

Japon Bildircinlarında Kuluçkalık Yumurta Ağırlığı, Şekli, Hacmi ve Kabuk Yüzey Alanının Kuluçkanın Seyri ve Cıvıv Çıkış Ağırlığı Üzerine Etkileri

Hasan ÇAL¹, Sedat AKTAN^{*2}

Ziraat Fakültesi Dergisi,
Cilt 16, Sayı 1,
Sayfa 17-25, 2021

Journal of the Faculty of Agriculture
Volume 16, Issue 1,
Page 17-25, 2021

Özet: Bu çalışmada farklı yöntemlerle hesaplanan kabuk yüzey alanı (KYA) ve hacmi (YH) ile kuluçkanın seyri içinde yumurta ağırlığı (YA), kabuk sıcaklığı (KS), oransal nem kaybı (ONK) ve cıvıv çıkış ağırlığı (ÇA) arasındaki ilişkiler ve değişimler incelenmiştir. On haftalık yaştaki Japon bildircinlarından elde edilen toplam 565 kuluçkalık yumurta kullanılmıştır. KYA ve YH, önceki araştırmacıların geliştirdiği tahmin denklemleri ve sayısal görüntü analizi yazılımıyla hesaplanmıştır. Tahmin denklemleriyle elde edilen KYA ve YH değerlerinin tamamı, sayısal görüntü analiziyle elde edilenlerden istatistiki olarak önemli düzeyde farklı bulunmuştur ($P < 0,0001$). KS gelişme döneminin ilk yarısında makine sıcaklığından daha düşükken, ikinci yarısında daha yüksek olmuştur. Yumurtalar irileştikçe, KYA oransal olarak azalmış ve ONK de zorlaşmıştır. KYA ile KYA/YH oranı ve yine YH ile KYA/YH oranı arasında önemli düzeyde yüksek negatif korelasyonlar bulunmuştur ($P < 0,01$). ÇA ile KYA/YH arasında da önemli düzeyde yüksek negatif korelasyon belirlenmiştir ($P < 0,01$). Yani YA arttıkça, beklendiği üzere KYA, YH ve ÇA artmakta, ancak KYA/YH azalmaktadır. KYA ve YH arttıkça ONK azalmakta, ideal nem kaybının sağlanması güçleşmekte ve ısı dengenin korunmasında sorunlar yaşanabilmektedir. Bulgular dolaylı olarak, damızlık sürü ve kuluçka idaresi açısından üniformitenin önemine de işaret etmektedir. Tür içi ve türler arası yumurta şekil farklılıklarına bağlı olarak genelleştirilmiş KYA ve YH tahmin denklemlerinin kullanımı hatalı olabilmektedir. Çalışma kolaylığı ve doğruluk açısından görüntü analizinin tercih edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kabuk yüzey alanı, kuluçka, nem kaybı, yumurta ağırlığı, yumurta hacmi

The Effects of Egg Weight, Shape, Volume and Surface Area in The Course of Incubation and Emerged Chick Weight in Japanese Quails

Abstract: In this study, in the course of incubation, it was investigated that the relations and changes amongst the egg shell surface area (ESA), and the egg volume (EV) (both are calculated by different methods) with some traits such as egg weight (EW), egg shell temperature (EST), egg weight loss percentage (EWL), day-old chick weight (CW). A total of 565 hatching Japanese quail eggs from a ten weeks of aged flock were used. The ESA and EV were calculated by either the estimate equations which were developed by previous researchers, and the digital image analysis software tool. All of the estimated ESA and EV values, which were procured by equations, were found to be significantly different than the revealed ones by digital image analysis ($P < 0.0001$). While the EST was lower than setter temperature in the first half of the embryonic development period, it was found to be higher during the subsequent half. As the eggs got heavier, the ESA decreased proportionally and EWL became more difficult. Significantly high negative correlations were found between ESA and ESA:EV ratio, and again between YH and ESA:EV ($P < 0.01$). It was also determined that a significantly high negative correlation between CW and ESA:EV ratio ($P < 0.01$). That is, as expected, as EW increases, ESA, EV and CW are increasing, but ESA:EV ratio decreases. As ESA and EV increase, EWL decreases, it becomes difficult to achieve optimum water loss, and problems may occur to maintain thermal balance. Indirectly, these findings also denote the importance of the uniformity in terms of breeder flock and hatchery management. Depending on the egg shape differences within and between species, the use of generalized ESA and EV estimation equations may be erroneous. It was concluded that image analysis could be preferred in terms of ease of operation and accuracy.

Keywords: Eggshell surface area, incubation, water loss, egg weight, egg volume

*Sorumlu yazar (Corresponding author)
sedataktan@kku.edu.tr

Alınış (Received): 13/12/2020
Kabul (Accepted): 22/12/2020

¹Tarım ve Orman Bakanlığı Tavukçuluk
Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye
²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü
Isparta, Türkiye

1. Giriş

Sağlıklı bir embriyonik gelişim ve yüksek kuluçka performansı için yumurta ağırlığı, şekli, hacmi, yüzey alanı, kuluçka sıcaklığı ve nemi ile kabuk sıcaklığı vb. faktörler önemlidir (Akıncı ve ark., 1999; Çopur, 2004; Narushin, 2005).

Yumurthanın türe özgü fiziksel özelliklerine dair ortalama değerler embriyonik gelişim için gerekli koşulları büyük ölçüde sağlar (Narushin ve Romanov, 2002). Ortalama ağırlıktaki yumurtalarda daha iyi çıkış gücü elde edilir (Brah ve ark., 1999; Gonzalez ve ark., 1999). Kuluçkanın ilk yarısında embriyo ağırlığıyla yumurta ağırlığı arasında bir ilişki yokken (Wilson, 1991), bütün türlerde genel olarak iri yumurtalardan daha iri cıvıv çıkar (Shanawany 1987; Raju ve ark., 1997; Gualhanone ve ark., 2012). Farklı ağırlıktaki yumurtalarda besin maddeleri gereksinimlerini karşılamak üzere, enerji bağımlı *in ovo* mekanizmalar devreye girerek embriyonik gelişimi düzenler. İri yumurtalarda embriyoların karaciğer enzim aktivitesi daha yüksektir ve son dönem hızlı embriyonik gelişim için gerekli enerji bu şekilde sağlanabilir (Hu ve ark., 2013).

