



Effect of Monochromatic LED Lighting on Performance, Breast Meat Quality, Characteristics of Tibia Bone and Level of Immunoglobulin G of Broiler Chickens[#]

Tolga Bingöl^{1,a}, Mustafa Akşit^{1,b,*}

¹Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Agriculture, 09070 Aydın, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>[#]This study belongs to the master's thesis prepared by Tolga Bingöl</p> <p>Research Article</p> <p>Received : 01/02/2022 Accepted : 17/05/2022</p> <p>Keywords: Broiler LED light Tibia Breast meat IgG</p>	<p>This study is conducted to improve growth performance, breast meat characteristics, welfare, and immunity level of broiler chickens by using a combination of monochromatic LED light in the early and later periods of the rearing. A total of 576 one-day old mixed sexes broiler chickens (ROSS 308) were randomly assigned to one of 4 treatments: 1) White fluorescent light (Control, WF), 2) Green LED light (G), 3) Blue LED light (B) and 4) Green-Blue LED combination light (G-B) (green light for first 3 weeks, switching to blue light for remaining 3 weeks). Body weights (BW), body weights gain (BWG), feed intake (FI), feed conversion ratio (FCR) and mortality rates were determined. In addition, on d 39, gait score and at 21 and 40 d of age, tonic immobility (TI) duration and at 28 and 40 d for immunoglobulin G (IgG) in serum and at d 42 of age, pectoral muscle quality and tibia bone characteristics were determined. The results showed that birds under Y-M had significantly higher CA in the first 21 days than these of BF and M and in the last 3 weeks than the broilers in the BF and G. At the end of the experiment, it was revealed that the B and G-B groups consumed more feed than the other groups. FCR, mortality rates and TI duration in broilers were not affected by light treatments. Light affected the gait score which is a welfare indicator in broilers was affected and G group had the worst gait score. Light affected values of pH₂₄, b* and water-holding capacity in the breast muscle and the lowest pH₂₄ value appeared in G-B group. On 40th day of the trial, although the IgG levels in all the treatment groups decreased according to the 28th day, the IgG level of G-B group was found higher than the other groups. In conclusion, the present study shows that in chickens, the monochromatic G-B combination had a positive effect on the growing and especially the high level of IgG determined in the blood serum showed that it can be effective in development of a strong immunity.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(5): 871-878, 2022

Monokromatik LED Aydınlatmanın Etlik Piliçlerin Performansı, Göğüs Eti Kalitesi, Tibia Kemliği Özellikleri ve İmmunoglobulin G Düzeyine Etkisi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p>Araştırma Makalesi</p> <p>Geliş : 01/02/2022 Kabul : 17/05/2022</p> <p>Anahtar Kelimeler: Etlik piliç LED ışık Tibia Göğüs eti IgG</p>	<p>Bu çalışma yetiştiricinin erken ve sonraki dönemlerinde monokromatik LED ışık kombinasyonu kullanarak etlik piliçlerin büyüme performansını, göğüs eti özelliklerini, refahını ve bağışıklık düzeyini iyileştirmek amacıyla yürütülmüştür. Toplam 576 adet, günlük, karışık cinsiyette etlik civciv (ROSS 308) 4 uygulama grubuna rastgele dağıtılmıştır: 1) Beyaz floresan ışığı (Kontrol, BF), 2) Yeşil LED ışık (Y), 3) Mavi LED ışık (M) ve 4) Yeşil-Mavi LED ışık kombinasyonu (Y-M) (ilk 3 hafta yeşil, kalan 3 hafta mavi ışığa geçiş). Canlı ağırlık (CA), canlı ağırlık artışı (CAA), yem tüketimi (YT), yemden yararlanma (YYO) ve ölüm oranları (ÖO) belirlenmiştir. Ayrıca, 39. günde yürüme skoru, 21. ve 40. günlerde hareketsiz kalma (TI) süresi, 28. ve 40. günlerde serumda immunoglobulin G (IgG) düzeyi, deneme sonunda göğüs eti ve tibia kemliği özellikleri saptanmıştır. Sonuçlar, Y-M altındaki kanatlıların, ilk 21 günde BF ve M'dekilerden, son 3 haftada ise BF ve Y'deki piliçlerden önemli düzeyde daha yüksek CA sahip olduklarını göstermiştir. Deneme sonunda, M ve Y-M gruplarının diğer gruplardan daha fazla yem tükettiği ortaya çıkmıştır. Piliçlerin YYO, ÖO ve TI süresi ışık uygulamasından etkilenmemiştir. Işık etlik piliçlerde bir refah göstergesi olan yürüme skorunu etkilemiş ve Y grubu en kötü yürüme skoruna sahip olmuştur. Işık göğüs kasında pH₂₄, b* ve su tutma kapasitesini etkilemiş, en düşük pH₂₄ değeri Y-M grubunda görülmüştür. Denemenin 40. gününde, 28. güne göre tüm uygulama gruplarının IgG seviyeleri düşmüş olmasına rağmen Y-M grubunun IgG düzeyi diğer gruplardan daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak, bu çalışma, etlik piliçlerde monokromatik Y-M kombinasyonunun büyüme üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve özellikle kan serumunda belirlenen yüksek IgG seviyesinin güçlü bir bağışıklık gelişiminde etkili olabileceğini göstermiştir.</p>

