

The Structure of Eggshell and Factors Affecting Shell Quality in the Chicken Egg

Ines Tabib^{1,a}, E. Ebru Onbaşlar^{1,b,*}

¹Department of Animal Science, Faculty of Veterinary Medicine, Ankara University, 06110 Ankara, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 06/08/2019 Accepted : 17/09/2019</p> <p>Keywords: Chicken Egg Shell structure Shell quality Calcification</p>	<p>Eggs have the highest quality protein in animal products and are rich in A, D, E, K and B vitamins and mineral substances such as iron and phosphorus. The most important factors that cause the egg to lose its nutritional value are broken egg problems due to the deterioration of the shell quality. Eggshell quality is important for both producer and consumer. The deterioration of the eggshell quality results in increased fracture rate, microbial contamination and shorter shelf life. Eggshell quality is determined by many factors such as genotype, age, oviposition time, ration, water quality, rearing system, stress, temperature and diseases. Knowing the structure of the eggshell and the factors affecting it are important in terms of both reducing economic loss and ensuring healthier egg consumption. In this review, the structure of the chicken eggshell and factors affecting shell quality are summarized.</p>

Tavukçuluk Araştırma Dergisi, 16(2): 48-54, 2019

Tavuk Yumurtasında Kabuk Yapısı ve Kabuk Kalitesini Etkileyen Faktörler

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 06/08/2019 Kabul : 17/09/2019</p> <p>Anahtar Kelimeler: Tavuk Yumurta Kabuk yapısı Kabuk kalitesi Kalsifikasyon</p>	<p>Yumurta hayvansal ürünler içerisinde en kaliteli proteine sahip olup A, D, E, K ve B grubu vitaminler ile demir ve fosfor gibi mineral maddeler bakımından da zengindir. Yumurtanın besin değerini kaybetmesine sebep olan önemli faktörlerin başında kabuk kalitesinin bozulmasına bağlı olan kırık yumurta problemleri gelmektedir. Yumurtanın kabuk kalitesi, hem üretici hem de tüketici yönünden oldukça önemlidir. Kabuk kalitesinin kötüleşmesi kırık oranının artmasına bağlı olarak mikrobiyel bulaşmanın artmasına ve raf ömrünün kısılmasına neden olmaktadır. Yumurtanın kabuk kalitesini genotip, yaş, yumurtlama zamanı, rasyon, su kalitesi, yetiştirme sistemi, stres, sıcaklık, nem ve hastalıklar gibi birçok faktör etkilemektedir. Kabuğun yapısı ve bunu etkileyen faktörlerin bilinmesi hem ekonomik kaybın azaltılması hem de insanlar tarafından daha sağlıklı yumurta tüketiminin sağlanması açısından önemlidir. Bu derlemede tavuk yumurta kabuğunun yapısı ve kabuk kalitesini etkileyen faktörler özetlenmiştir.</p>

^a tabibines@yahoo.fr

^b <https://orcid.org/0000-0001-6555-0386> | ebubonbasilar@ankara.edu.tr

^c <https://orcid.org/0000-0002-1321-0280>



Giriş

Türkiye’de 2018 yılı verilerine göre 124 055 000 adet yumurtacı tavuk bulunmaktadır. Aynı yıl Türkiye’de 22.300.000.000 adet ticari sofralık yumurta üretilmiş olup kişi başına düşen yumurta üretimi 295 adet/yıl, kişi başı yumurta tüketimi ise 224 adet/yıl olduğu bildirilmiştir. Türkiye’de yumurta ihracat tutarı 2018 yılında 430 725 307 Amerikan dolarına ulaşmıştır. Sofralık yumurtalar başlıca Irak (%71,1), Suudi Arabistan (%9,6), Katar (%3,6), Birleşik Arap Emirlikleri (%2,4) ve Azerbaycan-Nahçıvan (%1,8) ülkelerine ihraç edilmektedir (Anonim, 2019).

Yumurta anne sütünden sonra insanın ihtiyacı olan tüm besin maddelerini içeren bir gıdadır. Yumurta oluşumu, ovaryumdaki folliküllerin olgunlaşmasıyla başlar ve yumurta kanalında geçen 24-25 saatlik sürede, rasyonda bulunan besin maddelerinin depolanması ile tamamlanır (Hincke ve ark., 2012). Yumurta içeriği ve kalitesinin korunması yumurta kabuğu tarafından sağlanmaktadır. Kabuk ağırlığı, yumurta ağırlığının %10-12’sini oluşturmaktadır (Nys ve ark., 1999, Yalçın ve ark., 2014, Yalçın ve ark., 2016).

Yumurta üretiminde, kabuk dayanıklılığı ekonomik açıdan kritik bir öneme sahiptir. Tavuk çiftliklerinde üretilen yumurtaların yaklaşık %8-10’u kabuk problemleri nedeniyle önemli bir ekonomik kayba neden olmakta, bu yumurtaların %2-5’i kabuk kalitesindeki bozukluğa bağlı olarak kırılırken, %3-8’i de toplama aşamasında kırılmaktadır (Coutts ve ark., 2007, Gupta, 2008). Bu nedenle yumurta kabuk kalitesini etkileyen faktörlerin anlaşılması büyük önem taşımaktadır.

