

مقایسه روش‌های شناسایی الگوی نظارت شده برای تفکیک تخم‌مرغ‌های سالم و

ترک‌خورده با استفاده از پاسخ فرکانسی

مجید لشگری^{۱*}، رضا محمدی‌گل^۱

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه اراک

* ایمیل نویسنده مسئول: m-lashgari@araku.ac.ir

چکیده

استفاده از پاسخ آکوستیک از روش‌های مرسوم در بررسی وضعیت شکستگی پوسته تخم‌مرغ است. در این پژوهش، نمونه‌ها از طریق یک ضربه‌زن مکانیکی تحریک شده و پاسخ فرکانسی آنها به وسیله میکروفون دریافت شد. به منظور تشخیص و طبقه‌بندی تخم‌مرغ براساس شکستگی پوسته، پاسخ آکوستیک به همراه الگوریتم‌های رایج طبقه‌بندی مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به تنوع مدل‌های طبقه‌بندی، در این تحقیق، روش‌های شناسایی الگوی نظارت شده شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و نزدیکترین همسایه (KNN) استفاده شدند. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با دقت طبقه‌بندی ۹۵٪ برای تشخیص شکستگی پوسته تخم‌مرغ مناسب‌تر است.

واژه‌های کلیدی: پاسخ فرکانسی، تخم‌مرغ، شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان، نزدیکترین همسایه.

مقدمه

تولید تخم‌مرغ‌های با کیفیت از نظر پوسته و کیفیت درونی برای صنعت پرورش طیور، اهمیت دارد. شکستگی پوسته تخم‌مرغ‌های خوراکی و جوجه‌کشی، صنعت تولید تخم مرغ را همواره با هزینه‌های فراوانی مواجه می‌سازد. تخم‌مرغ‌های شکسته از بازارپسندی پایینی برخوردار هستند. علاوه بر این، تخم‌مرغ‌های شکسته تاثیر به‌سزایی بر کاهش میزان جوجه‌آوری دارند (Barnett *et al.*, 2004). تبخیر زیاد آب در تخم‌مرغ‌های شکسته باعث مرگ و میر جنین و در نهایت کاهش درصد جوجه‌آوری می‌شود (Kirikci *et al.*, 2004). لذا بررسی وضعیت پوسته تخم‌مرغ‌های شکسته و تفکیک آسیب دیده‌ها از تخم‌مرغ سالم بسیار حائز اهمیت است.

به طور کلی شکستگی پوسته تخم‌مرغ به سه دسته شکستگی کامل، موئین و ستاره‌ای تقسیم می‌شود (Devegowda & Ravikiran, 2008). شکستگی کامل معمولاً در اثر اعمال ضربات منقار و پنجه پرنده ایجاد می‌شود که در این حالت قسمتی از پوسته کاملاً جدا شده و حفره‌ای در پوسته به وجود می‌آید. این نوع شکستگی معمولاً با آسیب‌دیدگی غشاهای داخلی تخم‌مرغ همراه است. شکستگی موئین در اثر برخورد تخم‌مرغ با سطح سخت ایجاد می‌شود (Gupta, 2008). در این حالت تنها پوسته



صدفی تخم‌مرغ دچار آسیب شده و غشاهای داخلی تخم‌مرغ بدون آسیب باقی می‌مانند. شکستگی ستاره‌ای معمولاً در اثر برخورد تخم‌مرغ‌ها با یکدیگر ایجاد می‌شود (Gupta, 2008).