Çıkış gücü, hafif ve ağır tavuk yumurtalarında ortalama ağırlıktakilere oranla %3.9-10.7 düzeyinde daha düşük olur (Nordskog ve Hassan 1971; Shatokhina, 1975). Japon bildiricilerinde de benzer sonuçlar bulunmaktadır (Insko ve ark., 1971; Sharma ve Vohra, 1980; Senapati ve ark., 1996). Çıkış gücü değerlendirilirken, yumurta ağırlığı tek başına değil, kabuk yüzey alanına oranıyla birlikte kullanılmalıdır. Zira iri yumurtalar daha düşük oransal kabuk yüzeyine sahip olduklarından, normal gaz alışverişi gerçekleşemez (Romanoff ve Romanoff, 1949; Tsarenko, 1988). Sürü yaşı yumurta iriliğini etkileyen bir faktörse de, yaşla birlikte değişen bazı iç ve dış (özellikle kabuk) kalite özellikleri de kuluçka sonuçlarına etki ettiğinden, yumurta ağırlığıyla beraber değerlendirilmelidir (Raju ve ark., 1997; Nangsuay ve ark., 2013). Embriyonun toplam enerji ihtiyacının % 90'ı yumurta sarısı lipitlerinden, geriye kalanı ise protein ve karbonhidratlardan karşılanır. Yumurta besin madde içeriği dokulara dönüşürken, oksijene gereksinim duyulur, CO₂, metabolik su ve metabolik ısı ortaya çıkar (Etches, 1996; Nangsuay ve ark., 2013).

Kuluçka sıcaklığı, kuluçka verimliliğinde en kritik etken olup, makine sıcaklığındaki değişimler kuluçka randımanı ve cıvıv kalitesini etkiler (Çopur, 2004; Elibol, 2009). Poikilotermik olmalarına rağmen, embriyolar da gelişimleri sırasında ısı üretir ve özellikle kuluçkanın ikinci yarısında ısı üretimi artış gösterir (Decuypere ve ark., 1979; Nichelmann ve ark., 1998; Gualhanone ve ark., 2012). İdeal embriyo gelişimi için, yumurta iç sıcaklığı makine sıcaklığından daha önemli olup, tespiti zor olduğundan kabuk sıcaklığı ölçülür (Lourens, 2001; Joseph ve ark., 2006). Farklı kuluçka koşullarında olası gelişimsel ve fizyolojik değişikliklerin etkisi sadece embriyonik

gelişim süreciyle sınırlı kalmayıp, çıkış sonrası dönemde de devam eder. Zira sıcaklık yükseldiğinde kuluçka süresi de kısalmakta, yaklaşık 8 saat daha erken çıkan cıvıvler makinede daha uzun süre kaldıklarından dehidrasyon görülür ve yine erken çıkış nedeniyle besin maddelerinden yararlanım da olumsuz etkilenir ve gelişim geriler (Lourens ve ark., 2007; Molenaar ve ark., 2011).

Belirli bir ideal kuluçka sıcaklığı olmayıp, oransal nem düzeyine göre değişir. İdeal embriyonik gelişim ve çıkış için, yumurta su içeriğinin porlar vasıtasıyla belli bir oranda (% 11-13) buharlaşması gerekir. Kuluçkada oransal nem kaybı düzeyine bağlı olarak büyüme ve gelişme hızı ayarlanmakta ve koşullara adapte olamayan embriyolar ölmektedir. Aşırı nem kaybı embriyonun hızla kuruyarak normal gelişimini tamamlayamamasına veya normalden küçük çıkış ağırlığına; erken dönemde embriyonun kemik gelişimi için yumurta kabuğundan kalsiyum sağlama gücünün kaybedilmesine; yetersiz buharlaşma ise normalden büyük olmasına neden olur (Davis ve ark., 1988; Elibol, 2009; Van der pol ve ark., 2012).

Kuluçkanın ilk yarısında embriyonun ısı üretimi düşüken, sonrasında üstel olarak artmakta, aynı dönemde bağıl nem yüksek olduğunda ısı transferi daha kolay olmaktadır. Kuluçka boyunca yüksek bağıl nem uygulanırsa (azami çıkış gücü için gelişme döneminde yumurtaların asgari % 10 ağırlık kaybetmesi gerektiğinden) ideal nem kaybı sağlanamaz. Bu nedenle üniform kabuk sıcaklığı sağlanarak, ısı transferini kontrol altında tutacak bağıl nem düzeyi ile yumurtaların ağırlık kaybını etkileyen bağıl nem düzeyi arasında denge sağlanmalıdır (Van Roover-Reijrink, 2013).

İri yumurtalarda ısı üretimi daha fazla olur. İri ve küçük yumurtalar birlikte kuluçkaya konursa, yüksek ısı üretimine bağlı ortaya çıkan fazla ısının uzaklaştırılması iri yumurtalarda (oransal yüzey alanı da azaldığından) zorlaşır ve embriyo sıcaklıkları tehlikeli düzeyde yükselir. Kabuk ısı iletkenliği iri yumurtalarda daha fazla olduğundan, ısı alışverişi de fazla olur. İri yumurtaların bulunduğu makinelerde sıcaklığın bir miktar düşürülmesi önerilir (Hoyt, 1987; Sotherland ve ark., 1987; French, 1997; Meijerhof, 2002; Lourens ve ark., 2006; Gualhanone, 2012).

Isı transferinde bağıl nem de önemli olup, nemli hava kuru havaya oranla daha iyi ısı transferi sağlar (Van Roover-Reijrink, 2013). Bağıl nemin artışıyla son dönem embriyo ölümleri artar (Bruzuol ve ark., 2000; Şeker, 2003).

Embriyo sıcaklığı ısıl çevre, yumurtadan ortama veya ortamdan yumurtaya ısı iletimi, embriyo yaşına bağlı olarak değişen ısı üretimi ve makine içi havalandırma hızından etkilenir (Sotherland ve ark., 1987; French, 1997; Meijerhoff ve van Beek, 1993). Embriyolar aynı anda büyüme ve gelişmenin farklı fazlarında olabileceklerinden,

embriyoların tamamının gereksinimlerini aynı anda ve ideal düzeyde karşılamak zordur (Van Roovert-Reijrink, 2013).

Gelişme döneminin ilk yarısında, evaporatif ısı kaybı metabolik ısı üretiminden fazla olduğundan ortamdaki ısı alınır ve kabuk sıcaklığı makine sıcaklığından 0.1 °C daha düşük olurken, diğer yarısında ise metabolik ısı üretimi evaporatif ısı kaybından fazla olduğundan 1.3-1.5 °C daha yüksek olmakta, sonlara doğru azami değere ulaşmakta ve dalgalanmalar görülebilmektedir (Romijn ve Lokhorst, 1960; Sotherland ve ark., 1987; Lourens ve ark., 2005). Ortalama kabuk sıcaklığı 37.8 °C olup, makine içindeki yerleşim konumu ve embriyonik yaşa bağlı olarak sapma ve dalgalanmalar görülebilir. Özellikle büyük sapma ve dalgalanmalar çıkış gücü ve cıvıv kalitesini olumsuz etkiler (Lourens, 2001).

