DOI: 10.22041/ijbme.2009.13408



# Freshness Assessment of Poultry Egg by Ultrasound Signal Processing

**M. Aboonajmi[1], A. Akram[2], S.K. Setarehdan[3*], A. Rajabipour[4]**

[1] Ph.D Graduated, School of Biosystem Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran, tonajmi@gmail.com
[2] Associate Professor, School of Biosystem Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran, aakram@ut.ac.ir
[3] Assistance Professor, Control and Intelligent Processing Centre of Excellence, School of Electrical and Computer Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
[4] Assistance Professor, School of Biosystem Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran, arajabi@ut.ac.ir

## Abstract

**Ultrasound is a rapidly growing tool in the field of research, which shows an increasing use in the food industry for both analysis and modification of food products. Quality assessment of agricultural material has an important role in modern agriculture. This study demonstrates the possibility of non-destructive prediction of the main quality indices of the commercial eggs by processing a short ultrasound burst passing through the egg material and calculating the ultrasound phase velocity. For this purpose a set of three hundred samples of commercial eggs (Boris Brown, 33 weeks age) from the first day of egg lying were purchased from a farm and classified in two groups. The first group was kept in the room temperature (22-25°C) while the second group was kept within the refrigerator (4-5°C). 25 eggs were picked every week from each groups (room and refrigerator) were first subjected to the nondestructive ultrasound test at room temperature. Each day, the ultrasound signal is recorded from the eggs first. Then, immediately after that, the air cell, the thick albumen heights, the Haugh unit and the yolk index of the eggs were also determined destructively for comparison purposes. Significant differences at 5% level between the means of the destructive analysis at different days of storage of the eggs were found using ANOVA. Both the Haugh unit and yolk index decreased by time over 5 weeks in storage at room and refrigerator while the air cell height increased. The lower is the Haugh unit for the eggs in the refrigerator; the lower is the phase velocity (1573 m/s at first day compared to 1540 m/s after 3 weeks). Similar changes of the phase velocity are found for the eggs in the room temperature (1571 m/s at first day compared to 1514 m/s after 3 weeks).**

**Keywords:** **NDT Test, Ultrasound wave, Quality assessment, Commercial egg, Phase velocity.**

* **Corresponding author**
**Address:** *Seyed-Kamaledin Setarehdan, Control and Intelligent Processing Centre of Excellence, School of Electrical and Computer Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran*
**Tel:** *+98 21 61114177*
**Fax:** *+98 21 88633029*
**E-mail:** *ksetareh@ut.ac.ir*

DOI: 10.22041/ijbme.2009.13408



# کيفيت‌سنجي تازگي تخم‌مرغ خوراکي به‌وسيله امواج فراصوتي

**محمد ابونجمي[۱]، اسداله اکرم[۲]، سيد کمال الدين ستاره‌دان[۳*]، علي رجبي پور[۴]**

[۱] دانش‌آموخته دکتراي مکانيک ماشين‌هاي کشاورزي، دانشکده مهندسي بيوسيستم، پرديس کشاورزي و منابع طبيعي، دانشگاه تهران، کرج tonajmi@gmail.com

[۲] استاديار، دانشکده مهندسي بيوسيستم، پرديس کشاورزي و منابع طبيعي، دانشگاه تهران، کرج aakram@ut.ac.ir

[۳] دانشيار، دانشکده مهندسي برق و کامپيوتر و قطب علمي کنترل و پردازش هوشمند، دانشگاه تهران

[۴] دانشيار، دانشکده مهندسي بيوسيستم، پرديس کشاورزي و منابع طبيعي، دانشگاه تهران، کرج arajabi@ut.ac.ir

## چکيده

استفاده از امواج فراصوت از روش‌هاي غيرمخرب و کم‌هزينه است و از جمله روش‌هاي در حال توسعه در زمينه کيفيت‌سنجي محصولات غذايي و کشاورزي به‌شمار مي‌رود. اين مقاله کيفيت‌سنجي شاخص‌هاي تازگي تخم‌مرغ خوراکي را به وسيله امواج فراصوتي به روش عبور امواج تشريح مي‌کند. در اين روش از اندازه‌گيري سرعت فازي موج فراصوت با گرفتن تبديل فوريه از سيگنال‌ها براي پيش‌بيني شاخص‌هاي اصلي کيفيت تخم‌مرغ خوراکي استفاده مي‌شود. براي رسيدن به اين هدف ۳۰۰ عدد تخم‌مرغ (از مرغ‌هاي نژاد بوريس براون در سن ۳۳ هفتگي) با اندازه متوسط و در روز اول تخم‌گذاري از مزرعه مرغ تخم‌گذار انتخاب، پس از انتقال تخم‌مرغ‌ها به محيط آزمايشگاه نيمي از آنها در شرايط محيطي آزمايشگاه (۲۲°C تا ۲۵°C) و نيمي ديگر در يخچال ( ۴°C تا ۵°C) به مدت ۵ هفته نگهداري و مورد آزمون واقع شد. در روز اول و در نوبت‌هاي ۶ روزه آزمون غيرتخريبي با ثبت و ذخيره‌سازي سيگنال‌هاي حاصل از امواج فراصوتي و آزمون تخريبي شامل هاوسنجي، ارتفاع سفيده غليظ، عمق اتاقک هوايي و شاخص زرده انجام گرفت. نتايج تحليل واريانس با کمک آزمون چند دامنه‌اي دانکن بيانگر اختلاف معناداري در سطح ۵% بين ميانگين داده‌هاست. با افزايش زمان نگهداري تخم‌مرغ، عدد هاو و شاخص زرده کاهش يافته و عمق اتاقک هوايي نيز افزايش يافت. در اين ميان سرعت موج فراصوت همزمان با کاهش عدد هاو و افزايش عمق اتاقک هوايي در طول زمان نگهداري تخم‌مرغ در شرايط مختلف محيطي کاهش مي‌يابد. روند کاهش سرعت از حدود ۱۵۷۱m/s در روز اول نگهداري به ۱۵۴۰m/s در شرايط نگهداري در يخچال و ۱۵۱۴m/s در شرايط نگهداري در محيط آزمايشگاه پس از ۳ هفته حاصل شد.

**کليدواژگان:** آزمون غيرمخرب، موج فراصوتي، کيفيت سنجي، تخم‌مرغ خوراکي، سرعت فازي.

* عهده‌دار مکاتبات

**نشاني:** تهران، خيابان کارگر شمالي، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسي برق و کامپيوتر، گروه مهندسي پزشکي

**تلفن:** ۶۱۱۱۴۱۷۷، **دورنگار:** ۸۸۶۳۳۰۲۹، **پيام نگار:** ksetareh@ut.ac.ir

## ۱- مقدمه

كاربرد امواج فراصوت[1] در صنعت و علوم پزشكي به عنوان روشي بسيار موفقيت‌آميز و كم‌هزينه اثبات شده است. از جمله كاربردهاي فراوان اين روش در صنعت مي‌توان به تشخيص عيوب دروني از جمله حفره‌هاي هوا در جوشكاري اشاره كرد و در علوم پزشكي تشخيص بافت‌هاي طبيعي، غيرطبيعي و شرايط رشد جنين قبل از تولد را نام برد. طي سال‌هاي اخير توجه بسياري از پژوهشگران به تعيين كيفيت محصولات كشاورزي با روش‌هاي غيرمخرب معطوف شده است كه محور اصلي تحقيقات در مرحله پس از برداشت ميوه‌ها و محصولات زراعي بوده و تعداد چنين پژوهش‌هايي رو به افزايش است [۱، ۲]. كاربرد امواج فراصوتي فناوري جديديست كه در تعيين خصوصيات كيفي محصولات كشاورزي و دامي به دليل غيرتخريبي بودن و صرفه اقتصادي، سهولت و سرعت استفاده و نهايتاً ايمني بالاي آن اهميت فوق العاده‌اي دارد. پيشرفت‌هاي قابل توجه در كاربرد امواج فراصوتي در تعيين كيفيت محصولات دامي و كشاورزي نسبت به ساير روش‌ها نظير CT[2] (اشعه X و...) و MRI[3] به دليل هزينه كمتر، خطرات كمتر، امكان حمل آسان و نيز امكان تصويربرداري به صورت بي‌درنگ[4] است كه در بسياري از كاربردها كمتر مي‌توان روش جايگزين مناسب براي آن پيدا كرد. در روش فراصوتي ميزان تغيير ويژگي‌هاي فراصوتي مانند سرعت عبور امواج، كاهش انرژي يا دامنه، ميزان انعكاس امواج و غيره در گذر يا انعكاس از مواد به كيفيت و يا چگونگي مواد ارتباط داده مي‌شود. امواج فراصوت در زمينه بررسي مواد غذائي و در كنترل عمليات فرايند مواد غذايي كاربرد زيادي پيداكرده است. پيشرفت در زمينه ميكروالكترونيك سبب شده كه بتوان از امواج فراصوت براي اندازه‌گيري‌هاي دقيق و با هزينه نسبتاً پائين استفاده كرد. در اين روش يك سيگنال فراصوت در درون ماده مورد آزمايش منتشر مي‌شود. سپس از طريق سنجش تأثير متقابل بين سيگنال و ماده، اطلاعاتي در مورد خواص ماده به دست مي‌آيد.

