نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ – کرج

تجزیه و تحلیل حساسیت توابع عضویت رنگ، سختی و اندازه گوجه‌فرنگی متأثر از دما و مدت زمان نگهداری برای دسته بندی به کمک منطق فازی

سمیرا خواجوی[۱]، سید مهدی نصیری*[۲]، عبدالعباس جعفری[۲]
۱ و ۲ – به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار بخش مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز
ایمیل مکاتبه کننده: nasiri@shirazu.ac.ir

چکیده

دسته بندی و درجه بندی برای ارزیابی محصولات کشاورزی از جمله فرآیندهای مهم و حیاتی در فرآوری به شمار می‌رود. با این حال هزینه‌های بالا و زمان بر بودن فرآوری، صنعت پس از برداشت را مجبور به اتوماتیک ساختن عملیات کرده است. در این راستا استفاده از منطق فازی به منظور دسته بندی گوجه فرنگی و تغییر در دسته بندی به علت تأثیر شرایط محیطی مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه ویژگی‌های کیفی از قبیل رنگ (با استفاده از پردازش تصویر)، اندازه و سختی گوجه فرنگی اندازه گیری شد. دسته بندی توسط سیستم منطق فازی طراحی شد و با نظر کارشناس خبره مقایسه گردید. به کمک آماره مربع کای تجزیه و تحلیل حساسیت و تغییر توابع عضویت گروه مشخص شد. نتایج نشان داد که در شرایط سردخانه شروع حساسیت روز ششم از شروع نگهداری به علت تغییر عضویت دسته بندی "درجه۱ بازار دور" و "درجه۲" رخ داد. تجزیه تحلیل حساسیت نمونه‌های نگهداری شده در دمای محیط نشان داد که تغییر عضویت نمونه‌ها و در نتیجه دسته بندی آنها از روز سوم اتفاق افتاد که این تغییر عضویت نیز مشابه قبل رخ داد. این نتایج تاکید دارد هرگونه عملیات فرآوری پس از دسته بندی باید بگونه ای صورت پذیرد که دسته بندی های اولیه را دچار تغییر ننماید.

واژه‌های کلیدی: تجزیه و تحلیل حساسیت، پردازش تصویر، دسته بندی، گوجه فرنگی، منطق فازی

مقدمه

بازار میوه و سبزیجات توجه قابل ملاحظه ای به انتخاب محصولات برای تأمین نیاز مصرف کنندگان خود طبق استانداردهای کیفیت دارد. بر همین اساس در سال‌های گذشته سیستم‌های زیادی برای درجه بندی و دسته بندی برای تحقق نیازهای صنعت پردازش میوه و سبزیجات ظاهر شد. با این حال بسیاری از آن‌ها بیش از حد پیچیده و بسیار پر هزینه برای صنایع کوچک و متوسط هستند.
طبق آمار اعلام شده توسط سازمان خوار و بار جهانی در سال ۲۰۱۲ حدود ۱۶۱/۷ میلیون تن گوجه‌فرنگی از ۴/۸ میلیون هکتار سطح زیر کشت جهان تولید شده است(Anonymous, 2012). این محصول یک کالای حساس به شرایط محیط و فاسد شدنی است. بنابراین ضرورت دارد با توجه به فرازگرا بودن آن پس از بلوغ فرآوری گردد.
بر همین اساس پژوهش های زیادی بر روی این محصول صورت پذیرفته است. براساس عوامل ظاهری گوجه‌فرنگی که دارای ارتباطی با میزان رسیدگی این محصول است با استفاده از تصاویری که توسط سامانه ماشین بینایی، پولدر و همکاران (۲۰۰۳) اقدام به درجه‌بندی این محصول از لحاظ رسیدگی کردند (Polder et al., 2003). لانا و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از تجزیه و تحلیل ویدئو

تصویر، اثر دمای ذخیره کردن و مرحله رسیدن گوجه فرنگی را بر رنگ ظاهری سطح گوجه‌فرنگی تازه برداشت شده بررسی کردند (Lana et al., 2005). گومز و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از تکنیک بینی الکترونیکی ذخیره کردن گوجه فرنگی را در مدت انبارمانی تحت نظارت قرار دادند (Gomes et al., 2006). لینو و همکاران (۲۰۰۸) برنامه نرم‌افزاری تهیه کردند که قادر بود تصاویر گرفته شده از لیمو و گوجه‌فرنگی را مورد بررسی قرار داده و از نظر اندازه و رنگ آنها را درجه‌بندی کند (Lino et al., 2008). بیک و همکاران (۲۰۱۲) برای درجه‌بندی گوجه فرنگی گیلاسی اقدام به ساخت یک ماشین درجه‌بندی نمودند که قادر به درجه‌بندی این نوع گوجه‌فرنگی در دسته‌های طراحی شده بر اساس رنگ و اندازه و نقص ظاهری بود (Beak et al., 2012). صابری کمر پشتی و پور رضا (۱۳۸۶) در پژوهشی دسته‌بندی گوجه فرنگی را با استفاده از خصوصیت استخراج شده از تصاویری تهیه شده به کمک ماشین بینایی انجام دادند.

