



سنجش میزان قهوه‌ای شدن آنزیمی با استفاده از فوریه بافت فرکتال تصویر در نمونه‌های سیب و موز برش خورده

سامان آبدانان مهدی‌زاده^{۱*}، الهام نعمتی‌نیا^۲

۱. استادیار، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

(تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۵، تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۱۵)

چکیده

قهوه‌ای شدن آنزیمی توسط برهم کنش آنزیم‌هایی مانند پلی فنل اکسیداز (PPO) و بسترهای فنلی، باعث آسیب ساختاری به بافت میوه می‌شود و در نهایت منجر به تولید رنگدانه‌های تیره‌تر (قهوه‌ای) بر سطح میوه‌ها می‌گردد. در این پژوهش شاخص قهوه‌ای شدن فرکتال (FBI) یک روش جدید به منظور توصیف سینتیک قهوه‌ای شدن آنزیمی برای سیب قرمز، سیب زرد و موز ارائه شده است. در این روش به جای استفاده از متوسط رنگ در منطقه مورد تجزیه و تحلیل، از بررسی تغییرات الگوهای رنگ نامنظم بر روی سطوح نمونه‌های سیب و موز در طی فرایند قهوه‌ای شدن آنزیمی استفاده می‌شود. در مطالعه صورت گرفته نمونه‌های سیب و موز در یک سامانه بینایی ماشین قرار داده شدند و تصاویر رنگی از آن‌ها اخذ گردید. سپس تصاویر با استفاده از یک تابع تبدیل درجه دوم به فضای رنگی Lab انتقال یافته و همچنین به منظور به دست آوردن ابعاد فرکتالی (FD) از آنالیز بافت توسط تبدیل فوریه و مدل پاورلا استفاده شد. نتایج نشان داد، که در نمونه‌های سیب قرمز مقدار متوسط FD از ۱/۷۵ به ۱/۹۲، برای نمونه‌های سیب زرد از ۱/۷۵ به ۲/۱۷ و برای نمونه‌های موز مقدار این پارامتر از ۱/۷۳ به ۱/۸۱ افزایش یافت؛ همچنین مقادیر شدت کانال L در نمونه‌های سیب قرمز از ۴۲/۷۹ به ۳۱/۶۲، در نمونه‌های سیب زرد از ۴۵/۸۸ به ۳۱/۸۶ و برای نمونه‌های موز از ۴۰/۶۳ به ۳۰/۳ کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: قهوه‌ای شدن آنزیمی، سامانه بینایی ماشین، نمونه‌های سیب و موز، بافت فرکتالی.

* نویسنده مسئول: s.abdanan@Ramin.ac.ir

1- مقدمه

مربای این میوه‌ها می‌باشد.

به‌طور مرسوم، آنزیم قهوه‌ای کننده با استفاده از یک سری شاخص‌های بیوشیمیایی مانند فعالیت پلی فنول اکسیداز [9-11] و یا شاخص‌های فیزیکی مانند رنگ، سطح تعیین می‌گردد [12-14]. شاخص‌های فیزیکی بر اساس یکی از گسترده‌ترین فضاها رنگی به نام فضای رنگی CIE Lab تعریف می‌شوند، که از میان آن‌ها مقدار L به‌عنوان شاخص قهوه‌ای شدن در میوه‌ها استفاده می‌شود [15-18]. فضای رنگی Lab یک مدل مستقل می‌باشد که بدون وابستگی به ویژگی‌ها دستگاه اخذ تصویر، خواص رنگ محصول را تعریف می‌کند. پارامتر L میزان درخشندگی را نشان می‌دهد که محدوده آن بین 0 تا 100 می‌باشد. در حالی که پارامتر a (میزان رنگ سبز به قرمز) و پارامتر b (میزان رنگ آبی به زرد) مقادیر 120- تا 120+ را می‌توانند داشته باشند [19]. نعمتی‌نیا و همکاران [20] یک سامانه بینایی ماشین پیشنهاد و طراحی نمودند که قادر به تبدیل فضای رنگی RGB به Lab و همچنین اندازه‌گیری هر یک از پارامترهای L، a و b به‌منظور تجزیه و تحلیل تصاویر و برآورد کیفیت مواد غذایی می‌باشد. به‌طور معمول به‌منظور توصیف فرایند سینتیک قهوه‌ای شدن از اطلاعات رنگی استخراج شده از محصول (مقدار متوسط پارامتر L) استفاده می‌شود. با این حال، در نمونه‌های سیب، توسعه الگوهای رنگی طی فرایند قهوه‌ای شدن (به‌خصوص پارامتر L) غیریکنواخت می‌باشد. یوروک و همکاران [21] توانستند سطوح رنگی غیرهمگن در نمونه‌های سیب را طی واکنش قهوه‌ای شدن به‌طور تقریبی تخمین بزنند. در این پژوهش آن‌ها از تقسیم‌بندی اطلاعات فضای رنگی RGB در سطح محصول به جای اطلاعات تمامی طیف‌های رنگی ناهمگن استفاده نمودند.

از طرف دیگر تجزیه و تحلیل بافت سطحی در تصاویر اخذ شده به‌عنوان روشی که قادر به استخراج اطلاعات از تصاویر دیجیتالی بدون بخش‌بندی فضای رنگی می‌باشد، پیشنهاد شده است [22]. به‌علاوه ترکیب دو روش فوق (یعنی استفاده از اطلاعات رنگ و بافت) به‌صورت هم‌زمان می‌تواند احتمال موفقیت این روش به منظور پیشگویی کیفیت محصول غذایی را افزایش دهد. چرا که تغییر رنگ و بافت در تصویر می‌تواند

بافت، فاکتور مهمی در ارزیابی کیفی میوه‌ها و سبزیجات می‌باشد. گرچه اکثر مصرف‌کننده‌ها طعم را مهم‌ترین عامل کیفیت در میوه می‌دانند، ولی تحقیقات نشان داد که خصوصیات بافتی مهم‌تر از ویژگی‌های طعم هستند [1]. برش‌زدن میوه‌های تازه، به دلیل ایجاد اختلالات فیزیولوژیکی کیفیت محصولات را دچار مشکل می‌نماید. هنگامی که سیب و موز به قطعات کوچک‌تر برش داده می‌شوند، سطوح برش خورده، در اثر قهوه‌ای شدن آنزیمی شروع به تغییر رنگ می‌کنند. قهوه‌ای شدن یکی از مشکلات عمده در صنعت غذا می‌باشد و می‌تواند خصوصیات ارگانولپتیکی مواد غذایی را تغییر داده و منجر به کوتاه شدن عمر ماندگاری، کاهش کیفیت و ارزش اقتصادی ماده غذایی گردد. قهوه‌ای شدن در اثر فعالیت آنزیم‌های پلی فنول اکسیداز (PPO) به ویژه تیروزیناز²، در بسیاری از محصولات غذایی هم‌چون موز، سیب، قارچ و سخت پوستان دریایی رخ می‌دهد [2]. این واکنش نه تنها باعث کاهش کیفیت بصری می‌شود بلکه تغییرات نامطلوبی در عطر و طعم آن ایجاد می‌کند که کاهش مواد مغذی درون میوه را به دنبال دارد [3].

