



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی ویژگی‌های فیزیکی تخم مرغ و استحکام پوسته در فاز نهایی تولید صنعتی

فرید امیرشقایقی^{۱*}، حسین غفاری ستوبادی^۲، محمد علی قربانی^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۲۵

تاریخ داوری: ۱۴۰۵/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۶

کلمات کلیدی:

خواص فیزیکی،

تخم مرغ،

استحکام پوسته،

مرغداری صنعتی،

فاز نهایی

تخم مرغ محصولی است که ارزش غذایی فراوانی دارد و منبع خوبی از پروتئین، ویتامین‌ها و املاح ضروری است که می‌تواند به عنوان یک ماده غذایی مهم در برنامه غذایی افراد قرار داشته باشد. این تحقیق در یک واحد مرغداری صنعتی ۱۰۰ هزار قطعه-ای مجهز به حسگرهای هوشمند و خودکار در فاز نهایی تولید (۷۷-۶۸ هفتگی) انجام شد. در این بازه که مرحله مسن بودن طیور و انتهای تولید تخم مرغ است، دانستن روند خواص فیزیکی تخم مرغ‌ها برای مدیریت جیره غذایی و تحلیل هزینه به فایده برای تولیدکننده بسیار حائز اهمیت است. پارامترهای مورد مطالعه شامل خواص فیزیکی تخم مرغ شامل وزن، ضریب کرویت، شاخص شکل، سطح مقطع، ضخامت پوسته، وزن پوسته، درصد پوسته و استحکام پوسته بودند. نتایج نشان داد که وزن تخم مرغ در بازه نهایی تولید، روند افزایشی داشت ولی ضخامت پوسته و استحکام پوسته بعد از هفته ۷۴ به طور معنی‌داری کاهش یافتند. علیرغم معنی‌دار بودن طول و عرض تخم مرغ، شاخص شکل معنی‌دار نبود. ضریب کرویت نشان داد که تغییر شکل تخم مرغ‌ها از استوانه‌ای به دایره‌ای بودند. بیشترین مقدار استحکام پوسته تخم مرغ در هفته ۶۸، در حدود ۵/۶ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و کمترین آن در هفته ۷۷، با ۴/۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بود. با توجه به نتایج این تحقیق، لزوم مدیریت علمی در فاز نهایی تولید در صنایع مرغداری تخم‌گذار با لحاظ تغییرات خواص فیزیکی برای جلوگیری از بروز ترک و شکستگی تخم مرغ‌ها در راستای تضمین سودآوری ضروری است.

DOI:10.48311/fsct.2026.119827.83107

* مسئول مکاتبات:

f.amirshaghghi@areco.ac.ir

۱-مقدمه

که بین ۳-۵ درصد تخم‌مرغ‌ها پیش از بسته‌بندی دچار شکستگی و ترک می‌شوند. در مواقعی که اکثر مرغ‌های موجود در مرغداری دارای سن بالایی هستند یا وقتی که در تجهیزات تولید تخم‌مرغ مشکلات جدی و متعددی وجود داشته باشد، ممکن است میزان تخم‌مرغ‌های ترک‌دار به ۱۰ درصد نیز افزایش یابد. میزان تخم‌مرغ کثیف کمی بیش از یک درصد بوده و تخم‌مرغ‌های دارای لکه خون نیز در حدود دارای فراوانی یک درصد بوده‌اند [۴].

تخم‌مرغ پوسته سخت و محکمی دارد. این پوسته از مواد معدنی و آلی ساخته شده و وظیفه آن محافظت از محتویات داخل تخم‌مرغ است و این موضوع میلیون‌ها سال روند تکاملی و تولید مثلی این موجودات بوده است. زرده و سفیده تخم‌مرغ از طریق پوسته با محیط بیرون تبادل اکسیژن و رطوبت دارند. بدیهی است هرگونه تغییراتی بر پوسته تخم‌مرغ بر محتویات داخل تخم‌مرغ اثر زیادی دارد. ترک‌های روی پوسته تخم‌مرغ سبب تشدید تبادل رطوبت و اکسیژن بین محتوای داخل تخم‌مرغ با محیط بیرون می‌شود [۵].

پوسته تخم‌مرغ به عنوان یک سرامیک متخلخل زیستی در دمای بدن و در یک محیط فاقد سلول شکل می‌گیرد. این فرآیند یکی از سریع‌ترین فرآیندهای کلسیمی شدن شناخته شده تاکنون می‌باشد. ۹۶ درصد از پوسته تخم‌مرغ را کربنات کلسیم تشکیل داده است و باقی‌مانده آن شامل ماتریکس آلی، منیزیم، فسفر و برخی عناصر کمیاب می‌باشد [۶].

