



طبقه‌بندی تخم‌مرغ براساس کیفیت درونی به کمک بینایی کامپیوتر

الهام نعمتی‌نیا^۱، سامان آبدانان مهدی‌زاده^۲، محمدرضا قربانی^۳

1. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
2. استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
3. استادیار، گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

(تاریخ دریافت: 95/12/11، تاریخ پذیرش: 96/5/11)

چکیده

امروزه نگرانی در مورد کیفیت تخم‌مرغ به‌طور پیوسته در حال افزایش است. تازگی تخم‌مرغ سهم عمده‌ای در تعیین کیفیت تخم‌مرغ و محصولات آن دارد. در همین راستا به‌منظور دستیابی به بهره‌وری و تولید بیش‌تر، ارزیابی کیفیت تخم‌مرغ از لحاظ ایمنی و تضمین کیفیت آن ضروری و مهم تلقی می‌گردد. لذا هدف از این پژوهش طراحی و ساخت دستگاهی به‌منظور تعیین کیفیت داخلی تخم‌مرغ به کمک بینایی ماشین در نظر گرفته شد. بدین منظور بررسی تعداد 210 عدد تخم‌مرغ به مدت 30 روز در دما و رطوبت اتاق در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد استفاده قرار گرفت و پارامترهای کیفی تخم‌مرغ از قبیل وزن کلی تخم‌مرغ، وزن زرده، سفیده و پوسته، مقاومت و ضخامت پوسته، واحد هاو به‌صورت مخرب و مساحت کیسه هوایی، و شاخص مساحت (D) به‌صورت غیرمخرب اندازه‌گیری شدند. مطابق آنالیز آماری صورت گرفته مشخص گردید صفات وزن کلی تخم‌مرغ، مقاومت و ضخامت پوسته، وزن زرده و پوسته و رنگ زرده به‌عنوان پارامترهای کیفی تخم‌مرغ تحت تأثیر زمان انبارمانی قرار نگرفتند ($p > 0/05$)، ولی مساحت کیسه هوایی و پارامتر D به‌عنوان پارامترهای غیرمخرب، در سطح احتمال 5٪ به‌طور معنی‌داری روند افزایشی داشتند. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد پارامترها و با افزایش زمان انبارمانی از 9/28 به 2/04 کاهش یافت ($p < 0/05$). دقت طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های غیرمخرب با روش پارزن به میزان 84/17٪ محاسبه گردید. این مسأله نشان از توانایی سامانه پیشنهاد شده به‌منظور اندازه‌گیری طبقه‌بندی تخم‌مرغ‌های باکیفیت از بی کیفیت را دارد.

واژه‌های کلیدی: تخم‌مرغ، پردازش تصویر، واحد هاو، مساحت کیسه هوایی، زمان انبارمانی، طبقه‌بندی پارزن.

۱- مقدمه

در گذشته روش‌های متعددی برای ارزیابی کیفیت سفیده و زرده استفاده می‌شد که می‌توان آن‌ها را به دو روش مخرب و غیرمخرب تقسیم کرد. مزیت روش‌های مخرب این است که اندازه‌گیری‌ها، به‌طور مستقیم بر روی سفیده صورت می‌گیرد. البته تخم‌مرغ‌ها باید شکسته شوند، از این رو، آزمایش برای تعداد محدودی از آن‌ها امکان‌پذیر است. گسترده‌ترین و قابل قبول‌ترین روش ارزیابی سفیده شاخص هاو¹ (HU) است. هاو براساس هر دو عامل وزن تخم‌مرغ دست نخورده و ارتفاع سفیده تخم‌مرغ شکسته شده می‌باشد. در این روش زمانی که تخم‌مرغ تازه روی یک سطح صاف با دقت شکسته شود، زرده در مرکز با سفیده ضخیم احاطه می‌شود. اما در صورتی که تخم‌مرغ مانده شکسته شود، زرده به‌طور معمول در وسط نبوده و به یک سمت متمایل می‌باشد. در ضمن سفیده نازک‌تر شده که نتیجه‌اش گسترش ناحیه سفیده است. نتیجه گسترش ناحیه سفیده، کاهش ارتفاع آن و متعاقباً کاهش واحد هاو است [9]. در روش غیرمخرب ویژگی‌های وابسته به سفیده و زرده، در تخم‌مرغ سالم² اندازه‌گیری می‌شود و این عمل بر روی خط تولید و به‌صورت on-line برای همه تخم‌مرغ‌ها امکان‌پذیر است. افزون بر آن کنترل کیفیت سفیده تضمینی برای کیفیت محصولات غذایی مرتبط با آن می‌باشد [10].

تا به حال، از روش‌های مختلفی از جمله روش‌های مکانیکی، طیفی و بینایی ماشین به‌منظور ارزیابی کیفیت داخلی و خارجی تخم‌مرغ استفاده شده است [11]. ناکانو و همکاران [12] در تحقیقی که روی تشخیص نقاط خونی در داخل تخم‌مرغ از تکنیک بینایی ماشین و آزمون بازرسی غیرمخرب استفاده کردند و توانستند با این روش، تخم‌مرغ‌های سالم و دارای لکه خونی را به‌ترتیب با 98/9 و 96/9٪ دقت تشخیص دهند. چو و همکاران [13] با استفاده از روش پاسخ محرک صوتی، تکنیکی برای تشخیص ترک‌های سطح پوسته تخم‌مرغ ایجاد کردند و با استفاده از سیستم توسعه یافته، نرخ خطا را برای تشخیص تخم‌مرغ‌های ترک‌دار و سالم به‌ترتیب 6 و 4٪ گزارش نمودند. دی کتلایر و همکاران [14] برای تشخیص ترک پوسته تخم‌مرغ از تحلیل فرکانس تشدید صوتی³ استفاده کردند و نتایج نشان داد که با این روش 90٪ از ترک‌ها

تخم‌مرغ یکی از مواد غذایی ارزان، اما بسیار مغذی به‌شمار می‌رود و کیفیت آن به‌طور مستقیم وابسته به سلامت مشتری است. امروزه به‌دلیل افزایش آگاهی مردم، استفاده از تخم‌مرغ به‌عنوان منبعی از اسیدهای آمینه ضروری گسترش زیادی یافته است. از طرفی طبقه‌بندی تخم‌مرغ‌های سالم از ناسالم موضوعی اساسی از لحاظ اقتصادی و بهداشتی برای صنعت طیور می‌باشد. کیفیت تخم‌مرغ پیچیده و ثابت آن در انبارمانی علاوه بر ترکیب شیمیایی، شامل اندازه تخم‌مرغ، رنگ و کیفیت پوسته و هم‌چنین معایبی مانند لکه خون و تکه‌های گوشت می‌شود [1]. عوامل مختلفی بر کیفیت اولیه این بسته غذایی تاثیرگذار هستند که شامل ژنوتیپ¹، سن، اندازه بدن و نژاد مرغ مادر، ترکیبات غذایی و میزان مصرف آب، شرایط محیطی و وجود بیماری می‌باشند [2]. میان کیفیت داخلی تخم‌مرغ‌ها حتی در لحظه تخم‌گذاری نیز اختلاف قابل ملاحظه‌ای وجود دارد؛ به‌طوری که بلافاصله بعد از تخم‌گذاری، فرایند زوال (تغییرات شیمیایی و ویژگی‌های عملگر² و غذایی تخم‌مرغ) با تولید گاز CO₂ که سبب تغییر pH می‌گردد، آغاز می‌شود. در طی دوره انبارمانی تخم‌مرغ، تغییرات شیمیایی و فیزیکی زیادی رخ می‌دهد. تغییرات فیزیکی قابل مشاهده، شامل افزایش مساحت کیسه هوایی، نازک شدن ضخامت سفیده و زرده تخم‌مرغ می‌باشد. به‌طور عمده یکی از مشهودترین تغییرات، افزایش مساحت کیسه هوایی به‌دلیل از دست دادن آب و CO₂ از طریق پوسته و هم‌چنین تغییرات مربوط به کهنه‌تر شدن سفیده و زرده تخم‌مرغ می‌باشد [3]. آهنگ زوال سفیده در خلال انبارمانی بسیار به شرایط نگهداری (دما و رطوبت نسبی) و ویژگی‌های پوسته وابسته است. زمان انبارمانی به‌طور معمول برای تشخیص میان تخم‌مرغ تازه و تخم‌مرغی که مناسب برای استفاده مصرف‌کننده باشد، کاربرد دارد. البته تنها نمی‌توان به تعداد روزهای پس از تخم‌گذاری با توجه به موارد ذکر شده اعتماد کرد [4، 5]. از این رو شاخص‌های شیمیایی که در خلال انبارداری تغییر می‌کنند، به‌عنوان توصیف‌گر تازگی تخم‌مرغ لحاظ شده‌اند [6]. تخم‌مرغ بایستی از لحاظ کیفیت داخلی و خارجی مورد بررسی قرار گیرد [7، 8].