تاکنون مطالعات متعددی پیرامون قهوه‌ای شدن آنزیمی در میوه‌ها و سبزی‌ها انجام شده است که این پدیده نتیجه تبدیل مواد فنولی به کینون‌ها توسط آنزیم پلی فنول اکسیداز می‌باشد، که در نهایت منجر به تولید رنگ قهوه‌ای روی محصول می‌شود. بسیاری از پژوهشگران در پی برقراری رابطه‌ای بین درجه قهوه‌ای شدن، محتوای فنولی و میزان اکسایش توسط آنزیم در میوه‌ها بوده‌اند [4-7]. از طرف دیگر قهوه‌ای شدن علاوه بر ایجاد تغییرات در خصوصیات کیفی و ظاهری از قبیل بافت، رنگ، طعم و ارزش تغذیه‌ای، باعث کاهش قیمت میوه‌ها در بازار و در برخی موارد به حذف کامل آن‌ها منجر می‌شود [8]. پدیده قهوه‌ای شدن میوه سیب، نتیجه برهم کنش پیچیده‌ای بین فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز (PPO) و محتوای مواد فنولی می‌باشد. بنابراین کنترل یا جلوگیری از قهوه‌ای شدن سطوح برش خورده میوه‌ها به منظور حفظ کیفیت و ایمنی امر مهمی در صنایع غذایی، به‌خصوص در بخش تولید کمپوت و

1. Polyphenol Oxidase (PPO)

2. Tyrosinase

برای هر میوه استفاده گردید). نمونه‌های سیب و موز پس از شستشو، به قطعات $2/5 \times 2/5 \times 1$ سانتی‌متر (تقریباً به یک اندازه) توسط برش‌دهنده¹ برش داده شدند. در ادامه نمونه‌ها در دسته‌های ده‌تایی همراه با شماره‌گذاری بر روی صفحه آبی رنگ درون سیستم بینایی ماشین قرار گرفت و به مدت 200 دقیقه (با فاصله زمانی 5 دقیقه) در دمای 25 درجه سلسیوس تصویربرداری انجام گرفت. بدین ترتیب از هر نمونه، 40 عکس در طول 200 دقیقه گرفته شد و در مجموع برای هر میوه 2400 (60×40) تصویر به‌دست آمد.

2-2- سامانه اخذ تصویر و پردازش تصویر

سامانه بینایی ماشین مورد استفاده در این پژوهش شامل یک دوربین دیجیتالی (Nikon، مدل COOLPIX P4، ساخت ژاپن) به‌منظور گرفتن تصاویر، محفظه عکس‌برداری شامل دو لامپ فلئوئورسنت با زاویه 45 درجه نسبت به افق به منظور قرار دادن نمونه‌ها و همچنین کامپیوتر با تحلیل تصاویر دیجیتال بود. شایان ذکر است که دوربین دیجیتالی در فاصله 30 سانتی‌متری بالای نمونه‌ها تعبیه گردید و تفکیک‌پذیری مکانی آن 2048×1536 تنظیم شد. شماتیک سامانه اخذ و پردازش تصویر در شکل (1) نشان داده شده است. بعد از گرفتن تصویر و حذف نویز، تصاویر با استفاده از روش آستانه‌گذاری اتسو² بخش‌بندی شده و در نهایت برچسب‌زنی³ انجام گرفت [30]. مشاهدات نشان داد که در تصاویر بخش کناری میوه‌ها به علت حضور رطوبت بر روی سطح آن‌ها براق‌تر دیده می‌شوند که این مساله سبب از بین رفتن اطلاعات در بخش‌های مذکور گردید. به منظور رفع این مشکل از فیلتر باترورث بالا گذر تاکیدی⁴ استفاده شد. استفاده از این فیلتر سبب حذف نویزهای ناخواسته در فرکانس‌های پایین (نقاط براق موجود در تصویر) شده و نیز به دلیل عدد ثابت استفاده شده (a) در رابطه (1)، اطلاعات مفید موجود در فرکانس‌های پایین تصویر نیز حذف نشده و حفظ می‌شوند.

$$H_{\text{ife}}(u, v) = a + bH(u, v) \quad (1)$$

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D_0/D(u, v)]^{2n}} \quad (2)$$

