



Wooden Breast Syndrome in Broiler Chickens and Its Impacts

Tuğçe Uzun^{1,a}, Aylin Ağma Okur^{1,b,*}

¹Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Tekirdağ Namık Kemal University, 59030, Süleymanpaşa/Tekirdağ, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 27/05/2021 Accepted : 24/08/2021</p> <p>Keywords: Wooden breast meat Myopathy <i>M. pectoralis major</i> Muscle hypertrophy Broiler</p>	<p>The aim of the study is to present a review about the "Wooden Breast Syndrome" (WBS) syndrome, which is a muscle disorder that has become increasingly important in recent years, and the etiology of the abnormalities caused by this myopathy, and its histological, macroscopic, and microscopic features. Besides, the effects on the visual, sensory, functional, mechanical quality and processing properties of the breast meat of broilers and their negative effects on the poultry industry were also discussed. Since this myopathy gives a hard structure to the <i>pectoralis major</i> muscle, it is called "Wooden Breast" in public. It is assumed that the leading direct and indirect causes of WB syndrome in broilers are pectoral muscle hypertrophy (volume increase in muscle cells), rapid growth rate, and high breast meat yield. Also, age, gender, diet, feed restriction, oxidative stress, genetics, etc. factors are also thought to be effective. However, the etiology of WB syndrome is still unclear in many aspects. As a result of the macroscopic examination of the wooden breast meat, a striking stiffness, swelling, viscous exudate (inflammatory fluid), petechial (purple-red bleeding spots) fluid, and a pale appearance in the pectoral major muscles are observed, and the lesions that occur can be detected by palpation. Due to these visual and sensory defects in breast meat, the consumability of meat decreases and this leads to significant economic losses for the poultry industry.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(9): 1638-1646, 2021

Etlık Piliçlerde Odunsu Göğüs Eti Sendromu ve Etkileri

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makalesi</i></p> <p>Geliş : 27/05/2021 Kabul : 24/08/2021</p> <p>Anahtar Kelimeler: Odunsu göğüs eti Miyopati <i>Pektolaris major</i> kası Kas hipertrofisi Etlık piliç</p>	<p>Bu çalışma ile, son yıllarda önemi giderek artan bir kas problemi olan "Odunsu Göğüs Eti" (OGE) sendromunu ve bu miyopatiden dolayı oluşan anomalilerin etiolojisi, histolojik, makroskobik ve mikroskobik özellikleri hakkında bir derleme sunmak amaçlanmıştır. Buna ilave olarak, etlik piliçlerin göğüs etinin görsel, duyuşal, işlevşel, mekanik kalitesi ve işlenebilirliğı üzerindeki etkileri ile bunların kanatlı endüstrisi üzerindeki olumsuz etkileri de ele alınmıştır. Bu miyopati, <i>pektolaris major</i> kasına sert bir yapı verdiğıinden, halk arasında "Odunsu Göğüs" adını almıştır. Etlık piliçlerde görülen OGE sendromunun altında yatan doğrudan ve dolaylı sebeplerin başında; pektoral kas hipertrofisi (kas hücrelerinde meydana gelen hacim artışı), hızlı büyüme oranı ve yüksek göğüs eti verimi geldiğı varsayılmaktadır. Ayrıca, yaş, cinsiyet, rasyon, kısıtlı yemleme, oksidatif stres, genetik vb. faktörlerin de etkili olduğı düşünölmektedir. Ancak, OGE sendromu etiolojisi birçok yönü ile halen belirsizliğini korumaktadır. Odunsu Göğüs etlerinin makroskopik incelemesi sonucunda, pektoral majör kaslarda dikkat çekici bir sertlik, şişkinlik, viskoz bir eksüdat (yangı sıvısı), peteşiyal (küçük kabartısız mor-kırmızı kanama lekese) sıvı ve solgun bir görüntü göze çarpmakta ve oluşan lezyonlar elle muayene yoluyla tespit edilebilmektedir. Etteki bu görsel ve duyuşal kusurlar, etin tüketilebilirliğini olumsuz yönde etkilemekte ve kanatlı endüstrisi için önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır.</p>

^a tugce--uzun@hotmail.com

^b <https://orcid.org/0000-0003-3424-8576> | aagma@nku.edu.tr

^c <https://orcid.org/0000-0001-6678-765X>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Son yıllarda etlik piliç üretimi başta olmak üzere kümes hayvancılığı sektörüne verilen önem artmaktadır. Günümüzde insan beslenmesinde biyolojik değerliliği en yüksek protein kaynağı olarak yer alan hayvansal protein kaynakları önem arz etmektedir. Bu ihtiyacın, %45'i büyükbaş hayvanlardan, %31'i kanatlı hayvanlardan, %20'si domuzlardan ve %4'ü ise küçükbaş hayvanlardan sağlanmaktadır (Baltic ve ark., 2019). Kanatlı hayvan üretiminin avantajları; yemden yararlanma oranlarının iyi olması, üretim sürelerinin ortalama 42 gün gibi göreceli kısa olması, besleyici özellikleri, satın alınabilirliği, gıda olarak hazırlanma kolaylığı, dünyadaki tüm ülke ve dinlerde kabul edilir olmasından kaynaklanmaktadır (Kuttappan ve ark., 2016; Baltic ve ark., 2019; Baldi ve ark., 2020).

Beyaz ete yönelik tüketici talebindeki artışı karşılamak için, uzun yıllardır yapılan ıslah çalışmaları ile elde edilen hibrit ırkların kullanılması, besleme, bakım, yönetim ve kümes koşullarının hayvanların ihtiyaçlarını optimum düzeyde karşılayacak şekilde iyileştirilmesi ile birlikte daha kısa sürede ve daha yüksek canlı ağırlık kazanabilen etlik piliçler kullanılmaya başlanmıştır (Baltic ve ark., 2019; Bailey ve ark., 2020).

Yem dönüşüm oranındaki iyileşmeye, göğüs eti veriminin artmasına, kesim ağırlığına ulaşma süresinin kısalmasına ve genetik faktörlere bağlı olarak kas dokusunda bazı miyopatiler görülmeye başlanmıştır. Son 10 yılda en çok dikkat çeken ve artış gösteren miyopatiler; Derin Pektoral Kası (DPM), Solgun-Yumuşak-Sulu (PSE), Beyaz Çizgi (BÇ), Spagetti Göğüs Eti (SGE) ve Odunsu Göğüs Eti (OGE) sendromlarıdır. Bu miyopatilerin, 2010 yılı öncesinde de mevcut olabileceği, ancak bu tarihten sonra kesimhane ve et işleme tesisleri tarafından fark edilerek, rapor edilmeye başlandığı literatürlerde belirtilmiştir (Aviagen, 2019; Sihvo, 2019; Zampiga ve ark., 2020; Bailey ve ark., 2020).

Günümüzde en son saptanan miyopati ise, OGE sendromudur. Bu miyopati ilk olarak 2014 yılında Finlandiya'da (Sihvo ve ark., 2014), daha sonra Brezilya, İtalya, Amerika Birleşik Devletleri ve Birleşik Krallık gibi farklı ülkelerde rapor edilmiştir (Cauble ve ark., 2020). Etlik piliçlerin *pektoralis major* kasında belirlenmiş ve kaslara sertlik vermesinden dolayı "Odunsu Göğüs (Wooden Breast)" adı verilmiştir (De Brot ve ark., 2016; Kuttappan ve ark., 2016; Cauble ve ark., 2020). Canlı hayvanlarda OGE sendromunu belirlemeyi sağlayacak etkili bir biyolojik belirteç henüz bulunmamakta ve belirtiler genellikle kesim sonrası saptanabilmektedir (Kuttappan ve ark., 2016; Baltic ve ark., 2019). Bu miyopatinin sebebi tam olarak bilinmemekle birlikte, ticari koşullarda yetiştirilen etlik piliçlerin yüksek canlı ağırlığa kısa bir sürede ulaşmaları, rasyon, kısıtlı yemleme, oksidatif stres ve genetik gibi faktörlerin etkili olduğu düşünülmektedir (Tekeli ve ark., 2016; Bowker ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2021).

