

KESİM SONRASI SIĞIR ETİNDE MEYDANA GELEN BİYOKİMYASAL DEĞİŞİMLER*

BIOCHEMICAL CHANGES OF BEEF AFTER SLAUGHTER

Şükrü KURT, Erdoğan KÜÇÜKÖNER, Ömer ZORBA¹

Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Van

ÖZET: İnsan gıdası olarak et ve et ürünleri, sığır, koyun, keçi, kümes hayvanları ve av hayvanlarının iskelet kası ve iç organlarından, belirli kesim, yüzüm, parçalama ve işleme sonucu elde edilen ürünlerdir. Et kaynakları arasında özellikle kırmızı et, duyuşsal özellikleri bakımından oldukça önemlidir. Et kalitesini kesim sonrası meydana gelen biyokimyasal değişimler önemli derecede etkilemektedir. Ölüm sonrası kan sirkülasyonunun durması ve yeterli oksijenin bulunmaması nedeniyle enerji metabolizmasında önemli değişimler meydana gelmektedir. Enerji metabolizmasındaki bu değişimlerin etkisi ile, kaslarda geri dönüşümsüz kasılma olayı gerçekleşmekte ve kasın uzun süreli sertleşmesine neden olmaktadır. Meydana gelen bu biyokimyasal reaksiyonlar sırasında pH düşmekte ve pH'nın düşmesine bağlı olarak glikolitik enzimler inaktive olmakta, proteolitik enzimler aktif hale geçmektedir. Bunun sonucunda, kas belli bir gevreklik kazanmaktadır. Kasın ete dönüşümü sırasında meydana gelen bu reaksiyonlar sonucu, etin renginde ve diğer duyuşsal özelliklerde de arzu edilebilir değişimler meydana gelmektedir.

Anahtar kelimeler: Sığır eti, pre-rigor, rigor mortis, post-rigor

ABSTRACT: As the human nutrition sources; meat and meat products are derived from skeletal muscle and by-products of beef, sheep, goat, poultry, turkey and hunting animals by certain processes. Among the meats, particularly red meat is very important for human consumption according to sensory properties. Meat quality can be significantly affected by biochemical changes after slaughter. Following the death, the stoppage of blood circulation and depletion of the oxygen supply to the tissue which results important series of changes in the energy metabolism. The effect of these changes leads to irreversible muscle contraction. During the biochemical reactions, pH decreases and that can inactivated glycolytic enzymes and activated proteolytic enzymes, resulting in certain degree of tenderness. Also, during the conversion of muscle to meat, biochemical changes lead to desirable changes of colour and sensory properties of meat.

Keywords: Beef, pre-rigor, rigor mortis, post-rigor

GİRİŞ

Et, sığır, koyun, keçi, kümes hayvanları ve av hayvanlarının kaslarından elde edilmekte ve insan gıdası olarak önemli besinsel özellikler içermektedir. Elde edildikleri kaynaklara bağlı olarak da duyuşsal özellikleri farklılık göstermektedir. Dünya geneline bakıldığında, tüketiciler başta sığır ve domuz eti olmak üzere tavuk ve balık etini önemli derecede tercih etmektedirler. Müslüman toplumlarda da domuz etinin dini açıdan yasak olması nedeniyle daha çok sığır eti tüketilmektedir.

Sığır etinde kesim sonrası meydana gelen değişimler bir çok faktöre bağlı olmakla birlikte, kesim öncesi hayvan üzerinde etkili olan çeşitli faktörlere de bağlıdır. Aşırı yorgunluk ve açlık gibi faktörler hayvanlarda stres yapmakta ve böylece solunum, kan basıncı, vücut sıcaklığı değişmekte ve aktif olmayan epinefrin gibi bazı hormonlar aktif hale gelmektedir. Bu hormonların bazıları glikojenin parçalanmasında ve dolayısıyla enerji metabolizmasında önemli değişimlere neden olmaktadır. Kesim öncesindeki bu durum, kesim sonrasındaki

* Türkiye 8. Gıda Kongresinde sunulmuştur.