در یک تحقیق، استحکام حدود ۱۷ مگاپاسکال برای تخم‌مرغ‌های تازه پس از تخم‌گذاری و مقدار حدود ۱۴ مگاپاسکال را در فروشگاه خرده‌فروشی به دست آمد. دلیل این تغییر در استحکام، جمع‌آوری ریزنقص‌ها در پوسته در حین جابجایی و ایجاد پوسته تخم‌مرغ ضعیف‌تر عنوان شد [۷].

طول عمر مرغ‌های تخم‌گذار با کیفیت تخم‌مرغ‌های آنها گره خورده است. با افزایش سن مرغ، کیفیت پوسته تخم‌مرغ رو به زوال می‌رود. نتیجه این امر این است که مرغ دیگر

امنیت غذایی به طور فزاینده‌ای به دلیل عوامل انسانی متعددی (مانند تغییر اقلیم و آلودگی هوا، آب و خاک) که تحت تأثیر رشد سریع جمعیت جهان قرار دارند، موضوع مهمی در سراسر جهان است. این عوامل همچنین مستقیماً بر تولید مواد غذایی اولیه تأثیر می‌گذارد و به افزایش تقاضای جهانی منجر می‌شود. تا سال ۲۰۵۰، پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهان از ۷/۷ به ۹/۲ میلیارد نفر افزایش یابد که کمبود قابل توجهی از مواد غذایی با کیفیت وجود خواهد داشت. همچنین پیش‌بینی می‌شود که جمعیت شهری ۶۶ درصد و تقاضای غذا از ۵۹ درصد به ۹۸ درصد افزایش یابد [۱].

بنابراین، تولید ایمن و ثابت غذاهای پرمصرف مانند تخم‌مرغ و گوشت مرغ باید در سطح جهانی افزایش یابد تا تقاضای فزاینده مواد غذایی برآورده شود. استفاده مناسب از مواد غذایی سالم و در دسترس دغدغه اصلی امنیت غذایی است. هدف صنعت مدرن تضمین امنیت و ایمنی غذایی با ایجاد یک زنجیره تامین مواد غذایی ایمن‌تر، کارآمدتر و پایدارتر از مزرعه تا بشقاب است. بسیاری از جمعیت جهان با اپیدمی جهانی بیماری‌های مزمن مرتبط با رژیم غذایی مواجه هستند که منجر به افزایش آزمایشات استفاده از غذا به عنوان دارو برای پیشگیری، مدیریت و درمان بیماری می‌شود. با پیشرفت انقلاب صنعتی، دانشمندان علوم غذایی مشتاقانه منتظر ارتقای خواص هدفمند مانند تراکم مواد مغذی بالا، کاهش خطر ابتلا به برخی بیماری‌ها و ارتقای سلامت دستگاه گوارش غذاها هستند تا بتوانند از یک زندگی سازنده و معنادار حمایت کنند [۲].

اهمیت تخم‌مرغ و فراورده‌های مرتبط با آن به عنوان یکی از منابع اصلی تغذیه پروتئینی در زندگی روزمره انسان بدیهی است. از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰، تولید جهانی تخم‌مرغ ۳۵ درصد افزایش خواهد یافت و قاره آسیا ۶۴/۸ درصد در کل رشد جهانی سهم خواهد داشت [۳].

در تحقیقات میدانی به منظور تعیین فراوانی عیوب تخم‌مرغ‌ها در آمریکا، نتایج حاصل به طور تخمینی نشان داد

دخالت انسان و تمام خودکار انجام می‌شد. تعداد ۶۰۰ نمونه تخم مرغ در فاز نهایی تولید صنعتی در چهار مرحله سنی ۶۸، ۷۱، ۷۴ و ۷۷ هفتگی مرغ‌ها انتخاب و تخم‌مرغ‌های جمع‌آوری شده به مدت ۵ روز در یک محیط پایدار (دما: ۲۰-۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی: ۵۰-۴۰٪) نگهداری شدند. آزمون‌های فیزیکی به روش مستقیم برای ارزیابی کمی به شرح زیر انجام شد.

۲-۱ تعیین وزن تخم مرغ

برای تعیین وزن تخم مرغ با استفاده از ترازوی دیجیتالی مدل Sartorius ساخت آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد.