عمده تحقیقات بیان شده قبل بر استخراج داده های حاصل از پردازش تصویر و الگوریتم های ساده استوار بوده است. با این حال آنچه مسلم است این دسته بندی ها در حیطه منطق بولی صورت گرفته است. در روش دیگر که بر پایه منطق فازی استوار است بر خلاف منطق بولی عضویت یک خصوصیت محصول دارای مراتب یا به عبارت بهتر درجه عضویت است. به عبارت ساده تر بجای منطق بولی یا صفر یا یک از درجه عضویت بین صفر تا یک در منطق فازی استفاده می شود. در این حیطه نیز پس از توسعه آن پژوهش های کاربردی مختلفی صورت پذیرفته است که به آن اشاره می شود.

کاودیر و گویل (۲۰۰۳) با استفاده از منطق فازی به درجه بندی سیب پرداختند. ویژگی های کیفی سیب از قبیل رنگ، اندازه و نقص سیب با تجهیزات مختلف اندازه گیری شد. همان مجموعه سیب ها توسط کارشناسان متخصص و سیستم منطق فازی (FL) درجه بندی شد (Kavdir and Guyer, 2003). ایرجی و توسی نیا (۲۰۱۱) روش کارآمد و دقیقی برای دسته بندی گوجه‌فرنگی ارائه دادند. آن ها ابتدا تصویری از گوجه‌فرنگی تهیه و با استفاده از منطق فازی و شبکه های عصبی فازی (ANFIS) متناسب با ۷ فاکتور به دست آمده از تصاویر گرفته شده آن‌ها را در ۹ دسته طبقه‌بندی کردند. این روش نسبت به روش‌های قبلی دارای خطای کمتر و دقت بیشتری بود. امید (۲۰۱۱) دسته بندی پسته باز و بسته را به کمک منطق فازی مورد مطالعه قرار داد. وی با استفاده از روش ممدانی و با استفاده از ۷۰٪ داده ها سیستم را آموزش داده و ۳۰٪ داده‌ها مدل را آزمود. تهور (۱۳۹۳) یک الگوریتم دسته بندی گوجه فرنگی به کمک پردازش تصویر و منطق فازی طراحی نمود. دسته بندی بر اساس رنگ، اندازه، سختی گوجه فرنگی و به کمک شش الگوریتم فازی مختلف نمونه‌ها در پنج دسته "درجه۱ بازار دور"، "درجه۱"، "درجه۲"، "فرآوری" و "سردخانه" تقسیم بندی شدند.

از آنجا که محصول گوجه فرنگی تحت تاثیر دما و مدت زمان نگهداری دچار تغییرات فیزیولوژیکی می شود که در تغییر رنگ آن قابل مشاهده است، دسته بندی های مبتنی بر توابع عضویت فازی نیز ممکن است دچار دگرگونی شوند (Miro *et al.*, 2013). بنابراین، تصمیم های مبتنی بر دسته بندی فازی تابع شرایط نگهداری ثابت نخواهد بود و ضرورت دارد برای تصمیم سازی بهتر این دامنه این تغییرات نیز لحاظ گردد. بر این اساس پژوهش حاضر برای بررسی تأثیر دو عامل دما و مدت زمان نگهداری بر نتیجه دسته‌بندی صورت گرفته به کمک منطق فازی و تعیین دامنه حساسیت توابع عضویت سختی و رنگ به انجام رسید.

