



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## جداسازی بادام‌های به هم چسبیده و طبقه‌بندی کیفی آنها با تلفیق تکنیک‌های پردازش

### تصویر و شبکه‌های عصبی مصنوعی

نیما تیموری<sup>۱</sup>، محمود امید<sup>۲\*</sup>، کاوه ملازاده<sup>۳</sup>، علی رجبی پور<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

۲- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کردستان

ایمیل مکاتبه کننده: Omid@ut.ac.ir

### چکیده:

ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی یکی از فاکتورهای بسیار مهم در ارتقای کیفیت آنها می‌باشد. در این تحقیق روشی مبتنی بر ترکیب پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی پیشنهاد شده است. جداسازی بادام‌های به هم چسبیده که با وضعیت‌های مختلف به هم متصل شده‌اند یکی از جنبه‌های مهم در طراحی دستگاه‌های درجه‌بندی بادام می‌باشند. بر این اساس، الگوریتمی مبتنی بر تکنیک پردازش تصویر برای استخراج نقاط بحرانی و رسم خطوط جداسازی به شکلی صحیح بین آنها پیشنهاد شده است. نتایج نشان داد که این الگوریتم با دقت قابل قبولی بادام‌های به هم چسبیده را جداسازی کرد. در گام بعد به ترتیب ۶، ۳۶ و ۳۶ ویژگی مرتبط با شکل، رنگ و بافت از بادام استخراج و از روش PCA برای کاهش تعداد این ویژگی‌های استفاده شد. سرانجام، به منظور طبقه‌بندی چهار کلاس بادام از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی با ساختار ۴-۷-۷-۱۸ و میانگین دقت کل ۹۶/۹۲ درصد استفاده گردید.

واژه‌های کلیدی: جداسازی بادام، طبقه‌بندی کیفی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، ویژگی‌های رنگ، ویژگی‌های بافت

### مقدمه

#### جداسازی بادام‌های به هم چسبیده

در سال‌های اخیر توجه به تکنیک‌های غیرمخرب و نوین جهت درجه‌بندی کیفی محصولات گوناگون خشکبار و غلات افزایش یافته است. یکی از این تکنیک‌ها، فناوری بینایی ماشین بوده که به طور وسیعی در زمینه‌های مختلف



کشاورزی گسترش یافته است. از مزایای این فناوری نسبت به روش‌های سنتی، غیرمخرب بودن، هزینه کمتر، دقت بالاتر و نیاز کمتر به نیروی انسانی متخصص می‌باشد. اهداف خاصی که با استفاده از فناوری بینایی ماشین مورد توجه قرار می‌گیرد؛ تشخیص عیوب ظاهری محصولات (Riquelme et al., 2008)، درجه‌بندی و جداسازی کیفی محصولات (Leemans & Destain, 2004) و طبقه‌بندی محصولات از لحاظ شکل و اندازه آن‌ها می‌باشد (Abdullah et al., 2006). امروزه ترکیب فناوری بینایی ماشین و تکنیک پردازش تصویر توانسته است به طور موفقیت آمیزی در ماشین‌های درجه‌بندی کیفی محصولات کشاورزی استفاده شود. تکنیک‌های پردازش تصویر از نظر سطح پیچیدگی دارای مراحل مختلفی هستند که یکی از مهمترین آن‌ها طبقه‌بندی تصویر است. پس از اینکه تصاویر طبقه‌بندی شدند، بردار ویژگی‌ها از تک‌تک اشیا (محصول کشاورزی) استخراج می‌گردد. اما در بعضی موارد، اگر مرز پیرامونی اشیا در تصاویر باینری به همدیگر متصل باشند؛ بایستی قبل از مرحله استخراج ویژگی، اشیا به هم چسبیده را از هم جدا کرد. این جداسازی می‌تواند به روش مکانیکی و یا غیرمکانیکی انجام گیرد (Pearson, 1996). به طور مثال در بعضی از دستگاه‌های سورت‌ر محصولات کشاورزی، نمونه‌ها قبل از تصویربرداری به وسیله دوربین، توسط بازوهای مکانیکی از هم جدا می‌گردند. البته این روش همیشه موفقیت‌آمیز نبوده و در مواردی اشیا به طور کامل از هم جدا نخواهند شد و عملکرد الگوریتم‌های طبقه‌بندی محصولات با شکست مواجه می‌گردند. در روش غیرمکانیکی، اشیا به هم چسبیده توسط الگوریتم‌های مختلفی که در این زمینه توسعه داده شده‌اند، جداسازی می‌شوند. زمانیکه اشیا به هم اتصال دارند، این اتصال می‌تواند با تعداد متفاوت شی و جهت‌گیری‌های گوناگون رخ دهد، بنابراین دقت جداسازی به شدت تحت تاثیر نحوه چسبیدگی اشیا به هم در تصاویر باینری می‌باشد. در این زمینه مطالعات مختلفی انجام شده و الگوریتم‌های متفاوتی پیشنهاد شده است که در ادامه خلاصه‌ای از آن‌ها ذکر شده است.