1. Haugh Unit
2. Intact egg
3. Resonance

1. Genotype
2. Functional Properties

تخم‌مرغ‌های سالم 100٪ و برای تخم‌مرغ‌های دارای لکه‌های خونی 96/8٪ بود که با میانگین‌گیری از این دو مقدار نرخ تفکیک نهایی 98/5٪ گزارش گردید. کارویی و همکاران [20] دریافتند که ویتامین A موجود درون زرده می‌تواند به‌عنوان معیاری برای تعیین تازگی تخم‌مرغ مورد استفاده قرار گیرد و توانستند با طیف‌سنجی فلورسانس، تازگی تخم‌مرغ را به مدت 29 روز تشخیص دهند. اما اشکال عمده این روش مخرب بودن آزمون بود. جونکی و همکاران [21] به بررسی تازگی تخم‌مرغ با کمک طیف‌سنجی FT-NIR پرداختند و نمونه‌ها را در دمای 20°C به مدت 16 روز ذخیره کردند. مدل‌های توسعه یافته در این مطالعه براساس روش PCA¹ توانایی پیشگویی پارامترهای عمق اتاقت هوایی، ارتفاع سفیده غلیظ و واحد هاو را به ترتیب با ضریب همبستگی 0/772، 0/789 و 0/676 داشتند. سیاری و همکاران [22] برای تشخیص نقاط خونی داخلی تخم‌مرغ از پردازش تصویر کمک گرفتند و توانستند این کار را به‌صورت off-line و روی تخم‌مرغ‌های ساکن انجام دهند. نتایج حاصل از انجام آزمایشات نشان داد که الگوریتم نوشته شده، در تشخیص صحیح تخم‌مرغ‌های سالم، موفقیت 100٪ داشته و توانسته 83٪ از تخم‌مرغ‌های دارای لکه خونی را نیز به درستی تشخیص دهد. در پژوهشی دیگر پن و همکاران [23] اقدام به تشخیص ترک‌های موجود در پوسته تخم‌مرغ بر اساس بینایی ماشین و پاسخ صوتی با استفاده از شبکه‌های عصبی پرداختند. آن‌ها دریافتند که دقت بینایی ماشین و پاسخ صوتی در تشخیص ترک به ترتیب 68٪ و 92٪ می‌باشد.

تازگی تخم‌مرغ سهم عمده‌ای در تعیین کیفیت داخلی تخم‌مرغ دارد. بنابراین توسعه روشی مطمئن و غیرمخرب برای تعیین تازگی تخم‌مرغ برای این صنعت حیاتی است. با توجه به مطالب یاد شده، هدف اصلی در آزمون‌های غیرمخرب، توسعه روشی به‌منظور تعیین ویژگی‌های وابسته به سفیده و زرده تخم‌مرغ سالم، به‌صورت بی‌درنگ برای همه تخم‌مرغ‌هاست. در پژوهش‌های پیشین به‌منظور تعیین کیفیت داخلی تخم‌مرغ عمدتاً از روش‌های طیف‌سنجی استفاده شده است [19-21]. دستگاه‌های طیف‌سنجی علاوه بر گران قیمت بودن به داده‌های بسیاری برای کالیبره شدن نیاز دارند. لذا هدف از این پژوهش طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه بینایی ماشین به‌منظور تعیین

را می‌توان تشخیص داد و نرخ خطا کم‌تر از 0/5٪ بود. در پژوهشی دیگر دهرویه و همکاران [15] به کمک فناوری بینایی ماشین به جداسازی تخم‌مرغ‌های معیوب و درجه‌بندی آن‌ها براساس عیب داخلی پرداختند. در این تحقیق‌ها بیش‌تر به ویژگی‌های ظاهری تخم‌مرغ توجه شده که معیاری نامناسب برای درجه‌بندی است. اسچواجل و همکاران [16] از طیف‌سنجی NMR¹ با وضوح پایین برای کیفیت‌سنجی درون تخم‌مرغ استفاده کردند. در این روش تخم‌مرغ‌ها در یک حوزه مغناطیسی یکنواخت قرار گرفتند و هسته هیدروژن در تخم‌مرغ‌ها تحریک شد و هم‌چنین طیف‌سنجی‌ها در دو جهت طولی و عرضی صورت گرفت که آسایش عرضی² در هفته اول انبارداری در تمام دماها به‌صورت نمایی کاهش پیدا کرد. رگنی و همکاران [17] با استفاده از یک تکنیک دی‌الکتریک، کیفیت پوسته تخم‌مرغ را در طی انبارداری مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مقادیر ضریب همبستگی در صحنه‌گذاری‌ها تا 0/985 و 0/98 افزایش یافته در حالی که ضریب همبستگی برای ارتفاع سلول هوا تا 0/927 و 0/921 ارتقاء داشته است. شاخص زرده تخم‌مرغ، ارتفاع آلبومین ضخیم و واحد هاو نیز با مقادیر ضریب همبستگی در محدوده 0/526 و 0/728 پیش‌بینی شد و بهترین فرکانس برای پیش‌بینی از 10 تا 700 مگاهرتز بود. ابونجمی و همکاران [18] با استفاده از امواج فراصوت به ارزیابی کیفیت‌سنجی تخم‌مرغ پرداختند؛ در این تحقیق گروه اول از تخم‌مرغ‌ها در دمای اتاق (25°C-) و گروه دوم در یخچال (5°C) به مدت معینی نگهداری و آزمایش شدند؛ آزمون غیرمخرب با ثبت و ذخیره‌سازی سیگنال‌های حاصل از امواج فراصوتی و آزمون مخرب شامل هاوسنجی، ارتفاع سفیده غلیظ، عمق اتاقت هوایی و شاخص زرده انجام گرفت. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد بین میانگین داده‌ها وجود دارد و هم‌چنین با افزایش زمان نگهداری تخم‌مرغ، واحد هاو و شاخص زرده کاهش و عمق اتاقت هوایی نیز افزایش می‌یابد. یوسویی و همکاران [19] از طیف‌سنجی نزدیک مادون قرمز (NIR)³ به‌منظور تشخیص تخم‌مرغ‌های دارای لکه‌های خونی استفاده کردند که نرخ تفکیک آزمایش‌ها با این روش برای

1. Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy

2. Unrefrigerated

3. Near-Infrared spectroscopy

1. Principal Component Analysis

تفسیر داده‌ها و نمایش داده‌های تصاویر دیجیتالی به دنیای بیرون می‌باشد. اجزاء اصلی سامانه شامل سه قسمت اصلی است: (1) واحد تصویربرداری، (2) واحد پردازش، (3) واحد نمایش اطلاعات. طرح‌واره سامانه بینایی ماشین برای طبقه‌بندی کیفیت تخم‌مرغ در شکل (1) نشان داده شده است.

