

درجه بندی مغز گردو براساس اندازه و رنگ با استفاده از پردازش تصویر

امیرحسین افکاری سیاح^{۱*}، منصور راسخ^۱، محمد طهماسبی^۲

۱. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
 ۲. دانشجوی دکتری، مکانیک بیوسیستم، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۲، تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۲۵)

چکیده

امروزه توسعه سامانه‌های هوشمندی که بتوانند در مراحل مختلف آماده سازی و فراوری محصولات کشاورزی و مواد غذایی با کارایی مناسب به کار روند از اولویت‌های تحقیقاتی در این حوزه به‌شمار می‌روند. بدین منظور در پژوهش حاضر آزمایش‌هایی به منظور بررسی عوامل موثر بر یک سامانه تشخیص مغزگردو براساس اندازه و رنگ (به روش استاندارد) اجرا شد. بررسی‌ها بر امکان تشخیص دسته‌های کیفی، شامل سه دسته "نیمه"، "ربعی" و "خرده" و سه دسته رنگی، شامل "بسیار روشن"، "روشن" و "کهربایی روشن" در یک رقم متداول انجام شد. مولفه‌های پیش‌بینی کننده شامل قطر کوچک و بزرگ، الگوریتم شناسایی و مولفه‌های رنگی (Red، Green، Blue، Hue، Saturation، Value، L، a و b از سه مدل رنگی و جهت نورپردازی بود. در مقایسه دو روش نورپردازی مشخص شد که هر چند میانگین دقت تشخیص در نورپردازی از پایین (۹۴/۳٪) نسبت به نورپردازی از بالا (۹۱٪) بیشتر است، اما امکان استخراج هم زمان مولفه‌های رنگی و ابعادی، به‌کارگیری روش نورپردازی از بالا را موجه می‌سازد. نتایج هم‌چنین نشان داد که دقت و سرعت تشخیص براساس اندازه به مراتب بیشتر از تشخیص دسته‌های رنگی است. به‌طوری‌که می‌توان نمونه‌های نیمه (نیم-مغز) را با دقت ۹۸/۱٪ و در مدت زمان میانگین ۰/۳۱ ثانیه از دسته‌های دیگر تشخیص داد. درحالی‌که بالاترین دقت در تشخیص مغزهای با رنگ روشن از دسته‌های دیگر ۷۶/۲٪ و در مدت زمان ۱/۹۱ ثانیه بود. براساس نتایج تحلیل تشخیص خطی، با توجه به هم‌پوشانی داده‌های مدل‌های رنگی می‌توان صرفاً از شاخص میزان روشنی در مدل HSV با دقت ۸۱٪ و در مدت زمانی کم‌تر از ۰/۶ ثانیه برای تشخیص نمونه‌های بسیار روشن از دو دسته دیگر استفاده کرد. هم‌چنین در مقایسه مدل‌های رنگی، به‌ترتیب مدل HSV و Lab از بالاترین و پایین‌ترین دقت در طبقه‌بندی برخوردار بودند. بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان از مولفه‌های رنگی و ابعادی برای تشخیص مغزگردو بر اساس روش استاندارد در مدت زمان کم‌تر از ۲ ثانیه تحت نورپردازی از بالا استفاده نمود. از این اطلاعات می‌توان برای طراحی و توسعه سامانه‌های درجه‌بندی مغز گردو در صنایع غذایی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: مغز گردو، تشخیص، مولفه رنگی، پردازش تصویر.

1- مقدمه

بخش اعظم تولید گردو در جهان به قاره آسیا اختصاص دارد و در این بین ایران با تولید 450 هزار تن پس از چین دومین تولیدکننده بزرگ گردو در جهان می‌باشد [1]؛ همین امر سبب شده تا در پژوهش‌های غربی تاکید کمتری بر این محصول به‌ویژه در زمینه روش‌های آماده‌سازی و فراوری آن شود. در مراحل مختلف آماده‌سازی محصول، مرحله جداسازی کیفی از اهمیت زیادی برخوردار بوده و یکی از نیازهای اساسی زنجیره عملیات پس از برداشت تا مرحله خرده‌فروشی است که به ارزش افزوده محصول می‌انجامد. این امر به دلیل ارزش بالای این محصول خام کشاورزی است که در صنایع مختلف غذایی کاربرد دارد. مغز گردو حاوی 24٪ پروتئین و 70٪ چربی است که بیش‌تر آن نیز به‌صورت اشباع نشده است [2].

امروزه عمل جداسازی کیفی محصولاتی نظیر گردو به‌صورت حسی انجام می‌پذیرد که کاری خسته‌کننده، پرهزینه و نیازمند نیروی انسانی است و به‌واسطه ماهیت ذهنی در عملیات جداسازی روشی غیرمطمئن محسوب می‌شود. هرچند برای جداسازی براساس اندازه می‌توان از روش‌های مکانیکی نظیر الک یا غلتک‌های جداساز استفاده نمود، اما افزایش میزان آسیب به محصول، مانند خرد شدن یا جدا شدن پوسته، در جابه‌جایی‌های مکرر هم‌چنان مسئله ساز است. در جداسازی براساس رنگ نیز صرفاً می‌توان آن را به‌صورت چشمی انجام داد که در طولانی مدت کاری بسیار خسته‌کننده و پرخطا است. لذا استفاده از فن ماشین بینایی، که از یکنواختی و دقت مناسبی در تشخیص برخوردار است، می‌تواند اولین انتخاب محسوب گردد [3].

در این ارتباط، هرچند تحقیقات گسترده‌ای در خصوص تشخیص و جداسازی کیفی انواع میوه و سبزی با کمک فن ماشین بینایی صورت گرفته است، مانند تحقیقات انجام شده در رابطه با پسته [4]، توت فرنگی [5]، سیب [6]، سیب زمینی [7]، خرما [8، 9] و زیتون [۱۰، ۱۱]، اما به دلیل تفاوت ذاتی محصولات مختلف، عملاً نمی‌توان به‌طور دقیق از روش پردازش تصویر مربوط به یک محصول خاص برای محصولی دیگر استفاده کرد؛ زیرا مغزگردو از طرحی به‌نسبت پیچیده در بخش سطحی برخوردار است که فرورفتگی‌های متعدد در آن منجر به ایجاد سایه‌های عمیق در آن می‌شود. ضمن این‌که