استفاده از امواج فراصوت در صنايع غذائي مي‌تواند به صورت فراصوت تشخيصي[5] با انرژي كم (كمتر از $1 W/cm^2$) و محدوده فركانسي بيش از ۱۰۰kHz تا چند مگاهرتز و يا فراصوت قدرتي[6] با انرژي زياد (بيش از $1 W/cm^2$)در محدوده فركانسي ۱۸kHz تا ۱۰۰kHz باشد. از كاربردهاي امواج فراصوت تشخيصي، تعيين اشياء خارجي در بسته‌بندي محصولات غذائي شامل: پنير در عمق ۷۵mm يا در بطري‌هاي شيشه‌اي نوشابه، توسط یک مبدل متصل به هوا[7] است. از كاربردهاي مهم امواج فراصوت با انرژي كم در صنايع غذائي مي‌توان به بلورسازي مانند قند، تميزكردن سطح مواد غذائي شامل ميوه، تأثير بر روي آنزيم‌ها (از جمله غيرفعال كردن آنزيم پكتيناز در فرايند توليد خيارشور)، فرايند تشكيل امولسيون در تشكيل سس مايونز، تصفيه كردن، در فرايند خشك كردن و منجمد كردن و ده‌ها مورد ديگر اشاره كرد. از كاربردهاي مهم امواج فراصوت با انرژي بالا مي‌توان گاززدائي مايعات غذائي مانند نوشابه، استخراج آنزيم‌ها و پروتئين‌ها، غيرفعال‌سازي آنزيم‌هايي نظير آنزيم كاتالاز و پروكسيداز در ميوه و سبزيجات به‌منظور كنسروكردن و ... را برشمرد [۳].

براي اولين بار فيتجرالد[8] و همكاران از امواج فراصوتي براي تعيين چربي كره و ماده خشک در شير استفاده كردند [۴]. ميزراچ[9] و همكاران كيفيت ميوه و سبزي را به صورت غيرتخريبي با استفاده از دستگاه امواج فراصوتي آزمايشگاهي تعيين نمودند. آنها سرعت پخش امواج، ميزان تضعيف و خصوصيات انعكاسي محصولاتي مانند آووكادو، خيار، هويج، سيب و هندوانه را در فركانس ۵۰kHz مورد مطالعه قرار دادند [۵]. سوندارم[10] و چونگ[11] با اندازه‌گيري ميزان تضعيف امواج فراصوت (۷MHz تا ۱/۵MHz) یک روش مؤثر غيرتخريبي براي نمايش انعقاد شير مايه زده‌شده و تعيين زمان صحيح پنيرسازي ابداع كردند [۶]. ميزراچ و همكاران در مطالعه ديگري روشي را براي اندازه‌گيري ضخامت چربي زير پوست گاو شيرده در طول دوران شيردهي با به‌كارگيري یک حسگر ۷/۵MHz مورد بررسي قرار دادند. آنها با قراردادن مبدل‌هاي فراصوت در طرفين ران

[1] Ultrasound
[2] Computed Tomography
[3] Magnetic Resonance Imaging
[4] Real time
[5] Diagnostic ultrasound
[6] Power ultrasound
[7] Air coupled transducer
[8] Fitzgerald
[9] Mizrach
[10] Sundaram
[11] Chung

و بين دنده‌هاي ۱۲ و ۱۳ ميزان تغييرات چربي را با اندازه‌گيري تصاوير B-mode[12]، A-mode[13] تا عمق ۳۰mm بررسي كرده و الگوريتمي را براي تعيين تغييرات چربي گاو در طول دوران شيردهي پيشنهاد دادند. با كمك اين الگوريتم تغييرات كمي چربي زير پوست گاو در طول دوران شيردهي قابل اندازه‌گيري است [۷].

پرورش طيور طي سال‌هاي اخير در ايران توسعه يافته و به صنعتي عظيم و فعال از نظر تهيه گوشت سفيد و تخم‌مرغ تبديل شده و توانسته است در تأمين مواد غذايي نقش ارزنده‌اي در كشور داشته باشد. از سويي استفاده از بيشينه ظرفيت دستگاه جوجه‌كشي براي مرغداران حائز اهميت است. از سوي ديگر غير بارور بودن تعدادي از تخم‌مرغ‌ها علاوه بر اينكه باعث تهويه نامناسب شده و مقاديري انرژي مصرفي براي گرم كردن تخم‌مرغ هدر مي‌رود، خود مي‌تواند سبب آلودگي محفظه جوجه‌كشي شود. به‌طور كلي اگر تخم‌مرغ‌هاي بدون كيفيت با عدد هاو[14] كمتر از ۷۰، در ماشين جوجه‌كشي قرارگيرند با وجود صرف هزينه نسبتاً بالا جنين تشكيل نمي‌شود و چنين تخم‌مرغ‌هايي قابل عرضه به بازار نيستند. مشكل بسيار مهم ديگر چگونگي دفع اين تخم‌مرغ‌هاي فاسد و مشكلات زيست محيطي آن است. نتايج حاصل از اين تحقيق، بيانگر راهكارهاي لازم در انجام تحقيقات تكميلي نظير تعيين كيفيت سفيده تخم‌مرغ و در حد پيشرفته‌تر تعيين باروربودن يا نبودن تخم‌مرغ خواهد بود. اين امر مي‌تواند به بومي كردن اين روش ارزان غيرتخريبي و صرفه جوئي هزينه‌اي معادل ۱۹۴۰ ميليارد ريال در سال براي صنعت مرغداري كشور منجر شود. شايان توجه است كه رقم ياد شده با حداقل فرض تلفات ۶% و قيمت‌هاي به‌روز احتساب شده است. در حالي‌كه در عمل ميزان تلفات بيش از ۶% است.