مواد و روش‌ها

میوه های گوجه فرنگی تازه رقم کاردلن از گلخانه دانشکده کشاورزی در چهار مرحله رسیدگی سبز بالغ، سبز مایل به نارنجی، نارنجی و قرمز انتخاب شدند و سپس میوه های برداشت شده به صورت تصادفی شماره گذاری شدند. تعداد گوجه‌فرنگی‌های مورد آزمایش حدود ۱۲۸ عدد بود تا در هر گروه تعداد مناسب حدود ۳۰-۲۰ عدد گوجه‌فرنگی قرار گیرد. تیمارهای آزمایش شامل دمای انبارداری در دو سطح (سردخانه با دمای دوازده درجه سلسیوس و شرایط محیط با میانگین دمای حدود ۲۸/۵ درجه سلسیوس)، مدت زمان نگهداری به مدت دوازده روز بودند و سختی و رنگ صفت‌های اندازه گیری بودند. در این تحقیق به تجزیه و تحلیل حساسیت الگوریتم های پیشنهادی برای دسته بندی گوجه فرنگی در پژوهش تهور (۱۳۹۳) پرداخته شد. پس از طرح الگوریتم‌های مختلف طبقه بندی و مقایسه با نظر ۷ کارشناس خبره طبق آزمون مربه کای دقت هر الگوریتم و نیز بهترین الگوریتم برای طبقه بندی گوجه فرنگی مشخص گردید. همچنین با آزمون مربع کای تغییر عضویت نمونه‌ها در تابع تحت تأثیر دما و زمان مورد تجزیه و تحلیل قرار داده شد.

آزمون سختی

آزمون سختی و اندازه گیری خواص فیزیکی با استفاده از دستگاه اینسترون موجود در بخش مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز صورت پذیرفت. این دستگاه ساخت شرکت سنتام ایران مدل STM 20 بود. لودسل مورد استفاده برای انجام آزمون‌ها BONGSHIN مدل DBBP-50 با حداکثر ظرفیت ۵۰ کیلوگرم نیرو ساخت کشور کره بود. قطر پراب مورد استفاده ۷۵ میلی متر از جنس آلومینیوم در نظر گرفته شد. سرعت حرکت پراب ۱۰۰ میلی متر بر ثانیه و نمونه های نگهداری شده هر سه روز یک بار توسط دستگاه اینسترون در دو جهت عمود بر هم تحت آزمون صفحات فشاری با حداکثر نیروی ۳ نیوتن قرار گرفتند (Van Dijk et al., 2006). این مقدار نیرو با انجام پیش آزمون‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که به محصول در دوره‌های مختلف نگهداری آسیب وارد نسازد.

عکس برداری

برای تهیه عکس‌ها از اتاقک نورپردازی با تابش غیرمستقیم که اصطلاحاً آسمان ابری نامیده می‌شود استفاده شد. برای اخذ تصاویر رنگی از دوربین دیجیتال Canon ساخت ژاپن با وضوح ۶ مگاپیکسل استفاده شد. ارتفاع دوربین تا سطح قرارگیری محصول با یک پایه در فاصله ۲۱ سانتی‌متری قرار گرفت. سرعت شاتر ۱/۸۰ ثانیه و دریچه دیافراگم (۱/۵) f گردید تا کیفیت تمامی تصاویر یکسان حاصل شود (بخشی پور، ۱۳۹۰؛ تهور، ۱۳۹۳؛ نصیری و همکاران، ۱۳۹۳). دسته بندی میوه‌ها از لحاظ رنگ بر اساس استاندارد آمریکا صورت پذیرفت (Anonymous, 1997). Green : تمام سطح گوجه‌فرنگی سبز است. Breaker : بیشتر از ۱۰ درصد سطح به رنگ زرد یا نارنجی در نیامده است. Turning : ۱۰ تا ۳۰ درصد سطح سبز نیست. Pink: ۳۰ تا ۶۰ درصد سطح گوجه فرنگی نارنجی یا قرمز است. Light red: ۳۰ تا ۹۰ درصد سطح نارنجی یا قرمز است. Red: بیشتر از ۹۰ درصد سطح رنگ قرمز دارد. از قسمت‌های مختلف نمونه‌هایی که رنگ‌های قرمز، نارنجی و سبز را به صورت مجزا داشتند قطعه برداری شد و نمودار های RG، RB و BG رسم گردیدند. با توجه به این که نمودارها قادر به جداسازی رنگ‌ها به صورت کامل نبودند محیط رنگ از RGB به HSV تبدیل گردید.