2- مواد و روش‌ها

2-1- تهیه نمونه‌ها

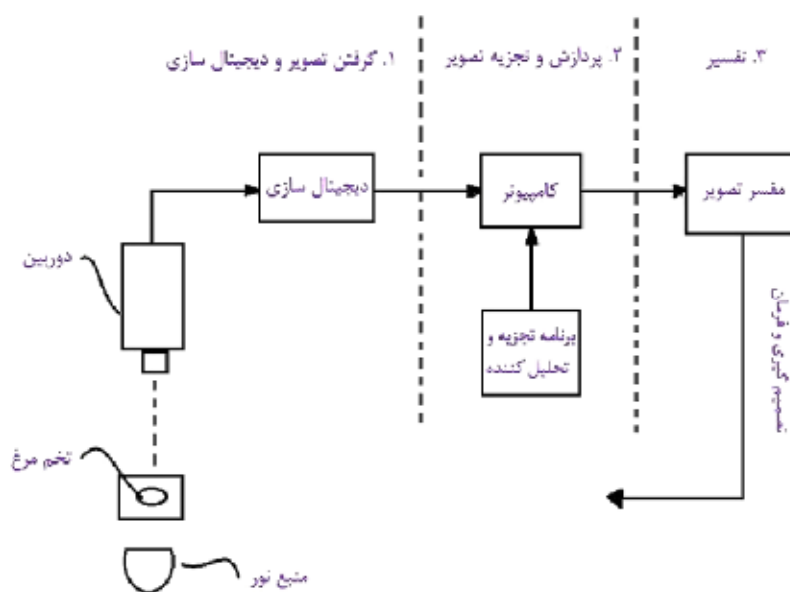
در این پژوهش تعداد 210 تخم‌مرغ تازه و دست نخورده از مجتمع دامداری مربوط به دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین جمع‌آوری و در دما (25 ± 2 درجه سلسیوس) و رطوبت (20 ± 3 ٪) اتاق به مدت 30 روز در شرایط یکسان نگهداری شدند. یک روز در میان، 14 عدد از نمونه‌ها به صورت کاملاً تصادفی انتخاب و پس از پایان تصویربرداری که شرح آن خواهد آمد، به منظور اندازه‌گیری پارامترهای داخلی و خارجی مورد آزمایش مخرب قرار گرفتند. به طور کلی، واحد هاو، مساحت کیسه هوایی، وزن تخم‌مرغ، وزن سفیده و وزن زرده به عنوان فاکتورهای کیفیت داخلی تخم‌مرغ و ضخامت پوسته و مقاومت پوسته به عنوان دو فاکتور کیفیت خارجی تخم‌مرغ در نظر گرفته شدند.

2-2- سامانه بینایی ماشین

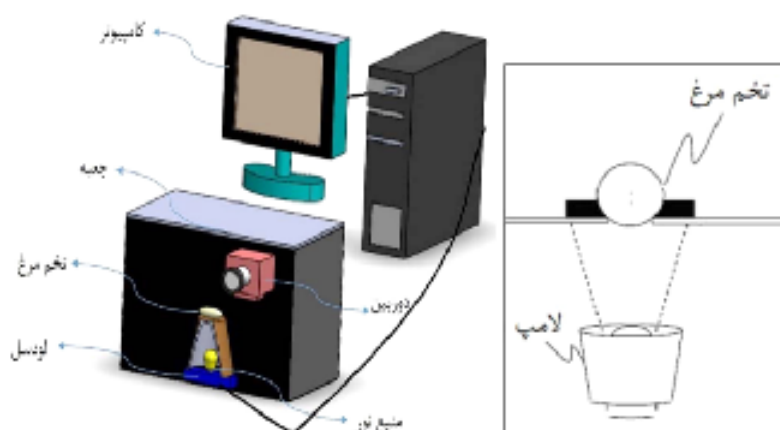
سامانه بینایی ماشین در این پژوهش شامل سامانه اخذ تصاویر، تغییر و اصلاح تصاویر، استخراج ویژگی مورد نیاز،

2-2-1- تصویربرداری

برای تهیه تصویر مناسب از یک تخم‌مرغ، نورپردازی یکنواخت بسیار مهم بوده و می‌بایست به دقت طراحی شود. بر این اساس، یک جعبه مستطیلی به اندازه $0/5 \times 0/5 \times 0/5$ متر مکعب به رنگ سیاه برای از بین بردن نویزهایی که از محیط اطراف بر تصاویر اثر می‌گذارد، ساخته شد. به منظور نمایان ساختن درون تخم‌مرغ و تعیین پارامترهای کیفی آن یک لامپ هالوژن 100 واتی زیر نمونه‌ها تعبیه گردید (شکل 2). جهت اخذ تصاویر رنگی از دستگاه Logitech مدل C930e HD ساخت کشور تایوان با وضوح 5 مگاپیکسل استفاده گردید که در فاصله افقی ثابت 20 سانتی‌متری نمونه‌های مورد آزمایش قرار داده شد. عکسبرداری از قسمت پهن نمونه‌ها به عمل آمد و در نهایت تصاویر دیجیتال اخذ شده از نمونه‌های تخم‌مرغ جهت پردازش به کامپیوتر منتقل شدند. شکل (2) طرح‌واره سامانه بینایی ماشین مورد استفاده در این تحقیق را نشان



شکل (1) طرح‌واره سامانه بینایی ماشین مورد استفاده در این پژوهش



شکل (2) طرح‌واره سامانه بینایی ماشین و تشخیص طبقه‌بندی تخم‌مرغ

می‌دهد. به‌منظور انجام فرایندهای پردازش تصویر از نرم افزار MatLab 2013a استفاده گردید.

2-2-2- پردازش تصویر

سامانه بینایی ماشین طوری طراحی شده که قادر به حذف اطلاعات غیرضروری و انجام پیش‌پردازش می‌باشند. بعد از گسترش هیستوگرام و بهبود درجه تباین تصاویر، این تصاویر از RGB به خاکستری تبدیل شدند. سپس با آستانه‌گذاری تطبیقی [24] بر روی تصاویر خاکستری، ابتدا هسته اصلی کیسه هوایی تعیین و با روش رشد ناحیه¹ [25] سطح کامل کیسه هوایی استخراج گردید. رشد ناحیه پروسه‌ای است که در آن پیکسل‌های مجاور با دامنه یکسان با یکدیگر گروه‌بندی می‌گردند تا یک ناحیه قطعه‌بندی شده را شکل دهند. قطعه‌بندی با انتخاب یک مجموعه از نقاط به نام نقاط "بذر" آغاز می‌گردد (هسته اولیه مشخص شده با روش آستانه‌گذاری تطبیقی) و با الحاق نقاط مجاور هر نقطه بذر که دارای مشخصات مشابهی (دامنه مشخصی از سطح تیرگی) با آن ناحیه بذر می‌باشند، رشد ناحیه انجام می‌گردد. بعد از استخراج کیسه هوایی با توجه به این که تخم‌مرغ‌ها دارای اندازه‌های متفاوتی می‌باشند، در نتیجه فاصله قرارگیری آن‌ها تا وبکم متفاوت می‌باشد. از این‌رو مساحت اخذ شده مقدار واقعی خود را نخواهد داشت.

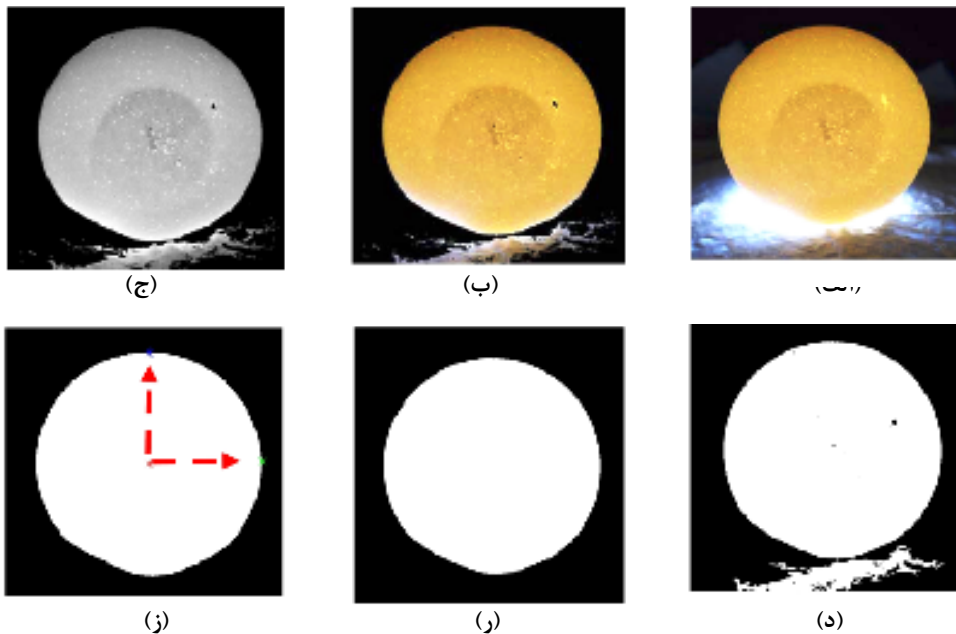
2-2-3- ثبت داده‌های مربوط به وزن

به‌منظور افزایش دقت سامانه بینایی ماشین و با توجه به رابطه هاو، ثبت داده‌های وزنی و وارد نمودن این پارامتر بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بدین منظور جهت ثبت داده‌های وزن از بارسنج 600 گرمی فشاری SCAIME، مدل AR، ساخت کشور فرانسه با دقت 0/02% استفاده گردید. سخت‌افزار مورد استفاده به‌منظور قرائت ولتاژ آنالوگ بارسنج مبدل AD7799 می‌باشد.