¹ E-posta: omerzorba@yahoo.com

biyokimyasal değişimleri de önemli derecede etkileyerek, bir çok hayvanın et kalitesinin olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır (Immonen, Ruusunen, Hissa ve Puolanne 2000, Lowe, Devine, Wells ve Lynch 2004). Canlı hayvanda glikojen miktarındaki bu değişim, fazla miktarda glikojen içeren domuzlarda ise bazen et kalitesini farklı etkileyebilmektedir (Rosenvold ve Andersen 2003).

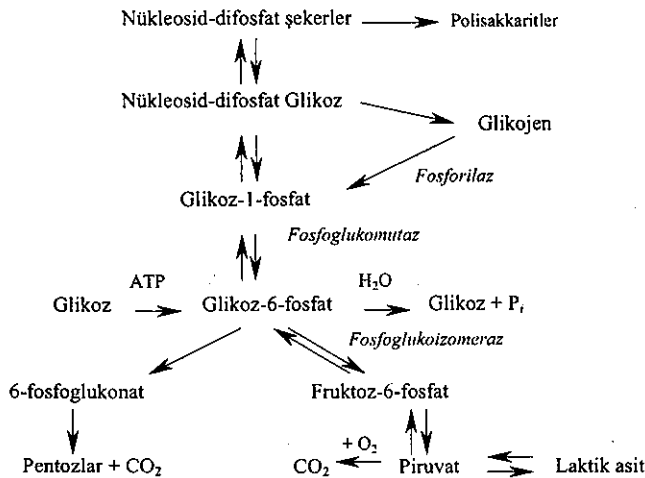
Hayvanların kesimlerinden veya avlanmalarından sonra meydana gelen biyokimyasal değişimler, türlerine bağlı olarak önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Örneğin, post-mortem sürecini önemli bir şekilde etkileyen glikojen seviyesi, balığa kıyasla sırasıyla sığırdan ve domuzda daha fazladır. Bir çok faktöre de bağlı olmakla birlikte, genellikle post-mortem süreçte balık eti, sığır etine kıyasla daha kısa sürede rigora girmektedir. Dolayısıyla bu hayvanların etlerinde meydana gelen biyokimyasal değişimlerin türlere bağlı olarak ayrı ayrı bilinmesi gerekmektedir. Kesim sonrası veya avlanma sonrası kasın ete dönüşmesi sırasında, meydana gelen biyokimyasal değişimlerin bilinmesi, etin çeşitli ürünlere işlenmesi ve kaliteli et üretimi açısından oldukça önemlidir. Kasın ete dönüşümü pre-rigor (rigor öncesi), rigor mortis (ölüm sertliği) ve post-rigor (rigor sonrası) olmak üzere üç önemli aşamada gerçekleşmekte ve bu aşamalarda çeşitli biyokimyasal ve fizikokimyasal reaksiyonlar cereyan etmektedir (Eskin 1990, Lowrie 1998).

Pre-rigor ve enerji metabolizmasındaki değişimler

Bu fazda pH'nın et proteinlerinin izoelektrik noktasının üzerinde olması nedeniyle, et yüksek su tutma kapasitesine ve yumuşak bir tekstüre sahiptir. Emülsiyon tipi ürünler için en ideal durumdadır. ATP miktarı yüksek ve pH nötre yakındır. Yaklaşık 6 saat süren bu fazın sonuna doğru ATP seviyesindeki azalma ve pH'nın düşmesi ile birlikte et sertleşir ve pH et proteinlerinin izoelektrik noktasına yaklaştığı için su tutma kapasitesi önemli derecede düşer (Eskin 1990, Gökalp, Kaya ve Zorba 2002, Rusman, Soeparno, Setiyono ve Suzuki 2003).

Sıcak et fazı kesimin hemen ardından başlamasıyla birlikte, bu fazda enerji metabolizmasında önemli değişimler gerçekleşmektedir. Ölüm sonrası kan sirkülasyonunun durması ve yeterli oksijenin bulunmaması nedeniyle trikarboksilik asit (KREBS) siklüsü durmakta ve buradan enerji sağlanamamaktadır. Ortamda anaerobik koşulların oluşması ile birlikte glikoliz yoluyla glikojenden enerji üretilmektedir (Pearson 1987, Pearson ve Young 1989).

