



مقاله پژوهشی

ارزیابی حسی آب‌میوه توت‌فرنگی توسط منطق فازی و بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن طی نگهداری انجمادی

حدیث آریایی^۱، پیمان آریایی^۲، داود زارع^{۳*}، سعید میردامادی^۴، شهرام نقی زاده رئیسی^۵

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی

۲. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی

۳. استادیار، گروه زیست فناوری تبدیلی و زیست انرژی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

۴. استاد، گروه زیست فناوری پزشکی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

۵. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۱، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۳۹۹/۰۸/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹)

چکیده

توت‌فرنگی یکی از میوه‌های پرطرفدار برای مصرف‌کنندگان است؛ اما یکی از مشکلات اساسی آن ماندگاری پایین است و انجماد به عنوان روشی که اثرگذاری اندکی بر ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی توت‌فرنگی دارد، برای نگهداری طولانی مدت این میوه استفاده شده است؛ اما تأثیر انجماد بر ویژگی‌های حسی و تغییرات آن، موضوعی است که نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. از طرف دیگر امروزه تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های غیردقیق موجود در نتایج ارزیابی‌های حسی با روش‌های ریاضی مانند منطق فازی مورد توجه قرار گرفته است. لذا در این پژوهش ابتدا میوه‌ی توت‌فرنگی در مدت شش ماه و در دمای 2 ± 18 در فریزر نگهداری شد و تأثیر انجماد بر روی این میوه پس از آنگیری بررسی شد. در زمان‌های ۰، ۳، ۳۰، ۶۰ و ۱۸۰ روز، میوه‌های توت‌فرنگی از فریزر خارج شده و پس از آنگیری با بهره‌گیری از روش هدونیک پنج نقطه‌ای، آب‌میوه توت‌فرنگی ارزیابی حسی شد و داده‌های به دست آمده با منطق فازی آنالیز شد. رنگ، عطر و بو، طعم و احساس دهانی از جمله شاخص‌های ارزیابی حسی بودند. در این مطالعه همچنین خواص فیزیکوشیمیایی از جمله pH، میزان اسیدیته و میزان فنل کل نمونه‌ها سنجش شدند. ارزیابی حسی نمونه‌های توت‌فرنگی نشان داد که نگهداری این میوه به صورت انجمادی حتی با وجود تغییرات pH و اسیدیته تأثیر قابل توجهی بر روی مطلوبیت نمونه‌ها ندارد. در اثر انجماد، نمونه‌ها دچار کاهش pH (۱/۹۲٪) و افزایش اسیدیته (۰/۱۸٪) و نیز کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۲۵/۲۶٪) و ترکیبات فنلی (۰/۰۲۲٪) شد. نتایج بررسی‌های فیزیکوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی، اندازه‌گیری فنل کل آب‌میوه توت‌فرنگی و ارزیابی حسی به روش منطق فازی مجموعاً این دیدگاه را ایجاد می‌کند که نگهداری انجمادی روشی مناسب برای نگهداری میوه توت‌فرنگی به مدت طولانی می‌باشد.

کلید واژه‌ها: توت‌فرنگی، انجماد، ارزیابی حسی، منطق فازی، آنتی‌اکسیدان.

۱. مقدمه

تأثیرات بسیاری بر خواص حسی محصول و به‌ویژه ظاهر و عطر و بوی توت‌فرنگی دارد که به طور کلی چالش‌های بزرگی در مسیر نگهداری طولانی این میوه ایجاد نموده است که مستلزم پژوهش‌های فراوان است [۴]. ارزیابی حسی برای درک ارتباط بین ویژگی‌های مواد خوراکی و پذیرش مصرف‌کنندگان و رفتار خریداران بسیار ضروری است. به‌طوری‌که امروزه از مهم‌ترین شاخص‌های تولید و توسعه یک فرآورده غذایی در زمینه انتخاب شرایط مناسب نگهداری برای فرآورده‌های غذایی است. تحلیل نتایج ارزیابی حسی به دلیل تنوع بسیار امری پیچیده بوده و تحلیل کامل آنها به‌سادگی امکان‌پذیر نیست. آنالیز داده‌ها، مبهم‌ترین مرحله در اجرای طرح‌ها و پروژه‌های ارزیابی حسی مواد خوراکی و آشامیدنی است و کم‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد. برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد و قابل تکرار، آنالیز داده‌های حسی انجام شده توسط ارزیابان حسی اعم از آموزش دیده یا بی‌تجربه و یا حتی تحلیل داده‌های حسی حاصل از مصرف‌کنندگان، نیاز به مطالعات علمی و فنی دارد؛ بنابراین بسیار لازم است تا در آزمون‌های ارزیابی حسی همگام با آموزش ارزیابان حسی و نظارت بر عملکرد آنان، از مهارت‌های رایانه‌ای نیز استفاده گردد [۵]. ارزیابی خواص حسی محصولات از شاخص‌های مهم در انتخاب شرایط مناسب نگهداری برای فرآورده‌های غذایی نیز می‌باشد. از جمله مشکلات اساسی در مورد داده‌های ارزیابی حسی غیر پارامتریک بودن نتایج به دست آمده و صحت پایین تحلیل نتایج آن است. برخی روش‌ها نظیر روش‌های عنکبوتی و کروسکال والیس امروزه برای تحلیل داده‌های ارزیابی حسی استفاده می‌شود؛ اما این روش‌ها از دقت کافی برخوردار نیستند [۵]. به این منظور نرم‌افزارهای آماری از جمله Unscrambler, SAS, PanelCheck, Sensomine R اطمینان از کیفیت محصول و تحلیل نتایج ارزیابی حسی طراحی و مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مزیت‌های عمده این نرم‌افزارها می‌توان به نمایش برون‌دادهای محاسبات مختلف آماری به صورت گرافیکی اشاره کرد. به همین دلیل استفاده از نرم‌افزارهای آماری در ارزیابی حسی مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است [۵]. امروزه روش‌هایی

توت فرنگی به عنوان یک محصول پرترفدار، پس از برداشت ماندگاری نسبتاً کمی دارد و به همین دلیل نگهداری طولانی و حمل و نقل آن با مشکلات زیادی مواجه است. این محصول فصل برداشت کوتاهی در حدود چند هفته دارد و به همین دلیل مصرف این میوه معمولاً به صورت فصلی و تا حد زیادی در محدوده‌های جغرافیایی خاص امکان‌پذیر است. تأثیر این میوه بر سلامت انسان مربوط به مقدار بالای ترکیبات آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فنلی آن است. این میوه به دلیل خواص بازدارندگی در مقابل بیماری‌ها و خواص پیشگیری‌کننده نسبت به سرطان، مورد توجه است و خواص بالایی در جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد و حفظ سلامتی دارد [۱]. با این وجود به علت ماندگاری کم در طی چرخه حمل و نقل و نگهداری، مصرف این محصول ارزشمند به شدت از نظر زمانی و مکانی محدود گردیده است. قسمت عمده‌ای از این محصول که با هدف تهیه آب‌میوه و استفاده در مربا، ماست و ژله‌ها برداشت می‌شود قبل از استفاده به صورت منجمد نگهداری می‌شود [۲]. به همین دلیل از روش‌های اساسی در نگهداری این میوه می‌توان به روش انجماد اشاره کرد. در انجماد، بیشتر آب مایع موجود در میوه به شکل بلورهای یخ درآمده و فعالیت‌های آنزیمی و میکروبی، اکسیداسیون و تنفس کاهش یافته و یا متوقف می‌شود. در برخی موارد نیز روش انجمادی به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در تغییر بافت میوه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲]. مواد غذایی معمولاً پس از انجام عمل انجماد قسمت بیشتر خواص غذایی خود را حفظ می‌نمایند؛ اما انجماد می‌تواند پیامدهایی همچون تغییرات مطلوب یا غیر مطلوب در طعم، احساس دهانی، عطر و ظاهر میوه‌ها و تأثیر در رضایتمندی مصرف‌کنندگان در پی داشته باشد. به همین دلیل مطالعات بسیاری در زمینه تأثیر نگهداری به‌صورت انجمادی بر روی خواص حسی و اثرات سلامتی بخش این میوه و میوه‌های مشابه نظیر خواص آنتی‌اکسیدانی در طولانی مدت انجام پذیرفته است [۳]. انجماد اگرچه روش قابل استفاده‌ای برای نگهداری این محصول گیاهی است اما همچون میوه‌های دیگر نظیر انواع توت و مرکبات عمل انجماد و سپس خروج از انجماد،

۲.۲. نحوه انتخاب میوه

توت فرنگی مورد استفاده از رقم کردستان تهیه گردید. این رقم مقاوم به آفات و بیماری‌ها بوده، دارای طعم شیرین و اندازه متوسط می‌باشد. این توت فرنگی که حداکثر مدت بیست و چهار ساعت از زمان برداشت آن می‌گذشت، از بازار تجریش تهران خریداری شد.

۳.۲. شرایط انجماد و نگهداری

توت فرنگی‌ها شستشو و خشک شد و در شش کیسه پلاستیکی زیپ‌دار با وزن حدود ۵۰ g بسته‌بندی شد. همه نمونه‌ها در یک فریزر خانگی با مدل ایستکول TM-959-95 در دمای $2 \pm 18^\circ\text{C}$ نگهداری شد و در زمان‌های ۰، ۳، ۳۰، ۶۰ و ۱۸۰ روز، نمونه‌ها از فریزر خارج شده و مورد ارزیابی و آزمون قرار گرفت [۱۰].