2-2-4- طبقه‌بندی به روش پارزن

در این پژوهش از روش پارزن که جزء روش‌های طبقه‌بندی غیرپارامتری محسوب می‌شود، به‌منظور گروه‌بندی تخم‌مرغ‌ها استفاده گردید. از روش‌های غیرپارامتری زمانی استفاده

3) و با حذف نواحی ناخواسته (شکل 3) مرکز سطح (نقطه
1. Region growing



شکل (3) الگوریتم جستجوی مرکز پوسته تخم‌مرغ به‌منظور تعیین قطر بزرگ و کوچک آن

می‌شود که پیش فرضی از توزیع داده‌ها به هر دلیلی در دست نباشد. با توجه به این که آموزش روش‌های غیرپارامتری نسبت به روش‌های پارامتری سخت‌تر می‌باشد، اما پس از آموزش به خوبی روند داده‌ها را تشخیص داده و حالت‌های مختلف مسأله را پوشش می‌دهد. اما از معایب این روش‌ها می‌توان نیاز به داده‌های زیاد برای آموزش زمانی که اطلاعات اندکی در مورد تابع توزیع چگالی در اختیار باشد، اشاره نمود. به‌طور کلی هدف از برآورد پارزن به‌دست آوردن چگالی احتمال شرطی $P(z|w_k)$ برای z های دلخواه می‌باشد. یک راه ساده برای رسیدن به این هدف تقسیم‌بندی داده‌ها به تعداد متنهای از مناطق مجزا R_k و محاسبه احتمال قرار گرفتن پارامترهای اندازه‌گیری شده (به‌عنوان مثال پارامتر هاو) در هر یک از این مناطق مجزا می‌باشد. به عبارت ساده‌تر در این روش فرض می‌شود که متغیرها مستقل از هم باشند، بنابراین با فرض $N_{k,i}$ به‌عنوان تعداد نمونه‌های گروه w_k و احتمال قرار گرفتن نمونه z در منطقه A_m ، چگالی احتمال با استفاده از معادله (1) قابل تخمین می‌باشد:

$$\hat{P}(z|w_k) = \frac{N_{k,i}}{\text{Volume}(R_i) \times N_k} \text{ with } z \in R_i \quad (1)$$

به‌منظور رسیدن به یک دقت طبقه‌بندی مشخص در مورد نمونه‌های

N بعدی، توابع مختلف برای درون‌یابی به کار گرفته می‌شوند که یکی از پرکاربردترین آن‌ها تابع گوسی است (معادله 2):

$$r(z, z_j) = \sqrt{(z - z_j)^T C^{-1} (z - z_j)}$$

$$h(r) = \frac{1}{s_h^N \sqrt{(2\pi)^N |C|}} \exp\left(-\frac{r^2}{2s_h^2}\right) \quad (2)$$

در این رابطه C ماتریس کواریانس داده‌ها است که باید متقارن و مثبت مطلق باشد. این ماتریس با توجه به فاصله ماهالانوبیس¹ که یکی از توابع تعیین اندازه شباهت می‌باشد به‌دست می‌آید؛ ثابت σ_h ، انحراف معیار داده‌های درون هر گروه. ماتریس کواریانس \hat{C}_k با توجه به معادله (3) محاسبه می‌شود [26]:

$$\hat{\mu}_k = \frac{1}{N_k} \sum_{n=1}^{N_k} z_n$$

$$\hat{C}_k = \frac{1}{N_k - 1} \sum_{n=1}^{N_k} (z_n - \hat{\mu}_k)(z_n - \hat{\mu}_k)^T \quad (3)$$

به‌منظور آموزش طبقه‌بند از داده‌های وزن و شاخص مساحت (D) و تابع چگالی گوسی استفاده گردید. بدین منظور از دو-سوم داده (140) به‌منظور آموزش و یک-سوم آن‌ها (70) برای آزمون طبقه‌بند استفاده شدند.

2-2-5 خروجی سامانه بینایی ماشین

به‌منظور مشاهده خروجی دستگاه طبقه‌بندی تخم‌مرغ یک

1. Mahalanobis

آن وجود دارد و تخم‌مرغ‌هایی که بالاترین واحد هاو را داشته باشند، بهترین حالت کیفی را از لحاظ سفیده دارند. برای انجام این بخش از آزمایش، تخم‌مرغ‌ها روی یک صاف شکسته و ارتفاع سفیده غلیظ توسط میکرومتر سه پایه مدل CE 300 تعیین گردید. آنگاه با استفاده از معادله (5) واحد هاو محاسبه گردید.

$$HU = 100 \log_{10}^{(H-1.7W^{0.37}+7.6)} \quad (5)$$

که در این رابطه H از ارتفاع سفیده غلیظ بر حسب میلی‌متر و W وزن تخم‌مرغ بر حسب گرم می‌باشد.

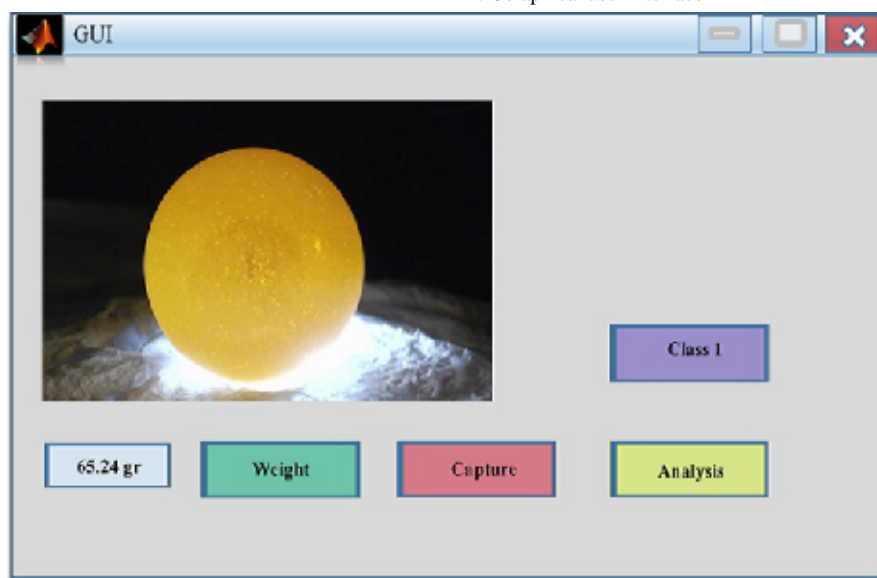
به‌منظور محاسبه وزن پوسته تخم‌مرغ، ابتدا محتویات تخم‌مرغ تخلیه و سپس پوسته تخم‌مرغ توسط یک دستمال کاغذی خشک گردید. آنگاه وزن پوسته‌های خشک شده با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت 0/001 گرم توزین شد. وزن زرده تخم‌مرغ نیز پس از جداسازی کامل زرده از سفیده اندازه‌گیری و ثبت شد. با کسر نمودن اوزان پوسته و زرده از وزن تخم‌مرغ، وزن سفیده به‌دست آمد و در تجزیه نتایج مورد استفاده قرار گرفت. ضخامت پوسته تخم‌مرغ با دستگاه ضخامت‌سنج عقربه‌ای مدل FE 200 با دقت 0/001 میلی‌متر در سه نقطه از پوسته تخم‌مرغ (انتهای باریک، انتهای پهن و وسط) اندازه‌گیری میانگین آن‌ها به‌عنوان ضخامت نهایی پوسته در نظر گرفته شد. همچنین برای مشخص کردن رنگ زرده از واحد رش استفاده گردید [28]. این شاخص دارای 15 طیف

رابط کاربر گرافیکی (GUI¹)، برای آن طراحی گردید. GUI نوعی واسط است که به کاربران اجازه می‌دهد از طریق آیکن‌های گرافیکی و نشانگرهای بصری با دستگاه‌های الکترونیکی تعامل و ارتباط برقرار کنند. با ایجاد GUI اکثر عناصر در سیستم و حتی سخت افزارها حالتی ترسیمی و نمایشی پیدا کردند و کاربر می‌تواند با دستگاه ماوس در محیطی گرافیکی حرکت و عناصر مختلف را انتخاب کرده یا وارد بخش‌های مختلفی شود. اجزا GUI طراحی شده در این پژوهش در شکل (4) آمده است. رابط گرافیکی استفاده شده در این سامانه شامل بخش نمایش تصویر، کلید اخذ و آنالیز تصویر، ثبت داده وزن و همچنین پیش‌بینی کیفیت تخم‌مرغ می‌باشد.