روش‌های مختلفی برای جداسازی اشیا به هم چسبیده در مقالات گزارش شده است. روش‌های مبتنی بر مورفولوژی برای جداسازی اشیا به هم چسبیده (Shatadal et al., 1995)؛ الگوریتم مبتنی بر میزان تحدب (Qian et al., 2004) و تکنیک مبتنی بر برازش بیضی (Zhang et al., 2005). هر کدام از این روش‌ها برای جداسازی نواحی به هم چسبیده دارای مزایا و معایبی هستند. به طور مثال یکی از مزایای استفاده از تکنیک‌های مورفولوژی، ساده بودن الگوریتم آن می‌باشد؛ در این روش ابتدا اشیا توسط عملگر سایش (Erode) از یکدیگر جدا شده و سپس با استفاده از عملگر اتساع (Dilate) بدون اینکه مرزهایشان دوباره به هم متصل شود به اندازه اولیه باز می‌گردند (Shatadal et al., 1995). یکی از ضعف‌های اصلی این تکنیک ناتوانی آن در جداسازی اشیا است که به شکل زنجیری به هم متصل شده‌اند. روش برازش بیضی یکی دیگر از روش‌ها برای جداسازی اشیا به هم چسبیده می‌باشد. در این روش ابتدا نواحی پیرامونی اشیا با استفاده از عملگرهای لبه‌یاب مانند سوبل (Sobel) استخراج می‌گردند. سپس با استفاده از مجموعه‌ای از نقاط مرزی، توابعی به شکل بیضی بر آن‌ها برازش می‌شوند. پس از انتخاب مناسب‌ترین شکل بیضی، با استفاده از عملگر اتساع نواحی بیضی شکل گسترش یافته و با کمک عملگر ریاضی AND نواحی به هم چسبیده اشیا از یکدیگر جدا می‌گردند (Zhang et al., 2005). از ضعف‌های این روش، زمان‌بر بودن الگوریتم می‌باشد. همچنین این الگوریتم تنها



توانسته است تصاویر شامل دو یا سه شی به هم چسبیده را جداسازی نماید و اگر تعداد اشیا به هم چسبیده بیشتر از سه باشند عملکرد آن به شدت کاهش می‌یابد (Mebatsion & Paliwal, 2001).

با توجه به اینکه بروی محصول بادام هیچ تحقیق جامعی در جهت جداسازی کلاس‌های مختلف آن از یکدیگر انجام نگرفته است، بنابراین در این تحقیق هدف ارائه الگوریتمی نسبتاً ساده و قدرتمند است تا بتواند کلاس‌های مختلف بادام را که با موقعیت‌های گوناگون به یکدیگر چسبیده‌اند، جداسازی نماید و آن‌ها را در کلاس‌های مربوط به خود قرار دهد.

### طبقه‌بندی کیفی بادام

بادام یکی از محصولات مهم صادراتی در ایران بوده و بر طبق آمار فائو در سال ۲۰۱۱ ایران رتبه سوم تولید جهانی این محصول را دارا می‌باشد (FAO, 2011). یکی از مشکلات مهم در صادرات این محصول، عدم توجه به کیفیت محصول صادراتی و در حقیقت صادرات فله‌ای آن می‌باشد. بنابراین هر نوع عملیاتی از جمله درجه‌بندی و جداسازی کیفی این محصول بسیار حائز اهمیت است. استفاده از تکنیک ماشین‌بینایی و هوش محاسباتی جهت کیفیت‌سنجی محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر بسیار گسترش و مقبولیت یافته است. در پژوهش‌های متعددی از این دو روش برای بررسی کیفیت محصولات و درجه‌بندی آن‌ها استفاده گردیده است.

در ادامه مثال‌هایی از این مطالعات ذکر گردیده است. به منظور طبقه‌بندی محصول کشمش الگوریتمی مبتنی بر پردازش تصویر و روش‌های هوشمند پیشنهاد شده است که در آن محصول کشمش به چهار کلاس مختلف سبز رنگ بدون دم، سیاه رنگ بدون دم، سبز رنگ با دم و سیاه رنگ با دم دسته‌بندی شده است. پس از قطعه‌بندی تصاویر گرفته شده از محصول به روش اتسو (Otsu, 1979)، ویژگی‌های مرتبط با شکل و رنگ کشمش استخراج گردید. در گام بعد ویژگی‌های برتر با استفاده از روش CFS<sup>1</sup>، که بر مبنای میزان همبستگی ویژگی‌های استخراجی عمل می‌نماید، انتخاب شد و توسط روش‌های مختلف مدل‌سازی نظیر شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و درخت تصمیم (DT) محصول به چهار کلاس (سبز رنگ بدون دم، سیاه رنگ بدون دم، سبز رنگ با دم و سیاه رنگ با دم) طبقه‌بندی گردید. نتایج نشان‌دهنده مناسب بودن روش ANN با دقت کل ۹۶/۳۳ درصد بوده است (Mollazade et al., 2012). همچنین در مطالعه‌ای بر روی محصول بادام جهت طبقه‌بندی آن از نظر اندازه به سه کلاس بزرگ، متوسط و کوچک از تکنیک پردازش تصویر استفاده شده است. پس از قطعه‌بندی تصاویر، سطح مربوط به هر بادام استخراج گردید، سپس از روی مساحت هر بادام و وزن مربوط به آن که توسط ترازو اندازه‌گیری شد، بادام به سه دسته بزرگ، متوسط و کوچک با دقت کل ۹۹/۷۰ درصد دسته‌بندی گردید (Castelo-Quispe et al., 2013). در تحقیق مشابه دیگر توسط پیرسن و همکاران در سال ۱۹۹۹، برای جداسازی پسته‌های خندان، کم‌خندان و ناخندان، گرادیان هیستوگرام سطوح خاکستری در عرض یک تصویر جهت انتخاب ویژگی‌ها استفاده گردید. در مجموع ۲۴۶ ویژگی از هر

