

## تشخیص ترک در پوسته تخم‌مرغ با استفاده از PCA و SVM

سامان آبدانان مهدی‌زاده

استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان  
 saman.abdanan@gmail.com

### چکیده

بازرسی ترک پوسته تخم مرغ در گذشته به طور معمول در صنعت با نورآزمایی صورت می‌گرفته است. این عمل با گذر زمان سبب خستگی چشم، قضاوت نادرست و تشخیص سخت ترک‌های موئی می‌گردد. پژوهش‌های اخیر به مطالعه تشخیص ترک پوسته تخم مرغ براساس تشخیص نوری و مکانیکی به طور خودکار متمرکز می‌باشد. در این پژوهش، پوسته تخم‌مرغ‌ها به وسیله یک ضربه‌زن مکانیکی سبک در مکان‌های مختلف تحریک شدند و پاسخ فرکانسی ارتعاش پوسته تخم‌مرغ همراه با شناسایی الگو برای تشخیص تخم‌مرغ سالم از ترک‌دار استفاده گردید. روش‌های شناسایی الگو مورد استفاده PCA و SVM بودند. تعداد بهینه مولفه‌های اصلی با توجه به مقدار خطای مدل پیشگو و حداکثر تمییز میان تخم‌مرغ سالم از ترک‌دار ۷ بدست آمد. نتایج پژوهش نشان داد که روش تحلیل ارتعاشی پاسخ ضربه پوسته توانایی تشخیص تخم‌مرغ سالم و با پوسته ترک‌دار به ترتیب با دقت ۱۰۰٪ و ۸۷/۵٪ را دارد.

**واژه‌های کلیدی:** تخم‌مرغ سالم و ترک‌دار، پاسخ فرکانسی ارتعاش، PCA و SVM

### ۱. مقدمه

در نمودارهای ارزیابی کیفیت پروتئین موجود، همیشه تخم مرغ در بالاترین حد یعنی ۱۰۰ قرار دارد و بعنوان استاندارد مرجع برای سنجش پروتئین سایر غذاها استفاده می‌شود. امروزه به دلیل افزایش آگاهی مردم، استفاده از تخم مرغ به عنوان منبعی از اسیدهای آمینه ضروری گسترش زیادی یافته است (آبدانان مهدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). کیفیت تخم مرغ پیچیده و ثبات آن در انبارمانی علاوه بر ترکیب شیمیایی، شامل اندازه تخم مرغ، رنگ و کیفیت پوسته و همچنین نقابسی مانند لکه خون و تکه‌های گوشت می‌شود (Abdanan Mehdizadeh et al., 2013). ارزیابی کیفیت تخم مرغ در صنعت به منظور جداسازی و بسته‌بندی متکی بر نورآزمایی است. با ارسال نور مستقیم به درون تخم مرغ، نقایص مشاهده پذیرتر و شناسایی آن‌ها آسان تر می‌گردد. این نقایص شامل ترک‌ها، لکه خون و تکه‌های گوشت می‌شود. به طور معمول، ۱۸-۱۲ لتر موازی در دستگاه‌های درجه بندی تخم مرغ تجاری حضور دارند و توسط دو بازرس بررسی می‌شوند. این عملیات نیاز به مهارت بالا و تمرکز زیاد دارد. عملاً، بازرس‌ها پس از ۱ ساعت کار به دلیل نیاز



به سطح بالای تمرکز، جایگزین می‌شوند. علیرغم وجود کارکنان ماهر، عملیات نورآزمایی در سرعت بالای ماشین آلات درجه بندی الکترونیکی مدرن که در آن سرعت جداسازی ۲-۳ تخم مرغ در ثانیه در هر خط است محدودیت ایجاد می‌کند (Bourelly *et al.*, 1987) سرعت بازرسی دستی خیلی آهسته و سلیقه‌ای می‌باشد و از فردی به فرد دیگر متفاوت است.

تحقیقات اخیر در اتوماسیون عملیات نورآزمایی بر اساس دو روش مختلف شامل: (۱) ماشین بینایی و تجزیه و تحلیل تصویر و (۲) اندازه‌گیری سختی مکانیکی است (Goodrum and Elster, 1992). دقت و صحت روش ماشین بینایی بستگی به وضوح دوربین، الگوریتم جداسازی، رنگ پوسته و نوع نقص دارد. این روش برای تشخیص پوسته‌های کثیف (مدفوع و خون)، پوسته شکسته و اشکال عجیب و غریب در تخم مرغ بسیار عالی عمل می‌کند. تشخیص ترک‌های کوچک مشکل‌تر و ترک‌های مویی تازه که در اکثر مواقع نامرئی هستند امری دشوار می‌باشد. تخم مرغ های سالم با لکه‌های کوچک، خراشیدگی یا رسوب کلسیم در پوسته اغلب به اشتباه رد می‌شوند. این رد کردن‌های غلط سبب ضرر مالی قابل توجهی می‌گردد. نوع دوم از تکنیک‌های تشخیص ترک در پوسته تخم مرغ به صورت اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل رفتار مکانیکی پوسته تخم مرغ است. در این روش یک برخورد کوچک سبب برانگیخته شدن پوسته تخم مرغ می‌گردد. ترکیبی از دامنه ریباندها و / یا تعداد ریباندها به عنوان نشانه‌ای برای یکپارچگی مکانیکی موضعی پوسته تخم مرغ است. پوسته تخم مرغ با سطح موضعی مکانیکی سالم، اجازه می‌دهد تا برخورد به انجام چندین پرتاب ریباند الاستیک با دامنه بالا منجر شود. در همسایگی شکاف، خاصیت ارتجاعی منطقه پوسته مجاور آن به طور جدی مختل و از این رو واکنش به ضربه به شدت میرا خواهد بود (De Ketelaere *et al.*, 2000). وانگ و جیانگ (۲۰۰۵) نشان دادند که مقدار پیک‌های فرکانس‌های یکسان در تخم مرغ ترک خورده بزرگ و اولین مقدار فرکانس رزونانس غالب پایین تر از تخم مرغ سالم است. جیندال و سرینام (۲۰۰۳) از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه بندی تخم مرغ بر اساس ارتعاش پس از ضربه استفاده کردند. نویسندگان گزارش کردند که روش ارائه شده توانایی تشخیص تخم مرغ با پوسته‌های ترک‌دار را با دقت ۹۹٪ دارد. در ضمن این روش ۱۰٪ تخم مرغ با پوسته سالم را در رده تخم مرغ با پوسته‌های ترک‌دار قرار داد<sup>۱</sup>. در پژوهشی دیگر پن و همکاران (۲۰۱۱) اقدام به تشخیص ترک‌های موجود در پوسته تخم مرغ بر اساس ماشین بینایی و پاسخ صوتی با استفاده از شبکه‌های عصبی پرداختند. آن‌ها دریافتند که دقت ماشین بینایی و پاسخ صوتی در تشخیص ترک به ترتیب ۶۸ و ۹۲٪ می‌باشد. کمپس و همکاران (۲۰۰۳) ارتباط میان تخم مرغ اینکوبه شده با توسعه جنینی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل ارتعاش را مورد بررسی قرار دادند. نویسندگان زمان تغییر ناگهانی در میرایی ارتعاش و ارتباط آن با تغییرات قطر تخم مرغ را به عنوان متغیر موثر در پیشگویی زمان خروج جوجه از تخم مرغ تعیین کردند. شایان ذکر است که از تکنیک های تجزیه و تحلیل مبتنی بر ارتعاش به طور گسترده در تشخیص کیفیت و کنترل محصولات کشاورزی استفاده شده است (Pinhas ; Idah *et al.*, 2009; Moura *et al.*, 2008 *et al.*, 2008).