4-2- اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت تخم‌مرغ

پس از تصویربرداری، یک روز در میان تعداد 14 عدد از نمونه‌ها توسط یک ترازو دیجیتالی با دقت 0/001 گرم توزین شدند و مقاومت پوسته‌ها با استفاده از دستگاه مقاومت‌سنج مکانیکی مدل Karl Kolb، ساخت کشور آلمان با دقت 0/01 تعیین گردیدند. اندازه‌گیری کیفیت داخلی تخم‌مرغ بر اساس واحد هاو، وزن زرده و وزن سفیده صورت گرفت. متداول‌ترین روش اندازه‌گیری کیفیت سفیده تخم‌مرغ، واحد هاو می‌باشد که اولین بار توسط ریموند هاو ارایه گردیده است [27]. همبستگی مثبتی بین کیفیت تخم‌مرغ و ارتفاع سفیده غلیظ

1. Geraphical user interface



شکل (4) رابط گرافیکی سامانه بینایی ماشین

رنگ استاندارد (از رنگ زرد روشن تا قرمز نارنجی) می‌باشد. جهت تعیین شاخص رنگ زرده، تخم مرغ‌ها درون ظرف شفاف به آرامی شکسته، سپس نوک کارت‌های رنگی طیف‌سنج را در بالای زرده تخم قرار داده و با مشاهده و تغییر کارت (تفاوت بین کارت‌های رنگی با چشم غیرمسلح قابل تشخیص می‌باشد)، نوع رنگی که بیش‌ترین شباهت را با زرده داشته، انتخاب و به‌عنوان شاخص رنگ زرده معرفی و ثبت گردید.

2-5- آنالیز آماری داده‌ها

داده‌های حاصل از آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد آنالیز قرار گرفتند. هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری 5 درصد صورت پذیرفت.

3- نتایج و بحث

نتایج حاصل از آنالیز آماری پارامترهای کیفیت داخلی و خارجی تخم‌مرغ در جدول (1) ارائه شده است. نگهداری تخم‌مرغ‌ها به مدت 30 روز موجب کاهش خصوصیات کیفی تخم‌مرغ‌ها نظیر واحد‌ها و افزایش مساحت کیسه هوایی گردید. اثر مدت زمان انبارمانی بر کاهش کیفیت سفیده و واحد‌ها با از دست رفتن دی‌اکسیدکربن از تخم‌مرغ طی دوره نگهداری مربوط است که در نهایت کاهش قوام و ویسکوزیته سفیده را به دنبال دارد. بر اساس نتایج مندرج در بین شاخص‌های کیفی تخم‌مرغ، واحد‌ها در دوره انبارمانی کاهش معنی‌داری ($p < 0/05$) را نشان داد به‌طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین عدد به ترتیب 9/28 و 2/04 مشاهده شدند. جین و همکاران [29] با استفاده از 3 دمای مختلف (5، 21 و 29 درجه سلسیوس) و اندازه‌گیری صفات کیفی تخم‌مرغ، برای پارامترها روند کاهشی گزارش نمودند. هم‌چنین نتایج مشابهی توسط آکیورک و اوکور [30] با توجه به اثر مدت زمان نگهداری بر پارامترها و یافت شد. وزن کلی تخم‌مرغ در طول دوره انبارمانی کاهش معنی‌داری نشان نداد ($p > 0/05$). بررسی داده‌های آزمایشی نشان داد که وزن پوسته از روز 0 تا روز 29م به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر مدت زمان انبارمانی قرار نگرفت ($p > 0/05$). سیلورساید

و اسکات [31] با بررسی تغییرات وزن پوسته طی 10 روز از زمان نگهداری تخم‌مرغ نتایج مشابهی را گزارش نمودند. به‌طور کلی با توجه به مشاهدات، مدت زمان انبارمانی روی پارامترهای خارجی تخم‌مرغ نظیر ضخامت و مقاومت پوسته اثر معنی‌داری نداشت ($p > 0/05$). وزن زرده و سفیده به‌عنوان درصدی از وزن تخم‌مرغ از جمله دیگر صفاتی بودند که در این طرح مورد مطالعه قرار گرفتند. آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که با توجه به تأثیر زمان انبارمانی، کاهش وزن سفیده را به دنبال داشته است، در حالی که هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری بر وزن زرده بین روزهای مختلف وجود نداشت ($p > 0/05$). سایر صفات کیفی تخم‌مرغ مانند شاخص رنگ زرده، طی دوره انبارمانی تغییر معنی‌داری پیدا نمود ($p > 0/05$). بر مبنای اطلاعات مندرج در جدول (1)، طی دوره یک ماهه مساحت کیسه هوایی که یکی از پارامترهای تشخیص کیفیت تخم‌مرغ می‌باشد، به‌طور قابل توجهی روند افزایشی داشت. در شرایط یکسان، مساحت کیسه هوایی تخم‌مرغ در روز اول 3/126 سانتی‌متر مربع و در روز آخر این عدد به 11/373 سانتی‌متر مربع افزایش یافت که نمایان‌گر تبخیر آب از طریق منافذ پوسته و از دست دادن دی‌اکسیدکربن از سفیده و در نهایت زوال تخم-مرغ می‌باشد. ساملی و همکاران [32] نیز نتایج مشابهی برای افزایش اندازه کیسه هوایی در سه دمای مختلف (5، 21 و 29 درجه سلسیوس) طی مدت 2، 5 و 10 روز گزارش نمودند. با توجه به این‌که پارامتر D، نسبت مساحت کیسه هوایی به سطح جانبی پوسته تخم‌مرغ معرفی شده است، به‌عنوان یک پارامتر بی‌بعد و غیرمخرب در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج مقایسه میانگین این پارامتر طی مدت زمان انبارمانی روند افزایشی از خود نشان داد ($p < 0/05$) که کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار مربوط به روز اول و روز 29م به ترتیب 0/016 و 0/068 محاسبه شد. در مطالعه حاضر نگهداری تخم‌مرغ طی یک ماه باعث کاهش واحد‌ها، افزایش مساحت کیسه هوایی و پارامتر D شد. این عامل اگرچه بر وزن کلی تخم‌مرغ، و وزن زرده و پوسته، ضخامت و مقاومت پوسته، رنگ زرده اثری نگذاشت، اما باعث کاهش اندکی در وزن سفیده گردید. آن و همکاران [33] گزارش کردند که وزن پوسته با ذخیره‌سازی تغییر نمی‌کند.

