

به نام
خدا

مروری بر کاربردهای تکنیک پردازش تصویر در ارزیابی رنگ در محصولات غذایی



گردآورنده: ریحانه نوربخش
دانشجوی دکترای صنایع غذایی
دانشگاه فردوسی مشهد

8/25/2007

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۱	استفاده از سیستم بینایی انسان در ارزیابی رنگ
۲	استفاده از ابزارهای آزمایشگاهی در ارزیابی رنگ
۳	استفاده از ابزارهای آزمایشگاهی در ارزیابی رنگ
۵	توضیحاتی پیرامون فضاهای رنگی مورد استفاده در پردازش تصویر
۹	خلاصه ای از بررسی مقالات در خصوص استفاده از تکنیک پردازش تصویر در ارزیابی رنگ محصولات غذایی
۹	استفاده از تکنیک پردازش تصویر به عنوان روشی کم هزینه در ارزیابی رنگ چیپس سیب زمینی
۱۳	توسعه استفاده از تکنیک ماشین بینایی در اندازه گیری رنگ در چیپس سیب زمینی
۱۷	تعیین ارتباط تغییر رنگ و تولید اکریل آمید در قطعات سیب زمینی سرخ شده با استفاده از تکنیک پردازش تصویر
۲۰	استفاده از تکنیک پردازش تصویر در تخمین میزان اکریل آمید در سیب زمینی سرخ شده
۲۴	استفاده از تکنیک پردازش تصویر در ارزیابی قهوه ای شدن ناشی فرایند پخت در پنیر پروسه
۲۶	استفاده از تکنیک پردازش تصویر در کنترل کیفیت فرایند تخمیر برگ چای
۳۳	منابع

۱ مقدمه

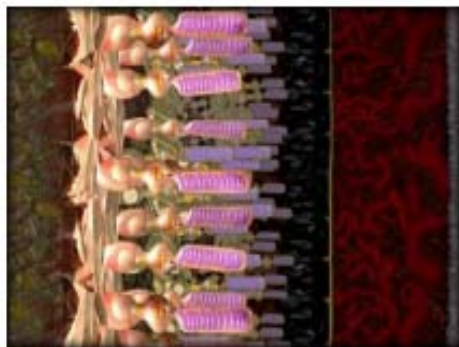
رنگ در صنایع غذایی به عنوان یک پارامتر مهم برای ارزیابی مواد اولیه، محصول حین فرایند و محصول نهایی در واحد تولیدی حائز اهمیت است. از طرفی رنگ در محصولات غذایی یکی از کلیدی ترین فاکتورها در جلب مشتری می باشد. در بسیاری از موارد نیز یک شاخص کیفی مناسب در ارزیابی ایمنی مواد غذایی محسوب می شود، چراکه تغییر رنگ می تواند یکی از مشخصه های فساد در محصولات غذایی به شمار آید. در بعضی از محصولات غذایی و کشاورزی مانند زعفران رنگ مهمترین فاکتور ارزیابی کیفیت و قیمت گذاری محصول می باشد. (۶) برای ارزیابی رنگ در یک ماده وجود ویژگیهایی در آن ماده حائز اهمیت است که از آن جمله می توان به میزان کدورت، یکنواختی رنگ، میزان نور منتشر شده، میزان فرورفتگی ها و برآمدگی های آن اشاره نمود. با توجه به موارد فوق ارزیابی رنگ محصولات غذایی و کشاورزی به صورت online و offline یکی از ابزارهای موثر در کنترل کیفیت می باشد. (۸)

۱-۱ استفاده از سیستم بینایی انسان در ارزیابی رنگ

با پیشرفت تحقیقات بر روی سیستم بینایی دانشمندان دریافته اند که سیستم بینایی انسان یک سیستم بسیار کارآمد برای تفکیک و ارزیابی اجسام می باشد. عملکرد دو بعدی سلول های شبکه (شکل ۱) و قابلیت حرکت مردمک چشم مغز انسان را قادر می سازد که توانایی پردازش تعداد غیر قابل شماری تصویر را داشته باشد و انسان را قادر به استنتاج از مقایسه بین تصاویر نماید (۲). از طرفی سیستم بینایی انسان به گونه ای توسعه یافته که کیفیت نور تابیده شده را به گونه ای اصلاح می نماید تا برداشت انسان از رنگ تغییر نکند. به عنوان مثال یک جسم سفید در نور روز و هنگام غروب همواره سفید به نظر می رسد. (۷) بدیهی است این قابلیت بسیار بالا کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی دارد. لذا باید توجه داشت که پردازش تصویر در کنترل کیفیت توسط سیستم بینایی انسان مشکلاتی را نیز در بردارد که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تکرار پذیری برداشت انسان از کیفیت و از آن جمله رنگ می تواند تحت تاثیر عوامل مختلفی قرار گیرد.
- عدم امکان در دسترس بودن افراد ثابت برای ارزیابی کیفی
- کمی کردن اطلاعات کیفی که تصاویر انسان برداشت می شود
- عدم امکان تبادل اطلاعات افراد به صورت دقیق بین آزمایشگاهها و صنایع (۲)

در مجموع می توان گفت که ارزیابی رنگ توسط انسان وابسته به فرد^۱ است و در نتیجه نتایج حاصل از ثبات و تکرار پذیری خیلی زیادی برخوردار نمی باشند.



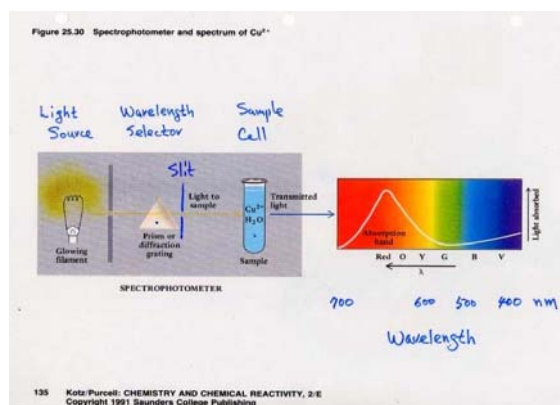
شکل ۱: سلولهای مخروطی و استوانه ای شبکه چشم

۲-۱ استفاده از ابزارهای آزمایشگاهی در ارزیابی رنگ

همانگونه که در پیش گفته شد و نظر به اهمیت ارزیابی رنگ در محصولات غذایی و کشاورزی و با توجه به موانعی که در استفاده از انسان در این امر وجود دارد به تدریج ابزارهای آزمایشگاهی جهت ارزیابی پارامترهای مختلف رنگ مانند نشر، عبور، جذب و انعکاس آن در راستای کنترل کیفیت مواد غذایی، توسعه یافتند. از جمله این ابزارها که توسط شرکت های مختلف توسعه یافتند می توان به اسپکتروفتومتر (شکل ۲، ۳)، رنگ سنج هانترلب (شکل ۴)، رنگ سنج لاوی باند (شکل ۵) و.... می توان اشاره کرد. در عین حال استفاده از این روش ها نیز با محدودیتهایی روبرو می باشد که می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ارزیابی رنگ نمونه در منطقه کوچکی از آن
- لزوم یکنواخت و هموژن بودن نمونه جهت ارزیابی
- نیاز به آماده سازی نمونه بسته به نوع رنگ سنج
- با توجه به موارد اشاره شده در بسیاری از موارد از این ابزارها نمی توان بصورت online استفاده نمود.

