

## تجزیه و تحلیل حساسیت توابع عضویت برای دسته‌بندی فازی گوجه‌فرنگی متأثر از دما و مدت زمان نگهداری

سید مهدی نصیری<sup>۱\*</sup>، سمیرا خواجوی<sup>۲</sup>، عبدالعباس جعفری<sup>۳</sup>

۱. دانشیار، بخش مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز

۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، بخش مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز

۳. دانشیار، بخش مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۲۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۷/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۵/۱۴)

### چکیده

در این مطالعه دسته‌بندی گوجه فرنگی به کمک منطق فازی و تغییر در آن در شرایط مختلف نگهداری مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور ویژگی‌های کیفی از قبیل رنگ، اندازه و سختی گوجه فرنگی اندازه‌گیری شد. دسته‌بندی نمونه‌ها توسط یک سامانه طراحی شده منطق فازی با قواعد فازی با نظر کارشناسان خبره مقایسه گردید. تجزیه و تحلیل حساسیت خروجی توابع عضویت به کمک آماره مربع کای مشخص شد. نتایج نشان داد که حساسیت دسته بندی نمونه‌های نگهداری شده در سردخانه از روز ششم با تغییر از دسته "درجه ۱" به "درجه ۲" رخ داد. برای نمونه‌های نگهداری شده در شرایط محیط این حساسیت از روز سوم با تغییر دسته‌بندی مشابه رخ داد. نتایج تاکید می‌نماید هرگونه عملیات فرآوری یا بازار رسانی پس از دسته‌بندی اولیه باید از لحاظ صرف زمان بگونه‌ای باشد که حاصل دسته‌بندی اولیه را دچار تغییر ننماید.

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

### مقدمه

توجه به نیاز مصرف کنندگان میوه‌ها و سبزی‌ها شرایط را برای تدوین و اجرای استانداردهای کیفی برای انتخاب آنها ایجاد نموده است. بر همین اساس در سال‌های گذشته سامانه‌های زیادی برای درجه بندی و دسته بندی برای تحقق نیازهای صنعت فرآوری میوه‌ها و سبزی‌ها ظهور پیدا کرد. با این حال بسیاری از آنها بیش از حد پیچیده و بسیار پر هزینه برای صنایع کوچک و متوسط هستند.

طبق آمار سازمان خوار و بار جهانی در سال ۲۰۱۲ حدود ۱۶۲ میلیون تن گوجه‌فرنگی در ۴/۸ میلیون هکتار سطح زیر کشت جهان تولید شده است (Anonymous, 2016). این محصول یک کالای حساس به شرایط محیط و فاسد شدنی است. بنابراین ضرورت دارد با توجه به فرازگرا بودن آن، پس از بلوغ خیلی زود مصرف یا فرآوری گردد.

تغییر رنگ گوجه فرنگی پس از برداشت از شاخصه های مهم کیفی است که در پژوهش های متعددی مورد استفاده قرار گرفته است. این خصوصیات ارتباط با میزان رسیدگی نیز دارد. رنگ گوجه‌فرنگی تحت تاثیر دما و مدت زمان نگهداری و همچنین رسیدگی محصول می باشد (Lana et al., 2005). از

این خصوصیت در تصاویری که توسط یک سامانه ماشین بینایی تهیه شده بود برای درجه‌بندی استفاده شد (Polder et al., 2003). این خصوصیت بارز گوجه فرنگی همراه با سایر خصوصیات فیزیکی مثل اندازه و نقایص ظاهری در درجه بندی و دسته بندی نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Lino et al., 2007; Beak et al., 2012). Sabery Kamarposhty (2008) and Pourreza در پژوهشی دسته‌بندی گوجه فرنگی را با استفاده از خصوصیات استخراج شده (سبز بودن، قرمز بودن، زرد بودن، میانگین زردی و قرمزی و سبزی، آنتروپی، انرژی، کنتراست، همگنی، گردی، مساحت گوجه فرنگی) از تصاویری تهیه شده به کمک ماشین بینایی انجام دادند.