۲-۲ تعیین شاخص شکل^۱

برای تعیین شاخص شکل (SI)، اندازه‌های طول (L) و عرض (W) تخم مرغ با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری و توسط رابطه زیر این شاخص برحسب درصد محاسبه شد [۱۳].

$$SI = \left(\frac{W}{L}\right) \times 100$$

۲-۳ تعیین قطر میانگین هندسی

قطر میانگین هندسی (Dg) تخم مرغ بر حسب میلی‌متر از رابطه زیر محاسبه شد [۱۴].

$$Dg = \sqrt[3]{LW^2}$$

۲-۴ تعیین ضریب کرویت^۲

ضریب کرویت ($\emptyset$) تخم مرغ بر حسب درصد از رابطه زیر محاسبه شد [۱۴].

$$\emptyset = \left(\frac{Dg}{L}\right) \times 100$$

۲-۵ تعیین سطح مقطع^۳

سطح مقطع (SA) تخم مرغ بر حسب سانتیمتر مربع از رابطه زیر محاسبه شد [۱۴].

نمی‌تواند محصولات با کیفیت خوب تولید کند و در نهایت به پایان عمر خود منجر می‌شود. بنابراین، می‌توان فهمید که کیفیت پوسته تخم مرغ با طول عمر مرغ‌های تخم‌گذار تجاری مرتبط است [۸].

ادعاهای زیادی وجود دارد مبنی بر اینکه کیفیت پوسته تخم مرغ با افزایش سن مرغ تخم‌گذار کاهش می‌یابد. تخم-مرغ‌های تولید شده از مرغ‌های مسن‌تر بزرگتر و پوسته آنها نازک‌تر است [۹-۱۰].

نتایج یک پژوهش نشان داد که استحکام شکست پوسته تخم‌مرغ‌های تولید شده در مرغ‌های ۵۸ هفته‌ای کمتر از نصف مرغ‌های ۳۰ هفته‌ای بود [۱۱].

صنعت تخم مرغ با چالش‌های جدیدی برای پاسخگویی به تقاضای روزافزون با استانداردهای ایمنی و کیفیت دقیق‌تر مواجه خواهد شد [۱۲].

هدف این پژوهش این است که درک صحیح از روند تغییرات خواص فیزیکی تخم مرغ و استحکام پوسته در مرحله انتهایی تولید برای مدیریت صحیح در مرغداری صنعتی ارائه دهد. نتایج این تحقیق می‌تواند در راستای ارتقاء بهره‌وری در صنعت مرغداری و امنیت غذایی کشور مفید واقع شود.

۲- مواد و روشها

تخم مرغ تازه از یک مرغداری صنعتی در اطراف شهرستان بناب تهیه شد. مرغ‌های تخم‌گذار مطابق با تغذیه استاندارد و تحت سیستم پرورش در داخل قفس بودند. واحد مرغداری با ظرفیت ۱۰۰ هزار قطعه مرغ تخم‌گذار و مجهز به حسگرهای تنظیم خودکار دما، رطوبت، فشار، دی اکسید کربن، روشنایی، سرعت هوا، تهویه بود. ظرفیت بسته-بندی ۳۶۰۰۰ تخم مرغ در ساعت و انتقال تخم مرغ از قفس تا بسته‌بندی توسط تسمه نقاله‌های برزنتی و استوانه‌ای بدون

۲-۷ تعیین استحکام پوسته

استحکام پوسته تخم مرغ با استفاده از دستگاه سنجش استحکام پوسته تخم مرغ ژاپنی مدل OSK-13473 ساخت کشور ژاپن با درجه فشارسنج ۶-۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع اندازه گیری شد. روند کار به این طریق بود که به این صورت که تخم مرغ ها از قسمت استوایی به صورت عمودی بین دو صفحه موازی دستگاه قرار گرفته و نیرو از طریق آن به تخم مرغ ها وارد و در لحظه شکسته شدن پوسته تخم مرغ، بار وارده قرائت و ثبت شد (شکل ۱).



Fig 1. Eggshell Strength Measurement Device

$$SA=\pi Dg^2$$

۲-۶ تعیین ضخامت پوسته

ضخامت پوسته تخم مرغ با دستگاه ریزسنج عقربه‌ای مدل FHK ساخت کشور ژاپن با دقت ۰/۰۱ میلی متر در سه نقطه از پوسته تخم مرغ (انتهای باریک، انتهای پهن و وسط) اندازه گیری و میانگین آنها به عنوان ضخامت نهایی پوسته در نظر گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج بررسی خواص فیزیکی تخم مرغ در فاز نهایی تولید صنعتی در جدول ۱ ارائه شده است.

