

بررسی متغیرهای مؤثر بر پاسخ آکوستیک در تشخیص شکستگی پوسته تخم‌مرغ

مجید لشگری* و رضا محمدی گل**

* نگارنده مسئول: دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه اراک، اراک، ایران. تلفن: ۰۲۶۷۳۰۷ (۰۸۶)

پایم‌نگار: m-lashgari@araku.ac.ir

** به ترتیب: استادیاران گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۱۸

چکیده

در سالیان اخیر روش‌هایی مختلف برای سنجش آسیب‌های مکانیکی پوسته تخم‌مرغ در خطوط درجه‌بندی کیفی بررسی شده است. یکی از این روش‌ها استفاده از پاسخ آکوستیک آن است. با استفاده از این روش، انواع آسیب‌دیدگی‌های پوسته صدفی تخم‌مرغ که از عیوب ظاهری محسوب می‌شود، با تجزیه و تحلیل پاسخ آکوستیکی آنها به ضربه مکانیکی، قابل تشخیص خواهد بود. در این تحقیق، تاثیر متغیرهای مرتبط با سامانه آکوستیکی از قبیل جنس گوی ضربه‌زن، زاویه برخورد ضربه‌زن و موقعیت میکروفن نسبت به محل ضربه بر پاسخ آکوستیکی پوسته تخم‌مرغ در تشخیص انواع شکستگی پوسته بررسی شده است. بر این اساس، اثر متغیرها به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی و با سه تکرار روی هر نمونه مطالعه شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که سطوح مختلف جنس گوی، زاویه ضربه‌زن، موقعیت میکروفن و شکستگی پوسته بر سه دامنه و فرکانس اول اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد دارد. همچنین، نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از گوی پلاستیکی، زاویه ۴۵ درجه ضربه‌زن و موقعیت ۱۸۰ درجه میکروفن در طراحی سامانه آکوستیک برای تشخیص شکستگی پوسته تخم‌مرغ مناسب‌تر است.

واژه‌های کلیدی

آکوستیک، پوسته، تخم‌مرغ، شکستگی

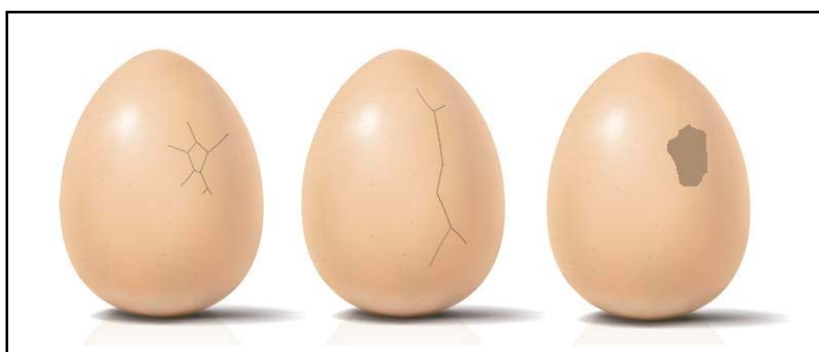
مقدمه

فراوانی مواجهه می‌سازد (Devegowda & Ravikiran, 2008). عواملی مانند تغذیه، تنش، بیماری، نژاد و سن مرغ تخمگذار در کیفیت پوسته تخم‌مرغ مؤثر هستند (Roberts, 2004)، اما نیروهای وارد بر پوسته تخم‌مرغ در مراحل جمع‌آوری، درجه‌بندی، بسته‌بندی و حمل و نقل از عوامل مکانیکی مهم در ایجاد شکستگی پوسته به شمار می‌آیند. به طور کلی، شکستگی‌های پوسته تخم‌مرغ به سه دسته تقسیم می‌شود: شکستگی کامل^۱، شکستگی مویین^۲ و شکستگی ستاره‌ای^۳ (Devegowda & Ravikiran, 2008). شکستگی کامل معمولاً در اثر ضربه‌های نوک و پنجه پرنده ایجاد می‌شود

تخم‌مرغ یکی از منابع اصلی پروتئین حیوانی در سبد غذایی در بسیاری از کشورهاست. تولید جهانی تخم در سال ۲۰۱۲ بالغ بر ۶۶ میلیون تن بوده است که در این میان کشور ایران با تولید ۶۲۵ هزار تن در سال ۲۰۱۲، حدود یک درصد تخم‌مرغ دنیا را تولید کرده است (Anon, 2012). تولید تخم‌مرغ‌هایی که کیفیت پوسته خوب و کیفیت درونی مناسب داشته باشند برای صنعت جهانی پرورش طیور، اهمیت اقتصادی بسزایی دارد. شکستگی پوسته تخم‌مرغ‌های خوراکی و جوجه‌کشی، صنعت تولید تخم مرغ را همواره با هزینه‌های

از روش نورآزمایی می‌توانند آن را مشخص کنند. شکستگی ستاره‌ای در اثر برخورد تخم‌مرغ‌ها با یکدیگر ایجاد می‌شود (Gupta, 2008). این نوع شکستگی معمولاً در نور طبیعی قابل رؤیت است اما برای تسریع در تشخیص آن از روش نورآزمایی استفاده می‌شود. میزان وقوع شکستگی‌های کامل، مویین و ستاره‌ای به ترتیب ۱-۵، ۱-۳ و ۱-۲ درصد کل تولید تخمین زده می‌شود (Cutts *et al.*, 2007)؛ شکل ۱ این نوع شکستگی‌ها را نشان می‌دهد.

که در این حالت قسمتی از پوسته کاملاً جدا خواهد شد و حفره‌ای در پوسته به وجود می‌آید. این نوع شکستگی معمولاً با آسیب‌دیدگی غشاهای داخلی تخم‌مرغ همراه است. شکستگی مویین در اثر برخورد تخم‌مرغ با سطح سخت ایجاد می‌شود (Gupta, 2008). در این حالت تنها پوسته صدفی تخم‌مرغ دچار آسیب می‌شود و غشاهای داخلی تخم‌مرغ بدون آسیب‌دیدگی هستند. چنین شکستگی، به ویژه در تخم‌مرغ تازه، به سهولت با چشم قابل رویت نیست و معمولاً افراد خبره با استفاده



شکل ۱- انواع شکستگی پوسته (از راست به چپ: کامل، مویین و ستاره‌ای)

نیز لازم است که نوع شکستگی در میزان جوجه‌آوری مؤثر است (Khabisi, *et al.*, 2012). بنابراین، با توجه به درصد قابل توجه تخم‌مرغ شکسته نسبت به کل محصول تولید شده، تحقیقاتی در خصوص یافتن روش‌هایی نوین به منظور افزایش میزان جوجه‌آوری تخم‌مرغ‌های شکسته از نوع مویین نیز انجام شده است (Narahari *et al.*, 2000)؛ شکستگی مویین را می‌توان با ماده‌ای پوششی مانند لاک پوشاند که به این ترتیب تبخیر آب و ورود آلودگی محدود می‌شود (Simsek & Gurses, 2009). بنابراین، علاوه بر جداسازی تخم‌مرغ‌های سالم و شکسته، تفکیک انواع شکستگی نیز اهمیت بسزایی دارد.