در پژوهش های بیان شده قبل استخراج داده‌های حاصل از پردازش تصویر بر الگوریتم‌های 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 است. به عبارت ساده تر به جای یک موقعیت مشخص (صفر یا یک) در منطق بولی از درجه عضویت (از صفر تا یک) در منطق فازی استفاده می شود. در این حیطه نیز پس از توسعه آن پژوهش های کاربردی مختلفی صورت پذیرفته است (Teshnehlab et al., 2010).

با میانگین دمای حدود ۲۸/۵ درجه سلسیوس) در مدت دوازده روز نگهداری بود، و سختی و رنگ صفتهای اندازه‌گیری بودند. در این تحقیق به تجزیه و تحلیل حساسیت الگوریتم‌های پیشنهادی برای دسته‌بندی گوجه‌فرنگی در پژوهش (2016) *Nassiri et al.* پرداخته شد. پس از طرح الگوریتم‌های مختلف، طبقه‌بندی و مقایسه با نظر ۷ عضو پنل (کارشناس خبره) طبق آزمون مربع کای صورت پذیرفت و دقت هر الگوریتم و نیز بهترین الگوریتم برای طبقه‌بندی گوجه‌فرنگی مشخص گردید. همچنین با آزمون مربع کای تغییر عضویت نمونه‌ها در تابع تحت تأثیر دما و مدت زمان نگهداری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

### آزمون سختی

آزمون سختی و اندازه‌گیری خواص فیزیکی با استفاده از دستگاه اینستران (سنتام مدل STM 20 ساخت ایران) صورت پذیرفت. بارسنج (BONGSHIN مدل DBBP-50 ساخت کره) مورد استفاده برای انجام آزمون‌ها دارای حداکثر ظرفیت ۵۰ کیلوگرم نیرو بود. قطر پراب مورد استفاده ۷۵ میلی‌متر از جنس آلومینیوم در نظر گرفته شد. سرعت حرکت پراب ۱۰۰ میلی‌متر بر ثانیه و نمونه‌های نگهداری شده هر سه روز یک بار توسط دستگاه اینستران در دو جهت عمود بر هم تحت آزمون صفحات فشاری با حداکثر نیروی ۳ نیوتن قرار گرفتند (Tahavvor, 2014). این مقدار نیرو با انجام پیش‌آزمون‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که به محصول در دوره‌های مختلف نگهداری آسیب وارد نسازد.

### عکس برداری

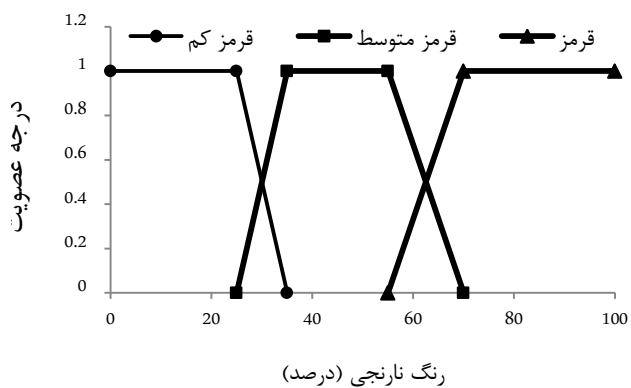
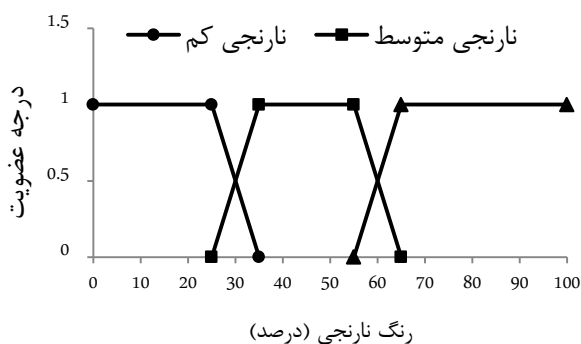
برای تهیه عکس‌ها از اتافک نورپردازی با تابش غیرمستقیم که اصطلاحاً آسمان ابری نامیده می‌شود استفاده شد. برای اخذ تصاویر رنگی از دوربین دیجیتال Canon ساخت ژاپن با وضوح ۶ مگاپیکسل استفاده شد. ارتفاع دوربین تا سطح قرارگیری محصول با یک پایه در فاصله ۲۱ سانتی‌متری قرار گرفت. سرعت شاتر ۱/۸۰ ثانیه و دریچه دیافراگم (۱/۵) f تنظیم گردید تا کیفیت تمامی تصاویر یکسان حاصل شود. دسته‌بندی میوه‌ها از لحاظ رنگ بر اساس استاندارد آمریکا صورت پذیرفت Green (Anonymous, 1997). تمام سطح گوجه‌فرنگی سبز است. Breaker بیشتر از ۱۰ درصد سطح به رنگ زرد یا نارنجی در نیامده است. Turning تا ۳۰ درصد سطح بیشتر سبز نیست. Pink تا ۶۰ درصد سطح گوجه‌فرنگی نارنجی یا قرمز است. Light red تا ۹۰ درصد سطح نارنجی یا قرمز است. Red بیشتر