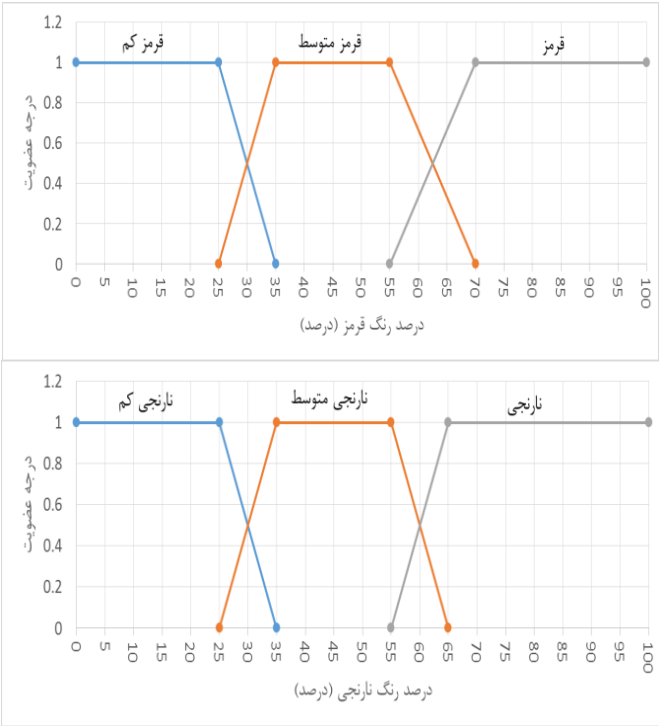
ساختار مدل های فازی

برای پیاده سازی منطق فازی، از جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار MATLAB نسخه R2013a تحت ویندوز استفاده شد. توابع عضویت برای رنگ، اندازه و سختی طراحی شد. برای فازی کردن این پارامترها از متغیرهای زبانی، کم (L)، متوسط (M)، زیاد (H)

استفاده شد. روش ماکزیمم- می نیمم ممدانی برای مکانیزم استنتاج و روش های مرکز ثقل، نیم ساز و میانگین ماکزیمم برای غیر فازی سازی مورد استفاده قرار گرفت (تشنه لب و همکاران، ۱۳۸۹). قواعد اگر- آنگاه فازی برای دسته بندی گوجه فرنگی شامل چهار تابع عضویت (سختی، رنگ قرمز، رنگ نارنجی، اندازه) و هر کدام سه سطح بودند که در کل شامل ۸۱ قاعده بود. با ترکیب حالت های مشابه به ۱۷ قاعده قابل قبول دست یافته شد. ترکیب قواعد به گونه ای صورت گرفت که مجموعه های فازی با هم سازگاری داشته باشند. برای مثال یکی از قوانین را می‌توان به صورت زیر بیان نمود: اگر رنگ قرمز کم، رنگ نارنجی کم و سختی زیاد باشد آنگاه گوجه فرنگی به سردخانه منتقل شود.

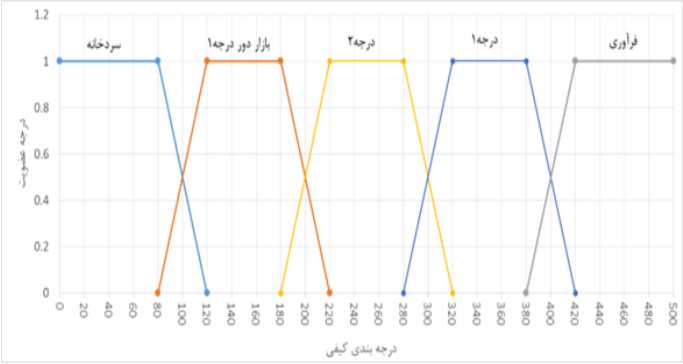
در این تحقیق مقدار بیشترین جابجایی پروب که بوسیله دستگاه اینستران اندازه‌گیری شده بود با نظر ۷ کارشناس خبره مقایسه گردید و مرزهای توابع عضویت بدست آمد. در این تحقیق ۶ مدل الگوریتم طراحی شد. مدل ۱ توابع ذوزنقه‌ای و غیر فازی ساز "مرکز ثقل"، مدل ۲ توابع ذوزنقه‌ای و غیر فازی ساز "نیم ساز" و مدل ۳ توابع ذوزنقه‌ای و غیر فازی ساز "میانگین ماکزیمم" بود. در مدل ۴ توابع ابتدایی و انتهایی zmf و sigmf و توابع وسط gbellmf و غیر فازی ساز "مرکز ثقل"، در مدل ۵ از توابع مدل ۴ و غیر فازی ساز "نیم ساز" و مدل ۶ از توابع مدل ۴ و غیر فازی ساز "میانگین ماکزیمم" استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از نمودار مرزهای توابع عضویت ذوزنقه‌ای برای سختی، رنگ و اندازه بدست آمد (شکل های ۱ و ۲). برای خروجی نیز توابع عضویت تعریف گردید. قواعد اگر-آنگاه فازی نیز تعریف و بوسیله غیرفازی سازها خروجی به عدد تبدیل شد. به این منظور برای ۵ دسته خروجی ۵ تابع عضویت مساوی در نظر گرفته شد (شکل ۳).