<sup>1</sup> Correlation-based Feature Selection



محصول بدست آمد، که این تعداد ویژگی در فاز برون‌خط<sup>۲</sup> بوده و بسیاری از این ویژگی‌ها در حالت برخط<sup>۳</sup> نامناسب تشخیص داده شده و تنها چهار ویژگی از این ۲۴۶ ویژگی برای این فاز انتخاب گردید. نتایج این پژوهش حاکی از دقت ۹۵ درصدی این الگوریتم در جداسازی محصول به دو کلاس قابل قبول و رد شده بوده است (Pearson & Toyofuku, 1999). همچنین نتایج استفاده از ترکیب ویژگی‌های رنگ و بافت استخراجی از محصول فندق در فضاهای رنگی  $L^*a^*b^*$ ، HSV و RGB برای درجه‌بندی کیفی این محصول موفقیت‌آمیز گزارش شده است (Donis-Gonzalez et al., 2013).

با توجه به مرور منابع مشخص شد که یکی از روش‌های قابل اعتماد جهت کیفیت‌سنجی محصولات کشاورزی استفاده از تلفیق تکنیک‌های ماشین‌بینایی و هوش محاسباتی می‌باشد. بدین ترتیب در پژوهش حاضر برای طبقه‌بندی محصول بادام از لحاظ کیفی و جداسازی کلاس‌های مختلف آن از تکنیک پردازش تصویر و روش مدل‌سازی ANN استفاده شده است.

## مواد و روش‌ها

### تحصیل تصاویر نمونه‌های بادام و قطعه‌بندی

ابتدا تصاویر توسط یک دستگاه اسکنر مدل (HP, Scanjet 3570c, USA) گرفته شد؛ به طوری که در هر تصویر تمامی کلاس‌های بادام قرار داده شده بود (کلاس بادام سالم، شکسته، چروکیده و پوست بادام) (ISIRI, 1995) (شکل ۱). همچنین تعداد نمونه‌ها برای هر کلاس شامل ۲۰۰ عدد بوده است. در گام بعد تصاویر به روش آستانه‌گذاری اتسو در مولفه رنگی H (فضای رنگی HSI) قطعه‌بندی شدند؛ با استفاده از این روش، بادام‌ها با دقت بالایی از تصاویر استخراج گردیدند (شکل ۱پ). همچنین تمامی مراحل مربوط به پردازش تصویر از جمله: قطعه‌بندی، جداسازی بادام‌های به هم چسبیده، استخراج ویژگی و روش مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی در نرم افزار متلب ۴ نسخه ۲۰۱۲ پیاده‌سازی گردید. بخش بعدی مربوط به ارائه روشی ساده برای جداسازی بادام‌های به هم چسبیده می‌باشد.

<sup>2</sup> Off-Line

<sup>3</sup> In-Line

<sup>4</sup> Matlab



شکل ۱: تصویر گرفته شده از تمامی کلاس‌های بادام با موقعیت‌های مختلف؛ الف و ب) تصاویر رنگی از کلاس‌های مختلف بادام و پ) تصویر قطعه‌بندی شده در مولفه رنگی H با استفاده از روش آستانه‌گذاری اتسو.

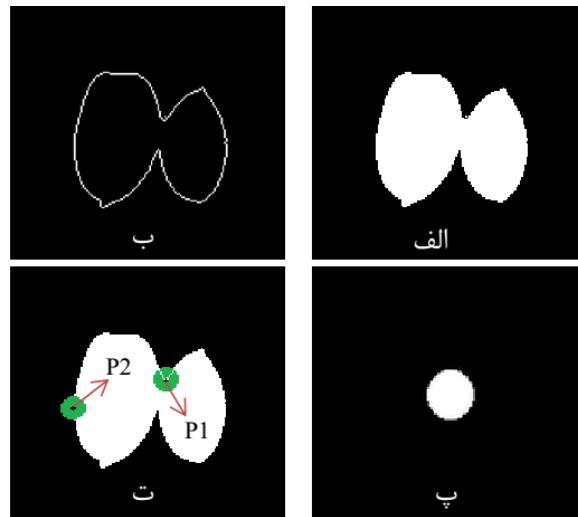
### نقاط بحرانی در بادام‌های به هم چسبیده

استخراج نقاط بحرانی یکی از مهمترین مراحل برای جداسازی اشیاء به هم چسبیده است. بر این اساس، در مطالعات گوناگونی، روش‌های مختلفی برای استخراج این نقاط پیشنهاد شده است. به طور مثال انتخاب نقاط بحرانی با استفاده از روش ماکزیمم محلی (Asada & Brady, 1996) یا انتخاب نقاط بحرانی از روی مقدار انحنای نقاط مرزی استخراج شده (Sohn et al., 1994) می‌توان اشاره نمود. در این تحقیق از روش جدیدی مبتنی بر روش‌های مختلف مورفولوژی در پردازش تصویر استفاده شده است؛ مراحل مربوط به پیاده‌سازی این روش بشرح زیر است:

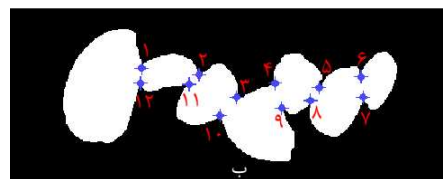
- ۱- استخراج مرز پیرامونی بادام‌ها (استخراج تمامی نقاط مرزی بادام) (شکل ۲ب).
- ۲- تشکیل ماسک دایره‌ای به شعاع ۱۴ پیکسل (شکل ۲پ).
- ۳- انطباق مرکز ماسک با نقاط مرزی استخراج شده بادام در مرحله اول (شکل ۲ت).
- ۴- محاسبه مساحت مشترک بین ماسک و تصویر باینری بادام و سپس نرمال کردن این مقادیر بین صفر و یک (شکل ۲ت).



