

## توصیف کنتیک قهوه ای شدن آنزیمی برش های تازه سیب گلاب با استفاده از روش های مختلف آنالیز تصاویر دیجیتال

محمد رضا صلاحی<sup>۱\*</sup>، آرش قیطان پور<sup>۱</sup>، محبت محبتی<sup>۲</sup>، محمد نوشاد<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد و عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانش آموخته دکتری گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۱/۲۴)

### چکیده

هدف از این پژوهش، سنجش توانایی تحلیل تصویر در توصیف کنتیک قهوه ای شدن آنزیمی برش های تازه میوه سیب گلاب با استفاده از بعد فراکتال (FD) و ماتریس همزمانی سطح خاکستری (GLCM) و مقایسه آن با شاخص های مبتنی بر پارامترهای رنگی می باشد. برای محاسبه FD از روش تبدیل فوریه تصویر و برای بیان کنتیک قهوه ای شدن آنزیمی از مدل پاورلا استفاده شد. نتایج نشان داد که پارامتر  $L^*$  در طی قهوه ای شدن آنزیمی کاهش پیدا می کند در حالی که مقدار FD افزایش می یابد که نشان دهنده پیچیدگی های گسترده ای در توزیع رنگ در طی فرآیند می باشد. با توجه به این که مشخصه های بافت در طی قهوه ای شدن آنزیمی تغییر کرده و روند افزایش یا کاهش پیدا می کنند، لذا این امکان وجود دارد که از آنالیز بافت GLCM جهت توصیف کنتیک قهوه ای شدن استفاده کرد. آنالیز بافت تصویر این توانایی را دارد که برخی از اطلاعات مانند تغییرات ایجاد شده در توزیع شدت رنگ بر روی سطح در طول قهوه ای شدن که به وسیله  $L^*$  مشخص نمی شود را ثبت نماید. تغییرات هیستوگرام نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از آن نشان داد که در طی قهوه ای شدن، هیستوگرام تصویر سطح سیب به طور کلی به سمت سطوح خاکستری تیره تر حرکت می کند اما این حرکت به صورت یکنواخت نبوده که نشان دهنده بالاتر بودن شدت قهوه ای شدن در برخی نقاط است.

کلید واژگان: سیب گلاب، قهوه ای شدن آنزیمی، آنالیز بافت، بعد فراکتال، ماتریس همزمانی سطح خاکستری

\*مستول مکاتبات: m.reza.salahi@gmail.com

## ۱- مقدمه

میوه سیب (*Malus domestica Borkh*) مهمترین میوه مناطق معتدله با کالری پایین و حاوی مقادیر قابل توجهی ترکیبات مفید نظیر ویتامین ها، فیبرها، مواد معدنی، اسیدهای آلی، قندها و همچنین ترکیبات آنتی اکسیدانی می باشد [۱].

در ایران، سیب پس از مرکبات مقام دوم را از نظر میزان تولید در سطح کشور دارد و از لحاظ تجاری، ایران چهارمین کشور تولید کننده سیب به شمار می آید. تنوع ژنتیکی زیادی در رقم های سیب ایرانی مشاهده می شود که در این میان مجموعه ای از سیب های معطر تابستانه (اواخر خرداد تا اواخر شهریور) در کشور وجود دارند که به علت داشتن عطر خاص به سیب گلاب (با نام علمی *Gala apple*) معروف شده اند که به دلیل زودرسی و دارا بودن عطر و طعم خاص، شهرت و مطلوبیت ویژه ای دارند [۲].

به دلیل تغییر در شیوه زندگی مصرف کنندگان و افزایش تقاضای آنان برای غذاهای تازه، مغذی و آماده، بازار محصولات غذایی آماده مصرف در سال های گذشته رو به افزایش گذاشته است که در این بین مصرف قطعات سیب تازه برش خورده<sup>۱</sup> به عنوان یک میان وعده غذایی محبوب و مغذی جهت مصرف در سلف سرویس ها، رستوران ها، مدارس و مصارف خانگی از جایگاه بالایی در بین مصرف کنندگان برخوردار است [۳]. با این حال، صنعت میوه جات تازه برش خورده به دلیل افت کیفی ناشی از اختلالات فیزیولوژیکی مواد با مشکلات متعددی مواجهه است. هنگامی که میوه سیب برش داده می شود، سطح آن به دلیل انجام واکنش های آنزیمی قهوه ای رنگ شده که این امر نه تنها کیفیت بصری آن را تحت تاثیر قرار می دهد، بلکه سبب ایجاد تغییرات نامطلوب در طعم و از دست رفتن مواد مغذی آن می شود [۴]. از این رو درک فرایند قهوه ای شدن سطح میوه های برش خورده در حفظ کیفیت و ایمنی میوه های تازه برش بسیار حائز اهمیت است.

به طور معمول، میزان قهوه ای شدن آنزیمی با استفاده از شاخص های بیوشیمیایی نظیر میزان فعالیت آنزیم پلی فنل

اکسیداز [۵ و ۶]، و یا شاخص های فیزیکی از قبیل تغییرات رنگ سطح ماده [۳ و ۷] اندازه گیری می شود. در مورد شاخص های فیزیکی مبتنی بر رنگ، مدلی که در حال حاضر جهت اندازه گیری رنگ مواد غذایی بیشتر مرسوم می باشد، فضای رنگی Lab می باشد، به خصوص پارامتر \*L، که به عنوان شاخص قهوه ای شدن در میوه ها مورد استفاده قرار می گیرد [۸ و ۹]. پارامتر \*L مولفه روشنایی بوده که محدوده آن از ۰ تا ۱۰۰ است و پارامترهای \*a (از سبزی تا قرمزی) و \*b (از آبی تا زردی) دو مولفه رنگی هستند که محدوده آن ها نامحدود بوده اما در اغلب مقالات محدوده آن ها از ۱۲۰- الی ۱۲۰ ذکر شده است [۱۰].

اخیرا استفاده از سیستم ماشین بینایی<sup>۲</sup> برای اندازه گیری رنگ در فضای Lab جهت استفاده در آنالیز تصویر و به دست آوردن برخی از اطلاعات پیرامون مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است. ماشین بینایی تکنیکی است که با استفاده از یک دوربین دیجیتال و یک نرم افزار پردازش تصویر، امکان به کارگیری یک روش ساده با قیمت پایین و انعطاف پذیری بالا نسبت به دستگاه های متداول اندازه گیری رنگ را فراهم آورده است. بیشترین کاربرد ماشین بینایی در آزمایشگاه های کنترل کیفیت می باشد.

