ماشین بینایی تشخیص‌گر باروری تخم‌مرغ و ارزیابی کارایی شبکه‌های عصبی و ماشین بردار پشتیبان در آن

مهدی هاشم‌زاده

دانشکده فناوری اطلاعات و مهندسی کامپیوتر دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

چکیده

در این پژوهش یک سامانهٔ تشخیص‌گر باروری تخم‌مرغ ارائه شده که این سامانه شامل دو بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است. سخت‌افزار ساخته‌شده امکان تصویربرداری دقیق از محتوی درون تخم‌مرغ‌ها بدون آسیب‌رسانی به نطفه یا جنین داخل آنها را فراهم می‌کند. بخش نرم‌افزاری نیز عبارتست از مجموعه‌ای از فرایندهای پردازش تصویر و بینایی ماشین که بدون حساسیت به تصاویر تخم‌مرغ‌های مختلف (به‌عنوان مثال با ضخامت پوسته متفاوت) قادر به شناسایی نطفهٔ درون آنها است. برای جداسازی تخم‌مرغ‌های نطفه‌دار و بدون نطفه، دو نوع طبقه‌بند شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان طراحی و مورد مطالعه قرار گرفته است. برای ارزیابی سامانه، یک بانک تصاویر مشتمل بر ۱۲۰۰ تصویر از تخم‌مرغ‌های قرارداده‌شده در فرایند جوجه‌کشی تهیه شده است. آزمایش‌های جامعی بر روی این بانک تصاویر انجام گرفته، که نتایج آنها مؤید عملکرد بسیار مناسب سامانه است. در ارزیابی‌های انجام‌شده برای مقایسه کارایی دو طبقه‌بند، نشان داده شده است که طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان با میانگین دقت تشخیص ٪۵۰/۵۷، ٪۸۳/۶۷، ٪۹۴/۲۰، ٪۹۸/۰۳ و ٪۹۸/۹۱ به‌ترتیب در روزهای نخست، دوم، سوم، چهارم و پنجم فرایند جوجه‌کشی از کارایی بهتری نسبت به طبقه‌بند شبکه عصبی برخوردار است و همچنین حساسیت بسیار کمتری در برابر کاهش تعداد نمونه‌های آموزشی از خود نشان داده است.

واژگان کلیدی: بینایی ماشین، تخم‌مرغ نطفه‌دار، طبقه‌بندی، شبکه‌های عصبی، ماشین بردار پشتیبان.

A Vision Machine for Detecting Fertile Eggs and Performance Evaluation of Neural Networks and Support Vector Machines in This Machine

Mahdi Hashemzadeh

Department of Information Technology and Computer Engineering

Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

Abstract

In this research, a system is proposed for detecting fertility of eggs. The system is composed of two parts: hardware and software. The fabricated hardware provides a platform to obtain accurate images from inner side of the eggs, without harming their embryos. The software part includes a set of image processing and machine vision processes, which is able to detect the fertility of eggs from captured images, without any sensitivities to different types of eggs (e.g. with different thickness of the eggshell). In order to classify the fertile and infertile eggs, two classifiers based on Artificial Neural Networks (ANN) and Support Vector Machines (SVM) are designed and tested. It means that, to have a fully automatic fertility detection

machine, we design two machine learning approaches using SVMs and ANNs to classify fertile and infertile eggs. That is, instead of using a predefined threshold values for distinguishing fertile pixels of egg images from infertile ones, we try to train the machine to do the job automatically. After training the machine using both classification algorithms, the performance of them are accurately investigated and measured in order to select the appropriate one. To evaluate the system, an egg image dataset is provided including 1200 images captured from incubated eggs. Extensive experiments are performed using the provided dataset, which confirm the reliable performance of the system. Comparisons with other fertility detection approaches applying different methods and algorithms confirm that the proposed machine outperforms more complex systems. Performance evaluations of the two proposed classifiers confirm that the SVM based classifier, with average detection accuracy of 50.57% at day 1 of incubation, 83.67% at day 2, 94.20% at day 3, 98.03% at day 4, and 98.91% at day 5, performs better than ANN based classifier, and it is also less sensitive against the reductions in training samples, which can be a serious issue when we are not able to provide more training samples.

Keywords: Machine Vision, Fertile Eggs, Classification, Neural Networks, Support Vector Machines.

۱- مقدمه

صنعت پرورش طیور یکی از بزرگ‌ترین صنایع تأمین‌کنندهٔ نیاز غذایی انسان است. تولیدِ مثل نیز یکی از جنبه‌های مهم پرورشی پرندگان اهلی است و در این بین فرآیندی که طی آن تخم‌مرغ بارور به جوجه تبدیل می شود، اهمیت ویژه‌ای دارد. صرف‌نظر از میزان سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده و حجم مبادلات صورت‌گرفته در این صنعت، به واسطه نیاز مبرم به تولیدات آن، روزبه‌روز بر اهمیت و نقش اقتصادی و اجتماعی این صنعت افزوده شده است. در تولید جهانی غذا، استفاده بهینه از منابع انرژی، تولید محصولی با کیفیت بهتر و ارزان، کاهش دورریخت‌ها و افزایش ضریب تبدیل همواره به‌عنوان اهداف اصلی دنبال می‌شوند. بدیهی است این افزایش بهره‌وری بدون توجه به ارتقای فن‌آوری و اتوماسیون امکان‌پذیر نیست.

یکی از عوامل مؤثر در افزایش بهره‌وری صنعت جوجه‌کشی، اطمینان داشتن از نطفه‌داربودن تخم‌مرغ‌هایی است که در فرآیند جوجه‌کشی قرار می‌گیرند. باقی‌ماندن تخم‌مرغ‌های نابارور در داخل ماشین جوجه‌کشی منجر به فساد آنها شده و با گازهای نامطبوعی که تولید می‌کنند، باعث آلودگی محیط و ناراحتی جنین‌های سالم می‌شوند. با تشخیص به‌موقع تخم‌مرغ‌های نابارور و یا آنهایی که خاصیت جوجه‌آوری خود را از دست داده‌اند، آنها را قبل از فاسدشدن از چرخه فرایند می‌توان خارج کرد و در جایگاه تغذیه‌ای دیگری مورد استفاده قرار داد. همچنین با خروج آنها ظرفیت مفید دستگاه جوجه‌کشی نیز افزایش می‌یابد [3]-[1].

در بیش‌ترِ مراکز تولید جوجه، قبل از قراردادن تخم‌مرغ‌ها در داخل دستگاه، نطفه‌داربودن آنها توسط کارگران ماهر، به‌صورت چشمی و به‌طورکامل سنتی بررسی می‌شود. پس از بارگذاری تخم‌مرغ‌ها در فواصل زمانی خاصی، دوباره افراد ماهر باروربودن آنها را بررسی می‌کنند. در برخی مراکز، برای تعیین نطفه‌داری از دستگاه کندلینگ[1] نیز استفاده می شود. در این دستگاه تخم‌مرغ‌ها در مقابل روزنهٔ نوری که نور نمی‌تواند از کنار روزنه درز کند، قرار می‌گیرند و درونشان روشن شده و محتویات آنها نمایان می‌شود، به‌طوری‌که تخم‌مرغ‌های نابارور به‌طورکامل شفاف به‌نظر می‌رسند درحالی‌که نطفهٔ داخل تخم‌مرغ‌های بارور به‌صورت یک لکه تیره به همراه رگ‌های خونی (شکل عنکبوتی) ظاهر می‌شود [4]،[1].

به گفته مسؤولان جهاد کشاورزی، در کشور ما مراکز تولید جوجه تمایل زیادی به استفاده از این کارگران و دستگاه‌های کندلینگ از خود نشان نمی‌دهند؛ زیرا از نظر اقتصادی برای آنها مقرون‌به‌صرفه نیست؛ اما هزینه زیادی را صرف کارگرانی می‌کنند که مجبورند روزانه هزاران تخم‌مرغ را کنترل نمایند و به‌دلیل خستگی زیاد، تکراری‌بودن کار و خطای دید، کارایی کارشان به‌طورمعمول با ۲۵ الی ۳۰ درصد تلفات مواجه است [5].

با طراحی سامانه‌ای که بتواند با استفاده از دید ماشین نطفهٔ درون تخم‌مرغ و رگ‌های خونی متعلق به آن را تشخیص دهد و تخم‌مرغ‌های بارور را از نابارور جدا کند، درصد جوجه‌آوری را به سرعت می‌توان بهبود بخشید. شاید نزدیک‌ترین زمینه پژوهشی به این کار، تشخیص رگ‌های خونی شبکیه چشم باشد، نظیر پژوهش انجام‌شده در مرجع [6]. تاکنون گزارش‌های اندکی در رابطه با استفاده از

[1] Candling

روش‌های بینایی ماشین و پردازش تصاویر دیجیتالی معمولی جهت تشخیص باروری تخم‌مرغ‌ها ارائه شده است. البته برخی پژوهش‌های علمی در راستای شناسایی تَرَک‌ها و آلودگی‌های پوسته تخم‌مرغ و یا اندازه‌گیری مختصات فیزیکی آنها صورت گرفته و برخی نتایج در مقالات مربوطه گزارش شده است [13]-[7]. بیش‌تر این پژوهش‌ها بر روی تصاویر گرفته‌شده از شکل ظاهری تخم‌مرغ‌ها انجام گرفته و هدفشان استخراج برخی مشخصات از ساختار بیرونی تخم‌مرغ بوده است. بدیهی است عمل تشخیص نطفهٔ درون تخم‌مرغ‌ها با استفاده از تصویربرداری معمولی و از ساختار ظاهری تخم‌مرغ‌ها میسر نمی‌شود. شاید استفاده از تجهیزات پیشرفته‌ای همچون تصویربرداری MRI یا تصویربرداری اَبَرطیفی[1]، سونوگرافی و یا استفاده از منابع نوری مانند لیزر و یا دوربین‌های دید در شب مادون قرمز بتواند گره‌گشای مشکلات باشد [17]-[14]، [5]. با این حال استفاده از این تجهیزات پیشرفته و پرهزینه از لحاظ اقتصادی برای اهداف تولیدی در مقیاس انبوه مقرون‌به‌صرفه نخواهد بود. همچنین حفظ سلامت و ایمنی جنین در برابر تشعشعات وارده از این منابع نوری تضمین شده نیست. در ادامه جهت آشنایی با پیشینهٔ پژوهش، برخی از کارهای انجام‌گرفته را مرور خواهیم کرد.