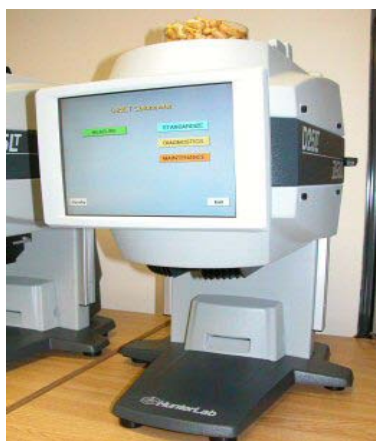
¹ -Subjective



شکل ۲: اساس کار در دستگاه اسپکتروفتومتر برای رنگ سنجی



شکل ۳: دستگاه اسپکتروفتومتر



شکل ۴: یکی از پیشرفته ترین انواع دستگاه رنگ سنج هانتربل



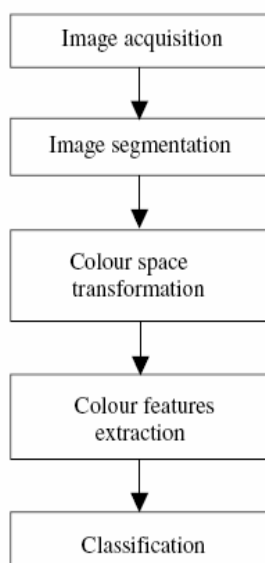
شکل ۵: دستگاه رنگ سنج لاوی باند

۳-۱ استفاده از تکنیک پردازش تصویر در ارزیابی رنگ

با توجه به محدودیتهای ذکر شده در مورد ارزیابی رنگ در محصولات غذایی و کشاورزی و اهمیت این موضوع در مقوله کنترل کیفیت و بازاریابی، تکنیک پردازش تصویر در این صنعت کاربرد پیدا کرد به صورتی که در سالهای اخیر نیز رشد زیادی نموده است. در استفاده از تکنیک مذکور سعی گردیده از مکانیسم بینایی انسان برای استخراج حداکثر اطلاعات از تصاویر استفاده شود. اطلاعات حاصل از این تکنیک به صورت کمی و با تکرارپذیری بالا قابل استفاده می باشد از سویی نیاز به آماده سازی نمونه در بسیاری از موارد مرتفع می گردد و ارزیابی بر روی سطح وسیعی از محصول انجام پذیر می باشد. با استفاده از تکنیک پردازش تصویر می توان اطلاعات حاصل از میلیونها پیکسل از تصویر ماده غذایی را در کسری از ثانیه پردازش نمود. بنابراین می توان رنگ را به صورت online ارزیابی نمود. علیرغم تمام فواید ذکر شده برای استفاده از تکنیک مذکور موارد ذیل در کاربرد پردازش تصویر قابل توجه می باشد:

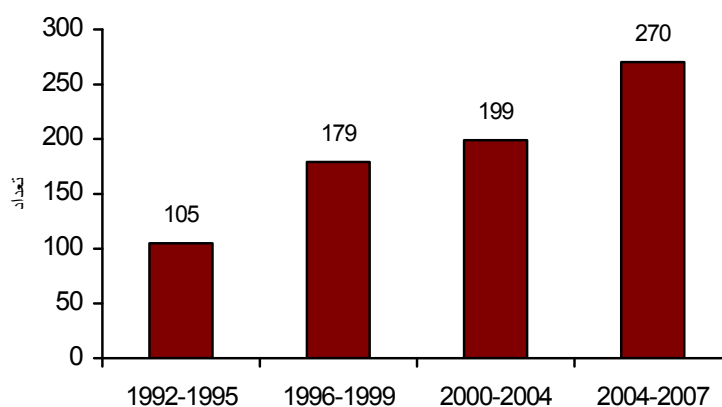
- دانش فنی لازم در چگونگی بکارگیری تکنیک پردازش تصویر در ارزیابی ویژگیهای کیفی مانند استفاده از فضاهاى رنگى مناسب، چگونگی استخراج اطلاعات مورد نیاز از پارامترهای تصویر و.....
- مطالعات اولیه کافی جهت به دست آوردن ارتباط بین داده های حاصل از تکنیک پردازش تصویر و ارزیابی حسی و یا ابزارهای آزمایشگاهی
- مهیا نمودن شرایط محیطی مناسب برای تصویر برداری
- مکانیزه نمودن روش های مورد استفاده

با در نظر گرفتن تمام موارد فوق لیکن مطالعات بسیاری در زمینه ارزیابی رنگ با استفاده از پردازش تصویر صورت گرفته. این تکنیک قابلیت مناسبی در هماننگ سازی ارزیابیها با درک و برداشت انسان از رنگ دارد. شمای کلی مراحل پردازش رنگ تصاویر در (شکل ۶) نشان داده شده است.



شکل ۶: شمای کلی مراحل پردازش رنگ تصاویر

در کل با توجه به مزیت‌های فراوان استفاده از تکنیک پردازش تصویر در آنالیز رنگ که از جمله این موارد می‌توان به دقت و سرعت بالا، هزینه پایین و غیر مخرب بودن آن می‌توان اشاره کرد استفاده از این تکنیک رو به افزایش است. (شکل ۷) حاوی اطلاعاتی در باره مقایسه مقالات منتشر شده در سایت Science Direct با کلمات کلیدی "color image processing" or "color computer vision" می‌باشد.