روش‌های استاندارد طبقه‌بندی گردو کاملاً منحصر به فرد بوده و بر اساس رنگ، اندازه و نسبت تکه‌های جدا شده از یک نیم-مغز کامل تبیین شده‌اند [12]. این مسئله نیاز به توسعه یک الگوریتم خاص برای شناسایی گروه‌های کیفی مغزگردو را ضروری می‌سازد. در این ارتباط، محمدی قمرزگلی و همکاران امکان جداسازی پوسته از مغز و دسته بندی مغز صرفاً بر اساس رنگ را بر اساس گشتاورهای تغییرناپذیر رنگی بررسی نمودند [13]. جیانگ و همکاران نیز تحقیقی مشابه انجام دادند که در آن از تصویر برداری فراطیفی-فلورسنس برای تشخیص پوسته از مغز استفاده کردند [14]. مطالعات محدودی نیز در ارتباط با تعیین خواص فیزیکی و ظاهری مغز گردو که در تشخیص و طبقه‌بندی آن کاربرد دارد، انجام گرفته است [15]. [16]. آن دسته از معیارهای طراحی یک واحد سورتینگ که وابسته به سامانه حسگر آن می‌باشد عمدتاً شامل دو معیار دقت و سرعت جداسازی است. به‌عنوان مثال در تحقیقی که برای جداسازی توت‌فرنگی براساس ابعاد، شکل و رنگ انجام شد میانگین مدت زمان 3 ثانیه برای کل مراحل صرف شد. بیشینه میزان خطا برای تشخیص براساس اندازه، رنگ و شکل به‌ترتیب معادل 5، 11/2 و 10٪ به‌دست آمد [5].

در اغلب پژوهش‌های انجام شده، کم‌تر بر مسئله سرعت عمل واحد حسگر پرداخته شده و بیش‌تر میزان دقت تشخیص مدنظر قرار گرفته است. الملاحی و همکاران در محصول سیب‌زمینی به دقت 91 تا 97٪ برای تشخیص محل تماس غده از غده و غده از کلوخ (یک دانه‌سازی) در حین انتقال ردیفی محصول بر روی نقاله دست یافتند [17]. در تحقیقات انجام شده به‌طور مشترک بر تامین عوامل اصلی شامل استفاده از دوربین CCD، ایجاد کنتراست مناسب، به حداقل رساندن مراحل پردازش اولیه تصویر و قطعه‌بندی، نحوه استخراج داده از نمونه و نورپردازی مناسب تاکید شده است [18]. به نظر می‌رسد که در مورد مغزگردو، که هم تعیین دقیق قطر متوسط و هم تعیین میانگین رنگی براساس طبقه‌بندی استاندارد [19] اهمیت دارد، روش نورپردازی باید مد نظر قرار گیرد. در پردازش تصویر دیجیتال مواد غذایی، رنگ از شاخص‌های منحصر به فردی است که در شناسایی عیوب و یا دسته‌بندی کیفی به‌کار می‌رود. هرچند تعیین شاخص‌های رنگی مطلق

تشخیص تک دانه، مغزها در سه دسته از لحاظ اندازه (شکل 1) و سه دسته از لحاظ رنگ مورد بررسی قرار گرفتند. در طبقه بندی استاندارد [19]، "نیمه"، مغز گردویی است که از محل شیار طبیعی خود به دو نیمه تقسیم شده و قطعاتی کم تر از یک چهارم آن، از آن جدا شده باشد. هم چنین تفاوت مغز گردوی "خرده" و مغز گردوی "ربعی" به ترتیب در عبور یا عدم عبور از الک گرد 7 میلی متری است. با توجه به موارد فوق معیارهای تشخیص عبارت خواهند بود از اندازه گیری قطر بزرگ، قطر متوسط و نیز محاسبه میزان سطح جدا شده از نمونه نیمه. به طور مشابه نمونه های مغز گردو براساس رنگ، در سه گروه "بسیار روشن"، "روشن" و "کهربایی روشن" مورد بررسی قرار گرفتند. در واقع، در رقم گردوی مورد بررسی نمونه های با رنگ کهربایی مشاهده نشد.

2-2- تصویربرداری و تحلیل تصویر

برای تصویربرداری از یک دوربین NIKON-D40 با بیشینه رزولوشن 6/1 مگاپیکسل، مجهز به حسگر CCD (15/6×23/7 mm) و فاصله کانونی 18-55 mm استفاده شد. در تمام موارد تصاویر به وسیله یک عدد سه پایه عمودی از فاصله یکسان (22 cm) نسبت به سطح پس زمینه ثبت شد. تمامی تصاویر از طریق Memory stick به یک رایانه پرتابل (Dell Inspiron 5520-Core.i5/2.5GHz-64.0bit-Ram:4.00GB) منتقل و در فرمت غیرفشرده tiff ذخیره سازی شد. با توجه به اهمیت نورپردازی و تاثیر قابل ملاحظه آن بر تصاویر گرفته شده و بر اساس طرح آزمایشی، تمامی تصاویر در داخل یک محفظه بسته تهیه شده و نورپردازی در دو حالت نورپردازی از بالا و پایین انجام شد. با انجام آزمایش های اولیه و مشاهده منحنی های هیستوگرام در محدوده خاکستری، از کاغذ سفید معمولی به عنوان پس زمینه استفاده شد. متناسب با شرایط نمونه های مغز گردو، رنگ و ابعاد نسبی آنها و ابعاد المان های داخل تصویر، نسبت به نگارش الگوریتم و برنامه رایانه ای در نرم افزار MATLAB-7.10.49 به صورت M-File برای استخراج مولفه های تصویر اقدام شد.

2-3- قطعه بندی

با توجه به وجود کنتراست مناسب بین مغز و پس زمینه عمل

یک جسم صرفا در شرایط استاندارد و با کمک دستگاه رنگ سنج امکان پذیر است، اما می توان برای دسته بندی و مقایسه نسبی، از تصویربرداری دیجیتال، در یک شرایط نورپردازی یکسان استفاده نمود. این روش نیز توسط محققین مختلف و برای جداسازی محصولات مختلف بر اساس رقم یا عیوب سطحی به صورت گسترده استفاده شده است [6، 20 و 21]. با توجه به سوابق پژوهشی، در این تحقیق امکان استفاده از تکنیک پردازش تصویر به منظور تشخیص مغز گردو در سه گروه از لحاظ اندازه و سه گروه از لحاظ رنگ ظاهری، بر مبنای طبقه بندی استاندارد، بررسی و میزان سرعت و دقت تشخیص در هر مورد تعیین و مورد بحث قرار گرفت.