^a tolga1292@gmail.com

^{id} <https://orcid.org/0000-0001-5835-8812>

^b maksit@adu.edu.tr

^{id} <https://orcid.org/0000-0002-8074-8208>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Işık, kanatlı hayvanları etkileyen önemli çevresel faktörler arasında yer almakta olup, ışığın süresi, şiddeti ve dalga boyu aydınlatmanın temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Etlik piliçlerde büyümeyi ve gelişmeyi etkileyebilecek davranışsal etkilere yol açan ışığın farklı dalga boyları retinayı farklı düzeylerde uyarma kapasitesine sahiptir (Lewis ve Morris, 2000). Kümeleri aydınlatmada önceleri akkor ve floresan ampuller yaygın kullanılırken son yıllarda tek dalga boyuna sahip farklı monokromatik ışık üretebilen LED ampullerin kullanımı artmıştır. Tek renk ışık üretebilen LED ampullerin kanatlılar üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalarda, mavi ve yeşil renkler büyüme ve gelişmeyi, kırmızı tüy çekme ve kanibalizm davranışlarını, turuncu-kırmızının üremeyi etkilediği bildirilmektedir (Rozenboim ve ark., 1999; 2004). Mavi (~450 nm) ve yeşil (~550 nm) ışığın etlik piliçlerin canlı ağırlığını artırdığı (Soliman ve El-Sabrou, 2020) ileri sürülmektedir. Işık rengi, kanatlıların davranışları, fizyolojisi ve immünolojisi üzerinde etkili olmaktadır (Xie ve ark., 2008). LED ampullerin kanatlılarda geleneksel aydınlatma sistemlerinden kaynaklanan stres, korku ve sağlık sorunlarını önleyebileceği ve davranışlar üzerindeki olumlu etkisine bağlı saldırganlığı azaltabileceği bildirilmiştir (Huth ve Archer, 2015). Yeşil ışığın beyaz ve mavi renge göre hareket etmeyi teşvik etmesi nedeniyle piliçlerin yürüme yeteneklerini ve refah düzeylerini iyileştirilebileceği ileri sürülmektedir (Helva ve ark., 2019). Hayvansal organizmaların bağışıklık sistemlerinde üretilen antikörlerin büyük çoğunluğunu IgG'ler oluşturmaktadır. Işık rengi ve aydınlatma süresi etlik piliçlerin bağışıklık sistemi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Blachford ve ark., 2009). Yeşil ve mavi ışığın, büyüme dönemindeki piliçlerde IgG düzeyini artırdığı bildirilmektedir (Hassan ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2014). Etlik piliçlerde büyüme döneminin son bölümünde kısa dalga boyuna sahip mavi ışığın kullanılmasının bağışıklığı ve büyüme performansını iyileştirebileceği ileri sürülmüştür (Seo ve ark., 2015). Etlik piliçlerin farklı monokromatik ışık renklerine verdiği tepkilerin anlaşılması büyüme, refah, et kalitesi ve bağışıklık açısından önemli olacaktır. Bu çalışma, kısa dalga boyuna sahip yeşil ve mavi monokromatik LED ışıkların tek tek ve kombine edilerek etlik piliçleri aydınlatmada kullanılmasının büyüme performansı, refah düzeyi ile ilgili korku tepkisi, yürüme skoru ve tibia kemiği özellikleri, göğüs eti kalitesi ve bağışıklıkla ilgili immunoglobulin G (IgG) düzeyine etkilerinin araştırılması amacıyla yürütülmüştür.

Materyal ve Yöntem

Bu araştırma Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu (ADÜ-HADYEK) 24.11.2016 tarih ve 2016/123 sayılı onayına istinaden, Aydın ADÜ Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliği Kanatlı Ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Toplam 576 adet günlük yaşta ♀ - ♂ karışık cinsiyette Ross 308 etlik civcivin kullanıldığı çalışma birbirinden bağımsız ışık sızdırmaz 4 farklı üniteye yürütülmüştür. Kanat numarası takılarak ağırlıkları belirlenen civcivler, rastgele dört gruba ayrılmış, 1. grupta beyaz floresan (BF, kontrol grubu), 2.

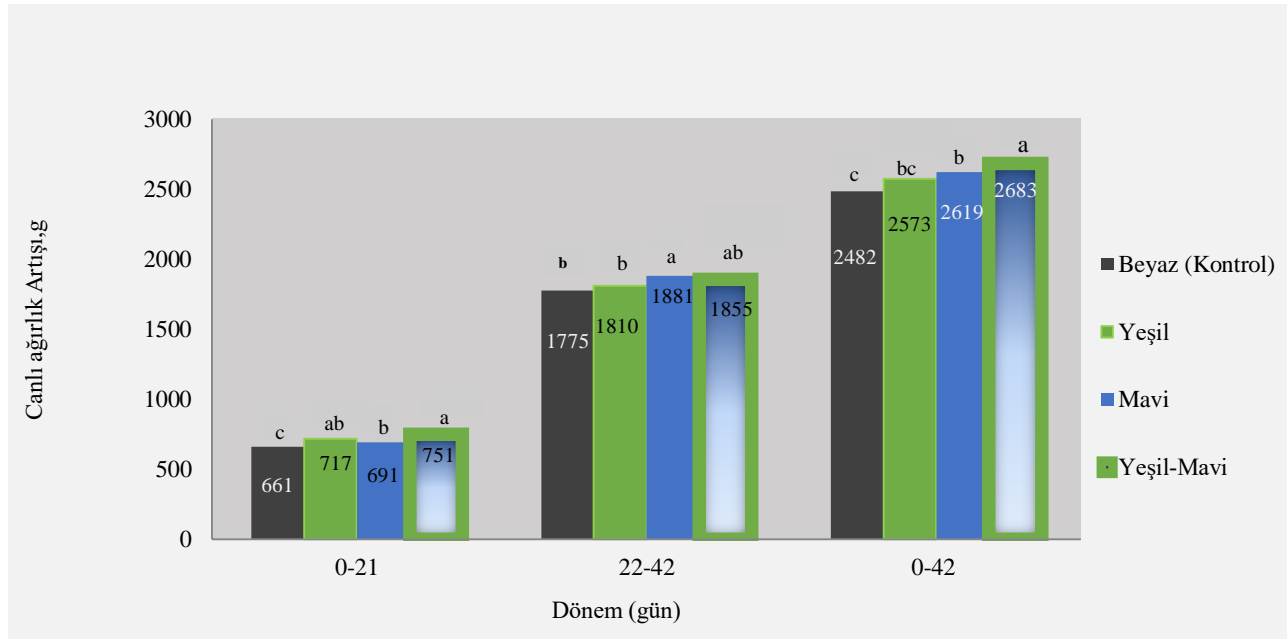
grupta yeşil LED (Y), 3. grupta mavi LED (M) ve 4. grupta, 0-21. günlerde yeşil LED, 22-42. günlerde mavi LED ışıkları kombine (Y-M) ederek aydınlatma yapılmıştır. Dört tekrürden oluşan deneme gruplarının her birinde 144 piliç (12 piliç/m²) yer almıştır. Aydınlatma şiddeti ilk hafta yerden 25 cm yükseklikte, daha sonraki haftalarda piliçlerin göz seviyesinde olacak şekilde ayarlanmıştır (Blatchford ve ark., 2009). LED ampullerin ürettiği ışığın dalga boyları ölçülerek belirlenmiştir (USB-4000 Spektrometre, Ocean Optics-USA). Deneme süresince standart büyüme sıcaklıklarında yetiştirilen kanatlılara ilk 7 gün 23A:1K aydınlatılma programı ve 20 lüks ışık şiddeti, kalan sürede 16A:8K programı ve 5 lüks ışık şiddeti uygulanmıştır. Yem ve su ad libitum olarak sağlanmış, 0-10. günlerde %23,0 HP, 3.050 Kcal/kg ME, 11-21. günlerde %22,0 HP, 3.100 Kcal/kg ME, 22-42. günlerde %20,0 HP ve 3.150 Kcal/kg ME içeren yemler verilmiştir. Piliçlerin canlı ağırlıkları (CA) bireysel, yem tüketimleri (YT) tekrür düzeyinde yapılan tartımlarla belirlenmiştir. CA, canlı ağırlık artışı (CAA), YT ve yemden yararlanma oranı (YYO: yem tüketimi/canlı ağırlık artışı) 0-21, 22-42 ve 0-42 günlük dönemler şeklinde verilmiştir. Ölümler günlük olarak tekrür düzeyinde belirlenmiş, 0-6 haftalık dönemde verilmiştir. Çalışmanın 39. gününde deneme gruplarında yer alan tüm piliçlerin yürüme skoru belirlenmiştir (Kestin ve ark., 1992). Piliçlerde korku ve refah düzeyini saptamak için denemenin 21. ve 40. günlerinde her gruptan rastgele belirlenen 20 piliç (10 ♀ ve 10 ♂) hareketsiz kalma testi (Tonik Immobilite, TI) yapılmıştır (Jones, 1986). Denemenin 42. gününde her gruptan 20 piliç (10 ♀:10 ♂) kesim işlemi uygulanmıştır. Et kalitesi ölçümleri için karkastan alınan sol göğüs etinde 15 dakika ve 24 saat sonra pH (Hanna HI 9124, Romania), yine aynı örneklerde 24 saat sonra renk ölçümü yapılmıştır (Minolta CM 508D, Japan). Kesilmiş piliçlerin sağ tibia kemikleri etlerinden ayrılıp, kemik uzunluğu (proksimalden distal uca) ve genişliği (orta kısımda) bir dijital kumpas (Mitutoyo Absolute Digimatic, Mitutoyo, UK) ile belirlenmiştir. Tibia kemikleri 60°C'de 24 saat etüvde kurutulduktan sonra 5 mm/dk hızda Zwick/ Roell Z 005 test cihazı kullanılarak Warner-Bratzler yöntemi ile kemik kırılma direnci ölçülmüştür. Tibia kemikleri 600°C'de 24 saat kül fırınında tutularak kül oranları belirlenmiştir. Göğüs eti örneklerinde çözdürme-pişirme kayıpları (Kondaiah ve ark.,1985), su kaybı (Northcutt, ve ark., 1994) ve Warner-Bratzler yöntemiyle sertlik düzeyinin belirlenmesinde Zwick/ Roell Z 005 test cihazı TestXpert Versiyon 3.4 programı kullanılarak 40 mm/dk bıçak iniş hızı ve % 80 kesi ile her örnek için 3 kez ölçüm yapılmış ve ortalama kuvvet (Newton, N) belirlenmiştir. Bağışıklık bileşeni olan IgG'nin saptanabilmesi için denemenin 28. ve 40. günlerinde her gruptan 10 (5 ♀ ve 5 ♂), toplam 80 piliçin kanat damarından (brachial vein) vakumlu tüplere kan örneği alınmıştır. Tüplere alınan kan örnekleri oda sıcaklığında 2 saat bekletildikten sonra soğutmalı santrifüj kullanılarak +4°C'de 8 dakika 4000 x devir/dakikada santrifüj edilmiş, elde edilen serumlar -80 °C'de dondurulmuş, özel bir laboratuvarında tavuk türüne ait test kitleri kullanılarak Elisa yöntemi ile IgG düzeyi belirlenmiştir (Hangzhou Eastbiopharm Co., China).