Kaslarda bulunan glikojenden fosforilaz'ın etkisiyle glikoz molekülü ayrılmakta ve ortamdaki fosfat ile birleşerek glikoz-1-fosfat'ı oluşturmaktadır. Oluşan glikoz-1-fosfat fosfoglukomutaz enziminin etkisi ile glikoz-6-fosfat'a dönüşmektedir. Glikoz-6-fosfat glikolitik değişimlerde önemli bir rol üstlenmekte ve buradan değişik ara reaksiyonlar sonucu pentozlar, CO₂ veya laktik asit oluşmaktadır (Şekil 1) (Pearson 1987).



Şekil 1. Glikoz-6-fosfat metabolizması

Enerji metabolizmasındaki bu değişimlerle birlikte kasın fizikokimyasal özelliklerinde, özellikle de kasın pH'sında önemli derecede değişimler meydana gelmektedir (Çizelge 1). Glikolitik enzimlerin etkisiyle glikojenden glikoliz yoluyla pirüvik asit oluşmaktadır. Kaslarda yeterli oksijenin bulunmaması nedeniyle, Krebs siklüsünün durması ve kaslarda pirüvik dekarboksilaz enziminin bulunmaması nedeniyle de, laktat dehidrojenaz enzimi aktivite göstererek pirüvik asit laktik aside dönüştürülmektedir. Glikojen tükenene kadar laktik asit birikimi devam etmekte ve kasın pH'sı fizyolojik pH olan 7.2-7.4'den 5.3-5.4'e kadar düşmesinde etkili olmaktadır. Ancak pH'nın bu değerlerin altına düşmemesi sadece glikojenin tükenmesinden kaynaklanmaktadır. pH'nın düşmesi fosforilaz ve fosfofruktokinaz gibi glikolitik enzimleri inaktif hale getirdiği için, ortamda glikojen olsa bile pH bu değerlerin altına daha fazla düşmemektedir (Gökalp 1984). Kasta hidrojen iyonu konsantrasyonu ATP'nin hidroliziyle artmakta ve dolayısıyla pH'daki düşme laktik asit birikimiyle yaklaşık bir korelasyon göstermektedir (Foegeding, Lanier ve Hultin 1996).

Çizelge 1. Kesimden sonra ilk 48 saat içerisinde sığır kasında glikojen laktik asit, pH, ATP ve kreatin fosfat seviyelerindeki değişimler

Post-mortem süresi (saat)	Glikojen (%)	Laktik asit (%)	pH	ATP (%)	Kreatin fosfat (%)
İlk seviye	100.0	100.0	6.99	100.0	100.0
6	73.4	342.0	6.57	78.1	22.0
12	53.6	442.7	5.96	60.9	16.5
24	17.8	543.5	5.74	26.6	-
48	17.6	629.0	5.57	17.2	-

(Pearson ve Young 1989)

Sığır kaslarındaki ATP seviyesi balık kaslarından farklı olarak kesimden hemen sonra hızlı bir şekilde düşmemekte, birkaç saat kadar yaklaşık olarak bu seviyesini koruyabilmektedir. Ancak, normal aerobik şartlarda her bir glukoz ünitesi için 36 molekül ATP üretilmesine karşın, anaerobik şartlarda 3 molekül ATP üretilmektedir. ATP üretimindeki azalmadan kaynaklanan bu eksiklik, kreatin kinazın katalizörlüğünde kreatin fosfatın ADP'ye fosfat vererek, ATP oluşumunu sağlamasıyla belli ölçüde karşılanabilmektedir. Dolayısıyla çok fazla ATP'ye ihtiyaç duyan kasın kasılması ve gevşemesi, sınırlı da olsa devam etmektedir. Kreatin fosfatın ADP'ye fosfat vererek ATP oluşumunu sağlamasının yanısıra, kasın dinlenmesi durumunda da serbest kreatin ATP ile reaksiyona girerek ATP-kreatin-transfosforilaz'ın etkisiyle yeniden kreatin fosfat ve ADP'ye dönüşmektedir. Ancak kreatin fosfat seviyesinin önemli oranda azalması ile birlikte ATP üretimi de azalmaktadır. Dolayısıyla kasın kasılması sırasında ATPaz'ın etkisiyle önemli miktarda ATP'nin ADP ve organik fosfata (P_i) parçalanmasıyla birlikte, kasta ATP seviyesinde hızlı bir azalma gerçekleşmektedir (Pearson ve Young 1989, Eskin 1990). Stoplazmik Ca⁺² ve H⁺ konsantrasyonları myofibriller ATPaz aktivitesini kontrol edebilen kritik faktörler olup, myofibrillerde Ca⁺² aktivitesi ile birlikte ATPaz aktivitesi 20-100 kat artabilmektedir (Bowker, Grant, Swartz ve Gerrard 2004).