2- مواد و روش ها

2-1- انتخاب نمونه ها و معیارهای طبقه بندی

در این تحقیق در مجموع دو سری آزمایش انجام شد. آزمایش اول شامل تصویربرداری از 312 نمونه، شامل سه دسته کیفی براساس اندازه، دو روش نورپردازی و هر دسته شامل 52 نمونه و آزمایش دوم شامل تصویربرداری از 63 نمونه، شامل سه دسته کیفی بر اساس رنگ و هر دسته شامل 21 نمونه بود. از مبنای استاندارد آمریکایی طبقه بندی مغز گردو که مشابه استاندارد ملی است برای تعیین مولفه های تشخیص گردو استفاده شد [12، 22]. در این استاندارد مغز گردو در دو دسته درجه یک و تجاری تقسیم بندی می شود. درجه یک شامل مغزهای عاری از پوسته و مواد خارجی، بدون آسیب حشرات و خرابی، عاری از نمونه های چروکیده، قارچ زده و تغییر رنگ یافته، و درجه تجاری مشابه آن با تفرانس متفاوت می باشد. در مرحله بعد در هر درجه، عمل جداسازی بر اساس ویژگی های ظاهری انجام می پذیرد، به طوری که ابتدا دو مولفه رنگ و اندازه به صورت مجزا برای هر یک از نمونه ها تعیین شده و سپس مجموعه وارد سیستم درجه بندی کیفی می شود. لذا در این پژوهش مبنای تشخیص کیفی، تعیین ویژگی های رنگی و ابعادی تک دانه مغز گردو می باشد. در روش استاندارد معیارهای دسته بندی مغز گردو براساس رنگ عبارتند از "بسیار روشن"، "روشن"، "کهربایی روشن"¹ و "کهربایی" و معیارهای دسته بندی براساس اندازه عبارتند از نمونه های "نیمه"، "ربعی" و "خرده و خاکه"². در این تحقیق با توجه به امکان

1. Very light, Light and Light Amber
2. Half-Kernel, Piece and Small Piece

پس زمینه از اشیاء و تبدیل آن به پیکسل‌هایی با شدت صفر، با استفاده از مجموعه دستورات regionprops مولفه‌های ابعادی محاسبه شدند.

شکل (3) الگوریتم پردازش و تحلیل تصویر برای استخراج مولفه‌های ابعادی و رنگی را نشان می‌دهد. بر اساس این الگوریتم، مبنای تشخیص گروه مغزها بر اساس ابعاد، اقطار اصلی آن و سطح کنده شده از دسته نیمه می‌باشد.

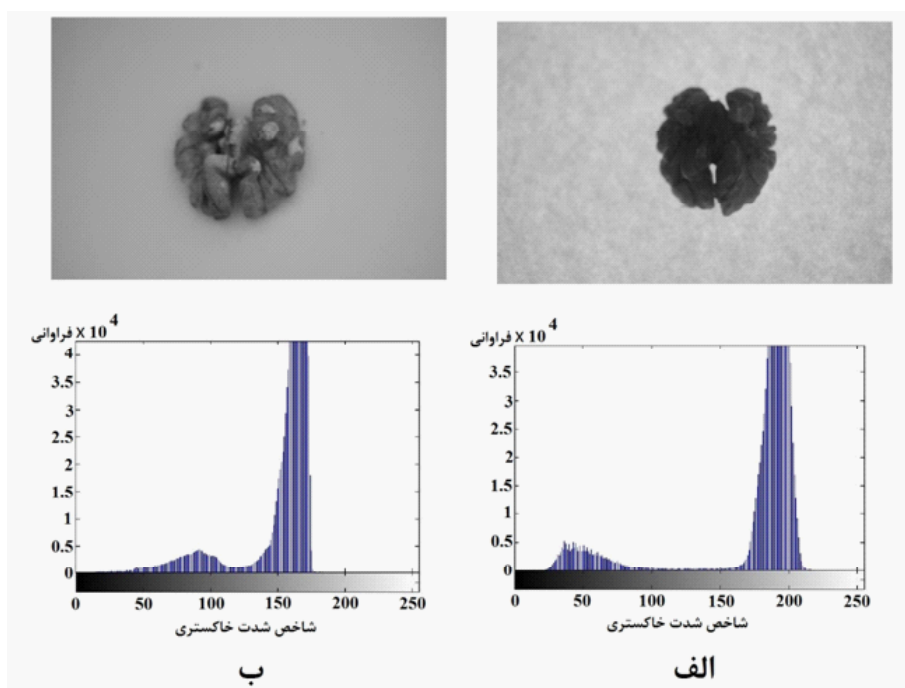
برای تعیین مقادیر جدا شده از مغز، ابتدا محور تقارن طولی مغز (محور c-c در شکل 4) مشخص شد. پس از مقایسه اختلاف سطح در دو نیمه، شاخص مورد نظر محاسبه شد (شکل 4). طبیعی است که این روش محاسبه بر دو فرض

قطعه‌بندی به راحتی توسط دستور *graythresh* بر مبنای روش Otsu انجام شد [12]. با توجه به نوع لنز دوربین و فاصله آن تا شیء به هیچ نوع برش تصویر نیاز نبود (شکل 2). در عین حال، وجود نویزهای متعدد، به طور عمده به واسطه انتقال و تبدیل تصویر به حالت رقومی، استفاده از انواع روش‌های کاهش نویز شامل باز و بسته کردن نقاط و استفاده از دستورات *imfill*، *imclose* و *bwareaopen* را اجتناب ناپذیر نمود.

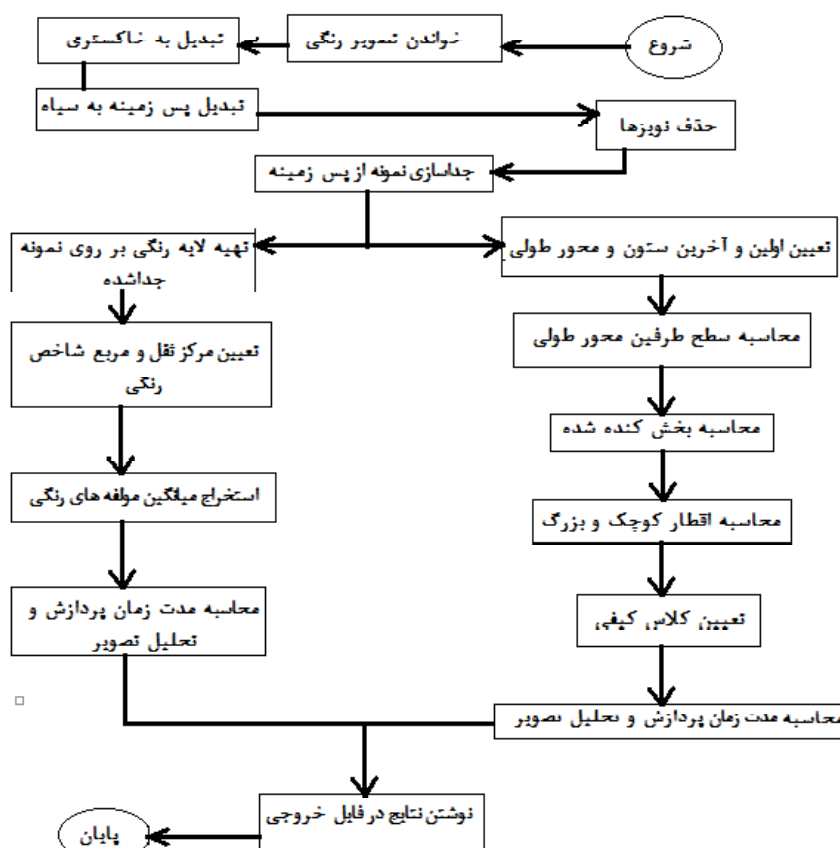
همان گونه که از شکل (2) پیداست، در هر دو روش نورپردازی به دلیل انتخاب مناسب رنگ پس زمینه و نیز جهت منبع نور، کنتراست مناسبی بین نمونه و پس‌زمینه وجود دارد و این تمایز در نورپردازی از پایین بارزتر است. پس از جداسازی