Deneme verileri, SPSS yazılımının Genel Doğrusal Modeli Multivariate prosedürü ile analiz edilmiştir (SPSS, 2011). Işık, cinsiyet ve ışık x cinsiyet interaksiyon etkileri sabit etki olarak yer almıştır. CA, YT ve YYO analizinde cinsiyet etkisi dikkate alınmamış, hareketsiz kalma süresi (TI), tibia kemiği ve göğüs eti özellikleri ve IgG düzeyine ait verilerin analizinde ise cinsiyet ve ışık x cinsiyet interaksiyon etkileri de dahil edilmiştir. Önemli bulunan ortalamalar arasındaki farklar Duncan testi ile belirlenmiştir. Parametrik olmayan yürüme skoru ve ölüm oranı verileri ki-kare yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Etlik piliçlerin Y, M ve BF altında ortaya koymuş oldukları CA, YT, YYO ve ölüm oranı (ÖÖ) ile ilgili performans değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Etlik piliçlerde büyütmenin erken döneminde (0-21 gün) Y’nin, geç döneminde (22-42 gün) M’nin CA üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiş, deneme sonunda (42. gün) ise Y-M grubundaki piliçlerin CA, BF ve Y gruplarındaki piliçlerden daha yüksek bulunmuştur ($P<0,05$). Bulgularımızdaki gibi, yeşil ve mavi ışığın etlik piliçlerde büyümeyi artırdığı, bu ışık renklerinin büyütmenin farklı dönemlerinde etkili olduğu, yeşil ışığın etlik civcivlerin ilk günlerinde iskelet kasında uydu hücre sayısındaki artışla ilişkili olarak (Halevy ve ark., 1998; Liu ve ark., 2010), mavi ışığın ise protein sentezini artıran plazma androjen seviyesinin yükselmesiyle piliç döneminde büyümeyi hızlandırıp, CA artırdığını bildirmişlerdir (Rozenboim ve ark. 1999). Cao ve ark. (2008) büyütme döneminin başında yeşil LED ışık altında etlik civcivlerin kas gelişiminin daha hızlı olması nedeniyle daha fazla canlı ağırlığa sahip olduklarını, piliç döneminde ise M LED ışığın canlı ağırlıklarını olumlu etkilediğini ileri sürmüşlerdir. Yine bulgularımızda olduğu gibi yetiştirme döneminde Y ve M LED ışık kombinasyonunun akkor ışığa göre piliçlerin canlı ağırlıklarını olumlu etkilediği bildirilmiştir