در اين زمينه براي اولين بار گود[15] از روش آزمايش غيرمخرب امواج فراصوتي براي تعيين ضخامت پوسته تخم‌مرغ‌ها از نوع پليكان قهوه‌اي[16] پرداخته و در مقايسه با روش مخرب اندازه‌گيري با ريزسنج، موفق به تعيين ضخامت پوسته با دقت ۰/۰۱mm شد. در اين روش سنجه دستگاه فراصوتي با سطح پوسته در تماس بود [۸]. ويسي و هاميلتون[17] با كمك امواج فراصوت (۱۰MHz) و قراردادن پوسته تخم‌مرغ در آب به عنوان يک محيط واسط به اندازه‌گيري ميانگين ضخامت در نقاط مختلفي از پوسته پرداختند. در اين روش فاصله سنجه دستگاه فراصوت با پوسته تخم‌مرغ در آب حدود ۳/۸ cm بود. با مقايسه با روش تخريبي مقدار ضريب همبستگي دو روش در حد ۰/۷۴ است كه نتايج چندان رضايت بخشي محسوب نمي‌شود [۹]. پاوي و ويلكينسون[18] با كمك امواج فراصوتي با فركانس ۱/۲۵ MHz سعي در تشخيص پروتئين عامل توليد سفيده تخم‌مرغ داشتند. كهنگي پروتئين، شاخص مهمي در تعيين طول عمر تخم‌مرغ است. با استفاده از اين روش تخم‌مرغ‌هاي با طول عمر۳۰ روز يا بيشتر، از تخم‌مرغ‌هاي تازه با اطمينان۹۰% تمايز داده شدند [۱۰]. پيبلز[19] و همكاران، از روش اولتراسونوگرافي براي بررسي ريخت‌شناسي يک جنين در روزهاي مختلف عمليات جوجه‌كشي استفاده كردند. در اين آزمايش از يک دستگاه اولتراسوند استفاده شد كه مبدل آن به صورت مقعر با فركانس ۷/۵MHz بر روي سر بزرگ تخم‌مرغ قرارداشت. براي اين‌كار آنها سر بزرگ پوسته تخم‌مرغ را برداشته و حفره هوا را با نمک استريل پر كردند و سپس با كمک مبدل مقعر مراحل رشد جنين را در روزهاي مختلف جوجه‌كشي بررسي كردند [۱۱]. آكاشي[20] و همكاران خصوصيات اكوستيكي زرده و سفيده تخم‌مرغ در دامنه فركانسي ۲۰MHz تا ۴۰۰MHz با سيستم طيف‌سنجي بيوالتراسونيک مورد بررسي قراردادند. تفاوت‌هاي معناداري در ميزان تضعيف امواج، سرعت، امپدانس اكوستيكي[21] براي زرده، سفيده نازک و و سفيده ضخيم مشاهده مي‌شود. در اين آزمايش خصوصيات آكوستيكي محلول۱۰% آبي اوالبومين و هموگلوبين گاوي به منظور بررسي تأثير پروتئين بر خصوصيات آكوستيكي آلبومين اندازه گيري شد. سرانجام آنها نتيجه گرفتند كه تفاوت معنادار بين سفيده نازک و ضخيم به احتمال زياد به علت تفاوت ساختار ماكرومولكولي

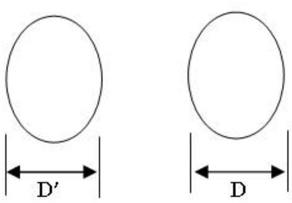
[12] **B**rightness mode
[13] **A**mplitude mode
[14] Haugh unit
[15] Gould
[16] Brown pelican
[17] Voisey & Hamilton
[18] Povey & Wilkinson
[19] Peebles
[20] Akashi
[21] Acoustic Impedance

آنهاست [۱۲]. چو[22] و همکاران، از روش پاسخ به تحريك صوتي[23] براي تشخيص ترک‌هاي سطحي در پوسته تخم‌مرغ استفاده کردند. يک سيستم آزمايشگاهي براي توليد نيروي تحريك، اندازه‌گيري پاسخ فرکانسي و تحليل طيف فرکانس طراحي و ساخته شد. اين سيستم قادر به تشخيص ۵ تخم‌مرغ در ثانيه بود. با کمک اين سيستم نرخ خطاي تشخيص تخم‌مرغ‌هاي شکسته و تخم‌مرغ‌هاي سالم به ترتيب ۴% و ۶% است [۱۳]. جيندال[24] و همکاران، از روش آزمايش غيرمخرب پاسخ پوسته تخم‌مرغ به تحريك‌هاي صوتي براي تعيين ترک در پوسته استفاده کردند. پيش از آزمايش براي اعمال تحريك، از روش نورسنجي براي تشخيص تخم‌مرغ‌هاي سالم و ترک خورده استفاده شد. پوسته تخم‌مرغ‌هاي سالم سيگنال‌هاي صوتي را در حداکثر دامنه[25] در حوزه فرکانسي۲۵۰۰Hz تا ۷۰۰۰Hz در زمان ۲۰µs نمايش داد. در حالي‌که نمايش سيگنال‌هاي صوتي حاصل از ضربه در پوسته تخم‌مرغ‌هاي ترک‌دار؛ در طيف فرکانسي وسيع‌تر ۵۵۰Hz تا ۹۰۰۰Hz در محدوده زمان کمتر ۱۵µs بود [۱۴]. کاربرد فراصوت براي تشخيص تخم‌مرغ‌هاي نطفه‌دار براي اولين بار به‌وسيله ميزراچ و همکاران (۲۰۰۴)، گزارش شد. در اين تحقيق در مرحله اول براي تشخيص نطفه با برداشتن پوسته و استفاده از فرکانس ۷/۵Hz تصويربرداري فراصوتي از نوع A-mode و B-mode انجام شد. در مرحله دوم از فرکانس پائين ۲MHz براي نفوذ در پوسته تخم‌مرغ استفاده شد. در مرحله اول وجود نطفه از طريق اندازه‌گيري از نوع A-mode تشخيص داده شد. همچنين قطر نطفه قبل از عمليات جوجه‌کشي به وسيله تصويربرداري از نوع B-mode حدود ۰/۴۸±mm ۴/۰۳ بود در مرحله بعد از تفاوت بين انعکاس موج بين زرده تخم‌مرغ‌هاي نطفه‌دار و غيرنطفه‌دار فرض بر تشخيص نطفه داده شد [۱۵]. هوانگ[26] و همکاران با ترکيب امواج فراصوت، تحريك‌هاي ميدان الکتريکي و فرايند فشار بالا (۱۳۸Mpa) سعي در غيرفعال کردن باکتري سالمونلا[27] در مايع تخم‌مرغ کردند. افزايش دماي مايع تخم‌مرغ (۲۰°C)، تأثير کاربرد امواج فراصوتي (با قدرت ۴۰W و ۲۰kHz) در زمان‌هاي ۳ دقيقه را افزايش داد [۱۶].

با توجه به مطالعات پيشين هدف پژوهش حاضر کيفيت‌سنجي شاخص‌هاي کيفي تخم‌مرغ مانند عدد هاو، حفره هوا، ارتفاع سفيده غليظ و ارتباط آن با سيگنال‌هاي فراصوتي است.

## ۲- مواد و روش‌ها

براي تعيين تغييرات سرعت و ميرايي امواج معمولاً از دو روش مرسوم روش بازتاب[28] (انعکاسي) و روش عبوري[29] استفاده مي‌شود. به‌کارگيري امواج فراصوتي براي کيفيت‌سنجي، نيازمند دانستن و اندازه‌گيري ويژگي‌هاي فراصوتي ماده موردنظر است. با توجه به روش‌هاي اندازه‌گيري، ويژگي‌هاي فراصوتي مورد اندازه‌گيري متفاوت است. مهمترين متغير مورد اندازه‌گيري در حوزه زمان و ميرايي، سرعت امواج و نوسانات سيگنال‌هاي عبوري/ انعکاسي و ارسالي در فرکانس و اندازه پرتو داده شده است. اين دو خاصيت مهم را به‌طور خلاصه، سرعت فازي[30] امواج فراصوتي و ضريب تضعيف يا ميرايي مي‌نامند که کاربردهاي خاص آنها در توصيف و رديابي عيب، چگالي، خواص کشساني و مکانيکي است. در اين تحقيق براي به‌دست آوردن سرعت فازي در تخم‌مرغ از روش عبوري استفاده شده است. سرعت فازي امواج فراصوت در واقع همان سرعت عبوري امواج فراصوت است که به ويژگي‌هاي فيزيکي و مکانيکي مواد بستگي دارد. به دليل ناهمگن و ناهمسان بودن اغلب محصولات غذايي و کشاورزي، تعيين سرعت امواج فراصوتي به صورت تحليلي نسبتاً دشوار است. معادله تعيين سرعت فازي در تخم‌مرغ را بر اساس انجام آزمايش‌ها و شکل‌هاي ۱ و ۲ به شرح ذيل به‌دست مي‌آيد:




شکل ۱- طرحواره مقايسه قطر تخم‌مرغ در وضعيت‌هاي مختلف

22 Cho
23 Acoustic impulse Response
24 Jindal
25 Dominant peak
26 Huang
27 Salmonella entertidis
28 Pulse echo
29 Through transmission
30 Phase velocity

D، قطر تخم‌مرغ (فاصله بين مبدل‌هاي فراصوتي) و D′ فاصله بين مبدل‌ها بعد از جابه‌جايي تخم‌مرغ و پر كردن داخل پوسته با آب (مبناي مقايسه استاندارد) است.