شکل (1) دسته بندی بر اساس اندازه مطابق با روش استاندارد



شکل (2) هیستوگرام شدت رنگ خاکستری در حالت (الف) نورپردازی از زیر و (ب) نورپردازی از بالا



شکل (3) الگوریتم استخراج مولفه های رنگی و ابعادی مغز گردو



شکل (4) نحوه تشخیص گروه نیمه از ربعی براساس تعیین محور تقارن شیء

وارد گردید (شکل 5). این روش برای کاهش هرچه بیش تر مدت زمان پردازش و تحلیل انتخاب شد. برای تعیین موقعیت شاخص مربعی نیز ابتدا مرکز ثقل گردو با روش ابعادی تعیین شد.

4-2- تعیین شاخص کالیبراسیون

با توجه به تاکید روش استاندارد بر استفاده از الک با اندازه مشخص برای تعیین نمونه های ربعی نسبت به خرده، می بایست ابعاد دقیق اقطار نمونه براساس میلی متر تعیین شود. برای این منظور از سکه ای به اندازه مشخص به عنوان شاخص کالیبراسیون

ساده کننده اولیه استوار است. اول این که محور تقارن طولی نمونه به موازات ستون های ماتریس تصویر است و دوم این که مغز گردوی نیمه دارای شکلی کاملاً متقارن است.

در ادامه، از مدل های رنگی RGB، Lab و HSV در تقریب دسته های رنگی استفاده شد. نحوه عملکرد سامانه پردازش تصویر در الگوریتم شکل (3) نشان داده شده است. براساس این الگوریتم، میانگینی از مولفه های رنگی در سطحی مربعی که بین 10 تا 15٪ سطح کل نمونه را تشکیل می دهد، استخراج شده و به عنوان پارامترهای خروجی در مدل تحلیل تشخیص

HSV, RGB و Lab و یا استفاده از برخی مولفه‌ها به صورت منفرد یا چندتایی الگوریتم‌های متفاوت شناسایی را تشکیل می‌دهند. در این تحقیق برای تعیین اندازه از یک نوع الگوریتم استفاده شد، اما برای تشخیص رنگ الگوریتم‌های متفاوت توسط روش آماری آزمون تشخیص مقایسه شدند.

2-5- مدت زمان پردازش و تحلیل

در هر دو الگوریتم رنگی و اندازه، مدت زمان پردازش و تحلیل تصویر، با اعمال دستوری در برنامه اصلی، برای هر نمونه در تیمارهای مختلف به عنوان یکی از متغیرهای وابسته محاسبه شد. هرچند این مدت زمان تا حد زیادی تابع سرعت رایانه است اما در عین حال می‌تواند معیاری از نحوه نگارش الگوریتم و الگوی پردازش و تحلیل تصویر ارائه دهد. برای بررسی نحوه عملکرد سیستم از تحلیل‌های آماری و به‌ویژه تحلیل تفکیک¹ در نرم افزار SPSS استفاده شد.

3- نتایج و بحث

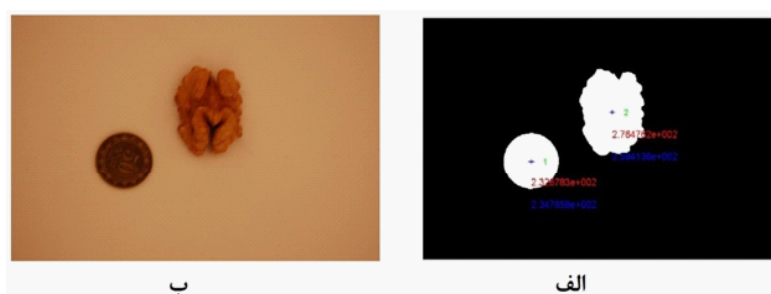
1-3- طبقه‌بندی بر اساس اندازه

مقادیر میانگین و انحراف معیار قطر کوچک نمونه‌های مغزگردو در سه گروه نیمه، ربعی و خرده در جدول (1) آورده شده است. هرچند بر اساس آزمون t- اختلاف معنی‌داری بین مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت دستی و روش پردازش تصویر (در سطح 0/05) وجود دارد، اما خطای اندازه‌گیری به استثنای

1. Discriminant Analysis

در چند تکرار استفاده شد. بر اساس شکل (6) اقطار بزرگ و کوچک سکه، به عنوان شیء شماره 1 و مغز گردو به عنوان شیء شماره 2، اندازه‌گیری شد. از تقسیم قطر حقیقی شاخص بر تعداد پیکسل‌های معادل آن در تصویر، شاخص کالیبراسیون محاسبه شد. به عنوان مثال بر اساس معیار فوق نمونه نشان داده شده در شکل (5-الف) یک مغز از گروه نیمه می‌باشد، در حالی که نمونه نشان داده شده در شکل (5-ب)، یک مغز از گروه ربعی تشخیص داده شد. همان‌طور که از شکل (7) مشاهده می‌شود تشخیص چشمی تفاوت رنگی مغزها در برخی موارد و به‌ویژه بین دسته‌های همسایه کاری خسته‌کننده و پرخطا است که همین مسئله استفاده از سیستم‌های ثبت دیجیتال را کاملاً موجه می‌سازد. با توجه به این‌که در روش استاندارد اطلاعاتی در خصوص میزان شدت رنگ داده نشده، لذا در این تحقیق روشن‌ترین نمونه‌ها در گروه بسیار روشن قرار دادند و سپس دو گروه بعدی در دسته‌های روشن و کهربایی روشن قرار گرفتند.