Kuluçka sıcaklığı arttığında metabolik hız da arttığından, düşük kabuk sıcaklığına sahip yumurtalarda embriyonun metabolik hızı da yavaşlar (Nichelmann ve ark., 1998).

Yüksek kabuk sıcaklıkları, oransal kalp ve akciğer ağırlıklarının olumsuz olarak etkiler ve hayat destek organlarında görülen bu olumsuzluklar vücut gelişimini de geriletir (Romanoff, 1960; Leksrisompong ve ark., 2007). Embriyonik gelişimin farklı aşamalarında bazı dokular yüksek sıcaklıklara daha duyarlı olabildiğinden, dönemlere göre organların hepsi yüksek kabuk sıcaklıklarından olumsuz etkilenmeyebilir (Decuypere ve Michels, 1992; Molenaar ve ark., 2011).

Yumurta kanalında gerçekleşen formasyon sürecinde maruz kalınan basıncın etkisiyle, yumurta elips formundan uzaklaşır. Şekil indeksi ovipozisyon sonrası sabit bir parametre olup, türe özgü normal şekle sahip yumurtalarda çıkış gücü daha başarılıdır (Tsarenko, 1988; Burtov ve ark., 1990; Narushin ve Romanov, 2002). Türe özgü yumurta şekli doğal bir varyasyon gösterebilir ve bu varyasyonların çözümlenmesi için matematiksel denklemler veya bazı modellerden sapmalara göre hazırlanan farklı indeks ya da formüller kullanılır (Romanoff ve Romanoff, 1949; Narushin, 1997a,b; Narushin, 2001; Narushin, 2005; Nedomová ve Buchar, 2014).

Yumurta genişlik ve uzunluğunun hacim tahmininde kullanımı Hoyt (1979)'un geliştirdiği formülle başlamıştır. Bu formül, tür içi şekil varyasyonuna bağlı olarak yetersiz kalmaktadır. Tür içi ve türler arası görülen şekilsel varyasyon, hacim veya yüzey alanı tahminlerinde kullanılan basit geometrik yaklaşımların genelleştirilebilmesini güçleştirir (Bridge ve ark., 2007; Boersma ve Rebstock 2010). Yumurta şeklinde görülen varyasyonlar, fazla sayıda indeks kullanımını mecbur kılarken, hangi indeksin kullanılacağına karar vermek de zorlaşır. Şekil profili (eliptik ve koniklik indeksi),

yumurtanın genişlik ve uzunluğunun kullanıldığı formüllerle matematiksel olarak tanımlanabilir. Genel profilden sapma gösterenler elipslik ve koniklik indeksleri yardımıyla tanımlanabilir. Hacim ve yüzey alanlarının tahmininde, yumurtaların bilinen geometrik bir şekle dönüştürülerek hesaplama yapılması daha güvenli bulunmuştur (Narushin, 2001).

Sayısal görüntü analizi pek çok alanda olduğu gibi, hayvancılığın farklı alanlarında kolaylaştırıcı ve yüksek doğruluk düzeyinde uygulama alanları bulmuştur (Aktan, 2004a,b; Bozkurt ve ark., 2008; Aktan, 2011a,b). Troscianko (2014) da en küçük kareler yöntemini kullanarak, az sayıda değişkenle yumurta şeklini (hacim ve yüzey alanı) tanımlamak üzere bir model geliştirmiştir. Geliştirilen yumurta modelleme tekniği Schneider ve ark. (2012) tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu ve ücretsiz bir yazılım olan IMAGE J programında çalışacak bir eklenti haline getirilmiştir. Troscianko (2014), yöntemin başarıyla kullanılabilmesinin, görüntüleme aşamasında temel fotoğrafçılık bilgilerine sahip olunmasına bağlı olduğunu; farklı türlere ait yumurtalarda daha önce geliştirilen formüllerin hacmi doğru olarak belirlemede yetersiz kaldığını, zira elde edilen sonuçların yumurtaların sivrilik derecesinden etkilendiğini; geliştirdiği yazılım eklentisinde kullanılan referans noktası sayısının az veya çok olması arasında önemsiz düzeyde fark olduğunu, asgari sayıda referans noktasıyla hacim tahmininin $R^2 > 0.999$ olacak şekilde yapılabildiğini ortaya koymuştur.

Çalışmamızda Japon bildircini yumurtalarında farklı yöntemlerle hesaplanan veya tahmin edilen kabuk yüzey alanı ve yumurta hacmi ile kuluçkanın seyri içinde yumurta ağırlığı, kabuk sıcaklığı, oransal nem kaybı ve cıvıv çıkış ağırlığı arasındaki ilişkiler ve değişimler incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, 10 haftalık yaşta, her birinde üçer erkek ve dokuzar dişi bulunan, toplam 14 bölmede yer alan ve seleksiyon uygulanmamış 168 Japon bildircinından (*Coturnix japonica*) elde edilen toplam 625 kuluçkalık yumurta (565+60 yedek) kullanılmıştır. Hayvanlar *ad libitum* olarak % 16 ham protein ve 2700 kcal/kg ME içeren yumurta yemiyle beslenmiştir. Yumurtalar her gün aynı saatte olmak üzere yeterli sayıya ulaşıncaya değin bir hafta süreyle toplanmış, 18 °C sıcaklık ve % 70 nispi nemde depolanmıştır. Tepsilere dizilmeden önce 0.1 g hassasiyetindeki elektronik terazi ağırlıkları belirlenmiştir. Tartılan ve numaralandırılan yumurtalar sayısal görüntü analizinde kullanılmak üzere uygun şekilde fotoğraflanmıştır. Yumurtalar, makine içinde katlar arası olası ısı farklılıklarından eşit düzeyde etkilenmeleri için makinenin her bir katındaki tepsilere eşit olarak dağıtılmıştır.

Tablo 1. Kabuk yüzey alanı ve yumurta hacminin tahmininde kullanılan eşitlikler

Tahmin eşitliği	Kaynak
$KYA = 4.835 \times YA^{0.662}$	Paganelli ve ark. (1974)
$KYA = 4.5118 \times YU^{0.289} \times YG^{0.3164} \times YA^{0.4882}$	Carter (1975a)
$KYA = 3.9782 \times YA^{0.7056}$	Carter (1975b)
$KYA = 4.558 \times YA^{0.67}$	Sreenivasiah (2006)
$KYA = (3.155 - 0.0136 \times YU + 0.0115 \times YG) \times YU \times YG$	Narushin (2005)
$YH = 0.523 \times YU \times YG^2$	Ayupov (1976)
$YH = 0.51 \times YU \times YG^2$	Hoyt (1979)
$YH = 0.496 \times YU \times YG^2$	Narushin (1997a)
$YH = 0.913 \times YA$	Sreenivasiah (2006)
$YH = (0.6057 - 0.0018 \times YG) \times YU \times YG^2$	Narushin (2005)