Table 1. Effect of chicken age on physical properties of eggs

Age/ Trait	Egg weight (g)	W (mm)	L (mm)	SI (%)	D _g (mm)	Ø (%)	SA (cm ²)
68 wks	52.23 ^c	41.87 ^b	52.90 ^c	79.2	45.26 ^c	85.55 ^a	64.35 ^c
71 wks	57.38 ^c	43.05 ^{ab}	54.79 ^c	78.6	46.81 ^b	85.43 ^a	68.83 ^c
74 wks	64.07 ^b	44.65 ^{ab}	57.01 ^b	78.4	48.43 ^b	84.95 ^a	73.68 ^b
77 wks	71.58 ^a	46.61 ^a	68.63 ^a	79.6	53.02 ^a	77.25 ^b	88.31 ^a

a,b,c Means within column with different superscript litters for each factor are significantly different ($p < 0.05$). wks= weeks, L= egg length, W= egg width, SI= shape index, D_g= geometric mean diameter, Ø= sphericity, SA= surface area. N= 300 intact eggs.

۳-۱ خواص فیزیکی تخم مرغ

افزایش یافته است (شکل ۲). با توجه به شکل ۱، در بازه هفتگی ۷۴-۶۸ وزن تخم مرغ ها درشت و خیلی درشت بود ولی پس از آن وزن تخم مرغ بالاتر از ۷۰ گرم بود که در این

نتایج تاثیر سن مرغ بر وزن تخم مرغ از نظر آماری معنی دار بود و نشان داد که با افزایش سن مرغ، وزن تخم مرغ

حالت، محصولات از نظر بسته‌بندی دشوار و در معرض صدمات مکانیکی است و بنابراین ادامه تولید پس از هفته ۷۴ مقرون به صرفه نخواهد بود.

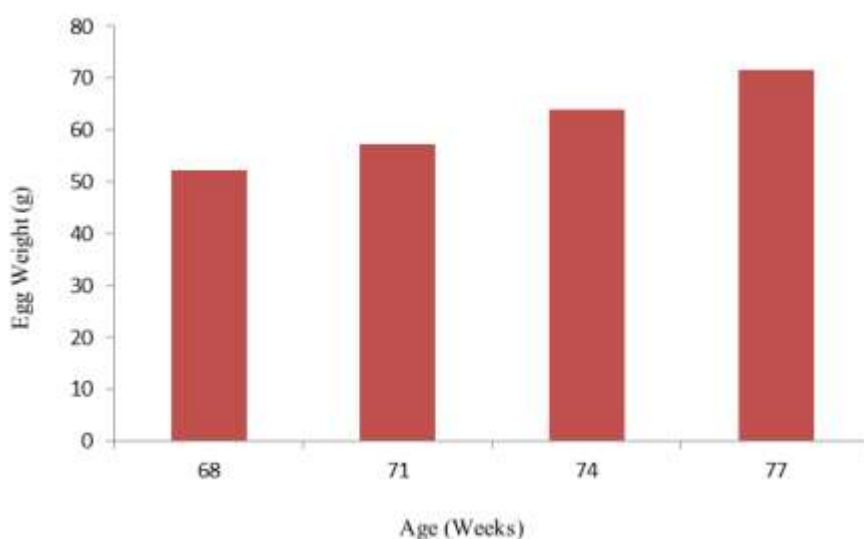


Fig 2. Effect of Chicken Age on Egg Weight at Final Phase of Production

به دنبال تخم‌مرغ‌های بزرگ‌تر هستند. مشکل صنعت طیور تولید تخم‌مرغ‌های بزرگ‌تری است که بتوانند در برابر جابجایی و حمل و نقل مقاومت کنند. با توجه به اینکه افزایش وزن تخم‌مرغ با کاهش استحکام و ضخامت پوسته مرتبط است [۱۷]، بنابراین لازم بود تفاوت‌ها در خواص پوسته تخم‌مرغ بر اساس سن مرغ نیز ارزیابی شود.

۳-۲ خواص فیزیکی پوسته و استحکام آن

در جدول ۲، نتایج بررسی خواص فیزیکی پوسته و استحکام آن در فاز نهایی تولید صنعتی تخم‌مرغ نشان داده شده است.