برای مقایسه نظر کارشناس خبره و الگوریتم از آزمون مربع کای استفاده شد.



شکل ۱- توابع عضویت برای درصد رنگ های قرمز و نارنجی

شکل ۲- توابع عضویت اندازه گوجه فرنگی



شکل ۳- توابع عضویت خروجی

تجزیه و تحلیل حساسیت

برای تجزیه و تحلیل حساسیت از آزمون مربع کای استفاده شد تا مشخص شود پس از چه مدت نگهداری دسته بندی محصول دچار تغییر خواهد شد. آن روز به عنوان شروع حساسیت الگوریتم مشخص گردید. آماره آزمون عبارتست از:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\frac{(o_{ij}-e_{ij})^2}{e_{ij}} \qquad (1)$$

e_{ij}: فراوانی مورد انتظار (تعداد نمونه هایی که کارشناس در یک دسته قرارداده است).

o_{ij}: فراوانی مشاهده شده (تعداد نمونه هایی که الگوریتم در یک دسته قرار داده است).

نقطه بحرانی (χ^2): با درجه آزادی ۴ (۱- تعداد دسته بندی‌ها) و α =۰/۰۵.

به دلیل اینکه در جدول توافقی مقدار هر خانه فراوانی قابل انتظار حداقل ۵ است در گروه‌هایی که دارای فراوانی کمتر بود فراوانی آن گروه با گروه دیگر ادغام گردید (Plackett, 1989).

نتایج و بحث

دقت دسته بندی هر الگوریتم در دو دمای سردخانه و محیط در جدول ۱ نشان داده شده است. دسته بندی گوجه فرنگی بر اساس الگوریتم طراحی شده در مدل‌های شش گانه نشان داد که مدل ۳ در دمای سردخانه از سایر مدل‌ها بهتر بوده زیرا

الگوریتم در این مدل درجه۱ بازار دور را کاملا درست تشخیص داد و بالاترین درصد درستی مربوط به روز سوم بود زیرا الگوریتم در تشخیص درجه۱ بازار دور و سردخانه کاملا با نظر کارشناس مطابقت داشت. در دمای محیط بالاترین درصد درستی مربوط به مدل ۵ است زیرا الگوریتم در این دوره در تشخیص گروه‌ها نسبتا درست عمل کرد. دلیل تفاوت دقت الگوریتم در مدل‌ها در دو دما این است که نمونه‌ها از نظر تغییر رنگ و سختی در دمای محیط با دمای سردخانه متفاوت بودند (جدول ۱). لانا و همکاران (۲۰۰۵) بیان داشتند که سختی گوجه فرنگی در مدت ذخیره کردن مقداری کاهش می‌یابد و این کاهش در دماهای پایین تر کمتر است (Lana et al., 2005). نظر کارشناس و الگوریتم در هر دو دمای سردخانه و محیط در مدل‌های شش گانه با آزمون مربع کای مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در کلیه دوره‌ها نظر کارشناس و الگوریتم با هم مطابقت قابل قبولی داشته است (جدول ۱).

تجزیه و تحلیل حساسیت نمونه های نگهداری شده در سردخانه نشان داد که در دوره‌ی سوم (شش روز پس از نگهداری) مقادیر مربع کای اختلاف معنی داری را در سطح احتمال پنج درصد بین نمونه نگهداری شده با شاهد داشته است (جدول ۲). بنابراین دوره‌ی سوم به عنوان دوره‌ی شروع حساسیت برای نگهداری در سردخانه معرفی شد. در این دوره تغییر عضویت نمونه‌ها در گروه "درجه ۱ بازار دور" بود که بیشترین تأثیر را در حساسیت گروه بندی الگوریتم این دوره نسبت به دوره‌ی ۱ داشت. همچنین تغییر در دسته بندی درجه۲ نیز تاثیری در حساسیت داشته است. عامل تغییر دسته بندی، توابع عضویت مربوط به تغییر رنگ و سختی نمونه‌ها بوده است.

دیویس و هابسون (۱۹۸۱) گزارش کردند که سفتی میوه‌ی گوجه فرنگی به مقدار زیادی تحت تأثیر شرایط محیط قرار می‌گیرد. تحمل واریته‌های مختلف نسبت به درجه حرارت متفاوت بوده و با درجه حرارت و مدت زمان نگهداری تغییر می‌کند. آنها بیان داشتند که درجه حرارت اثر معنی‌داری بر سرعت رسیدن دارد. همچنین بیان داشتند که اگر گوجه فرنگی ۲ روز در ۴۰ درجه سلسیوس، ۴ روز در ۳۵ درجه سلسیوس و یا ۶ روز در ۳۰ درجه سلسیوس نگهداری شود اثرات مشابهی در آنها مشاهده می شود (Davis and Hobson, 1981). این بدان معنی است که اثر دما نسبت به مدت زمان نگهداری بیشتر است. افزون بر آن این دو محقق نشان دادند که مناسب ترین دما برای رسیدن گوجه فرنگی دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس است (Davis and Hobson, 1981).