KYA: Kabuk yüzey alanı (Shell surface area, cm²); YA: Yumurta ağırlığı (Egg weight, g); YU: Yumurta uzunluğu (Egg length, cm); YG: Yumurta genişliği (Egg breadth, cm); YH: Yumurta hacmi (Egg volume, cm³)

Kuluçka sıcaklığı gelişme dönemi için (1-15 günler) 37.7 °C, çıkış dönemi için (16-18 günler) 37.0 °C; oransal nem ise aynı dönemlerde sırasıyla % 55-60 ve % 70 olacak şekilde ayarlanmıştır. Makine katlarına yerleştirilmiş veri kaydedicilerle (HOBO datalogger) sıcaklık ve oransal nem değerleri saatlik olarak kaydedilmiştir. Gelişme dönemi kabuk sıcaklıkları bütün yumurtalarda değil, her gün aynı saatte ve aynı yumurtalarda olmak üzere, her tepside 144'er adet yumurtada dijital termometreyle (Braun IRT4520 Thermoscan®) ölçülmüştür. Yumurtalar çıkış makinesine aktarılırken tekrar tartılmış ve gelişme döneminde gerçekleşen nem (ağırlık) kaybı hesaplanmıştır. Çıkışlar tamamlandıktan sonra, bireysel çıkış gözlemlerinden alınan cıvıvlar tartılmış, çıkış olmayan tüm yumurtalar kırılarak, nedenleri (erken, orta ve geç dönem ölümler) belirlenmiştir. Kabuk altı ölümler hariç, özellikle dölsüzlük başta olmak üzere diğer nedenlere bağlı embriyonik ölüm tespit edildiğinde, bu yumurtalara ait kabuk sıcaklık değerleri yumurta numarasından geriye doğru takip edilerek analiz dışı bırakılmıştır.

Yumurtalar sayısal görüntü analizinde kullanılmak üzere fotoğraflanırken, uygun şekilde referans noktaları yerleştirilmiş ve bu noktalar yardımıyla metrik kalibrasyon yapıldıktan sonra uzunluk ve genişlik ölçümleri belirlenmiştir. Sayısal görüntü analizi için, açık kaynak kodlu ve ücretsiz bir yazılım (ImageJ v1.48) ve bu yazılımda çalıştırılmak üzere Troscianko (2014) tarafından geliştirilen bir eklenti (Egg Tools) kullanılmıştır. Eklenti yardımıyla tahmin edilen yüzey alanı ve hacim değerleri, önceki yıllarda çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen formüllerle (Tablo 1) hesaplanan tahmin değerleriyle, tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ve Tukey testi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Çalışmada yumurta genişliği, uzunluğu, hacim, kabuk yüzey alanı, kabuk sıcaklığı, yumurta ve cıvıv ağırlıkları ve oransal nem kaybı parametreleri arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanarak, bu özellikler arası olası doğrusal ilişkiler de incelenmiştir. İstatistiksel analizler için Statistica 10.0 paket programı kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmamızda farklı araştırmacılar tarafından bildirilen formüller ve sayısal görüntü analizi yazılımı yardımıyla hesaplanan kabuk yüzey alanı değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı formüllerle hesaplanan kabuk yüzey alanları (cm²)

Formül	N	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$
Paganelli ve ark. (1974)	565	24.25 ± 0.07 ^d
Carter, (1975a)	565	28.00 ± 0.08 ^a
Carter, (1975b)	565	22.19 ± 0.06 ^f
Sreenivasiah, (2006)	565	23.31 ± 0.06 ^e
Narushin, (2005)	565	25.97 ± 0.09 ^b
Troscianko (2014)	565	25.65 ± 0.08 ^c

* Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arası farklılıklar istatistiksel olarak önemli düzeydedir (P<0.0001).

Yüzey alanı bakımından farklı yöntemlerle elde edilen tahmin ortalamaları 22-28 cm² aralığında bulunmuş olup, tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniğine göre istatistik olarak önemli düzeyde farklı bulunmuştur (P<0.01). Tukey testi tüm formüllerin birbirinden farklı olduğunu da göstermiştir (P<0.05). En yüksek kabuk yüzey alanı 28 cm² ile Carter (1975a) tarafından geliştirilen formülle, en düşüğü ise 22.19 cm² ile Carter (1975b) tarafından geliştirilen formülle hesaplanmıştır. Aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli olsa da, Troscianko (2014) tarafından geliştirilmiş sayısal görüntü analizi tekniğiyle hesaplanan 25.65 cm²lik değere en yakın tahmin 25.97 cm² ile Narushin (2005) tarafından geliştirilen formülle elde edilmiştir. Benzer sayısal değerler Wilkanowska ve Kokoszyński (2012) tarafından farklı yaşlardaki Pharaoh bildiricilerinde kullanılan tahmin eşitliğiyle (Paganelli ve ark., 1974) 22.5-25.3 cm² arasında bulunmuştur (P<0.05). Kullandığımız bir başka yüzey alanı tahmin eşitliğinden yararlanan Lohani ve Ahmad (2013), 4 yakın Japon bildiricini genotipinde, yakın yaş grubunda benzer bir sonuç (23.62 cm²) elde etmişlerdir. Özetle, farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen denklemlerle ulaşılan sonuçlar, türler arası ve hatta tür içi yumurta şekil

varyasyonuna bağlı olarak, yüzey alanı tahmininde kullanılan basit geometrik yaklaşımların genelleştirilmesini imkânsız kılan güçlülere bağlı olarak birbirinden önemli ölçüde farklı olmuştur.

Çalışmamızda farklı araştırmacılar tarafından bildirilen formüller ve sayısal görüntü analizi yazılımı yardımıyla hesaplanan hacim değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Farklı formüllerle hesaplanan yumurta hacimleri (cm³)

Formül	N	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ *
Ayupov, (1976)	565	11.12 ± 0.05 ^c
Hoyt, (1979)	565	10.85 ± 0.05 ^d
Narushin, (1997a)	565	10.55 ± 0.05 ^e
Sreenivasiah, (2006)	565	10.45 ± 0.04 ^f
Narushin, (2005)	565	12.79 ± 0.06 ^a
Troscianko (2014)	565	12.05 ± 0.06 ^b