<sup>1</sup> - false rejection



تجزیه و تحلیل داده های حاصل از ارتعاش واداشته به منظور تشخیص ترک، بسیار مهم است. روش های متفاوت پردازش در تجزیه و تحلیل داده های مختلف ممکن است منجر به نتایج متفاوتی شود. هدف از این پژوهش تشخیص ترک در پوسته تخم مرغ به کمک آنالیز ارتعاشی پوسته و استفاده از روش های شناسایی الگوی PCA و SVM می باشد.

## ۲. مواد و روش ها

### ۱.۲. تهیه نمونه ها

تعداد ۱۲۰ عدد تخم مرغ سالم تولید روز که نژاد مرغ مادر (هایلین ۳۰ هفته ای) و جیره غذایی یکسانی (مطابق استاندارد) داشتند از مجتمع دامداری مربوط به دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین تهیه شدند. برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نمونه ها پس از تهیه در جدول ۱ آورده شده است. نمونه ها با روش نورآزمایی توسط افراد خبره مورد ارزیابی قرار گرفتند. ۴۰ عدد تخم مرغ کاملاً سالم از میان آن ها انتخاب گردید و ۸۰ عدد از نمونه های باقی مانده شماره گذاری و به صورت دستی و با اعمال نیرو، دو نوع ترک عمیق و موئی در نواحی مختلف پوسته ایجاد گردید. از آنجایی که معیاری برای طبقه بندی انواع ترک در پوسته تخم مرغ موجود نمی باشد، نمونه ها شماره گذاری شده و به ۱۰ نفر متخصص در زمینه تخم مرغ نشان داده شدند. سپس هر یک از آن ها توسط افراد به دو گروه تخم مرغ با پوسته دارای ترک عمیق (۴۰ عدد) و موئی (۴۰ عدد) تقسیم بندی گردیدند. شایان ذکر است که در نمونه های دارای ترک طبیعی، بیشتر ترک های موجود در پوسته در راستای مدار نصف النهار یا با یک انحراف اندک از این مدار قرار دارند. این مسئله حاکی از ضعیف بودن این ناحیه می باشد. بدین منظور هفتاد درصد ترک ها در این ناحیه ایجاد گردید.

### جدول ۱. متوسط خواص فیزیکی و شیمیایی تخم مرغ یک روزه

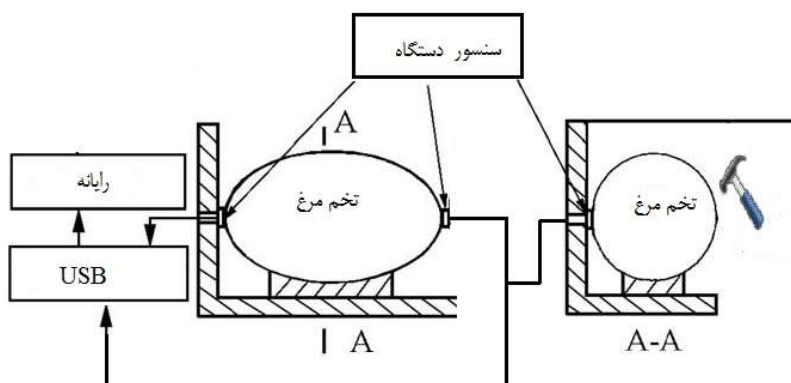
۸۶/۵۸	Haugh Unit	۵۷/۶۶۵ (mm)	قطر بزرگ
۱۱/۵	رنگ	۴۳/۷۵ (mm)	قطر کوچک
۶۰/۹۸۹ (g)	وزن کل	۰/۳۱۰۵ (mm)	ضخامت پوسته
۱۵/۱۷۵ (g)	وزن زرده	۶/۱۱۵	pH زرده تخم مرغ
۳/۴۸۰۱ (N)	شکستن نیروی	۸/۶۶۲	pH سفیده تخم مرغ



## ۲.۲. سامانه اندازه‌گیری ارتعاش مکانیکی پوسته

در این پژوهش از دستگاه ارتعاش‌سنج مدل Easy-Viber ساخت شرکت VMI سوئد استفاده شد. جنس سنسور دستگاه، فیلم پلی‌ونیل فلوراید (LDTO-028K) و بازه کاری آن ۱ GHz تا ۰/۰۰۱ Hz می‌باشد. در تحلیل‌های ارتعاشی از فیلم‌های پیزوالکتریک به وفور در تشخیص سختی میوه‌های متفاوت استفاده شده است. این تکنیک به دلیل سرعت بالا، سادگی و قابلیت تکرار بسیار مورد توجه می‌باشد (Gomez *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2007). از طرف دیگر با توجه به پژوهش‌های پیشین که بازه تغییرات فرکانسی پوسته تخم‌مرغ را ۲۲ KHz تا ۰ Hz گزارش نموده‌اند سنسور مورد استفاده به خوبی توانایی اخذ سیگنال ارتعاشی پوسته را داراست (Cho *et al.*, 2000; Sun *et al.*, 2013).