چه در دسته‌بندی بر اساس رنگ و چه در دسته بندی بر اساس اندازه، می‌توان از الگوریتم‌های متفاوتی در برنامه نوشته شده در نرم افزار Matlab استفاده نمود. به عنوان مثال در تعیین اندازه قطعات، استفاده از اقطار اصلی بیضی محیط بر قطعه و یا استفاده از تعداد پیکسل‌های قطعه در حالت افقی و عمودی دو الگوریتم متفاوت می‌باشند که هر یک دارای مزایا و معایبی هستند. به‌طور مشابه در تشخیص نمونه‌ها بر اساس رنگ نیز استفاده از مجموعه مولفه‌های مدل‌های رنگی

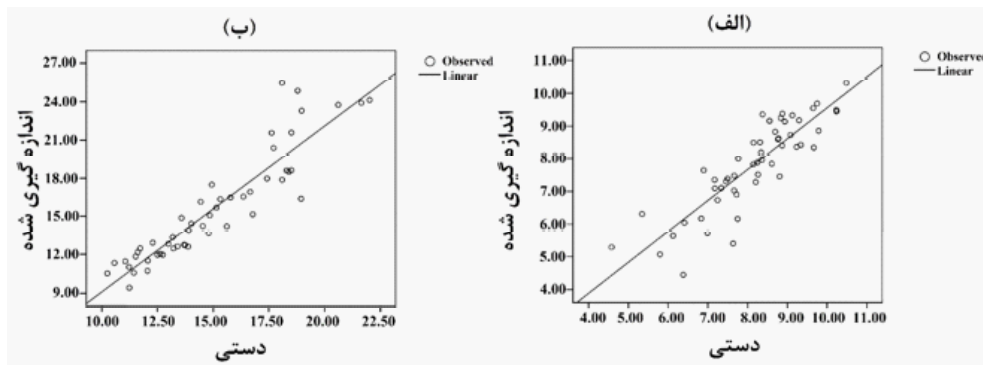


شکل (6) مرکز ثقل و اقطار کمینه و بیشینه سکه و نمونه که بر اساس اقطار یک بیضی تخمین زده می‌شود

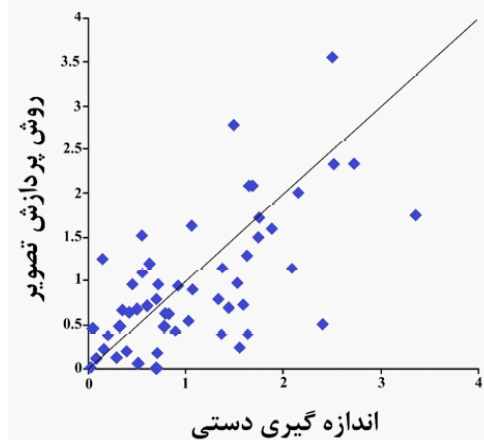


شکل (7) نمونه‌هایی از مغزگردو در دسته‌های کهربایی، کهربایی روشن و روشن

یک مورد کم تر از 5% می باشد. از این لحاظ بهترین دقت به ترتیب در اندازه گیری قطر نمونه های نیمه (1/3) و خرده (3/5) حاصل شد. چنین روندی در مورد قطر بزرگ نمونه های مغز گردو نیز صادق بود. از مقایسه مولفه های آماری و نیز منحنی های فراوانی اقطار کوچک و بزرگ نیز مشخص شد که پراکندگی در مقادیر قطر کوچک عموماً کم تر از قطر بزرگ است که این مسئله می تواند به افزایش دقت تشخیص کمک کند، زیرا در روش استاندارد نیز معیار جداسازی به ویژه در گروه های ربعی و خرده، قطر کوچک می باشد. شکل (8) نشان می دهد که داده های حاصل از الگوریتم پردازش تصویر می توانند به طور خطی مقادیر واقعی ابعاد مغز گردو را با ضریب تعیین 0/71 تخمین بزنند. به همین ترتیب شکل (9) نحوه توزیع انحراف از میانگین مقادیر اندازه گیری شده با کولیس (دستی) و داده های حاصل از پردازش تصویر را نشان می دهد. ملاحظه می شود که توزیع داده ها عمدتاً زیر خط $y=x$ قرار می گیرد که این دلالت بر پراکندگی کم تر در اندازه گیری به روش پردازش تصویر دارد. براساس شکل (10) در مقایسه بررسی عملکرد الگوریتم در تشخیص گروه ها، بهترین عملکرد در تشخیص گروه نیمه



شکل (8) مقایسه مقادیر اندازه گیری شده (الف) پهنا و (ب) طول اقطار نمونه به روش پردازش تصویر و دستی بر حسب mm



شکل (9) میزان قدر مطلق انحراف از میانگین در دو روش دستی و پردازش تصویر

جدول (1) مقادیر میانگین و انحراف از معیار قطر کوچک نمونه های مغز گردو بر حسب mm در سه گروه کیفی

گروه	اندازه گیری دستی			مستخرج از پردازش تصویر		
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	خطا	خطا
نیمه	24/03	2/22	23/64	1/81	1/6	3/09
ربعی	15/57	4/27	14/5	3/53	9/7	3/01
خرده	7/81	1/73	7/59	1/59	2/8	1/25

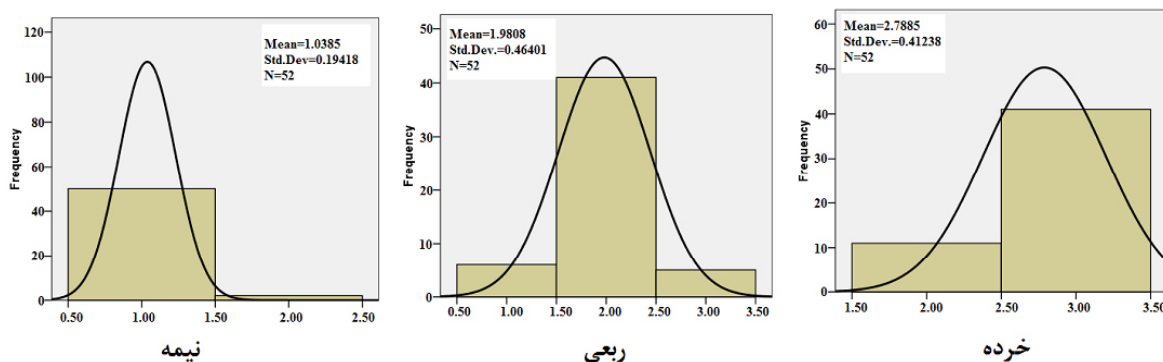
پیش‌بینی کننده می‌باشند که در شکل (11) با مولفه‌های شماره 1 و 2 مشخص شده‌اند.