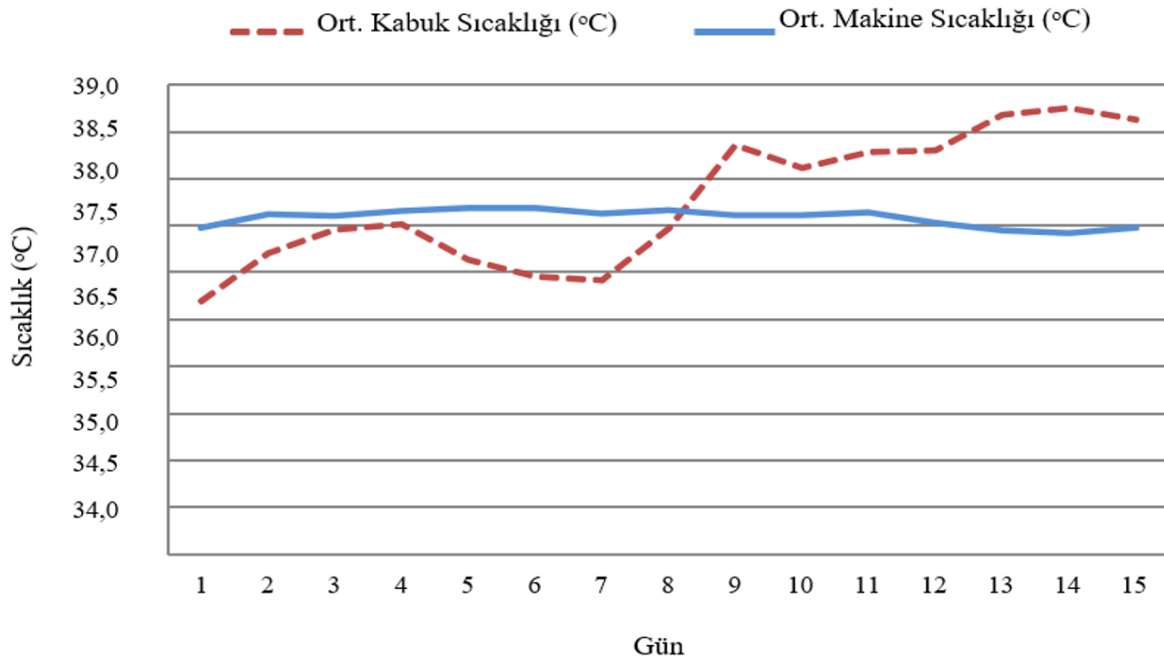
* Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arası farklılıklar istatistiksel olarak önemli düzeydedir (P<0.0001).

Yumurtalardan elde edilen hacim tahmin değerlerine uygulanan tekrarlanan ölçümlü varyans analizi, formüllerin ortalamaları arası farkların önemli olduğunu (P<0.01), uygulanan Tukey testi ise tüm formül tahminlerinin de aynı şekilde birbirinden farklı olduğunu ortaya koymuştur (P<0.05). Hacim tahminleri 10.45-12.79 cm³ aralığında olmuştur. En yüksek hacim tahmini 12.79 cm³ ile Narushin (2001) tarafından geliştirilen formülle, en düşüğü ise 10.45 cm³ ile Sreenivasiah (2006) tarafından geliştirilen formülle hesaplanmıştır. Aralarındaki fark istatistiki olarak önemli olsa da, Troscianko (2014) tarafından geliştirilmiş sayısal görüntü analizi tekniğiyle hesaplanan 12.05 cm³’lük değere en yakın tahmin, aynı yüzey alanında olduğu gibi 12.79 cm³ ile Narushin (2005) tarafından geliştirilen formülle elde edilmiştir. Teusan ve

ark. (2008), çalışmamızdakine yakın bir sürü yaşından (8 hafta) bildirincin yumurtalarında tahmine dayalı ve gerçek yumurta hacmini karşılaştırmalı olarak ölçmüşler ve sırasıyla 10.47 ve 9.68 cm³ olarak tespit etmişlerdir. Lohani ve Ahmad (2013) ise yakın 4 Japon bildirincini genotipinde Sreenivasiah (2006)’a ait hacim tahmin formülüyle 10.65-12.92 cm³ aralığında sonuçlar elde etmiştir. Önceki çalışmalarda gözlenen farklılıkların, türler arası veya tür içi şekil varyasyonundan kaynaklandığı, bu nedenlerle denklemlerin yetersiz kaldığı ve sapmalar gözleendiği, yumurta hacminin doğrudan ölçümü daha güvenilir olsa da ölçüm zorluğunun kullanımını sınırlandırdığı belirtilmiştir (Bridge ve ark., 2007; Boersma ve Rebstock 2010).

Kabuk sıcaklığı, gelişme döneminde embriyonun kayda değer ısı üretimini başlattığı süreç dikkate alınarak iki safhada (1-8 ve 9-15 günler) ele alınmıştır. Kabuk sıcaklığı ve makine iç sıcaklığının gelişme döneminde izlediği seyir Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1’den de görüleceği üzere, ilk sekiz gün kabuk ortalama sıcaklıkları, makine içi günlük sıcaklık ortalamalarından daha düşükken (endotermik faz), son yedi gün embriyonun artık kayda değer ölçüde ısı üretimine başlaması nedeniyle tam tersi durum gözlenmiştir (ekzotermik faz). Benzer şekilde, Kansak ve Aktan (2020) da 32 haftalık bildirincilerde son dönem yüksek kabuk sıcaklığının ağır yumurtalarda ve özellikle kuluçka makinesinin üst katlarındaki tepsilere yerleştirilen ağır yumurtalarda daha bariz olduğunu ve son dönem ölümlerin de daha fazla görüldüğünü, alt katlardaki tepsilere yer alan hafif yumurtalarda ise önemli ölçüde daha düşük kabuk sıcaklıkları görüldüğünü ifade etmişlerdir.

İncelenen özellikler arasında hesaplanan korelasyon katsayıları Tablo 4’de verilmiştir.



Şekil 1. Embriyonik gelişme döneminde ortalama makine sıcaklığı ve kabuk sıcaklığının seyri

Tablo 4. İncelenen özellikler arası korelasyon katsayıları

Özellik	YG	YH	KYA	KYA/YH	KS1	KS2	YA1	YA2	ÇA	ONK
YU	0,598**	0,725**	0,741**	-0,684**	0,001	-0,004	0,756**	0,752**	0,696**	-0,167*
YG	-	0,880**	0,869**	-0,901**	0,060	0,077	0,904**	0,888**	0,817**	-0,151*
YH		-	0,999**	-0,992**	0,071	0,090	0,958**	0,948**	0,875**	-0,191*
KYA			-	-0,989**	0,068	0,087	0,957**	0,948**	0,876**	-0,194**
KYA/YH				-	-0,064	-0,087	-0,948**	-0,936**	-0,862**	0,182*
KS1					-	0,906**	0,028	0,030	0,026	-0,013
KS2						-	0,057	0,054	0,062	0,007
YA1							-	0,982**	0,915**	-0,161*
YA2								-	0,924**	-0,342**
ÇA									-	-0,279**