(Karakaya ve ark., 2009; Cao ve ark., 2012). Öte yandan, Bayraktar ve Altan (2005); Bayraktar ve ark. (2019) Y ve M monokromatik LED ışıkların piliçlerin 21. gün CA üzerindeki etkisinin benzer, kesim yaşı canlı ağırlığı üzerinde ise yeşil ışığın mavi ışığa göre daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Denemede belirtilen dönemlerde ışık uygulamalarına bağlı piliçlerin CAA, CA ile benzer bir eğilim göstermiş, en yüksek CAA, 22-42 günlük dönemde M, 0-21 ve 22-42 günlük dönemlerde Y-M ışık grubunda saptanmıştır (Şekil 1) ($P<0,05$). Işık uygulamasının piliçlerin yem tüketimleri üzerindeki etkisi önemli bulunmuş ($P<0,05$), 42 günlük yetiştirme döneminde Y-M grubundaki piliçlerin BF grubundan daha fazla yem tükettiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, YYO üzerine ışık renginin etkisinin önemli olmadığı görülmüştür ($P>0,05$) (Çizelge 1). Araştırma bulgularımıza benzer olarak 42 günlük dönemde akkor ışığa göre Y-M kombinasyonunun (Karakaya ve ark., 2009) ve beyaz LED ışığa göre M ve Y aydınlatmanın (Mohamed ve ark., 2017) etlik piliçlerin yem tüketimini artırdığı bildirilmiştir. Soliman ve El-Sabrou (2020) etlik piliçlerin M ve Y’de daha fazla yem tüketmiş olduklarını belirtmiş olmaları, özellikle Y-M grubunun daha fazla yem tüketmiş olmasıyla ilgili bulgularımızla uyumludur. Öte yandan, farklı olarak, Hassan ve ark. (2014); Bayraktar ve ark. (2019) etlik piliçlerin 42 günlük yem tüketimine ışık renginin önemli bir etkisinin olmadığını ileri sürmüşlerdir. Araştırma bulgularımızda olduğu gibi ışık renginin, piliçlerin yemden yararlanma (Rozenboim ve ark., 2004; Bayraktar ve Altan, 2005; Hassan ve ark. 2014) ve ölüm oranı (Rozenboim ve ark. 1999; Cao ve ark. 2008; Sharideh ve Zaghari, 2017; Bayraktar ve ark., 2019) üzerindeki etkilerinin önemli olmadığını bildirmişlerdir. Işık rengi piliçlerin yürüme skorunu etkilemiş ($P<0,05$), Y grubunda 1,75 (Çizelge 2; $P:0,001$) olan bu değer diğer ışık gruplarının yürüme skorlarından daha yüksek bulunmasına rağmen piliçlerde yürüme bozukluğuna yol açabilecek düzeye ulaşmamıştır.



Şekil 1. Monokromatik LED ve beyaz floresan ışığı altında yetiştirilen etlik piliçlerde canlı ağırlık artışı
Figure 1. Body weight gain in broilers reared under monochromatic LED and white fluorescent light

Çizelge 1. Monokromatik LED ve beyaz floresan ışığı altında yetiştirilen etlik piliçlerin canlı ağırlıkları (CA), yem tüketimi (YT), yemden yararlanma (YYO) ve ölüm oranları (ÖO)

Table 1. Body weights, feed intake, feed conversion ratio and mortality in broilers reared under monochromatic LED and white fluorescent light

Dönem (gün)	IŞIK				SH	P
	Floresan	LED				
	Beyaz (Kontrol)	Yeşil	Mavi	Yeşil-Mavi		
	CA (g)					
Başlangıç	46,4	46,5	46,8	46,6	0,23	0,645
0-21	707 ^c	763 ^{ab}	738 ^{bc}	798 ^a	11,57	<0,001
22-42	1821 ^b	1856 ^b	1928 ^a	1902 ^{ab}	20,80	0,019
0-42	2528 ^c	2619 ^{bc}	2666 ^{ab}	2700 ^a	26,48	0,001
	YT(g)					
0-21	926	982	968	1043	3,96	0,321
22-42	3524	3586	3686	3651	17,50	0,420
0-42	4450 ^c	4568 ^b	4654 ^a	4694 ^a	22,10	0,025
	YYO (g/g)					
0-21	1,40	1,37	1,40	1,39	0,016	0,095
22-42	1,99	1,98	1,96	1,97	0,013	0,271
0-42	1,79	1,78	1,78	1,76	0,007	0,065
ÖO (%) 0-42	3,79	3,03	4,55	4,55	0,076	0,602*

a-c: Aynı satırdaki gruplara ait ortalamaları için farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılıklar istatistik olarak önemlidir (P<0,05). SH: Ortalamaların Standart Hatası, *X²=7,33

Çizelge 2. Monokromatik LED ve beyaz floresan ışığı altında yetiştirilen etlik piliçlerin yürüme skoru ve hareketsiz kalma tepkisi

Table 2. Gait score and tonic immobility response in broilers reared under monochromatic LED and white fluorescent light

Özellik	IŞIK				SH	P
	Floresan	LED				
	Beyaz (Kontrol)	Yeşil	Mavi	Yeşil-Mavi		
	Yürüme Skoru					
39. gün	1,47 ^b	1,75 ^a	1,44 ^b	1,47 ^b	0,67	0,001 ¹
	Hareketsiz Kalma Tepkisi Süresi (sn.)					
21. gün	246	375	265	237	2,64	0,494
40. gün	313	326	285	332	63,62	0,850
	Uyarılma Sayısı (adet)					
21. gün	3,50	2,35	3,15	3,15	0,33	0,432
40. gün	3,20	3,11	3,25	2,64	0,33	0,191

¹X²değeri (52,32), SH: Ortalamaların Standart Hatası

Mc Geown ve ark. (1999) yürüme skoru 3 ve daha yüksek değerler aldığında piliçlerin bacaklarındaki ağrı ve acının artması nedeniyle yürüme bozukluğunun ortaya çıktığını bildirmişlerdir. Yürütülen çalışmalarda beyaz LED ve floresanla aydınlatmanın etlik piliçlerin yürüme skoru üzerindeki etkisinin önemli olmadığı (Huth ve Archer, 2015; Olanrewaju ve ark., 2016; Akşit ve ark., 2017), yeşil rengin beyaz ve maviye göre piliçleri hareket etmeye teşvik ederek yürüme becerilerini geliştirdiğinden refah düzeylerini de iyileştirebileceği (Helva ve ark., 2019) bildirilmiştir. Çalışmanın 21 ve 40. günlerinde saptanan piliçlerin hareketsiz kalma süresi ve uyarılma sayısı üzerine ışık uygulamasının etkisinin önemli olmadığı ortaya çıkmıştır (P>0,05), (Çizelge 2).