۴.۲. تهیه آب میوه جهت ارزیابی ارگانولپتیک

برای تهیه آب میوه در هر ارزیابی و آزمون، یک بسته از بسته‌های توت فرنگی منجمد از فریزر خارج و در دمای محیط کاملاً ذوب شدند. سپس با آب میوه‌گیر خانگی تفال (مدل ZE-350)، آب‌گیری و از صافی عبور داده شد.

۵.۲. ارزیابی حسی

ارزیابی حسی آب میوه‌ها با استفاده از تست هدونیک ۵ نقطه‌ای انجام شد. ارزیاب‌ها شامل ۱۳ نفر زن و ۱۰ نفر مرد بودند که از نظر سنی بین ۱۸ تا ۶۸ سال قرار داشتند. نمونه میوه تازه و نمونه‌های منجمد شده کدگذاری شده و در شرایط یکسان به ارزیاب‌ها ارائه شد و از آن‌ها خواسته شد تا مزه و طعم، بو، رنگ، احساس دهانی و پذیرش کلی نمونه‌ها را ارزیابی کنند و طبق جدول هدونیک ۵ نقطه‌ای امتیاز بدهند. ارزیاب‌ها در فرمی از پیش تهیه شده درجه اهمیت هر یک از شاخص‌های رنگ، بو، مزه و احساس دهانی را نیز بین امتیاز یک تا پنج مشخص کردند [۱۰]. ضمناً قبل از ارزیابی از همه ارزیابان خواسته شد تا سه محلول قندی و نمکی را به ترتیب از نظر میزان شیرینی و شوری مرتب کنند و از این طریق از سلامت حواس چشایی آن‌ها اطمینان حاصل شد.

مثل^۱ PCA و منطق فازی نیز به منظور آنالیز نتایج ارزیابی حسی به کار می‌رود. منطق فازی نخست توسط پروفوسور لطفی زاده ارائه گردید. در این روش هر یک از ویژگی‌های رنگ، طعم، بو و احساس دهانی در دامنه بسیار بد، بد، متوسط، خوب و عالی به صورت فازی و به شکل سه‌گانه تعریف شده و میزان عضویت در این سه‌گانه‌ها به صورت فازی بررسی می‌شود [۶]. در این روش همچون دیگر روش‌های فازی نتایج مبهم ارزیابی حسی در دامنه صفر تا یک امتیازدهی شده و سپس میزان اشتراک نتایج در گروه‌های مختلف: بسیار بد، بد، متوسط، خوب و بسیار خوب بررسی می‌گردد. در منطق فازی، میزان تعلق یک ویژگی به یک دسته خاص مطلق نمی‌باشد و عضویت می‌تواند هم به دسته بد، هم به دسته متوسط و هم به دسته خوب تعلق داشته باشد و میزان این تعلق و درجه عضویت متفاوت است [۷]. منطق فازی درستی هر تحلیل را با یک عدد نشان می‌دهد که کاربردهای اساسی آن در تفکیک متغیرهای پیوسته است. منطق فازی راهکاری است که به وسیله آن می‌توان سیستم‌های پیچیده را که دارای عدم صراحت و شفافیت هستند، به آسانی مدل‌سازی نمود [۸]. امروزه بسیاری از صنایع و علوم نظیر صنایع غذایی، ریاضیات، مهندسی، علوم پایه، نساجی، علوم رباتیک، صنایع خودروسازی و الکترونیک از منطق فازی برای بهبود روش‌های موجود استفاده می‌کنند [۹]. در این بررسی توت فرنگی به عنوان یک میوه با ماندگاری پایین در طی نگهداری به روش انجمادی با منطق فازی مورد ارزیابی حسی قرار گرفت و خواص آنتی‌اکسیدانی و فنلی آن نیز ارزیابی شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مواد شیمیایی

مواد شیمیایی از قبیل اسید گالیک و DPPH از شرکت سیگما آلدریج، متانول و معرف فولین سیوکالتیو و کربنات سدیم، آسکوربیک اسید از شرکت مرک تهیه گردیدند.

۶.۲. بررسی محتوای آنتی‌اکسیدانی

سه‌گانه‌های استاندارد محاسبه می‌شود و سپس براساس میزان عضویت هر نمونه در سه‌گانه‌های استاندارد میزان مشارکت و تشابه در همه سه‌گانه‌ها محاسبه شده و بیشترین میزان عضویت به عنوان نتیجه فازی گزارش می‌شود.

ابتدا با استفاده از آزمون احیا رادیکال آزاد^۱ (DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) میزان جذب نمونه‌های تازه و منجمد توت‌فرنگی با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Biowave II) و در طول موج ۵۱۷ nm اندازه‌گیری شد. سپس، مقدار قدرت آنتی‌اکسیدانی آب‌میوه‌ها توسط رابطه (۱) و به صورت IC₅₀ در سه تکرار اندازه‌گیری شد [۱۱]. میزان IC₅₀ نمونه‌ها از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

$$(1) \quad \text{جذب کنترل} = \frac{100 \times (\text{جذب شاهد} - \text{جذب نمونه})}{1 - \text{جذب کنترل}}$$

۷.۲. آزمون فنل کل نمونه‌ها

۱.۱.۹.۲. ایجاد الگوی سه‌گانه بر مبنای ارزیابی هدونیک پنج نقطه‌ای

الگوی سه‌گانه‌های ایجاد شده برای ارزیابی حسی پنج نقطه‌ای به صورت جدول (۱) می‌باشد. در این شکل الگوی هدونیک پنج نقطه‌ای به ۱۰۰ قسمت تقسیم شده و پنج سه‌گانه در قالب ضعیف، کمی ضعیف، متوسط، خوب و بسیار خوب با سطح مساوی از ۰ تا ۲۵، ۲۵ تا ۵۰، ۵۰ تا ۷۵ و ۷۵ تا ۱۰۰ برای سه‌گانه‌ها تعریف شد.

آزمون سنجش محتوای فنل کل توسط معرف فولین سیوکالتیو و براساس روش عبدالملک و همکاران صورت گرفت و میزان جذب تمام آب‌میوه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Biowave II) با طول موج ۷۶۵ nm بررسی شد. سپس منحنی استاندارد اسید گالیک با غلظت‌های مختلف رسم شد و مقدار فنل کل آب‌میوه‌ها بر پایه منحنی استاندارد اسید گالیک تحلیل گشت [۱۲].

۸.۲. بررسی خواص فیزیکی شیمیایی (سنجش اسیدیته و pH)

pH آب‌میوه‌ها با دستگاه pH متر (مدل EcoMet) [۱۲] و اسیدیته نمونه‌ها با روش پتانسیومتری سنجش شد [۱۳].

۹.۲. تحلیل‌های آماری

۱.۹.۲. تحلیل نتایج ارزیابی حسی به روش منطق فازی

تحلیل داده‌های ارزیابی حسی با روش منطق فازی انجام شد. در روش منطق فازی از ایجاد سه‌گانه‌ها و یا مثلث‌هایی برای محاسبه ارزیابی حسی استفاده می‌شود. در این حالت ابتدا امتیازهای ارزیابی حسی به شکل سه‌گانه رتبه‌بندی می‌شود. برای این کار ابتدا امتیاز کلی ارزیابی حسی برای هریک از نمونه‌های توت‌فرنگی محاسبه شده و به شکل سه‌گانه در می‌آید؛ و پس از آن، عضویت نمونه‌ها در هریک از

جدول (۱) دامنه الگوهای سه‌گانه‌های ارزیابی حسی پنج نقطه‌ای
Table 1. Ranges for five points hedonic sensory evaluation triplets

دامنه آزمون پنج نقطه‌ای Hedonic test range	سه‌تایی‌ها Triplets	دامنه سه‌تایی‌ها Range of triplets
بی‌اهمیت Not important	abc	(0 0 25)
کم اهمیت Somewhat important	ade	(0 25 50)
مهم Important	cfg	(25 50 75)
خیلی مهم Highly important	ehi	(50 75 100)
بسیار با اهمیت Extremely important	Gij	(75 100 100)

برای مثال در این جدول، سه‌گانه‌ی abc میزان عضویت یک نمونه را در محدوده خیلی ضعیف نشان می‌دهد که دامنه آن بین ۰ تا ۲۵ تغییر می‌کند و البته به‌عنوان اولین سه‌گانه از ابتدا تا ۲۵ به صورت نزولی ادامه دارد؛ اما الگوی بعدی یک مثلث یا سه‌گانه است که از ۰ تا ۲۵ به صورت صعودی بوده و از ۲۵ تا ۵۰ به صورت نزولی است. این دامنه به شرح جدول (۱) برای همه سه‌گانه‌ها تعریف شد. هم‌چنین لازم به ذکر است در این جدول عدد وسط بیشترین عضویت یک نمونه در سه‌گانه را نشان می‌دهد و عدد دوم و سوم به ترتیب فاصله عدد وسط از طرف چپ و راست را نشان می‌دهد.

1. radical scavenging assay

۲.۱.۹.۲. ایجاد مثلث‌های سه‌گانه برای هریک از کرده بودند برای همه نمونه‌ها به صورت سه‌گانه تعریف ویژگی‌های مورد استفاده در هدونیک شدند. نتیجه این سه‌گانه‌ها در جدول (۲) نشان داده شده با توجه به جدول (۱) تعداد افرادی که در آزمون شرکت است.