۱-۱- کارهای مرتبط

پاتل و همکارانش [18] یک سامانهٔ خبره جهت بررسی ترک‌ها، لکه‌های خونی و آلودگی‌های روی پوسته تخم‌مرغ پیاده‌سازی کردند. آنها در این سامانه از ویژگی‌های استخراجی از تصاویر دیجیتال و شبکه‌های عصبی برای شناسایی موارد مذکور بهره گرفتند. *یوسوی* و همکارانش [13] با پژوهش بر روی طیف‌های رنگی، که با دوربین مولتی اسپکتروم MSC تصویربرداری می‌کردند، و با مقایسه نور منعکس‌شده از تخم‌مرغ‌های طبیعی و غیرطبیعی، موفق شدند آستانه کشف و نمایان‌ساختن نقاط خونی را در تخم‌مرغ‌ها استخراج کنند.

در پژوهشی دیگر توسط *دنگ* و همکارانش [19] برای شناسایی ترک‌های پوسته تخم‌مرغ از ماشین بردار پشتیبان[2] و تحلیل موجک سیگنال‌های آکوستیک استفاده شد. در این سامانه از چندین ویژگی استخراجی موجک برای تحلیل سیگنال‌های آکوستیک بهره گرفته شد تا با دقت بالایی انواع مختلفی از ترک‌ها را بر روی پوسته تخم‌مرغ شناسایی نمایند.

هان و همکارانش [9] در پژوهشی به تشخیص ترک‌های تخم‌مرغ به‌صورت خودکار با استفاده از Labview پرداختند. در این پژوهش صدای ضربهٔ وارد شده به تخم‌مرغ با یک میکروفون به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌شود. سیگنال به‌دست‌آمده پس از بهینه‌سازی به مدار مبدل آنالوگ به دیجیتال و همچنین مدار مقایسه‌گر ولتاژ فرستاده می‌شود و با مدار ایزوله به میکروکنترلر انتقال می‌یابد و درنهایت میکروکنترلر سیگنال دریافتی را توسط پورت سریال به رایانه جهت پردازش و تشخیص ترک‌های تخم‌مرغ انتقال می‌دهد.

فانگ و همکارانش [8] یک سامانه بینایی ماشین جهت تشخیص ترک تخم‌مرغ‌ها پیاده‌سازی کردند. در این سامانه از یک لامپ مهتابی حلقه‌ای به‌عنوان منبع نور تصویربرداری استفاده می‌شود. پس از تمیزکردن پوسته خارجی و رفع آلودگی‌های تخم‌مرغ، عمل تصویربرداری صورت گرفته و تصاویر مورد پردازش قرار می‌گیرند. دقت پردازش تصویر در این روش برای تخم‌مرغ‌های ترک‌دار ٪۸۸ و برای تخم‌مرغ‌های دارای پوسته سالم و بدون ترک ٪۸۷ گزارش شده است.

جوادی‌کیا و همکارانش [11] از روش‌های پردازش تصویر برای اندازه گیری‌های ظاهری تخم‌مرغ استفاده نمودند. همچنین یک سامانه استنتاجی فازی جهت تخمین وزن تخم‌مرغ از روی اطلاعات استخراجی مانند عرض و ارتفاع ارائه کردند. نتایج گزارش‌شده حاکی از کارایی بسیار بالای سامانه مذکور است، طوری‌که تخمین وزن تخم‌مرغ‌ها با دقت ٪۹۹ قابل انجام بود.

ابراهیم و همکارانش [10]پژوهشی در مورد درجه‌بندی و تشخیص آلودگی خارجی تخم‌مرغ توسط بینایی ماشین انجام داده‌اند. در این پژوهش، تخم‌مرغ‌ها بر روی یک نوار نقاله حرکت کرده و دوربین تعبیه‌شده در بالای نوار نقاله به تهیه عکس از تخم‌مرغ‌ها می‌پردازد. تصاویر تهیه‌شده، پردازش‌شده و آلودگی‌های موجود بر روی پوسته شناسایی می‌شود.

از دیگر پژوهش‌گرانی که در زمینه شناسایی ترک و آلودگی‌های تخم‌مرغ با استفاده از روش‌های پردازش تصویر، به فعالیت پرداخته‌اند می‌توان به *قضاوی* و همکارانش [7] اشاره کرد. در روش پیشنهادی آنها، ترک‌های موجود در تصویر ابتدا با استفاده از یک فیلتر تیزکننده از زمینه

[1] Hyperspectral imaging
[2] Support Vector Machine (SVM)

متمایزتر شده و سپس تصویر فیلترشده به تصویری با طیف خاکستری تبدیل می‌شود. درنهایت تصویر خاکستری به تصویر سیاه و سفید تبدیل‌شده و ترک‌های تخم‌مرغ قابل تشخیص می‌شود.

برخی پژوهش‌گران از فناوری بینایی ماشین و پردازش تصویر جهت تشخیص باروری تخم‌مرغ‌ها استفاده کردند. *داس* و همکارانش [21]،[20] دو سامانه بینایی ماشین جهت تشخیص تخم‌مرغ‌های نطفه‌دار پیاده‌سازی کردند که از ترکیب ویژگی‌های هیستوگرام تصاویر تخم‌مرغ‌ها و طبقه‌بندی‌کننده‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی در سامانه‌های خود استفاده کردند. ویژگی‌ها و شکل هیستوگرام‌های تصاویر سطح خاکستری تخم‌مرغ‌ها جهت جداکردن تخم‌های بارور از نابارو استفاده شد. در این سامانه از یک منبع نوری که از پشت تخم‌مرغ تابانده می‌شود، برای تصویربرداری استفاده می‌شود و همچنین از یک فیلتر سبزرنگ نیز برای افزایش دقت تصویربرداری بهره گرفته شده، که البته میزان حساسیت سیستم در قبال تخم‌مرغ‌های با رنگ پوستهٔ متفاوت ارزیابی نشده است. دقت تشخیص باروری تخم‌مرغ‌ها برای روزهای دوم، سوم و چهارم فرایند جوجه‌کشی به‌ترتیب ٪۶۷/۶، ٪۹۳/۵ و ٪۹۳/۹ گزارش شده است.

ژو و همکارانش [22] تلاش کردند تا ویژگی‌های تصویری تخم‌مرغ‌ها از قبیل شکل تخم‌مرغ و رنگ قسمت زرده آن‌را استخراج کرده و برای تشخیص باروری آنها مورد استفاده قرار دهند. برای طبقه‌بندی از روش LS-SVM با هسته‌ی RBF استفاده کردند. روش‌های دیگری نیز از قبیل SVM و شبکه‌های عصبی با هسته‌های متفاوت نظیر خطی و غیرخطی مورد آزمایش قرار گرفتند. درنهایت روش LS-SVM با هسته‌ی RBF با دقت طبقه‌بندی ٪۹۲/۵ در روز ششم جوجه‌کشی بهترین کارایی را از خود نشان داد.

در یک پژوهش دیگر توسط *بیملیس* و همکارانش [14] یک روش اسپکتروفتومتریک جهت بررسی رشد جنین در داخل تخم‌مرغ‌های دستگاه‌های جوجه‌کشی ارائه شد. آنها از یک لامپ هالوژن جهت بررسی وضعیت داخلی تخم‌مرغ‌ها استفاده کردند. در این سامانه، با استفاده از اندازه‌گیری‌های اسپکتروسکوپیک و تشخیص میزان هموگلوبین در داخل تخم‌ها وضعیت و حالت جنین در حال رشد بررسی می‌شود. نتایج آزمایش‌ها نشان داده است که با این سامانه وضعیت جنین در حال رشد پس از ۱۰۸ ساعت (۴/۵ روز) قابل مشاهده و بررسی است.

لین و همکارانش [23] برای تشخیص نطفه‌داربودن تخم‌مرغ‌ها از سامانه تصویربرداری حرارتی بهره گرفتند. آنها توانستند براساس اطلاعات حرارتی دریافتی و به‌وسیلهٔ تئوری فازی برخی حدود آستانه‌ای را جهت تشخیص باروری تخم‌مرغ‌ها ارائه کنند.

درهمین اواخر برخی از پژوهش‌گران از روش‌های پیشرفته‌ای نظیر تصویربرداری ابرطیفی جهت تشخیص باروری تخم‌مرغ‌ها بهره گرفته‌اند [17]،[15]. تصویربرداری ابرطیفی ترکیبی از تصاویر دیجیتالی دوبعدی و اسپکتروسکوپی را فراهم می‌کند. یک تصویر ابرطیفی علاوه‌بر اطلاعات فضایی[1]، اطلاعات طیفی[2] هریک از پیکسل‌های تصویر را دربر دارد. این اطلاعات می‌تواند برای تشکیل یک ابرمکعب سه‌بعدی استفاده شود که امکان بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اشیاء داخل تصویر را فراهم می‌سازد. بنابراین، این نوع از تصویربرداری از تخم‌مرغ‌ها نه‌تنها امکان بررسی ساختار فیزیکی تخم‌مرغ، مثل شکل، رنگ و اندازه را فراهم می‌کند، بلکه ما را قادر می‌سازد تا برخی ویژگی‌های داخلی و شیمیایی، نظیر میزان آب، چربی و پروتئن را نیز استخراج کنیم.

در روشی که *لارنس* و همکارانش [15] ارائه کردند، تصویربرداری ابرطیفی برای تشخیص میزان رشد جنین داخل تخم‌مرغ در سومین روز از فرایند جوجه‌کشی استفاده می‌شود. نتایج بسیار قابل توجهی از این سامانه گزارش شده است، به‌طوری‌که دقت تشخیص میزان رشد جنین در سه روز نخست جوجه‌کشی به‌ترتیب ٪۹۲، ٪۱۰۰ و٪۱۰۰ است. با توجه به این نتایج خوب، *اسمیت* و همکارانش [17] سامانه‌ای را براساس تصویربرداری ابر طیفی ارائه کردند که بتواند تخم‌مرغ‌های بارور و نابارور را در سه روز نخست جوجه‌کشی از یکدیگر جدا کند. با این حال در آزمایش‌هایی که برای ارزیابی این سامانه انجام شد، نتایج بسیار ضعیف‌تری از آنچه برای رصدکردن رشد جنین به‌دست آمده بود، حاصل شد؛ به‌طوری‌که دقت تشخیص باروری برای سه روز نخست، دوم و سوم فرایند جوجه‌کشی به‌ترتیب ٪۶۳، ٪۶۵ و ٪۸۳ گزارش شده است.