Kesim öncesi olduğu gibi ATP'nin parçalanması ADP ile sınırlı kalmamakta, post-mortem ve olgunlaşma sürecinde ADP'nin de parçalanma reaksiyonları sonucu ortamda sırasıyla AMP (adenosinmonofosfat), IMP (inosinmonofosfat), inosin ve hipoksantin oluşmaktadır. ADP'den miyokinaz enziminin etkisi ile AMP'nin yanı sıra tekrar ATP oluşabilmektedir. AMP ise deamidasyon ile inosin mono fosfat'a (IMP) ve IMP'de fosfataz'ın etkisiyle inosin'e dönüşmektedir. İnosin nükleosit hidrolaz veya nükleosit fosforilaz'ın etkisiyle hipoksantin'e ve riboz'a (veya riboz-1-fosfat) dönüşmektedir. Genellikle inosinden hipoksantin oluşumu çok daha yavaş gerçekleşmekte ve seviyesi zamanla artarak etin tat ve koku gibi duyuşsal özelliklerini olumsuz etkilemektedir (Hamm 1977, Foegeding vd 1996).

Ölüm sertliği fazı (rigor mortis)

Sıcaklık gibi bir çok faktöre bağlı olmakla birlikte, kesimden yaklaşık 6-7 saat sonra ölüm sertliği (rigor mortis) fazı kendiliğinden başlamaktadır. Kasın kasılıp gevşemesi sırasında ATPaz etkisiyle ATP, ADP ve P_i a parçalanmasıyla, kimyasal enerji mekanik enerjiye dönüşmekte ve aktin-miyosin köprüleri oluşmaktadır. Daha sonra ATP miyosin'e bağlanarak aktin-miyosin köprüleri kırılmaktadır. Ancak sıcak et fazının sonuna doğru ATP seviyesinin hızlı bir şekilde azalması ve hücre içersinde yeterli enerji bulunmaması, aktin-miyosin köprülerinin geri dönüşümsüz oluşmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla bu kasılma durumu uzun sürmekte, etin sertleşmesine ve esnekliğini yitirmesine yol açmaktadır. Kas pH'sının en düşük seviyesine düşmesi ve et proteinlerinin izoelektrik noktasına yakın olması nedeniyle, proteinlerin çözünürlüğü, aktivitesi ve su tutma kapasitesi de minimum seviyeye düşmektedir (Pearson 1987, Eskin 1990).

Kasılmanın gerçekleşebilmesi için sarkoplazmada kalsiyum iyon konsantrasyonunun artarak troponine bağlanması ve böylece Mg-ATP'nin inhibitör etkisinin ortadan kalkması gerekmektedir. Kasın tekrar dinlenme haline geçebilmesi için ATP'den sağlanan enerji ile kalsiyum iyonlarının tekrar sarkoplazmik retikulumda dönmesi gerekmektedir. Ancak kesim sonrası pH'nın düşmesi, hücrede iyon dengesini bozarak, mitokondri ve sarkoplazmanın kalsiyum iyon konsantrasyonunu kontrol eden membran sisteminin geçirgenliğinin artmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla kalsiyum iyonları sarkoplazmaya kolayca geçmekte ve ATPaz'ın aktivitesi artarak ATP'nin parçalanmasına yol açmaktadır. Böylece serbest kalan kalsiyum iyonları sarkoplazmada yüksek konsantrasyona ulaşmakta ve kas tekrar dinlenme haline geçememektedir (Pearson ve Young 1989, Jeacocke 1993).