از هر نمونه در سه جهت (خط استوا، سمت تیز و قسمت انتهایی) جمع‌آوری داده انجام گرفت (شکل ۱). برخلاف پژوهش دیکتیالاری و همکاران (۲۰۰۰) بستر آزمایش در پژوهش حاضر به منظور سادگی و داده برداری سریع، ثابت در نظر گرفته شد. نمونه‌ها بعد از قرار گیری در بستر خود به وسیله یک چکش پلاستیکی با اعمال ضربه‌ای تحریک شدند. با توجه به اینکه تخم‌مرغ جسمی متقارن محوری است، پاسخ فرکانسی آن در صورتیکه در طول حلقه خط استوا تحریک گردد بسیار مشابه و مستقل از محل تحریک خواهد بود. در نتیجه تمامی نمونه‌ها از این ناحیه تحریک شدند. از طرف دیگر دامنه ضربه اعمالی با توجه به اینکه داده‌ها به بیشینه خود نرمال می‌شدند از اهمیت برخوردار نبود. این آزمایش ۴ بار برای هر نمونه تکرار و میانگین بدست آمده از این ۴ تکرار ثبت گردید. این عمل علاوه بر کاهش خطا در نمونه‌برداری سبب حذف نویز موجود در سیگنال اخذ شده نیز می‌گردد.

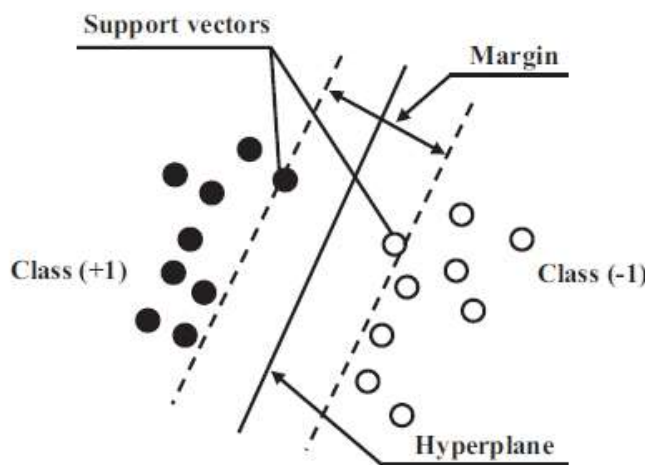


شکل ۱. محل قرارگیری سنسور و جمع‌آوری داده در نمونه‌ها



## ۳.۲. پردازش داده‌ها و شناسایی الگو به منظور طبقه‌بندی پاسخ ارتعاشی پوسته

داده‌های اندازه‌گیری شده با روش‌های PCA و SVM تجزیه و تحلیل شدند. در تکنیک PCA داده‌ها با یک تبدیل خطی از داده‌های چندبعدی به مختصات دیگر بر اساس حداکثر واریانس و حداقل ارتباط منتقل می‌شوند. بدین منظور ابتدا ماتریس کواریانس<sup>۱</sup> داده‌ها تشکیل، سپس مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس استخراج و مرتب می‌گردند. نهایتاً چند بردار ویژه که دارای بیشترین میزان مقادیر ویژه هستند، نگه داشته شده و بقیه حذف می‌شوند. کاهش داده سبب سادگی مدل پیشگو و همچنین زمان پردازش داده‌ها می‌گردد (Mat Nawi et al., 2013). برای اینکه خاصیت نرمال بودن بردارها برقرار شود، تمامی بردارها یک‌پارچه بوده و با توجه به خاصیت تعامد بردارهای ویژه، می‌توان گفت که هیچ همبستگی مابین آن‌ها وجود ندارد. بردار مولفه‌های اصلی به عنوان ورودی در عملیات طبقه‌بندی لحاظ می‌گردند. در پژوهش حاضر از SVM که یک الگوریتم آموزش ماشین نظارتی<sup>۲</sup> است به منظور طبقه‌بندی و تشخیص تخم مرغ دارای پوسته سالم و ترک‌دار استفاده گردید. روش SVM به صورت گسترده در کاربردهای متفاوت با عملکرد بسیار عالی استفاده شده است (Karimi et al., 2006; Adankon and Cheriet, 2009). اساس این روش شکل‌گیری یک ابرصفحه<sup>۳</sup> به عنوان خط تصمیم‌گیری<sup>۴</sup> است به طوری که گروه مثبت (تخم مرغ سالم) در بیشترین فاصله از گروه منفی (تخم مرغ با پوسته ترک‌دار) در طبقه‌بندی باینری قرار بگیرد (شکل ۲).



شکل ۲. SVM و ابرصفحه برای ایجاد بیشترین مرز در جداسازی گروه مثبت و منفی (Burges, 1998)

<sup>۱</sup> - covariance

<sup>۲</sup> - supervised machine learning algorithm

<sup>۳</sup> - hyperplane

<sup>۴</sup> - decision line



در SVM داده‌ها به کمک کرنل‌هایی<sup>۱</sup> ابتدا با یک تبدیل غیرخطی به یک فضای چند-بعدي<sup>۲</sup> منتقل می‌شوند. کرنل‌های متداول و بسیار پرکاربرد در سیستم‌های جداسازی شامل: کرنل<sup>۳</sup> RBF، سیگموئید و چندجمله‌ای هستند (Gunn, 1998). نشات و همکاران (۲۰۱۱) از کرنل‌های RBF و چندجمله‌ای به منظور طبقه‌بندی on-line بیسکویت استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که هسته RBF با دقت بالاتری نسبت به کرنل چندجمله‌ای بیسکویت‌ها را از نظر ظاهری طبقه‌بندی کرد. از طرف دیگر کرنل RBF در مسائل غیرخطی دارای عملکرد بهتری نسبت به ۲ کرنل دیگر می‌باشد (Cawley and Talbot, 2010). در ضمن این کرنل نسبت به دیگر کرنل‌ها، تنها ۲ مولفه مجهول دارد که علاوه بر آسان‌تر بودن عمل بهینه‌سازی، صفحه جداکننده سریعتر در محل مناسب خود که بیشترین فاصله تا نمونه‌ها است، قرار می‌گیرد (Deng et al., 2010). در نتیجه در این پژوهش از کرنل RBF استفاده گردید. روابط (۱) و (۲) به ترتیب بیانگر صفحه جداکننده و کرنل RBF هستند:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i K(x_i, x) + b \quad (1)$$

$$K(x, y) = \exp(\gamma \|x - y\|^2) \quad (2)$$

که در آن  $\alpha_i$  ضرایبی هستند که به کمک روش<sup>۴</sup> QP تعیین می‌گردند، K تابع کرنل برای تعیین فضای معیارها، b مقدار بایاس،  $y_i \in \{-1, 1\}$  برچسب کلاس‌ها و  $x_i$  بردار ورودی می‌باشند.