برای انتخاب نقاط بحرانی نیز از میان مجموعه نقاط مرزی استخراج شده، از روش آستانه‌گذاری استفاده شده است (مساحت‌های نرمال شده‌ای که بیشتر از سطح آستانه بوده‌اند انتخاب گردید). لازم به ذکر است که مقدار آستانه  $0/62$  با روش آزمون و خطا انتخاب گردید و با استفاده از این روش نقاط بحرانی با دقت قابل قبولی از تصاویر استخراج شدند (شکل ۳).



شکل ۲. استخراج مساحت مشترک نواحی بادام و نقاط مرزی استخراج شده ( $P1, P2$  نمونه‌هایی از نقاط مرزی استخراج شده)؛ لازم به ذکر است که با حرکت ماسک بروی تمامی نقاط مرزی مساحت مشترک برای تمامی نقاط به دست آمد.



شکل ۳. استخراج نقاط بحرانی در تصویر باینری شده بادام با استفاده از روش مبتنی بر مورفولوژی تصویر؛ الف) نمونه‌ای از بادام‌های به هم چسبیده و ب) استخراج نقاط بحرانی با استفاده از روش آستانه‌گذاری.

### خطوط جداساز برای بادام‌های به هم چسبیده

با توجه به اینکه در قسمت قبل، نقاط بحرانی در تصاویر مشخص شدند؛ هم اکنون نوبت به رسم خطوط جداسازی به شکلی صحیح بین نقاط بحرانی است. این مرحله جز مراحل مهم در جداسازی نواحی به هم متصل شده در تصاویر باینری است، زیرا اگر در این مرحله، خطوط قطعه‌بندی بین نقاط بحرانی به طور نادرستی رسم شوند، الگوریتم پیشنهادی با شکست مواجه می‌گردد. بنابراین در این تحقیق، روش قدرتمندی برای رسم خطوط قطعه‌بندی مورد



استفاده قرار گرفته است. ابتدا، فاصله بین نقطه اول و سایر نقاط بحرانی (نقطه شماره ۲ یا ۳ یا ۴ یا ...) بدست آمد و ذخیره گردید (شکل ۳). سپس، در بین مجموعه مقادیر ذخیره شده که نشان دهنده فاصله نقطه اول با سایر نقاط بحرانی است؛ کوتاه‌ترین فاصله انتخاب شد و با این روش نقطه مقصد (نقطه‌ای که بایستی با یک خط به نقطه اول وصل شود) نیز مشخص گردید. در نهایت یک خط با شدت پیکسل صفر بین نقطه اول و نقطه مقصد رسم گردید. سپس هر دوی این نقاط از لیست مجموعه نقاط بحرانی حذف شدند و همین مراحل برای سایر نقاط بحرانی تکرار شد و خطوط قطعه‌بندی بین تمامی نقاط بحرانی رسم گردید. به این ترتیب بادام‌های به هم چسبیده به شکل موفقیت-آمیزی از یکدیگر جدا شدند؛ بنابراین می‌توان اکنون ویژگی‌های مبتنی بر شکل، رنگ و بافت را از تک تک نمونه‌ها بدست آورد.

### استخراج ویژگی‌های شکل و رنگ

با توجه به اینکه در بین کلاس‌های مختلف بادام شکل‌های متفاوتی وجود دارد؛ استفاده از ویژگی‌های مرتبط با شکل محصول می‌تواند در دقت طبقه‌بندی تاثیر مثبت داشته باشد (به طور مثال کلاس بادام شکسته نسبت به بادام سالم شکل متفاوتی دارد) شکل (۱). بر این اساس ویژگی‌های شکل استخراج شده شامل: مساحت، محیط، خروج از مرکزیت، نسبت قطر اصلی به فرعی، صلیبیت و گردی می‌باشد. از طرف دیگر رنگ کلاس‌های مختلف بادام با یکدیگر تمایز داشتند؛ بنابراین توصیف‌گرهای رنگ می‌تواند به عنوان یک ویژگی موثر از نمونه‌های بادام استخراج گردد. در این تحقیق با بررسی فضا‌های رنگی مختلف سه فضای رنگی RGB, Nrgb, CMY انتخاب گردید. از مزایای این فضا‌های رنگی ایجاد تضاد بالا در شاخص‌های رنگ و بافت مربوط به کلاس‌های مختلف بادام بوده است؛ به طور مثال در مولفه رنگی C از فضای CMY تمایز رنگ مربوط به کلاس بادام شکسته از پوست بادام مشخص بود (که می‌تواند موجب افزایش دقت طبقه‌بندی شود). با توجه به تفاوت در رنگ مربوط به کلاس‌های مختلف بادام در فضا‌های رنگی ذکر شده، از توصیف‌گرهای مرتبط با رنگ نیز استفاده گردید. در این تحقیق، چهار توصیف‌گر آماری شامل: میانگین ( $\mu$ )، واریانس ( $Var$ )، چولگی و کشیدگی به ترتیب با معادلات ۱ تا ۴، از تمامی نمونه‌های بادام استخراج شد.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$Var = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (2)$$

$$skewness = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{(\sqrt{Var})^3} \quad (3)$$

$$kurtosis = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{(\sqrt{Var})^4} \quad (4)$$