با استفاده از منطق فازی درجه بندی میوه سیب انجام شده است. ویژگی‌های کیفی سیب از قبیل رنگ، اندازه و نقص ظاهری با تجهیزات مختلف اندازه‌گیری و برای درجه‌بندی به کمک منطق فازی استفاده شد (Kavdir and Guyer, 2003). Iraj and Tosinia (2011) روش کارآمد و دقیقی برای دسته‌بندی گوجه‌فرنگی ارائه دادند. ابتدا تصویری از گوجه‌فرنگی تهیه و با استفاده از منطق فازی و شبکه‌های عصبی فازی (ANFIS) متناسب با ۷ فاکتور به دست آمده از تصاویر گرفته شده میوه‌ها در ۹ دسته طبقه‌بندی شدند. این روش نسبت به روش‌های قبلی دارای خطای کمتر بود. Omid (2011) دسته‌بندی پسته باز و بسته را به کمک منطق فازی مورد مطالعه قرار داد. وی با استفاده از روش ممدانی و با استفاده از ۷۰٪ داده‌ها سیستم را آموزش داده و با ۳۰٪ باقیمانده داده‌ها مدل را آزمون کرد. یک سامانه منطق فازی طراحی شد که دسته‌بندی گوجه‌فرنگی را بر اساس رنگ، اندازه، سختی گوجه‌فرنگی به کمک شش الگوریتم مختلف در پنج دسته "درجه ۱ بازار دور"، "درجه ۱"، "درجه ۲"، "فرآوری" و "سردخانه" تقسیم‌بندی نمود (Tahavvor, 2014). خروجی این سامانه فازی از آنجا که محصول گوجه‌فرنگی تحت تأثیر دما و مدت زمان نگهداری دچار تغییرات فیزیولوژیکی (از جمله تغییر رنگ) می‌شود، دسته‌بندی‌های مبتنی بر توابع عضویت فازی نیز ممکن است دچار دگرگونی شوند (Miro et al., 2013). بنابراین، تصمیم‌های مبتنی بر دسته‌بندی فازی تابع شرایط نگهداری ثابت نخواهد بود و ضرورت دارد برای تصمیم‌سازی بهتر 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. در این پژوهش بطور همزمان دو خصوصیت فیزیکی رنگ و اندازه و خصوصیت مکانیکی سختی در توابع عضویت فازی مورد استفاده قرار گرفتند.

### مواد و روش‌ها

میوه‌های گوجه‌فرنگی تازه رقم کاردلن از گلخانه در چهار مرحله رسیدگی سبز بالغ، سبز مایل به نارنجی، نارنجی و قرمز انتخاب شدند و سپس میوه‌های 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

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 دوزنقه‌ای 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 سازه‌های 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.



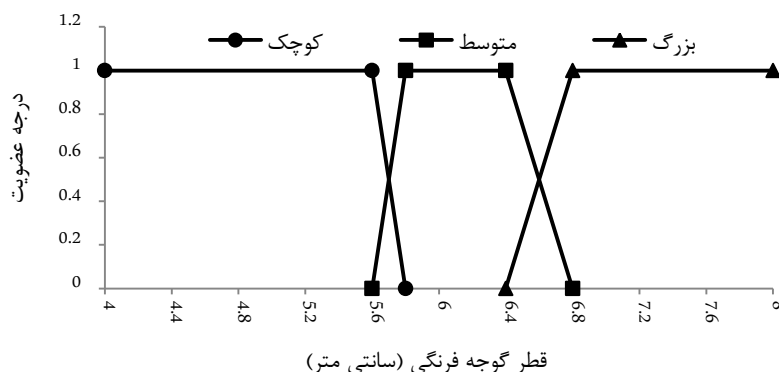
شکل ۱. توابع عضویت دوزنقه‌ای برای درصد رنگ های قرمز و نارنجی