Günümüzde yetiştirilen etlik piliçlerde, karkasın yaklaşık %40'ını göğüs etinin oluşturduğu, bunun ise %1 oranında yağ içerdiği bildirilmiştir (Baltic ve ark., 2019). Kesim öncesi ve kesim sonrası birçok faktör karkasların (deri değişiklikleri, eklem kanaması, kemik kırılması, kanamalar vb.) ve/veya et filetoalarının (PSE-DPM et, peteşiyal kanamalı-kanamasız viskoz, BÇ, OGE, SGE vb.)

kalitesini olumsuz etkiler. Tüketicilerin tercihleri üzerin de olumsuz etkileri olan bu görünüm kusurları, kanatlı eti endüstrisi için önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Zambonelli ve ark., 2017; Baltic ve ark., 2019; Bowker ve ark., 2019).

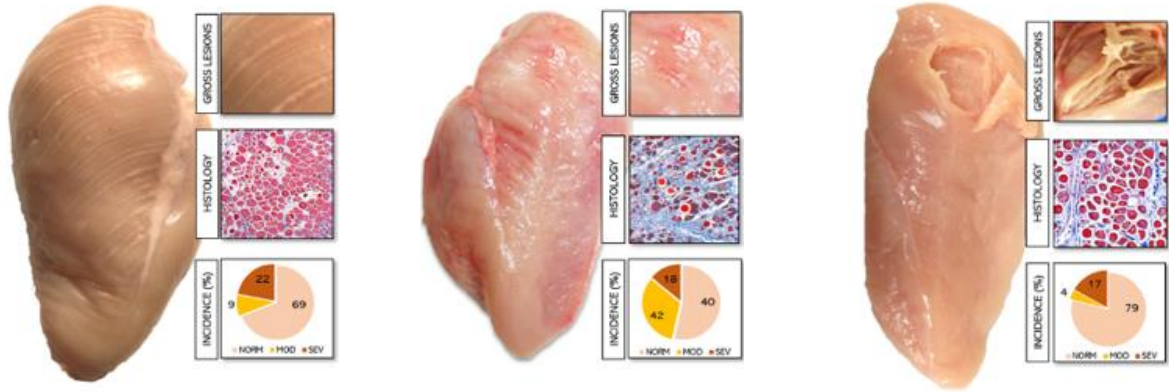
Gelişen miyopati nedeniyle göğüs etinin mineral (Ca, Na, K, Mg, P) bileşiminin bozulduğu, kolajen ve yağ birikiminin arttığı, protein işlevselliğinin (suyu tutma/bağlama yeteneği, jel oluşumu) ise azaldığı bildirilmiştir (Soglia ve ark., 2016; Velleman, 2020). Göğüs etinde gözlenen değişikliklere bağlı olarak kas liflerinin iltihaplanma, fibrozis, lipidozis sonucu ciddi şekilde hasar gördüğü ve doku ölümünün gerçekleştiği belirtilmiştir. Böylece OGE sendromunun; göğüs etinin hem duysal özelliklerini, hem de etin su tutma özelliklerini azaltarak, besin değerini ve etin işlenebilirliğini de olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir (Kuttappan ve ark., 2016; Zambonelli ve ark., 2017). Ayrıca et; çiğ, pişmiş veya salamura edilmiş bile olsa kalitesinin düşmesine sebep olduğu saptanmıştır (Mudalal ve ark., 2015; Kuttappan ve ark., 2016; Tekeli ve ark., 2016; Zambonelli ve ark., 2017).

Bu çalışma ile son yıllarda saptanan bir miyopati olan "Odunsu Göğüs Eti" (OGE) sendromu, sebepleri, etlik piliçler ve göğüs eti kalitesi üzerindeki etkileri konularını derlemek amaçlanmıştır.

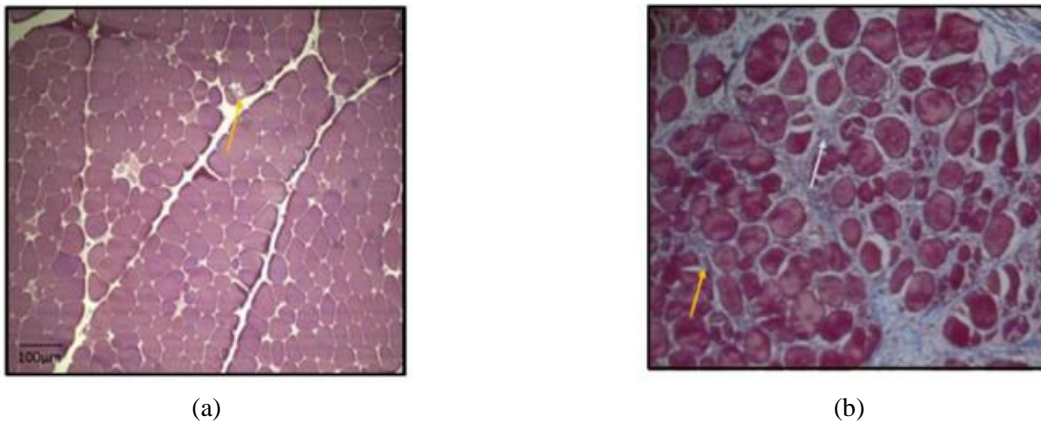
Odunsu göğüs etinin histolojik, makroskopik ve mikroskopik özellikleri

Odunsu göğüs eti (OGE) sendromu makroskopik olarak incelendiğinde; pektoral kaslarda dikkat çekici sertlik, şişkinlik, kaba ve solgun bir görüntü gözlemlendiği bildirilmiştir. Sertlik ve şişkinliğin palpasyonla tespit edilebildiği çalışmalarla ortaya konmuştur (Mutryn ve ark., 2015; Hosotani ve ark., 2020). Ayrıca, hayvanların kesilmesinin ardından yapılan muayenede ise fileto etinde anormal şişkinlik, peteşiyal sıvı, berrak veya hafif sarımsı viskoz bir eksüdat ve daha yüksek pH varlığı saptanmıştır. Ayrıca eksüdat nedeniyle fileto dışarı çıkıntı, küçük kanamalar ve sümüksü bir yüzey oluştuğu bildirilmiştir. Bunlara ilaveten, et dokusunda zaman zaman Beyaz Çizgi sendromunun ve ayrı kas demetlerinin de görülebildiği belirtilmiştir (Zotte ve ark., 2017; Baldi ve ark., 2019; Bowker ve ark., 2019; Şekil 1).

Maharjan ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada sağlıklı ve OGE sendromu görülen göğüs dokusuna ait mikroskop görüntülerini vermişlerdir (Şekil 2). Göğüs eti mikroskopik olarak incelendiğinde, OGE sendromunda kas liflerinin az, oval veya yuvarlak şekilli görüldüğü (Sihvo ve ark., 2014; Zotte ve ark., 2017), normal kastan daha geniş bir kesit alanına, yüksek kas içi kolajene ve kesim sonrası yüksek pH' ya sahip olduğu bildirilmiştir (Huang ve Ahn, 2018; Velleman, 2020). Ayrıca, lokalize hipoksi (oksijen yetmezliği), oksidatif stres, bağ dokusu artışına bağlı sertleşme, artmış hücre içi kalsiyum ve kas lifi tipi değişimi gibi bulgulara da rastlandığı belirtilmiştir. OGE sendromundan *pektolaris* kasının yüzeysel alanının, kasın derin kısımlarına göre daha fazla etkilenme eğiliminde olduğu da görülmüştür (Mutryn ve ark., 2015; Baltic ve ark., 2019; Baldi ve ark., 2020).