برای اجرای آنالیزها از نرم‌افزار MatLab (MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, USA) استفاده شد.

### ۳. نتیجه و بحث

از آنجایی که حوزه فرکانس به عنوان تشخیص ترک در مهندسی بسیار پرکاربرد است در پژوهش حاضر نیز به منظور تشخیص ترک در پوسته تخم مرغ از تحلیل در این حوزه استفاده گردید. شکل ۳ نمودار پاسخ ارتعاشی پوسته تخم مرغ سالم، با ترک موئی و عمیق را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است سیگنال پاسخ تخم مرغ‌های با پوسته ترک‌دار متفاوت از تخم مرغ با پوسته سالم می‌باشد. برای تخم مرغ با پوسته سالم، پیک‌های موجود در فرکانس‌های پایین دارای دامنه بیشتری نسبت به دامنه پیک‌های تخم مرغ با پوسته با ترک موئی و عمیق در این ناحیه فرکانسی می‌باشد. علت این مسئله را می‌توان با ضریب میرایی بزرگتر تخم‌مرغ‌های

1 - kernels  
2 - high-dimensional  
3 - radial basis function  
4 - quadratic programming

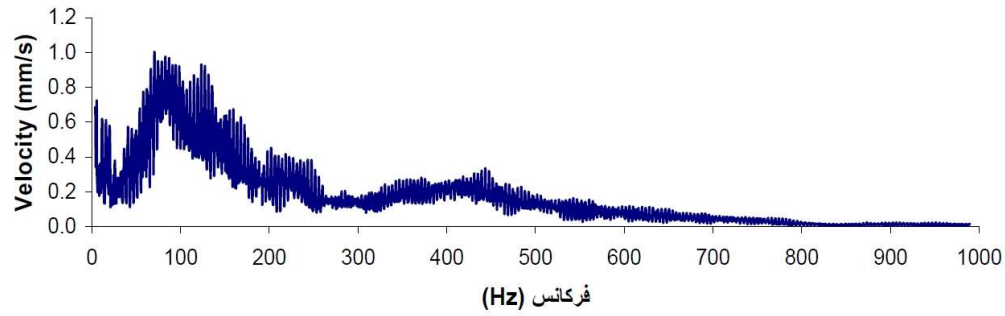


شکسته نسبت به سالم توجیه نمود. در نتیجه انرژی ارتعاش پوسته در تخم‌مرغ‌های شکسته بیشتر مستهلک شده و دامنه مشاهده شده کوچکتر می‌گردد. در حالیکه با افزایش فرکانس دامنه پیک‌ها در تخم مرغ با پوسته با ترک عمیق نسبت به تخم مرغ سالم و ترک موئی بیشتر می‌گردد. با توجه به اینکه ترک عمیق در پوسته تخم‌مرغ را می‌توان به صورت مجموعه‌ای از نودها تصور کرد. هنگامیکه ارتعاش حاصل از ضربه چکش به این محل می‌رسد، این نقاط با دامنه بزرگتری مرتعش می‌شود. در نتیجه از طرفی ارتعاش این نودها به بخش‌های دیگر پوسته منتقل می‌شود و از طرف دیگر بر خورد احتمالی این نودها با پوسته مقابل ترک، خود سبب تحریک مجدد پوسته و افزایش دامنه ارتعاش در فرکانس‌های بالا را سبب می‌گردد. نتایج بدست آمده در این پژوهش همراستا با مشاهدات وانگ و جیانگ (۲۰۰۵) می‌باشد. البته در بین تخم‌مرغ‌های با پوسته سالم و همچنین در بین تخم‌مرغ‌های با پوسته ترک موئی و عمیق نیز تغییری در نمودار پاسخ فرکانسی مشاهده گردید که این پدیده را می‌تواند با توجه به معادله دینامیکی ارتعاش آزاد<sup>۱</sup> و وابستگی آن به جرم تخم مرغ‌ها و ویژگی‌های سختی پوسته توجیح نمود. نتایج مشابهی توسط چو و همکاران (۲۰۰۰) و دیکتیلاری و همکاران (۲۰۰۰) گزارش شده است. تخم‌مرغ‌های با پوسته ترک‌دار، طیف‌های ارتعاشی ناهمگنی دارند که این مسئله طبقه بندی آن‌ها را مشکل می‌سازد. الگوهای این طیف وابسته به موقعیت نسبی نقطه تحریک نسبت به محل ترک در پوسته دارد. اما همانطور که گفته شد دامنه پیک‌ها در فرکانس‌های پایین در پوسته ترک‌دار به طور کلی پایین تر از تخم مرغ سالم است.

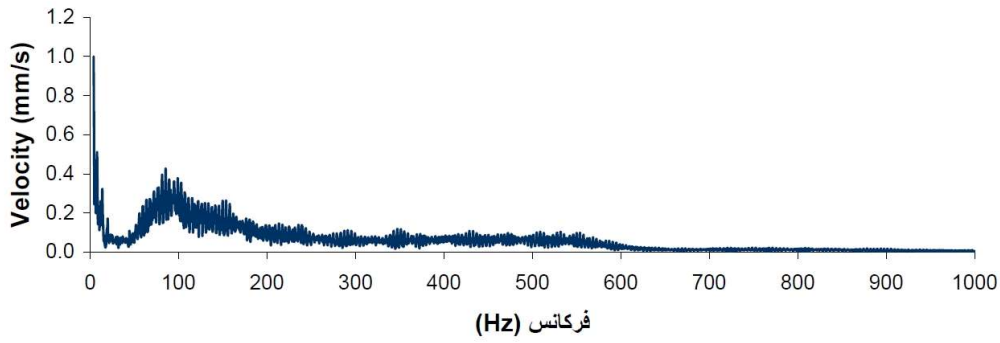
<sup>۱</sup> -  $[M]\ddot{x} + [C]\dot{x} + [K]x = 0$