لیو و همکارانش [16] یک سامانه بینایی ماشین جهت دسته‌بندی تخم‌مرغ‌های بارور و نابارور طراحی و پیاده‌سازی کردند که عملیات تشخیص با استفاده از تصویربرداری ابرطیفی نزدیک به مادون قرمز[3] انجام می‌شد.

[1] Spatial
[2] Spectral
[3] Near-Infrared Hyperspectral Imaging

در این سامانه، پس از تصویربرداری ابرطیفی از یک تخم‌مرغ، محدوده تخم‌مرغ در داخل تصویر شناسایی و استخراج می‌شود. با استفاده از فیلتر گابور[1]، ویژگی‌های بافت[2] تصویر طیفی در محدوده شناسایی‌شده استخراج می‌شود. از روش PCA جهت کاهش ابعاد ویژگی‌های استخراجی بهره گرفته شده و عمل تشخیص باروری با استفاده از ویژگی‌های به‌دست‌آمده انجام می‌شود. دقت تشخیص باروری تخم‌مرغ‌ها برای چهار روز نخست جوجه‌کشی به‌ترتیب ٪۷۸/۸، ٪۷۴/۱، ٪۸۱/۸ و ٪۸۴/۱ گزارش شده است.

فروزان‌مهر و همکارانش [5] نیز در پژوهشی به بررسی و انتخاب تخم‌مرغ‌های نابارور با استفاده از دید ماشین پرداختند. در روش آنها، برای عکس‌برداری از یک دوربین هندیکم CCD مجهز به لنز خودکار، سامانه دید در شب مادون قرمز و یک مبدل آنالوگ به دیجیتال که به رایانه متصل می‌شود، استفاده می‌شود. همچنین از یک مانیتور رنگی برای بررسی باروری تخم‌مرغ‌ها بهره گرفته می‌شود. با مقایسه عملکرد سامانه و روش تخریبی تخم‌مرغ‌ها روی پنجاه عدد تخم‌مرغ که به روز چهارم جوجه‌کشی وارد شده بودند، دقت تشخیص تخم‌مرغ‌های بارور ٪۹۶ گزارش شده است. با این حال هزینه بالا و عدم دسترسی آسان تجهیزات به‌کار گرفته‌شده در این سامانه، همچنان می‌توانند به‌عنوان محدودیت‌های اساسی بر سر راه این صنعت مهم قرار گیرند.

در این پژوهش سامانه‌ای طراحی می‌شود که بتواند به‌صورت خودکار، ناباروربودن تخم‌مرغ‌ها را قبل از ورود به روز سوم فرایند جوجه‌آوری با دقت بالایی تشخیص دهد. علاوه‌بر این هدف اصلی، سعی در استفاده از روش‌هایی می‌شود که ضمن ارزان‌بودن، سلامت و امنیت تخم‌مرغ‌ها را نیز تهدید نکنند. در راستای نیل به این اهداف، یک ماشین بینایی طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی می‌شود که عمل کندلینگ را به‌صورت خودکار و بدون دخالت نیروی انسانی انجام دهد. الگوریتمی برای جداسازی نطفه در داخل تصویر تخم‌مرغ طراحی شده که بدون حساسیت به تصاویر تخم‌مرغ‌های مختلف (از نظر اندازه، ضخامت پوسته و میزان رشد نطفه یا جنین) قادر به پردازش دقیق تصاویر است. برای انجام عمل تفکیک تخم‌مرغ‌های نطفه‌دار و بدون نطفه، دو نوع طبقه‌بند با استفاده از شبکه‌های عصبی و ماشین بردار پشتیبان پیاده‌سازی و ارزیابی شده‌اند.

جهت ارزیابی سامانهٔ پیشنهادی، یک بانک تصاویر بزرگ از تخم‌مرغ‌های قرارداده‌شده در فرآیند جوجه‌کشی تهیه شده است. آزمایش‌های جامعی برای ارزیابی کارائی سامانه انجام گرفته، که نتایج آنها موئد عملکرد بسیار مناسب سامانه هستند. در ارزیابی‌های انجام‌شده برای مقایسهٔ کارائی دو طبقه‌بند، طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان از کارایی بهتری نسبت به شبکه عصبی برخوردار بوده و همچنین حساسیت بسیار کمتری در برابر کاهش تعداد نمونه‌های آموزشی از خود نشان داده است. در ادامه، در بخش ۲ جزئیات مربوط به مراحل مختلف ساخت ماشین، در بخش ۳ نتایج آزمایش‌های ارزیابی کارایی ماشین، و درنهایت در بخش ۴ نتایج کلی پژوهش و محورهای توسعه و مطالعه بیشتر مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

۲- مواد و روش‌های پیشنهادی

در این بخش، مجموعه عملیاتی که برای طراحی و ساخت ماشین بینایی پیشنهادیِ صورت گرفته است، در قالب سه مرحله اصلی و با بیان جزئیات مربوط به هر مرحله ارائه می‌شود. ابتدا نحوه ساخت دستگاه لازم برای تصویربرداری دیجیتالی از تخم‌مرغ‌ها با کیفیت مورد نظر تشریح می‌شود؛ سپس مجموعه عملیات پیشنهادی برای پردازش تصاویر تخم‌مرغ‌ها به‌منظور تشخیص وجود/عدم وجود نطفه در داخل آنها ارائه می‌شود؛ و درنهایت نحوه به‌کارگیری روش‌های یادگیری ماشین برای آموزش و طبقه‌بندی خودکار تصاویر تخم‌مرغ‌ها به دو گروه نطفه‌دار و بدون نطفه با جزئیات لازم توضیح داده می‌شود.

۲-۱- تصویربرداری دیجیتالی از تخم‌مرغ

برای تصویربرداری از محتوای درون تخم‌مرغ، یک دستگاه کندلینگ خودکار طراحی و ساخته شده است. استفاده از این دستگاه امکان عکسبرداری دقیق با قابلیت تنظیمات مختلف را میسر می‌سازد و از واردآمدن صدمات فیزیکی به تخم‌مرغ‌ها در هنگام تصویربرداری جلوگیری می‌کند. این دستگاه شامل یک صفحهٔ نشیمنِ تخم‌مرغ‌ها است که گنجایش شش عدد تخم‌مرغ را دارد و همچنین شامل موتوری است که صفحه نشیمنِ تخم‌مرغ‌ها را به گردش درمی‌آورد. در زیرِ صفحهٔ نشیمن، منبع نور لازم برای تصویربرداری قرار گرفته است. تخم‌مرغ‌ها به‌ترتیب بر روی منبع نوری و موقعیت به‌طورکامل دقیق تصویربرداری قرار

[1] Gabor
[2] Texture

می‌گیرند و سپس منبع نوری به‌صورت خودکار روشن شده و نور مناسب تصویربرداری را از قسمت تحتانی تخم‌مرغ به آن می‌تابند، طوری‌که محتوی درون آن روشن شده و تصویربرداری دیجیتالی با دوربینی که روی دستگاه نصب شده است، انجام می‌گیرد. پس از ثبت تصویر، موتور دستگاه صفحهٔ نشیمنِ تخم‌مرغ‌ها را می‌چرخاند تا تخم‌مرغ بعدی در مقابل منبع نوری قرار گیرد. این چرخه تا اتمام تصویربرداری از تمامی تخم‌مرغ‌ها ادامه می‌یابد.

برای انتخاب منبع نور و نوع نور مناسب سامانه، ضمن مشورت با اساتید علم فیزیک و اپتیک، آزمایش‌های زیادی بر روی منابع نوری مختلفی ازجمله لامپ‌های رشته‌ای، مهتابی، هالوژنی، لامپ خودرو و LED[1]های متفاوتی، به‌عنوان منابع نوری ارزان، انجام شده است. لازم به ذکر است، در کنار شدت و قدرت نور مورد نیاز برای تصویربرداری از تخم‌مرغ‌ها، بایستی خصوصیت سردبودن منبع نوری نیز لحاظ شود. با توجه به ساختار فیزیکی و شیمیایی تخم‌مرغ، گرما باعث ایجاد تغییراتی در محتویات درون آن می‌شود و به جنین در حال رشد صدمه می‌زند. جنین تحمل افزایش درجه حرارت در محدوده ۲ الی۴ درجه را ندارد [3]، و همچنین پوسته تخم‌مرغ حاوی هزاران منفذ است که اجازه عبور مستقیم اشعه نورِ مضر را به داخل تخم‌مرغ می‌دهد. با بررسی نتایج آزمایش‌های صورت‌گرفته، درنهایت یک لامپ LED کلاهی با نور به‌طورکامل سفید و با تابش نور خطی به‌عنوان منبع نور مناسب انتخاب شد. این LED دارای بیشینه شدت رو به جلو ۵۰ میلی‌آمپر، ولتاژ معکوس ۵ ولت، دمای نور ۶۵۰۰ کلوین، شدت نور ۳۰ لومن و توان مصرفی ۰/۱۲ وات است. این LED در داخل یک محفظه استوانه‌ای با زاویه تابش مناسب جاسازی شده و در قسمت تحتانی صفحه نگهدارنده تخم‌مرغ‌ها در دستگاه اتوکندلینگ نصب می‌شود. در دستگاه اتوکندلینگ ساخته‌شده، شدت نور و همچنین فاصله منبع نوری از تخم‌مرغ قابل تنظیم است. شدت نور توسط پتانسیومتر سر راهی LED و فاصله منبع نور تا تخم‌مرغ توسط پیچِ کناری نگهدارنده منبع نور تنظیم می‌شود.