(a) Beyaz çizgi (b) Odunsu göğüs eti (c) Spagetti göğüs
Şekil 1. Hızlı büyüyen etlik piliçlerin göğüs eti kaslarında saptanan bazı anomalilerin görünümleri (Baldi ve ark., 2019)
Figure 1. Views of some anomalies detected in breast meat muscles of fast growing broilers



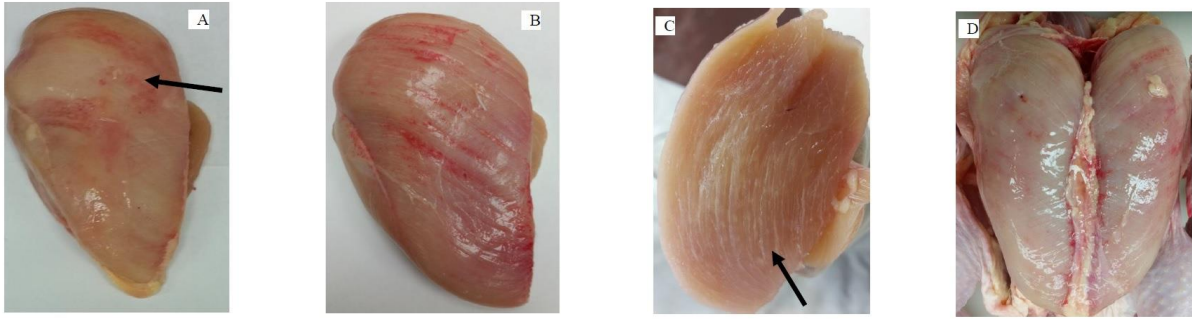
(a) (b)
Şekil 2. (a) Sağlıklı bir hayvana ait göğüs etinin, (b) Odunsu göğüs eti sendromu görülen göğüs etinin mikroskop altındaki görüntüleri; Ölçek Çubuğu = 100 µm (Maharjan ve ark., 2020)
Figure 2. Microscopic images of breast samples a) of a healthy animal, b) an animal with Wooden breast meat syndrome; Scale Bar = 100 µm

Pectoralis major kası histolojik olarak incelendiğinde ise, değişken derecelerde fibrozlu polifazik kas dejenerasyonu, inflamasyon, hücresel infiltrasyon (istenmeyen sıvı birikmesi-sızması), nekroz ve venüllerin yanı sıra, lenfositler (beyaz kan hücresi türü) kümeleri görülebildiği saptanmıştır (Kuttappan ve ark., 2016; Abasht ve ark., 2019). Aynı zamanda serumda kreatin kinaz ve aspartaz aminotransferaz seviyeleri ile OGE sendromu şiddeti arasında pozitif bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir (Vieira ve ark., 2021). Ayrıca, hücre yapısı ve şeklindeki anormallikler, kas lifi parçalanması, hiyalinizasyon (sağlıklı dokunun bozulması-kitle oluşumu), lipidozis (düzensiz yağ oluşumu), kalsiyum birikmesi, hipoksi (oksijen yetmezliği) ve oksidatif stres gibi doku hasarına işaret eden belirtiler de gözlenmiştir (Mutryn ve ark., 2015; Zotte ve ark., 2017; Griffin ve ark., 2018). Meydana gelen kas dejenerasyonu sonucu; makrofajlar ve T-lenfositleri uyarılarak “Sitokin fırtınası” olarak bilinen durum ortaya çıkmakta, etin kimyasal bileşimi ve işleme kabiliyeti olumsuz etkilenmektedir (De Brot ve ark., 2016; Papah ve ark., 2017; Velleman, 2020). Şekil 3’te göğüs kası üzerinde OGE miyopatisinin belirtileri açıkça görülmektedir (Huang ve Ahn, 2018; Aviagen, 2019).

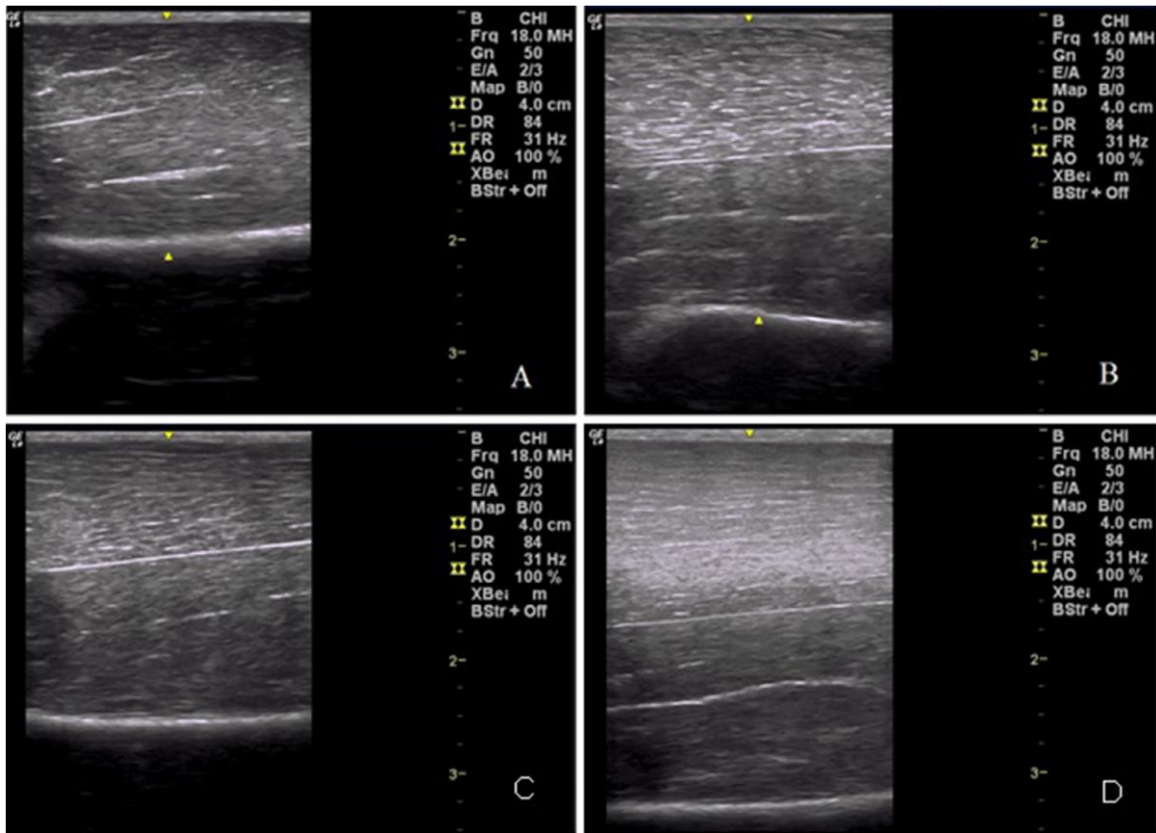
Odunsu Göğüs sendromunun, başka bir kas hastalığı olan Beyaz Çizgi miyopatisi ile bazı benzer özelliklere sahip olduğu bildirilmektedir. Histolojik olarak bu iki miyopatiyi birbirinden ayırt etmenin zor olduğunu, ancak

yapılan ayrıntılı çalışmalar sayesinde bunların birbirinden farklı hastalıklar olduğu görülmüştür. Beyaz çizgi miyopatisi; göğüs filetosu ve but üzerinde lif dejenerasyonuna bağlı olarak kas liflerine paralel beyaz çizgi (yağlı şerit) şeklinde görüldüğü ortaya konmuştur. Bu beyaz çizgi oluşumunun; kas nekrozu ile birlikte kas lifleri üzerindeki yağın mineralizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Mutryn ve ark., 2015; Huang ve Ahn, 2018; Bowker ve ark., 2019; Zampiga ve ark., 2020). Odunsu göğüs eti miyopatisinde ise, göğüs filetosu palpasyon yöntemi ile tespit edilebilen, tamamen sertleşmiş, dışa doğru şişmiş, lif demetleri ayrılma eğiliminde ve etin solgun renkte olduğu ortaya konmuştur. Etlik piliçlerde bu kas rahatsızlıklarının tek başlarına veya birkaç tanesi birlikte de gözlenebildiği bildirilmiştir. Diğer miyopatilere kıyasla, OGE sendromunun daha şiddetli seyrettiği belirtilmiştir (De Brot ve ark., 2016; Tekeli ve ark., 2016; Griffin ve ark., 2018; Soglia ve ark., 2019).