مطابق جدول ۱، از نظر ابعادی (طول و عرض) تخم‌مرغ‌ها در بازه سنی مورد تحقیق معنی‌دار بودند ولی شاخص شکل که بیانگر نسبت این دو پارامتر است، معنی‌دار نبود. نتایج تحقیقات [۱۵] نشان داد که با افزایش سن مرغ، شاخص شکل روند کاهشی (از ۰/۷۹ تا ۰/۷۶ درصد) داشت. نتایج منبع [۱۶] هم موید کاهش شاخص شکل با افزایش سن بود.

نتایج ضریب کرویت نیز نشان داد که رویکرد تغییر شکل تخم‌مرغ‌ها در مراحل نهایی تولید از حالت استوانه‌ای به دایره‌ای بود. سطح ویژه تخم‌مرغ هم به طور معنی‌داری در اثر زمان افزایش یافته بود.

وزن نشانگر مناسبی برای اندازه تخم‌مرغ است که پارامتر مهمی در تجاری‌سازی تخم‌مرغ است، زیرا مصرف‌کنندگان

Table 2. Effect of chicken age on physical properties of eggshell

Age/ Trait	T (μm)	SW (g)	S (%)	Strength (Kg/cm ²)
68 wks	377 ^a	7.1 ^b	9.5 ^{ab}	5.6 ^a
71 wks	352 ^b	7.4 ^{ab}	9.2 ^b	4.7 ^b
74 wks	363 ^{ab}	7.8 ^a	9.9 ^a	4.9 ^b
77 wks	349 ^b	7.5 ^{ab}	9.6 ^{ab}	4.5 ^b

^{a,b} Means within column with different superscript letters for each factor are significantly different ($p < 0.05$).

wks= weeks, T= shell thickness, SW= shell weight, S%= shell percentage. N= 300 intact eggs.

مرغ، ضخامت پوسته کاهش می‌یابد و علیرغم افزایش جزئی در هفته ۷۴، روند نزولی بود (شکل ۳).

نتایج بررسی سن مرغ بر ضخامت پوسته تخم‌مرغ از نظر آماری معنی‌دار

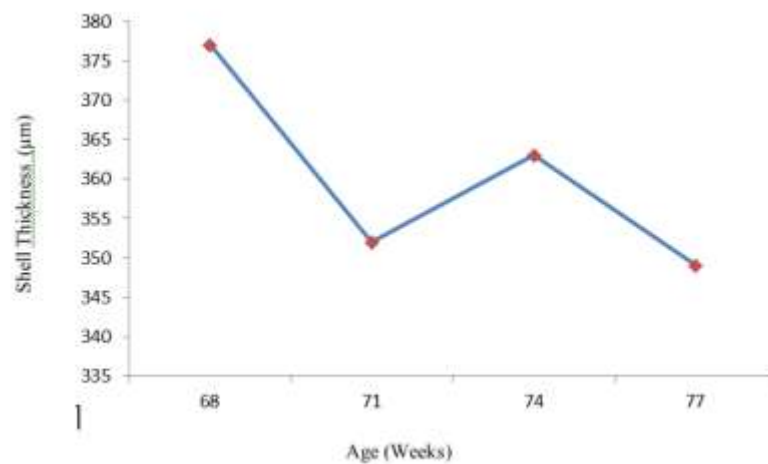


Fig 3. Effect of Chicken Age on Shell Thickness at Final Phase of Production

مربع و کمترین مقدار با ۴/۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در ۷۷ هفتگی بود. این امر نشان می‌دهد که با افزایش سن مرغ، ضخامت پوسته کاهش یافت (شکل ۴).

نتایج یک تحقیق نشان داد که پوسته تخم مرغ در اواسط تخم گذاری (هفته ۴۰ تا ۵۵) ضخیم‌تر می‌شود و با افزایش سن مرغ به تدریج کاهش می‌یابد [۱۷].

نتایج بررسی سن مرغ بر استحکام پوسته تخم‌مرغ نشان داد که بیشترین مقدار در ۶۸ هفتگی با ۵/۶ کیلوگرم بر سانتیمتر