Ölüm sertliği sonrası (post-rigor) ve etin gevrekleşmesi

Kesim sonrası pH'daki düşme ile birlikte kalsiyum iyon konsantrasyonunun serbest kalması, kasılmanın yanı sıra etin kalitesini etkileyen bir çok enzimin de aktif hale gelmesine yol açmaktadır. Post-mortem süreçte glikolitik enzimlerin inaktif olmasına rağmen, proteolitik ve lipolitik enzimler aktif hale gelmektedir. Bu durum post-mortem süreçte, proteolitik ve lipolitik biyokimyasal reaksiyonların et kalitesini önemli derecede etkilemelerine yol açmaktadır. Bu reaksiyonların belli bir seviyeye kadar cereyan etmesi, etin tekstürü, tadı ve aroması gibi duyuşal özelliklerini olumlu etkileyebilmektedir (Lowrie 1998, Kolczak Pospiech, Palka ve Lacki 2003).

Proteolitik ve lipolitik değişimler

Canlı hayvan kasında proteolitik enzimlerden katepsinler lisosomlarda, kalpainler ise sarkoplazmada inaktif haldedir. pH'nın düşmesi ile birlikte bu enzimler aktif hale geçmektedirler. Katepsinler ve özellikle de kalpainler aktif hale gelerek myofibriller proteinleri denatüre edip, etin gevrekleşmesini sağlamaktadırlar. Ancak ölüm sertliği sonrası oluşan gevreklik sınırlı kalmakta ve sıcak et fazındaki gevrekliğe ulaşamamaktadır (Koochmaraie 1994, Ertbjerg 1999).

Lisosomal enzimler olan katepsinler asidik pH'da optimum aktivite göstererek kas proteinleri üzerinde proteolitik etki göstermektedirler. Katepsin B1, pH 3.5-6.0; katepsin H, pH 6.0; katepsin L, pH 5.0 ve katepsin D ise pH 3.0-5.0 değerlerinde optimum aktivite göstermektedirler. Diğer proteolitik enzim grubu ise, kalsiyuma bağlı aktivite gösteren ve nötral proteinazlar olarak bilinen kalpainlerdir. Kalpainlerin etin gevrekleşmesinde oldukça önemli derecede etkileri vardır (Lowrie 1998). Kalpainlerden, kalpain I ve II'nin gevrekleşme üzerindeki etkileri tesbit edilmesine rağmen, diğer kalpainlerin (5,7,10,12,14,15) etkileri tam olarak belirlenmemiştir (Ilian, Bekhit ve Bickersta 2004). Bu enzimlerden α -kalpain'in (kalpain I) aktivite gösterebilmesi için 50-70 μM Ca^{2+} gerekirken, m-kalpain'in (kalpain II) aktivitesi için 1-5 μM Ca^{2+} gerekmektedir. Kalpainler desmin'i denatüre etmekte ve α -aktin'in Z-hattıyla olan bağlantısını zayıflatarak etin tekstürü üzerinde etkili olmaktadır (Lowrie 1998). Kaslarda gevrekleşme etkisi normal olarak kesimden yaklaşık 6 saat sonra veya pH yaklaşık olarak 6.3'e düştüğünde kalpain I'in aktif hale gelmesi ile başlamakta ve kalpain I'in aktivitesinin artmasıyla birlikte

artmaktadır. Kalpain II ise yaklaşık olarak 16 saatte aktif hale gelmekte, ancak kısmi aktivite göstererek büyük bir kısmı ette inaktif halde kalmaktadır (Dransfield 1994).

Kasta bulunan proteolitik enzimlerin yanı sıra, ete kontamine olan bazı mikroorganizmaların proteolitik enzimleri de etin proteolizi üzerinde etkili olmaktadır. Proteoliz sırasında Z-hattının zayıflaması ve desminin denatürasyonu myofibrillerin fragmentasyonuna yol açmaktadır. Ayrıca diğer miyofibriler proteinler olan titin ve nebulin de denatürasyona uğramaktadırlar. Titin filamentleri miyosin filamentlerine bağlanarak, miyosin filamentleri boyunca uzanırlar ve kasın elastikiyetinin düzenlenmesinde rol oynarlar. Dolayısıyla titinin denatürasyonu etin gevrekleşmesi üzerinde etkili olmaktadır. Fakat nebulinin denatürasyonunun etin gevrekleşmesi üzerindeki etkisi tam olarak bilinmemektedir (Koochmarai 1994). Bununla birlikte, post-mortem süreçte nebulinin 3-48 saat arasında ve titinden daha önce denatüre olduğu bildirilmektedir (Fritz ve Greaser 1991).