### ویژگی بافت (ماتریس هم‌وقوعی)

در سال‌های اخیر استفاده از آنالیز بافت در زمینه کیفیت‌سنجی محصولات کشاورزی گسترش یافته است و از آن برای طبقه‌بندی و آشکارسازی نواحی آسیب دیده محصولات استفاده شده است (Mery et al., 2013). با تحلیل تصاویر در فضاها رنگی ذکر شده تفاوت در بافت کلاس‌های مختلف بادام مشهود بود؛ به طور مثال بافت مربوط به کلاس بادام چروکیده به دلیل چروکیدگی‌هایی که در سطح آن وجود دارد با کلاس بادام سالم متفاوت بوده؛ در حالی که شکل و رنگ این دو کلاس نزدیک به یکدیگر می‌باشد. برای پیاده‌سازی آنالیز بافت از روش محاسبه ماتریس هم‌وقوعی (Grey level co-occurrence matrix) استفاده گردید (Haralick et al., 1973). برای محاسبه ماتریس هم‌وقوعی باید احتمال قرار گرفتن جفت پیکسل‌هایی که با یک ساختار مشخص در کنار یکدیگر هستند را محاسبه کرد. این ساختار شامل فاصله  $d$  و زاویه قرارگیری  $\theta$  بین جفت پیکسل‌ها می‌باشد. بر این اساس ماتریس هم‌وقوعی با معادله ۵ تشکیل گردید.

$$C_{\Delta x, \Delta y}(m, n) = \sum_{p=1}^i \sum_{q=1}^j \begin{cases} 1, & I(p, q) = n, \text{ and } I(p + \Delta x, q + \Delta y) = m \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

در این رابطه  $C$  ماتریس هم‌وقوعی،  $i$  و  $j$  اندازه تصویر  $I$ ،  $\Delta x$  و  $\Delta y$  اندازه پارامترهای آفست و سرانجام  $m$  و  $n$  برابر تعداد سطوح خاکستری می‌باشند. زمانی که ماتریس هم‌وقوعی بدست آمد چهار شاخص آماری شامل: تضاد، همبستگی، انرژی و همگونی به عنوان ویژگی‌های بافت، از تمامی نمونه‌های بادام استخراج گردیدند.

### کاهش ابعاد ویژگی‌های استخراجی

در مجموع تعداد ۷۸ ویژگی از نمونه‌های بادام استخراج گردید. ولی با توجه به اینکه تعداد این ویژگی‌ها زیاد بوده و برای کاربردهای زمان واقعی مناسب نمی‌باشند؛ همچنین تعداد بالای ورودی‌های ANN موجب کاهش عملکرد شبکه می‌گردد. بنابراین از روش آنالیز مولفه‌های اصلی<sup>۵</sup> برای کاهش ابعاد بردار ویژگی‌های استخراجی (ترکیب ویژگی‌های شکل، رنگ و بافت) استفاده گردید؛ این تکنیک در تحقیقات بسیاری برای کاهش بردار ویژگی‌های ورودی استفاده شده است (Omid et al., 2009). آنالیز PCA بردار ویژگی‌ها در نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۲ پیاده‌سازی گردید. مقدار آستانه برای استخراج مولفه‌های اصلی برابر ۲ درصد بوده است؛ بنابراین با در نظر گرفتن این مقدار برای آستانه، مولفه‌هایی که کمتر از ۲ درصد از واریانس کل داده‌های ورودی را داشته، حذف گردیدند. بر این اساس در مجموع ۱۸ مولفه اصلی از مجموع ۷۸ ویژگی استخراج گردید.

<sup>5</sup> Principle component analysis





### طبقه‌بندی با شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) یکی از روش‌های داده کاوی می‌باشد، که در زمینه‌های مختلفی از جمله طبقه‌بندی محصولات کشاورزی گسترش یافته است (Omid et al., 2009). ساختار یک ANN از سه لایه تشکیل شده است، لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی. تعداد نرون‌های لایه ورودی، مخفی و خروجی به ترتیب بستگی به تعداد بردار ویژگی‌های ورودی، پیچیدگی مسئله طبقه‌بندی و تعداد کلاس‌های خروجی که در این مسئله چهار کلاس (شامل کلاس بادام سالم، شکسته، چروکیده و پوست بادام) است، دارد. در این تحقیق از پرسپترون چند لایه (Multilayer feed-forward neural network) استفاده گردید. توابع مربوط به لایه مخفی و خروجی این شبکه  $\tanh(x)$  بوده است. قبل از اینکه PCs به ورودی ANN داده شوند، در بازه  $[-1, 1]$  نرمال شده‌اند. همچنین نمونه‌ها به سه دسته آموزش، اعتبارسنجی و ارزیابی به ترتیب با نسبت ۶۵، ۱۵ و ۲۰ درصد تقسیم گردیدند. برای پیاده‌سازی ANN از نرم افزار متلب استفاده شده است. یکی از مواردی که بروی دقت نتایج حاصل از ANN تاثیر دارد ساختار آن می‌باشد بنابراین یافتن بهترین ساختار ANN از موارد کلیدی در ارتقای نتایج طبقه‌بندی است. بدین منظور ساختارهای مختلف شبکه ارزیابی گردید.