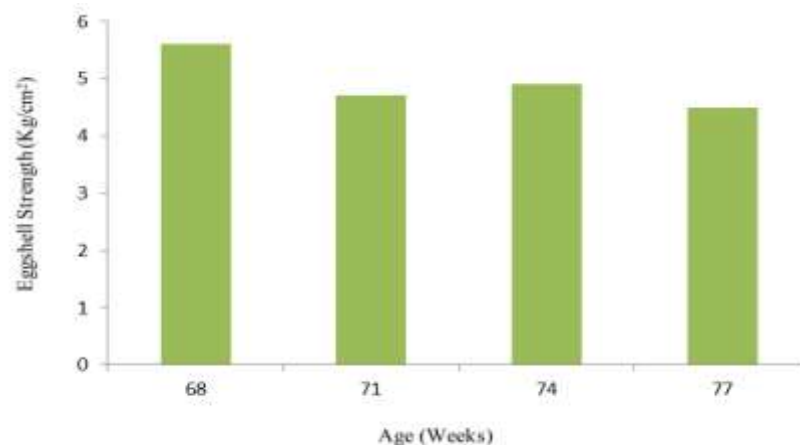


Fig 4. Effect of Chicken Age on Eggshell Strength at Final Phase of Production

راستا نتایج تحقیقات [۱۸] نشان داد که کاهش قابل توجهی در استحکام در برابر شکست پوسته تخم‌مرغ از ۲۲ هفته و ۸۳ هفته مشاهده کردند که با نتایج این پژوهش همسو است.

نتایج استحکام پوسته تخم‌مرغ در مرغان مسن نشان داد که با افزایش سن، استحکام پوسته کاهش می‌یابد. علیرغم کاهش استحکام از یک نقطه زمانی، شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد کاهش با افزایش سن مرغ وجود دارد. در این

نوآورانه برای تغییر خط تولید برای تولید ضایعات کمتر شود. این پروژه نشان داد که زمینه برای کارهای آینده در ارزیابی شکست پوسته تخم مرغ و عوامل ذاتی و بیرونی مؤثر بر آن وجود دارد.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده پس از انجام مراحل پیش‌پردازش، کنترل کیفیت و برچسب‌گذاری برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون مدل‌های یادگیری عمیق مورد استفاده قرار گرفت. به دلیل ملاحظات مربوط به مالکیت داده‌ها و استفاده پژوهشی از تصاویر، داده‌های خام به صورت عمومی منتشر نشده‌اند. داده‌های مرتبط با این پژوهش در صورت درخواست منطقی و با تأیید نویسنده مسئول، برای اهداف علمی و پژوهشی در دسترس پژوهشگران قرار خواهد گرفت.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافع مالی، تجاری، سازمانی یا شخصی که بتواند بر طراحی پژوهش، جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج یا نگارش مقاله تأثیر گذاشته باشد، وجود ندارد.

بیانیه تامین مالی

این پژوهش بدون دریافت هیچ‌گونه کمک مالی اختصاصی از سازمان‌های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی انجام شده است. هزینه‌های مرتبط با انجام پژوهش و تهیه مقاله توسط نویسندگان تأمین شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول در طراحی مطالعه، جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها، توسعه و آموزش مدل‌های یادگیری عمیق، انجام تحلیل‌های آماری و محاسباتی، تفسیر نتایج و تهیه نسخه اولیه مقاله مشارکت داشت. نویسنده دوم و سوم در طراحی روش‌شناسی پژوهش، نظارت بر روند مطالعه، بازبینی علمی

تمرکز بر تحقیق در مورد پوسته تخم مرغ به این امید بوده است که درک پوسته بتواند منجر به بهبود کیفیت شود. بینش بیشتر ممکن است بر پیشرفت در کیفیت پوسته تخم مرغ تأثیر بگذارد. با هدف کاهش ضایعات و ضرر مالی، تحقیقات در مورد بهبود کیفیت تخم مرغ برای دهه‌ها ادامه داشته است. تحقیقات در مورد پوسته تخم مرغ مفید بوده است، اما در مورد بهبود کیفیت خود پوسته تخم مرغ کاملاً قطعی نیست. بسیاری از تحقیقات با هم همپوشانی دارند اما درک جامع و کاملی از پوسته تخم مرغ ارائه نمی‌دهند. با توجه به ماهیت پوسته به عنوان یک محصول بیولوژیکی، تنوع اجتناب‌ناپذیر است و تفاوت‌ها بین گروه‌های تحقیقاتی [۱۹-۲۳] مشهود است و باید مورد بحث و کنکاش قرار بگیرد.

۴- نتیجه‌گیری کلی

پژوهش زیر به طور خاص به ارزیابی خواص فیزیکی تخم مرغ در شرایط مرغداری صنعتی پرداخته است. تخم مرغ یک غذای اصلی رایج در سراسر جهان است و کیفیت آن تأثیر عمده‌ای بر مصرف‌کنندگان دارد. صنعت طیور دائماً در حال ارزیابی راه‌های کاهش نقص و شکستگی در پوسته تخم مرغ به منظور کاهش ضایعات و ضرر مالی است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتری در مورد این تأثیرات بالقوه با هدف تلاش برای پاسخ به برخی از سؤالات ناشناخته در مورد پوسته تخم مرغ انجام شود.