جدول (۲) گستره‌ی الگوهای سه‌گانه‌های ارزیابی حسی هر نمونه

Table 2. Development of triplets for sensory evaluation attributes of each sample

شاخص‌های حسی Sensory factors	تعداد ارزیاب‌ها Number of evaluators					سه‌تایی‌ها برای ارزیابی حسی Triplets for sensory
	عالی Excellent	خوب Good	متوسط Medium	بد Fair	بسیار بد (ناراضی) Not satisfactory	
رنگ Colour						
توت‌فرنگی تازه Fresh strawberry	6	14	2	1	0	(77.17 25.00 18.48)
توت‌فرنگی منجمد (۳ روز) Frozen strawberry (3 days)	10	12	0	1	0	(83.70 25.00 14.83)
توت‌فرنگی منجمد (۳۰ روز) Frozen strawberry (30 days)	14	7	2	0	0	(88.04 25.00 9.78)
توت‌فرنگی منجمد (۶۰ روز) Frozen strawberry (60 days)	12	7	3	1	0	(82.61 25.00 11.96)
توت‌فرنگی منجمد (۱۸۰ روز) Frozen strawberry (180 days)	7	5	1	1	0	(82.14 25.00 12.50)
عطر و بو Aroma						
توت‌فرنگی تازه Fresh strawberry	7	6	6	4	0	(67.32 25.00 17.39)
توت‌فرنگی منجمد (۳ روز) Frozen strawberry (3 days)	0	5	12	5	1	(47.83 23.91 25.00)
توت‌فرنگی منجمد (۳۰ روز) Frozen strawberry (30 days)	14	3	6	0	0	(83.70 25.00 9.78)
توت‌فرنگی منجمد (۶۰ روز) Frozen strawberry (60 days)	13	3	6	1	0	(80.44 25.00 10.87)
توت‌فرنگی منجمد (۱۸۰ روز) Frozen strawberry (180 days)	4	3	6	1	0	(67.86 25.00 17.86)
مزه Taste						
توت‌فرنگی تازه Fresh strawberry	2	4	9	6	2	(47.83 22.83 22.83)
توت‌فرنگی منجمد (۳ روز) Frozen strawberry (3 days)	0	6	8	6	3	(43.48 21.74 25.00)
توت‌فرنگی منجمد (۳۰ روز) Frozen strawberry (30 days)	7	4	8	3	1	(64.13 23.91 17.39)
توت‌فرنگی منجمد (۶۰ روز) Frozen strawberry (60 days)	8	4	9	2	0	(69.57 25.00 16.31)
توت‌فرنگی منجمد (۱۸۰ روز) Frozen strawberry (180 days)	1	2	7	4	0	(50.00 25.00 23.21)
احساس دهانی Mouthfeel						
توت‌فرنگی تازه	2	6	7	6	2	(50.00 22.83 22.83)

Fresh strawberry						
توت‌فرنگی منجمد (۳ روز)	1	5	7	10	0	(46.74 25.00 23.91)
Frozen strawberry (3 days)						
توت‌فرنگی منجمد (۳۰ روز)	5	8	7	3	0	(66.30 25.00 19.57)
Frozen strawberry (30 days)						
توت‌فرنگی منجمد (۶۰ روز)	6	7	7	3	0	(67.39 25.00 18.48)
Frozen strawberry (60 days)						
توت‌فرنگی منجمد (۱۸۰ روز)	1	1	7	4	0	(48.08 25.00 23.08)
Frozen strawberry (180 days)						

برای ایجاد این سه‌گانه‌ها ابتدا تمام افرادی که در آزمون شرکت کرده بودند در سه‌گانه‌هایی که در جدول (۱) تعریف شده بود بر طبق فرمول یک ضرب شدند و سپس همه سه‌گانه‌ها با هم جمع شدند و به تعداد کل ارزیاب‌ها تقسیم

$$S1C = \frac{0(0 \ 0 \ 25)+1(0 \ 25 \ 50)+2(25 \ 50 \ 75)+14(50 \ 75 \ 100)+6(75 \ 100 \ 100)}{(0+1+14+6)} \quad (2)$$

شوند که نتیجه در جدول (۲) نشان داده شد. برای مثال در مورد رنگ توت‌فرنگی تازه محاسبات به شکل رابطه (۲) می‌باشد.

یکی از ویژگی‌های منطق فازی، امکان اعمال اهمیت فاکتورهاست. اهمیت فاکتورها از طریق یک فرم جداگانه توسط ارزیاب‌ها امتیازدهی شده بود؛ بنابراین اهمیت هر یک از شاخص‌ها نیز به صورت سه‌گانه تعریف شد. نتایج ایجاد

جدول (۳) گستره‌ی الگوهای ویژگی‌های سه‌گانه برای هر شاخص
Table 3. Development of quality attributes triplets for each attribute

شاخص‌های حسی Sensory factors	تعداد ارزیاب‌ها Number of evaluators					سه‌تایی‌های مرتبط با وزن‌دهی Triplet for relative weightage
	بی‌اهمیت Not important	با اهمیت کم Somewhat important	مهم Important	خیلی مهم Highly important	بسیار با اهمیت Extremely important	
رنگ Color	1	1	11	7	3	(60.86 23.91 21.74)
عطر و بو Aroma	0	1	5	10	7	(75.00 75.00 17.39)
مزه Taste	0	0	0	3	20	(96.74 25.00 3.26)
احساس دهانی Mouthfeel	1	2	3	5	12	(77.17 23.91 11.96)

بر اساس مجموع شاخص‌ها انجام می‌شود. برای رسیدن به این هدف لازم است تا همه شاخص‌ها با هم جمع شود. برای این کار و ایجاد سه‌گانه‌های تجمیع شده ابتدا وزن

۳.۱.۹.۲. تجمیع شاخص‌های رنگ، بو، طعم و احساس دهانی بر اساس وزن نسبی اهمیت یکی از اهداف منطق فازی رتبه‌بندی نمونه‌ها است که

برای نمونه‌ها محاسبه شود. برای انجام این کار از ضرب توابع استفاده شد که در رابطه (۴) نشان داده شده است.

$$(a \ b \ c) \times (d \ e \ f) = (a \times d \ \ a \times e + d \times b \ \ a \times f + d \times c) \quad (4)$$

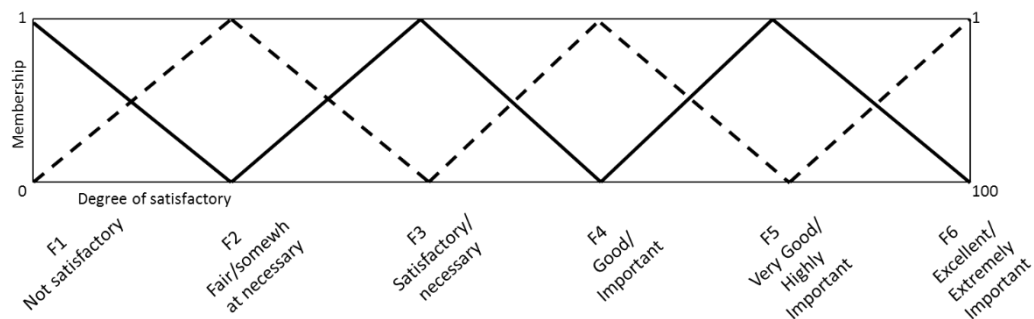
۴.۱.۹.۲. ایجاد الگوی استاندارد برای دفازی کردن

در ادامه باید داده‌های به دست آمده استاندارد سازی شود تا بتوان نتایج به دست آمده را با هم مقایسه نمود. برای این کار ابتدا یک الگوی استاندارد فازی ایجاد شد که در شکل (۲) نشان داده شده است.

نسبی هر شاخص در امتیاز محاسبه شده برای آن شاخص ضرب شده و سپس همه شاخص‌ها طبق رابطه (۳) با هم جمع شد.

$$SO_1 = S_1C \times QC_{rel} + S_1A \times QA_{rel} + S_1T \times QT_{rel} + S_1M \times QM_{rel} \quad (3)$$

در این معادله برای مثال برای نمونه توت‌فرنگی تازه شاخص‌های رنگ، بو، مزه و احساس دهانی به ترتیب S_1C ، S_1A ، S_1T و S_1M است که در اهمیت هر شاخص به صورت وزن نسبی (QC_{rel} ، QA_{rel} ، QT_{rel} و QM_{rel}) ضرب می‌شود. این فرآیند برای همه نمونه‌ها انجام می‌گردد تا یک امتیاز کلی



شکل (۱) مقیاس فازی استاندارد برای دفازی کردن

Fig.1. Standard fuzzy scale for defuzzification

(۲) نشان داده شده است. در این شکل به عنوان مثال یک سه‌گانه و یا اصطلاحاً یک تابع عضویت abc نشان داده شده است. در این سه‌گانه به راحتی می‌توان میزان عضویت یک نمونه را در تابع به دست آورد. در این سه‌گانه اگر مقدار عددی یک نمونه a باشد یعنی میزان عضویت ۱ است و از a-b کمتر و یا از a+c بیشتر باشد مقدار عضویت صفر است و برای مقادیر بین این دو عدد که در بازه سه‌گانه قرار گیرد مقدار عضویت بر اساس رابطه‌های (۶) محاسبه می‌گردد و به شکل Bx نشان داده می‌شود.