به طور سنتی، شکستگی پوسته تخم‌مرغ با استفاده از روش نورآزمایی^۱ تشخیص داده می‌شود. در این روش،

وجود شکستگی در پوسته تخم‌مرغ باعث ورود انواع آلودگی‌ها به درون آن می‌شود و سلامت محصول را برای مصرف خوراکی تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. وجود شکستگی در پوسته تخم‌مرغ مدت زمان نگهداری آن را کاهش می‌دهد. از همین رو، تخم‌مرغ‌های شکسته بازارپسندی پایینی دارند. اما نکته مهم‌تر در خصوص تخم‌مرغ شکسته، تأثیر چشم‌گیر آن بر میزان جوجه‌آوری است (Barnett *et al.*, 2004). در این نوع تخم‌مرغ، با توجه به تبخیر زیاد آب، رشد جنین دچار مشکل می‌شود و در شرایطی به مرگ جنین و سرانجام به کاهش درصد جوجه‌آوری می‌انجامد (Kiricki *et al.*, 2004). از این رو بررسی وضعیت پوسته تخم‌مرغ‌های شکسته و تفکیک تخم‌مرغ آسیب دیده از تخم‌مرغ سالم^۲ بسیار با اهمیت است. یادآوری این نکته

عوامل متعددی مانند محل ضربه، جنس و وزن گوی ضربه‌زن، سرعت گوی در لحظه برخورد با نمونه و محل داده‌برداری نسبت به محل ضربه، در طراحی سامانه آکوستیکی و در نتیجه پاسخ آکوستیکی تاثیرگذارند. در تحقیقاتی که تاکنون در این خصوص انجام گرفته است به پیش‌آزمایش‌هایی برای انتخاب این عوامل اشاره شده اما به جزئیات آنها اشاره نشده است. در تحقیقات مشابه، تنوع انتخاب این عوامل کاملاً به چشم می‌خورد. هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر متغیرهای سامانه آکوستیکی از قبیل جنس گوی ضربه‌زن، زاویه برخورد ضربه‌زن و موقعیت میکروفن نسبت به محل ضربه بر پاسخ آکوستیکی تخم‌مرغ در تشخیص انواع شکستگی پوسته است. نتایج این تحقیق می‌تواند در طراحی تجهیزات سامانه آکوستیک محصولات کشاورزی مفید واقع شود.

مواد و روش‌ها

انتخاب نمونه‌ها

تخم‌مرغ‌های مورد نیاز در این تحقیق در بهار سال ۱۳۹۴ از یکی از مرغداری‌های صنعتی مجاز و مورد تایید اداره بهداشت تهیه و پس از انتقال آنها به آزمایشگاه، تخم‌مرغ‌های با شکل طبیعی، دارای پوسته صدفی یکنواخت و عاری از آلودگی انتخاب شدند. یکایک تخم‌مرغ‌ها از نظر شکستگی پوسته با استفاده از روش نورآزمایی بررسی و سرانجام ۹۹ تخم‌مرغ کاملاً سالم و فاقد هرگونه ناهنجاری به عنوان نمونه‌های آزمایشی انتخاب شدند. مشخصات فیزیکی نمونه‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

شخص خبره در فضای نیمه تاریک با قرار دادن یکایک تخم‌مرغ‌ها در مقابل منبع نور قوی آنها را با چشم بازرسی می‌کند. از معایب این روش می‌توان به این موارد اشاره کرد: نیاز به افراد خبره، سرعت پایین، امکان بروز خطای انسانی در حین بازرسی در اثر خستگی و قابل استفاده نبودن آن در خطوط درجه‌بندی و بسته‌بندی. از این رو انواع شیوه‌های غیرمخرب ماشینی برای تشخیص شکستگی پوسته تخم‌مرغ مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله این روش‌ها پاسخ ارتعاشی (Wang & Jiang, 2005; Zhao et al., 2010) و بهره‌گیری از ماشین بینایی است (Leiqing et al., 2007; Li et al., 2012a).

یکی دیگر از روش‌های تشخیص کیفیت داخلی و ظاهری تخم‌مرغ استفاده از پاسخ آکوستیک پوسته آن است. با استفاده از این روش، انواع شکستگی پوسته صدفی تخم‌مرغ‌ها (که یکی از عیوب ظاهری محسوب می‌شود) با تجزیه و تحلیل آکوستیکی پاسخ آنها به ضربه مکانیکی در حوزه فرکانسی، قابل تشخیص خواهد بود. در خصوص تشخیص شکستگی پوسته تخم‌مرغ با استفاده از پاسخ آکوستیک تحقیقات بسیاری شده است. به منظور تشخیص و طبقه‌بندی تخم‌مرغ براساس شکستگی پوسته، پاسخ آکوستیک به همراه الگوریتم‌های مختلف از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی (Pan et al., 2011; Jindal & Sritham, 2003)، تبدیل موجک (Deng et al., 2010; Li et al., 2012 b)، ماشین بردار پشتیبان (Lin et al., 2009; Xiong, 2011)، نزدیکترین همسایه (Lin et al., 2009)، تحلیل مولفه‌های اصلی (Hashemian et al., 2014; Abdanan Mehdizadeh, 2014) و الگوریتم‌های دیگر (Sun, et al., 2013; Cho, et al., 2000) بررسی شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی نمونه‌ها

انحراف معیار	میانگین	بیشینه	کمینه	وزن (گرم)
۴/۲۲	۵۳/۲۰	۶۳/۶۶	۴۰/۲۸	

برای ایجاد شکستگی مویین، تخم‌مرغ‌ها روی سطح شیب‌داری به طول ۱۵ سانتی‌متر با زاویه ۱۰ درجه رها شدند که در انتهای آن دیواره‌ای سخت و غیر قابل انعطاف تعبیه شده بود. در اثر برخورد نمونه‌ها با دیواره انتهایی، شکستگی مویین در راستای مدار نصف‌النهار آنها به وجود آمد. به منظور ایجاد شکستگی ستاره‌ای از یک آونگ ساده استفاده شد. این آونگ با گوی فلزی توخالی ۵۰ گرمی آن از زاویه ۴۵ درجه رها و در اثر برخورد آن با نمونه‌ها، شکستگی ستاره‌ای ایجاد شد. شکل ۲ نمونه تخم‌مرغ‌های مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد که به دو روش مذکور، شکستگی‌های مویین و ستاره‌ای در آنها ایجاد شده است. این دو تصویر با استفاده از روش نورآزمایی تهیه شده‌اند.