براي انجام آزمون همه تخم‌مرغ‌ها در اندازه متوسط از يک سويه و يک مزرعه و در شرايط يکسان تغذيه و سن مرغ انتخاب مي‌شوند، بنابراين در محاسبه سرعت فازي فرض بر اين است كه ضخامت پوسته براي تمام محاسبات تقريباً ثابت است. در اين حالت تمامي سيگنال‌هاي فراصوتي ثبت شده از تخم‌مرغ‌ها در طول آزمون با سيگنال فراصوتي حاصل از آب درون يک پوسته تخم‌مرغ به عنوان مبنا مقايسه مي‌گردد.

در شكل ۲ اختلاف فاز سيگنال حاصل از جابه‌جايي تخم‌مرغ بين مبدل‌هاي فراصوتي و پر كردن پوسته با آب ملاحظه مي‌شود. همين‌طور اختلاف فاز بين سيگنال فراصوتي حاصل از پوسته تخم‌مرغ حاوي مايع تخم‌مرغ و آب به‌صورت ساده نمايش داده شده است.

با توجه به شكل‌هاي ۱ و ۲ داريم:

$$\Delta D = D - D' \quad (۱)$$

$$\Delta\varphi = 2\pi f.\Delta T \quad (۲)$$

$$\frac{\Delta\varphi}{2\pi f} = \frac{\Delta\varphi_V}{2\pi f} + \frac{\Delta D}{C_W} \quad (۳)$$

$$\frac{D_{in}}{C_{egg}} = \frac{D_{in}}{C_W} + \frac{\Delta\varphi_v}{2\pi f} \quad (۴)$$

سپس با جايگزيني عبارت $\frac{\Delta\varphi_v}{2\pi f}$ در رابطه فوق، رابطه (۵) به‌دست مي‌آيد:

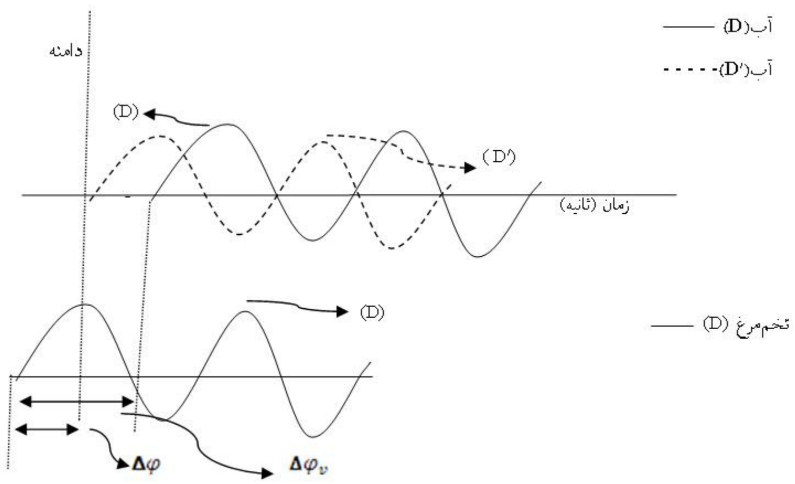
$$\frac{D_{in}}{C_{egg}} = \frac{D_{in}}{C_W} + \frac{\Delta\varphi}{2\pi f} - \frac{\Delta D}{C_W} \quad (۵)$$

و با تقسيم طرفين‌بر $D_{in}$، نهايتا" معادله سرعت فازي موج فراصوتي حاصل مي‌شود:

$$\frac{1}{C_{egg}} = \frac{1}{C_W} + \frac{\Delta\varphi}{2\pi f.D_{in}} - \frac{1}{C_W}(\frac{\Delta D}{D_{in}})$$
$$\frac{1}{C_{egg}} = (1 - \frac{\Delta D}{D_{in}})\frac{1}{C_W} + \frac{\Delta\varphi}{2\pi f.D_{in}} \quad (۶)$$

كه در آن $C_{egg}$ سرعت موج فراصوتي در مايع تخم‌مرغ (برحسب m/s)؛ $D_{in}$ قطر داخلي تخم‌مرغ با حذف دو برابر ضخامت پوسته (برحسب m)؛ $C_W$ سرعت موج فراصوتي در آب (m/s ۱۴۹۷ در ۲۵°C)؛ $\Delta\varphi$ اختلاف فاز بين سيگنال فراصوتي تخم‌مرغ و سيگنال حاصل از پوسته تخم‌مرغ پر از آب (Rad)؛ $\Delta\varphi_V$ اختلاف فاز بين سيگنال فراصوتي تخم‌مرغ و پوسته تخم‌مرغ پر از آب بدون جابه‌جايي (پوسته ثابت بين سنجه‌ها) است.

با كمک اين معادله امكان تعيين سرعت فازي در مايع تخم‌مرغ بدون شكستن تخم‌مرغ امكان پذير است. در اين رابطه $\Delta\varphi$ با گرفتن تبديل فوريه از سيگنال‌هاي فراصوتي پس از محاسبات مربوطه به دست مي‌آيد.



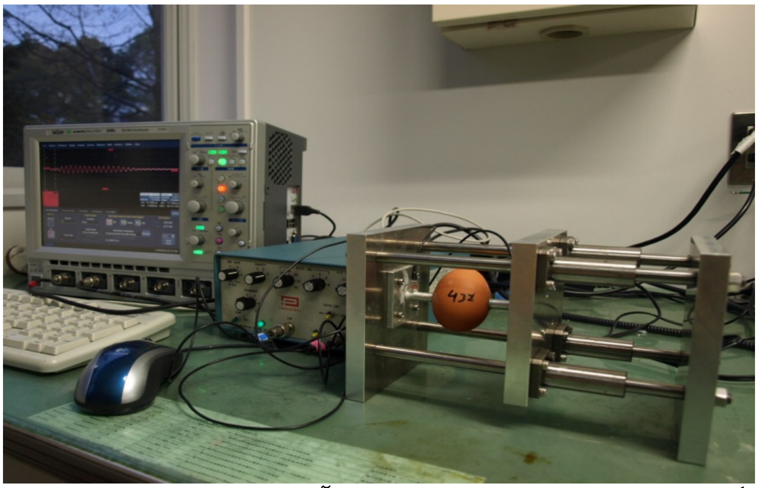

شكل ۲- مقايسه ساده اختلاف فاز سيگنال عبوري از مايع تخم‌مرغ و پوسته پر از آب

## ۲-۱- ساخت دستگاه فراصوتي

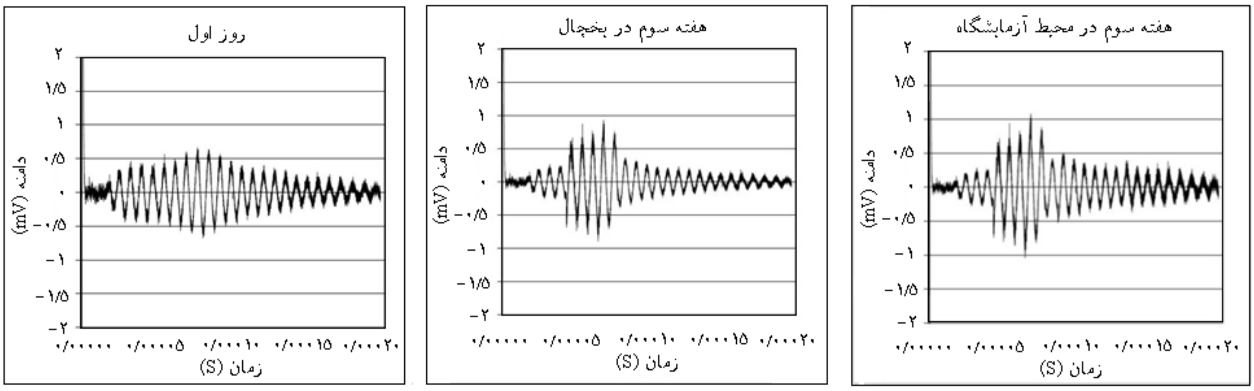
در اين تحقيق براي تعيين تغييرات سرعت و ميرايي امواج، دستگاه نگهدارنده سنجه‌هاي فراصوتي و تخم‌مرغ طراحي و ساخته شد. براي جلوگيري از هر گونه حركت ارتعاشي سنجه‌ها و تماس مستقيم با سطح پوسته تخم‌مرغ، سنجه‌ها بر روي صفحه ثابت و متحرک مطابق شكل ۳ نصب شدند. اين دستگاه شامل دو صفحه فلزي است، يكي از صفحات ثابت و ديگري روي چهار ميله صيقلي با کمک ياتاقان‌هاي غلتكي به راحتي لغزش مي‌كند. سنجه‌هاي فراصوت (الكترونيك اينسترومنت[31] AE-۹۰۱۰, NF) با فركانس ۱۵۰kHz) بر روي اين صفحات قراردارد. تخم‌مرغ بين دو سنجه قرار گرفته و به‌وسيله پيچ مخصوص، تخم‌مرغ در طول قطربزرگ آن ثابت نگه داشته مي‌شود. سيگنال‌هاي تكرار شونده فراصوت به‌وسيله يک فرستنده-گيرنده (پانامتريك[32] ,۵۰۵۵PR) به سنجه فراصوتي ارسال شده و به‌وسيله سنجه ديگر با کمک روش عبوري سيگنال‌هاي فراصوتي از طريق يک نمايشگر[33] (لكروي[33] ۲۰۰MHz) نمايش و براي هر تخم‌مرغ بي‌درنگ ذخيره مي‌گردد. شكل ۵ نمونه‌اي از سيگنال‌هاي ثبت شده براي تخم‌مرغ در محيط‌هاي متفاوت را نشان مي‌دهد.