جدول (1) جدول مقایسه میانگین پارامترهای مخرب اندازه‌گیری شده‌ی تخم‌مرغ طی یک ماه

پارامترهای مخرب و غیر مخرب										
تیمار	ضخامت پوسته	وزن پوسته	رنگ زرده	وزن سفیده	وزن زرده	مقاومت به شکست	وزن کلی	واحد هاو	شاخص مساحت	مساحت کیسه هوایی
1	0/232 ab	7/11 a	5/66 bcd	41/28 a	15/77 e	1/94 c	64/17 ab	92/89 a	0/160 k	3/12 i
3	0/241 ab	6/83 a	5/70 bcd	40/80 a	16/26 de	2/06 bc	63/90 ab	85/07 a	0/216 j	4/27 h
5	0/238 ab	7/10 a	5/90 abcd	41/85 a	17/95 abc	2/20 bc	66/91 a	70/88 b	0/297 i	6/06 g
7	0/219 bc	6/90 a	5/20 d	41/64 a	18/22 ab	1/89 c	66/77 a	65/09 bc	0/291 i	5/90 g
9	0/225 abc	6/73 a	5/90 abcd	38/99 abc	17/22 bcd	2/13 bc	62/95 abc	60/01 cd	0/344 h	6/61 fg
11	0/198 c	6/42 a	6/20 abc	40/32 ab	17/43 bcd	2/09 bc	64/18 ab	52/49 de	0/372 gh	7/19 ef
13	0/220 abc	6/51 a	6/20 abc	36/09 cd	17/03 bcd	2/78 ab	59/63 bc	52/67 de	0/408 fg	7/36 ef
15	0/225 abc	6/71 a	5/60 cd	37/15 bcd	18/62 a	2/11 bc	62/49 abc	48/34 ef	0/428 f	7/99 e
17	0/230 ab	6/54 a	5/80 bcd	36/37 cd	17/17 bcd	2/46 abc	60/09 bc	46/55 ef	0/491 e	8/83 d
19	0/218 bc	6/73 a	6/30 abc	36/89 bcd	17/32 bcd	2/45 abc	60/95 bc	43/49 fg	0/521 de	9/20 cd
21	0/232 ab	6/69 a	6/20 abc	34/22 d	17/30 bcd	2/19 bc	58/21 c	40/77 fg	0/557 cd	9/46 bcd
23	0/241 ab	6/98 a	6/28 abc	37/09 bcd	17/51 abc	2/74 ab	61/59 bc	36/04 g	0/578 c	9/79 bc
25	0/234 ab	6/72 a	6/6 ab	35/02 d	16/74 cde	2/79 ab	58/48 c	26/98 h	0/661 ab	11/05 a
27	0/234 ab	6/72 a	6/60 ab	35/02 d	16/74 cde	2/79 ab	58/48 c	26/98 h	0/640 b	10/24 b
29	0/253 a	7/11 a	6/80 a	35/52 cd	18/07 ab	3/02 a	60/70 bc	20/44 h	0/684 a	11/37 a

حروف مشترک نشان‌دهنده‌ی غیر معنی‌دار بودن در سطح احتمال 5%

متغیر را نشان می‌دهد. در نتیجه در این تحقیق تنها همبستگی پارامتر D با سایر پارامترها مورد توجه قرار گرفت. همان‌طور که مشاهده می‌شود پارامتر D بیش‌ترین همبستگی را با واحد هاو نشان داده و همبستگی قابل ملاحظه‌ای با سایر پارامترها وجود ندارد.

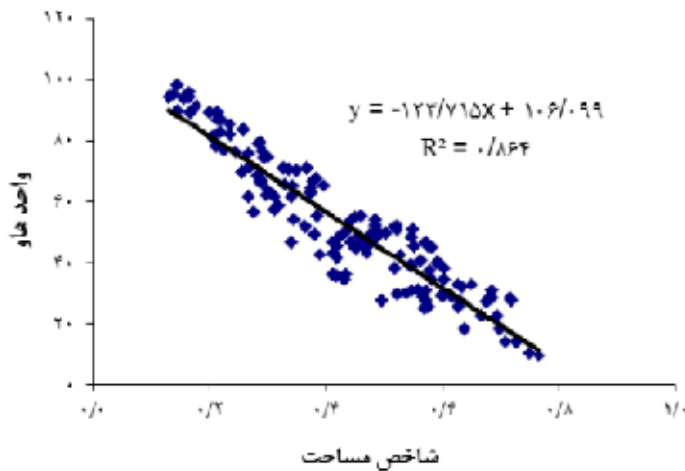
شکل (5) نمودار تغییر در پارامتر هاو و پارامتر D را نشان می‌دهد. مطابق شکل (5) مقدار پارامتر هاو با افزایش زمان انبارمانی به‌صورت خطی کاهش می‌یابد. پارامتر D با واحد هاو از رابطه مرتبه اول با ضریب همبستگی (R^2) به میزان 0/732 تبعیت می‌نماید. یافته‌های مذکور با نتایج پژوهش لی و همکاران [36] که تغییرات واحد هاو را با افزایش انبارمانی کاهش و خطی گزارش کردند، در یک راستا می‌باشد. این در حالی است که کارویی و همکاران [37] تغییرات واحد هاو را با افزایش انبارمانی کاهش و غیرخطی گزارش کردند. در این پژوهش پس از استخراج مساحت کیسه هوایی در

اسکات و سیلورساید [34] نشان دادند که مدت ذخیره‌سازی باعث کاهش وزن تخم‌مرغ و درصد وزن سفیده شد، اما درصد زرده و پوسته افزایش یافت زیرا کاهش وزن تخم‌مرغ به‌صورت اساسی با کاهش وزن سفیده مرتبط بود. کاهش وزن سفیده به‌دلیل از دست دادن آب از طریق پوسته صورت می‌پذیرد [31]. نتایج مطالعه حاضر ممکن است با نتایج بعضی محققان مطابقت نداشته باشد که انتظار داشتند ذخیره‌سازی طولانی مدت باعث افزایش وزن حقیقی زرده شود [34، 35].

به‌منظور تعیین ارتباط میان پارامترهای اندازه‌گیری شده مخرب و غیرمخرب از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. نتایج این بررسی در جدول (2) آمده است. با توجه به این مسأله که ضریب همبستگی بین 0/35 تا 0/65 ضریب متوسط است و حدود 25٪ تغییرات مشترک میان دو متغیر را نشان می‌دهد و در صورتی که ضریب همبستگی بین 0/65 تا 0/85 ضریب بالایی است و تا 72٪ تغییرات مشترک میان دو

جدول (2) همبستگی میان پارامترهای مخرب و غیرمخرب تحت تیمار انبارمانی

وزن سفیده	ضخامت پوسته	وزن پوسته	رنگ زرده	وزن زرده	مقاومت به شکست	وزن کلی	واحد هاو	شاخص مساحت	مساحت کیسه هوایی
								1	0/96*
							1	-0/92*	-0/93*
					1	-0/14	0/33*	-0/44*	-0/34*
				1	-0/03	0/45*	-0/18	0/33*	0/32*
			1	0/19	0/1	-0/15	-0/22	0/31	0/27
		1	0/01	0/05	0/37*	0/1	0/06	-0/09	-0/04
	1	0/67*	0/02	0/24	0/59*	0/59*	-0/01	0/05	0/05
1	0/008	0/47*	-0/19	0/02	-0/21	0/95*	0/44*	-0/53*	-0/45*

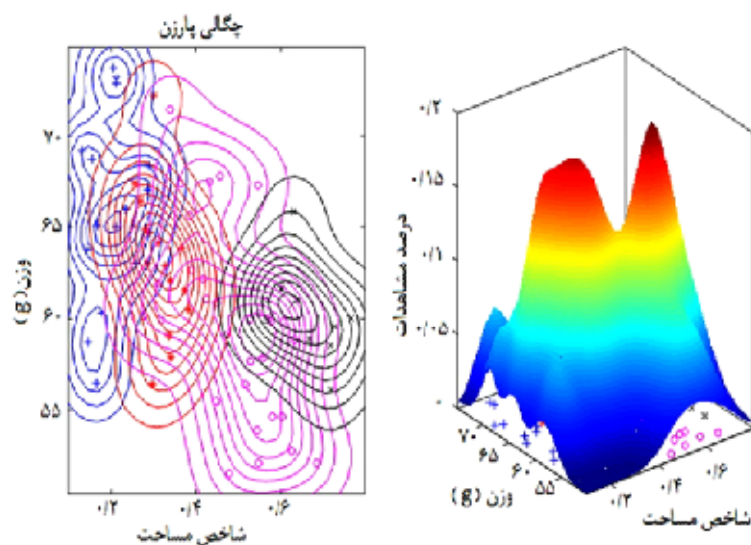


شکل (5) رگرسیون خطی تغییرات واحد هاو بر حسب پارامتر D طی دوره یک ماهه

طی انبارمانی برای هر تصویر و وزن نمودن نمونه‌ها در نهایت طبقه‌بندی تخم‌مرغ‌ها بر اساس کیفیت درونی با کمک روش پارزن انجام شد. مشاهدات حاکی از آن است که روش پارزن در مقایسه با سایر روش‌های طبقه‌بندی الگوها، به‌منظور طبقه‌بندی دقیق‌تر تخم‌مرغ‌های با کیفیت از بی کیفیت برتری داشته است. طبقه‌بندی کیفیت داخلی از زمان تخم‌گذاری تا هنگام مصرف متغیر است. در پژوهش‌های مختلف همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد از واحد هاو به‌منظور ارزیابی تازگی تخم‌مرغ استفاده می‌شود؛ به‌طوری که به واحد هاو بالای 72 شاخص AA، به واحدهای هاو 60 تا 71 شاخص A، به نمونه‌هایی که واحد هاو آن‌ها بین 31 تا 59 باشد شاخص B و در نهایت نمونه‌های با