نمونه‌های آزمایش به سه گروه ۳۳ عددی تقسیم و گروه اول به عنوان نمونه‌های سالم شماره‌گذاری شدند. گروه‌های ۳۳ عددی دوم و سوم نیز به ترتیب برای ایجاد شکستگی مویین و ستاره‌ای در نظر گرفته شدند. با توجه به تفاوت چشمگیر در اندازه و الگوی شکستگی‌ها که به طور طبیعی در مراحل مختلف جمع‌آوری و بسته‌بندی تخم‌مرغ‌ها به وجود می‌آید، در اکثر تحقیقات شکستگی‌ها به صورت مصنوعی ایجاد می‌شوند (Deng et al., 2010; Li et al., 2012 b). در این تحقیق نیز شکستگی‌های مویین و ستاره‌ای به صورت دستی و با اعمال نیرو به دو روش متفاوت ایجاد شدند. با توجه به دلیل ایجاد دو نوع شکستگی مورد مطالعه در این تحقیق که پیشتر به آنها اشاره شد، آزمایش‌های اولیه به منظور یافتن روشی برای ایجاد دو نوع شکستگی صورت گرفت.



شکل ۲- نمونه شکستگی پوسته، (راست) مویین و (چپ) ستاره‌ای

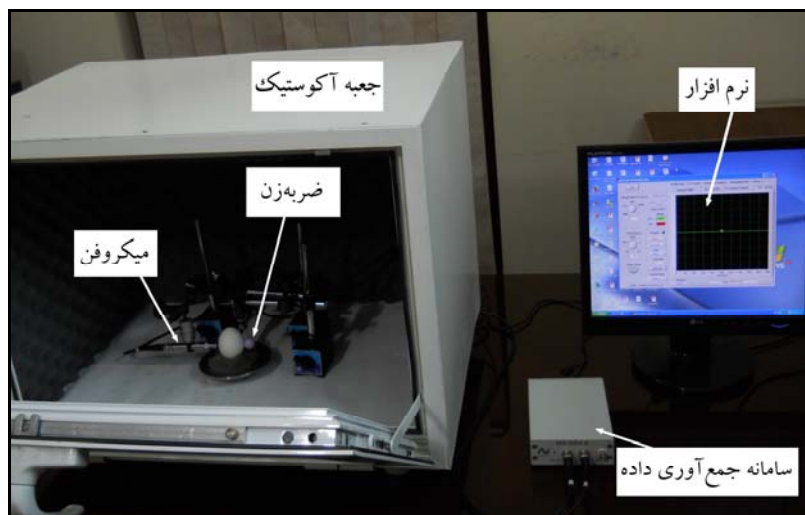
صدای ضربه از دیواره‌ها و دریافت آنها با میکروفن می‌تواند در نتایج صحیح آزمایش‌ها خلل وارد نماید. برای پیشگیری از این موضوع، تمامی جدار داخلی دیواره‌ها، به جز کف که محل نصب تجهیزات و در ورودی که از شیشه ساخته شده بود، با مواد جاذب صدا پوشانده شدند. ماده جاذب صدا که در جعبه آکوستیک به کار گرفته شد، اصطلاحاً شانه تخم مرغی گفته شده است. صدا در برجستگی‌ها و فرورفتگی‌های متعدد موجود روی سطح ماده به کار رفته نفوذ می‌کند، به معنای دیگر صدا جذب و از برگشت دوباره

سامانه آکوستیک

برای اجرای آزمایش‌ها یک جعبه آکوستیک ساخته شد. به منظور جلوگیری از ورود صدای محیط اطراف به درون جعبه، دیواره‌های آن دو جداره ساخته شدند و در فضای بین دو جدار فوم تزریق شد. در ورودی جعبه نیز مجهز به شیشه دوجداره گردید تا امکان دیدن نمونه‌ها در حین آزمایش فراهم باشد و از ورود صداهای مزاحم محیطی جلوگیری شود. از آنجا که سطوح صیقلی فلزی منعکس‌کننده خوبی برای صدا هستند بنابراین انعکاس

داده شده است؛ در این شکل، محل استقرار تخم مرغ‌ها، موقعیت میکروفن و ضربه‌زن نیز قابل مشاهده است.

آن به محیط درون جعبه جلوگیری می‌شود. جعبه آکوستیک مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۳ نشان

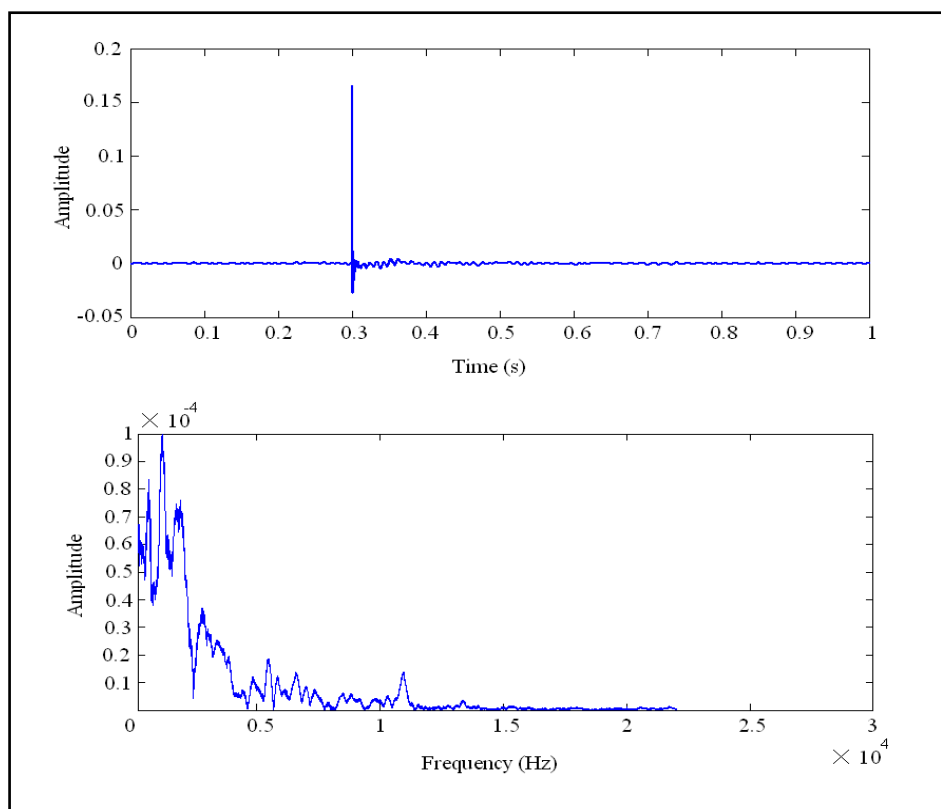


شکل ۳- سامانه آکوستیک

در این تحقیق جهت اندازه‌گیری صدای حاصل از ضربه در حوزه زمان از یک میکروفن متراکم‌کننده^۱ و از پیش قطبی شده مدل MP201 استفاده شد. همچنین، از یک پیش تقویت‌کننده مدل MAP231 استفاده شد تا امپدانس را برای ورود به مبدل آنالوگ به دیجیتال کاهش دهد. سامانه جمع‌آوری اطلاعات مدل MC3022 مورد استفاده در این تحقیق نسبت به فرکانس‌های صوتی ۶/۳ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز دارای حساسیت یکسانی است. نرم‌افزار Scope V1.32 که قابلیت‌ها و ویژگی‌های مطلوبی دارد انتخاب شد و برای نمایش و ضبط سیگنال‌های صدا در حوزه زمان مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ای از سیگنال‌های صدای ضبط شده در حوزه زمان در شکل ۴ نشان داده شده است. شناسایی و کمی کردن اثر هر یک از متغیرها بر صدای حاصل از ضربه با بررسی سیگنال صدا در حوزه زمان بسیار مشکل است، به همین دلیل باید سیگنال‌های صدا را از حوزه زمان به حوزه فرکانس تبدیل کرد تا بتوان به مقادیر فرکانسی آنها دست یافت. در این تحقیق، سیگنال‌ها از