از ۹۰ درصد سطح رنگ قرمز دارد. از قسمت‌های مختلف نمونه‌هایی که رنگ‌های قرمز، نارنجی و سبز را به صورت مجزا داشتند قطعه‌برداری شد و نمودارهای RB، RG، 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.

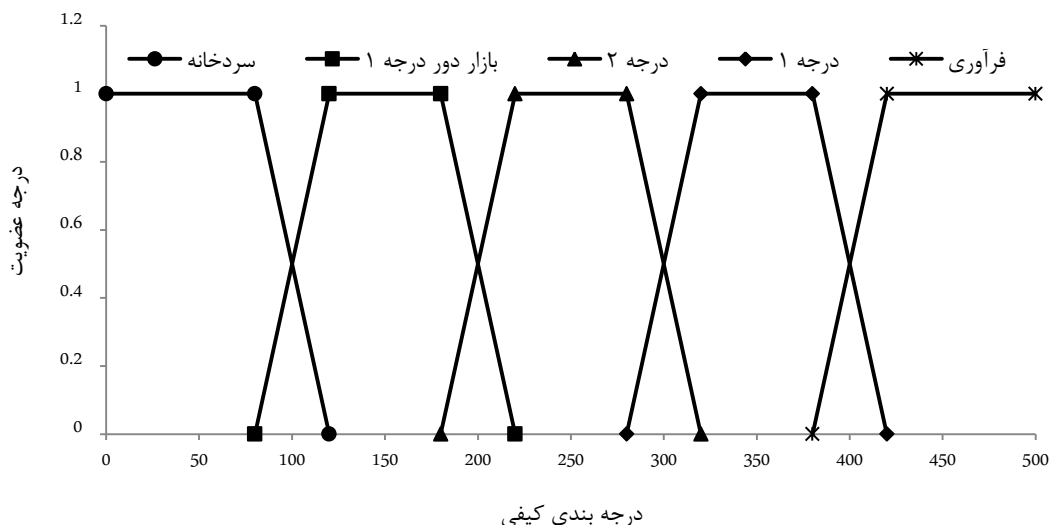
### ساختار مدل های فازی

برای پیاده‌سازی منطق فازی از جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار متلب (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-می‌نیمم ممدانی برای مکانیزم استنتاج و روش‌های مرکز ثقل، نیم ساز و میانگین ماکزیمم برای غیر فازی سازی مورد استفاده قرار گرفت. قواعد اگر- آنگاه فازی برای دسته‌بندی 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 حالت‌های مشابه به ۱۷ قاعده قابل قبول دست یافته شد. ترکیب قواعد به‌گونه‌ای صورت گرفت که مجموعه‌های 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 پژوهش شش مدل مختلف مورد بررسی قرار گرفت. مدل ۱ توابع دوزنقه‌ای و غیر فازی ساز "مرکز ثقل"، مدل ۲ توابع دوزنقه‌ای و غیر فازی ساز "نیم ساز" و مدل ۳ توابع دوزنقه‌ای 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



شکل ۲. توابع عضویت دوزنقه‌ای اندازه گوجه فرنگی



شکل ۳. توابع عضویت دوزنقه‌ای خروجی

### تجزیه و تحلیل حساسیت

برای تجزیه و تحلیل حساسیت از آزمون مربع کای استفاده شد تا مشخص شود پس از چه مدت نگهداری دسته‌بندی محصول دچار تغییر خواهد شد. آن روز به عنوان شروع حساسیت الگوریتم مشخص گردید. آماره آزمون عبارتست از (Plackett, 1983):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(o_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که  $e_{ij}$  فراوانی مورد انتظار (تعداد نمونه‌هایی که اعضای پنل در یک دسته قرار داده است) و  $o_{ij}$  فراوانی مشاهده شده (تعداد نمونه‌هایی که الگوریتم در یک دسته قرار داده است). نقطه بحرانی مربع کای ( $\chi^2$ ) برای درجه آزادی ۴ (۱- تعداد دسته بندی‌ها) و احتمال ۰/۰۵ برابر ۹/۵ است. مقادیر مربع کای بیشتر از این مقدار نشان می‌دهد که بین دسته‌بندی اعضای پنل و الگوریتم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد وجود دارد. 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.