Proteoliz sonucu etin gevrekleşmesinin yanı sıra, peptidler, aminoasitler ve açığa çıkan çeşitli proteoliz ürünleri de etin tad, aroma ve kokusunun gelişmesini de sağlamaktadırlar. Ayrıca, bu ürünler daha çok bazik özellikte olmaları nedeniyle etin pH'sının da hafifçe yükselmesine yol açmaktadırlar. Böylece pH'daki bu yükselme etin su tutma kapasitesini artırmakta ve bu durum etin tekstürünü olumlu etkilemektedir (Gökalp 1984, Lowrie 1998).

Proteolizin yanı sıra, cereyan eden lipolitik reaksiyonlar da etin kalitesini etkileyebilmektedir. Lipolitik reaksiyonlar daha çok yüksek miktarda doymamış yağ asidi içeren yağlara sahip hayvan etlerinde, özellikle de balıklarda önemli sonuçlar doğurmaktadırlar. Kesim sonrası kan sirkülasyonunun durması ile birlikte, sinirsel ve hormonal sistem bozulmakta, dokulara vitamin ve antioksidanlar taşınmamaktadır. Dolayısıyla bu durum yağların oksidasyonuna ve oksidasyon ürünlerinin oluşmasına yol açmaktadır. Ancak ileri derecedeki oksidasyonlar acılaşmaya ve etin kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır. Proteoliz ve lipoliz sonucu oluşan ürünler tekstür, tat ve aroma gibi duyuşal özelliklerin yanı sıra diğer bir duyuşal özellik olan etin rengi üzerinde de etkili olabilmektedir (Eskin 1990).

Kesim sonrası et renginde meydana gelen değişimler

Ete rengini veren pigmentler, protein yapısındaki hemoglobin ve myoglobindir. Ancak, hemoglobinin kan ile birlikte uzaklaşması sonucu etin rengi üzerindeki etkisi oldukça azdır. Ete asıl rengini veren myoglobindir. Myoglobin ise protein yapısında olan globin ve demir atomu (Fe^{2+}) taşıyan hem molekülü olmak üzere iki kısımdan oluşmuştur. Kesimden hemen sonra etin rengi koyu kırmızı iken atmosferik basınçta oksijenasyonun etkisiyle kısa bir sürede myoglobin oksimiyoglobine dönüşmekte ve et parlak kırmızı bir renk almaktadır (Fox 1987, Gökalp vd 2002, Öztan 1999). Sığır etinde oksimiyoglobin oluşumu domuz ve tavuk etlerine kıyasla daha hızlı gerçekleşmektedir (Millar, Wilson, Moss ve Ledward 1994). Ancak et bu rengini sürekli koruyamamakta ve oksidasyon sonucu myoglobin ve oksimiyoglobinde bulunan +2 değerli demir atomu (Fe^{2+}), +3 değerliğe yükseltgenerek (Fe^{3+}) myoglobin ve oksimiyoglobin metmyoglobine dönüşmekte, etin renginin kırmızıdan kahve rengine doğru değişmesine yol açmaktadır. Taze ette renk myoglobin, oksimiyoglobin ve metmyoglobin miktarına bağlı olarak değişmekte, oksidasyonun ilerlemesi ile metmyoglobin miktarı artmakta ve sülfidler gibi değişik faktörlerin etkisiyle de et rengi yeşil, kahverengi ve sarıya dönüşebilmektedir. Sonuçta renksiz porfirin halkaları açığa çıkmakta ve bu durum et rengi üzerinde etkili olmaktadır (Gökalp vd 2002, Öztan 1999).