براساس روش تحلیل تشخیص، برای طبقه‌بندی مغزها در سه گروه کیفی، از دو تابع خطی برای جداسازی گروه‌ها استفاده می‌شود. پس از انجام تحلیل تفکیک، بیشینه مقادیر Eigenvalue و کمینه مقادیر Wilks' Lambda برای توابع پیش‌بینی کننده به دست آمد (جدول 2). در این تحلیل فرض شد که تمام متغیرهای پیش‌بینی کننده دارای توزیع نرمال بوده و نیز تغییرات در تمام گروه‌ها یکسان است. این فرضیات با انجام آزمون آماری مورد تایید قرار گرفت.

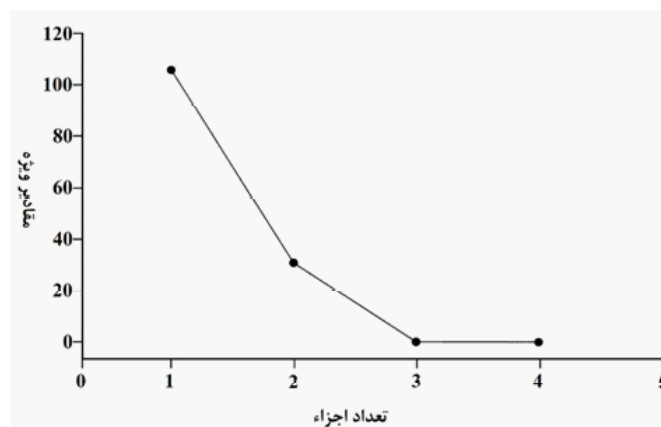
نتایج طبقه‌بندی برای تشخیص سه گروه مغزگردو در

حاصل شد. درحالی‌که، همین الگوریتم برای تشخیص گروه ربعی بخشی از نمونه‌ها را به عنوان گروه نیمه و درصدی را به عنوان گروه خرده تشخیص داده است. در نورپردازی از پایین بهترین نتیجه در تشخیص گروه خرده حاصل شد.

از نتایج تحلیل همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته مشخص شد که بیش‌ترین همبستگی بین متغیر وابسته گروه کیفی و به ترتیب با قطر کوچک (0/918) و الگوریتم شناسایی (0/886) به دست آمد. نتایج تحلیل PCA نیز به یافته‌ای مشابه رسید. همان‌گونه که شکل (11) نشان می‌دهد از بین چهار پارامتر مورد بررسی برای تشخیص گروه کیفی مغزگردو، دو پارامتر قطر کوچک و الگوریتم شناسایی، بهترین متغیرهای



شکل (10) منحنی‌های فراوانی تحلیل تفکیک سه گروه با نورپردازی از بالا



شکل (11) نتایج تحلیل PCA در تاثیر دو پارامتر اصلی قطر کوچک و الگوریتم شناسایی

جدول (2) نتایج تحلیل تشخیص در نورپردازی از بالا و مقادیر مولفه‌های توابع خطی

تابع تشخیص	ایگن‌ولیو (Eigenvalue)	لامبدا ویکس (Wilks Lambda)	کاسکوور (Chi-square)	احتمال عدم همپوشانی	احتمال معنی داری
1	7/644	0/110	335/31	0/940	0/0001
2	0/050	0/952	7/470	0/219	0/024

انجام شد. از مهم‌ترین دلایل کاهش دقت می‌توان به نزدیک بودن گروه‌های رنگی در این رقم گردو و نیز بالا بودن میزان پراکندگی در برخی مولفه‌های اندازه‌گیری شده مانند G، B و s اشاره نمود. با اجرای مجدد تحلیل تشخیص خطی به روش Stepwise و با استفاده از حداقل متغیرهای پیش‌بینی کننده، مشخص شد که صرفاً با استفاده از یک متغیر (میزان روشنی در مدل HSV) می‌توان با دقت 81% گروه بسیار روشن را از دو گروه دیگر، به‌ویژه گروه کهربایی روشن، تشخیص داد. به‌همین ترتیب تشخیص گروه کهربایی روشن نیز با دقت 76/2% امکان‌پذیر است. هم‌چنین، از مقایسه سه مدل رنگی در تشخیص گروه‌های کیفی مشخص شد که مدل HSV با میانگین 77/8% از بالاترین دقت در تشخیص مغزگردو براساس رنگ ظاهری برخوردار است. درحالی‌که مدل Lab با میانگین 73% از پایین‌ترین دقت برخوردار بود.

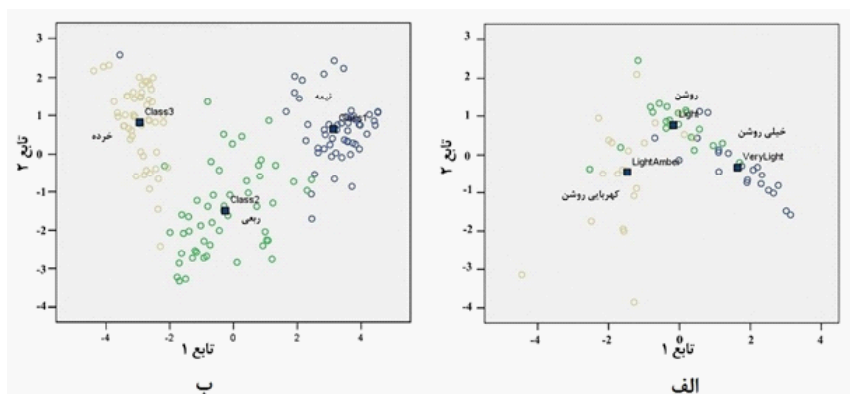
3-3- بررسی سرعت تشخیص

کمینه و بیشینه مدت زمان پردازش در تشخیص گروه‌های کیفی براساس اندازه، به‌ترتیب 0/25 و 0/47 ثانیه با میانگین انحراف معیار 0/034 ثانیه است. با صرف نظر از پراکندگی مقادیر اندازه‌گیری شده که تاحدی به سیستم رایانه‌ای و تغییرات جزئی نور و نیز ابعاد نمونه در تصویر بستگی دارد، می‌توان میانگین 0/31 ثانیه را کمینه مدت زمان لازم برای پردازش و تحلیل الگوریتم در نظر گرفت. با توجه به این‌که در یک سامانه کامل جداسازی کیفی، که دارای بخش‌های تغذیه، انتقال و واحد جداساز است، می‌توان تخمین زد که تشخیص و جداسازی هر تک دانه تا 1 ثانیه به طول بیانجامد. هرچند میانگین مدت زمان پردازش در نور پردازی از پایین‌ترین کم‌تر از نورپردازی از بالا بود، اما اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. میانگین مدت زمان پردازش و تحلیل در تشخیص مغزها بر اساس رنگ، به‌طور میانگین معادل 1/91 ثانیه به‌دست آمد. اما با انجام مجدد مراحل پردازش، صرفاً با محاسبه مولفه‌های مدل HSV، مدت زمان پردازش هر نمونه به حدود 0/55 ثانیه کاهش یافت. این کاهش 70 درصدی در مدت زمان پردازش به همان اندازه می‌تواند به عملکرد و ظرفیت جداسازی در سامانه‌ای براساس ماشین بینایی کمک کند (جدول 3).