1. Slicer

2. Ottsu

3. Label

4. Butterworth High-Frequency Emphasis

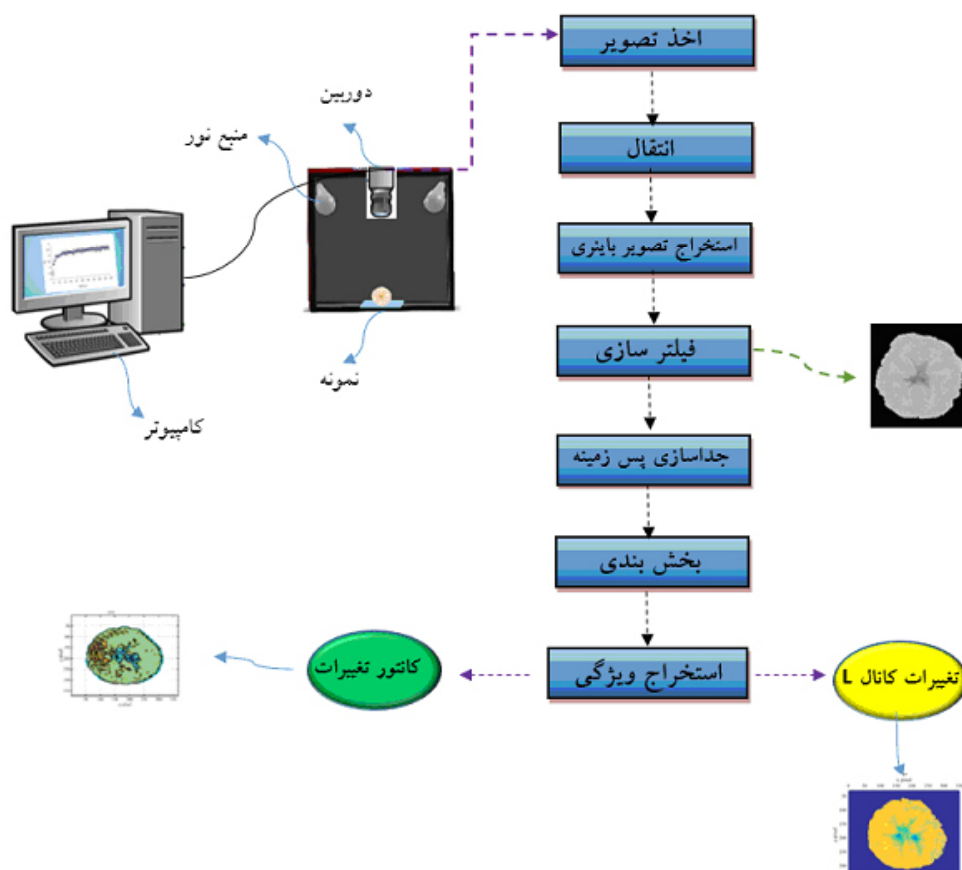
نشان‌دهنده تغییر در مقدار شدت پیکسل‌ها باشد که ممکن است شامل اطلاعاتی در مورد رنگ و ساختار هندسی اشیاء و میوه‌ها باشد [23-25]. با توجه به این‌که تجزیه و تحلیل بافت در تصویر را می‌توان در اطلاعات رنگی خاکستری به‌کار برد، بنابراین بافت تصویر برای تعیین کمیت توزیع ناهمگن (پارامتر L) در قطعات سیب و موز می‌تواند به‌عنوان یک فرضیه در این پژوهش مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا به‌منظور به‌دست آوردن مقادیر ابعادی فرکتالی (FD) از آنالیز بافت توسط تبدیل فوریه استفاده شده است [26]. در بررسی‌های اولیه ثابت شده است که از مقادیر FD می‌توان به‌عنوان شاخص قهوه‌ای شدن در میوه‌ها استفاده نمود [27]. کیودو و همکاران [28] از مقدار فرکتال به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل تبدیل فوریه بافت فرکتال به‌منظور تعیین لکه‌های پیر در موز استفاده نمودند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مقدار فرکتال به‌طور یکنواخت در طی زمان افزایش می‌یابد که این مساله می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای تشخیص روند پیری پوست موز به‌کار گرفته شود. در پژوهشی دیگر کیودو و همکاران [29] از روش سینتیک فرکتالی برای توصیف فعالیت قهوه‌ای شدن آنزیمی در نمونه‌های قارچ، گلابی و سیب استفاده نمودند. نمونه‌های قارچ، گلابی و سیب پس از برش در چهار دمای مختلف (5، 15، 25 و 35 درجه سلسیوس) نگهداری و تصاویر هر 15 ثانیه طی مدت 4 ساعت اخذ شدند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که نرخ سینتیک قهوه‌ای شدن آنزیمی بیش‌تر مقادیر به‌دست آمده از روش آنالیز فرکتالی بود که در واقع با افزایش شاخص FD میزان قهوه‌ای شدن سطح نمونه‌های سیب و موز افزایش می‌یابد. در نتیجه هدف مطالعه حاضر بررسی تغییرات بافت سیب و موز در مدت زمان معین و تشخیص بهترین زمان مصرف میوه‌ها پس از برش به منظور حفظ کیفیت آن‌ها می‌باشد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- تهیه نمونه‌ها

در این پژوهش از 10 عدد سیب زرد، 10 عدد سیب قرمز و 10 عدد موز استفاده گردید که تعداد تکرارها برای هر میوه 60 عدد می‌باشد (در واقع 60 نمونه برش خورده

1. Fractal Dimension



شکل (۱) نمودار روندنمای پردازش تصویر

پارامتر L مشخص می‌شوند و برای هر تصویر سه کانال a ، L و b به دست می‌آید. (2) مختصات پیکسل‌ها (x, y) در برابر پارامتر L بر روی محور Z رسم شد [27]. شدت سطح میوه‌ها که از پارامتر L به دست آمد، SIL نامیده شد. (3) شاخص SIL با استفاده از آزمون فرکتال تعیین گردید. شایان ذکر است که ابعاد فرکتالی برای سطوح ناهموار خیلی بیش‌تر از سطوح صاف می‌باشند. بافت فرکتال در تصویر را می‌توان با استفاده از ابعاد فرکتالی حاصل از مدل پاورلا^۱ به دست آورد [32]. برای محاسبه ابعاد فرکتالی تصاویر 2 بعدی به دست آمده از کانال L ، از روش تبدیل فوریه فرکتال استفاده شد. بدین منظور پس از گرفتن تبدیل فوریه از منطقه مورد نظر در 24 جهت مختلف از تصویر، طیفی که از سطح به دست آمد، به عنوان تابعی از فرکانس محاسبه گردید. لازم به ذکر است که اگر تغییرات نمودار خطی باشد مقدار FD را می‌توان از لگاریتم گرفتن

در این روابط $H_{hfe}(u, v)$ فیلتر باترورث بالا گذر تاکیدی؛ a و b اعداد ثابت؛ $H(u, v)$ فیلتر باترورث بالا گذر و n درجه فیلتر (رابطه 2)؛ D_0 فرکانس قطع و $D(u, v) = \sqrt{u^2 + v^2}$ فاصله بین نقاط (u, v) در حوزه فرکانس هستند. شایان ذکر است که در این پژوهش مقادیر a ، b و n و D_0 به ترتیب 0/8، 0/75، 1 و 0/1 در نظر گرفته شدند. این مقادیر با روش سعی و خطا و با بررسی بصری تصاویر به دست آمدند.

3-2- آنالیز بافت تصویر

استخراج ویژگی‌های بافتی (بعد از بخش بندی، برچسب‌زنی و اعمال فیلتر باترورث بالا گذر تاکیدی) در این پژوهش شامل 3 مرحله می‌باشد: (1) تبدیل فضای رنگی تصاویر از RGB به فضای رنگی Lab با استفاده از روش پیشنهادی نعمتی‌نیا و همکاران [20] و همچنین کیودو و همکاران [31] صورت پذیرفت. در این راستا، میزان درخشندگی نمونه‌ها توسط

1. Power-Law

به‌کار رفته، ترجیح داده شد. در حقیقت این رابطه هنگامی به معادله تجربی سینتیک مرتبه صفرام یا مرتبه اول تبدیل می‌شود که n به‌ترتیب 0 یا 1 باشد. هنگامی که روش FBI¹ برای داده‌های قهوه‌ای به‌کار برده می‌شود در رابطه (3)، FD به‌جای C و k مثبت در نظر گرفته می‌شود. در حالی که در روش‌های مرسوم L به‌جای C قرار می‌گیرد و k یک عدد منفی فرض می‌شود.