OGE sendromunun önemli bir karakteristik özelliği de sadece *pectoralis major* kasında gözlemlenmesidir. *Pectoralis major* kası, etlik piliç karkasının en değerli kısmı olup ve toplam vücut ağırlığının yaklaşık 1/5’ini oluşturur. Diğer miyopatiler ise, *pectoralis major* kasının yanı sıra, iskelet kası, düz kaslar ve/veya kalp kasında da görülebilmektedir (Baltic ve ark., 2019).



Şekil 3. Odunsu Göğüs Eti sendromunda kasta saptanan belirtiler; A) Şişkinlik ve kanamalar, B) OGE sendromunda beyaz çizgi, şişkinlik, ve kanamalar, C) Etin kesiti alınmış halinde fibrosis ve lipidosis göstergesi beyaz hat görünümü, D) Karkasta bölgesel şişkinlik, beyaz çizgiler, kanamalar ve sarımsı viskoz sıvı (Huang ve Ahn, 2018).
Figure 3. Wooden breast syndrome conditions on muscle a) Bulged areas, and blood spots, b) WBS with white striping, bulged and blood spots, c) fibrosis and lipidosis signs in the cross section of muscle, d) Bulged area, white lines, blood spots and yellowish viscous fluids on carcass (Huang and Ahn, 2018)



Şekil 4. A) 42 günlük yaşta ve OGE skoru 1 olan hayvanın ultrason görüntüsü, B) 42 günlük yaşta ve OGE skoru 4 olan hayvanın ultrason görüntüsü, C) 49 günlük yaşta ve OGE skoru 1 olan hayvanın ultrason görüntüsü, D) 49 günlük yaşta ve OGE skoru 4 olan hayvanın ultrason görüntüsü (Vieira ve ark. 2021).

Figure 4. A) WB score 1 at 42 day-old, B) WB score 4 at 42 day-old, C) WB score 1 at 49 day-old, D) WB score 4 at 49 day-old (Vieira et al. 2021)

Vieira ve ark. (2021) ise çalışmalarında ultrason görüntülerinin canlı hayvanlarda OGE sendromunun erken saptanmasında doğru sonuçlar elde edilebildiğini bildirmişlerdir. Şekil 4'te 42 ve 49. günlük yaşlarda göğüs kasının kesitinin ultrason cihazı ile çekilmiş görüntüleri bulunmaktadır. Ultrason dalgalarının ekrandaki yankılanabilirliğine göre, normal kas dokusunun yapısındaki (yağ ve fibroz doku kaynaklı olabilecek) bozuklukların saptanabileceğini bildirmişler.

Odunsu göğüs eti sendromunun olası sebepleri ve etkileri

Odunsu göğüs eti sendromunun, etlik piliçlerde en erken 2 haftalık yaştan itibaren gelişmeye başladığı, 3-4 haftalık yaştan sonra ise fileto da dejenerasyon belirtileri saptandığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, kesim dönemindeki (5-6 haftalık) hayvanlarda ise kas dejenerasyonunun daha belirgin bir hal aldığı da ilave edilmiştir.

Bu miyopatide, lezyonların ilk olarak odaksal başladığı, sonrasında tüm pektoral majör kasını kapsayan yaygın bir lezyona dönüştüğü saptanmıştır. Yapılan çalışmalar, üretilen göğüs filetolarının yaklaşık %5-10'unda OGE sendromu görüldüğünü ortaya koymuştur (Baltic ve ark., 2019; Sihvo, 2019; Hosotani ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2021).

Odunsu Göğüs (OGE) sendromunun etiyojisi hakkında birçok çalışma (Mutyrn ve ark., 2015; Kuttappan ve ark., 2016; Griffin ve ark., 2018; Sihvo, 2019) yapılmış olmasına rağmen, halen sebepleri belirsizliğini korumaktadır (Zambonelli ve ark., 2017; Xing ve ark., 2020). Bu miyopatik değişiklikleri başlatabilecek etmenler olarak; karbonhidratı kullanma yeteneğinin azalması, karbonhidratı bir enerji kaynağı olarak depolama, kalsiyum iyonlarının birikmesi, hipoksi, oksidatif stres, hızlı büyümeden kaynaklanan dolaşım bozuklukları, rasyonun enerji ve protein içeriği, yaş, cinsiyet, kısıtlı yemleme vb. olası sebepler arasında sayılabilir (Kuttappan ve ark., 2017a; Huang ve Ahn, 2018; Baltic ve ark., 2019). Bununla birlikte, bu miyopatinin gelişmesinin altındaki en önemli sebeplerinden birinin; hızlı büyüme ve canlı ağırlık kazancı ile yüksek göğüs eti veriminden kaynaklanan, kas hücrelerinde meydana gelen hacim artışının (kas hipertrofisi) olduğu düşünülmektedir (Soglia ve ark., 2019). Hipertrofi sebebiyle, kan damarları ile kas lifleri arasındaki difüzyon mesafesinin arttığı, kas lifinin radyal (yatay) büyümesine ayak uyduramadığı ve böylece liflerin, destekleyici bağ dokusunu aşarak kas hasarına yol açabileceği düşünülmektedir (Baltic ve ark., 2019).

Oluşumunu Etkileyen Faktörler

OGE sendromuna yol açan nedenler ve etkileyen faktörler, 12 madde altında özetlenmiştir;

Pektoral kas hipertrofisi: Kas liflerinin sayıca değil de, hacimce artış sergilemesi kılcal damarlarda azalmaya sebep olur. Yetersiz kan damarı gelişimiyle kan akışı yavaşlar, oksijen tedariki azalır ve ilerleyen safhalarında flebit (damar iltihabı) görülebilir. Kasta oluşan bu değişiklikler sonucunda etlik piliçlerde OGE gibi istenmeyen miyopatiler oluşabildiği bildirilmiştir (Soglia ve ark., 2019).

Hızlı büyüme oranı ve yüksek göğüs eti verimi: Bu durum; göğüs kasının aşırı gerilmesine ve kılcal damar ağının ise azalmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, hızlı büyüyen etlik piliç ırklarında dolaşım yetersizliğinden dolayı kas lifleri dejenerasyonuna rastlanmaktadır. Böylece, bağ dokusu artışına bağlı sertleşme (fibrozis), iltihaplanma ve iskemi (kastaki kan akışı zayıflaması ve oksijen erişimi engellenmesine bağlı doku hasarı) görüldüğü bildirilmiştir. Kandaki bu düşük oksijen seviyesi ise; oksijen yetmezliğine ve oksidatif strese neden olmaktadır. Kasta meydana gelen bu değişiklikler sonucunda etlik piliçlerde OGE gibi miyopatiler oluşabilmektedir (Kuttappan ve ark., 2017a; Zotte ve ark., 2017; Huang ve Ahn, 2018).