به طور سنتی شکستگی پوسته تخم‌مرغ‌ها با استفاده از روش نورآزمایی تشخیص داده می‌شود. نیاز به افراد خبره، سرعت پایین، امکان بروز خطای انسانی در حین بازرسی در اثر خستگی و عدم قابلیت استفاده از آن در خطوط درجه‌بندی از جمله معایبی است که می‌توان برای این روش برشمرد. لذا انواع شیوه‌های غیرمخرب ماشینی از جمله پاسخ آکوستیک برای تشخیص شکستگی پوسته تخم‌مرغ مورد توجه قرار گرفتند (Wang & Jiang, 2005; Zhao *et al.*, 2010). به منظور تشخیص و طبقه‌بندی تخم‌مرغ براساس شکستگی پوسته، پاسخ آکوستیک به همراه الگوریتم‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Xiong, 2011; Lin *et al.*, 2009; Pan *et al.*, 2011; Jindal & Sritham, 2003).

در ایران تحقیقات اندکی در این زمینه انجام گرفته است که به آنها اشاره می‌شود. در تحقیقی که توسط هاشمیان کلور و همکاران، (۱۳۹۲) انجام گرفت سامانه‌ای به منظور تشخیص ترک پوسته تخم‌مرغ طراحی شد. در این تحقیق حرکت یکنواخت تخم‌مرغ روی یک سطح شیب‌دار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان دهنده متفاوت بودن سیگنال‌های پاسخ بین تخم‌مرغ سالم و ترک‌خورده در حرکت یکنواخت بود. دقت تفکیک کل نمونه‌ها در سامانه طراحی شده ۸۸/۲۸٪، عدم دقت تفکیک ۱۱/۷۱٪، نرخ شناسایی نمونه سالم ۹۵/۱٪ و نرخ شناسایی نمونه ترک‌خورده ۸۴/۲۸٪ گزارش شده است.

آبدانان مهدی زاده (۱۳۹۲) در تحقیقی از مدل طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و آنالیز مولفه‌های اصلی برای تشخیص ترک در پوسته تخم‌مرغ استفاده نمود. در تحقیق مذکور 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. تعداد بهینه مولفه‌های اصلی با توجه به مقدار خطای مدل پیشگو و حداکثر تمییز میان تخم‌مرغ سالم از ترک‌خورده ۷ بدست آمد. نتایج تحقیق نشان داده است که روش تحلیل ارتعاشی پاسخ ضربه پوسته، توانایی تشخیص تخم‌مرغ سالم و تخم‌مرغ با پوسته ترک‌دار را به ترتیب با دقت ۱۰۰٪ و ۸۷/۵٪ دارد.

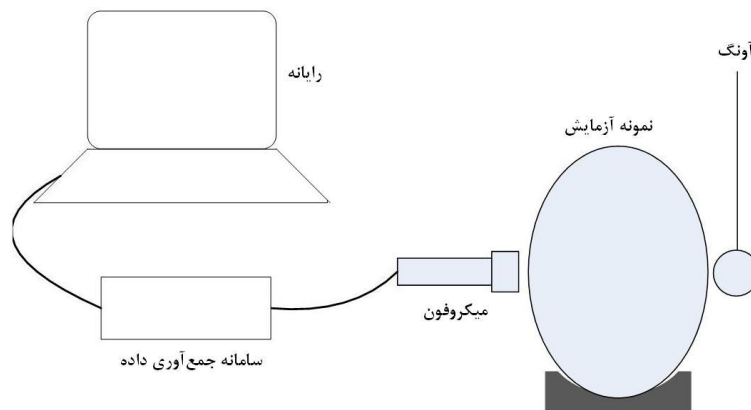
با توجه به تنوع روش‌های طبقه‌بندی مورد استفاده در تفکیک تخم‌مرغ‌های سالم و شکسته، مقایسه کارایی آنها حائز اهمیت است. هدف از این تحقیق، مقایسه روش‌های شناسایی الگوی نظارت شده در تفکیک تخم‌مرغ‌های با پوسته سالم و ترک‌خورده با استفاده از پاسخ فرکانسی است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۳۰۰ عدد تخم‌مرغ تازه و دارای پوسته یکنواخت و فاقد شکستگی از یکی از مرغداری‌های صنعتی تهیه شدند. نمونه‌ها به سه دسته ۱۰۰ عددی تقسیم شدند. دسته اول به عنوان نمونه‌های سالم در نظر گرفته شدند. دسته‌های ۱۰۰ عددی

دوم و سوم نیز به ترتیب برای ایجاد شکستگی موئین و ستاره‌ای در نظر گرفته شدند. در این تحقیق شکستگی‌های موئین و ستاره‌ای به روش دستی و با اعمال نیرو ایجاد شدند (لشگری و محمدی‌گل، ۱۳۹۵).