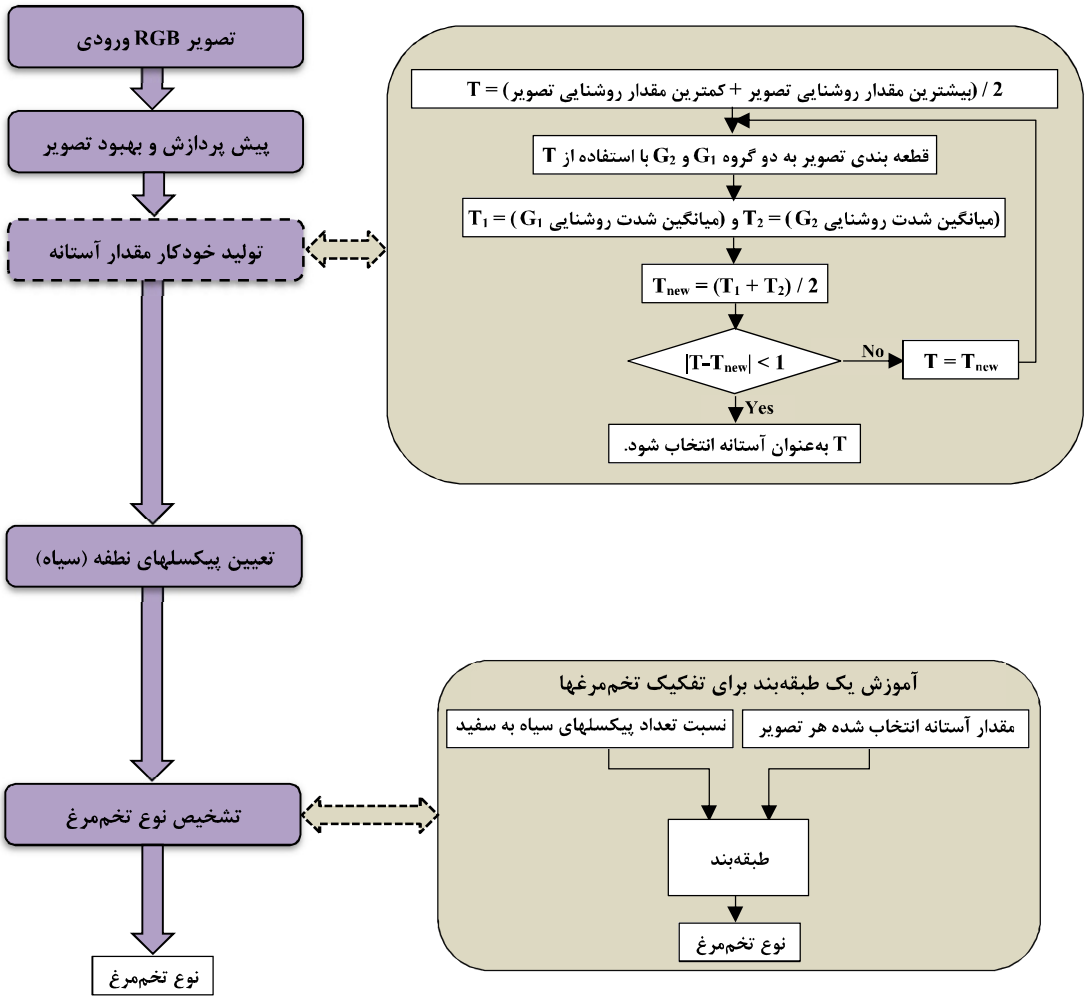
۲-۲- پردازش تصویر تخم‌مرغ

در این مرحله از عملیات سامانه، با استفاده از روش‌های پردازش تصویر سعی در تشخیص نطفهٔ تخم‌مرغ‌ها در تصاویر دیجیتالی می‌شود. این بخش از سامانه، بایستی قادر باشد تا از تصویر ثبت‌شده بخشی را که دارای نطفه است مشخص کرده و با دقت بالا صحت نطفه‌داربودن تخم‌مرغ را تأیید کند، تا تخم‌مرغ‌ها با ضریب اطمینان بالا به دستگاه‌های جوجه‌کشی ارسال شوند. برای این منظور کافی است تا جایی‌که امکان دارد پیکسل‌های رنگی مربوط به نطفه و رگه‌های خونی آن نسبت به سایر نقاط روی تصویر تخم‌مرغ متمایزتر شود. روندنمای این بخش از سامانه در شکل (۱) نمایش داده شده است.

هر تصویر رنگی RGB که به مرحلهٔ پردازش تصویر وارد می‌شود، ابتدا تحت برخی عملیات پیش پردازش قرار می‌گیرد تا فرایند تشخیص نطفه با سهولت و دقت بیشتری انجام گیرد. نخست این‌که برای بالا بردن سرعت پردازش، دست‌کم ناحیه مورد پردازش تصویر محدود به موقعیت تخم‌مرغ می‌شود و بقیه نقاط تصویر که تاثیری در فرایند پردازش ندارند برش داده می‌شوند. ازآنجایی‌که تصویربرداری در یک محیط به‌طورکامل تاریک انجام می‌گیرد، پس زمینه تصاویر به‌طورتقریبی سیاه رنگ است. بنابراین عمل برش تصویر با تعیین محدوده‌ای که در آن شدت روشنایی تصویر تغییر ناگهانی (محیط تخم‌مرغ) دارند به‌سادگی انجام‌پذیر است؛ سپس تصویر برش یافته از حالت رنگی به خاکستری تبدیل می‌شود.

در گام بعدی عمل بهبود روشنایی تصویر برای افزایش شدت روشنایی نقاط روشن و کاهش شدت روشنایی نقاط تاریک، انجام می‌گیرد تا جداسازی نقاط روشن و تاریک به‌سهولت انجام شود. برای این منظور از الگوریتم تعدیل هیستوگرام تطبیقی ارائه‌شده در مرجع [24] استفاده می‌شود. این روش تعدیل هیستوگرام در مقایسه با روش‌های متعارف برای این کار، این تفاوت را دارد که برای نواحی مختلف تصویر، هیستوگرام‌های جداگانه‌ای را محاسبه می‌کند و شدت نور هر ناحیه را به‌طور مستقل بهبود می‌دهد. با بررسی آزمایش‌های صورت‌گرفته بر روی تصاویر تخم‌مرغ‌ها، مشخص شد که بهبود روشنایی تصاویر با استفاده از این الگوریتم تطبیقی منتج به نتایج بهترِ تشخیص نطفه می‌شوند. در پیاده‌سازی این الگوریتم از قاب‌بندی تصاویر تخم‌مرغ با سایز ۹×۹ استفاده شد. البته قاب‌بندی‌های با اندازه‌های اندکی کمتر و بیشتر از این مقدار (در بازه ۵ الی ۱۴) نیز نتایج مشابهی داشتند، که عدد ۹ به‌عنوان مقدار میانه انتخاب شد.

[1] Light Emitting Diode



(شکل-۱): مراحل پردازش تصویر و تشخیص نطفه

(Figure-1): Image processing and fertility detection steps

آخرین عمل مرحلهٔ پیش‌پردازش، عمل فیلترینگ است که برای به‌کمینه رساندن نوفه و حذف برخی لکه‌های بسیار ریز روی تخم‌مرغ انجام می‌شود. برای این منظور از فیلتر پایین‌گذر گاوسی[1] با اندازهٔ ۳×۳ و انحراف معیارِ ۰/۵ استفاده می‌شود. با توجه به این‌که این فیلتر به‌منظور حذف نوفه‌های بسیار ریز، که به سبب لرزش‌های بسیار جزئی دوربین و یا لکه‌های بسیار ریزِ ایجادشده روی پوستهٔ تخم‌مرغ، انجام می‌شود، اندازهٔ ساختار کوچکِ ۳×۳ برای آن انتخاب می‌شود. چراکه ساختارهای بزرگ‌تر باعث حذف نقاط مربوط به خود نطفه‌ها و رگه‌های خونی‌شان نیز می‌شوند.

برای جداکردن پیکسل‌های مربوط به نطفه از سایر نواحی تصویر، از روش آستانه‌گیری[2] استفاده می‌شود و ابتدا تصویر خاکستری به یک تصویر باینری (سیاه و سفید) تبدیل می‌شود. با این عمل، نطفه و رگه‌های خونی مرتبط با آن به‌صورت پیکسل‌های سیاه و سایر نواحی تخم‌مرغ به‌صورت پیکسل‌های سفید نمایش داده می‌شوند. برای انجام این مرحله، استفاده از یک مقدار آستانهٔ ثابت و یا روش‌های آزمایش و خطا نمی‌توانند پاسخ‌گوی سامانهٔ مورد نظر باشند؛ چون محتوای رنگی مربوط به نطفه در تخم‌مرغ‌های مختلف می‌توانند به‌طورکامل متفاوت از هم باشند و همچنین اندازه و حالت نطفه و رگه‌های خونی آن در طی روزهای مختلف جوجه‌کشی در حال تغییر است. پس یک الگوریتم انتخاب آستانه خودکار مورد نیاز است؛ به‌طوری‌که سامانه به‌صورت خودکار بتواند مقدار آستانه مناسب با تصاویر تخم‌مرغ‌های مختلف (از نظر اندازه، نژاد و میزان رشد نطفه یا جنین) را تولید کند. برای این منظور، یک نسخهٔ، تطبیق‌داده‌شده با

[1] Gaussian
[2] Threshold

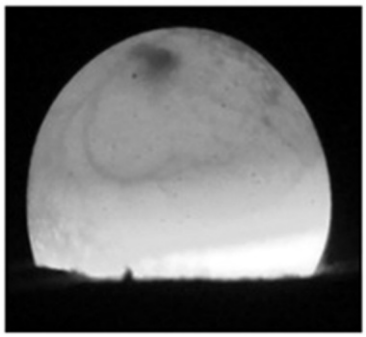
هدف سامانهٔ پیشنهادی، از الگوریتم آستانه‌جویی [1] ارائه شده در مرجع [25] استفاده می‌شود. این الگوریتم به‌صورت یک فرآیند تکراری و با درنظرگرفتن سطح روشنایی سراسری و کل پیکسل‌های یک تصویر، دنبال مناسب‌ترین مقدار آستانه‌ای می‌شود که با استفاده از آن بتوان تصویر سطح خاکستری را به تصویر دودوییِ سیاه و سفید تبدیل کرد. ویژگی بارز این الگوریتم این است که قادر است مقدار آستانهٔ متناسب با سطح تفکیک‌پذیری (بخش‌بندی) هر تصویر را نسبت به خودش پیدا کند. جزئیات این الگوریتم تولید مقدار آستانه را در روندنمای شکل (۱) مشاهده می‌نمایید. در آزمایش‌هایی که بر روی تصاویر تخم‌مرغ‌های مختلف انجام شده است (مراجعه شود به بخش ۳)، با وجود اشکال مختلف و درجات وضوح متفاوت نطفه‌های تخم‌مرغ‌های مختلف، مقدار آستانه‌های انتخاب‌شده با الگوریتم پیشنهادی از کارایی بسیار بالایی برخوردار بوده‌اند.