Benzer şekilde Akşit ve ark. (2017) beyaz LED ve floresanla, Helva ve ark. (2019) M, Y ve beyaz LED ışıklarla, Sultana ve ark. (2013a) Y, M ve beyaz floresanla aydınlatmanın etlik piliçlerin hareketsiz kalma sürelerini etkilemediğini bildirmişlerdir. Diğer taraftan M ve Y etlik piliçlerin hareketsiz kalma süresini kısalttığı (Mohamed ve ark., 2020), Archer, (2018) soğuk beyaz LED ışığın, sıcak beyaza göre etlik piliçlerde korku ve stresi azaltabileceğini, Sultana ve ark. (2013b) sarı, yeşil, mavi LED ve beyaz floresanla aydınlatılan ördeklerde 21. günde yeşil ve mavi,

42. günde ise mavi ışığın piliçlerde hareketsiz kalma süresini (TI) kısaltıp, korkuyu azaltabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Piliçlerin incelenen tibia kemik özellikleri üzerine ışık rengi ve cinsiyetin etkisi Çizelge 3'de yer almaktadır. Işık rengi tibia çapını, cinsiyet tibia çapı ve ağırlığını etkilemiştir (P<0,05). Tibia çapı en fazla Y-M grubunda, en düşük BF ve M gruplarında saptanmıştır (Çizelge 3). Piliçlerin tibia ağırlıkları erkeklerde 9,72, dişilerde 8,70 g olarak belirlenmiştir (P<0,05). Tibia kemiğinin dayanıklılığını gösteren kırılma direnci üzerine ışık renginin etkisi önemli bulunmamakla birlikte kırılma direnci en yüksek 230 N ile M grubunda, en düşük kırılma direnci ise Y grubunda 195 N olarak saptanmıştır (Çizelge 3). Etlik piliçlerde tibia kemiğinin kırılma direnci ile piliçlerin canlı ağırlıkları ve kemik mineral yoğunluğu arasında önemli bir ilişkinin bulunduğu belirtilmiştir (Frost ve Roland, 1991; Prayitno ve ark., 1997). Hassan ve ark., (2014) beyaz, Y ve M ışığın etlik piliçlerin tibia kemiğinin mineral yoğunluğu üzerindeki etkisinin önemli olmadığı sonucunu ortaya koymuştur. Tibia kemiğinin mineral yoğunluğu ile kırılma direnci arasındaki bu ilişki kırılma direnci ile ilgili bulgularımızla uyumludur.

Etlük piliçlerin göğüs eti özelliklerine ait değerler Çizelge 4'de verilmiştir. Işık uygulaması ve cinsiyetin piliçlerin göğüs eti özelliklerinden son pH₂₄ ve b* değerini etkilediği, ayrıca ışık renginin göğüs etinin su tutma kapasitesini de önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir (P<0,05) (Çizelge 4). Y-M grubunun en düşük pH₂₄ değerine sahip olduğu ve erkek piliçlerin pH₂₄ değerinin de dişilerden daha düşük olduğu görülmüştür (P<0,05). Piliçlerin göğüs eti pH'sını Ke ve ark. (2011) beyaz LED ışıkta, M ve Y LED ışığa göre daha yüksek bulurken, Karakaya ve ark. (2009) akkor ışıkta piliçlerin göğüs eti pH'sının Y-M LED ışık altındaki yetiştirilen piliçlerden daha hızlı düşüş gösterdiğini bildirmişlerdir. Hassan ve ark. (2014) beyaz floresan ve farklı renkli LED ışıklarla yürüttükleri iki farklı denemenin ilkinde göğüs eti pH'sının ışık uygulamasından etkilenmediğini, diğerinde ise beyaz floresanla yeşil LED arasında önemli bir fark bulunmadığını, ancak mavi ışık altında piliçlerin göğüs eti pH'sının daha yüksek olduğunu ileri sürmüşlerdir. Hassan ve ark. (2016) yeşil ışıkta, beyaz ve mavi ışığa göre piliç göğüs eti pH değerini daha düşük bulmuşlardır. Göğüs eti pH değeri kasın laktik asit içeriğine bağlı değişmekte olup,

pH değeri, etin su tutma kapasitesini ve pişirme kayıplarını da etkilemektedir. Çalışmada, göğüs eti pH'sı yüksek olan gruplarda etin su tutma kapasitesinin de yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4).

Ke ve ark. (2011) araştırma bulgularımızda olduğu gibi, beyaz ve yeşil ışığın göğüs etinin parlaklığı üzerindeki etkilerinin önemli olmadığını belirterek, bulgularımızdan farklı olarak mavi ışık altında yetiştirilen piliçlerin göğüs eti L* değerinin beyaz ve yeşil ışığa göre daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bulgularımızdan farklı olarak Karakaya ve ark. (2009) mavi ışıkta yetiştirilen etlik piliçlerin göğüs eti L* değerinin daha yüksek olduğunu ileri sürmüşlerdir. Araştırma sonuçlarımıza benzer şekilde Hassan ve ark. (2014 ve 2016) etlik piliçlerin göğüs etlerinin L* ve a* değerlerinin, Yang ve ark. (2016) L* değerinin Y, M ve BF ışık renginden etkilenmediğini bildirmişlerdir. Araştırma sonuçlarımız göğüs etinin b* değerinin Y grupta, BF grubuna göre daha yüksek olduğunu, LED aydınlatma grupları arasında ise önemli bir farkın bulunmadığını ortaya koymuştur.

Çizelge 3. Monokromatik LED ve beyaz floresan ışığı altında yetiştirilen etlik piliçlerde tibia kemik özellikleri
Table 3. Tibia bone characteristics in broilers reared under monochromatic LED and white fluorescent light

Özellik	Ağırlık (g)	Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Kırılma Direnci (Newton)	Kül (%)
Işık					
Beyaz Floresan	8,78	10,39 ^b	107	197	60,57
Yeşil	9,54	10,75 ^{ab}	108	195	60,82
Mavi	9,29	10,44 ^b	107	230	64,84
Yeşil-Mavi	9,23	11,23 ^a	108	212	62,34
SH	0,30	0,21	0,95	12,45	2,46
Cinsiyet					
Erkek	9,72 ^a	11,11 ^a	108	208	61,35
Dişi	8,70 ^b	10,32 ^b	108	209	62,93
SH	0,21	0,15	0,67	8,81	1,74
Önemlilik (P)					
Işık (I)	0,38	0,02	0,81	0,18	0,62
Cinsiyet (C)	0,01	0,01	0,89	0,95	0,53
I × C	0,43	0,48	0,90	0,40	0,35

a-b: Aynı sütündeki gruplara ait tibia kemik ortalamaları için farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0,05). SH: Ortalamaların Standart Hatası

Çizelge 4. Monokromatik LED ve beyaz floresan ışığı altında yetiştirilen etlik piliçlerde göğüs eti kalite özellikleri
Table 4. Breast meat quality traits in broilers reared under monochromatic LED and white fluorescent light