برای ایجاد ضربه از یک گوی پلاستیکی به وزن ۴/۸۵ گرم و قطر ۱۷/۵ میلی‌متر استفاده شد. گوی به انتهای یک سیم نازک به طول ۶۰ میلی‌متر متصل شد که به این ترتیب امکان نوسان همانند یک آونگ فراهم گردید. ضربه‌ها بر روی قطر بزرگ تخم‌مرغ‌ها و در ناحیه به اصطلاح استوایی انجام گرفتند (شکل ۱). در این تحقیق زاویه ۹۰ درجه برای ضربه‌زن انتخاب شد. با انتخاب این زاویه، صدمه‌ای به پوسته تخم‌مرغ در حین آزمایشات وارد نشد. داده‌برداری‌ها به وسیله میکروفن در موقعیت ۱۸۰ درجه نسبت به محل اعمال ضربه انجام شدند. در این تحقیق جهت اندازه‌گیری و ضبط صدای حاصل از ضربه در حوزه زمان از یک میکروفن مدل MP201 استفاده شد. همچنین از یک پیش تقویت‌کننده مدل MAP231 استفاده شد. سامانه جمع‌آوری اطلاعات مدل MC3022 که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت نسبت به تمامی فرکانس‌های صوتی دارای حساسیت یکسانی است. نرم‌افزار Scope V1.32 برای نمایش و ضبط سیگنال‌ها صدا در حوزه زمان مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به این که 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 منتقل نمود تا بتوان به محتوای فرکانسی آنها دست یافت. در این تحقیق انتقال سیگنال‌ها از حوزه زمان به فرکانس با بهره‌گیری از تبدیل فوریه سریع انجام پذیرفت. این عمل با استفاده از برنامه نوشته شده بر مبنای تبدیل فوریه سریع در محیط نرم‌افزار Matlab نسخه ۲۰۰۸ انجام گرفت.



شکل ۱- شماتیک تجهیزات آزمایش

سپس سیگنال‌های حوزه فرکانسی برای استخراج ویژگی‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از این مرحله در فرآیند طبقه‌بندی سیگنال‌های ضبط شده مورد استفاده قرار گرفت. ویژگی‌های به دست آمده از توابع آماری عبارتند از: بیشینه، انحراف



معیار، جذر میانگین مربعات، انرژی و کشیدگی^۱. تابع مربوط به هر یک از ویژگی‌ها در سایر تحقیقات آورده شده‌اند (Ebrahimi and Mollazade, 2010; Jalali and Mahmoudi, 2013). سپس طبقه‌بندی تخم‌مرغ‌های سالم و ترک‌خورده با استفاده از سه روش شناسایی الگوی نظارت شده یعنی شبکه‌های عصبی مصنوعی، نزدیکترین همسایه کا و ماشین بردار پشتیبان انجام گرفت. شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از روش‌های ساخت مدل طبقه‌بندی هستند که در آنها امکان مدل‌سازی یک تابع غیرخطی که بردار ورودی را به مقدار کمی نگاشت می‌کند وجود دارد. به همین دلیل، شبکه‌های عصبی به طور گسترده در طبقه‌بندی، درجه‌بندی و تشخیص محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این تحقیق از شبکه پرسپترون یک لایه و قانون یادگیری پس انتشار خطا برای طبقه‌بندی طیف نمونه‌ها استفاده شد. در شبکه استفاده شده، سه نرون خروجی برابر تعداد کلاس‌ها و پنج نرون ورودی نیز با توجه به تعداد ویژگی‌ها در نظر گرفته شد. شبکه با تعداد مختلفی از نرون‌ها تحت آموزش قرار گرفت. ساختار بهینه با تعداد ۳ نرون در لایه پنهان که از عملکرد بهتری برخوردار بود مورد انتخاب شد. در لایه‌های پنهان و خروجی به ترتیب از توابع انتقال سیگموئیدی^۲ و نرمال‌نمایی^۳ استفاده شد. تابع آموزش گرادینت نزولی تصادفی^۴ در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