پس از تعیین مقدار آستانهٔ مناسب، شدت روشنایی پیکسل‌های تصویر حاصل با آن مقدار مقایسه می‌شوند و مقادیر بزرگتر از آستانه، نقاط سفید و مقادیر کوچک‌تر از آن، نقاط سیاه تصویر دودویی را تشکیل می‌دهند. در تصویر سیاه و سفید به‌دست‌آمده نسبت نقاط سیاه و سفید محاسبه شده و درصورتی‌که از مقدار مشخص‌شده‌ای (θ) بیشتر باشد تخم‌مرغ نطفه‌دار تشخیص داده می‌شود. در آزمایش‌هایی که برای ارزیابی سامانه داشتیم، انتخاب θ در محدوده ۵ الی ۹ درصد، دقت مورد انتظار سامانه را برآورده می‌ساخت. شکل (۲) نمونه‌هایی از خروجی‌های برخی مراحل پردازش تصویر را نشان می‌دهد. برای پیاده‌سازی به‌طورکامل خودکار سامانه، می‌توان از روش‌های مختلف یادگیری ماشین [26] جهت طبقه‌بندی تخم‌مرغ‌ها بهره گرفت. برای این منظور دو روش شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان جهت طبقه‌بندی تخم‌مرغ‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در زیربخش ۱-۳-۲ و ۲-۳-۲ جزئیات لازم درخصوص این دو روش طبقه‌بندی آورده شده است.

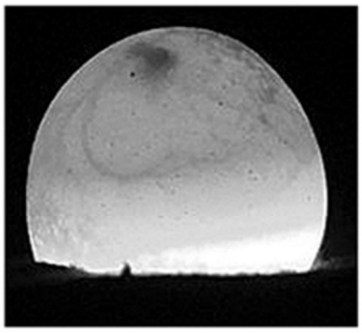
برنامه رایانه‌ای فرایند پردازش تصویر و تشخیص نطفه با زبان برنامه‌نویسی C++ و کتابخانه OpenCV [28]، [27] پیاده‌سازی شده و بر روی یک رایانه با CPU مدل Intel Core i7 2720، حافظه هشت‌گیگا بایتی و سیستم عامل Windows 8.1 اجرا شده است. به‌طور میانگین مدت زمان پردازش هر تصویر ۰/۲۲ ثانیه است.

[1] Threshold finding

(الف) (a)



(ب) (b)



(ج) (c)

(د) (d)

(شکل-۲): الف) تصویر ورودی، ب) تصویر برش‌خورده خاکستری، ج) تصویر بهبودیافته و د) تصویر باینری خروجی

(Figure-2): (a) Input image, (b) cropped grayscale image, (c) enhanced image, and (d) result binary image

۳-۲- استفاده از یادگیری ماشین برای طبقه‌بندی تخم‌مرغ‌ها

برای طبقه‌بندی تخم‌مرغ‌ها به دو گروه نطفه‌دار و بدون نطفه از روش‌های طبقه‌بندی براساس یادگیری ماشین استفاده می‌شود. یعنی به‌جای استفاده از محدودهٔ ثابت ۵ الی ۹ درصدِ نسبت نقاط سیاه و سفید در تصویر دودویی برای

تشخیص نطفه، از الگوریتم‌های طبقه‌بندی برای استخراج دقیق این الگو بر اساس داده‌های آموزشی استفاده می‌شود. با این‌کار نه‌تنها سامانه پیشنهادی به‌طورکامل خودکار عمل تشخیص باروری را انجام می‌دهد، بلکه قادر خواهد بود کارایی خودش را در مقابل تغییرات ناشی از تفاوت اندازه و شکل نطفه‌ها در تصاویر تخم‌مرغ‌ها (با نژاد مختلف، ضخامت پوستهٔ مختلف، رنگ پوسته متفاوت و یا میزان رشد نطفه یا جنین)، حفظ کند. چون با آموزش سامانه به‌وسیله تعداد نمونهٔ آموزشی کافی، ماشین قادر خواهد بود بهترین نرخ تعداد نقاط سیاه به سفید در تصویر دودویی، برای تشخیص نطفه، را استخراج نماید.

همان‌طور که در دیاگرام شکل (۱) مشاهده می‌کنید، پس از استخراج تصویر باینری و تعیین پیکسلهای سیاهِ مربوط به نطفهٔ احتمالی، مقدار آستانهٔ انتخاب‌شده هر تصویر و نسبت تعداد پیکسل‌های سیاه به سفید در آن به یک طبقه‌بند وارد می‌شوند که خروجی آن مشخص‌کنندهٔ نوع تخم‌مرغ است. در ادامه، نحوه طراحی دو نوع طبقه‌بند شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان برای سامانهٔ پیشنهادی ارائه شده‌اند.

۱-۳-۲- طبقه‌بندی با استفاده از شبکه‌های عصبی

در طبقه‌بند شبکه عصبی، دو ورودی طبقه‌بند مشخص‌شده در شکل (۱) به دو نرون ورودی شبکه عصبی وارد می‌شوند و تنها نرون خروجی شبکه عصبی مشخص‌کنندهٔ نطفه‌داربودن یا بدون نطفه‌بودن آن است. اگر نسبت تعداد پیکسل‌های سیاه به سفید یک تصویر X و مقدار آستانه انتخاب‌شده برای آن تصویر T در نظر گرفته شود، از مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی برای آموزش شبکه عصبی جهت مشخص‌کردن رابطهٔ $M = f(X, T)$ استفاده می‌شود. M یک مقدار دوتایی دارد که مشخص می‌کند تخم‌مرغ نطفه‌دار است یا خیر. شبکه عصبی آموزش‌دیده‌شده برای طبقه‌بندی تخم‌مرغ‌های دیگر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

از یک شبکه عصبی پس‌انتشار[1] دو لایه با تعداد ۱۰ نرون در لایه پنهان در این سامانه استفاده می‌شود. الگوریتم پس‌انتشار یک روش یادگیری در شبکه‌های عصبی است. این شبکه‌های عصبی جز شبکه‌های چندلایه هستند که در بیش‌تر کاربردهای امروزی استفاده می‌شوند. در الگوریتم پس‌انتشار دو مسیر محاسباتی موجود است. مسیر نخست به مسیر رفت یا Feedforward موسوم است و مسیر دوم، مسیر برگشت یا Backward است. در مسیر رفت ویژگی‌های شبکه در خلال محاسبات تغییر نمی‌کنند و توابع محرک، روی تک‌تک نرون‌ها عمل می‌کنند. در مسیر برگشت بردارهای حساسیت از لایه آخر به لایه نخست برگشت داده می‌شوند؛ به‌عبارتی دیگر در مسیر برگشت، شروع کار از لایه آخر یا لایه خروجی است، جایی‌که بردار خطا قابل محاسبه است. توضیحات کافی در مورد ساختار این شبکه‌ها و همچنین الگوریتم آموزش پس‌انتشار در مرجع [29] موجود است.

۲-۳-۲- طبقه‌بندی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان

یکی دیگر از مهم‌ترین طبقه‌بندهای متمایزساز، ماشین بردار پشتیبان (SVM) است. SVM براساس معیار بیشینه‌کردن حاشیه‌ها برای متمایزسازی و طبقه‌بندی داده‌های آموزشی به‌کار می‌رود. ابرصفحه‌های زیادی می‌توانند داده‌ها را برای طبقه‌بندی، بین دو دسته تقسیم کنند. انتخابِ مناسب ابرصفحهٔ بهینه با استفاده از بردارهای پشتیبانِ نشان‌دهندهٔ بزرگ‌ترین جداکننده و یا حاشیهٔ بین دو دسته است [31]، [30]. SVM را می‌توان برای طبقه‌بندی داده‌های جدایی‌پذیر خطی و جدایی‌ناپذیر خطی در دو یا چندین دسته به‌کار برد. وقتی داده‌ها به‌صورت خطی جدا نمی‌شوند، از ایدهٔ هسته در قالب ماشین بردار پشتیبان استفاده می‌شود. توضیحات کافی در مورد جزئیات این نوع از طبقه‌بندها در مراجع [31]، [30] موجود است.

در طراحی طبقه‌بندِ SVM برای سامانه پیشنهادی، نسبت تعداد پیکسل‌های سیاه به سفید یک تصویر X و مقدار آستانه انتخاب‌شده برای آن T، از مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی جهت مشخص‌کردن رابطهٔ $M = f(X, T)$ استفاده می‌شود. همان‌طورکه در زیربخش ۱-۳-۲ گفته شد، M یک مقدار دوتایی دارد که مشخص‌کنندهٔ باروری تخم‌مرغ است. طبقه‌بند آموزش‌دیده‌شده می‌تواند برای طبقه‌بندی تخم‌مرغ‌های دیگر مورد استفاده قرار گیرد. از SVM به‌صورت خطی و مبتنی بر هستهٔ چندجمله‌ایِ درجه دوم و هستهٔ گاوسین با پارامتر ۵ برای ارزیابی روش پیشنهادی استفاده شده است.