از مهمترین ویژگی های تصویر، بافت است. پیکسل ها عناصر سازنده تصاویر هستند به طور کلی دو نوع اطلاعات از هر پیکسل قابل استخراج است که عبارتند از میزان روشنایی و موقعیت هر پیکسل در مختصات تصاویر. میزان روشنایی برای تعیین ویژگی های رنگی و موقعیت هر پیکسل برای توصیف شکل و بیان اندازه کاربرد دارد. در آنالیز بافت تصویر، از هر دو ویژگی پیکسل استفاده شده و چگونگی آرایش خاص مقادیر روشنایی هر پیکسل در ناحیه خاصی از تصویر مورد بررسی قرار می گیرد [۱۱].

یکی دیگر از روش های توصیف بافت، استفاده از ویژگی های آماری مربوط به هیستوگرام شدت یک تصویر می باشد. در هر تصویر رقمی، مقادیر پیکسل ها بیانگر خصوصیات آن تصویر (مانند میزان روشنایی تصویر و وضوح آن) می باشد.

شرایط نور پردازی داخل محفظه برای همه نمونه ها یکسان بود. در نهایت تصاویر با دوربین دیجیتال مذکور با ابعاد  $2816 \times 1880$  پیکسل گرفته شده و با پورت USB به رایانه انتقال یافت و از نرم افزار Canon Utilities Zoom Browser EX Version 6.1.1 برای ذخیره کردن تصاویر با فرمت JPEG رایانه استفاده شد. نحوه تنظیمات دوربین در جدول ۱ آورده شده است.

**Table 1** Settings used in camera for imaging.

F- Stop	F/8
Exposure time	1/8 sec
Flash	No
White balance	Fluorescent
ISO Speed	100
Lens focal length	35

## ۲-۳- آنالیز بافت تصویر

در ابتدا تصاویر گرفته شده از برش های سیب از فضای رنگی RGB به فضای رنگی Lab تبدیل شدند. این تبدیل، سه پارامتر مربوط به شدت یک تصویر را در اختیار ما قرار می دهد: کانال  $L^*$ ، کانال  $a^*$  و کانال  $b^*$ . با رسم مختصات پیکسل  $(x, y)$  در برابر سطوح رنگ در راستای محور  $Z$  می توان شدت سطح  $SI$  از کانال  $L^*$  ( $SI_L^*$ )، از کانال  $a^*$  ( $SI_a^*$ ) و کانال  $b^*$  ( $SI_b^*$ ) را به دست آورده و در نهایت مقادیر  $SI_L^*$ ،  $SI_a^*$  و  $SI_b^*$  با استفاده از تئوری فراکتال توصیف نمود [۱۲]. فراکتال مفهومی نوینی است که امکان توصیف پیچیدگی های اشکال طبیعی را فراهم می نماید. کشف مفاهیم فراکتال ابزاری نیرومند برای توصیف بی نظمی ها در اختیار ما قرار می دهد [۱۳]. بافت فراکتال تصاویر را می توان با استفاده از بعد فراکتال  $FD$  مشتق شده از مقیاس پاورلا تعیین نمود [۱۴]. روش فوریه فراکتال جهت محاسبه بعد فراکتال برای یک تصویر ۲ بعدی از هر کانال رنگی مورد استفاده قرار می گیرد. روش طیف فوریه روشی بر اساس تبدیل فوریه است. طیف فوریه نمایشی از دامنه اجزای فرکانسی مختلف یک تصویر دو بعدی است که با استفاده

هیستوگرام تصویر در حقیقت بیان گرافیکی میزان روشنایی تصویر می باشد. با توجه به این که آنالیز بافت تصویر می تواند برای اطلاعات رنگ خاکستری استفاده شود، فرضیه این پژوهش بر این مبنا قرار می گیرد که بافت تصویر نیز می تواند برای توصیف تغییرات ناهمگون و بی نظمی های رخ داده در کانال های رنگی  $(L^*, a^*, b^*)$ ، در طی قهوه ای شدن آنزیمی مورد استفاده قرار بگیرد. لذا هدف از انجام این پژوهش استفاده از بافت فراکتال فوریه و تحلیل تصاویر رقمی به عنوان یک روش دستگامی و سریع برای تصاویر حاصل از برش های تازه میوه سیب گلاب به منظور بررسی کینتیک قهوه ای شدن آنزیمی و مقایسه آن با شاخص های حاصل از پارامتر های رنگی است. همچنین در این پژوهش، تغییرات هیستوگرام برش های سیب گلاب مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲-۲ مواد و روش ها

### ۲-۱- تهیه برش های سیب

در این پژوهش از سیب گلاب رقم کهنز تهیه شده از سطح شهر مشهد جهت بررسی کینتیک قهوه ای شدن استفاده شد. سیب ها با ابعاد و رنگ تقریباً مشابه با استفاده از چاقویی از جنس استیل ضد زنگ به صورت برش هایی با ابعاد یکسان ( $2 \times 2$  سانتی متر) در آمدند. بعد از تهیه برش های سیب، از نمونه ها در فواصل زمانی مشخص تا زمان ۱۸۵ دقیقه بوسیله دوربین عکس برداری شد. آزمون در ۴ تکرار و در دمای ۱۵ درجه سلسیوس انجام شد.

### ۲-۲- سیستم ماشین بینایی

سیستم تصویرگیری به طور کلی از ۴ جز تشکیل شده است که عبارتند از منابع نوری، دوربین، سخت افزار و نرم افزار رایانه. جهت نورپردازی یکنواخت، به یک محفظه تاریک نیاز است. این محفظه تاریک که اتاقک چوبی با دیوارهای تیره شده با رنگ سیاه است (تا نور پس زمینه را به حداقل برساند) حاوی ۱۰ لامپ فلورسنت (Oppl, 8W, model: MX396- Y82) به طول ۶۰ سانتی متر جهت تامین نور بود. دوربین دیجیتالی (Canon EOS 1000D, Tokyo, Japan) به فاصله ۲۵ سانتی متری به صورت عمودی در بالای نمونه ها قرار گرفت.