براساس الگوی ایجادشده که در شکل (۱) نشان داده شده است شش معادله به صورت F1 تا F6 ایجاد شد که در رابطه (۵) نشان داده شده است.

$$(5)$$

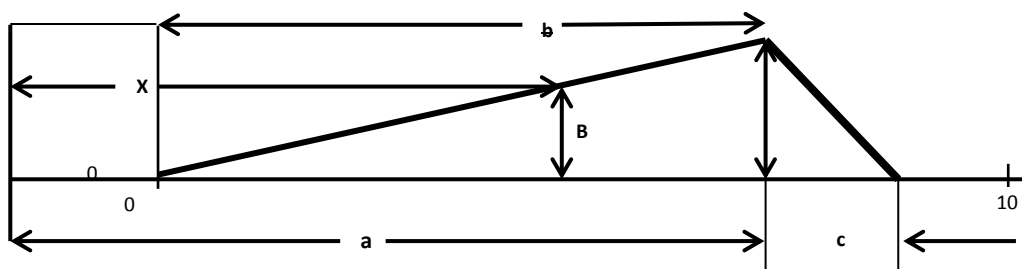
$$\begin{aligned} F1 &= (1, 0.5, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0) \\ F2 &= (0.5, 1, 1, 0.5, 0, 0, 0, 0, 0, 0) \\ F3 &= (0, 0, 0.5, 1, 1, 0.5, 0, 0, 0, 0) \\ F4 &= (0, 0, 0, 0, 0.5, 1, 1, 0.5, 0, 0) \\ F5 &= (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.5, 1, 1, 0.5) \\ F6 &= (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.5, 1) \end{aligned}$$

۵.۱.۹.۲. استفاده از مقیاس فازی استاندارد برای

محاسبه میزان عضویت‌های استاندارد

در این مرحله برای اینکه داده‌ها دفازی شود، لازم است تا سه‌گانه‌های کلی ایجاد شده برای هر نمونه در الگوی دفازی و یا خروجی بررسی شود. این کار به صورت نمایی در شکل

$$\begin{aligned} Bx &= \frac{x-(a-b)}{b} & \text{for } (a-b) < x < a \\ Bx &= \frac{(a+b)-x}{c} & \text{for } a < x < (a+c) \\ Bx &= 0 & \text{for } x < (a-b) \text{ and } x > (a+c) \end{aligned} \quad (6)$$



شکل (۲) یافتن Bx در یک سه‌گانه از طریق معادله
 Fig 2. Finding Bx in a triplet through equation (5)

این فرآیند برای همه نمونه‌ها با هم انجام شد و در نهایت نمونه‌ها با هم مقایسه شد. بدیهی است بالاترین میزان عضویت در هر دسته به عنوان رتبه نهایی نمونه‌ها در نظر گرفته شد.

۷.۱.۹.۲. رتبه‌بندی اهمیت شاخص‌ها

منطق فازی این قابلیت را دارد تا میزان اهمیت شاخص‌ها که توسط ارزیابان بررسی شده بود را نیز رتبه‌بندی نماید. به همین خاطر از ارزیابان خواسته شده بود تا میزان اهمیت شاخص‌های رنگ، بو، مزه و احساس دهانی را نیز در یک فرم جداگانه امتیازدهی نمایند. برای این کار مانند مراحل بالا ابتدا برای اهمیت شاخص‌ها سه‌گانه‌هایی تعریف شد و سپس با استفاده از الگوی استاندارد امتیازها بررسی شد و در نهایت میزان اهمیت هر یک از شاخص‌ها با استفاده از الگوی فازی رتبه‌بندی شد. لازم به ذکر است در بررسی میزان اهمیت شاخص‌ها از دسته‌های غیر مهم، کمی ضروری، مهم، خیلی مهم، بسیار ضروری استفاده شد و بیشترین اشتراک هر شاخص، رتبه آن شاخص در دسته مورد ارزیابی در نظر گرفته شد. برای انجام محاسبات در این مرحله از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

۸.۱.۹.۲. تحلیل نتایج آزمایش‌های فیزیکی‌وشیمیایی

برای تحلیل نتایج از نرم‌افزار مینی‌تب استفاده شد و داده‌ها با استفاده از روش تحلیل واریانس یک‌طرفه مقایسه شد و آزمون توکی با فاصله اطمینان ۹۵٪ برای مقایسه میانگین‌ها به کار گرفته شد. تمامی آزمایش‌های فیزیکی‌وشیمیایی به صورت سه تکرار انجام شد.

حال با توجه به اینکه در الگوی دفازی کردن بازه تغییرات محور x به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده بود برای هر یک از نمونه‌ها مقادیر عضویت از صفر تا ۱۰۰ با فاصله‌های ۱۰ تایی براساس معادله شماره ۵ محاسبه می‌گردد. به این ترتیب برای هر نمونه ۱۰ عدد به عنوان Bx به دست می‌آید که در واقع میزان مشارکت هر نمونه در تمامی سه‌گانه‌های الگوی استاندارد است. لازم به ذکر است برای حل معادلات از اعداد اول تا سوم هر یک از سه‌گانه‌ها به عنوان اعداد مورد استفاده در الگوی استاندارد (اعداد a , b و c) استفاده می‌شود.

۶.۱.۹.۲. رتبه‌بندی نهایی نمونه‌ها

حال میزان اشتراک ۱۰ عدد به دست آمده به عنوان Bx با تابع استاندارد مقایسه شده و میزان اشتراک نهایی هر نمونه در شش بازه ناخرسند، نامناسب، خرسند، خوب، خیلی خوب و عالی که در شکل (۱) نشان داده شده است براساس رابطه ۷ محاسبه می‌شود و با تابع استاندارد مقایسه خواهد شد.

(۷)

$$Sm(F, B) = \frac{F \times B'}{\text{Max}(F \times F' \text{ and } B \times B')}$$

در این معادله:

Sm میزان اشتراک برای نمونه

$F \times B'$ محصول ماتریکس F با معکوس ماتریکس B

$F \times F'$ محصول ماتریکس F با معکوس F

$B \times B'$ محصول ماتریکس B با معکوس ماتریکس B است.

بنابراین با استفاده از ضرب ماتریکس‌ها برای هر نمونه Sm برای مجموعه‌های:

$Sm(F1, B1)$, $Sm(F2, B1)$, $Sm(F3, B1)$, $Sm(F4, B1)$, $Sm(F5, B1)$, and $Sm(F6, B1)$

محاسبه شدند.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. نتایج اولیه ارزیابی حسی نمونه‌های توت‌فرنگی به

روش هدونیک

بررسی نتایج اولیه ارزیابی حسی جدول (۲) نشان می‌دهد شاخص‌های رنگ و عطر و بو در توت‌فرنگی از مقبولیت بالاتری برخوردار است و شاخص‌های طعم و احساس دهانی در مراحل بعدی قرار می‌گیرند؛ اما اظهار نظر آماری و علمی در مورد نتایج نیاز به بررسی و تحلیل نتایج با استفاده از روش‌های تحلیلی نظیر منطق فازی دارد که در ادامه توضیح داده می‌شود.

۲.۳. بررسی نتایج سه‌گانه‌های تجمیع شده از

شاخص‌ها با در نظر گرفتن وزن نسبی

اهمیت شاخص‌ها یکی از مواردی است که بسیار مورد توجه است و معمولاً در ارزیابی‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. در بررسی حاضر براساس منطق فازی اهمیت وزنی شاخص‌ها در نتایج اولیه اعمال گردیده است که در جدول (۴) نشان داده شده است. این نتایج حاصل از ضرب وزنی شاخص‌ها براساس رابطه (۳) است. نتایج حاصل از جدول (۴) در واقع ایجاد ورودی‌های مورد نیاز برای فازی کردن داده‌ها می‌باشد.

جدول (۴) تهیه سه‌گانه فازی برای نمرات کلی حسی نمونه‌های توت‌فرنگی تازه و منجمد

Table 4. Development of fuzzy triplets for overall sensory scores of fresh and frozen Strawberry juice samples

نمونه Sample	سه تایی‌ها برای نمرات کلی ارزیابی حسی Triplets for overall sensory scores (58.87 42.89 32.29)
توت‌فرنگی تازه Fresh strawberry	(53.24 41.16 33.41)
توت‌فرنگی منجمد (۳ روز) Frozen strawberry (3 days)	(74.45 47.92 26.16)
توت‌فرنگی منجمد (۳۰ روز) Frozen strawberry (30 days)	(74.40 48.08 25.95)
توت‌فرنگی منجمد (۶۰ روز) Frozen strawberry (60 days)	(61.24 42.36 24.96)
توت‌فرنگی منجمد (۱۸۰ روز) Frozen strawberry (180 days)	

جدول (۵) محاسبه مقادیر B_x برای نمونه‌های ارزیابی شدهTable 5. Calculation of B_x values for evaluated samples

B_x	B_x values									
توت‌فرنگی تازه Fresh strawberry	0	0.093803	0.326932	0.560060	1	1	0.965037	0.655327	0.345618	0
توت‌فرنگی منجمد (۳ روز) Frozen strawberry (3 days)	0	0.192197	0.435177	0.678158	0.921138	1	0.797854	0.498573	0.199292	0
توت‌فرنگی منجمد (۳۰ روز) Frozen strawberry (30 days)	0	0.072326	0.281004	0.489683	0.698361	0.90704	1	0.788051	0.405836	0.023621
توت‌فرنگی منجمد (۶۰ روز) Frozen strawberry (60 days)	0	0.07648	0.28448	0.49248	0.70048	0.90848	1	0.78417	0.39874	0.01331
توت‌فرنگی منجمد (۱۸۰ روز) Frozen strawberry (180 days)	0	0.02652	0.26256	0.49861	0.73465	1	1.04974	0.64915	0.24856	0