### نتایج و بحث

دقت دسته‌بندی هر الگوریتم در دو دمای سردخانه و محیط در جدول ۱ نشان داده شده است. دسته‌بندی گوجه‌فرنگی 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 دسته‌بندی "درجه ۱ بازار دور" را کاملاً درست

تشخیص داد و بالاترین درصد درستی مربوط به روز سوم بود، زیرا الگوریتم در تشخیص دسته‌بندی‌های "درجه ۱ بازار دور" و "سردخانه" کاملاً با نظر کارشناس مطابقت داشت. در دمای محیط بالاترین درصد درستی مربوط به مدل ۵ است زیرا الگوریتم در این دوره در تشخیص گروه‌ها نسبتاً 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). سختی گوجه فرنگی در مدت ذخیره کردن مقداری کاهش می‌یابد و این کاهش در دماهای پایین‌تر 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 نمونه‌های نگهداری شده در سردخانه نشان داد که در دوره‌ی سوم (شش روز پس از نگهداری) مقادیر مربع کای اختلاف معنی‌داری 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 گروه‌بندی الگوریتم این دوره نسبت به دوره‌ی ۱ داشت. همچنین تغییر در دسته‌بندی "درجه ۲" نیز تأثیری در حساسیت داشته است. عامل تغییر دسته‌بندی، توابع عضویت مربوط به تغییر رنگ و سختی

نمونه‌ها بوده است.

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

ارزیابی در دمای محیط	ارزیابی در دمای سردخانه	غیر فازی ساز	فازی ساز
٪۷۶/۴	٪۸۴/۶	مرکز ثقل (مدل ۱)	دوزنقه‌ای
٪۸۳/۲	٪۸۵/۸	نیم ساز (مدل ۲)	
٪۸۳/۲	٪۸۶	میانگین ماکزیمم (مدل ۳)	
٪۷۲/۲	٪۸۳/۷	مرکز ثقل (مدل ۴)	غیر خطی
٪۸۵/۷	٪۸۳/۲	نیم ساز (مدل ۵)	
٪۷۱/۲	٪۸۲/۴	میانگین ماکزیمم (مدل ۶)	

سفتی میوه‌ی گوجه‌فرنگی به مقدار زیادی تحت تأثیر شرایط محیط قرار می‌گیرد (Davis and Hobson, 1981). تحمل واریته‌های مختلف نسبت به درجه حرارت متفاوت بوده و با درجه حرارت و مدت زمان نگهداری تغییر می‌کند. Davis and Hobson 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 می‌شود. این بدان معنی است که اثر دما نسبت به مدت زمان نگهداری بیشتر است. افزون بر آن Davis and Hobson نشان دادند که مناسب‌ترین دما برای رسیدن گوجه‌فرنگی دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس است.

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)	روز ۳ (دوره ۲)	روز ۶ (دوره ۳)	روز ۹ (دوره ۴)	روز ۱۲ (دوره ۵)
۱	$\chi^2$	۱/۹ <sup>a</sup>	۰/۱ <sup>a</sup>	۱۱/۵ <sup>b</sup>	۲۵/۱ <sup>b</sup>	۱۲/۶ <sup>b</sup>
۲	$\chi^2$	۴/۷ <sup>a</sup>	۰/۷ <sup>a</sup>	۱۲/۷ <sup>b</sup>	۴۵/۲ <sup>b</sup>	۲۴/۴ <sup>b</sup>
۳	$\chi^2$	۱/۹ <sup>a</sup>	۳ <sup>a</sup>	۲۲/۲ <sup>b</sup>	۹۳/۹ <sup>b</sup>	۶۵/۱ <sup>b</sup>
۴	$\chi^2$	۱/۹ <sup>a</sup>	۰/۲ <sup>a</sup>	۱۰/۶ <sup>b</sup>	۲۸/۴ <sup>b</sup>	۱۱/۲ <sup>b</sup>
۵	$\chi^2$	۱/۹ <sup>a</sup>	۱/۴ <sup>a</sup>	۱۳ <sup>b</sup>	۶۳/۶ <sup>b</sup>	۳۷/۷ <sup>b</sup>
۶	$\chi^2$	۱/۸ <sup>a</sup>	۰/۲ <sup>a</sup>	۱۱/۱ <sup>b</sup>	۲۳/۳ <sup>b</sup>	۱۴/۴ <sup>b</sup>