جدول ۱- دقت دسته بندی الگوریتم در دو دمای محیط و سردخانه

فازی ساز	غیر فازی ساز	ارزیابی در دمای سردخانه	ارزیابی در دمای محیط
ذوزنقه‌ای	مرکز ثقل (مدل۱)	٪۸۴/۶	٪۷۶/۴
	نیم ساز (مدل ۲)	٪۸۵/۸	٪۸۳/۲
	میانگین ماکزیمم (مدل ۳)	٪۸۶	٪۸۳/۲
غیر خطی	مرکز ثقل (مدل۴)	٪۸۳/۷	٪۷۲/۲
	نیم ساز (مدل ۵)	٪۸۳/۲	٪۸۵/۷
	میانگین ماکزیمم (مدل ۶)	٪۸۲/۴	٪۷۱/۲

جدول ۲- نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت الگوریتم مدل‌های شش گانه در سردخانه (نسبت به شاهد)

مدل	ارزیابی	مدت زمان نگهداری				
		روز نخست (دوره ۱)	۳ روز (دوره ۲)	۶ روز (دوره ۳)	۹ روز (دوره ۴)	۱۲ روز (دوره ۵)
۱	χ^2	۱/۹ a	۰/۱ a	۱۱/۵ b	۲۵/۱ b	۱۲/۶ b
۲	χ^2	۴/۷ a	۰/۷ a	۱۲/۷ b	۴۵/۲ b	۲۴/۴ b
۳	χ^2	۱/۹ a	۳ a	۲۲/۲ b	۹۳/۹ b	۶۵/۱ b
۴	χ^2	۱/۹ a	۰/۲ a	۱۰/۶ b	۲۸/۴ b	۱۱/۲ b
۵	χ^2	۱/۹ a	۱/۴ a	۱۳ b	۶۳/۶ b	۳۷/۷ b
۶	χ^2	۱/۸ a	۰/۲ a	۱۱/۱ b	۲۳/۳ b	۱۴/۴ b

در هر ردیف حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار با شاهد در سطح احتمال پنج درصد است.

تجزیه و تحلیل حساسیت مدل‌های شش‌گانه منطق فازی در دمای محیط نیز در جدول ۳ نشان داد که در روز سوم تفاوت معنی داری بین نظر الگوریتم در دوره‌ی ۱ و دوره‌ی دوم مشاهده شد. بنابراین این دوره را می‌توان به عنوان دوره‌ی شروع حساسیت الگوریتم به دسته بندی معرفی کرد. در این دوره تغییر در عضویت الگوریتم دسته بندی گروه "درجه۲" عمده ترین تغییر بوده است. همانطور که مشخص است نمونه های نگهداری شده در شرایط محیط سریعتر دچار تغییر در دسته بندی شده اند، زیرا این نمونه ها از نظر رنگ و سختی سریعتر تغییر نموده اند. یافته های دیویس و هابسون (۱۹۸۱) نشان داد که دما اثر قابل ملاحظه تری نسبت به مدت زمان نگهداری در رسیدن گوجه فرنگی دارد (Davis and Hobson, 1981). وان دیجک و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر درجه حرارت و زمان بر سختی در طول مدت نگهداری را مدل سازی نموده و نشان دادند که تغییرات سختی و محتوای رطوبتی در طی مدت زمان نگهداری به سرعت رخ می دهد (Van Dijk, 2006). در نتیجه حساسیت الگوریتم دسته بندی در دمای محیط نسبت به دمای سردخانه زودتر اتفاق افتاد.

اسچوتن و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی صفات کیفی گوجه فرنگی داربستی نشان دادند که با افزایش دما و مدت زمان ماندگاری سختی گوجه فرنگی‌ها به طور نمایی کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که با افزایش دما تغییرات رنگ سریع‌تر اتفاق می‌افتد. آنها نشان دادند که در دمای ثابت گوجه‌فرنگی‌های قرمز ذخیره شده نسبت به گوجه فرنگی‌های سبز ذخیره شده تغییر رنگ کمتری داشته و در مدت زمان نگهداری کمتری به ثبات رنگی می‌رسند (Schouten et al., 2007).