محصول نگذاشته است [۱۴]؛ اما در مقابل کربونل و همکاران نشان داده‌اند که انجماد در دمای °C ۲۰- موجب کاهش چشمگیری در خواص ارگانولپتیک میوه نارنگی می‌گردد به طوری که هم عطر و بو و هم طعم میوه تغییر معنی‌دار نموده و افت می‌کند [۱۵]. به صورت مشابه زغال‌اخته منجمد شده در مقایسه با زغال‌اخته تازه دچار افت خواص ارگانولپتیک شد در حالی که مصرف‌کنندگان رنگ نمونه منجمد شده را بیشتر ترجیح دادند [۱۶]. انجماد هم‌چنین خواص ارگانولپتیک میوه خرمای منجمد شده را کاهش داد [۱۷]. در مجموع به نظر می‌رسد انجماد بیشترین تأثیر نامناسب را بر روی بافت میوه مورد انجماد ایجاد می‌کند. انجماد هم‌چنین باعث تغییر ترکیب قندهای موجود در میوه‌ها شده و در طعم میوه‌ها تغییراتی ایجاد می‌کند [۱۷]. در یک بررسی دیگر، بلوت و همکاران دریافتند که انجماد موجب کاهش خواص ارگانولپتیک توت‌فرنگی و لوبیا سبز منجمد می‌گردد. این محققین نمونه‌های خود را به مدت ۹۰ روز در دمای °C ۲۷- نگهداری نمودند [۱۸]. به طور کلی انجماد می‌تواند باعث کاهش ترکیبات رنگی میوه‌ها نظیر بتاکاروتن و کلروفیل گردیده و رنگ نمونه‌ها را دچار افت نماید. در واقع انجماد باعث شکسته شدن سلول‌ها و بافت میوه‌ها و سبزی‌های منجمد شده و باعث خروج رنگدانه‌ها از درون سلول‌ها و بافت نمونه‌ها می‌شود [۱۹].

از این نتایج در مراحل بعدی برای ایجاد و محاسبه ضریب B_x استفاده خواهد شد. ضرایب B_x براساس فرمول‌های رابطه (۶) محاسبه شده و در جدول (۵) ذکر شده است.

۳.۳. رتبه‌بندی نهایی توت‌فرنگی‌های تازه و نگهداری شده براساس منطق فازی

جدول (۶) رتبه‌بندی نهایی نمونه‌های توت‌فرنگی تازه و توت‌فرنگی‌های منجمد شده را براساس امتیاز فازی نشان می‌دهد. بیشترین میزان عضویت در همه نمونه‌ها در گروه خوب قرار دارد که به طور کلی نشان می‌دهد انجماد تغییر چندانی در مقبولیت نمونه‌ها از نظر حسی ایجاد نمی‌کند. براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نمونه ۳۰ روز منجمد شده را در رتبه یک قرار داد. به طور کلی رتبه‌بندی نمونه‌ها به شکل زیر خواهد بود؛ اما در مجموع انجماد تأثیر خاصی بر ارزیابی حسی نشان نمی‌دهد.

توت‌فرنگی تازه > توت‌فرنگی ۳ روز منجمد شده > توت‌فرنگی ۱۸۰ روز منجمد شده > توت‌فرنگی ۶۰ روز منجمد شده > توت‌فرنگی ۳۰ روز منجمد شده

بررسی‌های متعددی در زمینه اثر انجماد بر روی ارزیابی حسی میوه‌ها انجام شده است. برای مثال نگهداری میوه کیوی در انجماد در دمای °C ۱۸- به مدت طولانی تأثیر زیادی بر روی خواص ارگانولپتیک و ویژگی‌های حسی این

جدول (۶) رتبه بندی فازی نمونه‌های آب توت‌فرنگی ارزیابی شده
Table 6. Fuzzy ranking of evaluated strawberry juice samples

مقیاس رتبه بندی Ranking scale	Fresh	3 days	30 days	60 days	180 days
خیلی بد (ناراضی) Not satisfactory, F1	0.012	0.02778	0.01057	0.01118	0.003852
بد Fair, F2	0.17924	0.27936	0.17487	0.17757	0.156368
رضایتبخش (نه خوب نه بد) Satisfactory, F3	0.51584	0.6697	0.52097	0.52332	0.541529
خوب Good, F4	0.68788	0.72486	0.774768	0.77522	0.796273
خیلی خوب Very good, F5	0.38404	0.31703	0.498640	0.49411	0.413168
عالی Excellent, F6	0.05339	0.02882	0.066226	0.06222	0.036095

شاخص‌ها را به ترتیب بافت (بسیار مهم) < طعم (ضروری) < رنگ (تا حدی مهم) طبقه‌بندی نمودند [۲۱]. اهمیت شاخص‌ها برای میوه خرما نیز به ترتیب رنگ، بافت میوه و طعم بودند [۱۷]. از طرف دیگر باید توجه داشت ظاهر یک محصول در انتخاب آن برای استفاده بسیار مؤثر است. در واقع مصرف‌کنندگان ابتدا یک محصول را از روی ظاهر بررسی نموده و سپس در صورت پذیرش ظاهر یک محصول، آن را امتحان نموده و استفاده می‌کنند. پس از ظاهر، عطر و بوی یک محصول از اهمیت بالایی برخوردار است که موجب انتخاب آن محصول می‌گردد. در واقع در صورتی که عطر و بوی یک محصول ناخوشایند باشد مصرف‌کنندگان از امتحان آن محصول امتناع خواهند نمود [۲۲]. در مقابل این موضوع ارزش تغذیه‌ای یک محصول است که علی‌رغم اهمیت بسیار بالا، معمولاً از چشم مصرف‌کنندگان دور می‌ماند و کمتر به آن توجه می‌کنند. در بسیاری از موارد، مصرف‌کنندگان با ظاهر یک محصول شفاف و زیبا، تصور می‌کنند که محصول موجود دارای خواص تغذیه‌ای بالایی هم می‌باشد در حالی که معمولاً این‌گونه نیست [۲۲]؛ اما در پژوهش انجام شده ارزیابان حسی، طعم را به عنوان بهترین شاخص در نظر گرفته‌اند که با گزارش‌های قبلی هم‌خوانی ندارد. شاید دلیل اصلی این موضوع این باشد که در ارزیابی حسی نمونه‌ها از آب‌میوه توت‌فرنگی استفاده شد و این موضوع باعث شد تا ظاهر نمونه‌ها دیده نشود و رنگ همه نمونه‌ها یکنواخت شود و بنابراین از نظر ارزیابان با اهمیت کمتری درجه‌بندی شود جدول (۷). در واقع هدف اصلی از این پژوهش ارزیابی حسی نمونه‌های توت‌فرنگی پس از انجماد به منظور بررسی امکان استفاده آن در محصولات فرآوری شده بود که نشان می‌دهد این امر امکان‌پذیر است.

در منطق فازی با توجه به اهمیتی که ارزیابان به شاخص‌های مورد ارزیابی می‌دهند می‌توان هر شاخص را به صورت جداگانه در میوه تازه و نمونه‌های منجمد مورد تحلیل قرار داد؛ اما همانگونه که ذکر شد انجماد تأثیر زیادی بر روی خصوصیات ارگانولپتیک نمونه‌ها نداشت؛ بنابراین نیازی به تحلیل جداگانه هر شاخص به تنهایی در همه نمونه‌ها به چشم نمی‌خورد.

در مطالعه حاضر توت‌فرنگی ۳۰ روز منجمد شده از نظر ارزیابان با ویژگی‌های حسی بهتر نسبت به سایر نمونه‌ها و حتی نمونه توت‌فرنگی تازه تشخیص داده شد که از این نظر با بسیاری از گزارش‌های فوق متفاوت است. شاید دلیل اصلی این باشد که برخلاف مطالعات قبلی، در پژوهش حاضر از آب میوه توت‌فرنگی استفاده شد و به همین دلیل تأثیر انجماد بر روی بافت نمونه‌ها و تغییر ظاهر و حتی رنگ نمونه‌ها کمتر توسط ارزیابان مشهود بود. انجماد موجب کاهش آب میوه‌ها می‌شود که این موضوع خود می‌تواند باعث بهبود خواص دهانی نمونه‌ها شود. از این نظر می‌توان استنتاج نمود در صورتی که هدف تولید آب‌میوه از توت‌فرنگی و یا فرآوری این میوه باشد، انجماد روشی قابل قبول برای نگهداری طولانی مدت این محصولات خواهد بود.

۴.۳. رتبه‌بندی اهمیت شاخص‌ها

رتبه‌بندی اهمیت شاخص‌ها با استفاده از منطق فازی در جدول (۷) نشان داده شده است. نتیجه نهایی رتبه‌بندی که از جدول (۷) استنتاج می‌گردد به شکل زیر می‌باشد.

رنگ > احساس دهانی > عطر و بو > طعم

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بیشترین اهمیت از نظر ارزیابان مربوط به طعم نمونه‌ها است در حالی که ارزیابان حسی کمترین اهمیت را برای رنگ نمونه‌ها در نظر گرفته‌اند؛ اما در مجموع، ارزیابان اهمیت هیچ شاخصی را کم اهمیت یا بی‌اهمیت در نظر نگرفته‌اند.