فرکانس و توان 2 قدر مطلق ضریب فوریه به‌دست آورد.

2-4- مدل قهوه‌ای شدن آنزیمی

به منظور بیان نرخ سینتیک (روند) قهوه‌ای شدن، از رابطه (3) برای داده‌های سینتیکی استفاده شد [33، 34]:

$$\frac{C}{C_i} = \exp(k \cdot t^n) \quad (3)$$

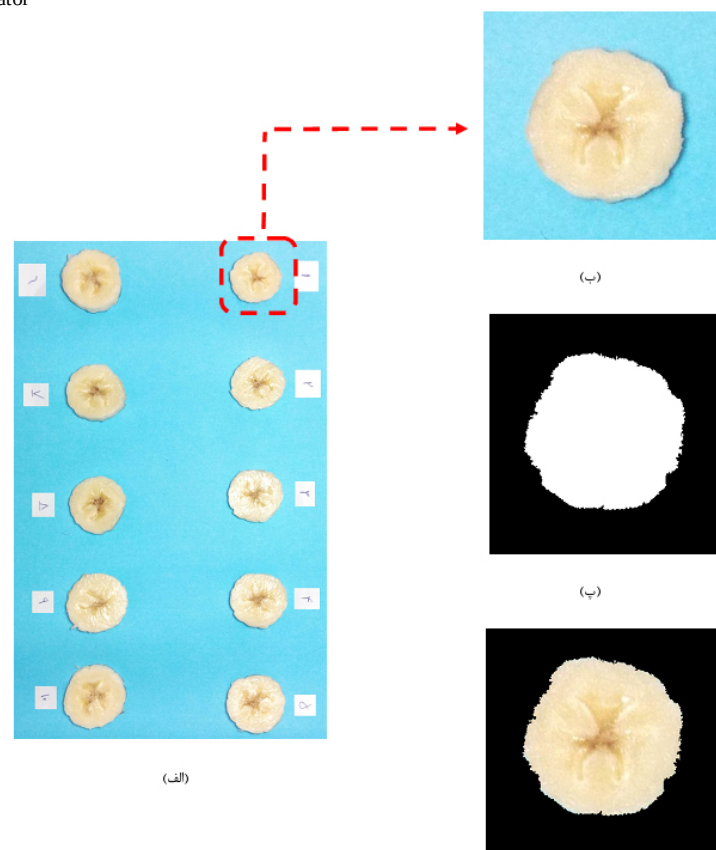
3- نتایج و بحث

شکل (2-الف) سینی نمونه ده تایی موز را نشان می‌دهد. به‌منظور جداسازی میوه‌ها (در شکل 2-ب موز (از زمینه، ابتدا تصاویر به سطح-خاکستری تبدیل شدند و با روش آستانه‌گذاری اتسو به‌صورت باینری درآمدند (شکل 2-پ). سپس با ضرب داخلی تصاویر باینری در تصویر اصلی، میوه‌ها از پس‌زمینه جدا شده و وارد مرحله استخراج ویژگی شدند (شکل 2-ت).

در این رابطه کسر $\frac{C}{C_i}$ نسبت مقدار محاسبه شده فرکتال به مقدار اولیه است. k ضریب ثابت و n پارامتری به نام ضریب شکل می‌باشند. وقتی که مقدار k مثبت باشد، پاسخ معادله به‌صورت یک تابع نمایی افزایشی و هنگامی که k منفی باشد یک تابع نمایی کاهشی می‌شود.

در این پژوهش استفاده از این روش به‌جای به‌کارگیری مدل تجربی از پیش تعیین شده مرتبه صفرام و مرتبه اول که در برخی از آزمایش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی در سیب

1. Fractal Browning Indicator



شکل (2) مراحل جداسازی تصویر نمونه های موز از زمینه

می‌باشد که در نمونه‌هایی که مدت زمان بیشتری از تهیه آن‌ها گذشته است (200 دقیقه) مقادیر شدت کانال L کمتر بوده (این مقادیر از 50 شروع می‌شوند) که نشان از تیرگی بیش‌تر نمونه‌ها دارد.

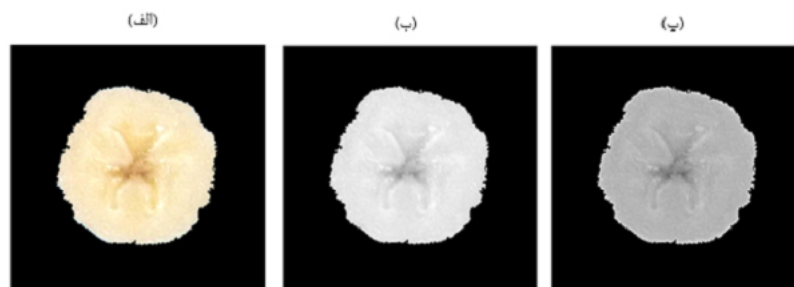
همان‌طور که در شکل (6) نشان داده شده است در روش FBI، قهوه‌ای شدن آنزیمی با مقدار میانگین L توصیف می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که مقدار L به‌طور متوسط در طی سینتیک قهوه‌ای شدن آنزیمی کاهش می‌یابد. در نمونه‌های سیب قرمز مقدار متوسط L از 42/79 به 31/62، در نمونه‌های سیب زرد از 45/88 به 31/86 و در نمونه‌های موز از 40/63 به 30/3 کاهش یافته است که در واقع سطح نمونه‌های سیب و موز به رنگ قهوه‌ای روشن در می‌آیند. این مساله با پژوهش‌های واموسویگیاژو [35] و لیو و باربوسا [3] در یک راستا می‌باشند.

شکل (7) تغییرات عدد فرکتال را به‌ترتیب برای سیب قرمز، سیب زرد و موز در مدت زمان 200 دقیقه نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که مدل‌سازی برای موز با دقت بیش‌تری انجام شده است و خطای کم‌تری دارد، علت این امر تغییرات کم‌تر عدد فرکتال در دقایق اولیه (نسبت به نمونه‌های سیب زرد و قرمز) می‌باشد که دلیل بر تغییر رنگ کم‌تر در این دقایق است. از طرفی دقت مدل‌سازی در سیب زرد نیز بیش‌تر از سیب قرمز است؛ هرچه میزان تغییر رنگ، شیب ملایم‌تری و همچنین تغییرات ناگهانی کم‌تری داشته باشد، مدل‌سازی نیز خطای کم‌تری دارد که این موضوع دلالت بر این اختلاف در خطای مدل‌سازی موز، سیب زرد و سیب قرمز دارد و همچنین نشان دهنده مقاوم بودن بیش‌تر موز نسبت به تغییرات رنگ ناگهانی در طول زمان به‌خصوص در زمان‌های اولیه می‌باشد. از طرفی میزان عدد فرکتال در مدت زمان 200 دقیقه حداکثر