## ۲-۲- آماده‌سازي نمونه‌ها

در مطالعه حاضر ۳۰۰ عدد تخم‌مرغ با اندازه متوسط در روز اول تخم‌گذاري از مزرعه مرغ تخم‌گذار نژاد بوريس براون[34] واقع در نزديكي شهر كيوتو در كشور ژاپن در سن ۳۳ هفتگي انتخاب شدند. تمام تخم‌مرغ‌ها پس از انتقال به آزمايشگاه ابتدا شماره‌گذاري، سپس به وسيله ترازوي الكترونيكي با دقت ۰/۱mg توزين شدند. سرانجام تمام تخم‌مرغ‌ها به دو گروه تقسيم شده، نيمي از آنها در محيط آزمايشگاه در دماي ۲۲°C تا ۲۵°C و رطوبت ۴۰% و بقيه در يخچال در دماي ۴°C تا ۵°C و رطوبت ۷۵% نگهداري شدند.



شكل ۳- دستگاه نگهدارنده سنجه‌هاي فراصوتي و تخم‌مرغ براي آزمون غيرتخريبي فراصوت ساخته شده در اين تحقيق




شكل ۴– نمونه‌اي از سيگنال‌هاي ثبت شده در روز اول و هفته سوم آزمايش در شرايط مختلف نگهداري

[31] Electronic Instruments [32] Panametrics [33] Lecroy Wavesurfer [34] Boris Brown

شروع آزمايش در روز اول تخم‌گذاري و پس از انتقال تخم‌مرغ به محيط آزمايشگاه صورت گرفت. در هر نوبت ۲۵ عدد تخم‌مرغ از محيط آزمايشگاه و ۲۵ عدد تخم‌مرغ از درون يخچال مورد آزمايش قرار گرفتند. ابتدا آزمايش غيرتخريبي ثبت سيگنال‌هاي فراصوتي از هر تخم‌مرغ و سپس آزمايش‌هاي تخريبي صورت گرفت.

## ۲-۳- آزمون غيرتخريبي

براي آزمون غيرتخريبي، از دستگاه نگهدارنده سنجه فراصوت استفاده شد (شكل ۳). آزمون از روز اول انتقال تخم‌مرغ‌ها به محيط آزمايشگاه شروع شده و در نوبت‌هايي با فواصل ۶ روز براي ۵ نوبت تكرار شدند. قبل از شروع آزمون در هر نوبت، تخم‌مرغ‌ها به‌وسيله ترازوي الكترونيكي با دقت ۰/۱mg توزين شدند. شايان توجه است پس از انتقال تخم‌مرغ‌ها از يخچال به اتاق و قبل از شروع اندازه‌گيري‌ها حدود ۴ ساعت تأمل شد تا آنها با درجه حرارت اتاق هم دما شوند. از ژل سونوگرافي به‌عنوان ماده واسط[۳۵] براي تماس پوسته تخم‌مرغ با سطح سنجه استفاده شد. سيگنال‌هاي فراصوتي با فركانس ۱۵۰kHz به‌صورت بي‌درنگ روي صفحه نمايشگر نمايش و به‌طور همزمان ذخيره شدند. عمليات ياد شده به‌صورت همزمان و در هر نوبت براي تمام ۲۵ عدد تخم‌مرغ در اتاق و ۲۵ عدد تخم‌مرغ داخل يخچال انجام و اين كار هر ۶ روز براي ۵ نوبت متوالي تكرار شد.

## ۲-۴- آزمون تخريبي

اين روش پس از ذخيره‌سازي سيگنال‌هاي فراصوتي و توزين تخم‌مرغ صورت گرفت. شاخص‌هاي كيفي مورد بررسي شامل زمان نگهداري تخم‌مرغ بر حسب روز، كاهش وزن تخم‌مرغ بر حسب گرم، ارتفاع حفره هوا بر حسب ميلي‌متر، ارتفاع سفيده غليظ بر حسب ميلي‌متر، واحد هاو، ارتفاع و پهناي زرده بر حسب ميلي‌متر و شاخص زرده هستند.

ارتفاع حفره هوا از فاصله كف پوسته تخم‌مرغ تا غشاء اتاقك هوايي در نظر گرفته شد. براي اين منظور ابتدا تخم‌مرغ شكسته شد و پوسته حاوي اتاقك هوايي به‌وسيله خمير مخصوص روي سطح شيشه‌اي صاف به صورت افقي قرار داده شد. به وسيله ريزسنج چهار نقطه از اين ارتفاع (وسط غشاء و اطراف آن) يادداشت و ميانگين آن به عنوان ارتفاع در نظر گرفته مي‌شود. براي تعيين ارتفاع سفيده غليظ، ارتفاع آن به فاصله ۱mm از زرده در ۳ يا ۴ نقطه به وسيله ريزسنج اندازه‌گيري و ميانگين آنها محاسبه شد. ارتفاع و پهناي زرده هم به همين روش و شاخص زرده نيز از تقسيم ارتفاع به پهناي زرده به‌دست آمد [۱۷]. براي به‌دست آوردن عدد هاو از رابطه (۷) استفاده مي‌شود [۱۸]:

$$HU = 100\log[H - \frac{\sqrt{G}(30W^{0.37} - 100)}{100} + 1.9] \quad (۷)$$

كه در آن $HU$ واحد هاو (عدد هاو)؛ $H$ ارتفاع سفيده غليظ بر حسب ميلي‌متر؛ $G$ عدد ثابت مساوي با ۳۲/۲؛ $W$ جرم تخم‌مرغ بر حسب گرم است. واحد هاو از شاخص‌هاي كيفي مهم براي تعيين كيفيت و تازگي تخم‌مرغ است كه به وزن تخم‌مرغ و ارتفاع سفيده غليظ بستگي دارد. هر چه عدد هاو بزرگ‌تر باشد بيانگر كيفيت بهتر تخم‌مرغ از نظر تازگي و مشتري پسنديست. با گذشت زمان واحد هاو كاهش مي‌يابد. شايان ذكر است همه اندازه‌گيري‌ها در دماي اتاق ۲۳ °C تا ۲۵ °C صورت گرفت.

## ۳- نتايج و بحث

نتايج ميانگين داده‌هاي شاخص‌هاي كيفي به صورت تخريبي در جداول ۱ و ۲ آمده است. ميانگين و انحراف معيار داده‌ها براي ۳۰۰ عدد تخم‌مرغ در فواصل زماني ۶ روز براي ۵ نوبت در شرايط مختلف نگهداري يخچال و اتاق نشان داده شده است. تخم‌مرغ‌ها داراي ميانگين وزني ۶۰/۷۷g بودند. همان‌طور كه در جداول ملاحظه مي‌شود ارتفاع حفره هوايي از دومين روز پس از شروع آزمون به صورت معناداري زياد شده و پس از حدود ۵ هفته نگهداري در شرايط دماي حدود ۴°C تا ۵°C و رطوبت ۷۵% دو برابر شده است در حالي‌كه در شرايط نگهداري اتاق ۲۳°C تا ۲۵°C و رطوبت ۴۰% عمق اتاقك هوايي پس از ۳۵ روز سه برابر مي‌شود. ارتفاع سفيده غليظ، عدد هاو و شاخص زرده به‌صورت معناداري در

[35] Couplant

شرايط مختلف نگهداري اتاق و يخچال كاهش يافت. مطابق جداول ۱ و ۲ اختلاف معناداري در سطح ۵% بين شاخص‌هاي كيفي تخم‌مرغ مانند عدد هاو، ارتفاع سفيده غليظ، ارتفاع حفره هوا و شاخص زرده در شرايط مختلف نگهداري تخم‌مرغ مشاهده مي‌شود. در ادامه از آزمون چند دامنه‌اي دانكن[۳۶] براي مقايسه ميانگين‌ها و همچنين نرم افزار SAS 8.1 براي تحليل داده‌ها استفاده شد.