برای ایجاد ضربه از یک گوی پلاستیکی به وزن ۴/۸۵ گرم و قطر ۱۷/۵ میلی‌متر و یک گوی چوبی به وزن ۶/۵۶ گرم و قطر ۲۶/۵ میلی‌متر استفاده شد. گوی‌ها به انتهای یک سیم نازک به طول ۶۰ میلی‌متر متصل شدند که به این ترتیب امکان نوسان همانند یک آونگ فراهم گردید. با توجه به اینکه آزمایش‌های پاسخ آکوستیکی از نوع غیرمخرب محسوب می‌شوند بنابراین شدت ضربات باید به گونه‌ای باشد که در محل ضربه، پوسته تخم‌مرغ دچار شکستگی نشود. به همین منظور سرعت گوی‌ها در زمان برخورد با سطح نمونه‌ها برابر ۱/۰۸ - ۰/۵۹ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد که منطبق بر محدوده گزارش شده در سایر تحقیقات (Pan et al., 2011) است. ضربه‌ها روی قطر بزرگ تخم‌مرغ‌ها و در ناحیه استوایی فرود آمدند. در این تحقیق دو زاویه ۴۵ و ۹۰ درجه نسبت به راستای قائم برای ضربه‌زن انتخاب شد. انتخاب این دو زاویه نیز به گونه‌ای بود که آسیبی به پوسته صدفی تخم‌مرغ نرسد. داده‌ها با میکروفن در دو موقعیت ۹۰ و ۱۸۰ درجه نسبت به محل اعمال ضربه جمع‌آوری شدند.

حوزه زمان به فرکانس با بهره‌گیری از روش تبدیل فوریه سریع (FFT) تبدیل شد. این عمل با استفاده از برنامه نوشته شده بر مبنای تبدیل فوریه سریع در محیط نرم‌افزار Matlab نسخه ۲۰۰۸ انجام گرفت که در شکل ۴ نمونه‌ای از سیگنال صدا در حوزه فرکانس نشان داده شده است.



شکل ۴- نمونه سیگنال‌های صدا در حوزه زمان (شکل بالا) و فرکانس (شکل پایین)

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس میانگین‌های اثر اصلی جنس گوی، زاویه ضربه‌زن، موقعیت میکروفن، شکستگی پوسته و اثر متقابل آنها بر سه دامنه اول و سه فرکانس اول در جدول ۲ آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد که سطوح مختلف جنس گوی، زاویه ضربه‌زن، موقعیت میکروفن و شکستگی پوسته بر هیچ یک از سه دامنه اول اختلاف معنی‌داری نشان نمی‌دهد. سطوح مختلف محل ضربه نیز به جز دامنه اول در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده‌اند. اثر متقابل جنس گوی و شکستگی پوسته نیز به جز در دامنه اول که در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده

در این تحقیق، اثر متغیرها به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی و با سه تکرار روی هر نمونه بررسی شد. کل تیمارهای مورد مطالعه $(2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 3)$ به دست آمد که در سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری اطلاعات به دست آمده، داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ تجزیه و تحلیل آماری شدند. تجزیه واریانس میانگین‌های اثر اصلی جنس گوی، زاویه ضربه‌زن، موقعیت میکروفن، شکستگی پوسته و اثر متقابل آنها بر سه فرکانس اول و سه دامنه اول برای نمونه‌ها صورت گرفت. میانگین‌های سطوح مختلف شکستگی پوسته با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

است در دو دامنه دیگر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است. اثر متقابل زاویه ضربه‌زن و شکستگی پوسته و همچنین اثر متقابل موقعیت میکروفن و شکستگی پوسته بر سه دامنه اول اختلاف معنی‌داری نشان نمی‌دهند.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرمتغیرهای مختلف بر سه دامنه اول و سه فرکانس اول

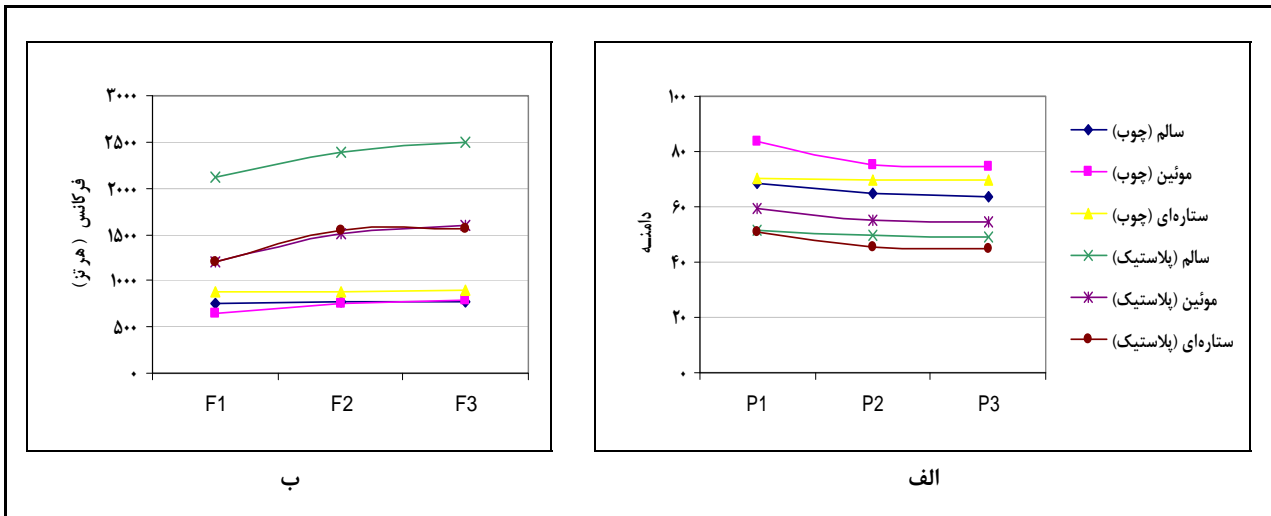
منبع تغییر	درجه آزادی	دامنه	میانگین مربعات	فرکانس	میانگین مربعات
جنس گوی	۱	A1	۲۴۱۲۱۵/۹ ^{**}	F1	۳۳۳ × ۱۰ ^{۶**}
	۱	A2	۲۳۱۶۱۵/۳ ^{**}	F2	۶۰۴ × ۱۰ ^{۶**}
	۱	A3	۲۳۲۴۰۰/۱ ^{**}	F3	۶۸۴ × ۱۰ ^{۶**}
زاویه ضربه‌زن	۱	A1	۵۰۱۲۷۷ ^{**}	F1	۵۳/۴۶ × ۱۰ ^{۶**}
	۱	A2	۵۵۲۸۸۱/۷ ^{**}	F2	۳۱/۵۵ × ۱۰ ^{۶**}
	۱	A3	۵۵۰۲۰۴/۶ ^{**}	F3	۲۴/۷۲ × ۱۰ ^{۶**}
موقعیت میکروفن	۱	A1	۸۹۳۰۰/۶۸ ^{**}	F1	۴۰۸ × ۱۰ ^{۶**}
	۱	A2	۶۶۱۰۱/۱۹ ^{**}	F2	۶۶۰ × ۱۰ ^{۶**}
	۱	A3	۶۴۰۴۷/۳ ^{**}	F3	۷۵۲ × ۱۰ ^{۶**}
شکستگی پوسته	۲	A1	۳۲۰۷۰/۱۶ ^{**}	F1	۵۶/۷۶ × ۱۰ ^{۶**}
	۲	A2	۱۵۵۴۲/۲۵ ^{**}	F2	۴۴/۷۷ × ۱۰ ^{۶**}
	۲	A3	۱۶۳۰۷/۵۹ ^{**}	F3	۴۸/۳۸ × ۱۰ ^{۶**}
جنس گوی × شکستگی پوسته	۲	A1	۳۰۵۲/۴۹ [*]	F1	۶۰/۹۲ × ۱۰ ^{۶**}
	۲	A2	۴۳۵۰/۹۸۴ ^{**}	F2	۵۵/۶۹ × ۱۰ ^{۶**}
	۲	A3	۴۸۱۰/۱۸۳ ^{**}	F3	۶۴/۸۵ × ۱۰ ^{۶**}
زاویه ضربه‌زن × شکستگی پوسته	۲	A1	۷۳۵/۷۱۴ ^{ns}	F1	۱/۴۶ × ۱۰ ^{۶ns}
	۲	A2	۴۱۷/۹۶۶ ^{ns}	F2	۱/۰۳ × ۱۰ ^{۶ns}
	۲	A3	۳۹۷/۹۴۴ ^{ns}	F3	۲/۵۷ × ۱۰ ^{۶ns}
موقعیت میکروفن × شکستگی پوسته	۲	A1	۶۲۲/۷۸۷ ^{ns}	F1	۳۱/۱۱ × ۱۰ ^{۶**}
	۲	A2	۱۴۱/۷۶۶ ^{ns}	F2	۲۹/۱۱ × ۱۰ ^{۶**}
	۲	A3	۱۲۴/۸۴۳ ^{ns}	F3	۳۴/۶۶ × ۱۰ ^{۶**}