شکل ۷: مقالات منتشر شده در سایت Science Direct با کلمات کلیدی

"color image processing" or "color computer vision" در فاصله سالهای

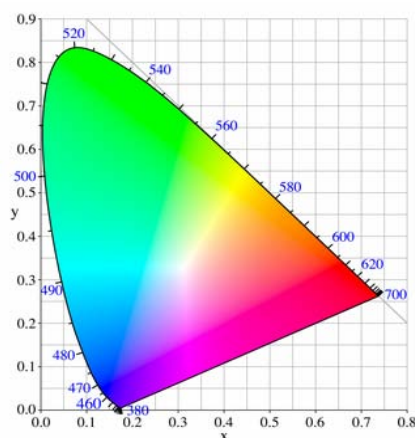
۱۹۹۲-۲۰۰۷.

۲- توضیحاتی پیرامون فضاهای رنگی مورد استفاده در پردازش تصویر (۱)

فضای رنگ ابزاری است که با استفاده از آن می توان رنگ ها را ایجاد کرد یا تشخیص داد و یا در آن فضای خاص تجسم نمود. رنگ ها معمولا دارای سه پارامتر می باشند که این پارامترها مکان رنگ را در فضای خاص مشخص می کنند. هر فضای رنگ دارای ویژگی های خاصی است از جمله خطی یا غیر خطی بودن، یکنواخت یا غیر یکنواخت بودن و وابسته به ابزار بودن و یا مستقل بودن از ابزار. بنابراین بهتر است که با توجه به خواص هر فضای رنگ و کاربرد خاص مورد نظر، از فضای رنگ مناسب استفاده کنیم. فضای رنگ مستقل از ابزار فضای رنگی است که در صورت استفاده از آن با پارامترهای یکسان در تجهیزات مختلف نتیجه یکسانی بدست آید. بر خلاف این فضای رنگ، فضاهای رنگ وابسته به ابزار فضاهایی هستند که در صورت استفاده از آن با پارامترهای یکسان بر روی دو ابزار مختلف نتایج مختلفی بدست می آید.

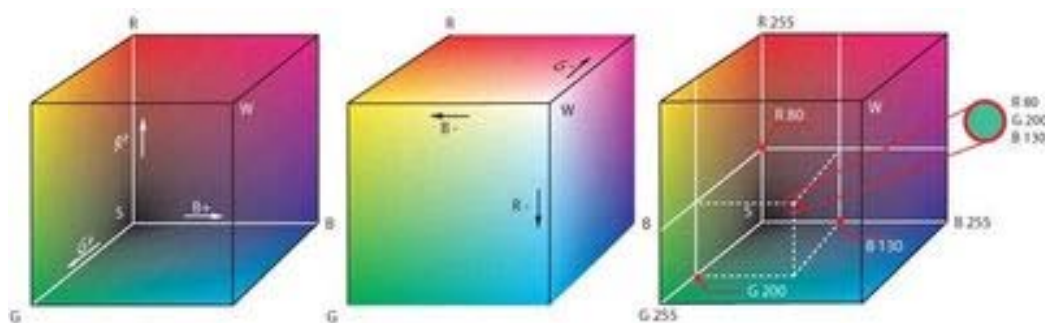
- در مطالعاتی که بر روی رنگ انجام شد، یکی از اولین فضاهای رنگ تعریف شده با مدل ریاضی، فضای رنگ CIE XYZ می باشد. این فضای رنگ توسط International Commission on Illumination در سال ۱۹۳۱ طراحی شد. همانطور که می دانید چشم انسان دارای گیرنده هایی حساس به طول موج کوتاه (S)، متوسط (M) و بلند (L) بوده که به عنوان رنگ های آبی، سبز و قرمز شناخته می شوند. این موضوع نشان می دهد که برای توصیف رنگ از سه پارامتر استفاده می شود. فضای رنگ CIE XYZ فضای رنگی است که بر پایه اندازه گیری چشم انسان بنا شده است. در فضای رنگ CIE XYZ، پارامتر Y به عنوان پارامتر شدت نور (Brightness) بوده و رنگ نیز با دو پارامتر X و Y به صورت زیر تعریف می شوند. در حقیقت این فضای رنگ به صورت Yxy نمایش داده می شود.

تصویر زیر دیاگرام رنگ فضای CIE XYZ را نشان می دهد.



شکل ۸: فضای رنگ CIEXYZ

- در مدل RGB هر رنگ از سه جزء قرمز، سبز و آبی تشکیل می شود. این فضای رنگ به صورت مکعب به شکل زیر نمایش داده می شود



شکل ۹: مکعب رنگ RGB

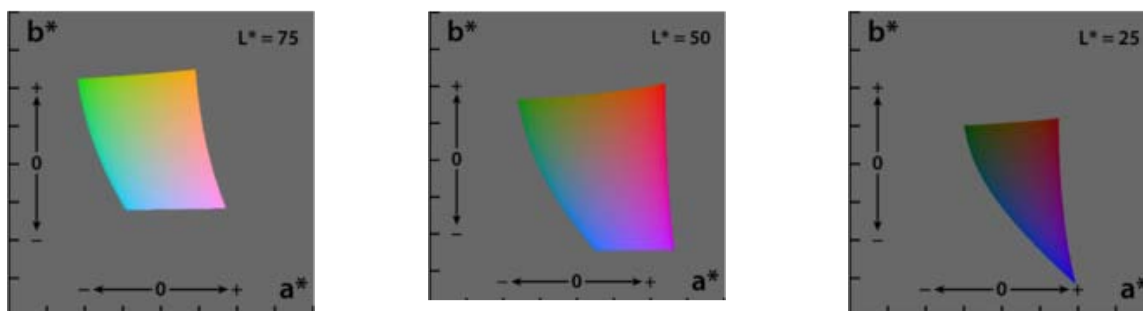
در گوشه پایین $\text{red}=\text{green}=\text{blue}=0$ سیاه و گوشه بالا در سمت مخالف $\text{red}=\text{green}=\text{blue}=255$ سفید را نشان می دهد. به علت استفاده از این فضای رنگ در مانیتورها، این فضا کاربردهای بسیاری در گرافیک کامپیوتری و پردازش تصویر دارد. فضای رنگ RGB وابسته به ابزار و غیر خطی می باشد. نحوه تبدیل از فضای رنگ RGB به فضای رنگ CIEXYZ به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.200 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.116 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

• فضای رنگ Lab

بر خلاف فضای RGB فضای رنگ Lab به گونه ای طراحی شده است که بسیار نزدیک با بینایی انسان است. پارامتر L برای شدت نور در نظر گرفته شده و پارامترهای a و b رنگ را مشخص می کنند. حیطه فضای رنگ Lab بسیار بزرگتر از حیطه رنگ قابل نمایش با کامپیوتر، دستگاه های پرینت و حتی بینایی انسان است. بسیاری از رنگ ها در این فضا از حیطه دید انسان خارج بوده و در حقیقت خیالی هستند. این رنگ ها قابل تولید در فضای فیزیکی نمی باشند. فضای رنگ Lab کاربردهای متنوعی دارد

CIE L*a*b* کاملترین مدل رنگی است که کلیه رنگ هایی که قابل رویت توسط چشم انسان هستند را توصیف می کند. این فضای رنگ توسط International Commission on Illumination طراحی شد.