جدول ۱- مقادير ميانگين و انحراف معيار شاخص‌هاي كيفي تخم‌مرغ در شرايط نگهداري يخچال (۵°C و رطوبت نگهداري ۷۵%)*

| زمان نگهداري (روز) | وزن (g) | ارتفاع سفيده غليظ (mm) | واحد هاو | ارتفاع زرده (mm) | شاخص زرده | ارتفاع حفره هوا (mm) | سرعت فازي (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| روز اول تخم گذاري | ۶۰/۷۷ (±۱/۵۶) | ۸/۴۰ a (±۰/۸۵) | ۸۸/۹۱ a (±۳/۲) | ۱۷/۳۴ a (±۱/۰۱) | ۰/۴۳ a (±۰/۰۲) | ۳/۵۲ a (±۰/۰۲) | ۱۵۷۳/۷۲ a |
| ۷ | ۶۰/۰۷ (±۱/۴۵) | ۶/۴۸b (±۰/۵۱) | ۸۰/۱۳b (±۳/۸) | ۱۷/۰۱ a (±۰/۴) | ۰/۴۲ ab (±۰/۰۱) | ۴/۳۴ b (±۰/۴) | ۱۵۵۸/ ۳۲ a |
| ۱۴ | ۵۹/۷۳ (±۱/۶۹) | ۶/۱۷ cb (±۰/۶۵) | ۷۶/۲۲c (±۵) | ۱۶/۶۵ba (±۰/۴۵) | ۰/۴۰bc (±۰/۰۱) | ۴/۸۶ c (±۰/۴) | ۱۵۵۲/۱۷ b |
| ۲۱ | ۵۹/۳۹ (±۱/۵) | ۵/۹۸ c (±۰/۲۵) | ۷۳/۴۷dc (±۲) | ۱۶/۲۸bc (±۰/۳) | ۰/۳۹ cd (±۰/۰۱) | ۵/۰۸ c (±۰/۳) | ۱۵۴۰/۱۲ b |
| ۲۸ | ۵۹/۰۹ (±۱/۸۰) | ۵/۴۲ d (±۰/۴) | ۶۹/۶۰e (±۳) | ۱۶/۰۳c (±۰/۴۵) | ۰/۳۸ d (±۰/۰۱) | ۵/۲۶ d (±۰/۵) | ۱۵۴۳/۱۹ b |
| ۳۵ | ۵۸/۹۷ (±۱/۷۰) | ۵/۰۳ e (±۰/۳۵) | ۶۷/۲۸e (±۴) | ۱۵/۶۸d (±۰/۴۵) | ۰/۳۵ e (±۰/۰۲) | ۵/۶۰d (±۰/۴) | ۱۵۴۴ b |

* حروف الفبايي مشابه در هر ستون بيانگر عدم وجود اختلاف بين ميانگين داده‌ها (p<۰/۰۵) و اعداد داخل پرانتز بيانگر انحراف معيار براي ۲۵ تخم‌مرغ است.

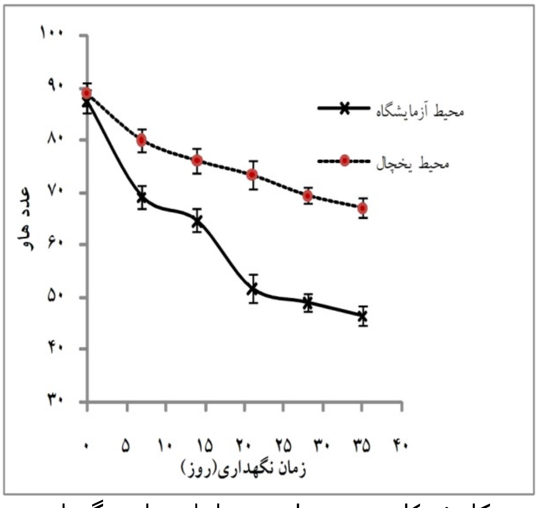
جدول ۲- مقادير ميانگين و انحراف معيار شاخص‌هاي كيفي تخم‌مرغ در شرايط نگهداري اتاق (۲۴°C و رطوبت نگهداري ۴۰%)*

| زمان نگهداري (روز) | وزن (g) | ارتفاع سفيده غليظ (mm) | واحد هاو | ارتفاع زرده (mm) | شاخص زرده | ارتفاع حفره هوا (mm) | سرعت فازي (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| روز اول تخم گذاري | ۶۰/۷۷ (±۱/۵۹۷) | ۷/۷۸ a (±۱) | ۸۷/۴۳a (±۸) | ۱۷/۵۱ a (±۰/۸۲) | ۰/۴۴ a (±۰/۰۲) | ۳/۵۸ a (±۰/۴۷) | ۱۵۷۱/۳۹ a |
| ۷ | ۵۹/۳۴ (±۲/۱۸۳) | ۵/۱۵ b (±۰/۷۵) | ۶۹/۳۰ b (±۶) | ۱۵/۸۵ b (±۰/۷۲۷) | ۰/۳۷ b (±۰/۰۱) | ۵/۶۰b (±۰/۳۶) | ۱۵۵۴/۰۳ a |
| ۱۴ | ۵۹/۵۲ (±۱/۶۴) | ۴/۸ b (±۱/۲) | ۶۴/۷۴ b (±۷) | ۱۴/۵۳ c (±۰/۵۵) | ۰/۳۲ c (±۰/۰۱) | ۶/۷۳ c (±۰/۳۹) | ۱۵۲۵/۰۶ b |
| ۲۱ | ۵۸/۷۶ (±۱/۶۵) | ۳/۵۰ c (۰±/۶۵) | ۵۱/۸ c (±۸) | ۱۳/۱۶ d (۰/۸۲) | ۰/۲۹ d (±۰/۰۲) | ۷/۶۳ d (±۰/۶۵) | ۱۵۱۴/۸۶ b |
| ۲۸ | ۵۷/۸۰ (±۱/۸۱) | ۳/۱۷ c (±۰/۹۱) | ۴۸/۴ c (±۶) | ۱۳/۰۶ d (±۰/۸۵) | ۰/۲۸ d (±۰/۰۱) | ۹/۲ e (±۰/۶۲) | ۱۵۱۸/۱۱ b |
| ۳۵ | ۵۶/۴۴ (±۲/۰۹) | ۲/۹۰ d (±۰/۷) | ۴۳/۱ d (±۷) | ۱۱/۷۷ e (±۱/۵) | ۰/۲۵ e (±۰/۰۲) | ۱۱/۱۸f (±۱/۵) | ۱۵۱۳ b |

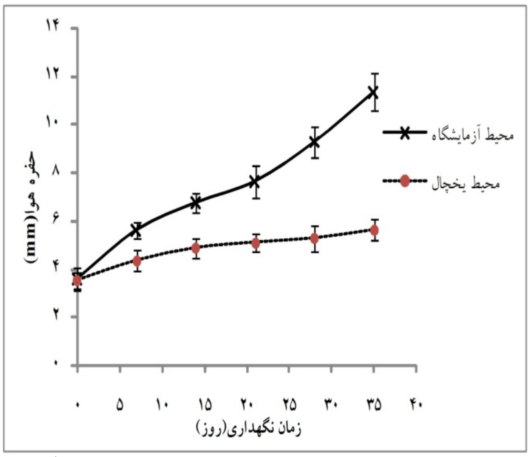
* حروف الفبايي مشابه در هر ستون بيانگر عدم وجود اختلاف بين ميانگين داده‌ها (p<۰/۰۵) و اعداد داخل پرانتز بيانگر انحراف معيار براي ۲۵ تخم‌مرغ است.