۳- آزمایش‌ها و نتایج به‌دست‌آمده

در این بخش، ابتدا مشخصات و نحوه تهیه بانک تصاویر تخم‌مرغ‌ها، که در ارزیابی سامانه پیشنهادی مورد استفاده

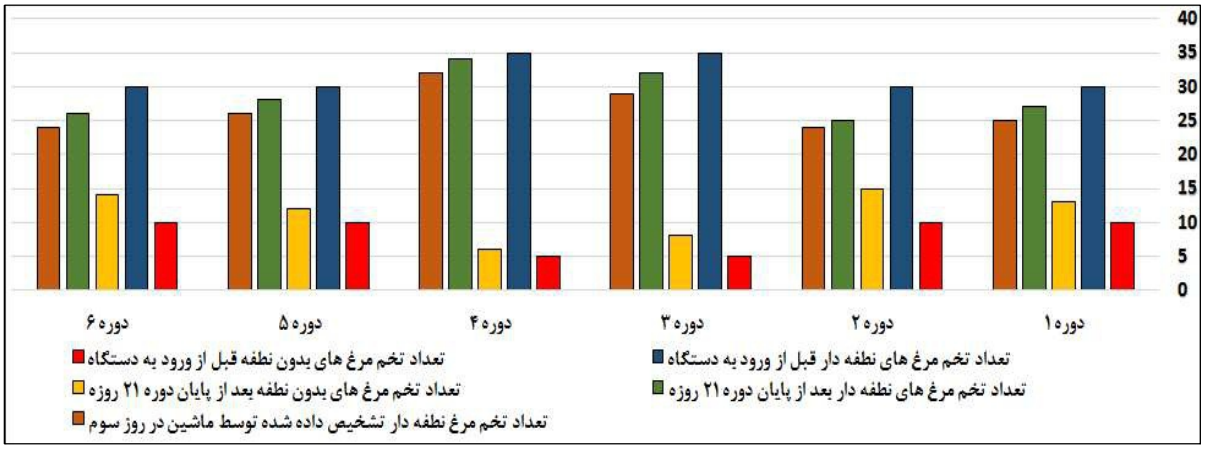
[1] Backpropagation Neural Networks

قرار گرفته است، توضیح داده می‌شود، و سپس نتایج آزمایش‌های انجام‌گرفته برای ارزیابی کارایی و دقت تشخیص نطفه‌داری و نتایج حاصله با سایر روش‌های موجود مقایسه می‌شود. همچنین موارد مرتبط با طراحی طبقه‌بندِ مناسب و ارزیابی کارایی دو طبقه‌بند مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

۱-۳- بانک تصاویر تخم‌مرغ‌ها

برای ارزیابی کارایی ماشین بینایی پیشنهادی، بایستی در بازه‌های زمانی مختلف از تخم‌مرغ‌هایی که در فرآیند جوجه‌آوری قرار می‌گیرند، تصویربرداری می‌شد. برای این منظور یک دستگاه جوجه‌کشی هواباتور مدل JDR2014 در اندازهٔ آزمایشگاهی استفاده شد. ظرفیت اسمی این دستگاه ۴۸ عدد تخم‌مرغ است. برای تصویربرداری نیز یک دوربین عکاسی مدل Sony CyberShot DSCWX7 با حس‌گر CMOS و دقت ۱۶/۸ مگاپیکسل به‌کار برده شد. تصاویر تهیه‌شده دارای ریزنمایی ۴۸۰ ×۷۲۰ هستند و با فرمت JPEG ذخیره شده‌اند. ثبت تصاویر از فاصله ده سانتیمتری و در محیطی به‌طورکامل تاریک و بدون نوفه انجام می‌شود.

تعداد ۱۹۰ تخم‌مرغ نطفه‌دارِ تهیه‌شده از مزرعه مرغ مادر و پنجاه عدد تخم‌مرغ فاقد نطفه، برای تهیه تصاویر مورد استفاده قرار گرفتند. انتخاب تخم‌مرغ‌ها به‌طورکامل به‌طور تصادفی انجام گرفته و همه آنها در شرایط یکسان مراحل ضدعفونی، تمیزشدن پوسته و کنترل کیفیت اولیه را پشت سر نهادند. کل ۲۴۰ عدد تخم‌مرغ در ۶ دسته (دوره) چهل‌تایی در دستگاه جوجه‌کشی قرار گرفتند. دوره‌های نخست، دوم، پنجم و ششم شامل ده عدد تخم‌مرغ بدون نطفه و سی عدد تخم‌مرغ نطفه‌دار و دوره‌های سوم و چهارم حاوی پنج عدد تخم‌مرغ بدون نطفه و ۳۵ عدد نطفه‌دار بودند. از تخم‌مرغ‌ها در بازه‌های زمانی ۲۴ ساعته تا روز پنجم فرایند جوجه‌کشی تصویر تهیه شد. درنهایت تخم‌مرغ‌ها تا پایان روز ۲۱ام در داخل دستگاه باقی ماندند تا فرآیند جوجه‌کشی تکمیل شد.



(شکل-۳): آمار تشخیص ماشین بینایی در روز سوم شش دوره جوجه‌کشی
(Figure-3): Fertility detection results in third day of incubation process

۲-۳- ارزیابی ماشین بینایی

پس از پایان روز ۲۱ام، تعداد تخم‌مرغ‌های تبدیل‌شده به جوجه و همچنین تعداد تخم‌مرغ‌های تبدیل‌نشده، ثبت شدند. تمامی تخم‌مرغ‌هایی که به جوجه تبدیل نشده بودند به‌صورت جداگانه نگهداری شدند تا با کمک یک دامپزشک علت عدم تبدیل آنها به جوجه مشخص شود؛ که در این میان هیچ موردی از آسیب جنین‌ها به‌واسطهٔ عمل تصویربرداری و تابش نور استفاده شده در سامانه، گزارش نشده است. که این امر بیان‌گر تأمین سلامت ۱۰۰٪ تخم‌مرغ‌ها در فرایند اتوکندلینگ پیشنهادی است.

تمامی ۱۲۰۰ تصویر تهیه شده، توسط ماشین بینایی مورد پردازش قرار گرفته و به دو دسته نطفه‌دار و بدون نطفه تقسیم شدند. میانگین دقت تشخیص نطفه‌های تخم‌مرغ‌های ۶ دوره در طی پنج روز متوالی از فرایند جوجه‌کشی بدون استفاده از طبقه‌بندهای شبکه عصبی یا SVM (تنها براساس مقایسهٔ نسبت نقاط سیاه و سفید تصویر دودویی با پارامتر θ) در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین شکل (۳) آمار تشخیص سامانه را بدون استفاده از طبقه‌بندها در روز سوم

جوجه‌کشی (به‌عنوان نمونه) برای شش دوره با جزئیات بیشتری نمایش می‌دهد. میانگین دقت تشخیص ٪۹۳/۰۸ که در روز سوم فرایند بدون استفاده از طبقه‌بندها به‌دست آمده است، نشان‌گر ضریب اطمینان بسیار مناسب سامانه است که به‌طورتقریبی تفاوت بسیار اندکی بین انسان خبره و ماشین در مورد تشخیص تخم‌مرغ‌های نابارور باقی می‌ماند؛ حال آنکه کاربرد این ماشین بینایی در مقیاس بزرگ، بهره اقتصادی قابل توجهی را بدنبال خواهد داشت.

(جدول-۱): میانگین دقت (درصد) تشخیص ماشین بینایی شش دوره در پنج روز متوالی از فرایند جوجه‌کشی با روش‌های طبقه‌بندی مختلف

(Table-1): Average fertility detection rates of six sets in five days of incubations using different classifiers

میانگین دقت تشخیص	روز				
	نخست	دوم	سوم	چهارم	پنجم
بدون استفاده از طبقه‌بندها	47.13	81.41	93.08	97.73	98.25
با طبقه‌بند شبکه عصبی	49.95	82.51	93.94	97.97	98.89
با طبقه‌بند SVM مبتنی بر هسته خطی	49.13	82.41	93.08	97.76	98.34
با طبقه‌بند SVM مبتنی بر هسته چندجمله‌ای درجه دوم	**50.57**	**83.67**	**94.20**	**98.03**	**98.91**
با طبقه‌بند SVM مبتنی بر هسته گاوسین	49.98	82.89	94.03	97.90	98.69

همچنین میانگین دقت تشخیص نطفه‌های تخم‌مرغ‌های شش دوره در طی پنج روز متوالی از فرایند جوجه‌کشی با استفاده از طبقه‌بندهای شبکه عصبی و SVM (با انواع مختلف هسته در طبقه‌بند SVM) در جدول (۱) ارائه شده است. نحوه آموزش و آزمایش این طبقه‌بندها به این صورت بوده است که، پس از به‌دست‌آوردن تصاویر دودویی کلیه ۱۲۰۰ تصویر موجود در بانک تصاویر و مشخص‌کردن نطفه‌داربودن یا نبودن آنها، پنجاه درصد تصاویر هر دوره و هر روز به‌عنوان داده‌های آموزشی طبقه‌بندها انتخاب می‌شوند. طبقه‌بندها با ورودی‌های استخراجی از این تصاویر (مقدار آستانه انتخاب شده و نسبت تعداد پیکسل‌های سیاه به سفید) و خروجی نوع تخم‌مرغ مربوط به هر تصویر آموزش داده می‌شود. پنجاه درصد باقیمانده تصاویر نیز به‌عنوان مجموعه داده‌های آزمایش استفاده می‌شوند.

با مقایسهٔ نتایج روش‌های مختلف در جدول (۱)، مشخص است که دقت تشخیص سامانه با استفاده از شبکه عصبی و SVM به‌طورتقریبی در همهٔ تصاویر مربوط به روزهای مختلف در مقایسه با دقت سامانه بدون استفاده از طبقه‌بندها بهبود یافته است. البته این افزایش دقت می‌تواند با استفاده از تعداد زیاد داده‌های آموزشی قابل ملاحظه‌تر نیز شود. همچنین ملاحظه می‌شود که دقت طبقه‌بندیِ روش SVM در مقایسه با شبکه عصبی نیز بهتر است، که نشان از کارایی بالای این طبقه‌بند در تفکیک تخم‌مرغ‌ها دارد. اگرچه اختلاف زیادی مابین نتایج به‌دست‌آمده با به‌کارگیری هسته‌های مختلف SVM وجود ندارد، با اینحال بهترین کارایی مربوط به هستهٔ چندجمله‌ایِ درجه دوم است که آن‌را به‌عنوان نخستین گزینه برای استفاده در سامانه پیشنهادی معرفی می‌کند. درنهایت اینکه، به‌کارگیری روش‌های یادگیری ماشین و طبقه‌بندی‌کننده‌ها نه‌تنها عمل طبقه‌بندی تخم‌مرغ‌ها به‌طور کامل خودکار انجام می‌دهد، بلکه نویدبخش افزایش دقت تشخیص سامانه نیز است. دلیل اینکه در جدول (۱) تفاوت زیادی بین نتایج روش "بدون استفاده از طبقه‌بندها" و روش "با استفاده از طبقه‌بندها" وجود ندارد، این است که در روش بدون طبقه‌بند، مقدار θ (محدودهٔ ثابت ۵ الی ۹ درصد نسبت نقاط سیاه و سفید در تصویر دودویی (مطرح‌شده در بخش ۲-۲)) برای تشخیص نطفه، روی بانک تصاویر مورد آزمایش به‌صورت دستی و دقیق (با انجام آزمایش‌های مکرر) تنظیم شده است. درحالی‌که شاید برای تصاویر دیگر لازم باشد که این مقدار مجددا تنظیم گردد. ولی در روش با طبقه‌بند، سامانه خودش بر اساس نمونه‌های آموزشی، مرز تصمیم‌گیری را مشخص کرده است و هیچ عامل انسانی لازم نبوده که پارامتری نظیر θ را تنظیم کند. با این‌حال نتایج آزمایش‌ها نشان داده است که نه‌تنها دقت تشخیص پایین‌تر نیامده، بلکه اندکی نیز بهتر شده است؛ که به‌یقین با وجود نمونه‌های آموزشیِ بیشتر، بهبود بیشتری نیز حاصل می‌شود. همچنین ماشین قادر خواهد بود بدون نیاز به عامل انسانی، بهترین الگوی تصمیم‌گیری را برای تشخیص نطفه در مراکز جوجه‌کشی متفاوت استخراج کند.