Yumurta Kabuğunun Yapısı

Yumurta kabuğu içten dışa doğru iç ve dış kabukaltı zarları, mememsi, süngerimsi ve kristal katmanla kütikula katmanından oluşmaktadır (Nys ve ark., 1999, Hincke ve ark., 2012). Yumurta kabuğunun hemen altında bulunan kabukaltı zarları, kabukaltı dış zarı (kabuk zarı), kabukaltı iç zarı (yumurta zarı) ve sınırlayıcı zar olmak üzere üçe ayrılır. Bu üç yapı farklı morfolojik özelliklere sahiptir. Dış kabukaltı zarı yumurta kabuğunun oluşması için gereklidir. Bu zar, bir yandan yumurta kabuğunun mineralizasyonu için kalsifikasyon merkezi olarak görev yaparken, aynı zamanda kristal büyümesini yönlendirerek kabuk şeklini belirler ve yumurta akının içeriden mineralleşmesini de önlemektedir (Aries ve ark., 1993; Nys ve ark., 2004). Kabukaltı iç zarı, kabukaltı dış zarından yumurtanın küt ucunda şekillenen hava boşluğu ile ayrılır. Dış zarın kalınlığı 50-70 µm, iç zarın kalınlığı ise 15-26 µm arasındadır. Kabukaltı dış zarının lifleri mememsi tabakanın konilerine doğru uzanır. İç zar liflerinin çapı (1-7 µm) dış zarınkine (0,1 -3 µm) oranla daha büyüktür ve her iki zarın lifleri birbirine geçmiş durumdadır. Genel olarak, kabuk zarlarındaki lifler yumurta yüzeyine paralel katmanlar halinde yerleşmişlerdir (Liong ve ark., 1997, Ahmed ve ark., 2017). Sınırlayıcı zar, yumurta beyazını çevreleyen en ince zardır (Hincke ve ark., 2010). Liong ve ark. (1997) yaptıkları çalışmada yumurta kabuğu ve zarlarını floresein izotiyosiyanatla boyandıktan sonra konfokal lazer tarama mikroskopuyla (CLSM) incelemişler ve sınırlayıcı zarı, iç zar lifleri arasındaki boşlukları dolduran parçacıklar olarak görüntülemişlerdir.

Zar lifleri proteinlerden (%80-85) oluşmaktadır. Bu proteinlerin %10’u kollajen (tip I, V ve X) ve %70-75’i lizin türevi çapraz bağlar içeren proteinler ve glikoproteinlerdir (Leach, 1982; Zhao ve Chi, 2009). Tüm yumurta kabuğu (kabuk ve kabukaltı zarları) matriksinde bulunan protein sayısı 500’den fazladır ve bu değer yumurtanın diğer bölümlerinden çok daha fazladır (Mann ve ark., 2007). Kabukaltı zarlarında 62 adet proteinin bulunduğu bildirilmiştir (Kawewong ve ark., 2013). Kabuk zarı için tipik olan bazı proteinlere lizozim (Hincke ve ark., 2000), ovotransferrin (Gautron ve ark., 2001), ovalbümin (Hincke, 1995), ovokaliks-36 (Cordeiro ve ark., 2013), dezmozin ve izodezmozin (Nys ve ark., 2004) örnek verilebilir. Kabukaltı zarlarında bulunan diğer proteinler ise osteopontin, sialoprotein ve keratindir (Nys ve ark., 2001). Prolin, glutamik asit ve glisin, zarlarda en fazla düzeyde bulunmaktadır. Zarların yapısında aynı zamanda sialik asit ve üronik asit gibi protein olmayan maddeler de bulunmaktadır. Dış zar liflerinin çekirdekleri tip I kollajen içerirken, iç zar lifleri esas olarak tip I ve V kollajen tiplerini içermektedir (Carrino ve ark., 1996). Kollajen X ise her iki zarda da bulunmaktadır ve zarlardaki mineralizasyonun inhibisyonunu kolaylaştırdığı düşünülmektedir (Arias ve ark., 1997).

Mememsi tabaka çok sayıda düzensiz konik düğümlerden oluşmaktadır (Nys ve ark., 2004; Rose ve Hincke, 2009). Her koni, mukopolisakarit olarak tanımlanan organik bir maddeye (Leach, 1982) sahiptir ve keratan sülfat (Panheleux ve ark., 1999; Fernandez ve ark., 2001) içermektedir. Koniler, kabukta kristalleşmenin başladığı alanları temsil eden küçük organik madde kitleleridir. Bu koniler dış kabuk zarının lifleri tarafından sınırlandırılmaktadır. Mememsi koniler, embriyonik gelişim sırasında embriyoya gerekli kalsiyumu sağlayan tek kaynaktır (Karlsson ve Lilja, 2008; Chien ve ark., 2009). Konilerin yerleşimi ve dağılımı yumurta kabuğunun dayanıklılığını ve porların oluşumunu etkilemektedir (Dunn ve ark., 2012). Her bir por, 4 veya 5 adet koni demetinden başlar ve koninin gövdeleri yanal ve dikey olarak büyüyerek kabuğun tüm derinliği boyunca devam eden bir boşluk bırakmasıyla oluşmaktadır (Solomon, 2010).

Süngerimsi tabaka organik ve inorganik maddelerden oluşmaktadır. Organik kısım, süngerimsi tabakanın %2-5’ini kapsamaktadır. Süngerimsi tabaka yumurta kabuğunun en kalın (200 µm) tabakasıdır ve kalsit kristallerinin dikey olarak uzamasıyla oluşmaktadır. Süngerimsi tabakada çok sayıda düzensiz delikler bulunmaktadır. Süngerimsi sütunlar bir mememsi topuzundan büyür ve kalsifikasyon süreci ilerledikçe sütunlar birbirleri ile kaynaşır. Bu tabaka, süngerimsi tabakanınkinden daha yüksek yoğunluktaki kristal bir tabakada sonlanmaktadır (Hincke ve ark., 2012).

Kristal tabaka dikey olarak uzanır ve çok yoğun düzeyde kalsiyum içermesine karşın oldukça ince bir katmandır. Bu tabaka yumurtaya sertlik ve dış yüzeye pürüzsüzlük veren özelliğe sahiptir. Yumurta kabuğunun mine tabakası olarak da adlandırılmaktadır (Solomon, 2010; Hincke ve ark., 2012).