[36] Duncan multiple range test

با افزايش زمان نگهداري تخم‌مرغ‌ها نسبت ارتفاع سفيده غليظ به رقيق كاهش مي‌يابد. به سادگي مي‌توان دريافت نرخ كاهش ارتفاع سفيده غليظ در شرايط نگهداري اتاق بيش از شرايط نگهداري داخل يخچال است. اين امر به ما نشان مي‌دهد كه درجه حرارت عامل مهمتري در تعيين كيفيت تخم‌مرغ در مقايسه با مدت زمان ذخيره‌سازي تخم‌مرغ است. به عبارت ديگر در مقايسه، رقيق شدن سفيده غليظ بيشتر تحت تأثير درجه حرارت محيط نگهداري تخم‌مرغ است تا مدت زمان نگهداري. شكل ۵ بيانگر كاهش معنادار عدد هاو تخم‌مرغ در شرايط مختلف نگهداري است كه عامل اصلي آن كاهش وزن و كاهش غلظت سفيده غليظ است. در طول زمان نگهداري ميزان غلظت اسيدهاي آمينه از ۰/۱۴µmol تا ۲/۳ افزايش مي‌يابد [۱۹].كاهش دي اكسيدكربن داخل پوسته تخم‌مرغ يكي از عوامل كاهش غلظت سفيده غليظ و افزايش pH آن در نتيجه است و اين روند تا تعادل يافتن دي‌اكسيدكربن بيرون و داخل پوسته ادامه مي‌يابد [۲۰]. همچنين در شكل ۶ افزايش عمق حفره هوايي در درجه دماي اتاق و يخچال در مدت ۵ هفته نگهداري به وضوح ملاحظه مي‌شود. همان‌طور كه ديده مي‌شود افزايش عمق حفره هوايي در يخچال (از ۳/۵۲mm تا ۵/۶۰mm) كمتر از تغييرات در اتاق (از ۳/۵۸mm تا ۱۱/۸mm) است. اين امر مي‌تواند مربوط به درجه حرارت نگهداري، رطوبت محيط و تبخير محتواي رطوبتي مايع تخم‌مرغ از خلل و فرج پوسته باشد.

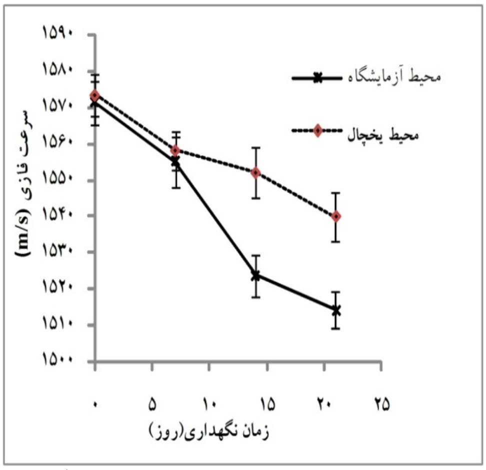



شكل ۵- كاهش عدد هاو در شرايط مختلف نگهداري

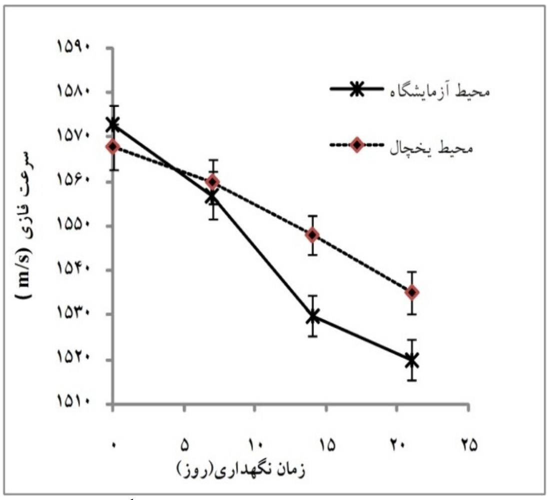



شكل ۶- افزايش عمق حفره هوايي در شرايط مختلف نگهداري

شكل ۷ كاهش سرعت سيگنال فراصوتي با فركانس ۱۵۰kHz در شرايط مختلف نگهداري تخم‌مرغ براي ۳ هفته را نشان مي‌دهد. در شكل ۸ همين روند را براي سيگنال هاي فراصوتي آزمون غيرتخريبي در ميانگين داده‌ها براي ۲۵ تخم‌مرغ در ۳ هفته متوالي مي‌توان به عنوان شاهد مشاهده نمود. از دلايل اين امر را مي‌توان به كاهش غلظت و چگالي سفيده غليظ متناسب با زمان دانست. براي اطمينان از صحت روش به كار برده شده همزمان با آزمون و ثبت داده‌ها در آزمون‌هاي تخريبي و غيرتخريبي به شرح ذكر شده، ۲۵ عدد تخم‌مرغ ثابت در محيط آزمايشگاه و ۲۵ عدد در محيط يخچال نگهداري شده و هر هفته اين تخم‌مرغ‌ها در بين دو مبدل فراصوت قرار داده شدند و سيگنال‌هاي فراصوتي آنها ثبت شد. سپس به محيط اوليه در يخچال يا آزمايشگاه برگردانده و اينكار براي نوبت‌هاي متوالي تكرار شد.

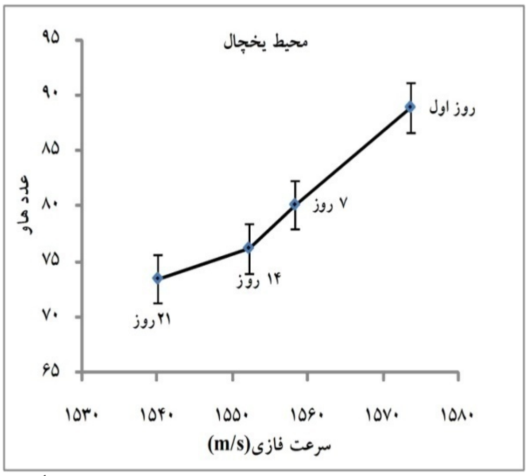



شكل ۷- كاهش سرعت فاز در شرايط مختلف نگهداري در آزمون تخريبي

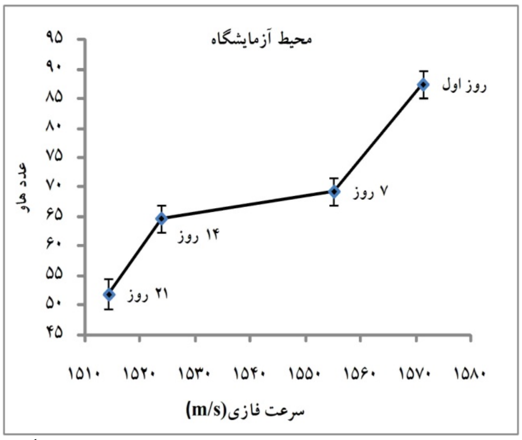



شكل ۸- كاهش سرعت فازي درشرايط مختلف نگهداري براي ۲۵ تخم‌مرغ در آزمون غيرتخريبي

با مقايسه شكل‌هاي ۷ و ۸ روند يكساني براي ميانگين داده‌هاي سرعت فازي به دست آمده در سه هفته متوالي از سيگنال‌هاي آزمون غير تخريبي براي ۲۵ تخم‌مرغ به عنوان نمونه‌هاي شاهد مي‌توان مشاهده كرد. شكل‌هاي ۹ و ۱۰ رابطه سرعت موج فراصوتي و عدد هاو در شرايط مختلف نگهداري را به مدت ۳ هفته نمايش مي‌دهند. اين روند كاهشي ميانگين داده‌ها در يخچال از ۱۵۷۳ m/s به ۱۵۴۰m/s پس از ۲۱ روز بوده و در شرايط محيطي آزمايشگاه از ۱۵۷۱m/s در روز اول به ۱۵۱۴ m/s پس از سه هفته مي‌رسد. ملاحظه مي‌شود كه روند كاهش سرعت متناسب با زمان در محيط آزمايشگاه سريع‌تر از محيط نگهداري يخچال است.