واحد هاو 30 به پایین شاخص C داده شد. بنابراین، در این مطالعه نیز تخم‌مرغ‌ها بر اساس واحد هاو به 4 گروه طبقه‌بندی گردیدند (گروه AA تخم مرغ با کیفیت عالی، گروه A با کیفیت خوب، گروه B بی کیفیت و در نهایت گروه C کیفیت بد). سپس طبقه‌بندی پارزن با دو-سوم داده‌ها به‌منظور محاسبه تابع چگالی آموزشی داده شد. شکل (6) نتایج تابع توزیع چگالی پارزن را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است بیش‌تر توزیع داده‌ها مربوط به تخم مرغ‌های با کیفیت AA و B می‌باشد که با مشاهدات آزمایشگاهی این پژوهش مطابق دارد که نشان از آموزش صحیح طبقه‌بندی دارد. شایان ذکر است که فقط تخم‌مرغ‌های روزهای اول، سوم

طی انبارمانی برای هر تصویر و وزن نمودن نمونه‌ها در نهایت طبقه‌بندی تخم‌مرغ‌ها بر اساس کیفیت درونی با کمک روش پارزن انجام شد. مشاهدات حاکی از آن است که روش پارزن در مقایسه با سایر روش‌های طبقه‌بندی الگوها، به‌منظور طبقه‌بندی دقیق‌تر تخم‌مرغ‌های با کیفیت از بی کیفیت برتری داشته است. طبقه‌بندی کیفیت داخلی از زمان تخم‌گذاری تا هنگام مصرف متغیر است. در پژوهش‌های مختلف همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد از واحد هاو به‌منظور ارزیابی تازگی تخم‌مرغ استفاده می‌شود؛ به‌طوری که به واحد هاو بالای 72 شاخص AA، به واحدهای هاو 60 تا 71 شاخص A، به نمونه‌هایی که واحد هاو آن‌ها بین 31 تا 59 باشد شاخص B و در نهایت نمونه‌های با



شکل (6) نتایج حاصل از طبقه‌بندی داده‌ها توسط پارزن

و پنجم در گروه AA، تخم‌مرغ‌های روز 7 و 9 در گروه A، تخم‌مرغ‌های روز 11، 13، 15، 17، 19، 21 و 23 در گروه B و تخم‌مرغ‌های روز 25، 27 و 29 در گروه C قرار گرفتند. این مسأله نشان دهنده آن است که در شرایط یکسان بعد از گذشت 5 روز، تعداد بیشتری از تخم‌مرغ‌ها کیفیت خود را از دست می‌دهند.

جدول (3) نتایج طبقه‌بند پارزن بر اساس هاو

دقت (%)	گروه C	گروه B	گروه A	گروه AA	
91/7	0	0	1	11	گروه AA
70	0	2	7	1	گروه A
93/93	2	31	0	0	گروه B
73/33	11	4	0	0	گروه C
84/17	84/62	83/78	87/5	91/7	دقت (%)

طراحی یک سیستم هوشمند با استفاده از طیف‌سنجی Vis-IR (400-1100nm) به طبقه‌بندی کیفیت تخم‌مرغ پرداختند. در این پژوهش دو مدل همبستگی میان واحد هاو و زمان ذخیره‌سازی و هم‌چنین میان ضریب زرده و زمان ذخیره‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، به‌منظور کاهش ابعاد طیف و استخراج طول موج مؤثر، روش تجزیه و تحلیل بر اساس مؤلفه‌های اصلی (PCA) توسعه داده شد. بهترین دقت در کل طبقه‌بندی توسط PCA-BPNN با دقت 85٪ به‌دست آمد. با توجه به طبقه‌بندی آن‌ها در مقایسه با دقت طبقه‌بندی مورد استفاده در این پژوهش که با دقت 84/17٪ بیان شده است و هم‌چنین با بررسی نزدیک بودن تقریبی آن‌ها، می‌توان گفت روش پیشنهادی به‌کار رفته در پژوهش حاضر علاوه بر ارزان بودن دارای دقت مطلوبی نیز می‌باشد.

مطابق جدول (3) طبقه‌بند بیش‌ترین دقت را در گروه‌بندی تخم‌مرغ‌های با کیفیت عالی داشته است (91/7٪) که در این حالت فقط یک اشتباه در تشخیص داشته است؛ بیش‌تر خطا نیز در گروه A یعنی تخم‌مرغ‌های با کیفیت خوب داشته است. البته دلیل این مسأله را می‌توان به داده‌های اندک در این گروه‌بندی نسبت داد. زیرا همان‌طور که گفته شد طبقه‌بند پارزن برای آموزش صحیح نیاز به داده‌های فراوانی دارد تا توزیع صحیحی برای داده‌ها به‌دست آید. دقت کلی به‌دست آمده در طبقه‌بندی 84/17٪ درصد گردید. در همین راستا،

4- نتیجه‌گیری

تخم‌مرغ یک مواد غذایی سرشار از پروتئین و هم‌چنین مواد

1. PLS-DA
2. -K Nearest Neighbors
3. Support Vector Machine

و پارامتر D روند افزایشی داشتند. همچنین با به‌کارگیری روش طبقه‌بند پارزن به‌منظور درجه‌بندی تخم‌مرغ‌های دارای کیفیت از بی‌کیفیت با دقت کلی 84/17 درصد نشان از دقت قابل قبول سامانه بینایی ماشین می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت با استفاده از روش پیشنهادی و ترکیب روش‌های ماشین بینایی و تکنیک‌های دیگر نظیر طیف‌سنجی، می‌توان دقت کار الگوریتم‌های شناسایی و طبقه‌بندی تخم‌مرغ را افزایش داد.

معدنی مغذی است. لذا با توجه به اهمیت این محصول درجه‌بندی آن بسیار حائز اهمیت می‌نماید. لذا هدف از این پژوهش طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه بینایی ماشین جهت کنترل کیفیت تخم‌مرغ در نظر گرفته شد. مطابق نتایج به‌دست آمده ذخیره‌سازی تخم‌مرغ سبب زوال بسیار شدید در کیفیت تخم‌مرغ‌ها بعد از گذشت 30 روز گردید. بر اساس آنالیز آماری در سطح احتمال 5٪ میان پارامترهای کیفیت داخلی و خارجی استخراج شده، واحد هاو روند کاهشی، مساحت کیسه هوایی