*: P<0.5; **: P<0.01; YU: Yumurta uzunluğu; YG: Yumurta genişliği; YH: Sayısal görüntü analiziyle hesaplanan yumurta hacmi; KYA: Sayısal görüntü analiziyle hesaplanan kabuk yüzey alanı; KYA/YH: Kabuk yüzey alanı/yumurta hacmi oranı; KS1: 0-8. günler ortalama kabuk sıcaklığı; KS2: 9-15. günler ortalama kabuk sıcaklığı; YA1: Başlangıç yumurta ağırlığı; YA2: 15. gün yumurta ağırlığı; ÇA: Cıvıv çıkış ağırlığı; ONK: Oransal nem kaybı

Kabuk yüzey alanı ile yumurta uzunluk ve genişliği arasında sırasıyla 0.741 ve 0.869 düzeyinde, yumurta hacmi ile yumurta uzunluk ve genişliği arasında ise yine sırasıyla 0.725 ve 0.880 düzeyinde korelasyon belirlenmiştir (P<0.01). Nedomová ve Buchar (2014), yüzey alanının yumurtanın uzun eksenine ilişkili olduğunu belirtmişlerse de, çalışmamızda hem uzunluk hem de genişlikle ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yumurta uzunluk ve genişliği, yüzey alanı ve hacmini yani doğal olarak yumurta iriliğini etkiler. Yüzey alanı ile hacim arasında belirlenen yüksek düzeydeki pozitif korelasyon (0.999), yüzey alanının artmasıyla daha iri bir yumurtaya, doğal olarak daha büyük bir hacme işaret eder. Kabuk yüzey alanı ile yüzey alanı/hacim oranı arasında ve yine hacim ile yüzey alanı/hacim oranı arasında sırasıyla -0.989 ve -0.992 düzeylerinde negatif korelasyonlar bulunmuştur (P<0.01).

Kuluçkalık yumurta ağırlığıyla yumurta uzunluk ve genişliği arasında sırasıyla 0.756 ve 0.904, yine yumurta ağırlığı ile yüzey alanı ve hacim arasında sırasıyla 0.957 ve 0.958 düzeyinde ilişkiler bulunmuş olup (P<0.01), bu bulgu Rasali ve ark. (1993) tarafından bildirilen yumurta ağırlığı ile kabuk yüzey alanı arasında yüksek düzeydeki pozitif korelasyonla uyumludur. Bilindiği üzere yumurtalar irileştikçe kabuk yüzey alanının yumurta hacmine oranı azalmaktadır. Yumurta ağırlığı ile yüzey alanı/hacim oranı arasındaki ilişki, kuluçka öncesi ağırlık baz alındığında -0.948, gelişme dönemi sonu ağırlık baz alındığında ise -0.936 olarak belirlenmiştir (P<0.01).

Çıkış ağırlığı ile yumurta uzunluk ve genişliği arasında sırasıyla 0.696 ve 0.817 düzeylerinde, çıkış ağırlığı ile yüzey alanı ve hacim arasında sırasıyla 0.876 ve 0.875 düzeylerinde, kuluçkalık yumurta ağırlığı ve çıkış ağırlığı arasında ise 0.915 düzeyinde pozitif korelasyonlar belirlenmişken (P<0.01), çıkış ağırlığı ile yüzey alanı/hacim oranı arasında -0.862 düzeyinde negatif korelasyon bulunmuştur (P<0.01). Bunun anlamı yumurta büyüdükçe, doğal olarak yüzey alanı ve hacim arttığı ve beklendiği üzere daha iri cıvıvlar çıktığı, ancak yumurta irileştikçe

kabuk yüzey alanının yumurta hacmine oranının azalmakta olduğudur.

Gelişme döneminde oransal nem (ağırlık) kaybı ile yumurta uzunluk ve genişliği arasında sırasıyla -0.167 ve -0.151 düzeylerinde negatif korelasyon bulunmuştur (P<0.05). Yine oransal nem kaybı ile çıkış ağırlığı arasında -0.279 (P<0.01), oransal nem kaybı ile hacim arasında -0.191 (P<0.05), oransal nem kaybı ile yüzey alanı arasında da -0.194 (P<0.01) düzeylerinde negatif korelasyon bulunmuşken, nem kaybı ile yüzey alanı/hacim oranı arasındaki korelasyon 0.182 düzeyinde gerçekleşmiştir (P<0.05). Özetle kabuk yüzey alanı ve hacim arttıkça nem kaybı azalmakta veya bir diğer ifadeyle zorlaşmaktadır. Bu tablo da yumurtaların irileşmesiyle birlikte, gerek ideal nem kaybının sağlanması ve gerekse ısı dengesinin muhafazasında problemler yaşanabileceğini (Kansak ve Aktan, 2020) desteklemektedir. İri yumurtalardan çıkan cıvıvlar genel olarak daha iri olmakla birlikte, normal koşullarda yaşama gücü, et verim yönlü hayvanlarda sonraki dönem besi performansı vb. açılarından cıvıv kalitesinin iyiliğine işaret eden yüksek çıkış ağırlığı, bu koşullar altında sağlıklı bir iriliğe işaret ettiğinden olumsuz olarak değerlendirilmektedir. Burada asıl önemli nokta, kabuk yüzey alanının hacme oranıdır ki, çıkış ağırlığı ile arasındaki ilişkiye dair elde ettiğimiz sonuç da bu bilgiyi doğrulamaktadır.

Her ne kadar korelasyon tablosunda verilmese de istatistiki olarak önemli olduğu belirlenen korelasyonların kareleri alındığında elde edilen determinasyon katsayıları (R²) değerleri, ele alınan özellikler bakımından gözlenen varyasyonda dikkate alınmayan başkaca faktörlerin de önemli ölçüde katkıları olduğuna işaret etmektedir.

4. Sonuç

Çalışmada ulaşılan sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Literatürde farklı araştırmacılar tarafından yumurta hacim ve yüzey alanı hesaplaması için geliştirilmiş

formüller bulunmaktadır. Ancak bu formüllerin tür içi ve türler arası şekilsel farklılıklardan etkilendiği, birbirinden farklı ve hatalı sonuçlar elde edilmesine neden olduğu anlaşılmıştır. Gerek yüzey alanı ve gerekse hacmin gerçek değerinin belirlenmesi zor ve zahmetli olduğundan görüntü analizi yardımıyla tahmin edilen değerler rahatlıkla kullanılabilir. Troscianko (2014) tarafından geliştirilen yöntem ve yazılım (eklenti) az sayıda örnekle dahi hacim ve kabuk yüzey alanı tahmininde çok yüksek doğrulukla kullanılabilir niteliktedir. Her ne kadar bu yöntemin geçerliliğine ve doğruluk yüzdesine dair testler yapılmışsa da, gerçek hacim ölçümünün yapılmasında kullanılan zaman alıcı ve görece zor yöntemle karşılaştırmalı çalışmalar yapılabileceğini de eklemek isteriz.