رتبه‌بندی و تحلیل اهمیت شاخص‌ها از جمله مواردی است که معمولاً با روش‌های تحلیل موجود، قابل بررسی نیست در حالی که منطق فازی می‌تواند اهمیت شاخص‌ها را نیز به طور مجزا بررسی نموده و میزان اهمیت آنها را در تحلیل نهایی نتایج ارزیابی حسی اعمال کند. روترای و میشر با استفاده از روش تحلیل منطق فازی ویژگی‌های حسی را برای نوعی نوشیدنی سنتی به نام داهی (dahi) بررسی نمودند و نشان دادند طعم، بیشترین اهمیت را برای ارزیابی این نوشیدنی دارد. ترتیب اهمیت شاخص‌ها به ترتیب مزه < طعم و بو < یکنواختی < رنگ بود [۲۰]. رضاقلی و حصاری‌نژاد (۲۰۱۸)، از منطق فازی برای بررسی اهمیت شاخص‌ها در بیماران سلیاکی استفاده کردند و ترتیب اهمیت

جدول (۷) رتبه‌بندی فازی برای اهمیت رنگ، عطر، طعم و احساس دهانی
 Table 7. Fuzzy ranking of importance for color, aroma, taste and mouthfeel

مقیاس رتبه بندی Ranking scale	رنگ Color	عطر و بو Aroma	مزه Taste	احساس دهانی Mouthfeel
بی‌اهمیت Not important, F1	0	0	0	0
کمی مهم Somewhat important, F2	0.14	0	0	0
لازم Necessary, F3	0.82	0.29	0.007	0.18
مهم important, F4	0.62	0.92	0.35	0.86
خیلی مهم Highly important, F5	0.05	0.54	0.91	0.75
بسیار با اهمیت Extremely important, F6	0.0	0.02	0.46	0.08

۵.۳. نتایج pH آب میوه‌های تازه و منجمد

نتایج حاصل در جدول (۸) ارائه شد.

جدول (۸) مقایسه‌ی مقادیر pH، اسیدیته، آنتی‌اکسیدان، محتوای فنل نمونه‌های آب توت‌فرنگی تازه و منجمد
 Table 8. Comparison of pH, Acidity, Antioxidant, Total phenol values of fresh and frozen strawberry juice samples

زمان (روز) Time (Day)	pH	اسیدیته Acidity	آنتی‌اکسیدان Dpph	غلظت فنل کل* TPC (mg GAE/g DW)
0	5.14 ± 0.07 ^A	1.15 ± 0.05 ^A	92.62 ± 0.14 ^A	0.139 ± 0.003 ^A
3	5.05 ± 0.07 ^A	1.17 ± 0.03 ^A	91.70 ± 0.37 ^A	0.134 ± 0.003 ^{AB}
30	3.38 ± 0.10 ^B	1.21 ± 0.03 ^{AB}	88.90 ± 0.11 ^B	0.126 ± 0.003 ^{BC}
60	3.27 ± 0.06 ^B	1.28 ± 0.03 ^{BC}	87.89 ± 0.23 ^B	0.125 ± 0.003 ^{BC}
180	3.22 ± 0.05 ^B	1.33 ± 0.04 ^C	67.36 ± 1.09 ^C	0.117 ± 0.004 ^C

• اعداد در هر ستون با حروف انگلیسی متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار با ضریب اطمینان ۹۵٪ می‌باشند

چنانچه آناناس در دمای ۱۸ °C- به مدت ۱۲ ماه نگهداری شود، تغییر معنی‌داری در pH صورت نمی‌گیرد هر چند که میزان اسیدیته به طرز معنی‌داری افزایش می‌یابد [۲۴]. در مطالعه دیگری که توسط رولستاد و همکاران (۱۹۷۰) اثر انجماد بر روی توت‌فرنگی را بررسی کردند و تأثیر معنی‌دار انجماد بر کاهش pH و افزایش اسیدیته را مشاهده کردند. همچنین در این مطالعه بین کاهش pH و مطلوبیت رنگ نمونه‌ها ارتباط معنی‌داری وجود داشت [۲۵]. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این مطالعه نیز همانند مطالعه یاد شده

طبق یافته‌ها آب‌میوه‌های منجمد طی مدت طولانی نگهداری یعنی بازه ۱۸۰ روز با کاهش pH روبرو شد اما در کوتاه مدت pH کاهش معنی‌داری را تجربه نمی‌کند. در مطالعه‌ای که جفری و همکاران (۲۰۱۷) در مورد بررسی پایداری فیزیکی و شیمیایی آب پرتقال خونی طی ذخیره‌سازی در سرما انجام دادند، دریافتند که pH پرتقال خونی طی ۵ ماه ذخیره‌سازی در سرما و دمای ۵ °C از ۳/۷۴ به ۳/۳۴ و pH کنستانتره پرتقال خونی از ۳/۸۱ به ۳/۵۰ کاهش پیدا کرد [۲۳]. بارتولومی و همکاران (۱۹۹۶) در مطالعه‌ای، دریافتند که

انجماد مرتبط باشد. در مطالعه دیگری بررسی توت‌فرنگی‌های منجمد نشان داد، انجماد باعث کاهش pH و افزایش اسیدیته می‌گردد. این مشاهدات حاکی از ارتباط معنی‌دار pH و اسیدیته بود و علت آن نیز افزایش مقدار اسید سیتریک در طی بازه زمانی نگهداری عنوان شده است [۲۵]. در پژوهشی دیگر تحت عنوان تأثیر دوره نگهداری و دما بر ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های حسی برش‌های مکعبی گوجه‌فرنگی، اثبات شد که با افزایش زمان نگهداری گوجه‌فرنگی تا شش ماه در 20°C ، اسیدیته افزایش بیشتری نسبت به نگهداری آن در دمای 30°C می‌یابد و بطور کلی نگهداری انجمادی باعث افزایش اسیدیته گوجه‌فرنگی می‌شود [۲۶]. به نظر می‌رسد با برش میوه‌ها سرعت کاهش و تصعید آب میان بافتی از داخل گوجه‌فرنگی افزایش می‌یابد و به دنبال آن غلظت ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی در برش‌های گوجه‌فرنگی افزایش نشان می‌دهد. در مطالعه حاضر انجماد باعث کاهش معنی‌دار توت‌فرنگی گردید (جدول ۹). براساس مطالعات بالا می‌توان نتیجه گرفت کاهش نسبی pH و افزایش اسیدیته به دلیل افزایش نسبی اسیدهای آلی موجود در نمونه‌های توت‌فرنگی می‌باشد. در هر صورت براساس نتایج به دست آمده تغییرات ایجاد شده آنقدر مشهود نبود و بر اساس ارزیابی‌های انجام شده به روش منطق فازی باعث ایجاد تفاوت معنی‌داری در ارزیابی حسی نمونه‌ها نشد.

۷.۳. نتایج فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های بررسی شده

داده‌های حاصل از سنجش سطح فعالیت آنتی‌اکسیدانی آب توت‌فرنگی تازه و منجمد در جدول (۸) نشان داده شده است. آنتی‌اکسیدان‌ها و ترکیبات فنلی را می‌توان از مهم‌ترین مواد زیست‌فعال دانست که در پی نگهداری انجمادی میوه‌ها کاهش می‌یابند (جدول ۶). در مطالعه‌ای که توسط جفری و همکاران (۲۰۱۹) درباره تأثیر فیلم و ذخیره‌سازی بر ویژگی‌های فنلی و آنتی‌اکسیدانی تمشک قرمز صورت گرفت، نشان داده شد که تمشک قرمز طی نگهداری انجمادی در فریزر و بدون پوشش فیلم، دچار کاهش اسید آسکوربیک و

انجماد نمونه‌های توت‌فرنگی سطح مطلوبیت ارگانولپتیک نمونه‌ها را افزایش می‌دهد جدول (۸) که با مطالعات قبلی هم‌خوانی دارد.

۶.۳. نتایج حاصل از بررسی اسیدیته آب میوه‌های تازه و منجمد

یافته‌های به دست آمده از بررسی میزان اسیدیته آب توت‌فرنگی تازه و منجمد در جدول (۸) ارائه شده است. با افزایش زمان انجماد نمونه‌ها، اسیدیته آن‌ها تا حدودی افزایش یافته که با کاهش pH نمونه‌ها جدول (۸) متناسب است. در هر صورت سیر افزایش اسیدیته تا مدت ۱۸۰ روز ادامه داشته است و برخلاف pH تغییرات آن تثبیت نمی‌گردد. در مطالعه‌ای که جفری و همکاران (۲۰۱۷)، با موضوع پایداری فیزیکی و شیمیایی آب پرتقال خونی هنگام نگهداری در سرما انجام دادند مشاهده شد که میزان اسیدیته در آب پرتقال خونی پس از سپری کردن پنج ماه ذخیره‌سازی در سرما از $12/66 \text{ g/l}$ به $13/16$ ($3/94\%$) رسید. هم‌چنین داده‌های حاصل از این تحقیق نشان داد که میزان اسیدیته کنستانتره آب پرتقال تو سرخ نیز از $11/16$ به $11/60$ گرم بر لیتر در دمای 5°C با بهره‌گیری از روش تیتراسیون مشاهده گردید که تا میزان بالایی با نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد [۲۳]. بارتولومی و همکاران (۱۹۹۶) در مورد نگهداری آناناس در شرایط انجماد، دریافتند که نگهداری ۱۲ ماهه آناناس در حالت منجمد منجر به ایجاد اختلاف معنی‌داری در میزان اسیدیته می‌شود. تفاوت مشاهده شده در مطالعه مورد نظر به میزان اسیدهای آلی از جمله اسید سیتریک و اسید مالیک موجود در آناناس که باعث نرمی بافت آناناس شده بود نسبت داده شد [۲۴]. از آنجایی که بیشتر وزن میوه و سبزی‌ها را آب تشکیل می‌دهد، هنگام انجماد به دلیل انبساط مولکول‌های آب و ایجاد کریستال‌های یخ، دیواره سلولی شکسته و هنگام خارج شدن از حالت انجماد، بافت میوه حالت لهیده و آبدار پیدا می‌کند و در صورتی که فرآیند انجماد به کندی صورت گرفته باشد آب میوه کم کم از آن خارج می‌شود و باعث تغییر سطوح اسیدهای آلی میوه طی فرآیند انجماد می‌شود. این موضوع می‌تواند به کاهش آب میان‌بافتی میوه در طی