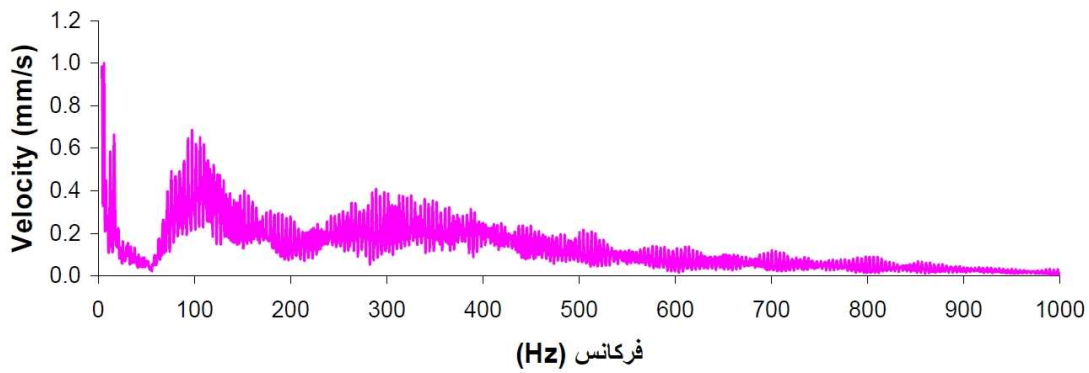
A



B



C



شکل ۳. پاسخ فرکانسی پوسته سالم (A)، با ترک موئی (B) و ترک عمیق (C)

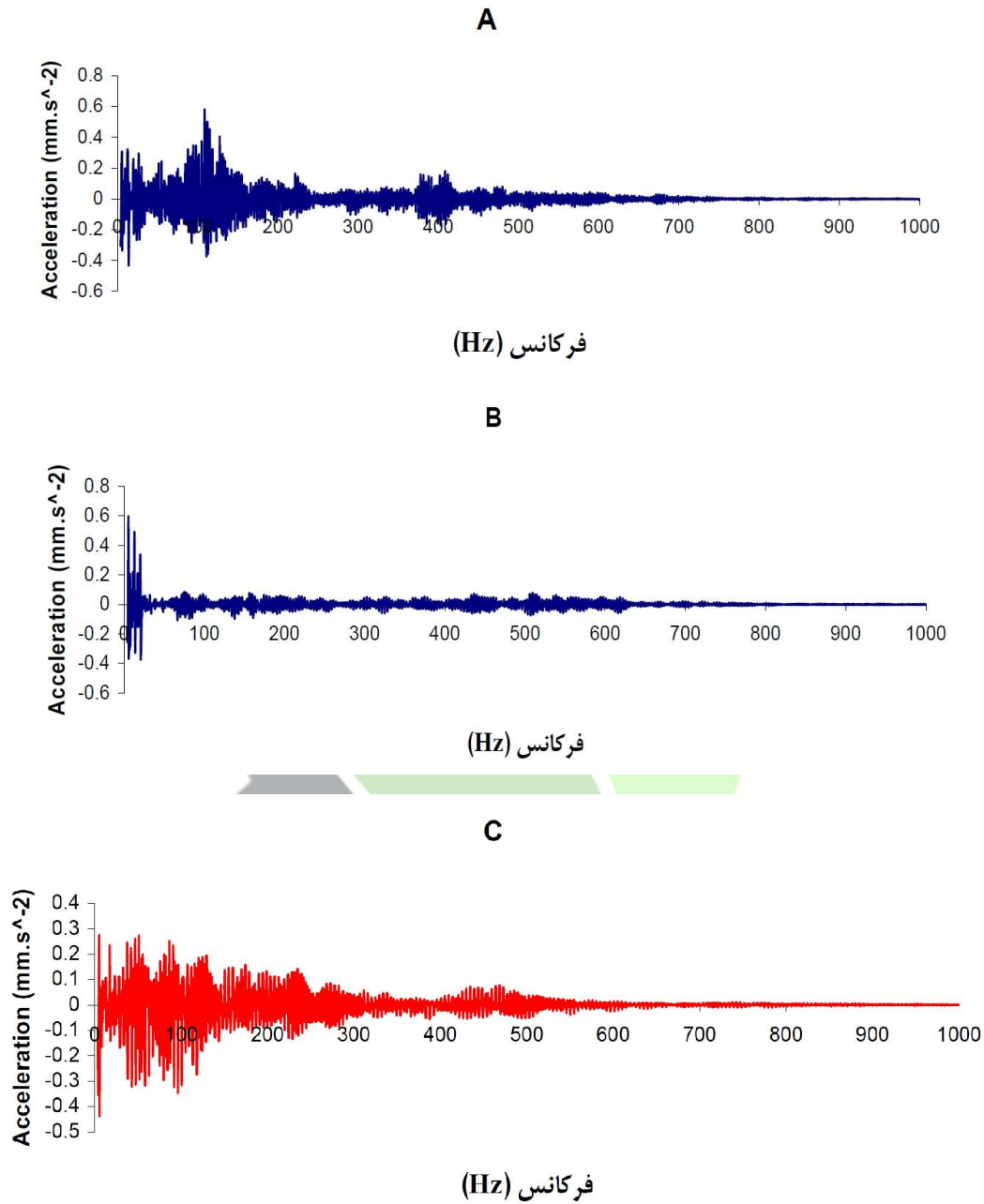




از آنجایی که دامنه سیگنال در برخی تخم‌مرغ‌های شکسته می‌تواند بزرگتر از تخم مرغ سالم گردد؛ این ویژگی قابلیت استفاده در طبقه‌بندی سیگنال‌ها را ندارد. در پژوهشی مشابه که به منظور تشخیص ترک پوسته با کمک شبکه عصبی صورت گرفت اثبات گردید که دامنه سیگنال آکوستیک توانایی تشخیص ترک پوسته را ندارد (Jindal and Sritham, 2003 a,b). در ضمن پیک‌های اصلی در تخم مرغ سالم در محدوده فرکانسی ۲۰۰-۰ Hz اتفاق می‌افتد که این ناحیه فرکانسی در برخی از تخم‌مرغ‌های شکسته با توجه به محل ترک می‌تواند ناحیه اصلی تغییرات فرکانسی مانند تخم مرغ سالم باشد. از این رو استفاده از معیار محتوی انرژی یک باند فرکانسی خاص که اغلب در تست یکپارچگی در سرامیک‌های به شکل یکنواخت و اشیاء ساخته شده از چدن استفاده می‌شود، غیر ممکن می‌گردد (Aly and Semler, 1985).