جدول ۳- نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت الگوریتم مدل‌های شش گانه در شرایط محیط (نسبت به شاهد)

مدل	ارزیابی	مدت زمان نگهداری				
		روز نخست (دوره ۱)	۳ روز (دوره ۲)	۶ روز (دوره ۳)	۹ روز (دوره ۴)	۱۲ روز (دوره ۵)
۱	χ^2	۱/۹ a	۸۷/۷ b	۶۳/۵ b	۶۲/۶ b	۷۷/۲ b
۲	χ^2	۱/۹ a	۸۹ b	۵۴/۸ b	۹۰/۹ b	۲۴/۴ b
۳	χ^2	۱/۹ a	۹۰/۹ b	۷۴/۷ b	۸۴/۹ b	۹۴/۸ b
۴	χ^2	۱/۹ a	۱۱۸/۶ b	۷۷/۶ b	۱۳۱/۴ b	۶۵/۵ b
۵	χ^2	۱/۹ a	۶۵/۸ b	۱۷/۶ b	۲۲/۱ b	۵۳/۱ b
۶	χ^2	۱/۹ a	۳۰ b	۱۸/۵ b	۲۶/۹ b	۵۱/۱ b

در هر ردیف حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار با شاهد در سطح احتمال پنج درصد است.

لانا و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از تجزیه و تحلیل ویدئو تصویر، اثر دمای ذخیره کردن و مرحله رسیدن گوجه فرنگی را بر رنگ ظاهری سطح گوجه‌فرنگی تازه برداشت شده بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه دست پیدا کردند که با افزایش مدت زمان نگه داری و نیز افزایش دمای ذخیره کردن از ۲ الی ۵ درجه سلسیوس، تقریباً هر سه مولفه رنگ R، G و B محصول را کاهش می دهد ولی تأثیر دما کمتر از مدت زمان ذخیره کردن است (Lana et al., 2006). نصیری و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که مقدار لیکوپن که عامل قرمزی گوجه فرنگی است در نمونه های سبز و سبز مایل به نارنجی با سرعت بیشتری نسبت محصول کاملا قرمز افزایش یافته است و این تغییر رنگ در دمای محیط سرعت بیشتری نسبت به سردخانه داشته است.

با توجه به نتایج به دست آمده از مدل‌های شش‌گانه سختی گوجه فرنگی با گذشت زمان در مدت نگهداری کاهش می‌یابد و این کاهش در دماهای پایین کمتر است. به همین علت شروع حساسیت الگوریتم‌های طراحی شده در نمونه‌های نگهداری شده در سردخانه نسبت به نمونه‌های محیطی دیرتر بود.

نتیجه گیری

دسته بندی گوجه فرنگی بر اساس الگوریتم طراحی شده در مدل‌های شش گانه نشان داد که در مدل با توابع عضویت ذوزنقه‌ای و غیر فازی ساز میانگین ماکزیمم درصد دقت بالاتری در تشخیص دسته بندی ها داشتند. تجزیه و تحلیل حساسیت مدل‌های مختلف فازی نشان داد که در شرایط سردخانه (دمای دوازده درجه سلسیوس) شروع حساسیت (یا تغییر دسته بندی) از روز ششم نگهداری به علت تغییر عضویت گروه "درجه۱ بازار دور" و "درجه۲" و در دمای محیط حساسیت الگوریتم در روز سوم نگهداری مشاهده شد. این نتایج نشان می دهد مراحل بعدی فرآوری گوجه فرنگی از جمله بسته بندی، حمل و نقل یا ذخیره سازی تابع دسته بندی انجام شده است و برای جلوگیری از تغییر در دسته بندی های انجام شده دما و زمان نقش مهمی را ایفا می نمایند.

منابع و مآخذ

۱. بخشی‌پور، ع. ۱۳۹۰. کاربرد ماشین‌بینایی و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تعیین میزان رطوبت و زمان خشک شدن میوه (مطالعه موردی: ورقه‌های میوه به). پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی.

۲. تشنه لب، م.، صفارپور، ن.، افیونی، د. ۱۳۸۹. سیستم های فازی و کنترل فازی. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۳. تهور، ا. ۱۳۹۳. طبقه بندی گوجه فرنگی بالغ بر اساس رنگ، اندازه و سختی با منطق فازی. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی.

۴. صابری کمر پشتی، ر.، پور رضا، ح. ر. ۱۳۸۶. دسته‌بندی داده‌های مربوط به گوجه‌فرنگی و بررسی و ارزیابی این روش‌ها. سومین کنفرانس فناوری اطلاعات و دانش دانشگاه فردوسی مشهد.