تحلیل کلی این تحقیق این است که استحکام با افزایش وزن کاهش می‌یابد و تخم مرغ‌های بزرگ‌تر احتمال شکست بیشتری دارند. پیشنهادات مربوط به این امر می‌تواند مربوط به افزایش اندازه منافذ یا تغییر در اندازه کریستال باشد، این موضوع تأیید نشده است و باید در آینده اثبات شود. علاوه بر این، مشاهده شد که ضخامت پوسته تخم مرغ در واقع نسبتاً بدون تغییر است.

برای دستیابی به نتایجی که بتوانیم عوامل مؤثر بر پوسته را به طور کامل تأیید کنیم، به مطالعات بیشتری نیاز است. دانش بیشتر در مورد خواص مواد پوسته تخم مرغ به صنعت طیور سود خواهد رساند، زیرا می‌تواند منجر به روش‌های

ویرایش زبانی، ترجمه برخی بخش‌ها، اصلاح ساختار جملات و کمک به سازمان‌دهی مطالب انجام شده است. طراحی آزمایش‌ها، جمع‌آوری داده‌ها، پردازش و تحلیل داده‌ها، آموزش و ارزیابی مدل‌ها، محاسبات آماری، تفسیر نتایج و تصمیم‌گیری‌های علمی توسط نویسندگان انجام شده است. نویسندگان مسئولیت کامل صحت، اصالت و محتوای علمی مقاله را بر عهده دارند.

و ویرایش نهایی مقاله مشارکت داشت. تمامی نویسندگان نسخه نهایی مقاله را مطالعه و تأیید کرده و مسئولیت محتوای علمی آن را پذیرفته‌اند.

بیانیه هوش مصنوعی

در تهیه این مقاله، از ابزارهای هوش مصنوعی مولد در حدود ۱۰ درصد از فرایند آماده‌سازی متن استفاده شده است. استفاده از هوش مصنوعی صرفاً برای بهبود نگارش و

۵-منابع

- [1] Abbasi, R., Martinez, P. and Ahmad, R. 2022. The digitization of agricultural industry—a systematic literature review on agriculture 4.0. *Smart Agricultural Technology*, 2, p.100042.
- [2] Hassoun, A., Harastani, R., Jagtap, S., Trollman, H., Garcia-Garcia, G., Awad, N.M., Zannou, O., Galanakis, C.M., Goksen, G., Nayik, G.A. and Riaz, A. 2024. Truths and myths about superfoods in the era of the COVID-19 pandemic. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(3), pp.585-602.
- [3] Priyadumkol, J., Kittichaikarn, C. and Thainimit, S. 2017. Crack detection on unwashed eggs using image processing. *Journal of food engineering*, 209, pp.76-82.
- [4] Lawrence, K.C., Yoon, S.C., Jones, D.R., Heitschmidt, G.W., Park, B. and Windham, W.R. 2009. Modified pressure system for imaging egg cracks. *Transactions of the ASABE*, 52(3), pp.983-990.
- [5] Athanasiadou, D., Jiang, W., Goldbaum, D., Saleem, A., Basu, K., Pacella, S. M., Corinna, F., Richard, B.R., Maxwell, C. T., Hincks, A. B., Navarro, R., Hojatollah, V., Wolf, S.E., Gray, J.J., HuyBui, G.K., McKee, M.D. 2018. Nanostructure, osteopontin and mechanical properties of calcitic avian eggshell. *Science Advances*.89, pp.131-142.
- [6] Nys, Y. and Gautron, J. 2007. Structure and formation of the eggshell. In *Bioactive egg compounds* (pp. 99-102). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [7] Macleod, N., Bain, M.M. and Hancock, J.W. 2006. The mechanics and mechanisms of failure of hens' eggs. *International journal of fracture*, 142(1), pp.29-41.
- [8] Stuttgen, S. 2020. Life Cycle of a Laying Hen, *Livestock University of Wisconsin-Madison*.
- [9] Lee, M.L. et al. 2016. The Effect of Hen Age on Egg Quality in Commercial Layer. *Korean Journal of Poultry science*, 43(4), pp. 253–261.
- [10] El-Hanoun, A.M. et al. 2012. Effect of incubation humidity and flock age on hatchability traits and posthatch growth in Pekin ducks. *Poultry Science*, 91(9), pp. 2390–2397.
- [11] Rodriguez Navarro, A. et al. 2002. Influence of the microstructure on the shell strength of eggs laid by hens of different ages. *British Poultry Science*, 43(3), pp. 395–403.
- [12] Yavuz, O., Uner, M.M., Okumus, F. and Karatepe, O.M. 2023. Industry 4.0 technologies, sustainable operations practices and their impacts on sustainable performance. *Journal of Cleaner Production*, 387, p.135951.
- [13] Bain, M. M. 1990. Eggshell Strength: A Mechanical/ Ultrastructural Evaluation. Ph.D. Thesis, University of Glasgow, Glasgow, UK.
- [14] Altuntas, E., and Sekeroglu, A. 2008. Effect of Egg Shape Index on Mechanical Properties of Chicken Eggs. *Journal of Food Engineering* 85: 606-612.
- [15] Sirri, F., Zampiga, M., Berardinelli, A. and Meluzzi, A. 2018. Variability and Interaction of Some Egg Physical and Eggshell Quality Attributes During the Entire Laying Hen Cycle. *Poultry Science* 97: 1818-1823.
- [16] Molnar, A., Maertens, L., Ampe, B., Buyse, J., Kempen, I., Zoons, J. and Delezie, E. 2016. Changes in Egg Quality Traits During the Last Phase of Production: Is There Potential for an Extended Laying Cycle?. *British Poultry Science* 57: 842-847.
- [17] Roberts, J.R., Chousalkar, K. and Samiullah. 2013. Egg quality and age of laying hens: implications for product safety. *Animal Production Science*, 53(12), p. 1291.
- [18] Tůmová, E., Gous, R.M. and Tyler, N. 2014. Effect of hen age, environmental temperature, and oviposition time on eggshell quality and eggshell and serum mineral contents in laying and broiler breeder hens. *Czech Journal of Animal Science*, 59 (No. 9), pp. 435–443.
- [19] Bain, M. M. 2005. Recent Advances in the Assessment of Eggshell Quality and their Future Application. *World's Poultry Science Journal* 61: 268-277.
- [20] Mertens, K., Bamlis, F., Kempes, B., Kamers, B., Verhoelst, E., Deketelaere, B., Bain, M., Decuyper, E. and Debaerdemaeker, J. 2006.