3. Surface intensity  
4. Fractal dimension

**انرژی:**

این پارامتر مبین میزان یکنواختی یا صافی تصاویر می باشد. هنگامی که پیکسل ها به هم شبیه باشد انرژی دارای مقادیر بالا می باشد و با کاهش صافی این ویژگی کاهش پیدا می کند (معادله ۱).

$$ASM = \sum_i \sum_j p(i,j)^2 \quad (1)$$

**کنتراست<sup>۷</sup>:**

کنتراست تنوع شدت سطوح خاکستری را نشان می دهد. تصویری با کنتراست بالاتر یعنی نقاط ناهمگن بیشتری دارد (معادله ۲).

$$Con = \sum_{n=0}^D n^2 \left( \sum_i \sum_{j | |i-j|=n} P(i,j) \right) \quad (2)$$

**همبستگی<sup>۸</sup>:**

همبستگی میزان وابستگی خطی یک پیکسل با پیکسل های همسایه را نشان می دهد. تصویر با همبستگی بالا یعنی نقاط هموزن

بیشتری دارند و از طریق رابطه ذیل محاسبه می شود:

$$Cor = \frac{\sum_i \sum_j (ij) P(i,j) - \mu^2}{\sigma^2} \quad (3)$$

**یکنواختی<sup>۹</sup>:**

یکنواختی مبین میزان همگن بودن تصویر است. مقدار این پارامتر زمانی بالا است که سطح موضع خاکستری یکنواخت است [۱۵]. از معادله زیر برای محاسبه این پارامتر استفاده می شود: (۴)

از تبدیل فوریه سریع<sup>۵</sup> از حوزه فضایی به حوزه فرکانس تبدیل شده است. فرکانس های مختلف در طیف فوریه در فواصل و جهات مختلف از مبدا قرار گرفته اند. در این پژوهش پس از در نظر گرفتن انتقال فوریه از ناحیه مورد نظر در ۲۴ جهت بر روی تصویر، مقدار طیف شدت فوریه از سطح به عنوان تابعی از فرکانس محاسبه شد. در نهایت با رسم لگاریتم تغییرات اندازه ضرایب فوریه در توان ۲ در مقابل لگاریتم فرکانس ها، می توان مقادیر پارامترهای  $FD_b^*$  و  $FD_a^*$ ،  $FD_L^*$  را به دست آورد.

شیوه های مختلفی برای آنالیز بافت تصویر وجود دارد که در این بین ماتریس همزمانی سطح خاکستری<sup>۱</sup> (GLCM) یکی از پرکاربردترین تکنیک های تحلیل بافت تصویر است که در آن مشخصه های بافت توسط برخی پارامترهای آماری از ماتریس همزمانی  $P(i,j)$  بدست می آیند. ماتریس همزمانی یک ماتریس مربعی است که عناصر آن نرخ رخداد مقادیر خاکستری دو پیکسل وابسته از تصویر را که در فاصله و جهت بخصوصی از یکدیگر قرار گرفته اند، بیان می کند. قبل از ساختن ماتریس دو پارامتر  $\theta$  (جهت جفت های پیکسلی) و  $d$  (فاصله بین جفت های پیکسلی) باید انتخاب شوند. جهت  $\theta$  یکی از چهار مقدار ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ بوده، و فاصله بستگی به رزولوشن بافت دارد. در بسیاری از موارد در صنایع غذایی  $d$  معمولاً طبق خواص ماده غذایی مورد مطالعه بدست می آید و معمولاً برابر با ۱ می باشد. مقدار زاویه  $\theta$  نیز معمولاً صفر در نظر گرفته می شود [۱۱]. در این شیوه تصویر تبدیل به یک ماتریس دو بعدی می شود که هر درایه آن احتمال قرار گرفتن شدت رنگ  $i$  و  $j$  را در همسایگی به فاصله  $d$  و زاویه ای به اندازه  $\theta$  بیان می دارد. ماتریس از شمردن جفت های پیکسلی  $(x_2, y_2)$  و  $(x_1, y_1)$  با مقادیر خاکستری  $i$  و  $j$  در جهت  $\theta$  و فاصله  $d$  ساخته می شود. ویژگی های بافتی مختلفی از ماتریس همزمانی قابل استخراج است که مشخصه های زیر معمول ترین آن ها هستند:

7. Contrast  
8. Correlation  
9. Homogeneity

5. Fast Fourier Transform  
6. Gray level co-occurrence matrix

کینتیک مرتبه صفر یا مرتبه اول است هنگامی که مقدار  $n$  به ترتیب صفر یا ۱ باشد. هنگامی که روش مبتنی بر رنگ استفاده می شود، مقدار  $C$  بوسیله پارامترهای رنگی جایگزین می شود. هنگامی که روش بعد فراکتال برای ارزیابی کینتیک قهوه ای شدن به کار گرفته می شود،  $C$  توسط  $FD$  و هنگامی که برای بررسی کینتیک قهوه ای شدن از ویژگی های بافتی کنتراست، آنتروپی، انرژی، یکنواختی و همبستگی استفاده می شود، مقدار  $C$  توسط این پارامترها جایگزین می شود.

### ۳- نتایج و بحث

در شکل ۱ شدت سطح مبتنی بر  $L^* (SI_L^*)$  به دست آمده از ۳ تصویر انتخاب شده در زمان های مختلف روند قهوه ای شدن مربوط به یک نمونه از برش سیب گلاب نشان داده شده است. به طور معمول برای توصیف کینتیک قهوه ای شدن آنزیمی در تحقیقات مواد غذایی از پارامتر  $L^*$  استفاده می شود. در این پژوهش امکان استفاده از پارامتر  $FD_L^*$  و آنالیز بافت تصویر به جای پارامتر  $L^*$ ، برای بیان روند قهوه ای شدن آنزیمی سیب گلاب بررسی شده است. آنالیزهای مشابه ای نیز می توان برای سایر پارامترهای رنگی ( $a^*$  و  $b^*$ ) انجام داد. همانطور که در شکل ۱ ملاحظه می شود هنگامی که  $SI_L^*$  نامنظم تر می شود، مقدار پارامتر  $FD_L^*$  نیز افزایش پیدا می کند به طوریکه مقدار  $FD_L^*$  در ۰، ۲۰ و ۱۸۵ به ترتیب برابر ۲.۱۳۸، ۲.۲۹۸ و ۲.۴۵۵ می باشد. بنابراین می توان گفت که در طی قهوه ای شدن توزیع مقادیر  $L^*$  به صورت ناهمگون در آمده و الگوهای رنگی غیر یکنواخت بر روی تصاویر پدیدار شده است. پارامتر  $FD_L^*$  اهمیت فیزیکی خاصی ندارد و تنها راهی برای نشان دادن چگونگی توزیع مقادیر  $L^*$  در ناحیه مورد آنالیز در طی قهوه ای شدن آنزیمی است [۱۹].

$$HOM = \sum_i \sum_j \frac{1}{1 + (i - j)^2} P(i, j)$$

در این روابط  $\sigma^2$  واریانس و  $\mu$  متوسط مقدار ماتریس می باشد و از رابطه زیر به دست می آید.

(۵)

$$\mu = \sum_i \sum_j k P(i, j)$$

### آنتروپی

آنتروپی نیز نشان دهنده میزان نظم در تصاویر بوده که پیچیدگی های تصاویر را با توجه موقعیت فضایی سطوح خاکستری در تصاویر اندازه گیری می کند و میزان اطلاعات تصویر را که برای فشرده سازی تصویر مورد نیاز است، نشان می دهد [۱۱ و ۱۶].