از این رو اعمال روش مناسب به منظور تحلیل ارتعاش پوسته بسیار حائز اهمیت است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است از فرکانس ۶۰۰ Hz به بعد تغییرات ارتعاشی پوسته در اثر ضربه کم می‌شود. در نتیجه تعیین ناحیه فرکانسی که بیشترین تغییرات پاسخ ارتعاشی پوسته را در اثر ضربه منعکس می‌کند از اهمیت بسزایی برخوردار است. بدین منظور اولین تا نهمین مولفه اصلی با روش PCA بدست آمده و ترسیم شدند. مطابق شکل ۴ (انتهای مقاله) از ۵۰۰ Hz تغییرات در فرکانس ارتعاش تأثیری بر روند پیشگویی تخم مرغ با پوسته سالم و ترک‌دار ندارد. این مسئله نشان می‌دهد که می‌توان بیش از نیمی از داده‌ها را حذف کرد و روند ارزیابی را سرعت بخشید.

با توجه به اینکه هدف این پژوهش طبقه‌بندی هوشمند نمونه‌ها و تشخیص پوسته سالم از ترک‌دار است؛ در انتخاب موثرترین ناحیه فرکانسی برای تولید ورودی بسیار دقت شد. زیرا حذف داده‌ها می‌تواند سبب از بین رفتن بخشی از اطلاعات و کاهش دقت طبقه‌بندی-کننده گردد. در نتیجه با مشتق‌گیری از داده‌های فرکانسی روند تغییرات، مجدداً مورد بررسی قرار گرفت. مطابق شکل ۵ از ۵۰۰ Hz به بعد تغییرات در فرکانس ارتعاش در تخم مرغ با پوسته سالم و ترک‌دار بسیار ناچیز می‌گردد. این مسئله نشان می‌دهد که تغییرات پاسخ ارتعاشی تا ۵۰۰ Hz می‌تواند حاوی بیشینه اطلاعات موجود باشد.

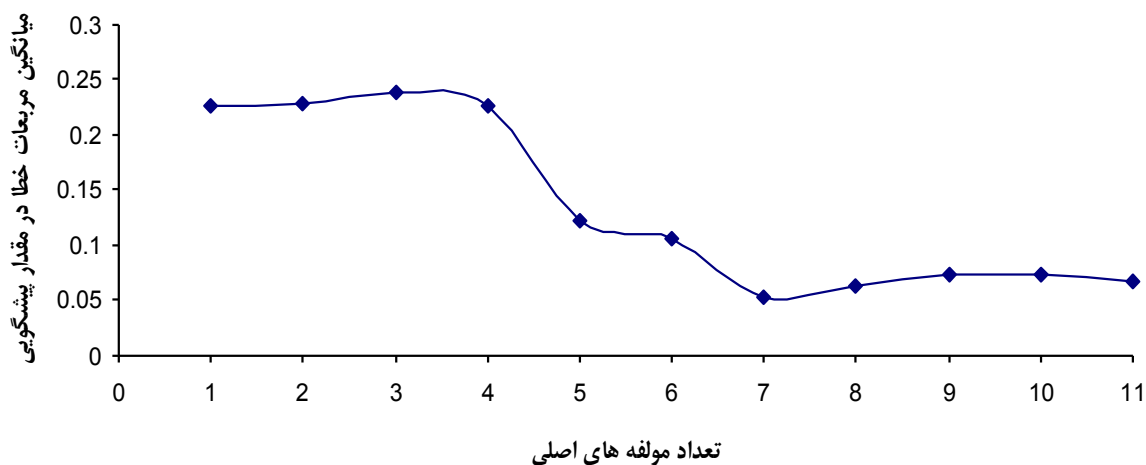


شکل ۵. مشتق پاسخ فرکانسی پوسته سالم (A)، با ترک موئی (B) و ترک عمیق (C)

پس از تعیین ناحیه تاثیر گذار فرکانسی، به منظور تعیین تعداد مولفه‌های اصلی می‌توان از یکی از روش‌های cross-validation، hold-out و bootstrap بهره جست (Xiaobo *et al.*, 2007). با توجه به پژوهش‌های انجام شده تمامی روش‌های فوق به یک



جواب منتهی می‌شوند با این تفاوت که روش cross-validation (که خود شامل روش‌های Leave-One و k-fold, Monte-Carlo) از روش bootstrap و hold-out دارای واریانس تئوری بالاتری می‌باشد. این در حالی است که زمان محاسبات در روش cross-validation طولانی‌تر می‌باشد (Lendasse et al., 2003). در نتیجه در این پژوهش از روش cross-validation و زیر مجموعه Leave-One-Out برای تعیین کارآمدترین تعداد مولفه‌های اصلی استفاده گردید. همانطور که در شکل ۶ مشخص است، تعداد ۷ مولفه اصلی خطای پیشگویی کمتری (۰/۰۵) نسبت به دیگر مولفه‌های اصلی دارد. بعلاوه ۷ مولفه اصلی اول دارای بیش از ۹۵٪ واریانس داده‌ها است. در نتیجه تعداد ۷ مولفه اصلی اول به صورت ورودی در آموزش طبقه‌بندی‌کننده استفاده گردید.



شکل ۶. نمودار تعداد مولفه‌های اصلی برحسب میانگین مربعات خطا در مقدار پیشگویی برای طبقه‌بندی

دو سوم داده‌ها (۸۰ عدد) برای آموزش و یک سوم (۴۰ عدد) برای آزمون طبقه‌بندی‌کننده استفاده گردید. خروجی تخم مرغ‌های سالم ۱ و تخم مرغ‌های با پوسته ترک‌دار ۱- در طبقه‌بندی در نظر گرفته شد. به منظور بهینه‌سازی SVM و یافتن کمترین مقدار خطا از روش QP استفاده گردید. در جدول ۲ نتایج حاصل از طبقه‌بندی داده‌ها نشان داده شده است.