Monitoring of Eggshell Breakage and Eggshell Strength in Different Production Chains of Consumption Eggs. Poultry Science 85: 1670-1677.

[21] Butcher, G.D. and Miles, R. 2019. Concepts of Eggshell Quality, University of Florida- IFAS.

[22] Ketta, M. and Tůmová, E. 2016. Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors

in laying hens: a review. Czech J. Anim. Sci., 61(7), pp. 299–309.

[23] Park, J.A. and Sohn, S.H. 2018. The Influence of Hen Aging on Eggshell Ultrastructure and Shell Mineral Components. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 38(5), pp. 1080–1091.



Scientific Research

Investigation of Physical Properties of Egg and shell Strength in Final Phase of Industrial Production

Farid Amirshaghghi^{*1}, Hossein Ghaffari Setoubadi², Mohammad Ali Ghorbani³

1,2- Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2026/04/14

Review: 2026/05/11

Accepted: 2026/06/06

Keywords:

Physical properties,

Egg,

Eggshell strength,

Industrial Poultry,

Final phase

DOI: 10.48311/fsct.2026.119827.83107

*Corresponding Author E-

f.amirshaghghi@areeo.ac.ir

Eggs are a product with high nutritional value and are a good source of protein, vitamins and essential minerals that can be an important food item in human diets. This research was conducted in a 100,000-piece industrial poultry unit equipped with smart and automatic sensors in the final phase of production (68-77 weeks). During this period, which is the stage of aging of the poultry and the end of egg production, knowing the trend of the physical properties of eggs is very important for the producer to manage the diet and analyze the cost-benefit. The parameters studied included the physical properties of eggs including weight, sphericity, shape index, section area, shell thickness, shell weight, shell percentage and shell strength. The results showed that the egg weight had an increasing trend in the final period of production, but the shell thickness and shell strength decreased significantly after week 74. Despite the significant egg length and width, the shape index was not significant. The sphericity coefficient showed that the shape of the eggs changed from cylindrical to circular. The highest eggshell strength was in week 68, at about 5.6 kg/cm², and the lowest was in week 77, at 4.5 kg/cm². According to the results of this study, the need for scientific management in the final phase of production in the laying poultry industry, taking into account changes in physical properties, is essential to prevent cracking and breakage of eggs in order to ensure profitability.