Kütikula, yumurta kabuğunun dış yüzeyini kaplayan

düzensiz şekilli bir organik tabakadır. Kütikula, biri içte bulunan kalsifiye ve diğeri dışta bulunan kalsifiye olmamış, suda çözünmeyen ve doğrudan dikey kristal tabaka üzerine yerleşmiş olan iki tabakadan oluşmaktadır (Rose ve Hincke, 2009; Kusuda ve ark., 2011). Kütikulanın dağılımı genellikle düzensizdir (Samiullah ve Roberts, 2014). Mikroorganizma girişinin önlenmesinde kütikula birikimi önemlidir. Bazı araştırmacılar (Messens ve ark., 2007; De Reu ve ark., 2010; Bain ve ark., 2013) yaptıkları çalışmalarda kütikula kalınlığıyla yumurta kabuğu boyunca bakteri yükü arasında yüksek bir korelasyon tespit etmişlerdir. Kütikula, aynı zamanda kabuk boyunca nem giriş-çıkışı ve yumurta iç bileşenlerinin dehidrasyonunu önleyen bir bariyer işlevi de görmektedir (Rose-Martel ve ark., 2012).

Yumurta Kabuğunun Kalsifikasyonu

Yumurta kabuğu, vücut sıcaklığında oluşan gözenekli bir biyo-seramiktir. Kabuğun oluşumu, biyolojide bilinen en hızlı kalsifikasyon işlemlerinden biridir. Tamamlanan yumurta kabuğu ortalama 6 g mineral madde içermektedir. Mineralize kabuğun yaklaşık %96'sı da kalsiyum karbonattır. Kabukaltı zarlarının oluşumu oviduktun istmüst bölümünde başlamaktadır. Yumurta akı ilk olarak keratin benzeri ipliksel bir protein içeren ağımsı zar olan kabukaltı iç zarı daha sonra da kaba yapıdaki ipliksel protein tabakası olan kabuk altı dış zarı ile örtülür. Yumurta kabuğunun yapımı, yumurtacı genotiplerde yaklaşık 17 saat sürer ve yumurtanın oluşumundaki en uzun aşamadır (Nys ve ark., 2004).

Yumurta kabuğunun oluşumu, uterus hücre sıvısında üç aşamada gerçekleşmektedir (Nys ve ark., 1991). Birinci aşama olan kalsifikasyon merkezlerinin oluşumu, ovülasyondan yaklaşık 5 saat sonra kabukaltı dış zar liflerinin üzerine yuvarlak organik yapıların (mememsi) birikmesinden hemen sonra başlamaktadır. Bu yapıların geri kalanına kıyasla toluidin mavisi ile daha az bir boyama derecesine sahiptir (Nys ve ark., 1999; Fernandez ve ark., 2001). İlk kalsit kristalleri mememsi konilerde oluşmaktadır (Hincke ve ark., 2012). Bu alanlarının dağılımı genetik yapının kontrolü altındadır ve genotipe göre değişmektedir. Geçici amorf kalsiyum karbonat fazının oluşumu, yumurta kabuğunun kontrollü mineralizasyonunun temel bir özelliğidir. Amorf kalsiyum karbonat öncelikle kabukaltı dış zarının tüm yüzeyinde birikmekte ve daha sonra da belirli çekirdeklenme bölgeleri oluşturmaktadır. Bu bölgelerde kalsit kristallerinin oluşması için sürekli bir iyon akışı sağlanmaktadır.

İkinci aşama kristal büyüme evresidir ve yaklaşık 12 saat sürmektedir (Gautron ve ark., 2014). Bu aşama, süngerimsi tabakanın aktif kalsifikasyon fazıdır. Oluşan kalsit kristalleri, mememsi tabakada daha büyük kristaller oluşturmak üzere birleşerek büyüme fazı sırasında süngerimsi tabakayı oluştururlar (Rodriguez-Navarro ve ark., 2015). Amorf kalsiyum karbonat, aktif bir şekilde çok karmaşık şekillerdeki tekli kristallerin büyümesini sağlamaktadır (Raiteri ve Gale, 2010; Smeets ve ark., 2015). Kristaller kabuğun yüzeyine dikey doğrultuda büyümektedir. Kalsiyum karbonat birikimi saatte ortalama 0.33 g olacak şekilde doğrusal olarak gerçekleşmektedir (Hernandez ve ark., 2008).

Son aşama, kalsifikasyonun sonlandırılması olup

yaklaşık 1,5 saat sürmektedir (Nys ve ark., 2004). Mineralizasyonun durması, yumurta yüzeyini kaplayan organik kütikulanın birikimiyle sonlanmaktadır (Hincke ve ark., 2010; 2012; Gautron ve ark., 2014). Kalsiyum ve bikarbonat uterusu depolanmaz ve uterus transeptilyal hücreleri vasıtasıyla yumurta kabuğu oluşumu sırasında kan plazmasından sürekli olarak temin edilmektedir (Coty ve McConkey, 1982).

Uterus sıvısında sodyum ve klor konsantrasyonları kabuk kalsifikasyonunun başlangıcında yüksektir ve kabuğun kalsifikasyonu boyunca seviyeleri kademeli olarak azalmaktadır. Sodyumun aksine kalsifikasyonun sonunda potasyum seviyesi daha yüksektir. Kalsiyum ve bikarbonat konsantrasyonları uterus sıvısı ve kalsiyum karbonat çökmesi arasındaki dengeyi yansıtmaktadır. Kalsiyum konsantrasyonu, yumurta kabuğunun biriktirilme döneminde yüksekken, kalsifikasyonun sonuna doğru azalmaktadır. Kabuk oluşum evresinde bikarbonat düzeyi artmaktadır. Fosfor konsantrasyonu ise kabuk kalsifikasyonunun son aşamasında daha yüksek seviyede bulunmaktadır (Vincent ve ark., 2012).

Kabuk Kalitesini Etkileyen Faktörler

Kabuk kalitesini; genotip, yaş, yumurtlama zamanı, rasyon, su kalitesi, yetiştirme sistemi, stres, sıcaklık, nem ve hastalıklar etkilemektedir.