۵. نصیری، س. م.، خواجوی، س.، رمضانیان، ا. ۱۳۹۳. کاربرد پردازش تصویر برای تعیین رنگ و محتوای لیکوپن گوجه فرنگی در شرایط نگهداری با دمای مختلف. اولین همایش ملی فناوری های نوین بر داشت و پس از برداشت محصولات کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی. مشهد.

6. Anonymous. 1997. United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes, USA.
7. Anonymous. 2013. FAO Statistics, FAOSTAT. http://faostat.fao.org/. (Visited on July 2013).
8. Beak, I.S., Cho, B. K. & Kim, Y.S. 2012. Development of a compact quality sorting machine for cherry tomatoes based on real-time color image processing. International Conference of Agricultural Engineering. Valencia, Spain, 8-12.
9. Davis, J. N. & Hobson, G. E. 1981. The constituents of tomato fruit the influence of environment, nutrition and genotype, CRC Critical Review in Food Science Nutrition. Vol. 15, 205-280.
10. Gomez , A. H., Hu, G., Wang, J. & Pereira, A. G. 2006. Evaluation of tomato maturity by electronic nose, Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 54, 44–52.
11. Iraji M. S. & Tosinia, A. 2011. Classification Tomatoes on Machine Vision with Fuzzy the Mamdani inference, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Based (Anfis - Sugeno). Australian Journal of basic and Applied sciences. Vol. 5, 846-853.
12. Kavdir I. & Guyer, D. 2003. Apple Grading Using Fuzzy Logic. Department of Agriculture Machinery. Vol. 27, 375-382.
13. Lana, M. M., Tijskens L. M. M. & Van Kooten, O. 2005. Effects of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. Postharvest Biology and Technology. Vol. 35, 87-95.

14. Lana, M.M., Tijskens L. M. M. & Van Kooten, O. 2006. Effects of storage temperature and storage of ripening on RGB color aspects of fresh cut tomato pericarp using video image analysis. Journal of Food Engineering. Vol. 77, 871-879.
15. Lino, A.C.L., Sanches, J. & Fabbro, I. M. D. 2008. Image processing techniques for lemons and tomatoes classification. Journal of Bragantia. Vol. 67, 785-789.
16. Miro, S., Hartmann, D. & Schanz, T. 2013. Global sensitivity analysis for subsoil parameter estimation in mechanized tunnelling. Computers and Geotechnics. Vol. 56, 80-88.
17. Omid, M. 2011. Design of an expert system for sorting pistachio nuts through decision tree and fuzzy logic classifier. Expert Systems with Applications. Vol. 38, 4339- 4347.
18. Plackett, R. L. 1983. Karl Pearson and the Chi-Squared Test, International Statistical Review (International Statistical Institute (ISI)). Vol. 51, 59–72.
19. Polder, G., Heijdena, G. W. A. M. & Young, I. T. 2003. Tomato sorting using independent component analysis on spectral images. Real-Time Imaging. Vol. 9, 253-259.
20. Schouten, R. E., Huijben, T. P. M., Tijskens, L. M. M. & Van Kooten, O. 2007. Modeling quality attributes of truss tomatoes: Linking color and firmness maturity. Postharvest Biology and Technology. Vol. 45, 298-306.
21. Van Dijk, C., Boeriv, C., Peter, F., Stolle-smits, T. & Tijskens, L. M. M. 2006. The firmness of stored tomatoes (cv.Tradiro): kinetic and near infrared models to describe firmness and moisture loss. Journal of Food Engineering. Vol. 77, 575-584.

Sensitivity analysis of tomato color, size and hardness membership functions as affected by storage temperature and duration for fuzzy logic sorting

Abstract

Sorting and grading for evaluation of agricultural materials are the vital stages among process operations. Nevertheless, such cost and time intensive operations push postharvest industry toward automation. For this reason, fuzzy logic for sorting of tomato, and change in classifications due to storage condition were studied. In the present study, color (with image processing), size and hardness of fruits were measured. Sorting was performed with designed fuzzy logic algorithm and calibrated with panelists grades. Sensitivity analysis of membership functions was performed using chi-square statistic. Results showed that storage in cold room delayed change in classifications for six days after storage. The main change after six days was observed in "first grade far market" and "second grade" groups. For those were kept at room temperature sensitivity was observed after three days from storage. The change took place in same groups. Results intimated that any further operation after sorting have to considers such variations to prevent any change in initial classifications.

Keywords: Fuzzy logic, Image processing, Sensitivity analysis, Sorting, Tomato.