Özellik	pH ₁₅	pH ₂₄	L*	a*	b*	SK (%)	ÇK (%)	PK (%)	Kesme kuvveti (N)
Işık									
Beyaz Floresan	6,81	5,61 ^{ab}	52,57	6,80	17,13 ^b	2,52 ^b	11,30	14,39	265,23
Yeşil	6,78	5,66 ^a	54,07	7,29	18,41 ^a	3,43 ^a	10,37	12,61	236,96
Mavi	6,70	5,63 ^{ab}	54,00	7,28	18,28 ^{ab}	3,40 ^a	11,20	14,13	222,89
Yeşil-Mavi	6,82	5,59 ^b	52,48	6,66	17,26 ^{ab}	2,39 ^b	10,15	14,39	254,61
SH	0,04	0,02	0,94	0,22	0,40	0,27	0,83	1,36	12,78
Cinsiyet									
Erkek	6,77	5,62 ^b	54,08	6,79	17,05	3,07	11,75	13,97	249,08
Dişi	6,79	5,64 ^a	52,52	7,27	18,56	2,86	9,73	13,79	242,86
SH	0,03	0,01	0,67	0,16	0,28	0,20	0,59	0,95	8,92
Önemlilik (P)									
Işık (I)	0,12	0,02	0,45	0,10	0,04	0,01	0,71	0,75	0,14
Cinsiyet (C)	0,56	0,01	0,26	0,08	0,01	0,33	0,20	0,89	0,82
I x C	0,62	0,40	0,33	0,13	0,96	0,53	0,32	0,49	0,76

a-b: Aynı sütündeki gruplara ait göğüs eti kalite özellikleri değerlerinin ortalamaları için farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0,05). SH: Ortalamaların Standart Hatası, SK: Su kaybı, ÇK: Çözdürme kaybı, PK: Pişirme kaybı, N: Newton

Çizelge 5. Monokromatik LED ve beyaz floresan ışığı altında yetiştirilen etlik piliçlerde kan serumu immunoglobulin G (IgG) düzeyleri

Table 5. Blood serum immunoglobulin G (IgG) levels in broilers reared under monochromatic LED and white fluorescent light

Gün	İmmunoglobulin G (IgG, µg/ml)										
	Işık (I)					Cinsiyet (C)			Önemlilik (p)		
	Beyaz Floresan	Yeşil	Mavi	Yeşil-Mavi	SH	Erkek	Dişi	SH	I	C	I × C
28	54,17 ^b	80,12 ^a	85,42 ^a	88,97 ^a	6,32	76,89	77,45	4,52	0,02	0,93	0,11
40	19,01 ^b	29,71 ^b	23,31 ^b	54,98 ^a	7,65	34,50	29,01	5,41	0,01	0,48	0,67

a-b: Aynı satırdaki gruplara ait IgG ortalamaları için farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0,05). SH: Ortalamaların Standart Hata

Yang ve ark. (2016) M, Y ve BF, Hassan ve ark. (2014) Y, M ve Y-M ışık uygulamalarının göğüs etinin b^* değeri üzerindeki etkisinin önemli olmadığı yönünde ortaya koymuş oldukları sonuçlarla araştırma bulgularımız uyumlu bulunmuştur. pH'sı yüksek olan piliç etlerinin daha kırmızı ve daha sarımtırak olduğu şeklinde bir sonuç ortaya koyan Qiao ve ark. (2002)'nin bildirdiği gibi, bulgularımızda da M ve Y gruplarında etin pH'sının, a^* ve b^* değerlerinin diğer gruplara göre de yüksek olduğu görülmektedir. Işık rengi göğüs etinin su kaybını etkilemiş, Y-M ve BF gruplarıyla M ve Y grupları arasındaki su kaybı önemli bulunmuştur (P<0,05) (Çizelge 4). Denemede LED ışıkla yapılan aydınlatmada Y-M grubunda su kaybı % 2,39 ile en düşük değere sahip olmuştur. Ke ve ark. (2011) M ve Y ayrı ayrı, Karakaya ve ark. (2009) bulgularımızda olduğu gibi Y-M kombinasyonunun göğüs etinin su tutma kapasitesini önemli ölçüde artırdığını ileri sürmüşlerdir. Araştırma sonuçları, göğüs etindeki çözdürme ve pişirme kayıpları üzerine ışık, cinsiyet ve I×C etkilerinin önemli olmadığını ortaya koymaktadır (P>0,05) (Çizelge 4). Piliç göğüs etlerinin pişirme kayıpları ile etin su tutma kapasitesi arasında güçlü negatif bir korelasyonun bulunduğu bildirilmektedir (Karakaya ve ark. 2009). Bulgularımızdan farklı olarak, Y-M ışıkların dönüşümlü kullanılması akkor ışığa göre (Karakaya ve ark. 2009), mavi ışığın yeşil ve beyaz ışığa göre (Ke ve ark. 2011) piliçlerin göğüs etinde pişirme kayıplarını azalttığını ortaya koymuşlardır. Öte yandan, Hassan ve ark. (2014 ve 2016) sonuçlarımızdaki gibi, göğüs etinin pişirme kaybına ışık rengi etkisinin önemli olmadığını bildirmişlerdir. Etlik piliçlerde göğüs etinin kesilme kuvveti üzerine Işık, cinsiyet ve I×C etkilerinin önemli olmadığını belirlemiştir (P>0,05) (Çizelge 4). Ke ve ark. (2011) mavi ışığın, beyaz ışığa göre etin kesilme kuvvetini artırdığı yönünde ortaya koymuş oldukları araştırma sonucunun aksine, Hassan ve ark. (2014) mavi LED ışığın beyaz floresana göre etin kesilme kuvvetini azalttığını bildirmektedir. Öte yandan, Hassan ve ark. (2016) bulgularımıza benzer olarak ışık renginin etin kesilme kuvveti üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ortaya koymuşlardır.

Piliçlerin kan serum IgG düzeyi, ışık renginden (I) önemli ölçüde etkilenmiş (P<0,05) ancak, cinsiyet (C) ve I×C etkilerinin ise önemli olmadığı görülmüştür (P>0,05) (Çizelge 5). Denemenin 28. gününde M, Y ve Y-M LED aydınlatma gruplarının IgG düzeyleri arasında önemli bir fark bulunmazken (P>0,05), bu gruplar ile BF grubu arasındaki farklar önemli bulunmuştur (P<0,05). Denemenin 40. gününde M, Y ve BF gruplarının IgG düzeyleri arasında önemli bir farkın bulunmadığı (P>0,05),