Genotip

Genotip kabuk kalitesini belirleyen önemli unsurlardan biridir. Yapılan bir araştırmada, yerli beyaz yumurtacı saf hatlar (Black, Blue, Brown ve Maroon) ile hibritlerinin (BlackxBlue, BrownxBlue, MaroonxBlue ve BlackxMaroon) yumurtalarında kabuk kırılma mukavemeti ve kabuk kalınlığı bakımından genotipler arasındaki farklılık önemli ($P<0,01$) bulunmuştur (Durmuş ve Türkoğlu, 2007). Tumová ve ark. (2007) farklı genotiplerin yumurta kabuk kalınlığı arasındaki farklılıkların önemli ($P<0,01$), kabuk kırılma direnci arasındaki farklılıkların ise önemsiz olduğunu bildirmişlerdir.

Sarıca ve ark. (2010) dış kaynaklı (SuperNick ve BrownNick) ve yerli (ATAK, ATAKS ve ATABEY) yumurtacı hibritlerle yaptıkları çalışmada genotipin kabuk kalınlığı üzerinde etkili ($P<0,01$) olduğunu kaydetmişlerdir.

Denizli tavukları ile ticari yumurtacı hibritlerin yumurtalarında kabuk kırılma mukavemeti ve kabuk kalınlığının incelendiği çalışmada, Denizli tavuklarının ıslah edilmesi halinde yumurta kalite özelliklerinin artırılabilirliği bildirilmiştir (Atasoy ve ark. 2001).

Yaş

Genç sürülerden elde edilen yumurtalarda kabuk kalitesi yüksek olup yaş ilerledikçe kabuk kalitesi düşmektedir (Wilson, 1991). Bu durum yumurta ağırlığının yumurta kabuk ağırlığına oranla daha hızlı artmasına karşın aynı miktarda kalsiyumun kullanılmasından kaynaklanmaktadır (Onbaşlar ve Aksoy, 2001; Roberts ve Ball, 2004).

Onbaşlar ve Aksoy (2005) ile Petek ve ark. (2009) yaptıkları çalışmalarda yaşın, kabuk kırılma mukavemeti ile kabuk kalınlığını etkilediğini ($P<0,01$) kaydetmişlerdir.

Yumurtlama Zamanı

Yapılan bazı çalışmalarda (Yannakopoulos ve ark., 1994; Aksoy ve ark., 2001; Tumová ve Ebeid, 2005) öğleden sonra yumurtlanan yumurtalarda kabuk kalitesinin daha iyi olduğu bildirilmiştir. Onbaşlar ve Avcılar (2011) kahverengi yumurtacı tavuklarda yumurtlama zamanının kabuk kalitesi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, saat 15.00'de toplanan yumurtaların saat 09.00'da toplanan yumurtalara göre kabuk kalitesinin daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Gün içerisinde yumurtlama zamanı geciktikçe kabuk oranı ve kabuk kalınlığı artmaktadır. Bu durum kandaki kalsiyum oranının günün erken saatlerinde yumurtlayan tavuklarda daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü bu dönemde yumurtlanan yumurtalarda kabuk oluşumu, yem tüketiminin olmadığı karanlık döneme denk gelmektedir. Sarıca ve Boğa (2007), 22-72 haftalık yaşlar arasındaki Isa-Brown tavukları ile yaptıkları çalışmada, kabuk oranının günün geç saatinde yumurtlanan tavuklarda daha yüksek olduğunu ($P<0,05$) fakat kabuk kalınlığının değişmediğini bildirmişlerdir. Tumová ve ark. (2007) ise yaptıkları çalışmada, sabah yumurtlanan yumurtalarda kabuk ağırlığının öğleden sonra yumurtlananlara göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Rasyon

Kaliteli bir yumurta kabuğunun elde edilebilmesi için, rasyonda dengeli ve yeterli miktarda mineral madde ve vitamin bulunmalıdır. Kalsiyum ve fosfor önemli makro minerallerdir. Kalsiyum, kabuğunun önemli bir bileşenini oluştururken, fosfor ise iskelet kalsiyumunun depolanmasında ve ardından yumurta kabuğu oluşumu için gerekli kalsiyumun elde edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Boorman ve ark., 1989).

Medullar kemik, yumurta kabuğunun oluşumu için önemli bir kalsiyum rezervidir. Hem kalsiyum fazlalığı hem de eksikliği kabuk kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Aşırı kalsiyum, fosforun kullanılabilirliğini düşürmekte, yem alımını azaltmakta ve bu da kabuk kalitesini ve yumurta üretimini olumsuz yönde etkilemektedir. Wideman ve Lent (1991) aynı zamanda yüksek miktarda kalsiyumun, gizli böbrek sorunlarına neden olarak tavuklarda ölüm oranını artırdığını bildirmişlerdir. Kalsiyum eksikliği, kemik için gerekli kalsiyumun sağlanamamasına ve kemik kırıklarıyla kafes yorgunluğuna neden olabilmektedir.

Yumurta kabuğu çok az fosfor içermesine rağmen bu mineral kemik oluşumu sırasında kalsiyumla etkileşime girdiği için yumurta kabuğu oluşumunda önemli bir elementtir. Rasyondaki düşük fosfor seviyesi, yumuşak kabuklu yumurta üretimine neden olmaktadır. Rasyonda bulunan yüksek düzeydeki fosfor ise kandaki fosfor düzeyini artırmakta ve kalsiyumun kemikten veya sindirim sisteminden mobilize edilmesini engelleyerek yumurta kabuk kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Harms, 1982; Boorman ve ark., 1989; Kershavarz ve Austic, 1990).

Keshavarz ve Austic (1990) yaptıkları çalışmada, fosfor ile klor arasındaki etkileşimi ve yumurta kabuğu bütünlüğünde klorun rolünü incelemişlerdir. Fosforda olduğu gibi rasyondaki yüksek klor seviyesinin de yumurta kabuk kalitesinin ve kandaki pH seviyesinin düşmesine neden olduğu bildirilmiştir.

D vitamini kalsiyum metabolizması için gereklidir. D₃ vitamini eksikliği kabuk ağırlığında önemli bir kayba neden

olmaktadır. Rasyonda D₃ vitamininin çok yüksek olması da pürüzlü kabuğun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Yeterli düzeyde C vitamini, tavuk sağlığı için gereklidir ve kollajen sentezindeki rolü yanında stresin etkilerini de hafifletmeye yardımcı olmaktadır (Daghir, 1995). E vitamininin de sıcaklık stresinin olumsuz etkilerini azalttığı bildirilmiştir (Bollengierlee ve ark., 1998).