(۶)

$$Entropy = \sum_i \sum_j -p_{ij}^2 \times \log P_{ij}$$

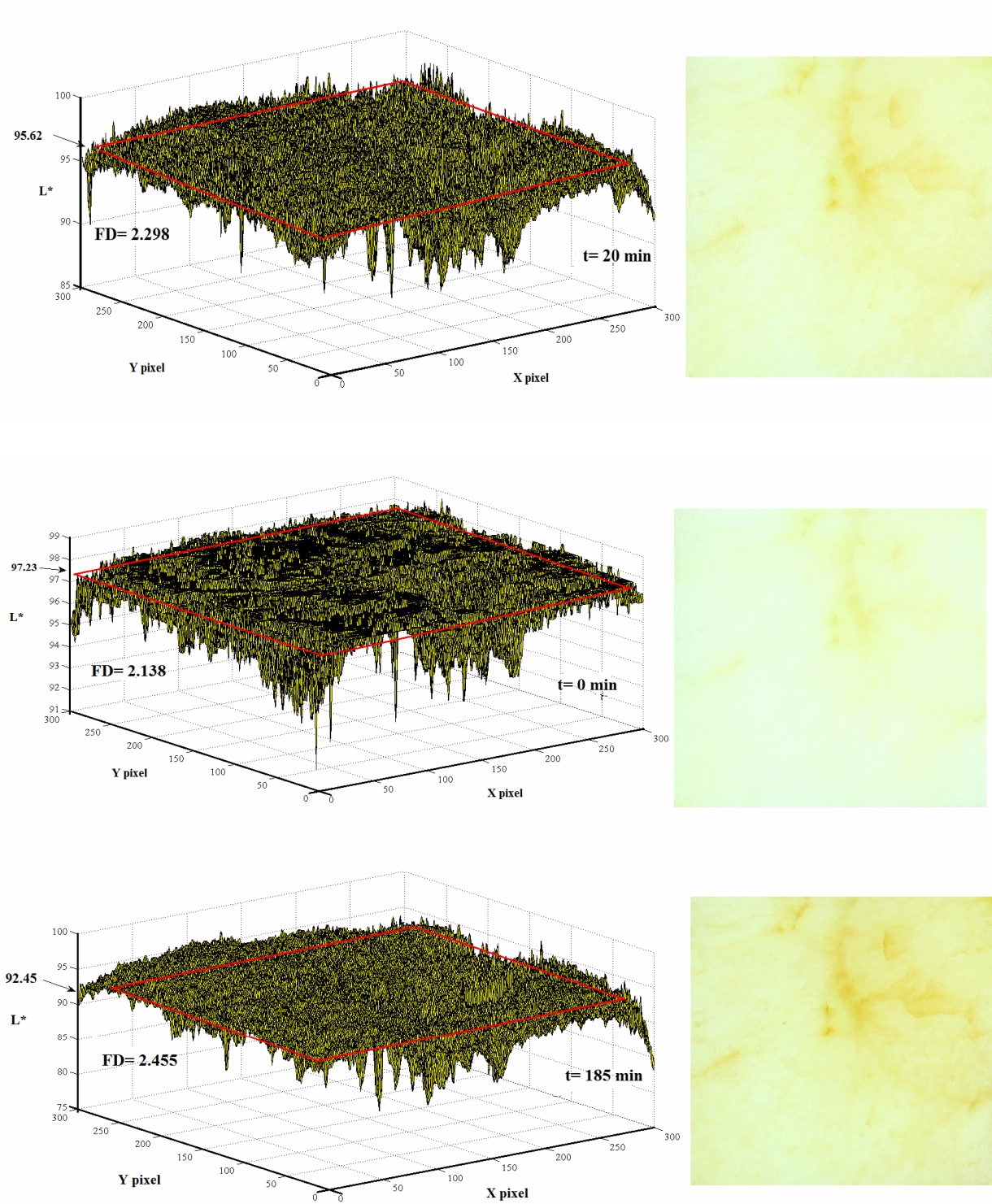
### ۲-۴- مدل قهوه ای شدن آنزیمی

به منظور بیان نرخ کینتیک قهوه ای شدن، مدل پاورلا برای داده های کینتیک مورد استفاده قرار گرفت [۱۷]:

(۷)

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

که در این معادله،  $C/C_i$  کسر تبدیل یک جزء نسبت به مقدار اولیه،  $k$  پارامتر سرعت تغییرات (بر دقیقه) و  $n$  فاکتور شکل می باشد. فاکتور شکل در معادله فوق، بیان گر اندازه ای از درجه تقعر و جهت منحنی برازش داده شده است [۱۸]. هنگامی که مقدار  $k$  مثبت است، معادله بیان کننده افزایش بصورت نمایی و هنگامی که منفی است، بیان کننده روند نزولی به صورت نمایی است. این مدل در واقع یک معادله تجربی بیان کننده تغییرات



**Fig 1** Three selected images with their  $SI_L$  (left) during the enzymatic browning for one Golab apple slice. Number followed by the arrow shows the  $L^*$  mean value of same region, respectively.

به هم نزدیک می شوند که این اتفاق می تواند در برخی از مناطق با شدت بالاتری همراه باشد [۲۱]. این امر سبب ایجاد الگوهای رنگی غیر یکنواخت در طول قهوه ای شدن آنزیمی می شود. مشاهدات انجام شده نیز در تایید این مطلب نشان داد که کینتیک تغییرات رنگ به صورت غیر یکنواخت در سطح سیب برش خورده صورت گرفته و در فصل مشترک بین هسته و گوشته فرآیند قهوه ای شدن با شدت بیشتری انجام شده است. همانطور که در شکل ۱ ملاحظه می شود این پدیده سبب می شود که  $SI_L^*$  به صورت فزاینده ای نامنظم و غیر یکنواخت شود که اثر خود را به صورت افزایش مقدار پارامتر  $FD_L^*$  نشان می دهد.