^{**} اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ^{*} اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ^{ns}: نبود اختلاف معنی‌دار

تفکیک نمودار سه دامنه اول تخم‌مرغ‌ها می‌شود. در شکل ۵-الف، مقدار دامنه مرتبط با شکستگی مویین در دو حالت استفاده از هر دو نوع گوی، بیشتر از مقدار دامنه پوسته سالم و شکستگی ستاره‌ای به دست آمده است. به استثنای PI که مقادیر مربوط به پوسته سالم و شکستگی ستاره‌ای به یکدیگر نزدیک هستند در سایر دامنه‌ها تفاوت مقدار دامنه کاملاً مشهود است. در حالت کلی، هنگام استفاده از دو گوی چوبی و پلاستیکی، روندی مشابه برای سه دامنه اول قابل مشاهده است.

از جدول ۲ کاملاً مشهود است که به جز اثر متقابل زاویه ضربه‌زن و شکستگی پوسته که بر سه فرکانس اول اختلاف معنی‌داری نشان نمی‌دهد در سایر حالت‌ها، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده می‌شود. نتیجه مشابهی نیز در سایر تحقیقات (Zhao et al., 2010; Wang & Jiang, 2005) به دست آمده است.

در شکل ۵ دامنه و فرکانس برای جنس‌های مختلف گوی نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵-الف، مشخص است که استفاده از گوی چوبی و پلاستیکی باعث



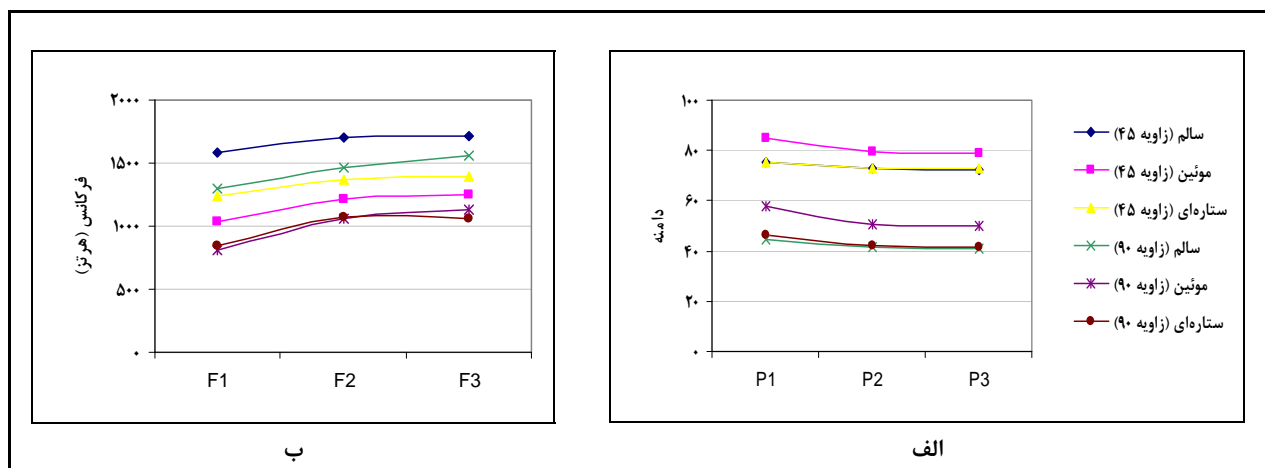
شکل ۵- دامنه و فرکانس برای جنس‌های مختلف گوی

می‌دهد. در شکل ۶-الف، زاویه‌های ۴۵ و ۹۰ درجه ضربه‌زن نتایج مشابهی را در پی داشته‌اند. در هر دو زاویه، تفکیک شکستگی مویین نسبت به دو وضعیت دیگر پوسته و همچنین تفکیک نشدن پوسته سالم از شکستگی ستاره‌ای برای سه دامنه اول قابل مشاهده است. بنابراین، به هنگام استفاده از سه دامنه اول نمی‌توان تمایزی بین دو زاویه ۴۵ و ۹۰ درجه برای ضربه‌زن در نظر گرفت.

در خصوص شکل ۶-ب که مربوط به سه فرکانس اول است، زاویه ۴۵ درجه ضربه‌زن باعث تفکیک سه فرکانس اول برای پوسته سالم، شکستگی مویین و شکستگی ستاره‌ای شده است، در حالی که مقدار فرکانس شکستگی مویین و ستاره‌ای در وضعیت زاویه ۹۰ درجه ضربه‌زن، به یکدیگر نزدیک‌اند و تفکیک آنها به سهولت امکان‌پذیر نیست. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که زاویه ۴۵ درجه ضربه‌زن نتایج بهتری برای تفکیک تخم‌مرغ‌ها به هنگام استفاده از سه فرکانس اول در پی خواهد داشت. نتایجی مشابه نیز در تحقیقات دنگ و همکاران (Deng et al., 2010) و ژائو و همکاران (Zhao et al., 2010) گزارش شده است.