Su Kalitesi

Su kalitesi yumurta kabuğu kalitesini etkileyebilmektedir. Yüksek seviyede elektrolit içeren su, yumurta kabuğu kalitesi üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (Balnave ve Yoselewitz, 1987). Tavuklara verilen suyun sıcaklığı da özellikle sıcak havalarda önemlidir. Sıcak havalarda, tavuklara serin içme suyu sağlanmasının yumurta kabuk kalitesini artırabileceği gösterilmiştir (Glatz, 1993).

Yetiştirme Sistemi

Yetiştirme sistemi, yumurta kabuk kalitesini etkileyebilmektedir. Artan ve Durmuş (2015) yaptıkları çalışmada kabuk kırılma mukavemetinin geleneksel, köy ve serbest sistemde yetiştirilen tavuklardan elde edilen yumurtalarda sırasıyla 2,83, 2,27 ve 2,98 kg/cm² olduğunu bildirmişlerdir. Gruplar arasında en düşük kabuk kırılma mukavemetinin köy yumurtalarında görüldüğü kaydedilmiştir. Geleneksel ve serbest sistem yumurtaları arasında kabuk mukavemeti bakımından farklılık bulunmadığı bildirilmiştir. Turan (2006), yapmış olduğu çalışmada kabuk kalınlığının köy işletmelerinde (0,34 mm), ticari işletmelerden elde edilen yumurtalardakine göre (0,36 mm) daha düşük olduğunu göstermişlerdir. Onbaşlar ve ark. (2015) geleneksel ve zenginleştirilmiş kafeslerde barındırılan beyaz yumurtacı tavuklarda kırık yumurta oranının, zenginleştirilmiş kafeslerde daha yüksek olduğunu kaydetmişlerdir. Bunun da follukta yumurtlanan yumurta sayısının fazla olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Guesdon ve Faure (2004), kırık yumurta yüzdesinin, zenginleştirilmiş kafeslerde geleneksel kafeslere göre çok daha yüksek olduğunu kaydetmişlerdir. Tactacan ve ark. (2009) ise zenginleştirilmiş ve geleneksel kafeslerde yetiştirilen tavuklarda kırık ve yumuşak kabuklu yumurta ile yumurta ağırlığı yüzdesinin benzer olduğunu bildirmişlerdir.

Stres

Stres yumurtalarda şekil bozukluğuna, pürüzlü ve kabuksuz yumurtaların sayısında artışa neden olabilmektedir (Reynard ve Savory, 1999). Yumurta uterusu girdikten hemen sonra tavuğun strese maruz kalmasıyla yeni oluşan kabuk kırılabilen fakat yumurta hala uterusu olduğu için bu kırık çevresinde tekrar kalsifikasyon meydana gelebilmektedir. Kabuğun durumuna bağlı olarak uterus içindeki yumurta kırıklarının zamanı Çizelge 1'de verilmiştir (Coleman, 1999).

Çizelge 1. Yumurtada oluşan kırıkların zamanı*

Table 1 Cracking time in the eggs

Kabuğun durumu	Kırıkların oluşum zamanı
Ondüleli görünüm	Uterustaki ilk 1-3 saatte
Ekvatorda bant	Uterustaki ilk 4-6 saatte
İyileşmiş kırık	Uterustaki ilk 8-10 saatte
Bir kısmı iyileşmiş kırık	Yumurtlamadan 1-2 saat önce
Tırnakla kırılma	Yumurtlamadan hemen sonra

*Kaynak: Coleman (1999), Onbaşlar ve Aksoy (2001)

Sıcaklık ve Nem (Isı stresi)

Yüksek neme bağlı olarak 25°C'nin üzerindeki kümes sıcaklığı kabuk kalitesinin düşmesine neden olabilmektedir. Bu durumda, tavuklar yem tüketimini azaltırken solunum hızını artırmaktadır. Bu hızlı solunum tavukların kanındaki karbondioksit miktarında azalmaya neden olmaktadır (Koelkebeck, 1999). Yumurta kabuğunun %95'i kalsiyum karbonattan oluştuğu için kan karbondioksit düzeyindeki düşüş, kan pH'sındaki artış ve kalsiyum iyonlarındaki azalma ince veya yumuşak kabuklu yumurta üretiminde artışa neden olmaktadır. Isı stresi bikarbonat oluşumu için gerekli bir enzim olan karbonik anhidrazın aktivitesini de azaltmaktadır (Balnave ve ark., 1989). Bu nedenle, ısı stresindeki tavuklara sodyum bikarbonat takviyesi yumurta kabuğunun kalitesini artırmaya yardımcı olabilmektedir (Altan ve ark., 2000).

Hastalıklar

Çeşitli hastalıklar kabuk kalitesini etkilemektedir. Enfeksiyöz bronşitis; bozuk şekilli ve renksiz kabuklu yumurtaların oluşmasına neden olmaktadır (Beyer, 2005; Jones, 2006). Benzer şekilde, EDS-76 hastalığında da yumurta kanalı hasar görmekte ve etkilenen sürülerde buruşuk kabuklu yumurtaların üretimi artmaktadır (McFerran ve Adair, 2003). Kabuk kalitesinde bozulmaya neden olabilecek diğer hastalıklar Newcastle, kuş gribi ve kuş ensefalomyelitidir (Charlton ve ark., 2000).

Sonuç

Başarılı bir üretim için yumurta kabuk yapısının ve kabuk yapısını etkileyecek faktörlerin bilinmesi önemlidir. Fakat yapılan çalışmalar incelendiğinde kabuk kalitesi olarak sadece kabuk kalınlığı, kırılma mukavemeti ve şekil bozukluklarının araştırıldığı görülmektedir. Halbuki kabuk birbiri içine geçmiş birden fazla katmandan meydana gelen bir biyoseramiktir. Her katmanın ayrı bir özelliği bulunmaktadır. Bu nedenle çeşitli faktörlerin kabuk kalitesi üzerine olan etkileri araştırıldığında her katmanın ayrı ayrı incelenmesi yapılan çalışmalara farklı bir yön verebilecektir.