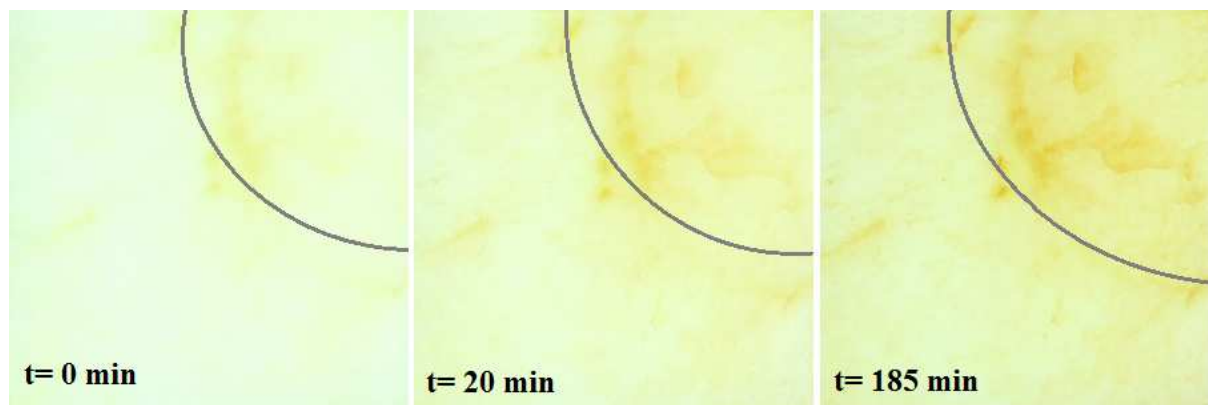


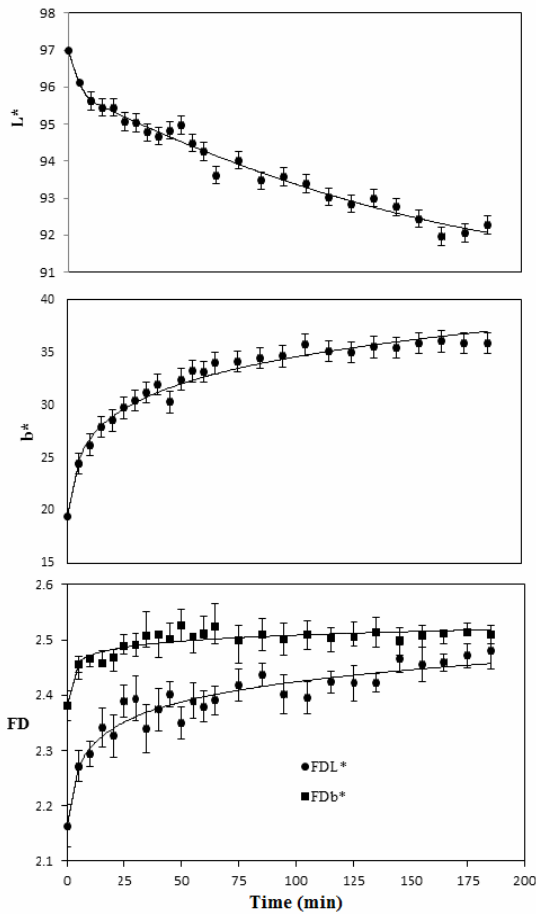
Fig 2 Heterogeneous browning of one Golab apple slice.

$$(A) \quad BE = \frac{(B - B_i)}{(B_f - B_i)}$$

که در این رابطه  $B$  مقدار پارامتر در هر لحظه،  $B_i$  مقدار در لحظه اولیه و  $B_f$  مقدار پارامتر در لحظه نهایی فرآیند است. با توجه به این که هر دو پارامتر  $L^*$  و  $FD$  کینتیک قهوه ای شدن را توصیف می کنند، اختلاف نشان داده شده در محور  $y$  بین دو منحنی در برگرنده اطلاعاتی است که هنگام ارزیابی کینتیک قهوه ای شدن بر اساس  $L^*$  قابل بیان و ثبت شدن نمی باشد.

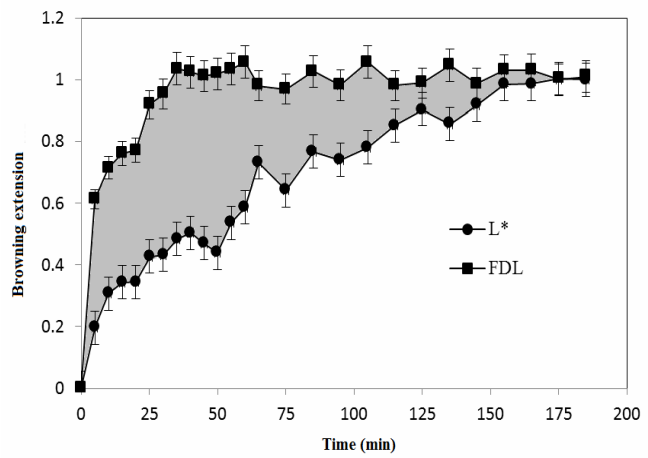
مطابق با شکل ۲ در طی قهوه ای شدن برش های سیب گلاب، برخی از نواحی نسبت به سایر نقاط تیره تر شده اند. علت این پدیده را می توان به وجود بستریهایی در بافت سلول نسبت داد. به عنوان مثال، حباب های هوای موجود در بافت سیب سبب می شوند که از طریق آنها ترکیبات فنولی به واکنش یا به درون دیواره سلولی منتقل شوند. علاوه بر این، مقادیر کمی از ترکیبات فنولی نیز ممکن است در کروموپلاست، سیتوپلاسم و میتوکندری یافت شود [۲۰]. هنگامی که یک تنش فیزیکی همانند برش در بافت سیب رخ می دهد، مسیر حرکتی برخی از سلول ها با مشکل مواجهه می شود که در نتیجه آن، ترکیبات فنولی مانند کاتچین و پلی فنول ها با پلی فنول اکسیداز و یا فنول پراکسیداز

در طی قهوه ای شدن آنزیمی الگوهای رنگی ناهمگن و غیر یکنواختی در تصاویر ظاهر شده که سبب می شود مقدار پارامتر  $L^*$  به طور گسترده ای در تصویر و فضای رنگی پراکنده شود. هنگامی که از شاخص  $L^*$  برای بررسی قهوه ای شدن استفاده می شود، این تغییرات قابل بیان نیستند زیرا  $L^*$  به صورت یک مقدار میانگینی از رنگ کل سطح گزارش می شود. به منظور بیان بهتر، ارتباط میان  $L^*$  و  $FD_L^*$  و نحوه گسترش قهوه ای شدن در شکل ۳ نشان داده شده است. مقدار گسترش قهوه ای شدن با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود [۲۱]:



**Fig 4** Kinetic enzymatic browning for a Golab apple slice measured by the  $FD$  method (lower) and traditional method (upper and middle).