Cinsiyet: Hızlı büyüyen erkek piliçlerin *pektolaris major* kas lifleri, yavaş büyüyen ırklara göre 3-5 kat daha geniştir. Ayrıca, OGE görülme sıklığının erkeklerde, dişilere oranla %16 daha fazla olduğu ve bu oranın daha artabildiği bildirilmiştir (Soglia ve ark., 2017). Hızlı canlı artışından dolayı, kastaki bağ doku ve kas lifi dengesini sağlamak erkek etlik piliçlerde daha da zorlaşmaktadır.

Kasta oluşan bu değişiklikler, OGE gibi istenmeyen miyopatilerin oluşmasına sebep olabilmektedir (Griffin ve ark., 2018; Baltic ve ark., 2019; Soglia ve ark., 2019; Zampiga ve ark., 2020). Grafik 1'de cinsiyetin, OGE sendromu üzerine etkisi gösterilmiştir (Tekeli ve ark., 2016).

Yaş: Odunsu göğüs eti (OGE) lezyonları odaksal olarak başlayıp ve hayvanın yaşı arttıkça yaygın bir form olarak yayıldığı görülmüştür. Ayrıca hayvanın yaşı ve canlı ağırlığı arttıkça, OGE ve BÇ miyopatilerinin görülme oranı ve şiddetinin de arttığı saptanmıştır (Kuttappan ve ark., 2017b; Huang ve Ahn, 2018; Aviagen, 2019; Baltic ve ark., 2019).

Yemin enerji düzeyi: Hayvanın ihtiyaçları doğrultusunda hazırlanmayan, yüksek enerji ve düşük protein miktarına sahip yemlerle beslenen etlik piliçlerde, OGE ve BÇ oluşumunun artırdığı belirtilmiştir (Trocino ve ark., 2015; Griffin ve ark., 2018; Huang ve Ahn, 2018).

Aminoasit düzeyi: Büyüme döneminde rasyonda aminoasit sınırlaması yapılmasının, etlik piliçlerde odunsu göğüs eti görülme oranını azalttığı saptanmıştır (Bodle ve ark., 2018). Buna ilave olarak, etlik piliç rasyonuna lizin ve arginin esansiyel aminoasitlerinin ilave edilmesinin olumlu etki yapacağı yönünde sonuçlar da ortaya konmuştur. Lisin ve arginin aminoasitlerinin yemde yüksek oranda bulunmasının, kas hipertrofisinin önlenmesi yönünde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yemdeki lizin konsantrasyonunun, sadece büyümeyi değil, aynı zamanda karkas verimini de etkilediği bildirilmiştir (Cruz ve ark., 2017; Bodle ve ark., 2018).

Vieira ve ark. (2021) ise etlik piliçlerin ihtiyaç duydukları metabolize olabilir enerji (-50kcal/kg) ve sindirilebilir lizin (-%0,20) düzeylerinde 28 günlük yaşa kadar kısıtlamalar yapmışlar, sonrasında ise tüm muamelelerdeki hayvanları 49 günlük yaşa kadar bazal yemle beslemişler ve etlik piliçler üzerindeki etkilerini ultrason görüntüleri ve yaptıkları (0-normal; 4-şiddetli arasında değişen) skorlamalarla incelemişlerdir. Besin madde düzeylerinde kısıtlama yapılan hayvanların, OGE skorları 28 günlük yaşa kadar kontrol grubuna göre daha düşük bulunmuştur (P<0,05). Fakat 35., 42. ve 49. günlerde yapılan skorlamalarda ise bir farklılık saptanmamıştır.

Yem kısıtlaması: Etlik piliçlerde hastalığın görülmesi, yem kısıtlaması yoluyla büyümenin ve canlı ağırlık artışı hızının kontrol altına alınması sonucu azaltılabilir (Kuttappan ve ark., 2016; Radaelli ve ark., 2017). Yapılan bazı çalışmalar, 13-21 günlük yaşlar arasında yapılan kısıtlı yemlemenin, kas lifi dejenerasyonunu kontrol altına almada olumlu etkiye sahip olduğunu bildirmektedir (Kuttappan ve ark., 2016; Radaelli ve ark., 2017). Yumurtadan çıktıktan sonraki ilk 2 haftalık sürede yapılan sınırlı yemlemenin ise, etlik piliçlerin büyümesi üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu da belirtilmiştir (Huang ve Ahn, 2018). Bununla birlikte, yemlemenin *ad libitum* olarak yapıldığı etlik piliçlerde semptomların daha fazla görüldüğünü ortaya koyan çalışmalar da bulunmaktadır (Trocino ve ark., 2015; Radaelli ve ark., 2017).

Selenyum ve E vitamini ilavesi: Vücuttaki selenyum ve E vitamini eksikliğinin, OGE sendromu için olası nedenlerden biri olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca selenyumun, E vitamini eksikliğinden kaynaklanan bazı patolojik sorunları önlediği ve bu sebeple birbirlerinin

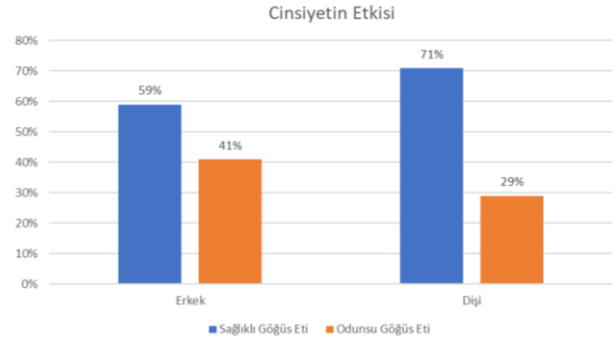
eksikliklerini kısmen tamamlayabildikleri bilinmektedir. Aynı zamanda hem selenyum hem de E vitamininin, oksidatif strese karşı antioksidan enzimlerin işlevini artırdıkları ve serbest radikallerin oluşmasını önledikleri bildirilmiştir (Kuttappan ve ark., 2016; Sihvo ve ark., 2017; Huang ve Ahn, 2018). Düşük selenyum ve E vitamini rasyonlarıyla beslenen kümes hayvanlarında E vitamini yetersizliğine bağlı olarak eksudatif diyet, ileri safhalarda da ensefalomasi görülebilir. Etlik piliç hibritleri üreten firmalar tarafından rasyonlardaki selenyum seviyesinin 0,30-0,35 mg; E vitamini seviyesinin ise 50-80 IU/kg yem olması önerilmektedir. Bununla birlikte, önerilen E vitamini ve selenyum seviyelerinin OGE miyopatisi üzerine etkisini değerlendirmek için daha fazla çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Mutryn ve ark., 2015; Kuttappan ve ark., 2016; Griffin ve ark., 2018; Sihvo, 2019).

Fitaz enzimi ilavesi: Rasyona, fitaz enzimi ilave edilmesinin, oksijen homeostasis metabolizmasını etkileyerek, etlik piliçlerdeki OGE sendromunun görülme şiddetini %5 kadar azalttığı bildirilmiştir. Ayrıca, OGE sendromunda göğüs etinin yağ asit profilinde dengesizliklere sebep olduğu görülmüş, rasyona yüksek oranda fitaz enzimi ilave edilmesinin bu durumu da iyileştirmeye yardımcı olduğu gözlenmiştir. Çalışmada, yeme 1000 ve 2000 FTU/kg fitaz enzimi ilavesinin doymuş ve tekli doymamış yağ asitlerini azalttığı ve çoklu doymamış yağ asitlerini ise artırdığı saptanmıştır (Cauble ve ark., 2020).