Kaynaklar

Ahmed, T.A., Suso, H.P., Hincke, M.T., 2017. In-depth comparative analysis of the chicken eggshell membrane proteome. *Journal of Proteomics*, 155, 49-62.

Aksoy, T., Yılmaz, M., Tuna, Y.T., 2001. Ticari yumurtacılar da yumurtlama zamanının yumurta niteliği üzerine etkisi ve yumurta kabuk ağırlığının bağıntı yardımı ile hesaplanabilirliği konusunda bir araştırma. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 25: 8111-816.

Altan, A., Altan, O., Özkan, S., Açıkgoz, Z., Özkan, K., 2000. Effects of dietary sodium bicarbonate on egg production and egg quality of laying hens during high summer temperature. *Archiv für Geflügelkunde*, 64: 269-272.

Anonim 2019. Yumurta tavukçuluğu verileri, Yumurta Üreticileri Merkez Birliği. Erişim Adresi: <https://www.yum-bir.org/UserFiles/File/yumurta-veriler2019web.pdf>. Erişim Tarihi: 18.08.2019.

Arias, J.L., Fink, D.J., Xiao, S.Q., Heuer, A.H., Caplan, A.I., 1993. Biomineralization and eggshells: cell-mediated acellular compartments of mineralized extracellular matrix. *International Review of Cytology*, 145: 217-250.

Arias, J.L., Nakamura, O., Fernandez, M.S., Wu, J.J., Knigge, P., Eyre, D.R., 1997. Role of type X collagen on experimental mineralization of eggshell membranes. *Connect Tissue Research*, 36: 21-33.

Artan, S., Durmuş, U., 2015. Comparison of egg quality characteristics of produced in village, free range and cage systems. *Academia Journal of Agricultural Research*, 4: 89-97.

Atasoy, F., Onbasilar, E., Apaydin, S., 2001. Denizli ve ticari tavuk sürülerinde yumurta kalite özelliklerinin karşılaştırılması. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 41 (2): 89-100.

Bain, M.M., Mcdade, K., Burchmore, R., Law, A., Wilson, P.W., Schmutz, M., Preisinger, R., Dunn, I.C., 2013. Enhancing the egg's natural defence against bacterial penetration by increasing cuticle deposition. *Animal Genetics*, 44: 661-668.

Balnave, D., Yoselewitz, I., 1987. The relation between sodium chloride concentration in drinking water and eggshell damage. *The British Journal of Nutrition*, 58: 503-509.

Balnave, D., Yoselewitz, I., Dixon, R., 1989. Physiological changes associated with the production of defective eggshells by hens receiving sodium chloride in the drinking water. *British Journal of Nutrition*, 61: 35-53.

Beyer, R.S., 2005. Factors Affecting Egg Quality. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.

Bollengierlee, S., Mitchell, M.A., Utomo, Db., Williams, P.E.V., Whitehead, C.C., 1998. Influence of high dietary vitamin supplementation on egg production and plasma characteristics in hens subjected to heat stress. *British Poultry Science*, 39: 106-112.

Boorman, K.N., Volynchook, J.G., Belyavin, C.G., 1989. Egg Shell Formation and Quality. In: *Recent Developments in Poultry Nutrition*, Cole, D.J.A. and W. Haresign (Eds.). Butterworths, Kent, England.

Carrino, D.A., Dennis, J.E., Wu, T.M., Arias, J.L., Fernandez, M.S., Rodriguez, J.P., 1996. The avian eggshell extracellular matrix as a model for biomineralization. *Connect Tissue Research*, 35: 325-328.

Charlton, B.R., Bermudez, A.J., Boulianne, M., Halvorson, D.A., Jeray, J.S., Newman, L.J., Sander, J.E., Wakenell, P.S., 2000. *Avian Disease Manual*, 5th edition, American Association of Avian Pathologists, Pennsylvania, U.S.A.

Chien, Y.C., Hincke, M.T., Mckee, M.D., 2009. Ultra-structure of avian eggshell during resorption following egg fertilization. *Journal of Structural Biology*, 168: 527-538.

Coleman, M., 1999. Quality Control in the Hatchery. *The Fresh Egg Break Out-Part1*. MAC Associates, IncuBetter, Inc.

Cordeiro, C.M.M., Esmaili, H., Ansah, G., Hincke, M.T., 2013. Ovocalyxin-36 is a pattern recognition protein in chicken eggshell membranes. *Plos One*, 8: 84-112.

Coty, W.A., Mcconkey, C.L., 1982. A high-affinity calcium-stimulated ATPase activity in the hen oviduct shell gland. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 219(2): 444-453.

Coutts, J.A., Wilson, G.C., Fernandez, S., 2007. *Optimum Egg Quality: A Practical Approach*. Sheffield, UK 5M Publishing.

Daghir, N.J., 1995. Replacement Pullet and Layer Feeding and Management in Hot Climates. In: *Poultry Production in Hot Climates*, CAB International, University Press, 219-253 s, Cambridge.

De Reu, K., Messens, W., Grijspeerd, K., Heyndrickx, M., Uyttendaele, M., Herman, L., 2010. Eggshell factors influencing eggshell penetration and whole egg contamination by different bacteria, including Salmonella Enteritidis. *Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium*, 21: 126-129.

Dunn, I.C., Rodriguez-Navarro, A.B., Mcdade, K., Schmutz, M., Preisinger, R., Waddington, D., Wilson, P.W., Bain, M., 2012. Genetic variation in eggshell crystal size and orientation is large and these traits are correlated with shell thickness and are associated with eggshell matrix protein markers. *Animal Genetics*, 43:410-418.