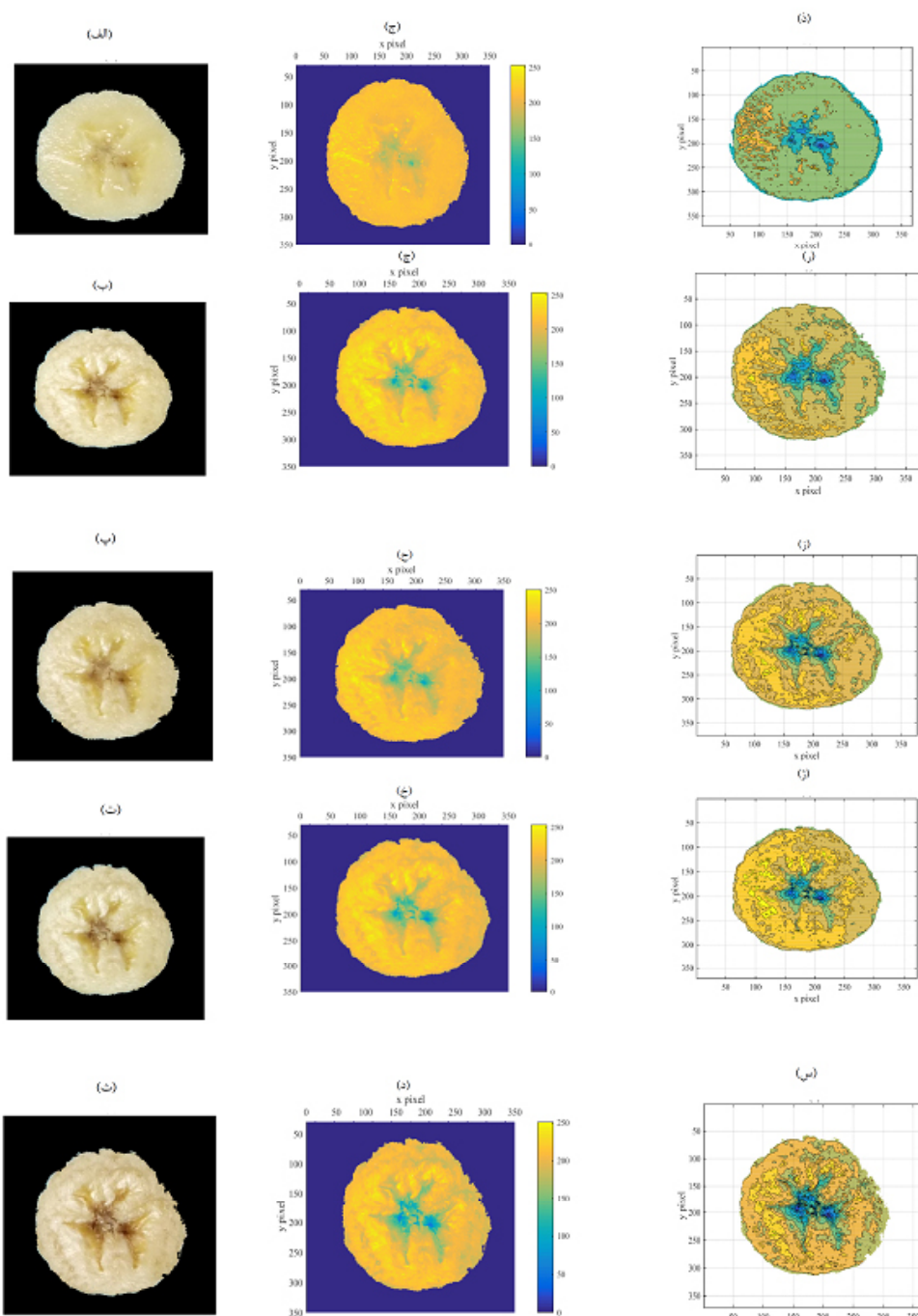
شکل (3) نمونه‌ای از خروجی مربوط به اعمال این فیلتر بر روی تصویر موز بر روی کانال L را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (3-الف) مشخص است، کناره‌های نمونه با توجه به حضور رطوبت در سطح نمونه و بازتاب آن کاملاً سفید شده‌اند. این مساله سبب از بین رفتن اطلاعات مربوط به بافت، کاهش دقت در محاسبات FD و در نتیجه ورود خطا به مدل پیش‌بینی آنزیم قهوه‌ای شدن می‌گردد. اما همان‌طور که در شکل (3-پ) مشخص است، این مساله با اعمال فیلتر باترورث بالا گذر تاکیدی تصحیح شده و حتی لکه‌های موجود در تصویر واضح‌تر گردیدند.

همان‌طور که در نمودار تغییرات کانال L نشان داده شده است (شکل 4 (الف-ث)) با گذر زمان تیرگی نمونه‌ها به تدریج از مرکز آن‌ها شروع شده و در نهایت مقدار روشنایی در کل کاهش می‌یابد. این مساله با دقت به کانتور ترسیم شده قابل فهم‌تر می‌باشد. مطابق شکل (4-د) نمونه دارای رنگ روشن یکنواختی در سراسر خود می‌باشد. مقدار متوسط پارامتر L در نمونه تازه برش خورده (دقیقه 0) 221/05 می‌باشد. با گذر زمان این روشنی در نمونه کم‌تر شده و در نهایت با گذشت 200 دقیقه از نگهداری آن‌ها مقدار متوسط پارامتر L به اندازه 31/62 واحد کاهش می‌یابد (شکل 4-ژ) که حاکی از افزایش تیرگی در نمونه‌ها می‌باشد.