2. Yumurtalar irileştikçe yüzey alanı hacme oranla azalmakta, bu da iri yumurtalardan olması gereken (ideal) oransal nem kaybının gerçekleşmesini güçleştirmektedir.
3. İri yumurtalarda özellikle kuluçkanın ikinci yarısında ısı stres daha fazla olmaktadır.

Bu nedenler kuluçkaya daha üniform yumurtaların konması, bunu sağlamak için damızlık sürü idaresinin diğer unsurları açısından da üniformitenin sağlanması, kuluçkalık yumurta ağırlığı bakımından üniform olmayan yumurtalar birlikte kuluçka işlemine tabi tutulacaksa, iri yumurtaların alt katlara dizilmesi, kuluçkaya konan yumurtalar genel olarak iriye makine içi sıcaklığın özellikle ikinci yarıda azaltılarak olası olumsuz etkilerden kaçınılması önerilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma S. Demirel Üniversitesi BAP Yönetim Birimi Başkanlığınca 4371-YL1-15 No'lu Proje kapsamında desteklenen ilk yazarın yüksek lisans tezinden özetlenmiştir.

Kaynaklar

- Akinci Z, Erişir Z, Poyraz Ö (1999). Hindilerde yumurta ağırlığı ve embriyonik gelişim ile yumurta ağırlık kaybı ve bazı kabuk özellikleri arasındaki ilişkiler. *Lalahan Hayvan Araştırma Enstitü Dergisi*, 39 (1): 47-59.
- Aktan S (2004a). Determining storage related egg quality changes via digital image analysis. *South African Journal of Animal Science*, 2: 70-74.
- Aktan S (2004b). Sayısal görüntü analizinin (digital image analysis) hayvancılıkta kullanım olanakları ve metodolojisi. 4. Ulusal Zootekni Bilim Kongresi, Bildiriler, 1-3 Eylül, 160-165, Isparta, Türkiye.

- Aktan S (2011a). Effects of age and storage duration on relationships among albumen quality traits and egg weight in Japanese quails. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10 (25): 3340-3344.
- Aktan S (2011b). Effects of age strain on relationships among albumen quality traits and egg weight in commercial brown layers. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10 (25): 3345-3349.
- Ayupov FG (1976). On the egg mathematical model. *Advanced Scientific-Industrial Experience in Poultry Breeding*, 9: 14-16.
- Boersma PD, Rebstock G (2010). Calculating egg volume when shape differs: When are equations appropriate? *Journal of Field Ornithology*, 81: 442-448.
- Bozkurt Y, Aktan S, Ozkaya S (2008). Digital image analysis to predict carcass weight and some carcass characteristics of beef cattle. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 3: 129-137.
- Brah GS, Chaudhary ML, Sandhu, JS (1999). Analysis of relation of egg weight with embryonic mortality, hatching time, chick weight and embryonic efficiency in chickens. *Indian Journal of Poultry Science*, 34: 308-312.
- Bridge ES, Boughton RK, Aldridge RA, Harrison TJE, Bowman R, Schoech SJ (2007). Measuring egg size using digital photography: testing Hoyt's method using Florida Scrub Jay eggs. *Journal of Field Ornithology*, 78: 109-116.
- Bruzuol JJ, Peck SD, Broke J, Peebles ED (2000). Effects of relative humidity during incubation on hatchability and body weight of broiler chick from young breeder flock. *Poultry Science*, 79: 827-830.
- Burtov YZ, Goldin Y, Krivopishin IP (1990). Incubation of eggs: Handbook. Moscow, Russia.
- Carter TC (1975a). The hen's egg: Relationships of seven characteristics of the strain of hen to the incidence of cracks and other shell defects. *British Poultry Science*, 16: 289-296.
- Carter TC (1975b). The hen's egg: Estimation of shell superficial area and egg volume, using measurements of fresh egg weight and shell length and breadth alone or in combination. *British Poultry Science*, 16: 541-543.
- Çopur G (2004). Damızlık yetiştiriciliğinde kuluçka aksaklıkları. *Hayvansal Üretim Dergisi*, 45 (1): 31-35.
- Davis TA, Shen, SS, Ackerman RA (1988). Embryonic osmorregulation: Consequences of high and low water loss during incubation of the chicken egg. *Journal of Experimental Zoology*, 245: 144-156.

- Decuyperre E, Nouwen EJ, Kuhn ER, Geers R, Michels H (1979). Iodohormones in the serum of chicks embryos and post-hatching chickens as influenced by incubation temperatures. Relationship with the hatching process and thermogenesis. *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique*, 19: 1713-1723.
- Decuyperre E, Michels H (1992). Incubation temperature as a management tool: A review. *World's Poultry Science Journal*, 48: 28-38.
- Elibol O (2009). Embriyo Gelişimi ve Kuluçka, in: Türkoğlu M, Sarıca M (eds.), *Tavukçuluk Bilimi: Yetiştirme, Besleme, Hastalıklar*, pp. 588.
- Etches RJ (1996). *Reproduction in Poultry*. CAB International, Wallingford, UK.
- French NA (1997). Modelling incubation temperature: The effect of incubator design, embryonic development and egg size. *Poultry Science*, 76: 124-133.
- Gonzalez A, Satterlee DG, Moharer F, Cadd GG (1999). Factors affecting ostrich egg hatchability. *Poultry Science*, 78: 1257-1262.
- Gualhanone A, Furlan RL, Fernandez-Alarcon MF, Macari M (2012). Effect of breeder age on eggshell thickness, surface temperature, hatchability and chick weigh. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 14 (1): 09-14.
- Hoyt DF (1979). Practical methods of estimating volume and fresh weight of bird eggs. *The Auk*, 96: 73-77.
- Hoyt DF (1987). A new model of avian embryonic metabolism. *Journal of Experimental Zoology*, 1: 127-138.
- Hu Q, Agarwal U, Bequette BJ (2013). Energy sensing in developing chicken embryos and posthatch chicks from different size eggs. *Poultry Science*, 92: 1650-1654.
- Insko WM, Maclauray DW, Begin JJ, Johnson TH (1971). The relationship of egg weight to hatchability of *Coturnix* eggs. *Poultry Science*, 50: 297-298.
- Kansak S, Aktan S (2020). Japon bildirincilerinde yumurta ağırlığı, kuluçka sıcaklığı ve kabuk sıcaklığının kuluçka sonuçlarına etkilerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 9 : 234-240.
- Joseph NS, Lourens A, Moran ET (2006). The effects of suboptimal eggshell temperature during incubation on broiler chick quality, live performance, and further processing yield. *Poultry Science*, 85 (5): 932-938.
- Leksrisompong N, Romero-Sanchez H, Plumstead PW, Brannan KE, Brake J (2007). Broiler incubation: 1. Effect of elevated temperature during late incubation on body weight and organs of chicks. *Poultry Science*, 86: 2685-2691.
- Lohani F, Ahmad S (2013). A comparison of some egg geometry parameters in four close-bred stocks of Japanese quail. *Scientific Journal of Zoology*. 2 (9): 99-101.
- Lourens A (2001). The importance of air velocity in incubation. *World Poultry*, 17: 29-30.
- Lourens A, Molenaar R, van den Brand H, Heetkamp MJW, Meijerhof R, Kemp B (2006). Effect of egg size on heat production and the transition of energy from egg to hatchling. *Poultry Science*, 85: 770-776.
- Lourens A, van den Brand H, Meijerhof R, Kemp B (2005). Effect of eggshell temperature during incubation on embryo development, hatchability, and posthatch development. *Poultry Science*, 84: 914-920.
- Lourens A, van den Brand H, Heetkamp MJW, Meijerhof R, Kemp B (2007). Effects of eggshell temperature and oxygen concentration on embryo growth and metabolism during incubation. *Poultry Science*, 86: 2194-2199.
- Meijerhof R (2002). Design and Operation of Commercial Incubators. In *Practical Aspects of Commercial Incubation*. Ratite Conf. Books, Lincolnshire, UK.
- Meijerhof R, van Beek G (1993). Mathematical modeling of temperature and moisture loss of hatching eggs. *Journal of Theoretical Biology*, 165: 27-41.
- Molenaar R, van den Anker I, Meijerhof R, Kemp B, van den Brand H (2011). Effect of eggshell temperature and oxygen concentration during incubation on the developmental and physiological status of broiler hatchlings in the perinatal period. *Poultry Science*, 90: 1257-1266.
- Nangsuay A, Meijerhof R, Ruangpanit Y, Kemp B, van den Brand H (2013). Energy utilization and heat production of embryos from eggs originating from young and old broiler breeder flocks. *Poultry Science*, 92: 474-482.
- Narushin VG (2001). Shape geometry of the avian egg. *Animal Production Technology*, 79 (4): 441-448.
- Narushin VG, Romanov MN (2002). Egg physical characteristics and hatchability. *World's Poultry Science Journal*, 58: 297-303.
- Narushin VG (1997a). The avian egg: Geometrical description and calculation of parameters. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 68: 201-205.