شکل ۱۰: فضای رنگ Lab

• فضای رنگ HSL که همان تغییر یافته مکعب رنگ RGB است.

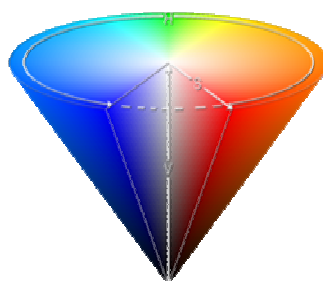
Hue: معرف رنگ منعکس کننده یا انتقال یافته از درون یک شی است. این ویژگی براساس امکان خاص در یک چرخه استاندارد رنگ و با زوایایی بین ۰ تا 360 درجه اندازه گیری می شود. به طور رایج ای ویژگی با نام رنگ (مانند قرمز، نارنجی و ...) تعریف می شود.

Saturation: که گاهی آن را **Chrome** می نامند شدت یا خلوص رنگ را تعیین می کند. در یک چرخه رنگ

استاندارد، این ویژگی از مرکز چرخه به طرف لبه ها افزایش می یابد.

Brightness: روشنایی یا تیرگی نسبی رنگ را تعیین می کند. (صفر برای سیاه و ۱۰۰ برای سفید)

اگر دوران یافته مکعب RGB را در نظر بگیرید به نحوی که گوشه سفید در بالا قرار بگیرد، خطی که گوشه سفید را به گوشه سیاه در داخل مکعب وصل می کند محور Lightness است. رنگ در مکانی واقع در پلان دایره ای اطراف این محور تعریف می شود. اگر از یک نقطه اطراف دایره به نقطه رنگ خطی رسم کنیم، شعاعی که با اندازه های مختلف روی این خط قرار می گیرد میزان Saturation و زاویه ای که این خط با محور افقی می سازد Hue را تشکیل می دهند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: فضای رنگ HSV

۳- خلاصه ای از بررسی مقالات در خصوص استفاده از تکنیک پردازش تصویر در ارزیابی رنگ محصولات غذایی

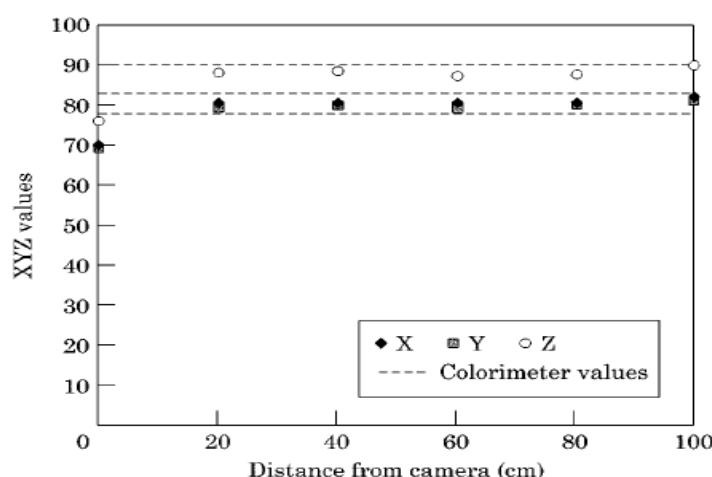
در سالهای اخیر کاربرد پردازش تصویر در ارزیابی رنگ محصولات غذایی توسعه فراوانی پیدا کرده است. هرچند که این رویکرد در صنعت غذایی کشورمان قابل توجه نمی باشد اما تعداد و نوع پژوهشهایی که در قالب مقالات علمی در مجلات معتبر دنیا منتشر گردیده بیانگر پتانسیل نفوذ بالای این تکنیک در صنعت مذکور می باشد. موارد ذیل نمونه هایی از به کارگیری پردازش تصویر در ارزیابی رنگ به عنوان شاخصی برای کنترل کیفیت فرایند و محصول می باشند. نکته قابل توجه این است که نه تنها از رنگ می توان به طور مستقیم به عنوان یک شاخص استفاده نمود بلکه به دلیل ارتباط تولید برخی از ترکیبات خاص در محصولات غذایی با رنگ آنها، ارزیابی رنگ از اهمیت مضاعفی برخوردار می گردد.

استفاده از تکنیک پردازش تصویر به عنوان روشی کم هزینه در ارزیابی رنگ چیپس سیب زمینی: (۷) در

اولین پژوهش هایی که بر روی اندازه گیری رنگ در چیپس سیب زمینی با استفاده از تکنیک پردازش تصویر در سال ۱۹۹۹ توسط Segnini و همکاران انجام شد ضمن بررسی قابلیت این تکنیک فضاهای مختلف رنگ برای ارزیابی نیز مورد بررسی قرار گرفت. در بخشی دیگر از تکنیک پردازش تصویر برای برای محاسبه درصد مناطق قهوه ای در چیپس استفاده شد.

روش کار: در این پژوهش ضمن معرفی مشخصات دوربین تنها به فاصله نمونه ها از دوربین (۱۸ سانتیمتر) اشاره شده و تنها لزوم قرار دادن پوشش سیاه بر روی تجهیزات حاوی منابع نور، دوربین و نمونه قید گردیده ولی توضیحی پیرامون چگونگی قرار گرفتن منابع نور نسبت به دوربین و نمونه ارائه نشده است.