به منظور بررسی دقیق‌تر نمونه‌ها در حین نگهداری، نمودار 3 بعدی آن‌ها ترسیم گردید؛ در این بخش به‌صورت نمونه تغییرات کانال L بعد از گذشت 50 (شکل 5-الف) و 200 دقیقه (شکل 5-ب) از زمان تولید نمونه‌ها آورده شده است. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد تغییرات در روشنایی برای نمونه موز در مرکز نمونه بیش‌تر از نقاط مرزی آن بود. بر اساس نمودار 3 بعدی و ستون رنگی ترسیم شده مشخص

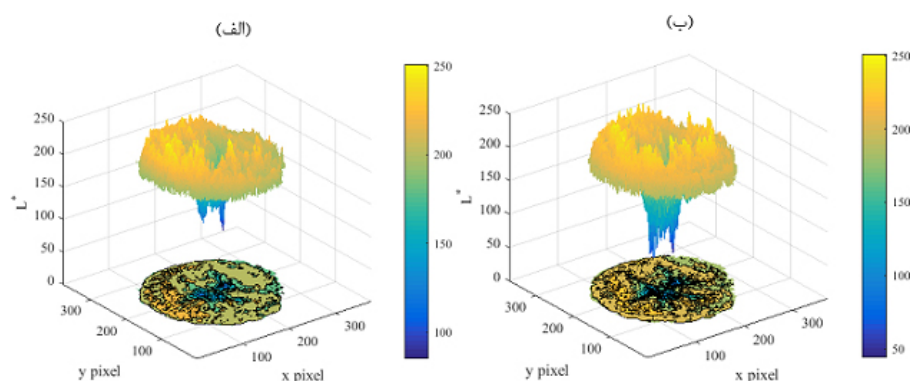


شکل (3) الف) تصویر بخش‌بندی شده، ب) کانال L تصویر و پ) تصویر پردازش شده کانال L با فیلتر باترورث بالا گذر تاکیدی

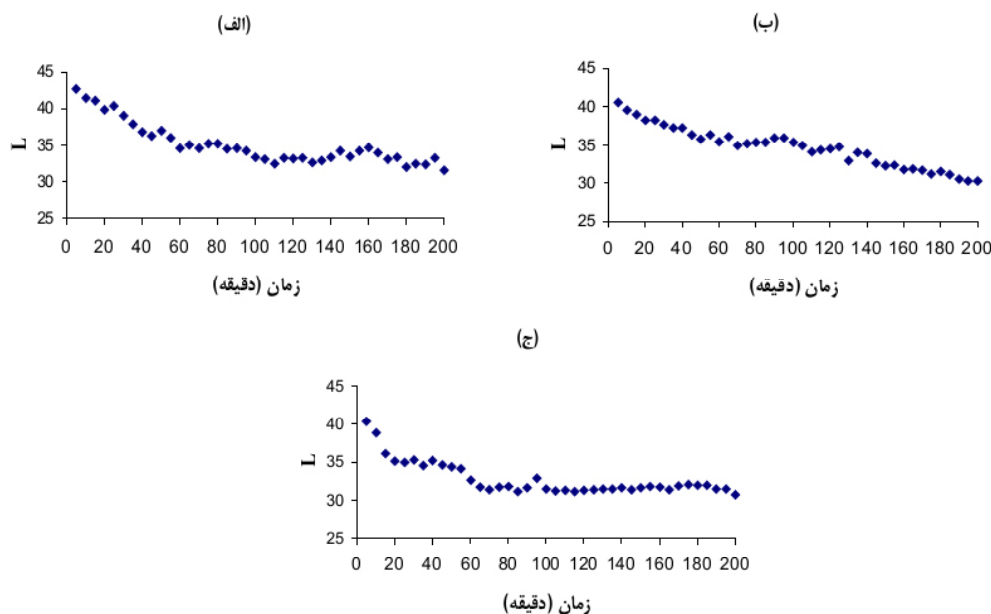


شکل (4) الف-ث) بخش‌بندی موز به‌ترتیب در زمان‌های 0، 50، 100، 150 و 200 دقیقه، ج-د) نمودار تغییرات کانال L به‌ترتیب در زمان‌های 0، 50، 100، 150 و 200 دقیقه و ذ-س) کانور تغییرات کانال L به‌ترتیب در زمان‌های 0، 50، 100، 150 و 200 دقیقه

به 1/8 رسیده است که نسبت به سیب زرد و سیب قرمز مقدار کم‌تری دارد. با دقت در نمودارها نیز می‌توان نتیجه گرفت که شیب نمودار در سیب قرمز بیش‌تر از موز و سیب زرد است که این نیز نشان دهنده تغییرات بیش‌تر رنگ سیب قرمز در زمان‌های اولیه می‌باشد. در نمونه‌های سیب قرمز مقدار متوسط FD از 1/75 به 1/92، در نمونه‌های سیب زرد از 1/75 به 2/17 و در نمونه‌های موز از 1/73 به 1/81 افزایش می‌یابد. چو و همکاران [36] با استفاده از تجزیه و تحلیل تصاویر به بررسی قهوه‌ای شدن پوست موز پرداختند. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، مقادیر L^* به‌دست آمده از تجزیه و



شکل (5) نمودار 3 بعدی تغییرات کانال L به همراه کانتور تغییرات این کانال در زمان‌های الف) 50 دقیقه و ب) 200 دقیقه