۳-۳- مقایسه نتایج با سایر روش‌ها

در این بخش، دقت عملکرد سامانه پیشنهادی با روش‌های دیگر که کارایی آنها به‌صورت کمی ارزیابی و گزارش شده است، مقایسه می‌شود. در جدول (۲) دقت تشخیص نطفه توسط روش‌های مختلف در طی پنج روز نخست از فرایند جوجه‌کشی فهرست شده است. مقادیر قیدشده برای سایر روش‌ها به‌طور مستقیم از مقالات مربوطه برگرفته شده‌اند.

بالاترین میزان دقت در هریک از ستون‌های جدول به‌صورت پررنگ مشخص شده است. نماد خط تیره که در برخی از خانه‌های جدول وجود دارد، به معنی فقدان نتایج آزمایش‌ها برای آن روز از فرایند جوجه‌کشی توسط روش مربوطه است.

(جدول-۲): میانگین دقت (درصد) تشخیص روش‌های مختلف در پنج روز نخست فرایند جوجه‌کشی

(Table-2): Average fertility detection accuracy of different methods in five days of incubation process

روش	روز				
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم
پیشنهادی (با طبقه‌بند SVM مبتنی بر هسته چندجمله‌ای درجه دوم)	50.57	**83.67**	**94.20**	**98.03**	**98.91**
[20]،[21]	-	67.6	93.5	93.9	-
[16]	**78.8**	74.1	81.8	84.1	-
[17]	63	65	83	-	-
[5]	-	-	-	96	-
[22]	-	-	-	-	92.5

از نتایج خلاصه‌شده در جدول (۲) مشخص است که دقت تشخیص باروری تخم‌مرغ‌ها در بیش‌تر روزهای فرایند جوجه‌کشی توسط سامانه پیشنهادی در مقایسه با دقت سایر روش‌ها بهتر و دقیق‌تر است. همان‌طورکه در نتایج مشخص است، برخلاف بهره‌گیری از روش‌های پیشرفته نظیر تصویربرداری ابرطیفی و یا استفاده از منابع نوری مانند لیزر و یا دوربین‌های دید در شب مادون قرمز در روش‌های [5]، [16]، [17] دقت سامانه پیشنهادی از این روش‌ها به مراتب بالاتر است. همچنین ماشین بینایی پیشنهادی در مقایسه با روش‌های ارائه‌شده در [22]-[20]، که روش‌های مبتنی بر پردازش تصاویر دیجیتالی هستند، نیز از کارایی بهتری برخوردار است. مهم‌ترین عاملی که در افزایش دقت سامانه پیشنهادی دخیل است، منبع نوری بسیار مناسبی است که برای تصویربرداری دیجیتالی از تخم‌مرغ‌ها فراهم شده است، که امکان تهیه تصاویر از محتوی داخلی تخم‌مرغ را با دقت بالا میسر می‌کند. همچنین عملیات پردازش تصویر اتخاذشده نظیر انتخاب حد آستانه پویا و خودکار در استخراج پیکسل‌های مربوط به نطفه، درنهایت باعث افزایش دقت عملکرد سامانه پیشنهادی شده است.

۴-۳- بررسی تأثیر تعداد نمونه‌های آموزشی در کارایی طبقه‌بندها

برای بررسی میزان حساسیت طبقه‌بندهای مختلف به تعداد نمونه‌های آموزشی و ارزیابی دقت تشخیص سامانه پیشنهادی در مواردی که تعداد نمونه‌های آموزشیِ کمتری در دسترس است و همچنین مقایسه آن با سایر روش‌ها از این حیث، در این بخش نتایج آزمایش‌های سامانه با بهره‌گیری از تعداد نمونه‌های آموزشی کاهش‌یافته مورد بررسی قرار می‌گیرند. برای این منظور، بجای استفاده از پنجاه درصدِ تصاویر مربوط به ۲۴۰ تخم‌مرغ مورد آزمایش، از بیست درصد تصاویر آنها (۴۸ عدد تخم‌مرغ) برای آموزش شبکه‌عصبی و SVM با هسته‌ی چندجمله‌ای استفاده می‌شود. هشتاد درصد باقیمانده نیز برای آزمایش ماشین استفاده می‌شوند. نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش با نتایج به‌دست‌آمده برای طبقه‌بندها در حالت استفاده از پنجاه درصد نمونه‌ها برای آموزش در جدول (۳) مقایسه شده است. همان‌طور که از آمار این جدول مشخص است، دقت تشخیص طبقه‌بند شبکه عصبی با کاهش تعداد نمونه‌های آموزشی به‌شدت کاهش یافته است، که نشان‌دهندهٔ حساسیت بالای این طبقه‌بند به تعداد نمونه‌های آموزشی جهت یادگیری طبقه‌بندی است. درحالی‌که کاهش کارایی طبقه‌بند SVM به مراتب کمتر از کاهش کارایی شبکه عصبی است و به‌طورتقریبی نتایج قابل قبول را این طبقه‌بند تولید کرده است. بنابراین علاوه‌بر دقت بالای طبقه‌بند SVM در جداکردن تخم‌مرغ‌ها، به‌کاربستن این طبقه‌بند در سامانه پیشنهادی از لحاظ کمینه تعداد نمونه‌های آموزشی مورد نیاز نیز مورد تأیید است.

در جدول (۳)، همچنین دقت تشخیص سایر روش‌هایی که تعداد نمونه‌های آموزشی به‌کاررفته در آنها در مقالات مربوطه گزارش شده، فهرست شده است. با ملحوظ داشتن تعداد نمونه‌های آموزشی متدهای مختلف و مقایسه دقت تشخیص آنها با یکدیگر، ملاحظه می‌شود که سامانه پیشنهادی با کمترین تعداد نمونه‌های آموزشی (۴۸ تخم‌مرغ) همچنان از کارائی و عملکرد بهتری در مقایسه با سایر روش‌ها برخوردار است. این امر نشان‌دهندهٔ قابلیت اطمینان دوچندان سامانه پیشنهادی در بهره‌گیری از آن در صنعت جوجه‌کشی است.

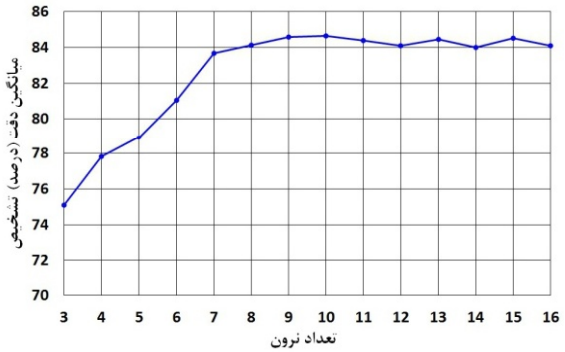
(جدول-۳): میانگین دقت (درصد) تشخیص ماشین بینایی شش دوره در پنج روز متوالی از فرایند جوجه‌کشی با روش‌های طبقه‌بندی مختلف و تعداد نمونه‌های آموزشی متفاوت

(Table-3): Average fertility detection rates of six sets in five days of incubations using different classifiers with various training samples

روش	روز				
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم
پیشنهادی با طبقه‌بند شبکه عصبی و 120 نمونهٔ آموزشی	49.95	82.51	93.94	97.97	98.89
پیشنهادی با طبقه‌بند شبکه عصبی و 48 نمونهٔ آموزشی	28.77	69.46	82.35	89.21	89.46
پیشنهادی با طبقه‌بند SVM مبتنی بر هسته چندجمله‌ای درجه دوم و 120 نمونهٔ آموزشی	50.57	83.67	94.20	98.03	98.91
پیشنهادی با طبقه‌بند SVM مبتنی بر هسته چندجمله‌ای درجه دوم و 48 نمونهٔ آموزشی	45.81	79.93	93.20	96.03	96.91
[16] با 174 نمونهٔ آموزشی	78.8	74.1	81.8	84.1	-
[17] با 120 نمونهٔ آموزشی	63	65	83	-	-
[5] با 50 نمونهٔ آموزشی	-	-	-	96	-
[22] با 60 نمونهٔ آموزشی	-	-	-	-	92.5

۳-۵- انتخاب تعداد نرون‌های لایه پنهان شبکه عصبی و بررسی تأثیر آن در کارایی طبقه‌بند

برای تعیین تعداد نرون‌های لایه پنهان شبکه عصبی، تعداد نرون‌های متفاوتی برای این لایه به‌هنگام طراحی طبقه‌بند شبکه عصبی مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل (۴) کارایی شبکه عصبی را در تشخیص تخم‌مرغ‌های نطفه‌دار با تعداد نرون‌های مختلف در لایه پنهان مقایسه می‌کند. در این آزمایش به‌ازای هر تعداد نرون مختلف به‌کارگرفته‌شده در شبکه عصبی، میانگین دقت تشخیص طبقه‌بند برای شش دورهٔ هر پنج روز متوالی از فرایند جوجه‌کشی محاسبه شده و سپس میانگین دقت تشخیص پنج روز در شکل معین شده است. به این ترتیب انتخاب تعداد نرون مناسب برای لایهٔ پنهان با درنظرگرفتن کارایی مناسب شبکه عصبی برای هر پنج روز از فرآیند صورت خواهد گرفت. همان‌طورکه در این شکل مشاهده می‌شود، میانگین دقت تشخیص طبقه‌بند شبکه عصبی با تعداد نرون‌های بیش‌تر از هشت، اختلاف زیادی با یکدیگر ندارند و به‌طورتقریبی در اطراف عدد ده بیش‌ترین مقدار دقت را از خود نشان داده است. البته با توجه به استفاده از مقادیر تصادفی به عنوان مقادیر آغازی برخی پارامترها در مرحله آموزش شبکه عصبی، ممکن است در اجراهای مختلف میزان دقت‌های متفاوتی برای شبکه عصبی حاصل شود؛ ولی همان‌طورکه در شکل (۴) مشخص است، نتایج اختلاف فاحشی نخواهد داشت. ازاین‌رو، در انجام آزمایش‌ها، تعداد نرون ۱۰ برای لایهٔ پنهان در طراحی طبقه‌بند شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت. البته درنظرگرفتن تعداد نرون خیلی بیشتر، ساختار شبکه عصبی را پیچیده‌تر کرده و ممکن است کارایی آن‌را کاهش دهد. همچنین قدرمسلم زمان آموزش شبکه را افزایش خواهد داد.