گوجه‌فرنگی 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. در دمای ثابت گوجه‌فرنگی‌های قرمز ذخیره شده نسبت به گوجه‌فرنگی‌های سبز ذخیره شده تغییر رنگ کمتری داشته و در مدت زمان نگهداری کمتری به ثبات رنگی رسیدند (Schouten et al., 2007).

Lana et al (2006) 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 نگهداری و نیز افزایش دمای ذخیره کردن از ۲ الی ۵ درجه سلسیوس، تقریباً هر سه مولفه رنگ R، G و B محصول را کاهش می‌دهد ولی تأثیر دما کمتر از مدت زمان ذخیره کردن است. Nassiri et al. (2014) گزارش کردند که مقدار لیکوپین که عامل قرمزی گوجه‌فرنگی است در نمونه‌های سبز و سبز مایل به نارنجی با سرعت بیشتری نسبت محصول کاملاً قرمز افزایش

تجزیه و تحلیل حساسیت مدل‌های شش‌گانه منطق فازی در دمای محیط نیز در جدول ۳ نشان داد که در روز سوم تفاوت معنی‌داری بین نظر الگوریتم در دوره‌ی اول 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 "درجه ۲" عمده ترین تغییر بوده است. همانطور که مشخص است نمونه‌های نگهداری شده در شرایط محیط سریعتر دچار تغییر در دسته بندی شده‌اند، زیرا این نمونه‌ها از نظر رنگ و سختی سریعتر تغییر نموده‌اند. یافته پژوهش نشان داد که دما اثر قابل ملاحظه تری نسبت به مدت زمان نگهداری در رسیدن گوجه‌فرنگی دارد (Davis and Hobson, 1981). تأثیر درجه حرارت و زمان بر سختی در طول مدت نگهداری مدل سازی شد و مشخص شد که تغییرات سختی و محتوای رطوبتی در طی مدت زمان نگهداری به سرعت رخ می‌دهد (Van Dijk et al., 2006). در نتیجه حساسیت الگوریتم دسته بندی در دمای محیط نسبت به دمای سردخانه زودتر اتفاق افتاد. در بررسی صفات کیفی

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)	روز (دوره ۲)	روز (دوره ۳)	روز (دوره ۴)	روز (دوره ۵)
۱	$\chi^2$	۱/۹ <sup>a</sup>	۸۷/۷ <sup>b</sup>	۶۳/۵ <sup>b</sup>	۶۲/۶ <sup>b</sup>	۷۷/۲ <sup>b</sup>
۲	$\chi^2$	۱/۹ <sup>a</sup>	۸۹ <sup>b</sup>	۵۴/۸ <sup>b</sup>	۹۰/۹ <sup>b</sup>	۲۴/۴ <sup>b</sup>
۳	$\chi^2$	۱/۹ <sup>a</sup>	۹۰/۹ <sup>b</sup>	۷۴/۷ <sup>b</sup>	۸۴/۹ <sup>b</sup>	۹۴/۸ <sup>b</sup>
۴	$\chi^2$	۱/۹ <sup>a</sup>	۱۱۸/۶ <sup>b</sup>	۷۷/۶ <sup>b</sup>	۱۳۱/۴ <sup>b</sup>	۶۵/۵ <sup>b</sup>
۵	$\chi^2$	۱/۹ <sup>a</sup>	۶۵/۸ <sup>b</sup>	۱۷/۶ <sup>b</sup>	۲۲/۱ <sup>b</sup>	۵۳/۱ <sup>b</sup>
۶	$\chi^2$	۱/۹ <sup>a</sup>	۳۰ <sup>b</sup>	۱۸/۵ <sup>b</sup>	۲۶/۹ <sup>b</sup>	۵۱/۱ <sup>b</sup>