منابع

- 83(2), 175-183.
- [7] Lin, J., Lin, Y., Hsieh, M., Yang, C. (2001). An automatic system for eggshell quality monitoring. *Trans. of ASABE.*, 44(3), 1323-1328.
- [8] Abdanan Mehdizadeh, S., Nadi, F. (2016). Experimental and Numerical Analysis for Prediction of Mechanical Properties of Eggshell. *J. Food Eng.*, 12(2), 1-7.
- [9] Kemps, B.J., Bamelis, F.R., De Ketelaere, B., Mertens, K., Tona, K., Decuyper, E. M., De Baerdemaeker, J.G. (2006). Visible transmission spectroscopy for the assessment of egg freshness. *J. Sci. Food Agric.*, 86(9), 1399-1406.
- [10] Dutta, R., Hines, E.L., Gardner J.W., Udrea, D.D., Boilot, P. (2003). Non-destructive egg freshness determination: an electronic nose based approach. *Meas. Sci. Technol.*, 14(2), 190-198.
- [11] آبدانان مهدی‌زاده، س. (1395) تشخیص ترک در پوسته تخم‌مرغ با استفاده از PCA و SVM. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*، جلد 13، شماره 56، ص 143-153.
- [12] Nakano, K., Sasaoka, K., Ohtsuka, Y. (1998). A Study on Non-Destructive Detection of Abnormal Eggs by Using Image Processing. *J. SASJ.*, 29(3), 17-23.
- [13] Cho, H.K., Choi, W.K., Peak, J.H. (2000). Detection of Surface Cracks in Shell Eggs by Acoustic Impulse Method. *Trans. ASABE.*, 43(6), 1921-1926.
- [1] Abdanan Mehdizadeh, S., Minaei, S., Hancock, N.H., Karimi Torshizi, M.A. (2014). An intelligent system for egg quality classification based on visible-infrared transmittance spectroscopy. *Info. Pro. Agric.*, 1(2), 105-114.
- [2] Sekeroglu, A., Altuntas, E. (2009). Effects of egg weight on egg quality characteristics. *J. Sci. Food Agric.*, 89(3), 379-383.
- [3] Arivazhagan, S., Shebiah, R.N., Sudharsan, H., Kannan, R.R., Ramesh, R. (2013). External and Internal Defect Detection of Egg using Machine Vision. *J. Eme. Tr. Com. Inf. Sci.*, 4(3), 257-262.
- [4] Rossi, M., Casiraghi, P., Primavesi, L., Pompei, C., Hidalgo, A. (2009). Functional properties of pasteurised liquid whole egg products as affected by the hygienic quality of the raw eggs. *LWT. Food Sci. Technol.*, 1-6.
- [5] آبدانان مهدی‌زاده، س.؛ مینایی، س.؛ مهاجرانی، ع.؛ کریمی ترش‌ریزی، م. (1392) ارزیابی غیرمخرب تازگی تخم‌مرغ با طیف‌سنجی UV-IR و تعیین تاثیرگذارترین ناحیه طیفی. *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، جلد 2، شماره 44، ص 101-112.
- [6] Anton M., Martinet, V., Dalgalarondo, M., Beaumal, V., David Briand, E., Rabesona, H. (2003). Chemical and structural characterization of low-density lipoproteins purified from hen egg yolk. *Food Chem.*,

- In Innovative Computing, Information and Control. ICICIC'07. *Second. Int. Conference.* pp. 424-424, IEEE.
- [23] Pan, L.Q., Zhan, G., Tu, K., Tu, S., 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.
- [24] Amraei, S., Abdanan Mehdizadeh S., Salari, S. (2017). Broiler weight estimation based on machine vision and artificial neural network. *Br. Poult. Sci.*, 58(2), 200-205.
- [25] Gonzalez, R.C., Wood, R.E., Eddins, S.L. (2004). Digital image processing using Matlab. *Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.*
- [26] Pan, Z.W., Xiang, D.H., Xiao, Q.W., Zhou, D.X. (2008). Parzen windows for multi-class classification. *J. Complex.*, 24(5), 606-618.
- [27] Haugh, R.R. (1937). A new method for determining the quality of an egg. *US Egg Poultry.*, 39, 27-49.
- [28] Farkhoy, M., Sigharody, F., Niknafas, F. (1994). Poultry breeding. Second Edition. *Coasar Publication.*, pp: 150-266.
- [29] Jin, Y.H., Lee, K.T., Lee, W.I., Han, Y.K. (2011). Effects of storage temperature and time on the quality of eggs from laying hens at peak production. *Asian-Australasian. J. Anim. Sci.*, 24(2), 279-284.
- [30] Akyurek, H., Okar, A.A. (2009). Effect of storage time temperature and age on egg quality in free range layer hens. *J. Anim. Vet. Adv.*, 8 (10), 1953-1985.
- [31] Silversides, F.G., Scott, T.A. (2001). Effect of storage and layer age on quality of eggs from two lines of hens. *Poult Sci.*, 80(8), 1240-1245.
- [32] Samli, H.E., Agma, A., Senkoylu, N. (2005). Effects of storage time and temperature on egg quality in old laying hens. *J. App. Poultry Re.*, 14(3), 548-553.
- [14] De Ketelaere, B.P., Coucke, P., De Baerdemaeker, J. (2000). Eggshell Crack Detection Based on Acoustic Resonance Frequency Analysis. *J.Agric. Eng.*, 76(2), 157- 163.
- [15] Dehrouyeh, M.H., Omid, M., Ahmadi, H., Mοhtasebi, S.S., Jamzad, M. (2010). Grading and quality inspection of defected eggs using machine vision. *Int. J. Adv. Sci. Tech.*, 17(4), 23-31.
- [16] Schwagele, F., Poser, R., Krockel, L. (2001). Application of low-resolution NMR spectroscopy of intact eggs-Measurement of quality determining PHysical characteristics. *Fleischwirtschaft.*, 81(10), 103-106.
- [17] Ragni, L.A., Al-Shami, A., Berardinelli, A., Mikhaylenko, G., Tang, J. (2007). Quality Evaluation of Shell Eggs during Storage Using a Dielectric Technique. *Trans. ASABE.*, 50(4), 1331-1340.
- [18] Aboonajmi, M., Akram, A., Setarehdan, S.K., Rajabipour, A. (2009). Freshness assessment of poultry egg by ultrasound signal processing. *Iran J. Biome. Eng.*, 3(1), 55-66.
- [19] Usui, Y., Nakano, K., Motonaga, Y. (2003). A Study on the Development of Non Destructive Detection System for Abnormal Eggs. *EFITA Conference.* Debrecen., Hungary.
- [20] Karoui, R., Kemps, B., Bamelis, F., De Ketelaere, B., Mertens, K., Schoonheydt, R., Decuypere, E., De Baerdemaeker, J. (2006). Development of a rapid method based on front face fluorescence spectroscopy for the monitoring of egg freshness: 2-evolution of yolk. *EUR. Food. RES. Technol.*, 223(2), 180-188.
- [21] Giunchi, A., Berardinelli, A., Ragni, L., Fabbri, A., Silaghi, F.A. (2008). Non-destructive freshness assessment of shell eggs using FT-NIR spectroscopy. *J. Food Eng.*, 89(2), 142-148.
- [22] Syahrir, W.M., Suryanti, A., Ain, N.N. (2007). Eggs Bloodspot Detection Using Image Processing.

- [33] Ahn, D.U., Sell, J.L., Jo, C., Chamruspollert, M., Jeffrey, M. (1999). Effect of dietary conjugated linoleic acid on the quality characteristics of chicken eggs during refrigerated storage. *Poult Sci.*, 78(6), 922-928.
- [34] Scott, T.A., Silversides, F.G. (2000). The effect of storage and strain of hen on egg quality. *Poult Sci.*, 79(12), 1725-1729.
- [35] Heath, J.L. (1977). Chemical and related osmotic changes in egg albumen during storage. *Poult Sci.*, 56(3), 822-828.
- [36] Liu, Y., Ying, Y., Ouyang, A., Li, Y. (2007). Measurement of internal quality in chicken eggs using visible transmittance spectroscopy technology. *Food control.*, 18(1), 18-22.
- [37] Karoui, R., Schoonheydt, R., Decuypere, E., Nicolaï, B., De Baerdemaeker, J. (2007). Front face fluorescence spectroscopy as a tool for the assessment of egg freshness during storage at a temperature of 12.2 C and 87% relative humidity. *Anal. Chim. Acta.*, 582(1), 83-91.
- [38] Zhao, J., Lin, H., Chen, Q., Huang, X., Sun, Z., Zhou, F. (2010). Identification of egg's freshness using NIR and support vector data description. *J. Food Eng.*, 98(4), 408-414.
- [39] Mehdizadeh, S.A., Minaei, S., Hancock, N.H., Torshizi, M.A.K. (2014). An intelligent system for egg quality classification based on visible-infrared transmittance spectroscopy. *Info. Pro. Agric.*, 1(2), 105-114.