bu gruplarla Y-M LED ışığın dönüşümlü kullanıldığı grubunun IgG düzeyleri arasındaki farkın önemli olduğu görülmüştür (P<0,05). Piliçlerin IgG düzeyi 28. ve 40. günlerde sırasıyla kontrol (BF) grubunda 54,17 ve 19,01 µg/ml ile en düşük seviyede iken Y-M dönüşümlü LED ışık grubunda 88,97 ve 54,98 µg/ml ile en yüksek düzeyde saptanmıştır. Etlik piliç yetiştiriciliğinde erken dönemde Y, yaşın ilerlediği dönemde ise M piliçlerde IgG seviyesini artırdığı (Hassan ve ark. 2014), ince bağırsağın mukozal mekanik ve immünolojik bariyerlerinin iyileştirilebileceği (Xie ve ark., 2011) ileri sürülmüştür. Lien ve ark. (2008) yeşil LED ışıkla aydınlatmanın piliçlerin antioksidan kapasitelerini artırdığını ve genç piliçlerde artan melatonin salgısıyla birlikte B-lenfosit oranının da arttığını belirtmişlerdir. Çalışmamızda farklı dalga boylarına sahip ışıklarla aydınlatılan piliçlerin kan serum IgG düzeyleri literatürde olduğu gibi büyütmenin erken döneminde (0-21gün) M, Y ve Y-M LED aydınlatma uygulanan gruplarda kontrol grubuna (BF) göre önemli düzeyde daha yüksek elde edilmiştir. Yetiştirme döneminin daha sonraki bölümünde (22-42 gün) Y-M grubunda yer alan piliçlerin kan serum IgG düzeyinin diğer aydınlatma gruplarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, Zhang, ve ark., (2014) tarafından ileri sürülen Y-M kombinasyonlarının etlik piliçlerde antikor seviyesini ve lenfosit sayısını artırdığını bu yüzden bu uygulamayla etlik piliçlerde bağışıklığın da artırılacağı öngörüsünü destekleyen bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, ışık renginin yanı sıra aydınlatma süresinin de etlik piliçlerin bağışıklık sistemi üzerinde olumlu etkiler ortaya koyduğu görülmüştür (Blachford ve ark. 2009).

Sonuç

Çalışmada kısa dalga boyuna sahip Y ve M LED ışıkların dönüşümlü kullanılması piliçlerin canlı ağırlıklarının olumlu etkilemiş ve daha fazla yem tüketmelerini sağlamıştır. Işık renginin yemden yararlanma oranı üzerindeki etkisinin önemli olmadığı görülmüştür. Refah göstergeleri arasında yer alan ölüm oranı, hareketsiz kalma süresi ve tibia kemiğine ait özellikler (tibia çapı dışında) ışık uygulamasından etkilenmemiş, ancak, Y piliçlerin yürüme skorunu olumsuz etkilemiştir. Işık gruplarında göğüs eti pH₂₄ değeri beklenen seviyeye düşmüş, en düşük pH₂₄ değeri Y-M grubunda ortaya çıkmıştır. Işık rengi göğüs etinin L^* ve a^* değerlerini etkilememekle birlikte, kontrol grubunda b^* değeri Y grubundan daha düşük bulunmuştur. Denemenin 28. gününde serumdaki IgG seviyesi Y, M ve Y-M LED ışık gruplarında BF grubuna göre önemli bir artış

göstermiştir. Denemenin 40. gününde tüm uygulama gruplarının IgG seviyelerinde bir düşmüş olmasına rağmen Y-M grubunun IgG düzeyi diğer uygulama gruplardan önemli düzeyde daha yüksek bulunmuştur. Bu yüksek IgG seviyesinin piliçlerin bağışıklığını olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir. Sonuç olarak, yetiştirme döneminde etlik piliçlerin aydınlatılmasında kısa dalga boyuna sahip Y ve M LED ışıkların kombine edilerek kullanılması piliçlerin büyüme performansını artırmış, refahları üzerinde olumsuz bir etkide bulunmazken, serum IgG seviyelerini bağışıklıklarını güçlendirebilecek düzeyde yükseltmiştir.