### ارزیابی نتایج

برای بررسی عملکرد ANN در طبقه‌بندی بادام‌ها و همچنین انتخاب بهترین ساختار شبکه در بین ساختارهای مختلف از شاخص آماری نرخ طبقه‌بندی صحیح با معادله ۶ استفاده گردید (Mollazade et al., 2012).

$$CCR(\%) = \frac{N_{right}}{N} \times 100 \quad (6)$$

جایی که  $N_{right}$  تعداد بادام‌هایی است که به طور صحیحی طبقه‌بندی شده‌اند و  $N$  تعداد کل بادام‌ها در یک کلاس مشخص و CCR بیانگر نرخ طبقه‌بندی صحیح می‌باشد.

### نتیجه و بحث

در این قسمت، مناسب‌ترین ساختار ANN را یافته و از آن برای طبقه‌بندی محصول بادام به چهار کلاس مختلف استفاده می‌کنیم. همچنین نتایج بصری حاصل از جداسازی بادام‌های به هم چسبیده آورده شده است که در ادامه تمامی این مراحل به تفصیل ارائه شده است.

### جداسازی بادام‌های به هم چسبیده

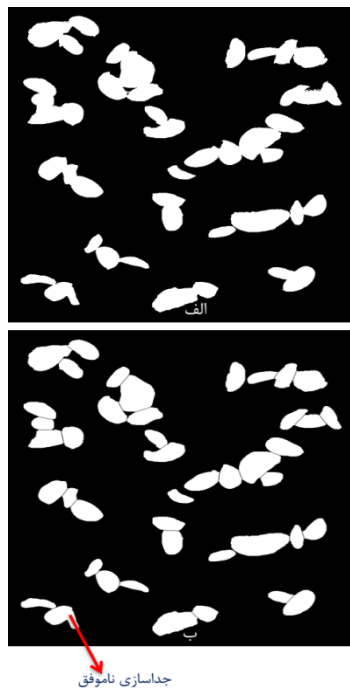
به منظور ارزیابی نتایج حاصل از روش پیشنهادی برای جداسازی بادام‌های به هم چسبیده؛ تصاویری شامل: دو، سه و بیش از سه بادام به هم چسبیده آورده شده است (شکل ۴). همان‌طور که در شکل مشخص شده است بادام‌ها با دقت قابل قبولی از هم جدا شده‌اند البته در تعدادی از موارد نیز این جداسازی کاملاً با موفقیت نبوده است؛ به طور مثال در مواردی که مرز پیرامونی بادام‌ها بسیار مژرس باشند، استخراج نقاط بحرانی سخت شده و در این حالت تعدادی از



نقاط به اشتباه استخراج می‌گردند. بنابراین در این وضعیت تعداد نقاط بدست آمده از روش پیشنهادی بیشتر از تعداد واقعی آن‌ها در تصویر است که موجب ایجاد خطا در الگوریتم می‌گردد (شکل ۴ب)؛ اما لازم به ذکر است که تعداد این تصاویر بسیار کمتر از تصاویری بوده که با موفقیت جداسازی گردیده‌اند. بر این اساس اگر میزان مضرس بودن لبه‌های بادام بسیار زیاد باشد ممکن است الگوریتم پیشنهادی دچار خطا گردد ولی برای سایر حالت‌ها که میزان مضرس بودن بحرانی نباشد، با موفقیت عمل جداسازی انجام می‌گیرد. همچنین با توجه به اینکه این الگوریتم تنها بروی تصاویر باینری بادام اعمال می‌گردد به سادگی می‌توان آن‌را برای سایر محصولات کشاورزی نیز که مشکل به هم چسبیده شدن را در خطوط جداسازی دارند، پیاده‌سازی نمود.

### انتخاب بهترین ساختار ANN

پس از پیاده‌سازی ساختارهای مختلف ANN، برای انتخاب بهترین ساختار از شاخص‌های میانگین و انحراف معیار دقت کل طبقه‌بندی استفاده گردید. همچنین تعداد نرون‌ها برای لایه مخفی نیز یکی از پارامترهای موثر در کاربرد شبکه برای سیستم‌های زمان-واقعی است. بنابراین از بین ساختارهای مختلف تک لایه و دو لایه (در شبکه تک لایه تعداد نرون‌ها از ۴ تا ۱۸ نرون تغییر کرد و در حالت دو لایه ساختارهای [۴،۴]، [۵،۵]، ...، [۱۸،۱۸] مورد بررسی قرار گرفتند) که با بررسی ساختارهای مختلف، ساختار [۷،۷] بهترین عملکرد را بدست آورد (میانگین ۹۴/۳۱ و انحراف معیار ۱/۶۱ درصد بوده است؛ با الگوریتم آموزشی لونیبرگ-مارکوورت). این ساختار نسبت به سایر ساختارهای شبکه میانگین بالاتر و انحراف کمتری را داشته است.



شکل ۴. جداسازی بادام‌های به هم چسبیده؛ الف) قبل از جداسازی، ب) بعد از جداسازی با استفاده از روش پیشنهادی.