نتایج: در روشهای معمولی که برای اندازه گیری رنگ در چیپس به کار گرفته می شد جهت کاهش پدیده انعکاس نور نیاز به عملیاتی مانند یکنواخت کردن، خیساندن و یا پودر کردن چیپس بود در حالیکه در تکنیک پردازش تصویر توسط میان گیر گیری از قطعات چیپس تاثیر نایکنواختی رنگ در نمونه و انعکاس احتمالی نور بدلیل وضعیت فیزیکی چیپس کاهش می یابد. در بخشی از این تحقیق تاثیر شدت نور در ارزیابی رنگ در فضاهای RGB و XYZ مقایسه گردید نتایج نشان داد که با تغییر فاصله دوربین از نمونه و در نتیجه تغییر در شدت نور تابیده شده پارامترهای فضای XYZ تغییر زیادی نمی کند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: تاثیر فاصله دوربین از نمونه بر روی پارامترهای XYZ

یکی از فضاهاى رنگ مورد استفاده در پژوهش فضاى lab می باشد. نمونه هاى چپس نیز توسط پانلیستها در سه گروه قرار گرفت:

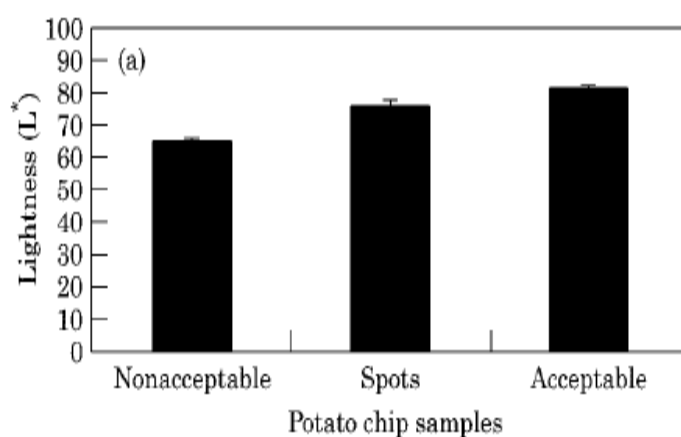
گروه اول: دارای رنگ قابل قبول و فاقد لکه های قهوه ای

گروه دوم: دارای رنگ قابل قبول و حاوی لکه های قهوه ای

گروه سوم: غیر قابل قبول دارای رنگ تیره و حاوی لکه های قهوه ای

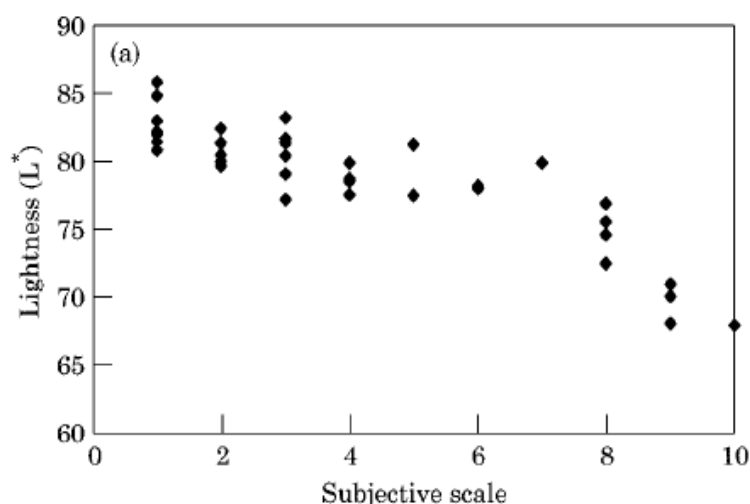
(شکل ۱۳) بیانگر پارامتر L در فضاى lab می باشد که برای سه گروه فوق الذکر به دست آمده است. پارامتر L

شاخصی از درخشندگی محصول می باشد که ارتباط آن با میزان مقبولیت چپس در این نمودار مشهود است.

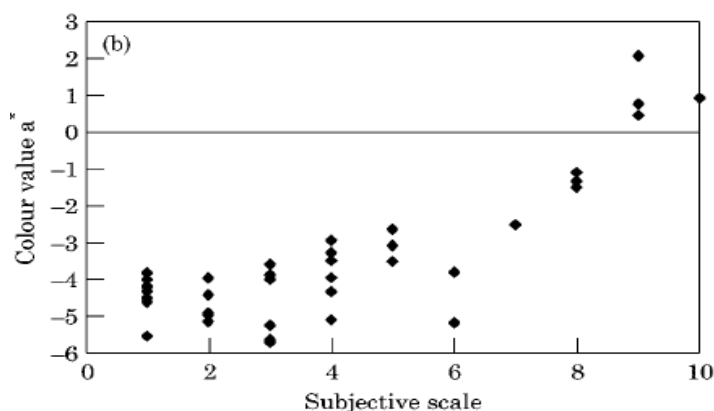


شکل ۱۳: ارتباط پارامتر L و ویژگی درخشندگی در چپس سیب زمینی

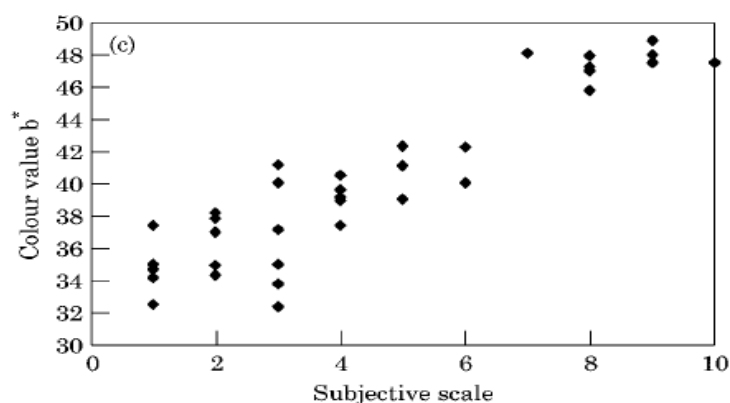
در (اشکال ۱۴، ۱۵ و ۱۶) همبستگی بین درک انسان و پارامترهای فضاى lab نمایش داده شده است.



شکل ۱۴: ارتباط بین ارزیابی حسی و L که شاخص درخشندگی می باشد



شکل ۱۵: ارتباط بین ارزیابی حسی و پارامتر a



شکل ۱۶: ارتباط بین ارزیابی حسی و پارامتر b

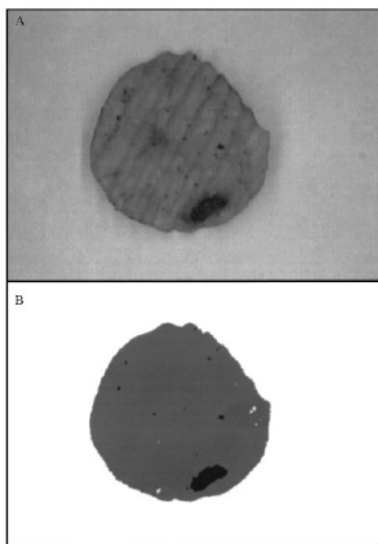
در بخشی دیگر از این پژوهش برای محاسبه سطح قهوه ای رنگ یا به اصطلاح سوخته در چپس از فضای lab استفاده شد و میزان درخشندگی یا پارامتر L مبنایی برای این جداسازی قرار گرفت. مراحل زیر برای این منظور طراحی گردید و انجام پذیرفت:

- قطعات چپس با سطح ۱۴ تا ۱۸ سانتیمتر مربع در نظر گرفته شدند
- تصویر به صورت سطوح خاکستری^۲ خوانده شد.
- با مشخص نمونه دامنه روشنایی در تصویر کار جداسازی^۳ رنگ طبیعی چپس از نقاط قهوه ای انجام شد. به این منظور با استفاده از هیستوگرام درخشندگی یا پارامتر L میزان ۲۸ در نظر گرفته شد.
- در نهایت با محاسبه سطح کل، سطح چپس با رنگ طبیعی و سطح لکه دار نسبت مورد نظر محاسبه می گرد

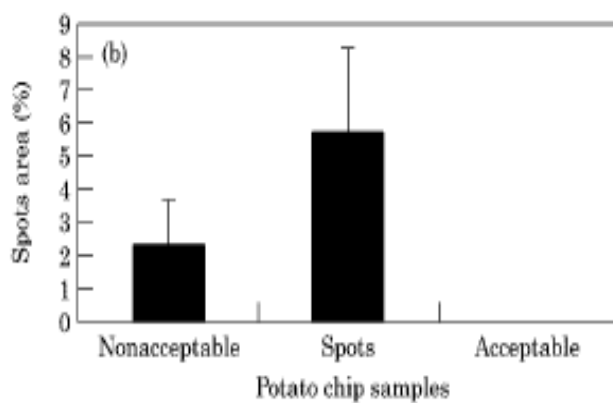
^۲ -Gray scale

^۳ -Segmentation

در (شکل ۱۷) تصویر سیب زمینی به صورت خاکستری و پس از "جداسازی" نمایش داده شده است.



شکل ۱۷: A: تصویر سیب زمینی به صورت خاکستری، B: تصویر سیب زمینی پس از "جداسازی" مناطق قهوه ای در (شکل ۱۸) چپسهای با درصد مناطق قهوه ای مختلف، با مقبولیت این نمونه ها توسط انسان مقایسه گردیده است. (۱۰۲)

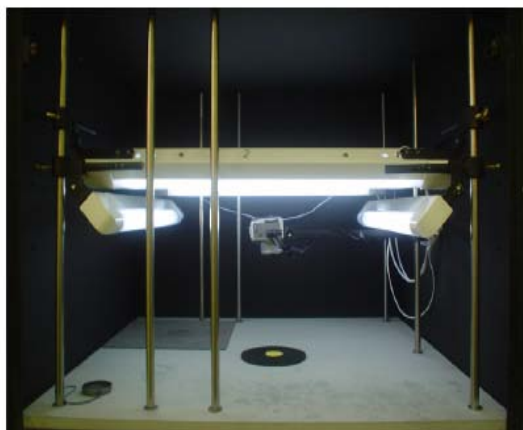


شکل ۱۸: مقایسه درصد مناطق قهوه ای مختلف، با مقبولیت این نمونه ها توسط انسان

توسعه استفاده از تکنیک ماشین بینایی در اندازه گیری رنگ در چپس سیب زمینی: (۳)

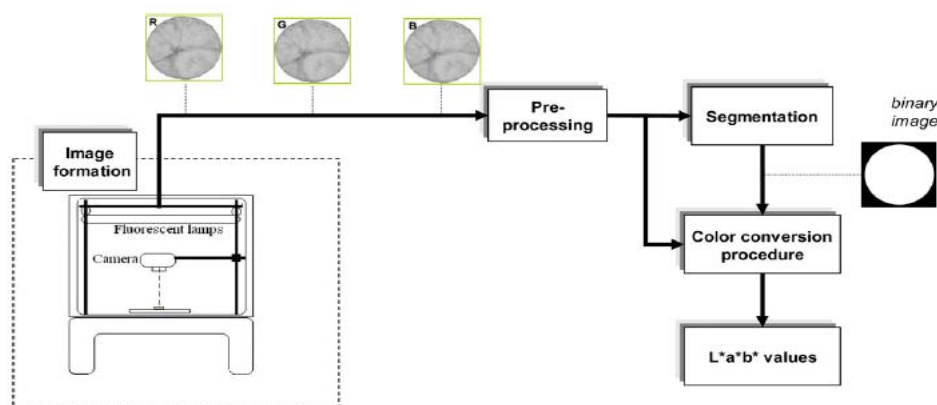
در پژوهشی که در سال ۲۰۰۶ با هدف اندازه گیری رنگ در مواد غذایی با ظاهر یکنواخت با استفاده از تکنیک پردازش تصویر انجام شد، چپس سیب زمینی به عنوان یک مدل از این نمونه محصولات انتخاب شد. ظاهر چپس به دلیل توزیع پیچیده ترکیباتی مانند نشاسته، آب، قندهای احیا دارای رنگ غیر یکنواختی می باشد. لذا در کنترل کیفیت محصول نهایی باید میانگینی از پارامترهای سطح در نظر گرفته شود. به طور کلی استفاده از پردازش تصویر به دلیل قابلیت بالای این تکنیک در پردازش پارامترهای کل تصویر و امکان جداسازی ناحیه ای خاص از نمونه (مثل مناطق قهوه ای)، در مورد محصولاتی با ظاهر غیر یکنواخت کاربرد فراوانی دارد. در این مقاله کنتیک تغییر رنگ در چپس در ۴ درجه حرارت به کار گرفته شده برای سرخ کردن برشهای سیب زمینی (۱۲۰-۱۴۰-۱۶۰-۱۸۰) با استفاده از تکنیک پردازش تصویر ارزیابی شد.

روش کار: برای تصویر برداری قطعات سیب زمینی سرخ شده (چپس) با قطر حدود ۳۷ میلی متر در یک کابین چوبی با دیواره های سیاه قرار داده شد. سیستم روشنایی در این کابین متشکل از ۴ لامپ فلورسنت می باشد که با زاویه ۴۵ درجه و در ۴ جهت نصب گردیده اند. فاصله لامپها از نمونه ۳۵ سانتیمتر و فاصله دوربین از نمونه ۲۲/۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. دوربین مورد استفاده Canon می باشد و برای اطمینان از مناسب بودن سیستم روشنایی و عملکرد دوربین چارت رنگی استانداردهای Kodak مورد استفاده قرار گرفت. (شکل ۱۹).