Potasyum (K) ve fosfor (P) ilavesi: Sodyum (Na), potasyum (K) ve klorür (Cl) arasındaki optimum ilişki ile rasyondaki ve vücuttaki elektrolit dengesi sağlanmaktadır. Rasyonda yetersiz düzeyde potasyum ve fosfor bulunması durumunda, hızlı büyüme ve yüksek performans gösteren etlik piliçlerde asit-baz dengesinin bozulabileceği görülmüştür. Rasyona K ve P ilavesi ile bu durumun önlenilebileceği ve OGE sendromunun oluşumunun azaltılabileceği bildirilmiştir (Livingston ve ark., 2019).

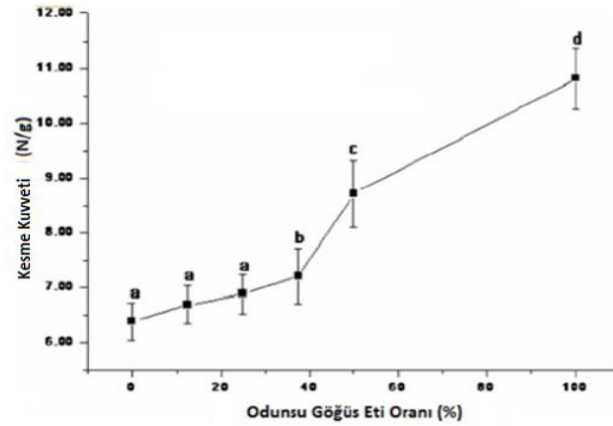
Hareket kabiliyeti: Etlik piliçlerin yaşla birlikte canlı ağırlıkları arttıkça, hareketliliklerinde bir azalma görülebilmektedir. Yapılan çalışmalarda, yürüyüş skorunun etlik piliçlerde hareketliliği ve yürüme yeteneğini ortaya koyan iyi bir belirleyici olduğu belirtilmiştir. Bu skorun yanısıra, tavuklardaki kanat hareketliliğindeki azalmanın da kas dokusunda görülen bozulma ve lezyonlarla ilişkili olabileceğini bildiren çalışmalar bulunmaktadır. Bunlar, OGE sendromunun göğüs bölgesinde artan hassasiyete ve acıya sebep olabileceğine dair şüpheleri arttırmaktadır (Papah ve ark., 2017; Baltic ve ark., 2019).

Oksidatif stres: Hızlı büyüyen etlik piliçlerde dolaşım yetersizlikleri görülebildiği ortaya konmuştur (Griffin ve ark., 2018). Dolaşım yetersizliği yaşayan hayvanlarda, kandaki oksijen seviyesinin düşüklüğüne bağlı olarak, dokularda oksidatif stres görülebildiği ve kastaki kan akışının zayıflaması ve oksijen erişiminin azalmasına bağlı olarak doku hasarı oluşabileceği bildirilmiştir. Buna ilave olarak, hücreleri serbest radikaller, peroksidler ve ağır metallerin toksik etkilerinden koruyan glutatyon (GSH) antioksidanının miktarının da azaldığı saptanmıştır. Yapılan bazı çalışmalar OGE sendromunun, hipoksi ve oksidatif stres ile ilişkili metabolik bir bozukluğun sonucu olduğunu düşündürmektedir (Abasht ve ark., 2016; Kuttappan ve ark., 2016; Huang ve Ahn, 2018).



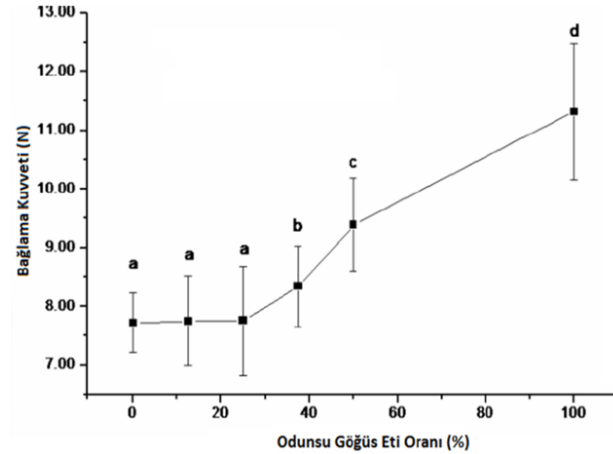
Grafik 1. Cinsiyetin, OGE sendromu üzerine etkisi (Tekeli ve ark., 2016)

Graphic 1. The effect of gender on OGE syndrome (Tekeli et al. 2016)



Grafik 2. Sosisin kesme kuvvetinin (N/g), eklenen OGE oranına (%) göre değişimi (Qin, 2013)

Graph 2. The change of the shear force of the sausage according to the OGE addition ratios (%)



Grafik 3. Sosisin bağlama kuvveti değerinin, eklenen OGE oranına göre değişimi (Qin, 2013)

Graph 3. The change of the binding strength of the sausage according to OGE addition ratios (%)

Göğüs Eti Kalitesi Üzerine Etkisi

Odunsu göğüs eti sendromu; görsel, işlevsel, mekanik, duyuşsal ve teknolojik özellikleri bakımından tüketiciler tarafından kabul edilemez anormalliklere sahip olduğundan kanatlı endüstrisini büyük ekonomik kayıplara uğratmıştır. Böylelikle etlik piliç endüstrisi; ette sınıflandırma, düşük et kalitesi, verim azalması (kırpma-

damlama kaybı, pişirme kaybı vb.), değer kaybı gibi olumsuz durumlarla karşı karşıya kalmıştır (Zambonelli ve ark., 2017; Soglia ve ark., 2019). Bununla beraber OGE miyopatisine sahip filetoların mikrobiyal raf ömrü ile ilgili yayımlanmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır (Huang ve Ahn, 2018).

Odunsu göğüs eti miyopatisi görülen etlik piliçlerde, kesim sonrası protein dejenerasyonuna bağlı olarak protein içeriği azalmakta ve hızlı pH artışı meydana gelmektedir. Protein işlevselliğindeki bozulma; etin işleme verimini ve kalitesini azaltmakta, böylece ürün değerini düşürmektedir (Clark ve Velleman, 2017). Ayrıca, etlik piliç göğüs filetolarında artan yağ birikimi (hidrofobik alan) dolayısıyla; etin suyu bağlama yeteneğini azaltmakta ve etin su tutma kapasitesi bozulmaktadır (Soglia ve ark., 2016; Velleman, 2020; Zampiga ve ark., 2020). Bunun yanı sıra göğüs filetolarında artan yağ birikimi, tüketicilere sağlıksız et izlenimi vermekte ve tercih edilmemesine sebep olmaktadır. Aynı zamanda OGE sendromu görülen filetolarda protein işlevselliği azaldığından, et dondurularak depolama sırasında da daha fazla damlama kaybı ve daha fazla pişirme kaybı sergilemektedir (Kuttappan ve ark., 2016; Baltic ve ark., 2019). Kolajendeki aminoasitlerin, sindirilebilirliği ve kalitesi düşüktür. Normal filetolara kıyasla OGE miyopatisine sahip filetoların suyu bağlama gücü daha düşük, kesme kuvveti ise daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, daha düşük a^* (kırmızılık) ve b^* (sarılık) renk değerleri ile daha yüksek L^* (parlaklık) değerine sahip olduğu görülmüştür (Huang ve Ahn, 2018).

OGE ve BÇ miyopatilerine sahip etlerin lipit, kolajen düzeylerinin yüksek ve protein düzeylerinin ise düşük olduğu saptanmıştır (Tekeli ve ark., 2016; Cauble ve ark., 2020). OGE sendromu görülen hayvanların göğüs etinde, yağ asitleri profili bakımından bir dengesizlik görüldüğü belirtilmiştir. Buna göre, doymuş ve tekli doymamış yağ asitlerinin daha yüksek, çoklu doymamış yağ asitlerinin ve omega-3 ün ise daha düşük oranlarda bulunduğu saptanmıştır (Cauble ve ark., 2020).