از شکل ۵-ب می‌توان چنین دریافت که استفاده از گوی پلاستیکی باعث تفکیک سه فرکانس اول پوسته سالم از دو نوع شکستگی می‌شود. با توجه به این شکل مشخص است که تفاوت اندکی بین مقدار فرکانس نمونه‌های مویین و ستاره‌ای وجود دارد. اما هنگام استفاده از گوی چوبی، مقدار فرکانس نمونه‌های دارای شکستگی ستاره‌ای نسبت به نمونه‌های پوسته سالم و شکستگی مویین در تمامی سه فرکانس اول بیشتر است. به استثنای F1 که مقادیر فرکانس مربوط به پوسته سالم و شکستگی مویین متفاوت هستند، در سایر فرکانس‌ها تفاوت اندک فرکانس قابل مشاهده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به هنگام استفاده از سه فرکانس اول برای تفکیک نمونه‌های سالم از انواع تخم‌مرغ‌های شکسته، به‌کارگیری گوی پلاستیکی نتایج بهتری در پی خواهد داشت. در عمل، این نتیجه‌گیری برای تفکیک تخم‌مرغ‌های سالم از تخم‌مرغ‌های دارای انواع شکستگی بسیار با اهمیت است. در سایر تحقیقات (Deng et al., 2010) نیز به استفاده از گوی پلاستیکی اشاره شده است.

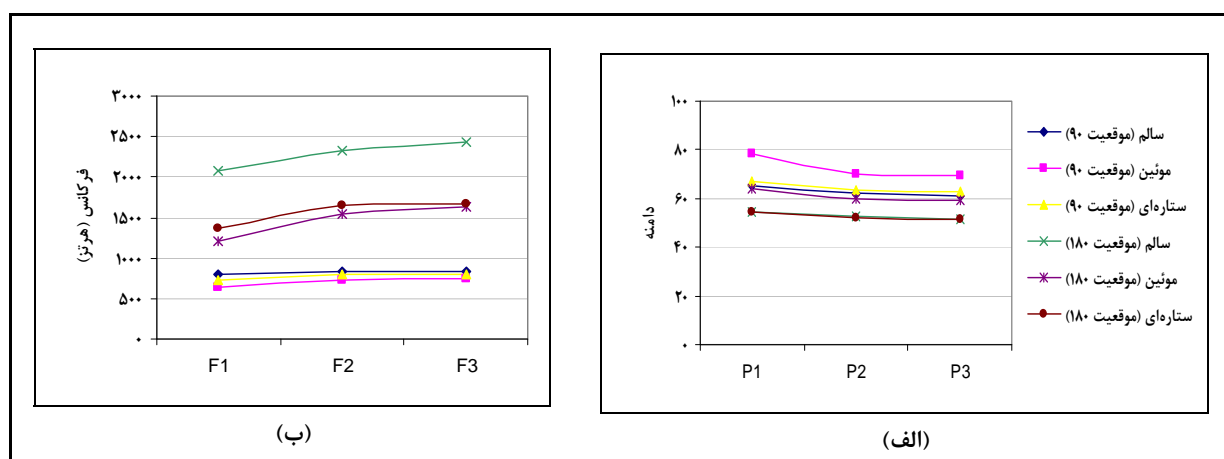
شکل ۶ دامنه و فرکانس را با توجه به دو زاویه ۴۵ و ۹۰ درجه ضربه‌زن نسبت به موقعیت تخم‌مرغ نشان



شکل ۶- دامنه و فرکانس برای زاویه‌های مختلف ضربه‌زن

نسبت به موقعیت ضربه‌زن، در مقایسه با استقرار میکروفن در زاویه ۹۰ درجه، نتایج بهتری به دست می‌دهد. در چنین حالتی، مقدار سه فرکانس اول مربوط به پوسته سالم، شکستگی موبین و ستاره‌ای از یکدیگر قابل تفکیک هستند. البته مقدار F3 شکستگی موبین و ستاره‌ای بسیار به هم نزدیک‌اند و بنابراین زاویه ۱۸۰ درجه برای استقرار میکروفن بر زاویه ۹۰ درجه برتری دارد.

شکل ۷ نیز دامنه و فرکانس را برای دو موقعیت ۹۰ و ۱۸۰ درجه میکروفن، نسبت به موقعیت ضربه‌زن، نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده از شکل ۷-الف مشابه نتایج به دست آمده از شکل ۵-الف است، یعنی در هر دو زاویه، مقدار سه دامنه اول شکستگی موبین از پوسته سالم و شکستگی ستاره‌ای بیشتر است و پوسته سالم و شکستگی ستاره‌ای نیز قابل تفکیک نیستند. از شکل ۷-ب مشخص است که استقرار میکروفن در زاویه ۱۸۰ درجه



شکل ۷- دامنه و فرکانس برای موقعیت‌های مختلف میکروفن

گوی و موقعیت میکروفن بر سه فرکانس اول در تفکیک شکستگی پوسته در جدول ۳ آورده شده است. همان گونه که پیشتر نیز اشاره شد، موقعیت ۱۸۰ درجه میکروفن نسبت به ضربه‌زن، استفاده از گوی پلاستیکی و زاویه

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان چنین دریافت که استفاده از سه فرکانس اول برای تفکیک تخم‌مرغ‌ها، در مقایسه با سه دامنه اول، نتایج بهتری به دنبال خواهد داشت. بر همین اساس، اثر متقابل زاویه ضربه‌زن، جنس

۴۵ درجه ضربه‌زن باعث تفکیک بهتر پوسته سالم، شکستگی مویین و شکستگی ستاره‌ای می‌شوند. چنین نتیجه‌ای به وضوح در جدول ۳ نیز قابل مشاهده است. در چنین ترکیبی، مقدار F1 برای پوسته سالم، شکستگی مویین و شکستگی ستاره‌ای دارای تفاوت قابل توجهی است. چنین تفاوتی در مقادیر F2 و F3 نیز مشاهده می‌شود. البته موقعیت ۱۸۰ درجه میکروفن نسبت به ضربه‌زن، استفاده از گوی پلاستیکی و زاویه ۹۰ درجه

ضربه‌زن نیز نتایج خوبی به دنبال خواهد داشت. اما در خصوص سایر ترکیبات زاویه ضربه‌زن، جنس گوی و موقعیت میکروفن، تفکیک تخم‌مرغ‌ها از نظر وضعیت پوسته آنها به دلیل نزدیک بودن مقادیر فرکانس‌ها به یکدیگر به سهولت امکان‌پذیر نخواهد بود. نتیجه‌گیری نهایی در این خصوص منوط به استفاده از روش‌های مرسوم طبقه‌بندی و ارزیابی عملکرد آنها با ماتریس اغتشاش خواهد بود.