۸.۳. نتایج آزمون ارزیابی فنل کل نمونه‌ها

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میزان فنل کل آب توت‌فرنگی تازه و منجمد در جدول (۸) نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد انجماد باعث کاهش نسبی مقدار فنل کل در نمونه‌های توت‌فرنگی می‌گردد. ترکیبات فنلی قسمت زیادی از خواص آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی را تشکیل می‌دهد و بنابراین این موضوع کاملاً قابل پیش‌بینی بود. جفری و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که تمشک قرمز طی نگهداری انجمادی در فریزر و بدون پوشش فیلم دچار افت اسید آسکوربیک و سایر ترکیبات فنلی و در پی آن کاهش محتوای فنل کل می‌شود [۲۷]. ساریبورون و همکاران (۲۰۱۰) پژوهشی با هدف بررسی تأثیرگذاری انجماد و ذخیره‌سازی در سرما (دمای °C -۲۲) بر روی ترکیبات فنلی گیاه تمشک و توت سیاه انجام دادند و مشاهده کردند که بیشترین کاهش در مقدار اسید فسفوهیدروکسی بنزوئیک اسید (از ۵۳۴/۲۰ mg/kg به ۱۱۴/۳۰) و کمترین کاهش در میزان اسید کافئیک (از ۵۴۵/۴۲ mg/kg به ۵۳۰/۹۱) در سویه‌های تمشک دیده شد. از سوی دیگر میزان اسید فریولیک در توت سیاه نیز پس از نگهداری شش‌ماهه در یخچال و دمای °C ۴ تا حد زیادی کاهش پیدا کرد [۳۰]. هم‌چنین با افزایش زمان نگهداری گوجه‌فرنگی تا شش ماه در °C -۲۰ درجه سانتی‌گراد، ترکیبات فنلی و کاروتنوئیدی گوجه‌فرنگی نسبت به نگهداری آن در دمای °C -۳۰ کاهش بیشتری نشان داد و بطور کلی نگهداری انجمادی باعث کاهش ترکیبات فنلی و کاروتنوئیدی گوجه‌فرنگی شد [۲۶]. در مطالعه‌ای تحت عنوان تأثیر ذخیره‌سازی انجمادی بر آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فرار میوه تمشک، در ماه‌های ابتدایی ذخیره‌سازی انجمادی ابتدا افزایش و سپس کاهش ترکیبات فنلی در طی یک سال مشاهده شد [۲۸]. طبق مشاهدات بایچان و همکاران (۲۰۱۳)، محتوای کل ترکیبات فنلی ذرت شیرین در دوره نگهداری انجمادی در ماه اول ۲۰ درصد افزایش یافته و سپس وارد یک سیر نزولی می‌گردد. این محققین کاهش میزان آب میان‌بافتی میوه که در اثر شکستن دیواره سلولی در طول زمان انجماد و برداشته شدن انجماد، از میوه خارج می‌شود را با این فرآیند مرتبط می‌دانستند [۳۱]. اولیورا و

برخی ترکیبات فنلی و در نتیجه کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود [۲۷]. در پژوهشی که توسط لسیوسکا و کی‌منچک (۲۰۰۰) انجام شد نیز اثبات شد که با افزایش زمان نگهداری گوجه‌فرنگی تا شش ماه در °C -۲۰، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گوجه‌فرنگی نسبت به نگهداری آن در دمای °C -۳۰ کاهش بیشتری می‌یابد و به‌طور کلی نگهداری انجمادی باعث کاهش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گوجه‌فرنگی می‌شود [۲۶]. در مطالعه دیگری توسط جفری و همکاران (۲۰۱۷) که پایداری فیزیکی و شیمیایی آب پرتقال تو سرخ هنگام نگهداری در سرما مورد بررسی قرار گرفت، انجماد باعث کاهش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در طی مدت سه ماه انجماد گردید اما پس از سپری شدن مدت چهار ماه و نیز پنج ماه از زمان نگهداری، از خود افزایش نشان داد. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی پرتقال تو سرخ در دمای صفر درجه از ۵۳/۳۹٪ به ۳۹/۱۶٪ و در دمای پنج درجه از ۴۲/۵۵٪ به ۳۳/۷۵٪ کاهش نشان داد [۲۳]. در بررسی تأثیر ذخیره‌سازی انجمادی بر آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فرار میوه تمشک، کاهش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی میوه تمشک در ۳۶۵ روز نگهداری انجمادی این میوه مشاهده شد [۲۸]. هم‌چنین تغییرات کیفی آنتوسیانین و ویتامین C در پوره گیلاس طی نگهداری انجمادی در طولانی مدت به افزایش رادیکال‌های آزاد تولید شده توسط تجزیه اسید آسکوربیک و در نتیجه تخریب آنتوسیانین نسبت داده شده است [۲۹]. نتایج مطالعه حاضر تقریباً مطابق با گزارش‌های فوق‌الذکر بوده و کاهش معنی‌دار فعالیت آنتی‌اکسیدانی ($p < 0.05$) در نمونه‌های توت‌فرنگی که طولانی مدت نگهداری شده بودند، دیده شد (شکل ۶). مطابق گزارش‌های مذکور می‌توان کاهش آب و ترکیبات فنلی که در نمونه‌های توت‌فرنگی وجود دارد را علت کاهش نسبی میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها دانست. از سوی دیگر می‌توان روش نگهداری انجمادی را به عنوان روشی قابل قبول با میزان اثرگذاری پایین بر روی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و حسی میوه توت‌فرنگی پیشنهاد کرد؛ زیرا که کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه‌ها پس از گذشت ۱۸۰ روز از ۹۲/۶۲٪ در نمونه‌های توت‌فرنگی تازه به ۶۷/۳۶٪ پس از ۱۸۰ روز نگهداری رسیده و با کاهش ۲۵/۲۶٪ همراه بود.

آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنلی در این میوه در طی نگهداری انجمادی مشهود است.

۴. نتیجه‌گیری

طبق نتایج ارزیابی حسی در طی ۱۸۰ روز انجماد، توت‌فرنگی همچنان در نظر ارزیابان مورد پذیرش است؛ که این پذیرش می‌تواند در اثر حفظ برخی ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی و سایر ترکیبات مؤثر در طعم و عطر و بوی این میوه در شرایط انجماد باشد. نمونه‌های توت‌فرنگی در طی نگهداری انجمادی کاهش معنی‌دار ($p < 0.05$) و افزایش اسیدیته را نشان دادند. از طرفی فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها پس از ۱۸۰ روز در حدود ۲۵/۲۶٪ کاهش یافت. ترکیبات فنلی نیز با نگهداری میوه توت‌فرنگی در فریزر به مدت ۱۸۰ روز کاهش معنی‌داری ($p < 0.05$) نشان داد. با در نظر گرفتن تمام این موارد باز هم می‌توان انجماد را به‌عنوان یک روش قابل قبول با اثر اندک بر روی خواص آنتی‌اکسیدانی و حسی برای میوه توت‌فرنگی پیشنهاد نمود.

همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند محتوای فنل کل پوره گیلاس منجمد به دلیل کاهش آنتوسیانین و ویتامین C در طی نگهداری انجمادی در طولانی مدت کاهش چشمگیری می‌یابد [۲۹]. سیبیس و میتینگ (۲۰۰۷)، کاهش به میزان ۵۹٪ در سطح آنتوسیانین و سایر ترکیبات فنلی در طی نگهداری شش ماهه در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد را در مطالعه‌ای که در ارتباط با خواص آنتی‌اکسیدانی موجود در بلوبری هنگام انجماد و نگهداری طولانی مدت در سرما انجام شد، مشاهده کردند [۳۲]. در این مطالعه نیز انجماد باعث کاهش معنی‌دار ($p < 0.05$) ترکیبات فنلی در نمونه‌های توت‌فرنگی شد (جدول ۸). در مجموع با توجه به گزارش‌ها و مطالعاتی که در اینجا مورد بحث قرار گرفت می‌توان گفت، انجماد باعث کاهش نسبی فعالیت آنتی‌اکسیدانی توت‌فرنگی می‌شود و دلیل اصلی آن کاهش ترکیبات فنلی در نمونه‌های توت‌فرنگی است. به طور کلی به نظر می‌رسد ارزیابی حسی نمونه‌ها نشان‌دهنده این است که نگهداری توت‌فرنگی در حالت انجماد تغییر چندانی در سطح مطلوبیت کلی نمونه‌ها نمی‌دهد؛ اما به هر ترتیب کاهش نسبی خواص