- Narushin VG (1997b). Non-destructive measurements of egg parameters and quality characteristics. *World's Poultry Science Journal*, 57: 141-153.
- Narushin VG (2005). Egg geometry calculation using the measurements of length and breadth. *Poultry Science*, 84 (3): 482-484.
- Nedomová S, Buchar J (2014). Goose eggshell geometry. *Research in Agricultural Engineering*, 60: 100-106.
- Nichelmann M, Burmeister A, Janke O, Höchel J, Tzschentke B (1998). Avian embryonic thermoregulation: Role of Q10 in interpretation of endothermic reactions. *Journal of Thermal Biology*, 23 (6): 369-376.
- Nordskog AW, Hassan GM (1971). Direct and maternal effects of egg-size genes on hatchability. *Genetics*, 67: 267-278.
- Paganelli CV, Olszowka A, AR A 1974. The avian egg: Surface area, volume and density. *The Condor*, 76: 319-325.
- Raju MVLN, Chawak MM, Praharaj NK, Rao SVR, Mishra SK (1997). Interrelationships among egg weight, hatchability, chick weight, post-hatch performance and rearing method in broiler breeders. *Indian Journal of Animal Sciences*, 67: 48-50.
- Rasali DP, Shrestha NP, Mugdal VD, Serrano JV, Palad M, Lambio AL (1993). Egg shell parameters in philippine native chickens and their upgrades. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 6 (1): 1-4.
- Romanoff AL, Romanoff AJ (1949). *The Avian Egg*. Wiley and Sons Inc., NY, USA.
- Romanoff AL (1960). *The Avian Embryo*. The Macmillan Co., NY, USA.
- Romijn C, Lokhorst W (1956). The caloric equilibrium of the chicken embryo. *Poultry Science*, 35: 829-834.
- Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of Image Analysis. *Nature Methods*, 9: 671-675.
- Senapati PK, Das K, Mondal KG, Chatterjee AK (1996). Relationship between egg weight, shape index and fertility and hatchability of Japanese quail eggs. *Environment and Ecology*, 14: 574-577.
- Shanawany MM (1987). Hatching weight in relation to egg weight in domestic birds. *World's Poultry Science Journal*, 43: 107-115.
- Sharma PK, Vohra P (1980). Relationship between egg weight, shape index and fertility and hatchability of Japanese quail (*Coturnix japonica*) eggs. *Indian Journal of Poultry Science*, 15: 5-10.
- Shatokhina ST (1975). Relationship of morphological traits of eggs with embryonic and post-embryonic development of different lines of laying hens. Thesis of Candidate of Agricultural Sciences, Kuban Agricultural University, Russia.
- Sotherland PR, Spotila TR, Paganelli CV (1987). Avian eggs: Barriers to the exchange of heat and mass. *The Journal of Experimental Zoology*, 1: 81-86.
- Sreenivasiah P (2006). *Poultry Production: A Unique Encyclopedia*, India.
- Şeker İ (2003). Bildiricilerde kuluçkalık yumurtaların döllülük oranına ve kuluçka sonuçlarına bazı faktörlerin etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 14 (2): 42-46.
- Teusan A, Vacaru-Opriş I, Teusan V (2008). Aspects regarding some morphological values of the domestic quail eggs. *Lucrări Sci. Zootehnie și Biotehnologii*, 41 (2): 709-716.
- Troscianko J (2014). A simple tool for calculating egg shape, volume and surface area from digital images. *International Journal of Avian Science*, 156: 874-878.
- Tsarenko PP (1988). *Improving the Quality of Poultry Products: Table and Hatching Eggs*. Agropromizdat, Leningrad, Russia.
- Van der Pol CW, van Roover-Reijrink IAM, Maatjens CM, van den Brand H, Molenaar R (2012). Effect of relative humidity during incubation at a set eggshell temperature and brooding temperature posthatch on embryonic mortality and chick quality. *Poultry Science*, 92 (8): 2145-2155.
- Van Roover-Reijrink I (2013). Incubation affects chick quality. <https://www.poultryworld.net/Genetics/Articles/2013/5/Incubation-affects-chick-quality-1183725W/> (erişim tarihi:09 Aralık 2020).
- Wilkanowska A, Kokoszynski D (2012). Layer age and quality of pharaoh quail eggs. *Journal of Central European Agriculture*, 13: 10-21.
- Wilson HR (1991). Physiological Requirements of the Developing Embryo: Temperature and Turning, in: Tullett SG (eds.), *In Avian Incubation*. Butterworth-Heinemann, London, pp. 145-156.