در روش نزدیکترین همسایه کا که یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های طبقه‌بندی به شمار می‌آید، طبقه‌بندی ویژگی‌های مجموع داده‌ها با توجه به بیشترین شباهت آنها با داده‌های معلومی که در نزدیکی آنها قرار دارند انجام می‌شود. تعداد بهینه‌ای از نمونه‌های موجود در مجموعه داده‌ها که دارای شبیه‌ترین ویژگی‌ها به نمونه هدف باشند، K در نظر گرفته می‌شود. سپس با تعیین فاصله‌ها و وزن‌دهی عناصر آموزش دهنده، طبقه‌بندی عنصر هدف انجام می‌شود. به منظور تعیین مقدار بهینه K ، معمولاً روش ارزیابی تقاطعی^۵ به کار گرفته می‌شود که در این تحقیق نیز از این روش بهره گرفته شد. با استفاده از روش ارزیابی تقاطعی و تعیین مجموع مربعات خطا^۶، مقدار ۱۷ برای K به دست آمد.

ماشین بردار پشتیبان که یکی دیگر از روش‌های مرسوم طبقه‌بندی محسوب می‌شود، بهترین ابرسطحی را پیدا می‌کند که با حداکثر فاصله، داده‌های مربوط به دو طبقه را از هم تفکیک می‌کند. در این روش، داده‌ها با استفاده از توابع کرنل به فضایی با بعد بزرگ‌تر منقل می‌شوند تا فرآیند تفکیک‌پذیری بهتر انجام شود. کرنل خطی، چند جمله‌ای، تانژانت هاپربولیک و تابع بنیادی شعاعی^۷ رایج‌ترین توابعی هستند که در روش ماشین بردار پشتیبان مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تحقیق از کرنل تابع بنیادی

-
- 1- Kurtosis
 - 2- Sigmoid
 - 3- Softmax
 - 4- Stochastic Gradient Descent
 - 5- Cross Validation
 - 6- Sum Square Error (SSE)
 - 7- Radial Basis Function (RBF)



شعاعی استفاده شد. به منظور تعیین مقادیر بهینه g و C ، روش جستجوی شبکه‌ای^۱ با استفاده از ۱۰ بار ارزیابی به کار گرفته شد. با اجرای روش جستجوی شبکه‌ای، مقادیر ۲/۵ و ۱۴ به ترتیب برای g و C حاصل شدند. در این تحقیق، نرم‌افزار Orange نسخه ۲/۷ برای مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی، نزدیکترین همسایه کا و ماشین بردار پشتیبان مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج

در جدول ۱ ماتریس اغتشاش مربوط به هر یک از الگوریتم‌های طبقه‌بندی آورده شده است. همان گونه که از این جدول مشخص است بیشترین صحت طبقه‌بندی برای نمونه‌های سالم، شکستگی مؤین و شکستگی ستاره‌ای به ترتیب با استفاده از الگوریتم‌های ANN، SVM و KNN حاصل شده است. بنابراین هر یک از سه الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق برای تشخیص یکی از گروه‌ها مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

جدول ۱- ماتریس اغتشاش (I: سالم، H: شکستگی مؤین و S: شکستگی ستاره‌ای)