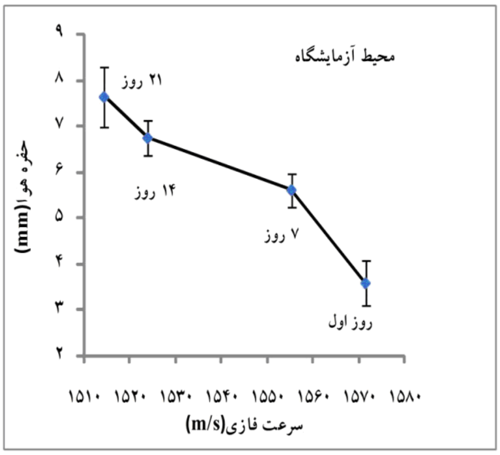



شكل ۹- رابطه سرعت فاز و عدد هاو در مدت سه هفته نگهداري تخم‌مرغ دريخچال (۵°C و رطوبت ۷۵%)

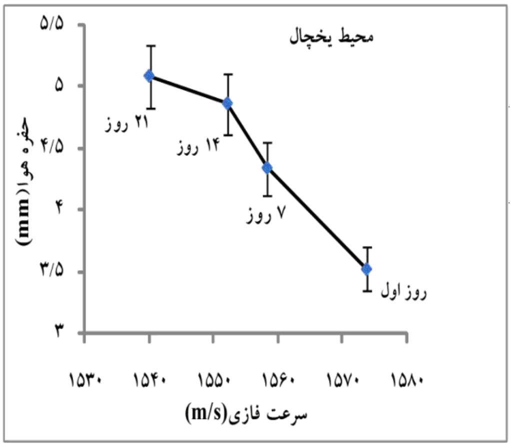



شكل ۱۰- رابطه سرعت فاز و عدد هاو در مدت سه هفته نگهداري تخم‌مرغ در آزمايشگاه (۲۴°C و رطوبت ۴۰%)

شكل‌هاي ۱۱ و ۱۲ همزمان با روند افزايش عمق اتاقك هوايي (حفره هوا) كاهش سرعت فازي را در شرايط مختلف محيطي نگهداري تخم‌مرغ نشان مي‌دهد.




شكل ۱۱- رابطه سرعت فاز و عمق اتاقك هوايي در شرايط نگهداري آزمايشگاه (۲۴°C و رطوبت ۴۰%)




شكل ۱۲- رابطه سرعت فاز و عمق اتاقك هوايي در شرايط نگهداري يخچال (۵°C و رطوبت ۷۵%)

## ۴- نتیجه‌گیري

در اين مقاله روشي مؤثر و نوين براي كيفيت‌سنجي شاخص‌هاي تازگي تخم‌مرغ خوراكي، از طريق اندازه‌گيري سرعت فازي سيگنال فراصوت در داخل ماده تخم‌مرغ ارائه شده است. در روش پيشنهادي سرعت فازي سيگنال فراصوتي به كمک تبديل فوريه سيگنال و در قالب يک فرمول جديد محاسبه و تغييرات آن با پارامترهاي تخريبي تعريف شده و معمول مقايسه شد. براي ارزيابي كيفيت روش پيشنهادي، آزمون غيرتخريبي و تخريبي روي ۳۰۰ عدد تخم‌مرغ در شرايط محيطي آزمايشگاه و در يخچال در نوبت‌هاي متوالي انجام گرفت. بررسي‌ها با توجه به نمودارها و جداول نشان داد كه با افزايش زمان نگهداري تخم‌مرغ‌ها عدد هاو و شاخص زرده كاهش و عمق حفره هوايي افزايش يافته است. همچنين پس از محاسبه سرعت فازي سيگنال‌هاي فراصوتي نشان داده شد كه اندازه آن در شرايط مختلف محيطي كاهش مي‌يابد. روند كاهش سرعت از حدود ۱۵۷۱m/s در روز اول به ۱۵۴۰ m/s در شرايط نگهداري در يخچال و ۱۵۱۴m/s در شرايط نگهداري در محيط آزمايشگاه پس از سه هفته است. اين پژوهش نشان مي‌دهد كه استفاده از امواج فراصوت توانايي تشخيص غيرتخريبي كيفيت تخم‌مرغ خوراكي را در شرايط مختلف محيطي داراست.

## سپاسگزاري

بدين‌وسيله از همكاري گروه مهندسي فراوري محصولات كشاورزي دانشگاه كيوتو ژاپن كه امكانات انجام اين پژوهش را فراهم آوردند صميمانه تشكر و قدرداني مي‌شود.

## مراجع


[1] Abbott J.A., Lu R., Upchurch B.L., Stroshine R.L., Technology for nondestructive quality evaluation of fruits and vegetables. Hortic. Rev., 1997; 20: 1-120.

[2] Butz P., Hofmann C., Tauscher B., Recent developments in noninvasive techniques for fresh fruit and vegetable quality analysis. Journal of Food Science., 2005; 70 (9): 131-141.

[3] Povey M. J. W., Ultrasonic techniques for fluids characterization, Academic press, Inc: 1997: 50-70.

[4] Fitzgerald J.W., Ringo G.R., and Winder C.W., An ultrasonic method for measurement of solid-non-fat in fluid milk. J.Dairy Sci., 1961; 44: 1165.

[5] Mizrach A., Galili N., Rosenhouse G., Determination of fruit and vegetable properties by ultrasonic excitation. ASAE.,1989; 32 (6): 2053-2058.

[6] Sundaram G., Chyung A., Evaluating milk coagulation with ultrasonic.Food technology., 1994; 74-78.

[7] Mizrach A., Flitsanov U., Maltz E., Spahr S.L., Novakofski J.E., Mutphy M.R., Ultrasonic assessment of body condition changes of the dairy cow during lactation.ASAE., 1999; 42(3): 805-812.

[8] Gould, R.W., Non Destructive egg shell thickness measurement using ultrasonic energy. Poultry Science., 1972; 51: 1460-1461.

[9] Voisey, P.W., Hamilton R.M.C., Ultrasonic measurement of egg shell thickness. Poultry Science., 1976; 55: 1319-1324.

[10] Povey, M. J. W., Wilkinson C. Application of the ultrasonic pulse echo technique to egg albumen quality testing: A preliminary report Br. Poultry Sci., 1980; 21: 489-495.

[11] Peebles, E.D., Charls R.P., Pugh E., Boyle C.R., Latour M.A., Pugh N.P., Brake J.D., Ultrasonography as a tool for monitoring, In: Ovo Chicken Development 2. Effects of eggshell alteration and ultrasonography on embryonic and posthatch development. Poultry science., 1993; 72: 2247-2253.

[12] Akashi N., Kushibiki J., Dunn F., Acoustic properties of egg yolk and albumen in the frequency range 20-400 MHz. J.of the Acoustical Society of America, 1997; 102(6): 3774-8.

[13] Cho K.O., Choi W.K., Peak J.H., Detection of surface cracks in shell eggs by acoustic impulse method.ASAE., 2000; 43(6): 1921-1926.

[14] Jindal K., Sritham E., Detecting eggshell cracks by acoustic impulse response and artificial neural networks.ASAE meeting. 2003; Paper No: 036170

[15] Mizrach A., Maltz E., Ignat T., Detection fertilized egg by ultrasonic methods. CIGR International Conference. Beijing, China. 2004; Book of Abstracts.

[16] Huang E., Mittal G.S., Griffiths M.W., Inactivation of Salmonella entertidis in liquid whole egg using combination treatments of pulsed electric field, high pressure and ultrasound. 2006; Biosystem Engineering.

[17] Funk E.M., The relation of the yolk index determined in natural position to the yolk index, as determined after separating the yolk from the albumen, Poultry Science., 1948; 27:p. 367.

[18] Haugh R.R., A new method for determining the quality of an egg, US Egg Poultry., 1937; 39: 27–49.

[19] Ducay E. D., Kline L., Mandeles S., Free amino acid content of infertile chicken eggs. Poult. Sci., 1960; 39: 831-835.

[20] Hill A.T., Hall, J.W. Effect of various combinations of oil spraying, washing, sanitizing, storage time, strain and age of layer upon albumen quality changes in storage and minimum sample sizes required for their measurement. Poultry Science., 1980; 59: 2237-2242.