نورپردازی از بالا نشان می‌دهد که بهترین دقت طبقه‌بندی مربوط به تشخیص گروه نیمه به‌صورت 98/1% می‌باشد. درحالی‌که تشخیص گروه‌های دوم و سوم با دقت 86/5% انجام شده است. این نتیجه موید آن است که الگوریتم در تعیین سطوح بریده شده از مغز (به‌صورت سطح جداشده) به‌خوبی عمل می‌کند؛ اما در اندازه‌گیری طول و پهنای نمونه‌ها از دقت کافی برخوردار نیست. نتایج بررسی میزان دقت طبقه‌بندی در نورپردازی از پایین نیز از روندی مشابه پیروی می‌کند (شکل 12- الف). نتایج تحلیل تشخیص خطی نشان داد که بهترین دقت طبقه‌بندی مربوط به تشخیص گروه نیمه و معادل 98/1% می‌باشد. درحالی‌که تشخیص نمونه‌های ربعی و خرده به‌ترتیب با دقت 88/5 و 96/2% انجام پذیرفت. در مقایسه دو روش نورپردازی، هر چند میانگین دقت تشخیص در نورپردازی از پایین (94/27%) نسبت به نورپردازی از بالا (91%) بیش‌تر است، اما این اختلاف تفاوت چندانی ندارد. به‌خصوص این‌که در نورپردازی از بالا همواره امکان استخراج هم‌زمان مولفه‌های رنگی نیز وجود داشته و این امر به هرچه ساده و کم هزینه‌تر شدن سامانه تشخیص و جداسازی کمک می‌کند.

3-2- طبقه‌بندی بر اساس رنگ

باتوجه به مقادیر انحراف معیار داده‌های حاصل از مولفه‌های رنگی مشخص می‌شود که پراکندگی در مولفه‌های رنگی R، V و a و b بسیار ناچیز و کم‌تر از 2% می‌باشد. لذا در ارزیابی کیفی، شاخص‌های رنگی نسبت به مولفه‌های دیگر از پراکندگی کم‌تری برخوردار بودند. از نتایج آزمون همبستگی¹ مشخص شد که بین متغیر وابسته گروه کیفی و تمام مولفه‌های رنگی، به استثنای پارامتر b از مدل Lab، همبستگی آماری (سطح 0/01) وجود دارد. اما بالاترین میزان همبستگی با دو پارامتر مولفه قرمز از مدل RGB و مولفه Value از مدل HSV به‌دست آمد. شکل 12- الف نحوه تشخیص گروه‌ها براساس پنج متغیر پیش‌بینی کننده R، G، B، h و s را براساس دو تابع خطی تشخیص نشان می‌دهد. نتایج طبقه‌بندی برای تشخیص سه گروه رنگی مغزگردو نشان می‌دهد که بهترین دقت طبقه‌بندی مربوط به تشخیص گروه‌های بسیار روشن و روشن معادل 76/2% می‌باشد. درحالی‌که تشخیص گروه کهربایی روشن با دقت 71/4%



شکل (12) طبقه‌بندی بر اساس متغیرهای پیش‌بینی کننده در (الف) سه گروه رنگی و (ب) سه گروه اندازه در نورپردازی از پایین

جدول (3) مقایسه مولفه‌های آماری مدت پردازش و تحلیل در دو الگوریتم اولیه و الگوریتم بر مبنای مدل HSV

مدت زمان (ثانیه)	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
الگوریتم اولیه	1/89	1/94	1/91	0/0123
الگوریتم HSV	0/53	0/57	0/55	0/0087

گروه ربعی و خرده تشخیص دهد. اما در تشخیص گروه ربعی نسبت به خرده دقت تا حدی کاهش می‌یابد که علت آن خطا در اندازه‌گیری اقطار به روش بیضی است. با توجه به شکل پیچیده و نیز ضخامت مغز گردو و اندازه آن نسبت به فاصله لنز دوربین تا پس زمینه، ایجاد سایه در اطراف نمونه اجتناب ناپذیر خواهد بود. همین امر سبب می‌گردد تا در مرحله آستانه‌گیری سطح واقعی نمونه سیاه و سفید شده، عموماً از سطح اندازه‌گیری شده کم‌تر باشد. هم‌چنین عدم یکنواختی در کنتراست بین نمونه و پس زمینه در کل سطح پس زمینه نیز از دیگر علل تغییر ناگهانی آستانه می‌باشد که منجر به خطا در نتایج می‌گردد. در مقایسه دو روش نورپردازی (نورپردازی از بالا و پایین) مشخص شد که هر چند میانگین دقت تشخیص در نورپردازی از پایین نسبت به نورپردازی از بالا بیشتر است؛ اما اول این که این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار نیست، دوم این که در نورپردازی از بالا همواره امکان استخراج هم زمان مولفه‌های رنگی نیز وجود داشته و این امر به هر چه ساده‌تر شدن سامانه تشخیص و جداسازی کمک می‌کند. میزان دقت تشخیص در روش اندازه به مراتب بیش از دسته‌بندی نمونه‌ها بر اساس رنگ بود. به طوری که بیشینه دقت در دسته‌بندی بر اساس رنگ به 81٪ و کم‌ترین آن حتی به کم‌تر

از مقایسه مدت زمان پردازش و تحلیل در تشخیص بر اساس اندازه و رنگ نیز مشخص می‌شود که اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین آن‌ها وجود داشته، به طوری که مدت زمان تشخیص در روش جداسازی بر اساس اندازه صرفاً معادل 16٪ مدت زمان پردازش بر اساس رنگ می‌باشد.

4- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان از فناوری پردازش تصویر برای تشخیص مغز گردو به صورت تک‌دانه در دسته‌های کیفی بر اساس اندازه و رنگ (روش استاندارد) با دقت قابل قبولی استفاده نمود. جداسازی پوسته سطح مغز گردو می‌تواند به افزایش نويز در مرحله آستانه‌گیری و منجر به کاهش شدید دقت تشخیص گردد؛ لذا استفاده از یک دمنده در کنار دوربین در یک سیستم کامل جداسازی می‌تواند راهکار مناسبی باشد. با توجه به روش استاندارد برای جداسازی کیفی مغز گردو بر اساس اندازه و شکل، به الگوریتم خاصی نیاز است تا بر مبنای دو شاخص اندازه قطر کوچک و میزان سطح نسبی جدا شده از مغز گردوی نیمه، عمل تشخیص و تعیین گروه در سه دسته کیفی انجام شود. نتایج این تحقیق نشان داد که چنین الگوریتمی با دقت بسیار خوب می‌تواند گروه نیمه را از دو

از 48٪ می‌رسد. دلیل این امر را می‌توان در تفاوت اندک بین گروه‌های رنگی، به‌ویژه دو گروه روشن و بسیار روشن، یافت. با وجود این که در این تحقیق از مولفه‌های سه مدل رنگی RGB، HSV و Lab استفاده شد اما نتایج تحلیل تشخیص به روش Stepwise نشان داد که استفاده از تمامی این مولفه‌ها، به علت هم‌پوشانی که با یکدیگر دارند، الزاما منجر به رسیدن به دقت بالاتر نمی‌شود و ضمن این‌که با کاهش محاسبات مربوط به استخراج داده از هر یک از مدل‌ها، مدت زمان تحلیل داده نیز به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که

کمینه مدت زمان پردازش و تحلیل معادل 0/31 ثانیه مربوط به روش اندازه می‌باشد. درحالی‌که این مدت زمان برای تحلیل داده، زمانی که تنها یکی از مدل‌های رنگی به‌کار گرفته شود، به 0/55 ثانیه و برای استخراج داده‌های سه مدل رنگی به‌طور میانگین به 1/91 ثانیه بالغ می‌گردد. طبیعی است که این مدت زمان تا حد زیادی تابع سرعت رایانه می‌باشد، اما در عین حال می‌تواند معیاری از نحوه نگارش الگوریتم و الگوی پردازش و تحلیل تصویر در اختیار ما قرار دهد.

منابع

- Biosyst Eng.*, 85 (4), 415–423.
- [7] Heinemann, P.H., Hughes, R., Morrow, C.T., Sommer, H.J., Beelman, R.B., Wuest, P.J. (1994). Grading of mushrooms using machine vision system. *Trans ASAE*, 37 (5), 1671–1677.
- [8] Lee, D.J., Schoenberger, R., Archibald, J., McCollum, S. (2008). Development of a machine vision system for automatic date grading using digital reflective near-infrared imaging. *J. Food Eng.*, 86, 388–398.
- [9] Al-Ohali, y. (2011). Computer vision based date fruit grading system: Design and implementation. *J. King Saud Univ – Comput Inf. Sci.*, 23, 29–36.
- [10] Riquelme, M.T., Barreiro, P., Ruiz-Altisent, M., Valero, C. (2008). Olive classification according to external damage using image analysis. *J. Food Eng.*, 87, 371–379.
- [11] Diaz, R., Gil, L., Serrano, C., Blasco, M., Molt, E., Blasco, J. (2004). Comparison of three algorithms in the classification of table olives by means of computer vision. *J. Food Eng.*, 61, 101–107.
- [12] Anonymous, (2008). Image Processing Toolbox 6, User's Guide, The Math Works, Inc. 3 Apple Hill Drive Natick, MA.
- [1] FAO, (2013). Food and Agricultural Organization Statistical Software, URL <http://www.faostat3.fao.org>.
- [2] Britton, M.T., Leslie, C.H., McGranahan, G.H., Dandekar, A.M. (2007). Walnuts. In: *Biotechnology in Agriculture and Forestry. Transgenic Crops: Biotechnol. Agric. Forest*, 60, 349-370.
- [3] Du, C.J., Sun, D.W. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Food Sci. Technol.*, 15, 230-249.
- [4] Ghazanfari, A., Irudayaraj, J., Kusalik, A. (1996). Grading pistachio nuts using a neural network approach. *Trans ASAE*, 39(6), 2319-2324.
- [5] Liming, X., Yanchao, Z. (2010). Automated strawberry grading system based on image processing. *Comput Electron Agric.*, 71, 32-39.
- [6] Blasco, J., Aleixos, N., Molt, E. (2003). Machine Vision System for Automatic Quality Grading of Fruit. *Biosyst Eng.*, 85 (4), 415–423.
- [7] Heinemann, P.H., Hughes, R., Morrow, C.T., Sommer, H.J., Beelman, R.B., Wuest, P.J. (1994). Grading of mushrooms using machine vision system. *Trans ASAE*, 37 (5), 1671–1677.

- [13] محمدی قرمزگلی، خ؛ وصالی، ف؛ فعله‌گری، ر؛ غفاری، ح. (1390) جداسازی پوسته از مغزگردو و دسته‌بندی براساس رنگ با استفاده از گشتاورهای تغییرناپذیر تصویر، شبکه عصبی مصنوعی و روش آنالیز تشخیص. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد 21، شماره 3، ص 305-315.
- [14] Jiang, L., Zhu, B., Rao, X., Berney, G., Tao, Y. (2006). Discrimination of black walnut shell and pulp in hyperspectral fluorescence imagery using Gaussian kernel function approach. *J. Food Eng.*, 81(1), 108–117.
- [15] Ebrahimi, A., Zareie, A., Fatahi, R., Ghasemi Varnamkhasi, M. (2009). Study on some morphological attributes of walnuts used in mass models. *Sci. Hortic-Amsterdam*, 121(4), 490–494.
- [16] افکاری سیاح، اح؛ فرهادی، ر. (1391) تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی مغزگردو (رقم کاغذی) باهدف جداسازی کیفی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد 22، شماره 1، ص 11-17.
- [17] Al-Malahi, A., Kataoka, T., Okamoto, H., Shibata, Y. (2010). An image processing algorithm for detecting in-line potato tubers without singulation. *Comput. Electron. Agric.*, 70(1), 239-244.
- [18] Gonzales, R.C., Woods, R.E. (1992). *Digital Image Processing*, 2th ed., Addison-Wesley Longman Publishing Co, Boston, pp 282-342.
- [19] Anonymous, (1997). United States Standards for Grades of Shelled Walnuts (*Juglans regia*). (Effective September 1, 1968)-reprinted.
- [20] Velioglu, H.M., Boyac, I.H., Kurultay, S. (2011). Determination of visual quality of tomato system and artificial neural networks paste using computerized inspection. *Comput. Electron. Agric.*, 77, 147-154.
- [21] Jha, S.N., Chopra S., Kingsly, A.R.P. (2005). Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. *J. Food Eng.*, 78(1), 22-26.
- [22] بی‌نام، (1372). مغز گردو، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره 18، چاپ ششم.