در شکل ۵، کنتیک تغییرات ویژگی های بافت تصویر برش های سیب گلاب در طی قهوه ای شدن آنزیمی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود ویژگی های بافت تصویر به صورت یکنواخت در طی فرآیند قهوه ای شدن افزایش یا کاهش پیدا کرده اند که همانند  $FD$  نشان دهنده ایجاد تغییرات در مقادیر شدت رنگ تصاویر می باشد و بیانگر آن است که رنگ به صورت غیر یکنواخت بر روی سطح توزیع شده است [۲۲]. مطابق شکل، مقدار کنتراست روند افزایش داشته و از حدود ۱٫۱ به ۳٫۵ رسیده است که این امر بیانگر این است که تغییرات در مقادیر پارامترهای رنگی ناشی از قهوه ای شدن سیب افزایش نقاط ناهمگن در سطح برش های سیب شده است. مقدار انرژی در طی قهوه ای شدن روند کاهشی داشته و از ۰٫۳۷ به ۰٫۰۰۷



**Fig 3** Browning extension calculated by the  $FD_{L^*}$  and traditional method ( $L^*$ ) for one slice of Golab apple slice.

در شکل ۴ روند قهوه ای شدن آنزیمی برای برش های تازه سیب گلاب با استفاده از مقادیر  $L^*$ ،  $b^*$  و مقادیر  $FD_L^*$  و  $FD_b^*$  به عنوان شاخص های قهوه ای شدن نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود مقدار پارامتر  $L^*$  کاهش یافته و از حدود ۹۷٫۱ به ۹۲٫۲ رسیده است که نشان دهنده قهوه ای شدن سطح سیب است [۴]. این در حالی است که مقدار  $FD_L^*$  افزایش یافت که بیان گر افزایش بی نظمی در  $SI_L^*$  می باشد. مقدار پارامتر  $b^*$  روند افزایش داشت و از حدود ۱۹٫۴۰ در لحظه صفر به ۳۵٫۸۵ در پایان آزمایش رسید. در این حالت نیز همانند  $FD_L^*$  مقدار  $FD_b^*$  افزایش پیدا کرد اما تغییرات آن نسبت به  $FD_L^*$  شیب ملایم تری داشت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار پارامتر  $a^*$  تغییرات چشمگیری در طی قهوه ای شدن آنزیمی از خود نشان نمی دهد. با توجه به اینکه از پارامتر  $L^*$  برای ارزیابی کنتیک قهوه ای شدن استفاده می شود؛ در این پژوهش نیز مقایسه پارامترهای  $FD$  و بافت تصویر با مقدار  $L^*$  انجام شد.



رسیده است که نشان دهنده تغییرات غیر همگن در مقدار انرژی تصاویر است. همانطور که در شکل ۵ ملاحظه می شود کمترین میزان آنتروپی در ابتدای آزمایش مشاهده شده و با گذشت زمان مقدار آن افزایش یافته و از حدود ۴٫۱ به ۵٫۲۵ رسیده است. پارامتر یکنواختی که تغییرات محلی رخ داده در بافت تصویر را اندازه گیری می کند در طول قهوه ای شدن آنزیمی کاهش یافته و از ۰٫۷۹۴ به ۰٫۵۸۲ رسیده است. میزان همبستگی نیز در طی قهوه ای شدن کاهش پیدا کرد و از ۰٫۰۴۲ در ابتدای قهوه ای شدن به ۰٫۰۱ در انتهای آزمایش رسید. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، می توان بیان کرد که بیشترین میزان قهوه ای شدن در دقایق اولیه پس از برش خوردن رخ می دهد (۱۰-۱۵ دقیقه اولیه) و پس از آن از شدت تغییرات کاسته می شود. در جدول ۲ مقدار پارامترهای فاکتور شکل ( $n$ ) و پارامتر سرعت تغییرات ( $k$ ) هنگامی که معادله ۷ برای ارزیابی کینتیک قهوه ای شدن بر اساس  $L^*$ ،  $FD$  و ویژگی های بافت تصویر مورد استفاده قرار گرفته، آورده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می شود در تمامی مدل های برازش یافته، مقدار  $R^2$  بالاتر از ۰٫۸۶ می باشد که بیان کننده آن است که مدل پاورلا توانسته است به خوبی کینتیک قهوه ای شدن آنزیمی برش های سیب گلاب را نشان دهد. مقدار  $k$  حاصل از  $FD_L^*$  برابر 0.0308 و بر اساس  $L^*$  برابر 0.0039- بر دقیقه است.

در واقع، مقدار پارامتر  $k$  حاصل از  $FD_L^*$  به صورت مطلق 10.82 برابر بزرگتر از مقدار به دست آمده بر اساس  $L^*$  است. همانند  $FD_L^*$ ، مقدار  $k$  حاصل از کنتراست، انرژی، آنتروپی، یکنواختی و همبستگی نیز بالاتر از مقدار  $k$  به دست آمده بر اساس  $L^*$  است که بیان کننده سرعت بالاتر تغییر این پارامترها نسبت به  $L^*$  در طی قهوه ای شدن آنزیمی می باشد [۲۲]. نکته حائز اهمیت دیگر مقادیر فاکتور شکل به دست آمده است. بر اساس اینکه مقدار  $n$  به صفر یا یک نزدیک باشد، مدل پاورلا به ترتیب به صورت مدل مرتبه صفر یا مرتبه یک در نظر گرفته می شود. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار  $n$  بدست آمده بر اساس  $L^*$  در حدود ۰٫۵۱ است که بین مدل های مرتبه صفر و یک قرار گرفته، اما به مدل مرتبه اول نزدیکتر می باشد. مقدار  $n$  به دست آمده بر اساس روش  $FD_L^*$  و ویژگی های بافتی به صفر نزدیکتر بوده (بین ۰٫۱۴ تا ۰٫۲۶) که نشان می دهد مدل پاورلا در این حالت یک مدل مرتبه صفر است. کمتر بودن مقدار  $n$  به دست آمده از روش  $FD_L^*$  و ویژگی های بافتی نسبت به  $L^*$  بیان گر این مطلب است که، نتایج نشان داده شده بر اساس سنجش رقمی تصاویر همگن تر بوده و نمایه ای از خصوصیات کل سطح است و می توانند تغییراتی که ممکن است توسط  $L^*$  مشخص نشود را ثبت نمایند [۲۳].

**Table 2**  $k$  ( $\text{min}^{-1}$ ) and  $n$  parameters (average) obtained for the browning fraction conversion data using different browning indexes.