طبقه‌بندی بادام‌ها با ANN انتخاب شده

پس از ساختار بهینه ANN، از آن برای طبقه‌بندی بادام‌ها به چهار کلاس مختلف شامل بادام سالم، شکسته، چروکیده و پوست بادام استفاده گردید. همچنین به منظور ارزیابی نتایج از شاخص دقت (معادله ۶) بهره گرفته شد. نتایج ماتریس اغتشاش برای تمامی کلاس‌های بادام در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. ماتریس اغتشاش بدست آمده از نتایج شبکه عصبی با ساختار [۷،۷] و الگوریتم آموزشی لونیگ-مارکوارت.

واقعی				
پوست بادام	چروکیده	شکسته	سالم	پیش‌بینی شبکه عصبی
۰	۲	۰	۳۸	سالم
۰	۱	۴۰	۱	شکسته
۰	۳۸	۰	۱	چروکیده
۳۹	۰	۰	۰	پوست بادام

در ادامه مقدار شاخص آماری نرخ طبقه‌بندی صحیح (CCR) را که از ماتریس اغتشاش بدست آمده، محاسبه کرده و نتایج آن در جدول (۲) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پایین‌ترین عملکرد برای کلاس بادام چروکیده بدست آمد (CCR برابر ۹۵ درصد بود). علت آنرا می‌توان در تشابه این کلاس به کلاس بادام سالم دانست همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است این کلاس از نظر شکل و رنگ تقریباً شبیه به کلاس بادام سالم بوده و تنها در ویژگی‌های مبتنی بر بافت محصول تمایز بین این دو کلاس (بادام سالم و چروکیده) حاصل می‌گردد. بنابراین طبیعی است که این کلاس نسبت به سایر کلاس‌های بادام عملکرد پایین‌تری داشته باشد (زیرا تنها ویژگی بافت برای جداسازی آن نقشی موثر داشته است و سایر ویژگی‌ها کمکی به شبکه عصبی برای طبقه‌بندی این کلاس از بادام را نسبت به سایر کلاس‌ها نداشته است). بالاترین عملکرد برای کلاس‌های بادام شکسته و پوست بادام با مقادیر CCR برابر با ۱۰۰ درصد بدست آمد؛ که علت اصلی آن مرتبط بودن ویژگی‌های استخراجی در شناسایی و جداسازی این کلاس‌ها از سایر کلاس‌های بادام بوده است. نمونه‌های بادام شکسته در دو دسته تقسیم‌بندی می‌گردند؛ طبقه اول شامل نمونه‌هایی است که رنگ آن‌ها سفید بوده که همین مسئله موجب می‌گردد ویژگی‌های مبتنی بر رنگ بادام به تنهایی بتوانند این نمونه‌ها را از سایر کلاس‌های بادام جدا نمایند. در طبقه دوم نیز بادام‌های شکسته‌ای هستند که شکل آن‌ها به دلیل شکستگی مرزهایشان کاملاً متفاوت از سایر کلاس‌های بادام است؛ بنابراین ویژگی‌های مبتنی با شکل بادام به تنهایی می‌تواند نقش بالایی در دقت طبقه‌بندی این نمونه‌ها داشته باشد. همین استدلال نیز برای کلاس پوست بادام وجود دارد این کلاس دارای رنگ و شکل متفاوت نسبت به سایر کلاس‌ها است؛ علاوه بر این دارای ساختارهای بافت



متفاوت می‌باشد. بر این اساس دقت طبقه‌بندی در این دو کلاس بسیار بالا بدست آمد. بنابراین استفاده از ترکیب این ویژگی‌ها توانسته است در دقت طبقه‌بندی آن نقش مثبتی ایفا کند. همچنین نتایج ماتریس اغتشاش و پارامترهای آماری بدست آمده نشان می‌دهد که استفاده از ویژگی‌های شکل، رنگ و بافت و یک روش طبقه‌بندی هوشمند مانند ANN می‌تواند در درجه‌بندی کیفی این محصول بر اساس استانداردهای تعریف شده ملی نقش بسیار مهم و تاثیرگذاری داشته باشد و در نهایت باعث توسعه سیستم‌های زمان واقعی نظیر دستگاه‌های درجه بندی و سورت بادام شود.

جدول ۲. نرخ طبقه‌بندی صحیح شبکه عصبی برای ساختار [۷،۷] و الگوریتم آموزشی لونیبرگ-مارکوارت.

کلاس‌های بادام				
پوست بادام	چروکیده	شکسته	سالم	شاخص آماری
۱۰۰	۹۲/۶۸	۱۰۰	۹۵/۰۰	CCR (%)