شکل ۱۹: سیستم مورد استفاده برای تصویر برداری

تصاویر بدون فشرده سازی با فرمت TIFF ذخیره شدند. عملیات آماده سازی تصویر^۴ به منظور بهبود تصویر جهت ارزیابی مورد نظر انجام پذیرفت و در نهایت آنالیز رنگ انجام شد. (شکل ۲۰)



شکل ۲۰: شمایی از مراحل ارزیابی و اندازه گیری رنگ چپس

نتایج: در این پژوهش آماده سازی تصویر شامل از بین بردن اغتشاشات^۵ تصویر توسط فیلتر Gaussian Low Pass Filter انجام شد پس از آن تصویر به صورت سیاه و سفید و با قرار دادن یک حد استانه^۶ و فیلتر تشخیص لبه (Laplacian of Gaussian) از زمینه جداسازی گردید. در نهایت با تبدیل رنگ از فضای RGB به Lab اندازه گیری رنگ انجام پذیرفت. کدهای مربوط به فرامین فوق در (جدول ۱) بیان گردیده و به دنبال آن تصاویر مربوط نیز در (شکل ۲۱) مشاهده می شود.

جدول ۱: فرامین مورد استفاده در پردازش تصاویر چپس سیب زمینی

^۴ -Image-Preprocessing

^۵ -Noise

^۶ -Threshold

Matlab commands used in the computer vision system

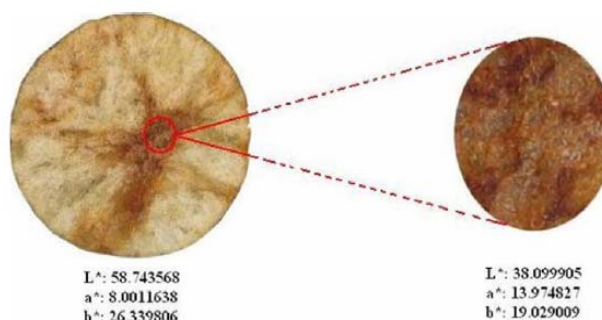
Step	Matlab commands	Description	Reference
1	<code>I=imread(file_name);</code>	Read RGB image and store it in matrix I	Mathworks (2005)
2	<code>K=imresize(I,0.5);</code>	Reduce the size of the original image and store it in K	Mathworks (2005)
3	<code>[R,E,J]=SegFood(K);</code>	Segment RGB image and store binary image in R, edge image in E and grayscale image in J	Mery and Pedreschi (2005)
4	<code>[L,a,b]=rgb2lab(K);</code>	Convert RGB image into $L^*a^*b^*$ color components (L^* image is stored in matrix L, a^* in a, b^* in b)	León et al. (2006)
5	<code>ii=find(R==1); Lm=mean(L); am=mean(a); bm=mean(b);</code>	Compute the mean value of L^* , a^* and b^* and store them in variables Lm, am and bm, respectively	Mathworks (2005)



(K) Color image of a potato chip; (J) grayscale image of the potato chip; (R) segmented image of the potato chip.

شکل ۲۱: تصاویر مربوط به فرامین جدول

همانگونه که قبلاً نیز اشاره گردید یکی از مزایای پردازش تصویر امکان آنالیز پارامترهای تصویر در کل نمونه و در بخشهای مورد نظر می باشد. در (شکل ۲۲) نیز مشاهده می شود چگونه با جدا کردن ناحیه قهوه ای از تصویر رنگ در این منطقه با میانگین آن در سطح چیپس مقایسه شده است.

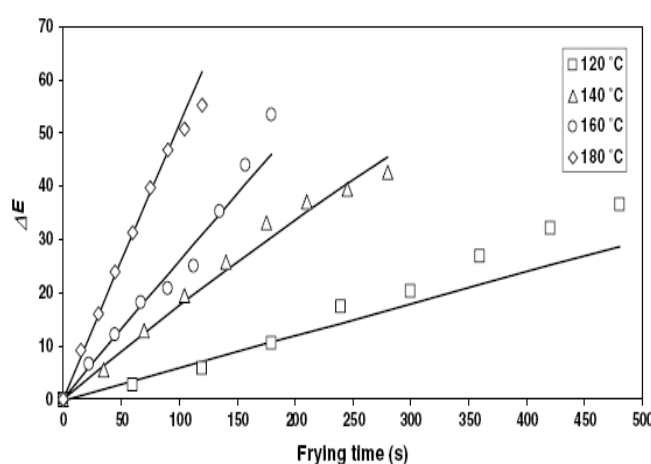


شکل ۲۲: ارزیابی رنگ در کل سطح و ناحیه قهوه ای شده چیپس

برای بررسی کنتیک تغییر رنگ چیپس در حرارت‌های مختلف مورد استفاده در فرایند سرخ کردن از فرمول زیر استفاده گردید:

$$\Delta E = ((L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2)^{1/2}$$

شکل (۲۳) نیز ارتباط بین پارامتر تغییر رنگ در چیپس و درجه حرارت‌های مختلف سرخ کردن را در طی زمان نشان می‌دهد.



شکل ۲۳: ارتباط بین پارامتر تغییر رنگ در چیپس و درجه حرارت‌های مختلف سرخ کردن در طی زمان

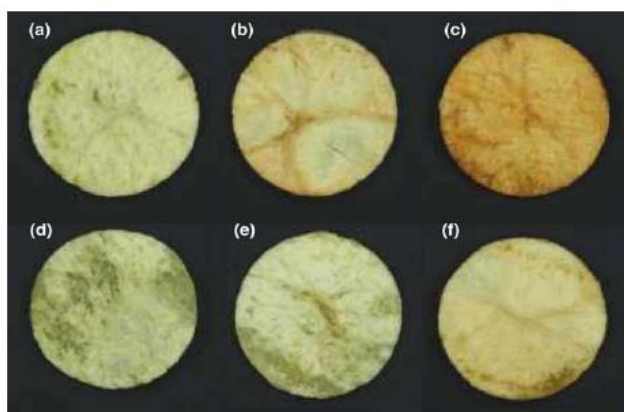
تعیین ارتباط تغییر رنگ و تولید اکریل آمید در قطعات سیب زمینی سرخ شده با استفاده از تکنیک پردازش تصویر: (۴)