(شکل-۴): میانگین دقت تشخیص طبقه‌بند شبکه عصبی با تعداد نرون‌های مختلف در لایه پنهان برای شش دوره و پنج روز فرایند جوجه‌کشی

(Figure-4): Average detection accuracies of six sets in five days of incubation obtained by neural networks with various number of neurons in hidden layer

۴- نتیجه‌گیری و محورهای توسعه و مطالعه بیشتر

در این پژوهش، یک سامانه بینایی ماشین جهت تشخیص نطفه‌داربودن تخم‌مرغ‌ها طراحی و پیاده‌سازی شد که دقت کافی را برای تشخیص بارورربودن یا نبودن تخم‌مرغ‌ها حداکثر در روز سوم جوجه‌کشی از خود نشان داد. این پیشرفت حاصل‌شده در تشخیص سریع تخم‌مرغ‌های نابارور و استخراج به‌موقع آنها از فرایند جوجه‌کشی، سود اقتصادی قابل توجهی می‌تواند داشته باشد و از آلوده‌شدن ماشین جوجه‌کشی و سایر جنین‌های سالم، به‌واسطه فساد تخم‌مرغ‌های فاقد جنین، جلوگیری خواهد کرد. همچنین با توجه به توان مصرفی بسیار پایین منبع نور به‌کار رفته در این سامانه، مصرف انرژی آن نسبت به دستگاه‌های کندلینگ موجود در بازار بسیار کمتر است. علاوه‌براین مزایا، قابل ذکر است که از دقت و کیفیت بسیار بالای تصاویر تخم‌مرغ‌ها که توسط این سامانه تهیه می‌شود، در سایر کارهای پژوهشی

مربوط به صنعت جوجه‌کشی و یا صنایع مشابه نیز می‌توان استفاده کرد.

ماشین بینایی پیشنهادی از جنبه‌های مختلفی مورد مطالعه و توسعه بیش‌تر می‌تواند قرار بگیرد، که مهم‌ترین آنها ارتقای آن برای جداکردن جنین‌های مرده از سایر جنین‌های سالم یا نطفه‌ها در طی فرایند جوجه‌کشی است.

۵-مراجع 5-References

[۱] پوررضا، جواد، (۱۳۷۹). اصول علمی و عملی پرورش طیور. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

[1] J. Pourreza, Theoretical and Practical Principles of Poultry: Isfahan University of Technology Press, 2000.

[۲] صدقیان، امرالله، (۱۳۵۹). راهنمای مرغداری، صنعت پرورش طیور برای مرغداری‌های صنعتی، خانگی، تفریحی، تزئینی.

[2] A. Sadaghiyan, Poultry guide, Poultry industry for industrial, household, recreational and decorative poultries, 1980.

[۳] خجسته‌کی، مهدی، (۱۳۹۱). اصول جوجه‌کشی طیور. تهران، انتشارات مرز دانش.

[3] M. KhojastehKey, Principles of Poultry Incubation: Marze Danesh Press, 2012.

[۴] مشیری، محمد، (۱۳۶۱). مرغداری، انتشارات اشرافی.

[4] M. Moshiri, Aviculture: Eshrafi Press, 1982.

[۵] فروزان مهر، سید احتشام الدین، حبیب الهی، مجتبی، علوی، سید ناصر، فروزان مهر، سید انتظام الدین، (۱۳۸۷). بررسی و انتخاب تخم‌مرغ‌های نابارور در مراحل جوجه‌کشی با استفاده از دید ماشین به منظور افزایش بازده در تولید جوجه‌های یک روزه. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین آلات کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه فردوسی مشهد.

[5] S. E. FroozanMehr, M. Habibollahi, S. N. Alavi, and S. E. FroozanMehr, "Investigation and selection of infertile eggs at incubation stages using machine vision in order to increase the efficiency of production of one-day-old chicks," presented at the 5th National Congress on Agricultural Machinery and Mechanization, Mashhad, Iran, 2008.

[۶] زردادی محسن، مهرشاد ناصر. آشکارسازی عروق شبکیه چشم بر اساس مدل محاسباتی سلول ساده کورتکس اولیه بینایی. پردازش علائم و داده‌ها. ۱۳۹۵; ۱۳ (۱) :۱۲۷-۱۳۸.

[6] M. Zardadi and N. Mehrshad, "A New Approach to Retinal Vessel Segmentation by Using Computational Model of Simple Cells in Primary Visual Cortex," Signal and Data Processing, vol. 13, pp. 127-138, 2016.

[۷] قضاوی، محمد علی، محمود محمودی، مائده طرفه نژاد، (۱۳۸۷). شناسایی ترک و آلودگی‌های تخم‌مرغ با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین آلات کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه فردوسی مشهد.

[7] M. A. Ghazavi, M. Mahmoudi, and M. Torfehneghad, "Identification of cracks and egg contamination by using image processing techniques," presented at the 5th National Congress on Agricultural Machinery and Mechanization, Mashahd, Iran, 2008.

[8] W. Fang and W. Youxian, "Detecting preserved eggshell crack using machine vision," in Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences (ICM), 2011 International Conference on, 2011, pp. 62-65.

[9] Y. Han, J. Gao, and S. Zhang, "Research on the automatic detection system for cracked egg based on LabVIEW," in Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2010 International Conference on, 2010, pp. 190-193.

[10] R. Ibrahim, Z. M. Zin, N. Nadzri, M. Shamsudin, and M. Zaunidin, "Egg's Grade Classification and Dirt Inspection Using Image Processing Techniques," in Proceedings of the World Congress on Engineering, 2012.

[11] P. Javadikia, M. Dehrouyeh, L. Naderloo, H. Rabbani, and A. Lorestani, "Measuring the Weight of Egg with Image Processing and ANFIS Model," in Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing. vol. 7076, B. Panigrahi, P. Suganthan, S. Das, and S. Satapathy, Eds., ed: Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 407-416.

[12] L. Peng, K. Tu, Z. Wei, and P. L. Qing, "MSEAES: An egg non-destructive detecting expert system based on multi-sensor fusion," in Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 International Conference on, 2010, pp. V4-269-V4-273.

[13] Y. Usui, K. Nakano, and Y. Motonaga, "A study of the development of non-destructive detection system for abnormal eggs," in EFITA Conference. Debrecen. Hungary, 2003.

[14] F. Bamelis, K. Tona, J. De Baerdemaeker, and E. Decuypere, "Detection of early embryonic development in chicken eggs using visible light transmission," British poultry science, vol. 43, pp. 204-212, 2002.

[15] K. C. Lawrence, D. P. Smith, W. R. Windham, G. W. Heitschmidt, and B. Park, "Egg embryo development detection with hyperspectral imaging," in Optics East 2006, 2006, pp. 63810T-63810T-8.

[16] L. Liu and M. Ngadi, "Detecting fertility and early embryo development of chicken eggs using near-infrared hyperspectral imaging," Food and Bioprocess Technology, vol. 6, pp. 2503-2513, 2013.

[17] D. Smith, K. Lawrence, and G. Heitschmidt, "Fertility and embryo development of broiler hatching eggs evaluated with a hyperspectral imaging and predictive modeling system," International journal of poultry science, vol. 7, pp. 1001-1004, 2008.

[18] V. C. Patel, R. W. McClendon, and J. W. Goodrum, "Development and evaluation of an expert system for egg sorting," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 20, pp. 97-116, 7// 1998.

[19] X. Deng, Q. Wang, H. Chen, and H. Xie, "Eggshell crack detection using a wavelet-based support vector machine," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 70, pp. 135-143, 1// 2010.

[20] K. Das and M. Evans, "Detecting fertility of hatching eggs using machine vision. I. Histogram characterization method," Transactions of the ASAE (USA), 1992.

[21] K. Das and M. Evans, "Detecting fertility of hatching eggs using machine vision. II. Neural network classifiers," Transactions of the ASAE (USA), 1992.

[22] Z. Zhu and M. Ma, "The identification of white fertile eggs prior to incubation based on machine vision and least square support vector machine," African Journal of Agricultural Research, vol. 6, pp. 2699-2704, 2011.

[23] C.-S. Lin, P. T. Yeh, D.-C. Chen, Y.-C. Chiou, and C.-H. Lee, "The identification and filtering of fertilized eggs with a thermal imaging system," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 91, pp. 94-105, 2// 2013.

[24] K. Zuiderveld, "Contrast limited adaptive histogram equalization," in Graphics gems IV, 1994, pp. 474-485.

[25] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Book on "Digital image processing"," ed: Prentice-Hall of India Pvt. Ltd, 2005.

[26] E. Alpaydin, Introduction to machine learning: MIT press, 2014.

[27] G. Bradski and A. Kaehler, Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library: " O'Reilly Media, Inc.", 2008.

[28] OpenCV. (2014). Available: http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/

[29] L. Fausett, Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms, and applications: Prentice-Hall, Inc., 1994.

[30] R. O. Duda, P. E. Hart, and D. G. Stork, Pattern classification: John Wiley & Sons, 2012.

[31] V. N. Vapnik and V. Vapnik, Statistical learning theory vol. 1: Wiley New York, 1998.

مهدی هاشم‌زاده متولد ۱۳۵۸ در شهر تبریز است. ایشان درجهٔ کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار را به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ دریافت کرد و موفق به اخذ درجهٔ دکترای تخصصی در رشته علوم کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی و بینایی ماشین از دانشگاه Zhejiang کشور چین در سال ۱۳۹۲ شد. نام‌برده از مهرماه سال ۱۳۹۲ تا کنون عضو هیئت علمی دانشکدهٔ فناوری اطلاعات و مهندسی کامپیوتر دانشگاه شهید مدنی آذربایجان است. همچنین ایشان مؤسس و مسئول آزمایشگاه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در این دانشکده است. زمینه‌های پژوهشی نام‌برده عبارتند از: نظارت ویدئویی هوشمند، پردازش تصویر، بینایی ماشین، بازشناخت الگو و یادگیری ماشین.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

hashemzadeh@azaruniv.ac.ir