Qin (2013), yapmış olduğu çalışmada, odunsu göğüs etini iki farklı ürünün (sisis ve nugget) yapımında farklı oranlarda (%0; %12,5; %25; %37,5; %50; %100) kullanmış ve su tutma kapasitesi, renk ve pH değerleri gibi kalite parametreleri üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmada, her iki ürünün üretiminde de odunsu göğüs eti katılma oranı arttıkça, elde edilen ürünün L^* (parlaklık) değerinin arttığı, a^* (kırmızılık), b^* (sarılık) ve pH değerlerinin ise azaldığı saptanmıştır ($P<0,05$). Yüzde 12,5 oranında OGE sendromlu et katılması dahi parlaklık, kırmızılık ve pH değerleri üzerinde istatistik olarak önemli farklılık oluşmasına yol açtığı görülmüştür. Buna ilaveten, sisin yapımında odunsu göğüs eti %37,5 oranına kadar eklendiğinde sisin kesme kuvvetinde sabit bir artış olduğu, %37,5 oranından yüksek değerlerde ise daha hızlı bir artış olduğu saptanmıştır (Qin, 2013; Grafik 2; $P<0,05$).

Grafik 3'te ise laboratuvar koşullarında üretilen sisin su bağlama kuvvetinin de odunsu göğüs eti katılmasıyla birlikte arttığı gösterilmiştir. Bununla birlikte %25 in altındaki oranlarda farklılık önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$; Qin, 2013).

Yapılan bir çok farklı çalışma ve analizler, OGE sendromuna sahip çığ filetoların yüksek bir sıkıştırma gücüne sahip olduğunu göstermiştir. Isıl işlemle sonra

(pişirme vb.) da benzer şekilde OGE sendromuna sahip filetoların normal filetolara göre daha sert, daha elastik ve çiğnemeye karşı daha dayanıklı olduğu saptanmıştır (Chatterjee ve ark., 2016; Aviagen, 2019; Baltic ve ark., 2019). Bazı çalışmalarda göğüs eti filetoları salamura işlemine tabii tutulmuş ve hem salamura edilmiş hem de salamura edilmemiş odunsu göğüs filetolarının normal filetolara göre daha fazla pişirme kaybına sahip olduğu gözlenmiştir (Mudalal ve ark., 2015; Tijare ve ark., 2016;). Ayrıca Chatterjee ve ark. (2016) salamura edilmiş odunsu göğüs filetolarının, daha yüksek kesme kuvveti değerine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Odunsu göğüs eti dokusunu iyileştirmek, filetolardaki sıkıştırma ve kesme kuvveti değerlerini düşürmek için, ete bıçakla yumuşatma işlemi uygulanabileceğine dair çalışmalar da yapılmıştır (Tasoniero ve ark., 2019). Bıçakla yumuşatma, sert eti yumuşatmak için kullanılan mekanik bir yöntem olup, etin taşıma bandından geçerken belirli aralıklarla yerleştirilmiş bir dizi bıçak ile delinmesi esasına dayanır. Böylelikle miyofibriler ağı ve bağ dokusu kesilerek etin doku özelliklerinin iyileştirilebileceği düşünülmektedir (Tasoniero ve ark., 2019). Ayrıca sektördeki işletmeler odunsu göğüs eti lezyonları gösteren etlerin işlenmiş-öğütülmüş ürünlere dahil edilmesi, sisin ve nuggetlara katılması, hayvan rasyonlarına eklenmesi vb. gibi işleme stratejileri üzerine araştırmalar yaparak, ekonomik kayıplarını en aza indirme yolları aramaktadırlar (Mudalal ve ark., 2015; Tijare ve ark., 2016; Xing ve ark., 2020).

Sonuç ve Öneriler

Yapılan tüm çalışmalara rağmen odunsu göğüs etine sebep olan kas anormalliklerinin başlangıcını engelleyebilecek ya da oluşan semptomların et kalitesi üzerindeki olumsuz sonuçlarını yok edebilecek etkili çözümler halen bulunamamıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda OGE sendromundan etkilenen etlerin tüketimiyle ilgili sağlık açısından ne biyolojik ne de kimyasal herhangi bir patolojik tehlike belirlenmediğinden teknik olarak "insan gıdası olarak kullanılabilir" görüşüne varılmıştır. Ancak etteki görsel ve duyu anormallikler, etin tüketici tercihlerini olumsuz etkilediğinden, bu tür etler tüketime sunulmamakta ve sektörde ekonomik zararlara yol açmaktadır. OGE sendromunun oluşumunu ve sebep olduğu duyu ve etin işlenmesine yönelik olumsuz özellikleri giderebilmek için daha fazla bilimsel araştırma, yenilikçi çözümler, yeni bakım ve besleme stratejileri ele alınmalıdır.

Kaynaklar

- Abasht B, Mutryn MF, Michalek RD, Lee WR. 2016. Oxidative stress and metabolic perturbations in wooden breast disorder in chickens. PLoS ONE, 11(4): e0153750.
- Abasht B, Zhou N, Lee WR, Zhuo Z, Peripolli E. 2019. The metabolic characteristics of susceptibility to wooden breast disease in chickens with high feed efficiency. Poultry Science, 98: 3246-3256.
- Aviagen. 2019. Breast muscle myopathies (BMM). 0219-AVN-066, pp. 48. (http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Broiler_Breeder_Tech_Articles/English/Breast-Muscle-Myopathies-2019-EN.pdf; Erişim tarihi: 28.04.2021).