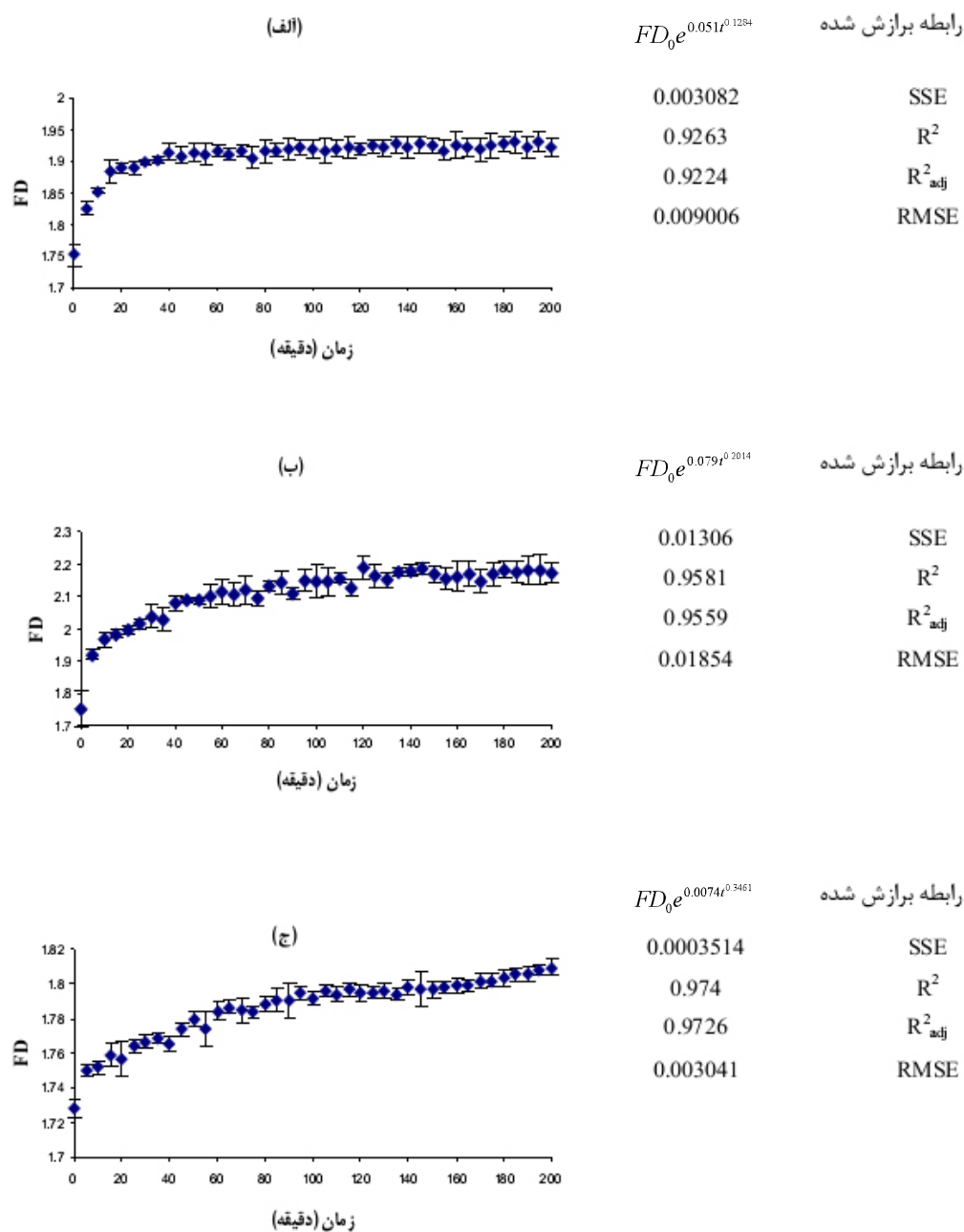


شکل (6) تغییرات پارامتر L در طول زمان (200 دقیقه) برای الف) سیب قرمز، ب) سیب زرد و پ) موز

تحلیل تصاویر به شدت روند کاهشی داشته است. علاوه بر این، مقادیر رنگی ضریب هبستگی بالایی با نتایج حاصل از تست‌های حسی نشان داد.

4- نتیجه‌گیری [28]

مطابق نتایج به‌دست آمده توسط کیودو و همکاران [28] مقدار FD نیز برای سیب قرمز افزایش یافته با این تفاوت که شیب نمودار آن‌ها از شیب نمودار سیب قرمز در این تحقیق بیشتر می‌باشد که این مساله ناشی از تغییرات بیش‌تر رنگ و مقاومت کم‌تر در برابر تغییرات رنگ است. از طرفی مقادیر پارامترهای نرخ قهوه‌ای شدن آنزیمی از دیگر مطالعات متفاوت شده است، زیرا قهوه‌ای شدن نمونه‌های سیب و موز نه تنها به رقم آن‌ها، بلکه به پارامترهای درونی نظیر مقدار فنولیک و پلی فنول اکسیداز بستگی دارد [37]. در واقع ثابت شده است که در این پژوهش یک روش جدید به منظور توصیف سینتیک قهوه‌ای شدن آنزیمی برای سیب قرمز، سیب زرد و موز با استفاده از شاخص قهوه‌ای شدن فرکتال (FBI) ارائه شده است. به‌منظور محاسبه مقادیر ابعاد فرکتال منطقه مورد نظر، از تبدیل فوریه بافت فرکتال در تصویر استفاده گردید که این موضوع نشان‌دهنده پیچیدگی توزیع رنگ (درخشندگی یا L) در قسمتی می‌باشد که مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در طی این فرایند برای هر سه نمونه موز، سیب قرمز و سیب



شکل (7) تغییرات عدد فرکتال در طول زمان (200 دقیقه) برای الف) سیب قرمز، ب) سیب زرد و پ) موز

زرد، مقادیر شدت کانال L و مقادیر ابعاد فرکتالی FD به ترتیب غیریکنواخت می‌باشد، قابل استفاده است.

دارای روندی کاهشی و افزایشی بودند. مدل تجربی پاورلا

همبستگی سینتیک قهوه‌ای شدن آنزیمی را برای روش FBI

تایید کرد. به‌طور کلی روش FBI نه تنها برای سیب و موز،

بلکه برای بسیاری از میوه‌ها و مواد غذایی که در طی سینتیک

قهوه‌ای شدن آنزیمی بر روی سطوح آن‌ها الگوهای رنگی

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه کشاورزی و

منابع طبیعی رامین خوزستان قدردانی می‌نمایند.

on browning of apple slice. *J. Jpn. Soc. Food Sci.*, 52, 120–124.

[10] Murata, M. (2001). Chemical and biochemical study on phenolics and food quality – Biological activity, analysis and enzymatic browning. *J. Jpn. Soc. Food Sci.*, 48, 1–7.

[11] Osanai, Y., Motomura, Y., Sakurai, N. (2003). Effect of methyl bromide on the internal browning, firmness and elasticity of flesh in un-bagged apple 'Fuji' fruit. *J. Jpn. Soc. Food Sci.*, 50(5), 254–258.

[12] Kang, K. J., Oh, G. S., Go, Y. S., Kim, Y. J., Park, D. H., Kim, H. Y. (2004). Inhibition of enzymatic browning in *Paeoniae radix rubra* by citric acid. *Food Sci. Biotechnol.*, 13, 119–125.

[13] Lu, S. M., Luo, Y. G., Turner, E., Feng, H. (2007). Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices. *Food Chem.*, 104(2), 824–829.

[14] Shengmin, L., Yaguang, L., Ellen Turner, B., Hao Feng, C. (2007). Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices. *Food Chem.*, 104(2), 824–829.

[15] Pristijono, P., Wills, R. B. H., Golding, J. B. (2006). Inhibition of browning on the surface of apple slices by short term exposure to nitric oxide (NO) gas. *Postharvest Biol. Tec.*, 42(3), 256–259.

[16] Severini, C., Baiano, A., De Pilli, T., Romaniello, R., Derossi, A. (2003). Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. *LWT. Food Sci. Technol.*, 36(7), 657–665.

[17] Soliva-Fortuny, R., Elez-Martinez, P., Sebastian-Caldero, M., Martin-Belloso, O. (2002). Kinetics of polyphenol oxidase activity inhibition and browning of avocado puree preserved by combined methods. *J. Food Eng.*, 55(2), 131–137.

[1] Konopacka, D., Plochanski, W. J. (2004). Effect of storage conditions on the relationship between apple firmness and texture acceptability. *Postharvest Biol. Tec.*, 32(2), 205–211.

[2] Chen, Q. X., Song, K. K., Qiu, L., Liu, X. D., Huang, H., Guo, H. Y. (2005). Inhibitory effects on mushroom tyrosinase by p-alkoxybenzoic acids. *Food Chem.*, 91(2), 269–274.