- Durmus, İ., Türkoglu, M., 2007. Geliştirilmekte olan yerli beyaz yumurtacı saf hatlar ve melezlerinde bazı verim ve yumurta kalitesi özellikleri. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 7(1): 23-30.
- Fernandez, M.S., Moya, A., Lopez, L., Arias, J.L., 2001. Secretion pattern, ultrastructural localization and function of extracellular matrix molecules involved in eggshell formation. *Matrix Biology*, 19: 793-803.
- Gautron, J., Hincke, M.T., Nys, Y., 2014. Composition and biomineralization of the eggshell. In: Proc. XIVth European Poultry Conference, Stavanger, Norway, 271-286.
- Gautron, J., Hincke, M.T., Panheleux, M., Garcia-Ruiz, J.M., Boldicke, T., Nys, Y., 2001. Ovotransferrin is a matrix protein of the hen eggshell membranes and basal calcified layer. *Connect Tissue Research*, 42: 255-267.
- Glatz, P.C., 1993. Cool drinking water for layers and broilers in summer. *Proceedings of the 3th Australian Poultry and Feed Convention, Gold Coast, 202-205 s, Australia.*
- Guesdon, V., Faure, J.M., 2004. Laying performance and egg quality in hens kept in standard or furnished cages. *Animal Research*, 53(1): 45-57.
- Gupta, L., 2008. Maintaining Egg Shell Quality. Erişim Adresi: <http://www.thepoultrysite.com/articles/979/maintaining-egg-shell-quality>. Erişim Tarihi: 01.01.2019.
- Harms, R.H., 1982. The influence of nutrition on eggshell quality. Part II. Phosphorous. *Feed Stuffs*, 10: 25-26.
- Hernandez, A., Vidal, M.L., Gomez-Morales, J., Rodriguez-Navarro, J., Labas, V., Gautron, J., Nys, Y., Garcia-Ruiz, J.M., 2008. Influence of eggshell matrix proteins on the precipitation of calcium carbonate (CaCO₃). *Journal of Crystal Growth*, 310: 1754-1759.
- Hincke, M.T., 1995. Ovalbumin is a component of the chicken eggshell matrix. *Connect Tissue Research*, 31: 227-233.
- Hincke, M.T., Gautron, J., Panheleux, M., Garcia-Ruiz, J., Mckee, M.D., Nys, Y., 2000. Identification and localization of lysozyme as a component of eggshell membranes and eggshell matrix. *Matrix Biology*, 19: 443-453.
- Hincke, M.T., Nys, Y., Gautron, J., 2010. The role of matrix proteins in eggshell formation. *Journal of Poultry Science*, 47: 208-219.
- Hincke M.T., Nys, Y., Gautron, J., Mann, K., Rodriguez-Navarro, A., Mckee, M.D., 2012. The eggshell structure, composition and mineralization. *Frontiers in Biosciences*, 17: 1266-1280.
- Jones, D.R., 2006. Conserving and Monitoring Shell Egg Quality. *Proceedings of the 18th Annual Australian Poultry Science Symposium*, 157-165 s, Austria.
- Karlsson, O., Lilja, C., 2008. Eggshell structure, mode of development and growth rate in birds. *Journal of Zoology*, 111: 494-502.
- Kaweewong, K., Garnjanagoonchorn, W., Jirapakul, W., Roytrakul, S., 2013. Solubilization and identification of hen eggshell membrane proteins during different times of chicken embryo development using the proteomic approach. *The Protein Journal*, 32: 297-308.
- Keshavarz, K., Austic, R.E., 1990. Effects of dietary minerals on acid-base balance and eggshell quality in chickens. *Journal of Nutrition*, 120: 1360-1369.
- Koelkebeck, K.W., 1999. What Is Egg Quality and Conserving It? University of Illinois.
- Kusuda, S., Iwasawa, A., Doi, O., Ohya, Y., Yoshizaki, N., 2011. Diversity of the cuticle layer of avian eggshells. *Journal of Poultry Science*, 48: 119-124.
- Leach, R.M., 1982. Biochemistry of the organic matrix of the eggshell. *Poultry Science*, 61: 2040-2047.
- Liong, J.W.W., Frank, J.F., Bailey, S., 1997. Visualization of eggshell membranes and their interaction with *Salmonella enteritidis* using confocal scanning laser microscopy. *Journal of Food Protection*, 60: 1022-1028.
- Mann, K., Olsen, J.V., Macek, B., Gnad, F., Mann, M., 2007. Phosphoproteins of the chicken eggshell calcified layer. *Proteomics*, 7: 106-115.
- Mcferran, J.B., Adair, B.M., 2003. Egg Drop Syndrome. In: *Diseases of Poultry*. 11th Edition., Iowa State Press, Ames, Iowa, pp. 227 - 237.
- Messens, W., Grijspeerdt, K., De Reu, K., De Ketelaere, B., Mertens, K., Bamelis, F., Kempes, B., De Baerdemaeker, J., Decuyper, E., Herman, L., 2007. Eggshell penetration of various types of hen's eggs by *Salmonella enterica* serovar Enteritidis. *Journal of Food Protection*, 70: 623-628.
- Nys, Y., Gautron, J., Garcia-Ruiz, J.M., Hincke, M.T., 2004. Avian eggshell mineralization: biochemical and functional characterization of matrix proteins. *Comptes Rendus Palevol*, 3: 549-562.
- Nys, Y., Gautron, J., Mckee, M.D., Garcia-Ruiz, J.M., Hincke, T., 2001. Biochemical and functional characterisation of eggshell matrix proteins in hens. *Worlds Poultry Science Journal*, 57: 401-413.
- Nys, Y., Hincke, M.T., Arias, J.L., Garcia-Ruiz, J.M., Solomon, S.E., 1999. Avian eggshell mineralization. *Poultry and Avian Biology Reviews*, 10: 143-166.
- Nys, Y., Zawadzki, J., Gautron, J., Mills, A.D., 1991. Whitening of brown-shelled eggs: mineral composition of uterine fluid and rate of protoporphyrin deposition. *Poultry Science*, 70: 1236-1245.
- Onbaşlar, E.E., Ünal, N., Erdem, E., Kocakaya, A., Yaranoğlu, B., 2015. Production performance, use of nest box, and external appearance of two strains of laying hens kept in conventional and enriched cages. *Poultry Science*, 94(4): 559-564.
- Onbaşlar, E.E., Aksoy, F.T. 2001. Kuluçkada Sorun Belirleme Yöntemleri ve Taze Yumurta Kırma Denemesi. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 3: 17-24.
- Onbaşlar, E.E., Aksoy, F.T., 2005. Stress parameters and immune response of layers under different cage floor and density conditions. *Livestock Production Science*, 95 (3): 255-263.
- Onbaşlar, E.E., Avcılar, Ö.V., 2011. Kahverengi Yumurtacı Tavuklarda Yaş ve Yumurtlama Zamanının Yumurta Ağırlığı ve Kabuk Kalitesi Üzerine Etkileri. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 51(1):15-19.
- Panheleux, M., Bain, M., Fernandez, M., Morales, I., Gautron, J., Arias, J.L., Solomon, S.E., Hincke, M., Nys, Y., 1999. Organic matrix composition and ultrastructure of eggshell: a comparative study. *British Poultry Science*, 40, 240-52.
- Petek, M., Alpaya, F., Gezen, S.S., Çibik, R., 2009. Ticari Yumurtacı Tavuklarda Barındırma Sistemi ve Yaşın Erken Dönem Yumurta Verimi ve Kalitesi Üzerine Etkileri. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 15(1):57-62.
- Raiteri, P., Gale, J.D., 2010. Water is the key to non classical nucleation of amorphous calcium carbonate. *Journal of the American Chemical Society*, 132: 17623-17634.
- Reynard, M., Savory, C.J., 1999. Stress-induced oviposition delays in laying hens: duration and consequences for eggshell quality. *British Poultry Science*, 40: 585-591.
- Roberts, J.R., Ball, W., 2004. Egg quality guidelines for the Australian egg industry. *Australian Egg Corporation Limited Publication*, 3:19-32.
- Rodriguez-Navarro, A.B., Marie, P., Nys, Y., Hincke, M.T., Gautron, J., 2015. Amorphous calcium carbonate controls avian eggshell mineralization: A new paradigm for understanding rapid eggshell calcification. *Journal of Structural Biology*, 190(3): 291-303.
- Rose, M.L., Hincke, M.T., 2009. Protein constituents of the eggshell: eggshell-specific matrix proteins. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 66 (16): 2707-2719.
- Rose-Martel, M., Du, J., Hincke, M.T., 2012. Proteomic analysis provides new insight into the chicken eggshell cuticle. *Journal of Proteomics*, 75, 2697-2706.
- Samiullah, S., Roberts, J.R., 2014. The eggshell cuticle of the laying hen. *World's Poultry Science Journal*, 70:693-708.