منابع

- [1] Veberic, R., Stampar, F., Schmitzer, V., Cunja, V., Zupan, A., Koron, D., & Mikulic-Petkovsek, M. (2014). Changes in the contents of anthocyanins and other compounds in blackberry fruits due to freezing and long-term frozen storage, *J Agric Food Chem.*, 62(29), 6926-6935.
- [2] Chung, H-S., Kim, D-S., Kim, H-S., Lee, Y-G., & Seong, J-H. (2013). Effect of freezing pretreatment on the quality of juice extracted from Prunus mume fruit by osmosis with sucrose, *LWT-Food Sci. Technol.*, 54(1), 30-34.
- [3] Sameca, D., & Piljac-Zegaraca, J. (2014). Fluctuations in the levels of antioxidant compounds and antioxidant capacity of ten small fruits during one year of frozen storage. *Int J. Food Prop.*, 18(1), 21-32.
- [4] Celli, G., Ghanem, A., & Brooks, M.S-L. (2016). Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products. *Food Rev. Int.*, 32(3), 280-304.
- [5] Shaviklo, A. (1397). Analyses of sensory evaluation data using principal component analysis (PCA). *Food Science and Technology* ., 15(80), 361-377. [In Persian]
- [6] Shinde, K.J., & Pardeshi, I.L. (2014). Fuzzy logic model for sensory evaluation of commercially available jam samples, *J. Ready Eat. Food.*, 1(2), 78-84.
- [7] Zare, D., & Ghazali, H.M. (2017). Assessing the quality of sardine based on biogenic amines using a fuzzy logic model, *Food Chem.*, 15(221), 936-943.
- [8] Kosko, B.; (1994) Fuzzy thinking: The new science of fuzzy logic, pp. 336. The United States of America: Harpercollins Pub Ltd.
- [9] Waris, S., & Ahmad, Z. (2011). Application of fuzzy logic in academic setup. In: *Proc. 8th Int. Conf. on Rec. Adv. in Stat.* (pp. 367-376), Lahore, Pakistan.

- [10] Ameh, B.A., Gernah, D.I., Obioha, O., & Ekuli, G.K. (2015). Production, quality evaluation and sensory acceptability of mixed fruit juice from pawpaw and lime. *Food Sci. Nutr.*, 06(05):532-537.
- [11] Bueschke, M., Kulczyński, B., Gramza-Michałowska, A., Kmiecik, D., Bilska, A., Pułan, M., Wałęsa, L., Ostrowski, M., Filipczuk, M., & Jędrusek-Golińska, A. (2019). Phenolic compounds and multivariate analysis of antiradical properties of red fruits. *J Food Meas Charact*, 13(3), 1739-1747.
- [12] Abdul Malek, S.N.A., Haron, H., Wan Mustapha, W.A., & Shahar, S. (2017). Physicochemical properties, total phenolic and antioxidant activity of mixed tropical fruit juice, TP 3 in 1TM. *J. agric. Sci.*, 13 (9), 50-61.
- [13] Mgaya-Kilima, B., Remberg, S.F., Chove, B.E., & Wicklund, T. (2014). Influence of storage temperature and time on the physicochemical and bioactive properties of roselle-fruit juice blends in plastic bottle. *Food Sci. Nutr.*, 2(2), 181– 191.
- [14] Hui, Y.H. (2006). Food biochemistry and food processing. In: W. K. Nip. Food Biochemistry - An Introduction (pp. 3-24). Australia, Blackwell Publishing.
- [15] Carbonell, L., Bayarri, S., Navarro, J.L., Carbonell, I., & Izquierdo, L. (2009). Sensory profile and acceptability of juices from mandarin varieties and hybrids. *Food Sci. Technol Int.*, 15 (4), 375-385.
- [16] Chen, L., & Opara, U.L. (2013). Texture measurement approaches in fresh and processed foods. *Food Res. Int.*, 51(2), 823.
- [17] Alhamdan, A., Hassan, B., Al-Kahtani, H.A., Abdelkarim, D., & Younis, M.A. (2018). Cryogenic freezing of fresh date fruits for quality preservation during frozen storage. *J. Saudi Soc. Agric.*, 17(1), 9-16.
- [18] Bulut, M., Bayer, Ö., Kırtıl, E., & Bayındırlı, A. (2018). Effect of freezing rate and storage on the texture and quality parameters of strawberry and green bean frozen in home type freezer. *Int. J. Refrig.*, 88, 360-369.
- [19] Singh, R.P., & Heldman, D.R. (2009). Introduction to Food Engineering 4th edition, Academic Press., London.
- [20] Routray, W., & Mishra, H. (2012). Sensory evaluation of different drinks formulated from dahi (Indian Yogurt) powder using fuzzy logic. *J Food Process Pres.*, 36(1), 1-10.
- [21] Rezagholi, F., & Hesarinejad, M. (2017). Integration of fuzzy logic and computer vision in intelligent quality control of celiacfriendly products. *Procedia Comput. Sci.*, 120; 325-332. [In Persian]
- [22] Barrett, D.M., Beaulieu, J.C., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Food Sci. Nutr.*, 50(5):369-89.
- [23] Giuffrè, M.A., Zappia, C., & Capocasale, M. (2017). Physicochemical stability of blood orange juice during frozen storage. *Int. J. Food Prop.*, 20(2), 1930-1943.
- [24] Bartolome, A.P., Ruperez, P., & Fuster, C. (1996). Non-volatile organic acids, pH and titratable acidity changes in pineapple fruit slices during frozen storage. *J. Sci. Food Agric.*, 70(4), 475 - 480.
- [25] Wrolstad, R.E., Putnam, T.P., & Varseveld, G.W. (1970). Color quality of frozen strawberries: Effect of anthocyanin, pH, total acidity and ascorbic acid variability. *J. Food Sci.*, 35(4), 448 - 452.
- [26] Lisiewska, Z., & Kmiecik, W. (2000). Effect of storage period and temperature on the chemical composition and organoleptic quality of frozen tomato cubes. *Food Chem.*, 70 , 167-173.
- [27] Giuffrè, A.M., Paola Rizzo L.L., De Salvo, E., & Sicari, V. (2019). The influence of film and storage on the phenolic and antioxidant properties of red raspberries (*Rubus idaeus L.*) cv. Erika. *Antioxidant*, 8, 254.
- [28] de Ancos, B., Ibanez, E., Reglero, G., & Cano, M.P. (2000). Frozen storage effects on anthocyanins and volatile compounds of raspberry fruit. *J. Agric. Food Chem.*, 48, 873–879.
- [29] Oliveira, L.S., Moura, C.F.H., Brito, E.S., Fernandes, F.A.N., & Miranda, M.R.A. (2013). Quality changes and anthocyanin and vitamin C decay rates of frozen acerola purée during long-term storage. *J Food Process Pres.*, 37, 25-33.
- [30] Sariburun, E., Şahin, S., Demir, C., Turkben, C., & Uylaser, V. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of raspberry and blackberry cultivars. *J. Food Sci.*, 75(4), C328-35.
- [31] Bajčan, D., Tomáš, J., Uhlířová, G., Árvay, J., Trebichalský, P., Stanovič, R., & Šimanský, V. (2013). Antioxidant potential of spinach, peas, and sweetcorn in relation to freezing period. *J. Food Sci.*, 31(6), 613-618.
- [32] Ścibisz, I., & Mitek, M. (2007). Antioxidant properties of highbush blueberry fruit cultivars. *Int. J. Food Sci.*, 10(4), 34.

*Research Article***Sensory evaluation of strawberry fruit juice by fuzzy logic and evaluation of antioxidant activity during frozen storage**

Hadis Aryaee¹, Peyman Ariaee², Davood Zare^{*3}, Saeed Mirdamadi⁴, Shahram Naghizadeh Raeisi⁵

1. PhD Student, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch

2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch

3. Assistant Professor, Department of Biotechnology, Iranian Research Organization for Science and Technology

4. Professor, Department of Biotechnology, Iranian Research Organization for Science and Technology

5. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch

Abstract

Strawberry is one of the most popular fruits among consumers. However, the shelf life of strawberry is moderately low and freezing can be applied as a suitable method with little effects on the antioxidant properties of strawberries. However, the effect of freezing on sensory characteristics requires further investigations. On the other hand, analysis of vague and non-parametric results of sensory evaluation using mathematical methods such as fuzzy logic has been noticed. In the present study, strawberry fruits were stored in the freezer at $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ for six months and the effect of freezing on the strawberry juice was evaluated. Frozen strawberries were brought out at Day 0, 3, 30, 60 and 180 and after preparing juice, were evaluated for sensory characteristics using five-point hedonic method and data were analyzed using fuzzy logic. Sensory attributes were color, aroma, taste and mouthfeel sensation. In this study, physicochemical properties such as pH, acidity, total phenol content and antioxidant activity were measured. Sensory evaluation of strawberry specimens showed that freezing did not considerable effect on overall acceptance even despite changes in pH and acidity. Due to freezing, the samples had a decrease in pH (1.92%) and an increase in acidity (0.18%) as well as a decrease in antioxidant activity (25.26%) and phenolic compounds (0.022%). The results of physicochemical and antioxidant activities, total phenol compounds and sensory evaluation by fuzzy logic generally create the view that freezing is a suitable method for long storage of strawberry fruit.

Keywords: strawberry, freezing, sensory evaluation, fuzzy logic, antioxidant.

*. Corresponding author: Zare@irost.ir