[3] Luo, Y., Barbosa, G. (1997). Enzymatic browning and its inhibition in new apple cultivars slices using 4-hexylresorcinol in combination with ascorbic acid. *Food Sci. Technol. Int.*, 3(3), 195–201.

[4] Amiot, M. J., Tacchini, M., Aubert, S., Nicolas, J. (1992). Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *J. Food Sci.*, 57(4), 958–962.

[5] Klein, J. D. (1987). Relationship of harvest date, storage conditions, and fruit characteristics to bruise susceptibility of apple. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 112(1), 113–118.

[6] Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Billot, J. (1990). Phenolic compounds in fruit processing. *Fruit phen.*, 1, 295–358.

[7] Murata, M., Tsurutani, M., Tomita, M., Homma, S., Kaneko, K. (1995). Relationship between apple ripening and browning: changes in polyphenol content and polyphenol oxidase. *J. Agric. Food. Chem.*, 43(5), 1115–1121.

[8] McEvily, A. J., Iyengar, R., Otwell, W. S. (1992). Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 32(3), 253–273.

[9] Hosoda, H., Inoue, E., Iwahashi, Y., Sakaue, K., Tada, M., Nagata, T. (2005). Inhibitory effect of sulfides

- J. Food Eng.*, 53(4), 361–371.
- [27] Quevedo, R., Jaramillo, M., Díaz, O., Pedreschi, F., Aguilera, J. (2009). Quantification of enzymatic browning in apple slices applying the fractal texture Fourier image. *J. Food Eng.*, 95(2), 285–290.
- [28] Quevedo, R., Mendoza, F., Aguilera, J. M., Chano-na, J., Gutierrez-Lopez, G. (2008). Determination of senescent spotting in banana (*Musa cavendish*) using fractal texture Fourier image. *J. Food Eng.*, 84(4), 509–515.
- [29] Quevedo, R., Pedreschi, F., Bastias, J. M., Díaz, O. (2016). Correlation of the fractal enzymatic browning rate with the temperature in mushroom, pear and apple slices. *LWT. Food Sci. Technol.*, 65, 406–413.
- [30] نداف زاده، م.؛ و آبدانان مهدی‌زاده، س. (1395) تعیین زمان بهینه پخت سبزیجات با کمک پردازش تصاویر دیجیتالی و اندازه گیری مختصات رنگی. فناوری‌های نوین غذایی، جلد 3، شماره 11، ص 49-57.
- [31] Quevedo, R., Aguilera, J. M., Pedreschi, F. (2008). Color of salmon fillets by computer vision and sensory panel. *Food Bioprocess Tech.*, doi: 10.1007/ s11947–008–0106–6.
- [32] Mandelbrot, B. B. (1977). *The Fractal Geometry of Nature*. W.H. Freeman and Co, New York.
- [33] Corradini, M. G., Peleg, M. (2004). A model of non-isothermal degradation of nutrients, pigments and enzymes. *J. Sci. Food. Agr.*, 84(3), 217–226.
- [34] Corradini, M. G., Peleg, M. (2006). Prediction of vitamins loss during non-isothermal heat processes and storage with non-linear kinetic models. *Trends. Food Sci. Tech.*, 17(1), 24–34.
- [35] Vamosvigyazo, L. (1995). Prevention of enzymatic browning in fruits and vegetables – a review of principles and practice. In: *Enzymatic Browning and Its Prevention*, 60(2). 49–62.
- [18] Valentines, M. C., Vilaplana, R., Torres, R., Usall, J., Larrigaudiere, C. (2005). Specific roles of enzymatic browning and lignification in apple disease resistance. *Postharvest Biol. Tec.*, 36(3), 227–234.
- [19] Papadakis, S., Abdul-Malek, S., Kamdem, E., Jam, L. (2000). A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods. *Food Tech.*, 54(12), 48– 51.
- [20] نعمتی‌نیا، ا.؛ آبدانان مهدی زاده، س.؛ ناصحی، ب. (1395) اندازه‌گیری پارامترهای رنگ در اسپاگتی با استفاده از سیستم بینایی ماشین. مجله علوم و صنایع غذایی ایران (پذیرش برای چاپ).
- [21] Yoruk, R., Yoruk, S., Balaban, M. O., Marshall, M. R. (2004). Machine vision analysis of antibrowning potency for oxalic acid: A comparative investigation on banana and apple. *J. Food Sci.*, 69(6), E281–E289.
- [22] آبدانان مهدی‌زاده، س.؛ نوری، م.؛ سلطانی کاظمی، م.؛ امرایی، س. (1395) بررسی غیرمخرب فاکتورهای کیفی آبمیوه مرکبات در خلال انبارمانی با کمک پردازش تصویر، نشریه پژوهش‌های علوم صنایع غذایی ایران (پذیرفته شده برای چاپ).
- [23] Du, C. J., Sun, D. W. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends. Food Sci. Tech.*, 15(5), 230–249.
- [24] Gonzales-Barron, U., Butler, F. (2008). Discrimination of crumb grain visual appearance of organic and non-organic bread loaves by image texture analysis. *J. Food Eng.*, 84(3), 480–488.
- [25] Zheng, C. X., Sun, D. W., Zheng, L. Y. (2006). Recent applications of image texture for evaluation of food qualities-a review. *Trends. Food Sci. Tech.*, 17(3), 113–128.
- [26] Quevedo, R., Carlos, L. G., Aguilera, J. M., Cadoche, L. (2002). Description of food surfaces and micro-structural changes using fractal image texture analysis.

- [36] Cho, J. S., Lee, H. J., Park, J. H., Sung, J. H., Choi, J. Y., Moon, K. D. (2016). Image analysis to evaluate the browning degree of banana (*Musa spp.*) peel. *Food chem.*, 194, 1028–1033.
- [37] Amiot, M., Tacchini, M., Aubert, S., Oleszek, M. (1995). Influence of cultivar, maturity stage, and storage conditions on phenolic composition and enzymatic browning of pear fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 43(5), 1132–1137.
- [38] Amiot, M. J., Tacchini, M., Aubert, S., Nicolas, J. (1992). Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *J. Food Sci.*, 57(4), 958–962.
- [39] Oleszek, W., Amiot, M. J., Aubert, S. Y. (1994). Identification of some phenolics in pear fruit. *J. Agric. Food Chem.*, 42(6), 1261–1265.
- [40] Wrolstad, R. E., Heatherbell, D. A., Durst, R. W., Hsu, J. C., Spanos, G., Yorgey, B. (1988). Processing and storage influences on the chemical-composition and quality of apple, pear and grape juice concentrates. *J. Am. Chem. Soc.*, 196, 73–AGFD.