Teşekkür

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ZRF-17012 no.lu proje kapsamında yaptıkları destekten dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akşit M, Kaçamaklı Yardım Z, Yalçın S. 2017. Environmental enrichment influences on broiler performance and meat quality: Effect of light source and providing perches. *Eur. Poult. Sci.* 81. doi:10.1399/eps.2017.182.
- Archer GS. 2018. Color temperature of light-emitting diode lighting matters for optimum growth and welfare of broiler chickens. *Animal*, 12:5, 1015–1021. doi:10.1017/S1751731117002361.
- Bayraktar H, Altan A. 2005. Işık dalga boyunun etlik piliç performansına etkileri. *Hayvansal Üretim* 46 (2): 22-32.
- Bayraktar H, Açıkgoz Z, Altan Ö, Kırkpınar F. 2019. Monokromatik aydınlatmanın etlik piliç performansı, kesim özellikleri ve bazı kan parametreleri üzerine etkileri, *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 56 (1):129-133. doi:10.20289/zfdergi.414212.
- Blatchford R, Klasing K, Shivaprasad H, Wakenell P, Archer G, Mench J. 2009. The effect of light intensity on the behaviour, eye and leg health, and immune function of broiler chickens. *Poultry Science*, 88(1):20-28. doi:10.3382/ps.2008-00177
- Cao J, Liu W, Wang Z, Xie D, Jia L, Chen Y. 2008. Green and blue monochromatic lights promote growth and development of broilers via stimulating testosterone secretion and myofiber growth. *Journal of Applied Poultry Research*, 17: 211-218. doi:10.3382/japr.2007-00043.
- Cao J, Wang Z, Dong Y, Zhang Z, Li J, Li F, Chen Y. 2012. Effect of combinations of monochromatic lights on growth and productive performance of broilers. *Poultry Science*, 91: 3013-3018. doi:10.3382/ps.2012-02413.
- Frost TJ, Roland Sr. DA. 1991. Current methods used in determination and evaluation of tibia strength: a correlation study involving birds fed various levels of cholecalciferol. *Poultry Science*, 70:1640-1643. doi:10.3382/ps.0701640.
- Halevy O, Biran I, Rozenboim I. 1998. Various light source treatments affect body and skeletal muscle growth by affecting skeletal muscle satellite cell proliferation in broilers. *Comp. Physiol. Biochem.*, 120: 317-323. doi:10.1016/S1095-6433(98)10032-6.
- Hassan MR, Sultana S, Choe HS, Ryu KS. 2014. A comparison of monochromatic and mixed LED light color on performance, bone mineral density, meat and blood properties, and immunity of broiler chicks. *The Journal of Poultry Science*, 51, 195-201. doi:10.2141/jpsa.0130049.
- Hassan S, Sultana S, Kim H, Ryu KS. 2016. Effect of monochromatic and combined LED light colours on performance, blood characteristics, meat fatty acid composition and immunity of broiler chicks. *Eur. Poult. Sci.*, 80. ISSN 1612-9199. doi:10.1399/eps.2016.136.
- Helva IB, Aksit M, Yalçın S. 2019. Effects of monochromatic light on growth performance, welfare and hormone levels in broiler chickens. *European Poultry Science*, 83. doi:10.1399/eps.2019.273.
- Huth JC, Archer GS. 2015. Comparison of two LED light bulbs to a dimmable CFL and their effects on broiler chicken growth, stress, and fear. *Poult. Sci.*, 94: 2027–2036. doi:10.3382/ps/pev215.
- Jones RB. 1986. Responses of domestic chicks to novel food as a function of sex, strain and previous experience. *Behavioural Process*, 12: 261-271. doi:10.1016/0376-6357(86)90040-9.
- Karakaya M, Parlat SS, Yılmaz MT, Yıldırım I, Özalp B. 2009. Growth performance and quality properties of meat from broiler chickens reared under different monochromatic light sources. *British Poultry Science*, 50: 76-82. doi:10.1080/00071660802629571.
- Ke YY, Liu WJ, Wang ZX, Chen YX. 2011. Effects of monochromatic light on quality properties and antioxidation of meat in broilers. *Poultry Science*, 90: 2632-2637. doi:10.3382/ps.2011-01523.
- Kestin SC, Knowles TG, Tinch AF, Gregory NG. 1992. The prevalence of leg weakness in broiler chickens and its relationship with genotype. *Vet. Rec.* 131, 190-194. doi:10.1136/vr.131.9.190.
- Kondaiah N, Anjaneyulu A, Rao VK, Sharma N, Joshi H. 1985. Effect of salt and phosphate on the quality of buffalo and goat meats. *Meat Science* 15(3): 183–192. doi:10.1016/0309-1740(85)90036-1.
- Lewis PD, Morris TR. 2000. Poultry and coloured light. *World's Poultry Science Journal*. 56:189-207. doi:10.1079/WPS20000015.
- Lien RJ, Hess JB, McKee SR, Bilgili SF. 2008. Effect of light intensity on live performance and processing characteristics of broilers. *Poultry Science*, 87: 853-857. doi:10.3382/ps.2007-00277.
- Liu W, Wang Z, Chen Y. 2010. Effects of monochromatic light on developmental changes in satellite population of pectoral muscle in broilers during early posthatch. *Anat. Rec.* 293:1315–1324. doi: 0.1002/ar.21174.
- Mc Geown D, Danbury TC, Waterman-Pearson AE, Kestin SC. 1999. Effect of carprofen on lameness in broiler chickens. *Veterinary Record*, 144: 668–671. doi:10.1136/vr.144.24.668.
- Mohamed RA, Abou-Ismaïl UA, Shukry M. 2017. Effects of different monochromatic LED light colours on fear reactions and physiological responses in Mulard ducks. *Anim. Product. Sci.* 57(6):1128-1136. doi: 10.1071/AN15249.
- Mohamed R, Abou-Elnaga A, Ghazy E, Mohammed H, Shukry M, Farrag F, Mohammed G, Bahattab O. 2020. Effect of different monochromatic LED light colour and intensity on growth performance, physiological response and fear reactions in broiler chicken. *Italian Journal of Animal Science*, 19:1, 1099-1107. doi:10.1080/1828051X.2020.1821802.
- Northcutt JK, Foegeding EA, Edens FW. 1994. Water-holding properties of thermally preconditioned chicken breast and leg meat. *Poultry Science*, 73:308–316. doi:10.3382/ps.0730308
- Olanrewaju HA, Mille WW., Maslin WR, Collier SD, Purswell JL, Branton SL. 2016. Effects of light sources and intensity on broilers grown to heavy weights. Part 1: Growth performance, carcass characteristics, and welfare indices. *Poultry Science* 95:727–735. doi:10.3382/ps/pev360.
- Prayitno DS, Phillips CJC, Stokes DK. 1997. The effects of color and intensity of light on behaviour and leg disorders in broiler chickens. *Poultry Science*, 76: 1674-1681. doi:10.1093/ps/76.12.1674.
- Qiao M, Fletcher DL, Smith DP, Northcutt JK. 2002. Effects of raw broiler breast meat color variation on marination and cooked meat quality. *Poultry Science*, 81: 276-280. doi:10.1093/ps/81.2.276.

- Rozenboim I, Biran I, Uni Z, Robinzon B, Halevy O. 1999. The effect of monochromatic light on broiler growth and development. *Poultry Science*, 78: 135–138. doi:10.1093/ps/78.1.135.
- Rozenboim I, Biran I, Chaiseha Y, Yahav S, Rosennstrauch A, Sklan D, Halevy O. 2004. The effect of green and blue monochromatic light combination on broiler growth and development. *Poultry Science*, 83: 842–845. doi:10.1093/ps/83.5.842.
- Seo H-S, Kang M, Yoon R-H, Roh J-H, We IB, Ryu KS, Cha S-Y, Jang HK. 2015. Effects of various LED light colors on growth and immune response in broilers. *J. Poultry Sci.*, 53: 76–81. doi:10.2141/jpsa.0150046.
- Sharideh H, Zaghari M. 2017. Effect of light emitting diodes with different color temperatures on immune responses and growth performance of male broiler. *Annals of Animal Science*, 17:545–553. doi: 10.1515/aoas-2016-0073.
- Soliman FNK, El-Sabrou K, 2020. Light wavelengths/colors: Future prospects for broiler behavior and production. *Journal of Veterinary Behavior* 36:34-39. doi:10.1016/j.jveb.2019.10.014.
- SPSS, 2011: SPSS for Windows Release 19.0, SPSS Inc.
- Sultana S, Hassan MR, Choe HS, Ryu KS. 2013a. Effect of monochromatic and mix LED light colour and age on the behaviour and fear responses of broiler chicken. *Avian Biology Research*, 6: 207-214. doi: 10.3184/175815513X13739879772128.
- Sultana S, Hassan MR, Choe HS, Ryu KS. 2013b. Impact of different monochromatic LED light colours and bird age on the behavioural output and fear response in ducks. *Italian Journal of Animal Science*, 12:4, 572-579. doi:10.4081/ijas.2013.e94.
- Xie D, Wang ZX, Dong YL, Cao J, Wang JF, Chen JL, Chen YX. 2008. Effects of monochromatic light on immune response of broilers. *Poultry Science*, 87:1535-1539. doi: 10.3382/ps.2007-00317. doi: 10.3382/ps.2007-00317.
- Xie D, Li J, Wang ZX, Cao J, Li TT, Chen JL, Chen YX. 2011. Effects of monochromatic light on mucosal mechanical and immunological barriers in the small intestine of broilers. *Poultry Science*, 90: 2697-2704. doi:10.3382/ps.2011-01416.
- Yang Y, Jiang J, Wang Y, Liu K, Yu Y, Pan J, Ying, Y. 2016. Light-emitting diode spectral sensitivity relationship with growth, feed intake, meat, and manure characteristics in broilers. *Transaction of the ASABE*, 59, 1361–1370. doi: 10.13031/trans.59.11325.
- Zhang Z, Cao J, Wang Z, Dong Y, Chen Y. 2014. Effect of a combination of green and blue monochromatic light on broiler immune response. *J Photochem. Photobiol.*, 138, 118–123. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2014.05.014.