ذوزنقه‌ای و غیر فازی ساز میانگین ماکزیمم درصد دقت بالاتری در تشخیص دسته‌بندی‌ها داشتند. تجزیه و تحلیل حساسیت مدل‌های مختلف فازی نشان داد که در شرایط سردخانه (دمای دوازده درجه سلسیوس) شروع حساسیت (یا تغییر دسته‌بندی) از روز ششم نگهداری به علت تغییر عضویت گروه "درجه ۱ بازار دور" و "درجه ۲" و در دمای محیط حساسیت الگوریتم در روز سوم نگهداری مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد مراحل بعدی فرآوری گوجه فرنگی از جمله بسته‌بندی، حمل و نقل یا ذخیره‌سازی تابع دسته‌بندی انجام شده است و برای جلوگیری از تغییر در دسته‌بندی‌های انجام شده دما و زمان نقش مهمی را ایفا می‌نمایند.

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 کلی

دسته‌بندی گوجه‌فرنگی بر اساس الگوریتم طراحی شده در مدل‌های شش گانه نشان داد که در مدل با توابع عضویت

### REFEFENSES

- Anonymous. (1997). United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes, Reprinted January 1997. USA.
- Anonymous. (2016). FAOSTAT. Retrieved Oct. 12, 2016, from <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.
- 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, 8-12 Sep. Valencia, Spain.
- 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, 15, 205-280.
- Iraji M. S. & Tosinia, A. (2011). Classification of tomatoes by machine vision with fuzzy the Mamdani inference, adaptive neuro fuzzy inference system based (Anfis - Sugeno). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 5, 846-853.
- Kavdir I. & Guyer, D. (2003). Apple Grading Using Fuzzy Logic. *Department of Agriculture Machinery*, 27, 375-382.
- Lino, A.C.L. Sanches, J. & Fabbro, I. M. D. (2008). Image processing techniques for lemons and tomatoes classification. *Journal of Bragantia*, 67, 785- 789.
- Lana, M. M., Tijkskens L. M. M. & Van Kooten, O. (2005). Effects of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 35, 87-95.
- Lana, M.M., Tijkskens 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*, 77, 871-879.
- Miro, S., Hartmann, D. & Schanz, T. (2013). Global sensitivity analysis for subsoil parameter estimation in mechanized tunnelling. *Computers and Geotechnics*, 56, 80-88.
- Nassiri, S.M., Khajavi, S. & Ramezaniyan, A. (2014). Image processing application to determine the color of tomato lycopene content in different temperature conditions. The first national

- conference on new technologies and post-harvest agricultural products, Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, 18-19 February. Mashhad. (In Farsi).
- Nassiri, S.M., Tahavvor, A. & Jafari, A. (2016). Classification of mature tomato based on color, size and hardness using Fuzzy logic. 14<sup>th</sup> International Conference on Agricultural and Biosystems Engineering. Aarhus University, Aarhus, Denmark.
- Omid, M. (2011). Design of an expert system for sorting pistachio nuts through decision tree and fuzzy logic classifier. *Expert Systems with Applications*, 38, 4339- 4347.
- Plackett, R. L. 1983. Karl Pearson and the Chi-Squared Test, *International Statistical Review*, 51, 59-72.
- Polder, G., Heijdena, G. W. A. M. & Young, I. T. (2003). Tomato sorting using independent component analysis on spectral images. *Real-Time Imaging*, 9, 253-259.
- Sabery-Kamarposhty, R. & Pourreza, H. R. (2007). Classification and evaluation of image features of tomato by several image techniques. Third International Conference on Information and Knowledge Technology. 23 May, Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran.
- 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*, 45, 298-306.
- Tahavvor, A. (2014). Classification of mature tomato based on color, size and hardness using fuzzy logic. M.Sc. thesis on Mechanics of Agricultural Machinery, Shiraz University. Iran. (In Farsi).
- Teshnehlab, M., Safarpour, N. & Afuni, D. (2010). Fuzzy systems and fuzzy control (1<sup>st</sup> ed). K. N. Toosi University of Technology Press. Pp 528.
- 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*, 77, 575-584.