, D. L. (2014). Tenderizing mechanisms: Mechanical. In C. Devine & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences*, 3, (2nd ed., pp. 443-451). Oxford: Elsevier.
- Hopkins, D. L. ve Ertbjerg, P. (2023). Chapter 12 - The eating quality of meat: II-Tenderness. In F. Toldra (Ed.) *Lawrie's Meat Science*, (9th ed., pp. 393-420). Cambridge: Elsevier Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85408-5.00022-4>
- Hostetler, R. L., Landmann, W. A., Link, B. A. ve Fitzhugh Jr, H. A. (1970). Influence of carcass position during rigor mortis on tenderness of beef muscles: Comparison of two treatments. *Journal of Animal Science*, 31(1), 47-50. <https://doi.org/10.2527/jas1970.31147x>
- Huff-Lonergan, E. J. (2014). Tenderizing mechanisms: Enzymatic. In C. Devine & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences*, 4, (2nd ed., pp. 438-442). Oxford: Elsevier.
- Kerth, C. R. (2013). Meat tenderness. In C. R. Kerth (Ed.), *The Science of Meat Quality*, (pp. 99-117). Wiley-Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9781118530726.ch6>
- King, D. A., Wheeler, T. L., Shackelford, S. D. ve Koohmaraie, M. (2009). Fresh meat texture and tenderness. In J. P. Kerry & D. Ledward (Eds.), *Improving the Sensory and Nutritional Quality of Fresh Meat*, (pp. 61-88), New York: CRC Press.
- Koohmaraie, M., Doumit, M. E. ve Wheeler, T. L. (1996). Meat toughening does not occur when rigor shortening is prevented. *Journal of Animal Science*, 74(12), 2935-2942. <https://doi.org/10.2527/1996.74122935x>
- Koohmaraie, M. ve Geesink, G. H. (2006). Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science*, 74(1), 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.025>
- Koohmaraie, M., Whipple, G., Kretchmar, D. H., Crouse, J. D. ve Mersmann, H. J. (1991). Postmortem proteolysis in longissimus muscle from beef, lamb, and pork carcasses. *Journal of Animal Science*, 69(2), 617-624. <https://doi.org/10.2527/1991.692617x>
- Lepetit, J. (2008). Collagen contribution to meat toughness: Theoretical aspects. *Meat Science*, 80(4), 960-967. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.06.016>
- Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B. ve Bugeon, J. (2016). How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal*, 2016, 1-14. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/3182746>
- Marsh, B. B. ve Leet, N. G. (1966). Studies in meat tenderness. III. The effects of cold shortening on tenderness. *Journal of Food Science*, 31(3), 450-459. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1966.>

- tb00520.x
- Matarneh, S. K., Scheffler, T. L. ve Gerrard, D. E. (2023). Chapter 5 - The conversion of muscle to meat. In: *Lawrie's Meat Science*, In F. Toldra (Ed.) *Lawrie's Meat Science*, (9th ed., pp. 159-194). Cambridge: Elsevier Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85408-5.00010-8>
- Miller, M. F., Huffman, K. L., Gilberts, S. Y., Hamman, L. L. ve Ramsey, C. B. (1995). Retail consumer acceptance of beef tenderized with calcium chloride. *Journal of Animal Science*, 73(8), 2308-2314. <https://doi.org/10.2527/1995.7382308x>
- Miller, R. K., Moeller, S. J., Goodwin, R. N., Lorenzen, C. L. ve Savell, J. W. (2000). Consistency in meat quality. *International Congress of Meat Science and Technology*, 46, 566-580.
- Miller, R. K. (2014). Chemical and physical characteristics of meat: Palatability. In C. Devine & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences*, 1, (2nd ed., pp. 252-261). Oxford: Elsevier.
- Özdemir, H. ve Mutluer, B. (1995). Sığır karkaslarında elektriksel uyarının etkileri. *Gıda*, 20(2), 91-96.
- Purchas, R. W. (2014). Tenderness measurement. In C. Devine & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences*, 4, (2nd ed., pp. 452-459). Oxford: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00190-2>
- Purslow, P. P. (2014). New developments on the role of intramuscular connective tissue in meat toughness. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5, 133-153. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182628>
- Purslow, P. P. (2017). Chapter 3 - The structure and growth of muscle. In F. Toldra (Ed.) *Lawrie's Meat Science*, (8th ed., pp. 49-97). Cambridge: Elsevier Woodhead Publishing.
- Rhee, M. S., Wheeler, T. L., Shackelford, S. D. ve Koohmaraie, M. (2004). Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles. *Journal of Animal Science*, 82(2), 534-550. <https://doi.org/10.2527/2004.822534x>
- Taylor, R. G., Geesink, G. H., Thompson, V. F., Koohmaraie, M. ve Goll, D. E. (1995). Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization? *Journal of Animal Science*, 73(5), 1351-1367. <https://doi.org/10.2527/1995.7351351x>
- Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins - Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70(3), 493-508. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>