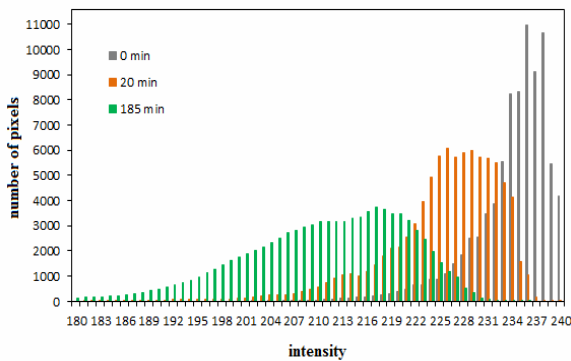
Browning index	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$n$	$R^2$	$k/k_L$
$L^*$	$-0.0039 \pm 0.0019$	$0.5078 \pm 0.1148$	$0.922 \pm 0.055$	---
$FD_L^*$	$0.0308 \pm 0.0171$	$0.2676 \pm 0.1134$	$0.913 \pm 0.0489$	$10.82 \pm 2.18$
Contrast	$0.6191 \pm 0.2245$	$0.1757 \pm 0.0368$	$0.863 \pm 0.065$	$119.39 \pm 17.97$
Energy	$-0.6069 \pm 0.1268$	$0.1831 \pm 0.0458$	$0.959 \pm 0.035$	$140.73 \pm 34.13$
Entropy	$0.1401 \pm 0.0277$	$0.1461 \pm 0.0344$	$0.911 \pm 0.041$	$32.69 \pm 10.52$
Homogeneity	$-0.1263 \pm 0.0340$	$0.1828 \pm 0.0396$	$0.897 \pm 0.042$	$29.20 \pm 12.45$
Correlation	$-0.3958 \pm 0.0211$	$0.1851 \pm 0.0468$	$0.971 \pm 0.026$	$149.42 \pm 35.65$

## بررسی تغییرات هیستوگرام در طی قهوه ای شدن

### آنزیمی

در شکل ۷ تغییرات هیستوگرام تصویر سطح سیب گلاب در طی قهوه ای شدن نشان داده شده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می شود، هیستوگرام به طور کلی به سمت سطوح خاکستری تیره تر حرکت می کند اما این حرکت به صورت یکنواخت

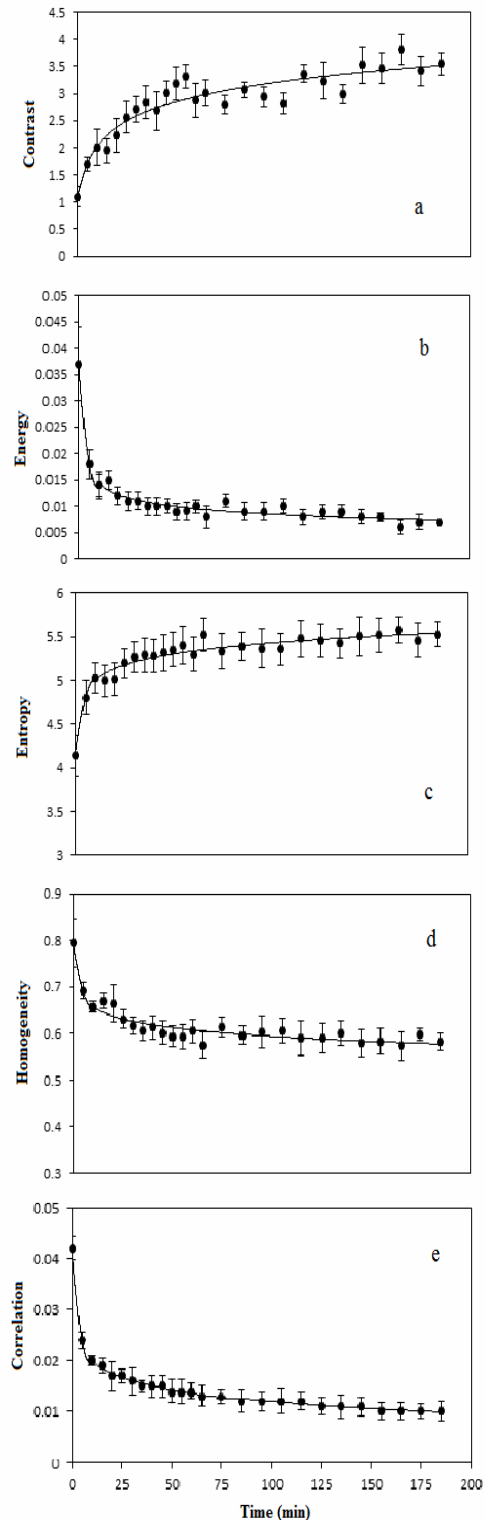
صورت نمی گیرد و در اثر فرایند قهوه ای شدن سطوح خاکستری پیکسل ها تنوع بیشتری می یابد و به همین دلیل از ارتفاع هیستوگرام کاسته شده و قاعده آن پهن تر می گردد و در یک سمت به صورت دنباله دار می آید. همانطور که توضیح داده شد قهوه ای شدن آنزیمی به صورت یکنواخت در تمام سطح برش خورده سیب گلاب انجام نمی گیرد و نقاطی در آن وجود دارد که ممکن است سوبسترای فرایند قهوه ای شدن آنزیمی در آنجا تراکم بیشتری داشته باشد و در نتیجه رنگدانه های ناشی از انجام این فرایند در آن نقاط نسبت به سایر مناطق تجمع بیشتری یافته و باعث ایجاد نقاط تیره تر و در نتیجه دنباله دار شدن هیستوگرام گردد.



**Fig 6** Changes in histogram of Golab apple images during the kinetic.

### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش کنتیک قهوه ای شدن برش های سیب گلاب با استفاده از اطلاعات رنگی به دست آمده از تصاویر و آنالیز بافت تصویر به منظور بیان واکنش قهوه ای شدن آنزیمی و برآورد نرخ قهوه ای شدن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در طی



**Fig 5** Changes in the image textures values during the kinetic; a) Contrast, b) Energy, c) Entropy, d) Homogeneity, e) Correlation.