KAYNAKLAR

- Bowker BC, Grant AL, Swartz DR and Gerrard DE. 2004. Myosin heavy chain isoforms in influence myofibrillar ATPase activity under simulated postmortem pH, calcium, and temperature conditions. *Meat Science* 67, 139 –147.
- Dransfield E. 1994. Optimisation of Tenderisation, Ageing and Tenderness. *Meat Science*, 36, 105-121
- Ertbjerg P, Larsen LM and Moller AJ. 1999. Effect of Prerigor Lactic Acid Treatment on Lysosomal Enzyme Release in Bovine Muscle. *J Sci Food Agric* 79, 95-100.

- Eskin NAM. 1990. Biochemical Changes in Raw Foods: meat and fish. *Biochemistry of Foods* (second edition, pp.1-67), Academic Press, Inc.
- Foegeding EA, Lanier TC and Hultin HO. 1996. Characteristics of Edible Muscle Tissues. In Fennema, O. K., *Food chemistry* (third ed., pp.879-942), New York: Marcel Dekker Inc.
- Fox Jr. JB. 1987. Muscle Function and Postmortem Changes. In Price, J.F., Schweigert, B.S., *The Science of Meat and Meat Products*, (third edition, pp.155-192), Food & Nutrition Press, Inc. USA
- Fritz JD and Greaser ML. 1991. Changes in Titin and Nebulin in Postmortem Bovine Muscle Revealed by Gel Electrophoresis, Western Blotting and Immunofluorescence Microscopy. *Journal of Food Science*, 56(39), 607-610.
- Gökalp HY. 1984. Genel Et Bilimi ve Teknolojisi (Ders notları). Atatürk Üniversitesi Ziraat Fak., Teksir Bürosu. Erzurum.
- Gökalp HY, Kaya M ve Zorba Ö. 2002. Et Ürünleri İşleme Mühendisliği (4. baskı). Atatürk Üniversitesi Ziraat Fak., Erzurum. 561s
- Hamm R. 1977. Postmortem Breakdown of ATP and Glycogen in Ground Muscle: A review. *Meat Science*, 1(1), 15-39
- Ilian MA, Bekhit A and Bickersta R. 2004. Does the newly discovered calpain 10 play a role in meat tenderization during post-mortem storage? *Meat Science* 66, 317 –327
- Immonen K, Ruusunen M, Hissa K and Puolanne E. 2000. Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Science*, 55, 25-31.
- Jeacocke RB. 1993. The Concentration of Free Magnesium and Free Calcium Ions Both Increase in Skeletal Muscle Fibres Entering *Rigor Mortis*. *Meat Science*, 35, 27-45.
- Kolczak T, Pospiech E, Palka K and Lacki J. 2003. Changes in structure of psoas major and minor and semitendinosus muscles of calves, heifers and cows during post-mortem ageing. *Meat Science*, 64, 77 –83.
- Koohmaraie M. 1994. Muscle Proteinases and Meat Aging. *Meat Science*, 36, 93-104
- Lowe TE, Devine CE, Wells RW and Lynch L.L. 2004. The relationship between postmortem urinary catecholamines, meat ultimate pH, and shear force in bulls and cows. *Meat Science*, 67, 251 –260.
- Lowrie RA. 1998. Chemical and Biochemical Constitution of Muscle. *Lowrie's Meat Science* (sixth ed., pp.58-118), Cambridge: Woodhead Publishing Limited. England
- Millar S, Wilson R, Moss BW and Ledward D. A. 1994. Oxymyoglobin Formation in Meat and Poultry. *Meat Science*, 36(39), 397-406.
- Öztan A. 1999. Et Bilimi ve Teknolojisi. Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayın No: 19, Ankara. 341 s.
- Pearson AM. 1987. Muscle Function and Postmortem Changes. In Price, J.F., Schweigert, B.S., *The Science of Meat and Meat Products*, (third edition, pp.155-192), Food & Nutrition Press, Inc. USA
- Pearson AM and Young RB. 1989. Postmortem Changes During Conversion of Muscle to Meat. *Muscle and Meat Biochemistry*, (pp.391-444). Academic Press, Inc.
- Rosenvold K and Andersen HJ. 2003. Factors of significance for pork quality - a review. *Meat Science* 64, 219 –237
- Rusman Soeparno Setiyono and Suzuki A. 2003. Characteristics of Biceps femoris and Longissimus thoracis muscles of five cattle breeds grown in a feedlot system. *Animal Science Journal*, 74, 59–65.