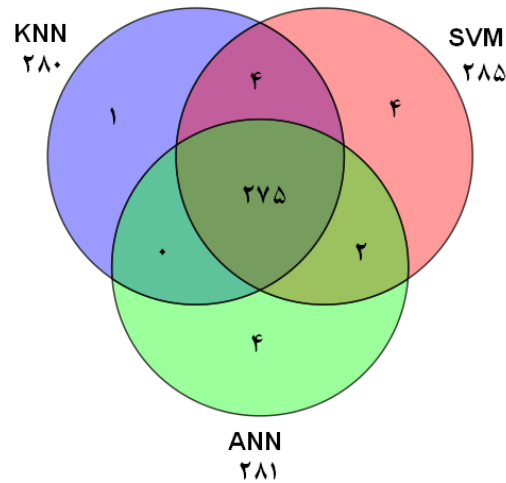
		پیش‌بینی		
		H	I	S
واقعی	H	٪۹۰	٪۴	٪۶
	I	٪۱	٪۹۸	٪۱
	S	٪۴	٪۳	٪۹۳
ANN				
		پیش‌بینی		
		H	I	S
واقعی	H	٪۹۰	٪۲	٪۸
	I	٪۶	٪۹۳	٪۱
	S	٪۳	٪۰	٪۹۷
KNN				
		پیش‌بینی		
		H	I	S
واقعی	H	٪۹۴	٪۰	٪۶
	I	٪۴	٪۹۵	٪۱
	S	٪۴	٪۰	٪۹۶
SVM				

صحت کل الگوریتم‌ها و مقدار F1 که شاخص میانگین هارمونیک دقت و حساسیت است در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به این دو شاخص می‌توان چنین دریافت که الگوریتم SVM در تفکیک تخم‌مرغ‌ها به لحاظ وضعیت پوسته نسبت به دو الگوریتم دیگر برتری دارد. نتایج مشابهی نیز توسط لین و همکاران گزارش شده است (Lin et al., 2009). در تحقیق لین و همکاران از پنج ویژگی دیگر برای تشخیص تنها یک نوع شکستگی پوسته استفاده شد. آنها همچنین نتیجه گرفتند که الگوریتم SVM در مقایسه با دو الگوریتم KNN و ANN از کارایی بهتری برخوردار است. مطابق جدول ۲، دقت الگوریتم‌های KNN و ANN نسبت به SVM به ترتیب به میزان ۱/۷۹ و ۱/۳۷ درصد کمتر است.

جدول ۲- نتایج ارزیابی

	صحت (%)	F1
ANN	۹۳/۷	۰/۹۳
KNN	۹۳/۳	۰/۹۴
SVM	۹۵	۰/۹۴

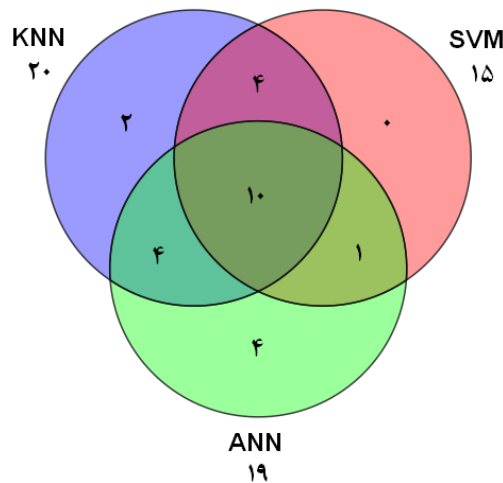
شکل ۲ نمودار ون^۱ برای نمونه‌های درست پیش‌بینی شده توسط هر سه الگوریتم نشان داده شده است. با استفاده از این شکل می‌توان میزان همپوشانی نمونه‌های درست پیش‌بینی شده را مشاهده نمود. همان‌گونه که از شکل مشخص است ۲۷۵ نمونه از مجموعه ۳۰۰ نمونه توسط هر سه الگوریتم به درستی تشخیص داده شده‌اند. در واقع ۹۱/۶۷ درصد از کل نمونه‌ها توسط هر سه الگوریتم به درستی تشخیص داده شده‌اند.