### نتیجه‌گیری کلی

طبقه‌بندی کیفی محصول بادام نقش موثری در ارتقای کیفیت آن دارد. بنابراین در تحقیق حاضر، با استفاده از روش مدل‌سازی ANN و استفاده از ویژگی‌های شکل، رنگ و بافت، محصول بادام به چهار کلاس مختلف بر اساس استاندارد تعریف شده، طبقه‌بندی گردید. همچنین به دلیل ابعاد بالای این ویژگی‌ها از PCA برای کاهش بعد آن‌ها استفاده گردید. اما یکی از مشکلات اصلی در این تحقیق وجود بادام‌های به هم چسبیده در تصاویر گرفته شده بود که با استفاده از روشی ساده مبتنی بر پردازش تصویر تعداد زیادی از بادام‌های به هم چسبیده با موفقیت از یکدیگر جدا گردیدند. سرانجام در بین ساختارهای مختلف ANN که مورد ارزیابی قرار گرفت ساختار ۴-۷-۷-۱۸ با الگوریتم آموزشی لونیبرگ-مارکوارت بهینه‌ترین ساختار بوده و نتایج نشان‌دهنده بالا بودن دقت این ساختار نسبت به سایر ساختارهای ANN، در درجه بندی کیفی بادام بوده است. با استفاده از نتایج بدست آمده در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ترکیب ویژگی‌های شکل، رنگ و بافت در فضاهای رنگی مختلف و بهره‌گیری از تکنیک‌های مختلف هوش محاسباتی نظیر ANN و PCA در درجه‌بندی کیفی بادام نقش بسیار موثر و مهمی دارند.



1. Abdullah, M. Z., Mohamad-Saleh, J. Fathinul-Syahir, A. S. & Mohd-Azemi, B. M. N. 2006. Discrimination and classification of fresh-cut starfruits (*Averrhoa carambola* L.) using automated machine vision system. *Journal of Food Engineering*. Vol 76(4), 506–523.
2. Asada, H. & Brady, M. 1986. The curvature primal sketch. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol 8(1), 2-14.
3. Castelo-Quispe, S., Banda-Tapia, J. D. Lopez-Paredes, M. N. Barrios-Aranibar, D. & Patino-Escarcina, R. 2013. Optimization of Brazil-Nuts Classification Process through Automation using Colour Spaces in Computer Vision. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*. Vol 5, 623-630.
4. Donis-Gonzalez, R., Guyer, D. E. Leiva-Valenzuela, G. A. & Burns, J. 2013. Assessment of chestnut (*Castanea* spp.) slice quality using color images. *Journal of Food Engineering*. Vol 115, 407-414.
5. Food and Agriculture Organization. FAO statistical databases, 2011. Available at: [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org).
6. Haralick, R. M., Shanmugam, K. & Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. Vol 6, 610–621.
7. ISIRI, Specification and methods of test for unshelled almonds. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Document number 88. 1995. Available from: <http://www.isiri.org/portal/files/std/88.htm>.
8. Leemans, V. & Destain, M. F. 2004. A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. *Journal of Food Engineering*. Vol 61, 83-89.
9. Mebatsion, H. K. & Paliwal, J. 2011. A Fourier analysis based algorithm to separate touching kernels in digital images. *Biosystems Engineering*. Vol 108, 66–74.
10. Mery, D., Pedreschi, F. & Soto, A. 2013. Automated design of a computer vision system for visual food quality evaluation. *Food and Bioprocess Technology*. Vol 6, 2093-2108.
11. Mollazade, K., Omid, M. & Arefi, A. 2012. Comparing data mining classifiers for grading raisins based on visual features. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol 84, 124-131.
12. Omid, M., Mahmoudi, A. & Omid, M. H. 2009. An intelligent system for sorting pistachio nut varieties. *Expert Systems With Applications*. Vol 36, 11528–11535.
13. Otsu, N. 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. Vol 9, 62-66.
14. Pearson, T. & Toyofuku, N. 1999. Automated sorting of pistachio nuts with closed shells. *Transactions of the ASAE*, Vol 16(1), 91-94.
15. Pearson, T. 1996. Machine vision system for automated detection of stained pistachio nuts. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*. Vol 29, 203–209.
16. Qian, X. M., Zhu, H. Feng, C. L. Zhu, P. Li, H. Xin, W. & Cheng, G. 2004. An overlapping bubbles partition method in aerated water flows. In: *Proceedings of the Third Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Vol. 6, Shanghai, China, August, pp. 3746–3750.
17. Riquelme, M. T., Barreiro, P. Ruiz-Altisent, M. & Valero, C. 2008. Olive classification according to external damage using image analysis. *Journal of Food Engineering*. Vol 87, 371-379.
18. Shatadal, P., Jayas, D. S. & Bulley, N. R. 1995. Digital image analysis for software separation and classification of touching grains. *Transactions of the ASAE*. Vol 38(2), 635–643.
19. Sohn, K., Alexander, W. E. Kim, J. H. & Snyder, W. E. 1994. A constrained regularization approach to robust corner detection. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. Vol 24(5), 820–828.
20. Zhang, G., Jayas, D. & White, D. G. 2005. Separation of touching grain kernels in an Image by ellipse fitting algorithm. *Biosystems Engineering*. Vol 92(2), 135–142.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## Separation of touching almonds and their quality classification by combining image processing and artificial neural networks techniques

### Abstract:

The quality evaluation of agricultural products is one of the key factors in promoting their quality. In this study, a method based on combined image processing technique and artificial neural network was presented. Separation of touching almonds under different positions is a very important step in design of grading devices. In this study, an image processing algorithm based on extracting critical points in the image of almonds and drawing segmentation lines between them is presented. Then segmentation lines were drawn correctly with high accuracy. In the next step, the feature vector which includes 6 shape features, 36 color features and 36 texture features was composed. PCA method was used to reduce the dimension of the feature vector. The quality classification of almond in different classes was carried out by artificial neural networks (ANNs). Among different ANN structures, the 18-7-7-4 topology was the most optimum classifier (total accuracy was obtained 96.92%).

**Keywords:** Touching almond; Quality classification; ANNs; Color features; Texture features.