- Sarica, M., Boga, S., 2007. Yumurta tavuklarında kafeste yerleşim yoğunluğu, yumurtlama zamanı ve yaşın yumurta kalite özelliklerine etkileri. Avrupa Birliğine Uyum Sürecinde Türkiye Tavukçuluğu Sempozyumu, 193-202, E.Ü. Ziraat Fakültesi, 15 Kasım, İzmir.
- Sarica, M., Yamak, U.S., Boz, M.A., 2010. Changes in egg quality parameters due to age in laying hens from two commercial and three local layer genotypes. Journal of Poultry Research. 9(1): 11-17.
- Smeets, P.J.M., Cho, K.R., Kempen, R.G.E., Sommerdijk, N.A.J., De Yoreo, J.J., 2015. Calcium carbonate nucleation driven by ion binding in a biomimetic matrix revealed by in situ electron microscopy. Nature Materials, 14:394-399.
- Solomon, S.E. 2010. The eggshell, strength, structure and function. British Poultry Science, 51: 52-59.
- Tactacan, G.B., Guenter, W., Lewis, N.J., Rodriguez-Lecompte, J.C., House, J.D., 2009. Performance and welfare of laying hens in conventional and enriched cages. Poultry Science, 88:698-707.
- Tumová, E., Ebeid, T., 2005. Effect of time of oviposition on egg quality characteristics in cages and in a litter housing system. Czech Journal of Animal Science, 50:129-134.
- Tumová, E., Zita, L., Hubeni, M., Skrivan, M., Ledvinka, Z., 2007. The effect of oviposition time and genotype on egg quality characteristics in egg type hens. Czech Journal of Animal Science, 52: 26-30.
- Turan, B., 2006. Yumurta tavukçuluğunda farklı üretim sistemlerinin yumurta kalitesi üzerine etkileri. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootečni Anabilim Dalı, Samsun.
- Vincent, J, Brionne, A., Gautron, J., Nys, Y., 2012. Identification of uterine ion transporters for mineralisation precursors of the avian eggshell. BMC Physiology, 12: 1-17
- Wideman, J.R.R.F., Lent, A.L., 1991. Producer's field guide to kidney damage. Egg Ind., 97: 24-30.
- Wilson, H.R., 1991. Crack Your Hatchability Problems. International Hatchery Practice, 29-39.
- Yalçın, S., Eser, H., Onbaşlar, İ., Yalçın, S., Oğuz, F.K., 2016. Effects of dietary sepiolite on performance, egg quality and some blood parameters in laying hens. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 63 : 25-29.
- Yalçın, S., Yalçın, S., Onbaşlar, İ., Eser, H., Şahin, A., 2014. Effects of dietary yeast cell wall on performance, egg quality and humoral immune response in laying hens. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 61: 289-294.
- Yannakopoulos, A.L., Tserveni-Gousi, A.S., Nikokyris, P., 1994. Egg composition as influenced by time of oviposition, egg weight, and age of hens. Archiv fur Geflugelkunde, 58:206-213.
- Zhao, Y.H., Chi, Y.J., 2009. Characterization of collagen from eggshell membrane. Biotechnology, 8: 254-258.