شکل ۲- نمودار ون برای نمونه‌های درست پیش‌بینی شده

شکل ۳ نیز نمودار ون برای نمونه‌های نادرست پیش‌بینی شده توسط هر سه الگوریتم نشان داده شده است. آنچه که مشخص است تنها ۱۰ عدد از نمونه‌ها به طور مشترک توسط هر سه الگوریتم به صورت نادرست پیش‌بینی شده است.

1- Venn Diagram



شکل ۳- نمودار ون برای نمونه‌های نادرست پیش‌بینی شده

نتیجه‌گیری

در این تحقیق استفاده از پاسخ آکوستیک و روش‌های شناسایی الگوی نظارت شده به منظور طبقه‌بندی تخم‌مرغ براساس وضعیت پوسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مقایسه بین الگوریتم‌ها نشان داد که ماشین بردار پشتیبان از عملکرد بهتری نسبت به دو الگوریتم شبکه عصبی و نزدیکترین همسایه کا برخوردار است. میانگین صحت طبقه‌بندی برای الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی و نزدیکترین همسایه به ترتیب ۹۵، ۹۳/۷ و ۹۳/۳ درصد به دست آمد. بنابراین از نتایج این تحقیق می‌توان چنین دریافت که روش‌های شناسایی الگوی نظارت شده توانایی بالقوه قابل قبولی برای طبقه‌بندی پاسخ آکوستیکی پوسته تخم‌مرغ دارند.

منابع

آبدانان مهدی‌زاده، س. ۱۳۹۲. تشخیص ترک در پوسته تخم‌مرغ با استفاده از SVM و PCA. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران، مشهد.

لشگری، م. و محمدی‌گل، ر. ۱۳۹۵. بررسی متغیرهای موثر بر پاسخ آکوستیک در تشخیص شکستگی پوسته تخم‌مرغ. تحقیقات مهندسی سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی. موسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی.

هاشمیان کلور، ف.، امیری پریان، ج. و لشگری، م. ۱۳۹۲. طراحی و ساخت دستگاه تشخیص ترک پوسته تخم‌مرغ با استفاده از پردازش صوت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

Barnett, D. M., B. L. Kumpula, R. L. Petryk, N. A. Robinson, R. A. Renema, and F. E. Robinson. 2004. Hatchability and early chick growth potential of broiler breeder eggs with hairline cracks. *The Journal of Applied Poultry Research*, 13(1), 65-70.

- Devegowda, G. and D. Ravikiran. 2008. Mycotoxins and eggshell quality: cracking the problem. *World Mycotoxin Journal*, 1(2), 203-208.
- Ebrahimi, E. and K. Mollazade. 2010. Integrating fuzzy data mining and impulse acoustic techniques for almond nuts sorting. *Australian Journal of Crop Science*, 4(5), 353-358.
- Gupta, L. 2008. Maintaining Egg Shell Quality.
<http://www.thepoultrysite.com/articles/979/maintaining-egg-shell-quality> (accessed July 2015).
- Jalali, A. and A. Mahmoudi. 2013. Pistachio nut varieties sorting by data mining and fuzzy logic classifier. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(2), 101.
- Jindal, V. K. and E. Sritham. 2003. Detecting eggshell cracks by acoustic impulse response and artificial neural networks. *American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, MI, ASAE paper, (036170).
- Kirikci, K., D. C. Deeming and A. Gunlu. 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.
- Lin, H., J. W. Zhao, Q. S. Chen, J. R. Cai and P. Zhou. 2009. Eggshell crack detection based on acoustic impulse response and supervised pattern recognition. *Czech J. Food Sci.* 27 (6), 393–402.
- Pan, L. Q., G. Zhan, K. Tu, S. C. Tu and P. Liu. 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.
- Wang, J. and R. Jiang. 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., J. Wang, Q. Lu and R. Jiang. 2010. Pattern recognition of eggshell crack using PCA and LDA. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(3), 520-525.