- Bailey RA, Souza E, Avendano S. 2020. Characterising the influence of genetics on breast muscle myopathies in broiler chickens. *Frontiers in Physiology*, 11: 1041.
- Baldi G, Soglia F, Petracci M. 2020. Current status of poultry meat abnormalities. *Meat and Muscle Biology*, 4(2): 1-7.
- Baldi G, Yen CN, Daughtry MR, Bodmer J, Bowker BC, Zhuang H, Petracci M, Gerrard DE. 2020. Exploring the factors contributing to the high ultimate pH of broiler pectoralis major muscles affected by wooden breast condition. *Frontiers in Physiology*, 11(Article 343): 1-13.
- Baltic M, Rajcic A, Laudanovic M, Nestic S, Baltic T, Ciric J, Brankovic Lazic I. 2019. Wooden breast – a novel myopathy recognized in broiler chickens. The 60th International Meat Industry Conference MEATcon2019. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 333: 2-7.
- Bodle BC, Alvarado C, Shirley RB, Mercier Y, Lee JT. 2018. Evaluation of different dietary alterations in their ability to mitigate the incidence and severity of woody breast and white striping in commercial male broilers. *Poultry Science*, 97: 3298-3310.
- Bowker B, Zhuang H, Yoon SC, Tasoniero G, Lawrence K. 2019. Relationships between attributes of woody breast and white striping myopathies in commercially processed broiler breast meat. *Poultry Science*, 28: 490-496.
- Cable RN, Greene ES, Orłowski S, Walk C, Bedford M, Apple J, Kidd MT, Dridi S. 2020. Dietary phytase reduces broiler woody breast severity via potential modulation of breast muscle fatty acid profiles. *Poultry Science*, 99: 4009-4015.
- Chatterjee D, Zhuang H, Bowker BC, Rincon AM, Sanchez-Brambila G. 2016. Instrumental texture characteristics of broiler pectoralis major with the wooden breast condition. *Poultry Science*, 95: 2449-2454.
- Clark DL, Velleman SG. 2017. Spatial influence on breast muscle morphological structure, myofiber size, and gene expression associated with the wooden breast myopathy in broilers. *Poultry Science*, 95: 2930-2945.
- Cruz RFA, Vieira SL, Kindlein L, Kipper M, Cemin HS, Rauber SM. 2017. Occurrence of white striping and wooden breast in broilers fed grower and finisher diets with increasing lysine levels. *Poultry Science*, 96: 501-510.
- De Brot S, Perez S, Shivaprasad HL, Baiker K, Polledo L, Clark M, Grau-Roma L. 2016. Wooden breast lesions in broiler chickens in the United Kingdom. *Veterinary Record*, 178(6): 141, <https://doi.org/10.1136/vr.103561>. (https://nottingham-repository.worktribe.com/preview/776933/de%20Brot%20and%20others_2015.pdf; Erişim tarihi: 28.04.2021).
- Griffin JR, Moraes L, Wick M, Lilburn MS. 2018. Onset of white striping and progression into wooden breast as defined by myopathic changes underlying pectoralis major growth. Estimation of growth parameters as predictors for stage of myopathy progression. *Avian Pathology*, 47(1): 2-13.
- Hosotani M, Kawasaki T, Hasegawa Y, Wakasa Y, Hoshino M, Takahashi N, Ueda H, Takaya T, Iwasaki T, Watanabe T. 2020. Physiological and pathological mitochondrial clearance is related to pectoralis major muscle pathogenesis in broilers with wooden breast syndrome. *Frontiers in Physiology*, 11(Article 579): 1-12.
- Huang X, Ahn DU. 2018. The incidence of muscle abnormalities in broiler breast meat. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38(5): 835-850.
- Kuttappan VA, Bottje W, Rammathan R, Hartson SD, Coon CN, Kong BW, Owens CM, Vazquez-Anon M, Hargis BM. 2017a. Proteomic analysis reveals changes in carbohydrate and protein metabolism associated with broiler breast myopathy. *Poultry Science*, 96: 2992-2999.
- Kuttappan VA, Hargis BM, Owens CM. 2016. White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry. *Poultry Science*, 95: 2724-2733.
- Kuttappan VA, Owens CM, Coon C, Hargis BM, Vazquez-Anon M. 2017b. Incidence of broiler breast myopathies at 2 different ages and its impact on selected raw meat quality parameters. *Poultry Science*, 96: 3005-3009.
- Livingston ML, Landon CD, Barnes HJ, Brake J, Livingston KA. 2019. Dietary potassium and available phosphorous on broiler growth performance, carcass characteristics, and wooden breast. *Poultry Science*, 98: 2813-2822.
- Maharjan P, Hilton K, Weil J, Suesuttajit N, Beitia A, Owens CM, Coon C. 2020. Characterizing woody breast myopathy in a meat broiler line by heat production, microbiota, and plasma metabolites. *Frontiers in Veterinary Science*, 6: 497.
- Mudalal S, Lorenzi M, Soglia F, Cavani C, Petracci M. 2015. Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. *Animal*, 9(4): 728-734.
- Mutryn MF, Brannick EM, Fu W, Lee WR, Abasht B. 2015. Characterization of a novel chicken muscle disorder through differential gene expression and pathway analysis using RNA – sequencing. *BioMed Central (BMC) Genomics*, 16: 399.
- Papah MB, Brannick EM, Schmidt CJ, Abasht B. 2017. Evidence and role of phlebitis and lipid infiltration in the onset and pathogenesis of wooden breast disease in modern broiler chickens. *Avian Pathology*, 46(6): 623-643.
- Qin N. 2013. The utilization of poultry breast muscle of different quality classes. University of Helsinki, Department of Food and Environmental Sciences. Master of Thesis, pp. 72, Finland.
- Radaelli G, Piccirillo A, Birolo M, Bertotto D, Gratta F, Ballarin C, Vascellari M, Xiccato G, Trocino A. 2017. Effect of age on the occurrence of muscle fiber degeneration associated with myopathies in broiler chickens submitted to feed restriction. *Poultry Science*, 96: 309-319.
- Sihvo HK, Immonen K, Puolanne E. 2014. Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers. *Veterinary Pathology*, 51(3): 619-623.
- Sihvo HK, Linden J, Airas N, Immonen K, Valaja J, Puolanne, E. 2017. Wooden breast myodegeneration of pectoralis major muscle over the growth period in broilers. *Veterinary Pathology*, 54(1):119-128.
- Sihvo HK. 2019. Pathology of wooden breast myopathy in broiler chickens. University of Helsinki Faculty of Veterinary Medicine. Finland.
- Soglia F, Gao J, Mazzoni M, Puolanne E, Cavani C, Petracci M, Erbjerg P. 2017. Superficial and deep changes of histology, texture and particle size distribution in broiler wooden breast muscle during refrigerated storage. *Poultry Science*, 96: 3465-3472.
- Soglia F, Mazzoni M, Petracci M. 2019. Spotlight on avian pathology: current growth – related breast meat abnormalities in broilers. *Avian Pathology*, 48(1): 1-3.
- Soglia F, Mudalal S, Babini E, Di Nunzio M, Mazzoni M, Sirri F. 2016. Histology, composition, and quality traits of chicken pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. *Poultry Science*, 95: 651-659.
- Tasoniero G, Bowker B, Stelzleni A, Zhuang H, Rigdon M, Thippareddi H. 2019. Use of blade tenderization to improve wooden breast meat texture. *Poultry Science*, 98: 4204-4211.
- Tekeli A, Özcan A, Kutlu HR. 2016. Etlik piliçlerde odunsu göğüs eti “wooden breast” sorunu. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 4(11): 962-967.
- Tijare VV, Yang FL, Kuttappan VA, Alvarado CZ, Coon CN, Owens CM. 2016. Meat quality of broiler breast fillets with white striping and woody breast muscle myopathies. *Poultry Science*, 95: 2167-2173.
- Trocino A, Piccirillo A, Radaelli G, Bertotto D, Filiou E, Petracci M, Xiccato G. 2015. Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens. *Poultry Science*, 94: 2996-3004.

- Velleman SG. 2020. Pectoralis major (breast) muscle extracellular matrix fibrillar collagen modifications associated with the wooden breast fibrotic myopathy in broilers. *Frontiers in Physiology*, 11: 461.
- Vieira SL, Simões CT, Kindlein L, Ferreira TZ, Soster P, Stefanello C. 2021. Progressive in vivo detection of wooden breast in broilers as affected by dietary energy and protein. *Poultry Science*, 100: 101120.
- Xing T, Zhao X, Zhang L, Li JL, Zhou GH, Xu XL, Gao F. 2020. Characteristics and incidence of broiler chicken wooden breast meat under commercial conditions in China. *Poultry Science*, 99: 620-628.
- Zambonelli P, Zappaterra M, Soglia F, Petracci M, Sirri F, Cavani C, Davoli R. 2017. Detection of differentially expressed genes in broiler pectoralis major muscle affected by white striping – wooden breast myopathies. *Poultry Science*, 95: 2771-2785.
- Zampiga M, Soglia F, Baldi G, Petracci M, Strasburg GM, Sirri F. 2020. Muscle abnormalities and meat quality consequences in modern turkey hybrids. *Frontiers in Physiology*, 11: 554.
- Zhang X, To KV, Jarvis TR, Campbell YL, Hendrix JD, Suman SP, Li S, Antonelo DS, Zhai W, Chen J, Zhu H, Schilling MW. 2021. Broiler genetics influences proteome profiles of normal and woody breast muscle. *Poultry Science*, 100: 100994.
- Zotte AD, Tasoniero G, Puolanne E, Remignon H, Cecchinato M, Catelli E, Cullere M. 2017. Effect of “wooden breast” appearance on poultry meat quality, histological traits, and lesions characterization. *Czech J. Anim. Sci.*, 62(2): 51-57.