جدول ۳- فرکانس‌های مهم در ترکیب‌های مختلف متغیرها

F3	F2	F1	ترکیب متغیرها
۳۹۷۷/۵	۳۹۱۲/۱	۳۴۸۲/۶	سالم (زاویه ۴۵-پلاستیک-موقعیت ۱۸۰)
۲۴۵۴/۱	۲۲۵۸/۴	۱۸۸۳/۱	موتین (زاویه ۴۵-پلاستیک-موقعیت ۱۸۰)
۲۶۳۵/۰	۲۵۸۶/۸	۲۱۹۸/۰	ستاره‌ای (زاویه ۴۵-پلاستیک-موقعیت ۱۸۰)
۳۶۹۰/۶	۳۳۸۹/۲	۲۸۸۸/۷	سالم (زاویه ۹۰-پلاستیک-موقعیت ۱۸۰)
۲۱۷۹/۵	۱۹۹۳/۵	۱۳۶۹/۵	موتین (زاویه ۹۰-پلاستیک-موقعیت ۱۸۰)
۱۸۱۵/۴	۱۸۰۵/۲	۱۱۰۷/۹	ستاره‌ای (زاویه ۹۰-پلاستیک-موقعیت ۱۸۰)
۱۱۶۳/۳	۱۱۵۳/۲	۱۱۴۶/۵	سالم (زاویه ۴۵-چوب-موقعیت ۱۸۰)
۹۸۲/۷	۹۹۴/۷	۸۷۱/۲	موتین (زاویه ۴۵-چوب-موقعیت ۱۸۰)
۱۲۳۱/۷	۱۲۰۹/۵	۱۲۰۷/۲	ستاره‌ای (زاویه ۴۵-چوب-موقعیت ۱۸۰)
۱۱۹۹/۴	۱۱۴۰/۸	۱۰۱۹/۴	سالم (زاویه ۹۰-پلاستیک-موقعیت ۹۰)
۷۸۶/۷	۷۶۵/۴	۶۹۷/۳	موتین (زاویه ۹۰-پلاستیک-موقعیت ۹۰)
۸۳۱/۷	۸۳۳/۹	۶۸۸/۸	ستاره‌ای (زاویه ۹۰-پلاستیک-موقعیت ۹۰)
۵۶۴/۸	۶۱۹/۹	۵۸۴/۰	سالم (زاویه ۴۵-چوب-موقعیت ۹۰)
۶۰۶/۹	۵۸۴/۵	۵۲۶/۵	موتین (زاویه ۴۵-چوب-موقعیت ۹۰)
۷۴۱/۷	۶۹۹/۷	۷۴۰/۷	ستاره‌ای (زاویه ۴۵-چوب-موقعیت ۹۰)
۹۳۱/۳	۸۵۹/۵	۷۹۳/۵	سالم (زاویه ۹۰-چوب-موقعیت ۱۸۰)
۹۳۶/۷	۹۰۷/۷	۶۹۱/۹	موتین (زاویه ۹۰-چوب-موقعیت ۱۸۰)
۹۷۸/۲	۹۸۱/۴	۹۵۲/۲	ستاره‌ای (زاویه ۹۰-چوب-موقعیت ۱۸۰)
۴۳۰/۸	۴۵۱/۱	۴۶۹/۲	سالم (زاویه ۹۰-چوب-موقعیت ۹۰)
۶۰۱/۱	۵۵۲/۲	۴۸۶/۲	موتین (زاویه ۹۰-چوب-موقعیت ۹۰)
۶۱۹/۵	۶۶۳/۴	۶۵۳/۸	ستاره‌ای (زاویه ۹۰-چوب-موقعیت ۹۰)
۱۱۳۵/۲	۱۱۱۶/۷	۱۱۰۰/۴	سالم (زاویه ۴۵-پلاستیک-موقعیت ۹۰)
۹۷۸/۶	۹۹۶/۷	۸۵۳/۲	موتین (زاویه ۴۵-پلاستیک-موقعیت ۹۰)
۹۷۷/۲	۹۷۶/۶	۸۲۴/۸	ستاره‌ای (زاویه ۴۵-پلاستیک-موقعیت ۹۰)

فرکانس دیگر مزیت نسبی دارد زیرا تفاوت معنی‌داری بین میانگین مقادیر مربوط به شکستگی مویین و شکستگی ستاره‌ای نیز قابل مشاهده است. بیشترین کمترین میانگین F1 به ترتیب برای پوسته سالم و شکستگی مویین به ثبت رسیده است. بنابراین، استفاده از F1 برای تشخیص تخم‌مرغ‌های سالم و تفکیک انواع شکستگی پوسته توصیه می‌شود. در برخی از تحقیقات، برای تشخیص تخم‌مرغ‌های سالم و شکسته نیز تنها از F1 استفاده شده است (Sun *et al.*, 2013; Deng *et al.*, 2009; Pan *et al.*, 2011). در مواردی چند از تحقیقات نیز به F1 اکتفا نمی‌کنند و از سایر فرکانس‌ها هم استفاده کرده‌اند (Zhao *et al.*, 2010).

نتایج مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد در جدول ۴ نشان نشان می‌دهد که در سه دامنه اول بیشترین میانگین دامنه مربوط به شکستگی مویین به دست آمده است و تفاوت معنی‌داری بین پوسته سالم و شکستگی ستاره‌ای در سطح ۵ درصد مشاهده نمی‌شود. با توجه به اینکه تشخیص پوسته سالم از انواع شکستگی مهم‌تر از تفکیک انواع شکستگی از یکدیگر است، بنابراین استفاده از سه دامنه اول نتایج قابل قبولی برای این منظور در پی نخواهد داشت. نتایج همچنین نشان می‌دهد که استفاده از سه فرکانس اول می‌تواند در گام نخست باعث تفکیک پوسته سالم از انواع شکستگی شود. در میان سه فرکانس اول، F1 نسبت به دو

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین سه دامنه و فرکانس اول به روش دانکن

F3	F2	F1	A3	A2	A1	
۱۶۳۶/۶ ^a	۱۵۸۰/۳ ^a	۱۴۳۵/۵ ^a	۵۶/۳۳۶ ^b	۵۷/۳۳۰ ^b	۵۹/۸۸۰ ^b	پوسته سالم
۱۱۹۰/۸ ^b	۱۱۳۱/۶ ^b	۹۲۲/۴ ^c	۶۴/۵۳۷ ^a	۶۵/۱۳۰ ^a	۷۱/۳۲۶ ^a	شکستگی مویین
۱۲۲۸/۸ ^b	۱۲۱۹/۶ ^b	۱۰۴۶/۷ ^b	۵۷/۰۷۱۴ ^b	۵۷/۵۹۰ ^b	۶۰/۷۸۳ ^b	شکستگی ستاره‌ای

اعداد با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) ندارند.

۱۰۴۶/۷ هرتز به دست آمده است، نسبت به دو فرکانس دیگر از مزیت نسبی برخوردار است زیرا بین میانگین مقادیر مربوط به شکستگی مویین و شکستگی ستاره‌ای نیز تفاوت معنی‌داری به دست می‌دهد.