- Science and Technology-Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 52, 120–124.
- [7] Shengmin, L., Yaguang, L., Ellen Turner, B. and Hao Feng, C. 2007. Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices. Food Chemistry, 104, 824–829.
- [8] Valentines, M.C. Vilaplana, R., Torres, R., Usall, J. and Larrigaudiere, C., 2005. Specific roles of enzymatic browning and lignification in apple disease resistance. Postharvest Biology and Technology, 36, 227–234.
- [9] Pristijono, P., Wills, R.B.H. and Golding, J.B. 2006. Inhibition of browning on the surface of apple slices by short term exposure to nitric oxide (NO) gas. Postharvest Biology and Technology, 42, 256–259.
- [10] Papadakis, S., Abdul-Malek, S., Kamdem, E. and Jam, L. 2000. A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods. Food Technology, 54, 48–51.
- [11] Shahidi, F., Mohebbi, M. and Ehtiai, A. 2011. Image analysis of crumb digital images in Barbary bread enriched with soy flour. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 6 (4), 247-253.
- [12] Quevedo, R., Carlos, L.G., Aguilera, J.M. and Cadoche, L., 2002. Description of food surfaces and microstructural changes using fractal image texture analysis. Journal of Food Engineering, 53, 361–371.
- [13] Fathi, M. 2009. Neural network modeling of kinetics, physicochemical properties and fractal dimension of osmotically dehydrated and air-dried kiwifruit (*Actinidia deliciosa*), MSc Thesis. Ferdowsi University of Mashhad.
- [14] Mandelbrot, B.B. 1977. The Fractal Geometry of Nature. W.H. Freeman and Co, New York.
- [15] Mohanaiah, P., Sathyanarayana, P., and GuruKumar, L. 2013. Image texture feature extraction using GLCM. International Journal of Scientific and Research Publications, 3, 5. ISSN 2250-3153.
- [16] Tournier, C., Grass, M., Zope, D., Salles, C. and Bertrand, D. 2012. Characterization of bread breakdown during mastication by image texture analysis. Journal of Food Engineering, 113, 615–622.
- [17] Corradini, M.G. and Peleg, M. 2006. Prediction of vitamins loss during non-isothermal heat processes and storage with قهوه ای شدن آنزیمی مقدار  $L^*$  کاهش و  $b^*$  افزایش و مقادیر  $FD_L^*$  و  $FD_b^*$  نیز افزایش پیدا کردند که نشان دهنده پیچیدگی های عمده ای در توزیع رنگ در ناحیه انتخاب شده مورد آنالیز در طی کینتیک قهوه ای شدن آنزیمی می باشد. این امکان وجود دارد که بافت تصویر GLCM برای بیان کینتیک قهوه ای شدن آنزیمی مورد استفاده قرار گیرد زیرا شدت سطح در یک تصویر در طول زمان ناهموارتر شده و تغییرات محلی در شدت رنگ در طی قهوه ای شدن به صورت ناهمگون تغییر می کند. در مجموع می توان نتیجه گرفت، بعد فراکتال و تحلیل بافت تصویر می تواند برای مواد غذایی که در آن ها الگوهای رنگ غیر یکنواختی در طی قهوه ای شدن ایجاد می شود مورد استفاده قرار بگیرد.

## ۵- منابع

- [1] Hadian-Deljou, M. and Sarikhani, H. 2013. Effect of salicylic acid on maintaining post-harvest quality of apple cv. Golabe-Kohanz. Journal of Crop Improvement, 14(2),71-82.
- [2] Naghshin, F., Bahar, M., Tabatabae, B.E.S. and Hajnajari, H. 2008. Evaluation of genetic diversity of "Golab" apple genotypes using microsatellite (SSR) markers. Iranian Journal of Horticulture Science and Technology, 9 (2), 69-82.
- [3] Lu, S.M., Luo, Y.G., Turner, E., and Feng, H. 2007. Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices, Food Chemistry, 104, 824–829.
- [4] Luo, Y. and Barbosa, G.1997. Enzymatic browning and its inhibition in new apple cultivars slices using 4-hexylresorcinol in combination with ascorbic acid. Food Science and Technology International, 3(3), 195–201.
- [5] Osanai, Y., Motomura, Y. and Sakurai, N. 2003. Effect of methyl bromide on the internal browning, firmness and elasticity of flesh in un-bagged apple 'Fuji' fruit. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology-Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 50, 254–258.
- [6] Hosoda, H., Inoue, E., Iwahashi, Y., Sakaue, K., Tada, M. and Nagata, T. 2005. Inhibitory effect of sulfides on browning of apple slice. Journal of the Japanese Society for Food

- Quantification of enzymatic browning in apple slices applying the fractal texture Fourier image. *Journal of Food Engineering*, 95(2), 285-290.
- [22] Quevedo, R., Valencia, E., Bastías, J.M and Cárdenas, S. 2011. Description of the enzymatic browning in avocado slice using GLCM image texture. *Image and Video Technology – PSIVT 2013 Workshops*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [23] Quevedo, R., Díaz, O., Ronceros, B., Pedreschi, F. and Aguilera, J.M. 2009. Description of the kinetic enzymatic browning in banana (*Musa cavendish*) slices using non-uniform color information from digital images. *Food Research International*, 2009. 42(9), 1309-1314.
- non-linear kinetic models. *Trends in Food Science and Technology*, 17, 24–34.
- [18] Peleg, M., Normand, M. and Corradini, M. 2012. The Arrhenius equation revisited. *Critical Review Food Science and Nutrition*, 52(9), 830-851.
- [19] Russ, J.1994. *Fractal surfaces*. New York and London, Rayleigh, North Carolina: Plenum Press.
- [20] Hrazdina, G. and Wagner, G. 1985. Metabolic pathways as enzyme complexes: Evidence for the synthesis of phenylpropanoids and flavonoids on membrane associated enzyme complexes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 237,88–100.
- [21] Quevedo, R., Jaramillo, M., Díaz, O., Pedreschi, F. and Aguilera, J.M. 2009.

## Description of the kinetic enzymatic browning in fresh-cut "Golab" apple slices using different methods of digital image analysis

Salahi, M. R. <sup>1\*</sup>, Ghaitaranpour, A. <sup>1</sup>, Mohebbi, M. <sup>2</sup>, Noshad, M. <sup>3</sup>

1. Ph. D Student., Dept. of food science & technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)

2. Ph. D., Dept. of food science & technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)

3. Professor., Dept. of food science & technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)

(Received: 2014/12/17 Accepted: 2015/04/13)

The objective of the study was to assess the ability of image analysis described in enzymatic browning kinetics of apple using fractal dimension (FD) and gray level co-matrix (GLCM) and compare it with color indicators such as average  $L^*$  value (conventional method). The Fourier fractal texture image was used to calculate a fractal dimension value (FD). Power-law model used to model the enzymatic kinetic. The results showed that the average of  $L^*$  value decreased during an enzymatic browning in fruit slices, while  $FD_{L^*}$  rose. Results showed that it is possible to use GLCM image texture to describe the browning kinetic, because the surface intensity in image becomes more jagged and local variation in color intensity are distributed non-homogeneously on the image during browning. Image texture gives us information about the spatial arrangement of color or intensities in an image that was not recorded when the traditional ( $L^*$  value) method was used. Changes in the histogram of image intensities was studied and the resulted showed during browning, image histogram towards the apple generally darker gray levels change while the changes are not uniform, which represents the greater intensity of browning at some points.

**Keywords:** Golab apple, Enzymatic browning, Fractal dimension, Texture analysis, Gray level co-matrix

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: m.reza.salahi@gmail.com