جدول ۲. نتایج حاصل از طبقه‌بندی داده‌ها توسط SVM

گروه‌ها	تعداد نمونه‌ها	دقت (%)
پوسته سالم	۱۵	۱۰۰
پوسته ترک موئی و عمیق	۲۵	۸۷/۵



همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است روش PCA با کمک روش طبقه‌بندی SVM به خوبی پوسته سالم و پوسته ترک موئی و عمیق را به ترتیب با دقت ۱۰۰٪ و ۸۷/۵٪ تشخیص داده است. این روش در مقایسه با پژوهش دیکتیلاری و همکاران (۲۰۰۰) که از ضرایب همبستگی پیرسون<sup>۱</sup> استفاده و دقت کل ۹۰٪ را گزارش کردند، عملکرد قابل قبولی داشته است. تشخیص تخم‌مرغ با ترک موئی بسیار کوچک در دو انتهای پوسته یا تورفتگی‌ها متداول روی پوسته دشوار می‌باشد. دلیل این امر را می‌تواند توسط حرکت پوسته در زمان ارتعاش توضیح داده شود. قطب‌های تخم‌مرغ دارای کمترین حرکت ارتعاشی می‌باشند در حالی که حرکت ارتعاشی میان دو قطب به ویژه در نصف النهار پوسته نسبتاً بیشتر است. در نتیجه انتقال اطلاعات بیشتری در این ناحیه نسبت به دو قطب صورت می‌گیرد و تشخیص ترک را آسان‌تر می‌سازد. در پژوهشی دیگر وانگ و جیانگ (۲۰۰۵) به تشخیص ترک در پوسته بر اساس پاسخ دینامیکی پوسته پرداختند. آن‌ها به منظور تشخیص تخم‌مرغ با پوسته سالم از ترک‌دار از اولین فرکانس ارتعاش غالب، متوسط دامنه فرکانسی و متوسط مختصات x و y مرکز جرم در حوزه فرکانس به عنوان معیار استفاده نمودند. دقت روش گزارش شده در این پژوهش در تشخیص تخم‌مرغ سالم ۹۶٪ بود. البته در این پژوهش به دقت روش پیشنهادی در تشخیص تخم‌مرغ با پوسته ترک‌دار اشاره نشده است. با این حال دقت روش ارائه شده در این پژوهش نسبت به عملکرد روش وانگ و جیانگ (۲۰۰۵) در تشخیص تخم‌مرغ با پوسته سالم قابل قبول‌تر است.

#### ۴. جمع‌بندی

- پاسخ ارتعاشی پوسته حاوی اطلاعات ترک در پوسته است.
- ۷ مولفه اصلی داده‌های طیفی، بیش از ۹۵ درصد واریانس را در خود جای می‌دهند.
- موثرترین ناحیه فرکانسی در محدوده ۵۰۰ - ۰ Hz قرار دارد و روند تغییرات ارتعاشی پوسته در اثر ضربه از این ناحیه به بعد کم می‌شود.
- روش طبقه‌بندی SVM به خوبی پوسته سالم و پوسته ترک موئی و عمیق را به ترتیب با دقت ۱۰۰٪ و ۸۷/۵٪ تشخیص داده است.

#### ۵. منابع

- ۱- آبدانان مهدی‌زاده، س.، مینایی، س.، مهاجرانی، ع.، و کریمی ترشیزی، م.ا. (۱۳۹۲). ارزیابی غیرمخرب تازگی تخم‌مرغ با طیف-سنجی UV-IR و تعیین تاثیرگذارترین ناحیه طیفی. مجله بیوسیستم ایران (پذیرفته شده برای چاپ)

1- Pearson correlation coefficients

- 2- Abdanan Mehdizadeh S., S. Minaei, E. Mohajerani, and M. A. Karimi Torshizi. 2013. Effect of UV irradiation, sample thickness and storage temperature on storability, bacterial activity and functional properties of liquid egg. *International Journal of Food Technology* (Accepted for publication)
- 3- Adankon, M.M., and M. Cheriet. 2009. Model selection for the LS-SVM application to handwriting recognition. *Pattern Recognition* 42 (12), 3264–3270.
- 4- Aly, F., and C. E. Semler. 1985. Prediction of refractory strength using non-destructive sonic measurements. *Bulletin of the American Ceramic Society*, 64(12), 1155-1158.
- 5- Bourely A. J., T. C. Hsia, and S. K. Upadhyaya. 1987. Robotic egg candling system. *California Agriculture*, 41(1a and 2), 22-24.
- 6- Burges, C. 1998. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining Knowledge Discovery*, 2 (2), 121–167.
- 7- Cho, H. K., W. K. Choi, and J. H. Paek. 2000. Detection of surface in shell eggs by acoustic impulse method. *Transactions of ASAE*, 43(6), 1921–1926.
- 8- De Ketelaere, B., P. Coucke, and J. De Baerdemaeker. 2000. Eggshell crack detection based on acoustic resonance frequency analysis. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(1), 157–163.
- 9- Gomez, A. H., J. Wang, and A. G. Pereira. 2006. Firmness of mandarin at different picking dates. *Food Science and Technology International*, 12(4), 273–279.
- 10- Goodrum, J., W., and R. T. Elster. 1992. Machine vision for crack detection in rotating eggs. *Transactions of the ASAE*, 35(4), 1323-328
- 11- Gunn, S. R. 1998. Support Vector Machines for Classification and Regression. Technical Report. Department of Electronics and Computer Science, University of Southampton, May 10.
- 12- Idah, P.A., M.G. Yisa, E.S.A. Ajisegiri, and O. Okpala. 2009. Resonance frequency of Nigerian tomato fruit as related to prevention of damage during transportation. *Journal of Food Science and Technology (Mysore)* 46 (2), 153–155.
- 13- Jindal, V. K., and E. Sritham. 2003a. Detecting eggshell cracks by acoustic impulse response and Artificial Neural Networks. ASAE Annual International Meeting Las Vegas, Nevada, USA. 27–30 July.
- 14- Jindal, V. K., and E. Sritham. 2003b. Detecting eggshell cracks by acoustic impulse response and Artificial Neural Networks. ASAE Annual International Meeting, Las Vegas, USA, 27–30 July, Paper Number 036170.
- 15- Karimi, Y., S. O. Prasher, R. M. Patel, and S. H. Kim. 2006. Application of support vector machine technology for weed and nitrogen stress detection in corn. *Computers and Electronics in Agriculture* 51 (1–2), 99–109