استفاده از گوی پلاستیکی، زاویه ۴۵ درجه ضربه‌زن نسبت به راستای قائم و موقعیت ۱۸۰ درجه میکروفن نسبت به محل ضربه‌زدن، در طراحی سامانه آکوستیک برای تشخیص شکستگی پوسته تخم‌مرغ توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

سطوح مختلف جنس گوی، زاویه ضربه‌زن، موقعیت میکروفن و شکستگی پوسته بر سه دامنه و فرکانس اول، اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهند.

استفاده از سه فرکانس اول برای تفکیک تخم‌مرغ‌ها از نظر شکستگی، در مقایسه با سه دامنه اول نتایج بهتری به دنبال خواهد داشت. در میان سه فرکانس اول، F1 که میانگین آن برای تخم‌مرغ‌های سالم، شکستگی مویین و شکستگی ستاره‌ای به ترتیب ۱۴۳۵/۵، ۹۲۲/۴ و

مراجع

- Abdanan Mehdizadeh, S. 2014. Eggshell crack detection using PCA and SVM. Proceedings of the 8th conference of agriculture machinery Eng. (Biosystem Eng.) And mechanization. Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran. (in Persian).

- Anon. 2012. FAO. Hen egg production. <http://faostat.fao.org/site/569/DesktopDefault.aspx?PageID=569#ancor> (accessed July 2015).
- Barnett, D. M., Kumpula, B. L., Petryk, R. L., Robinson, N. A., Renema, R. A., and Robinson, F. E. 2004. Hatchability and early chick growth potential of broiler breeder eggs with hairline cracks. *J. App. Poultry Res.* 13(1): 65-70.
- Cho, H. K., Choi, W. K. and Paek, J. H. 2000. Detection of surface cracks in shell eggs by acoustic impulse method. *Trans. ASAE.* 43(6): 1921-1926.
- Cutts, J. A., Wilson, G. C. and Fernández, S. 2007. Optimum egg quality: a practical approach. 5M Publishing.
- Deng, X., Wang, Q., Wu, L., Gao, H., Wen, H. and Wang, S. 2009. Eggshell crack detection by acoustic impulse response and support vector machine. *African J. Agric. Res.* 4(1): 40-48.
- Deng, X., Wang, Q., Chen, H. and Xie, H. 2010. Eggshell crack detection using a wavelet-based support vector machine. *Computers and electronics in agriculture.* 70(1): 135-143.
- Devegowda, G. and Ravikiran, D. 2008. Mycotoxins and eggshell quality: cracking the problem. *World Mycotoxin J.*: 1(2): 203-208.
- Gupta, L. 2008. Maintaining Egg Shell Quality. <http://www.thepoultrysite.com/articles/979/maintaining-egg-shell-quality> (accessed July 2015).
- Hashemian, F., Amiriparian, J. and Lashgari, M. 2014. Design and development of eggshell crack detection system using sound processing. M.Sc. Thesis, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (in Persian).
- Jindal, V. K. and Sritham, E. 2003. Detecting eggshell cracks by acoustic impulse response and artificial neural networks. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, ASAE paper, (036170).
- Khabisi, M. M., Salahi, A. and Mousavi, S. N. 2012. The influence of egg shell crack types on hatchability and chick quality. *Turkish J. Veterinary. Animal Sci.* 36(3): 289-295.
- Kirikci, K., Deeming, D. C. and Gunlu, A. 2004. Effects of egg mass and percentage mass loss during incubation on hatchability of eggs of the rock partridge (*Alectoris graeca*). *British poultry science.* 45(3): 380-384.
- Leiqing, P., Kang, T., Zipeng, S., Jiali, Y. and Hongwen, L. 2007. Crack detection in eggs using computer vision and BP neural network. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering.* 5.
- Li, Y., Dhakal, S. and Peng, Y. 2012a. A machine vision system for identification of micro-crack in egg shell. *J. Food Eng.* 109(1): 127-134.
- Li, P., Wang, Q., Zhang, Q., Cao, S., Liu, Y. and Zhu, T. 2012b. Non-destructive Detection on the Egg Crack Based on Wavelet Transform. *IERI Procedia.* 2, 372-382.
- Lin, H., Zhao, J. W., Chen, Q. S., Cai, J. R. and Zhou, P. 2009. Eggshell crack detection based on acoustic impulse response and supervised pattern recognition. *Czech J. Food Sci.* 27(6): 393-402.
- Narahari, D., Rajini, R. A., Srinivasan, G. and Ramamurthy, N. 2000. Methods to improve the hatchability of checked chicken eggs. *British poultry science.* 41(2): 178-181.
- Pan, L. Q., Zhan, G., Tu, K., Tu, S. C. and Liu, P. 2011. Eggshell crack detection based on computer vision and acoustic response by means of back-propagation artificial neural network. *Eur. Food Res. Technol.* 233(3): 457-463.
- Roberts, J. R. 2004. Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. *J. Poultry Sci.* 41(3): 161-177.

- Simsek, U. G. and Gurses, M. 2009. Effects of covering broiler breeder eggs with hairline cracks by nail polish on hatchability results. World Poultry Science Association (WPSA), 2nd Mediterranean Summit of WPSA, Antalya, Turkey. 4-7 October 2009. 285-287.
- Sun, L., Bi, X. K., Lin, H., Zhao, J. W. and Cai, J. R. 2013. On-line detection of eggshell crack based on acoustic resonance analysis. J. Food Eng. 116(1): 240-245.
- Wang, J. and Jiang, R. 2005. Eggshell crack detection by dynamic frequency analysis. European Food Research and Technology. 221(1-2): 214-220.
- Xiong, L.R. 2011. Detection for eggshell crack based on acoustic feature and support vector machine. Information Technology for Manufacturing Systems Ii, Pts 1-3(58-60): 227-232
- Zhao, Y., Wang, J., Lu, Q. and Jiang, R. 2010. Pattern recognition of eggshell crack using PCA and LDA. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 11(3): 520-525.



Assessment of Effective Variables on the Acoustic Response for Eggshell Crack Detection

M. Lashgari* and R. Mohammadigol

* Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Arak University, Arak, Iran. Email: m-lashgari@araku.ac.ir

Received: 28 November 2015, Accepted: 6 April 2016

Eggshell crack detection in grading lines is very important. In recent years, various methods have been studied for this purpose. One of the conventional methods used in the eggshell crack detection is acoustic response. With this method, types of cracks which are apparent defects by analyzing the acoustic response to mechanical impact will be recognizable. In this research, the effects of factors related to acoustic system such as ball material, impact angle and microphone position on acoustic response in detection of cracks types were investigated. Accordingly, factorial experiments in a completely randomized design with three replications were performed. The results showed that levels of ball material, impact angle and microphone position and cracks types had significant effects ($P < 0.01$) on the first three amplitudes and frequencies. Also, the results of this study showed that the use of plastic balls at the hitting angle of 45 degrees and positioning of microphone at the angle of 180 degrees is more suitable in designing of acoustic system to detect eggshell cracks.

Key Words: Acoustic, Crack, Egg, Shell