- 16- Kemps, B. J., B. De Ketelaere, F. R. Bamelis, E. M. Decuypere, and J.G. De Baerdemaeker. 2003. Vibration analysis on incubation eggs and its relation to embryonic development. *Biotechnology Progress* 19, 1022-1025.
- 17- Sun, L., J.R. Cai, H. Lin, J. Zhao, and X. Bi. 2013. On-line estimation of eggshell strength based on acoustic impulse response analysis, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 18,220-225,
- 18- Mat Nawi, N., G. Chen, T. Jensen, and S. Abdanan Mehdizadeh. 2013. Prediction and classification of sugarcane Brix based on skin scanning using visible and shortwave near infrared, *Biosystems Engineering*, 115 (2), 154-161.
- 19- Moura, D.J., W.T. Silva, I.A. Naas, Y.A. Tolón, K.A.O. Lima, and M. M. Vale. 2008. Real time computer stress monitoring of piglets using vocalization analysis. *Computers and Electronics in Agriculture* 64 (1), 11-18.
- 20- Nashat, S., A. Abdullah, S. Aramvith, and M.Z. Abdullah. 2011. Support vector machine approach to real-time inspection of biscuits on moving conveyor belt. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75, 147-158.
- 21- Pan, L., G. Zhan, K. Tu, S. Tu, and P. Liu. 2011. Eggshell crack detection based on computer vision and acoustic response by means of back-propagation artificial neural network. *European Food Research Technology*, 233, 457-463
- 22- Pinhas, J., V. Soroker, A. A. Hetzroni, Mizrach, M. Teicher, and J. Goldberger. 2008. Automatic acoustic detection of the red palm weevil. *Computers and Electronics in Agriculture* 63 (2), 131-139.
- 23- Wang, J., and R. S. Jiang. 2005. Eggshell crack detection by dynamic frequency analysis. *European Food Research and Technology*, 221(1-2), 214-220..
- 24- Wang, J., T. J. Ying, and K. C. Cheng. 2007. Evaluation of pear firmness by dynamic characteristics of drop impact. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(8), 1449-1454.

## Eggshell crack detection using PCA and SVM

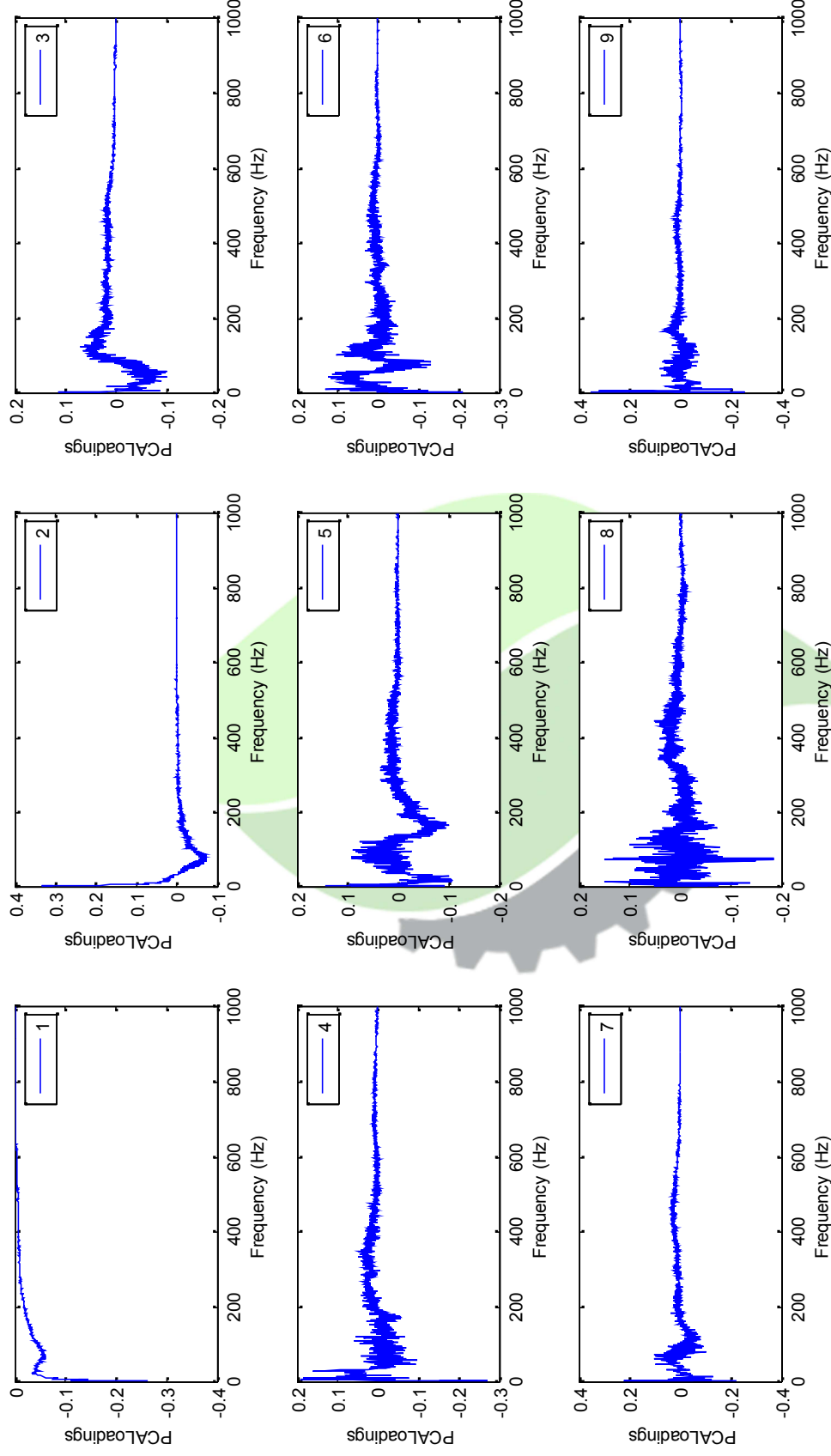
Saman Abdanan Mehdizadeh

Assistant professor, College of Agricultural Engineering, Ramin Khuzestan University of Agriculture and Natural Resources, Mollasani, Ahvaz, Khuzestan, Iran  
saman.abdanan@gmail.com

### Abstract

In the past, the inspection of cracks on eggshell was typically conducted in the industry by floodlighting, however, it gives eye fatigue, makes misjudgment and is not easy to detect hairline crack. Recent research into the automation of the detection of eggshell cracks is focused both on optical and mechanical detection principles. In this study eggs were excited by a light mechanical impact on different locations of the eggshell and vibrational frequency response of the eggshell combined with pattern recognition was attempted to differentiate intact egg and cracked egg. The pattern recognition was conducted by Principal Component Analysis (PCA) and Support Vector Machine (SVM). The optimal number of principal components was obtained 7 according to maximum error for predictive model and high discrimination between intact and cracked eggs. The result was found that the vibrational impulse response method distinguish intact egg and cracked egg with the level of 100% and 87.5% accuracy, respectively.

**Keywords:** vibrational frequency response, intact and cracked eggs, PCA, SVM



شکل ۴: نمودار مشارکت نسبی طول موج برای پیشگویی با روش PCR برای ۹ مؤلفه اصلی