اکریل آمید در فرآورده های غنی از نشاسته طی فرایند میلارد و در نتیجه احیاء قندها توسط اسید آمینه اسپارژین در حرارت‌های بیش از ۱۲۰ درجه سانتی گراد تولید می شود. تولید این ماده به عنوان یک ترکیب سرطانزا نگرانیهای بسیاری را ایجاد کرده است. در سال ۲۰۰۲ گزارش شوک کننده ای از وجود اکریل آمید در بسیاری از فراورده های حاوی نشاسته سیب زمینی در دامنه ۳۰-۲۳۰ میکروگرم در کیلوگرم منشر شد. از سویی ترکیبات رنگی نیز در طی فرایندهای حرارتی در نتیجه واکنشهای میلارد بوجود می آیند که ملانوئیدین ها یکی از مهمترین محصولات رنگی این واکنشها هستند. این ترکیبات رنگی خود نیز تاثیر منفی زیادی بر پذیرش محصول از طرف مشتریان دارند. در نتیجه با توجه به اینکه رنگ نیز در نتیجه واکنش میلارد بوجود می آید می توان فرض کرد که بین تولید اکریل آمید و ایجاد رنگ قهوه ای ارتباط و همبستگی وجود داشته باشد. یکی از روشهای دستگاہی ارزیابی رنگ توسط

رنگ سنج های معمول استفاده از پارامترهای L, a, b بوده که با توجه به قابلیت بالای تکنیک پردازش تصویر و هزینه کمتر آن در این مقاله قابلیت مذکور توسط Franco Pedreschi و همکاران در سال ۲۰۰۵ بررسی گردیده است (۱-۱۰۴)

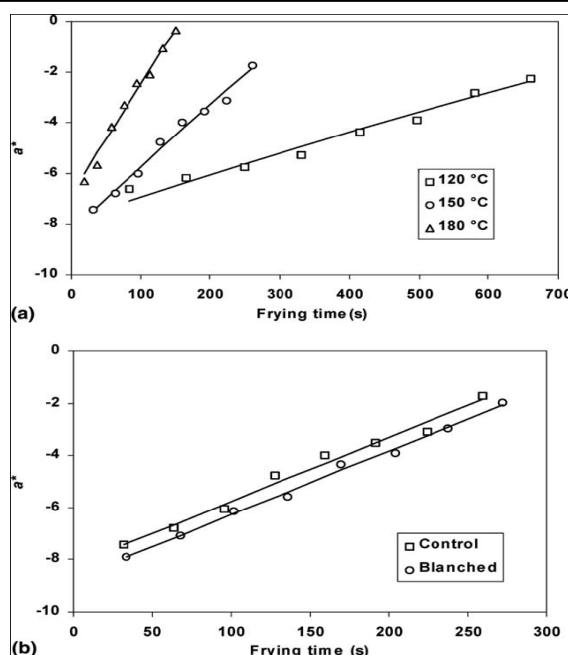
روش کار: در خصوص روش تصویر برداری در این مقاله توضیحی مشخصی داده نشده است. اندازه گیری میزان اکریل آمید نیز با استفاده از دستگاه HPLC که نوعی کروماتوگرافی می باشد انجام گردیده است.

نتایج: نکته ای که در تحقیقات قبلی نیز ثابت گردیده این است که در سیب زمینی فرایند قهوه ای شدن با افزایش درجه حرارت افزایش می یابد. بلانچ نمودن سیب زمینی نیز باعث کاهش فرایند قهوه ای شدن در طی سرخ کردن می گردد (شکل ۲۴).

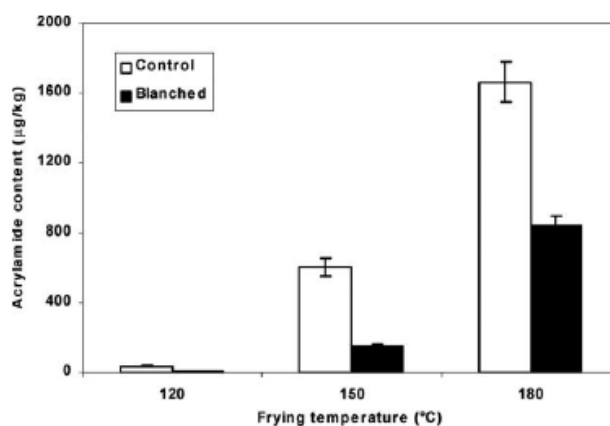


شکل ۲۴: a: سیب زمینی سرخ شده در ۱۲۰ درجه سانتیگراد، b: سیب زمینی سرخ شده در ۱۵۰ درجه سانتیگراد، c: سیب زمینی سرخ شده در ۱۸۰ درجه سانتیگراد، d: سیب زمینی بلانچ شده و سرخ شده در ۱۲۰ درجه سانتیگراد، e: سیب زمینی بلانچ شده و سرخ شده در ۱۵۰ درجه سانتیگراد، f: سیب زمینی بلانچ شده و سرخ شده در ۱۸۰ درجه سانتیگراد

در (شکل ۲۵) تغییرات پارامتر a به عنوان شاخصی از رنگ در فضای رنگی lab در تیمارهای مختلف سرخ کردن نمایش داده شده است.

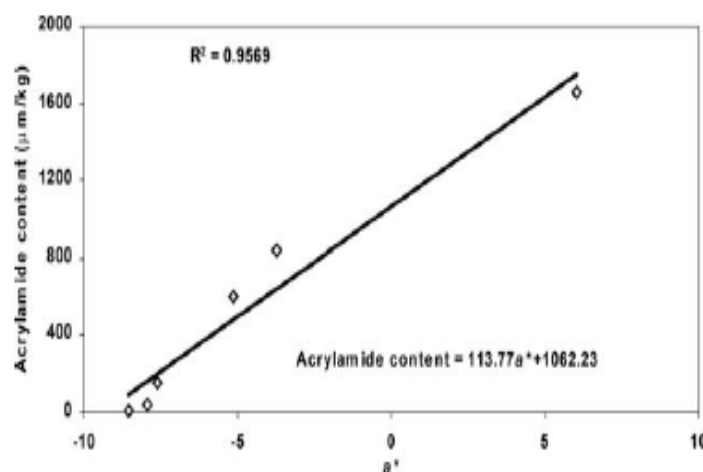


شکل ۲۵: تغییرات پارامتر a به عنوان شاخصی از رنگ در فضای رنگی lab در تیمارهای مختلف سرخ کردن در (شکل ۲۶) ارتباط بین میزان اکریل آمید و درجه حرارت‌های سرخ کردن سیب زمینی بر تولید بیشتر اکریل آمید در درجه حرارت‌های بالاتر و تاثیر مثبت بلانچ نمودن تاکید می کند.



شکل ۲۶: ارتباط بین میزان اکریل آمید ، درجه حرارت و بلانچینگ در سیب زمینی های سرخ شده

در (شکل ۲۷) ارتباط بین میزان اکریل آمید و پارامتر a در سیب زمینی های سرخ شده نشان داده شده است. همبستگی بالای این دو پارامتر با ضریب همبستگی معادل ۹۵۶۲٪ بیانگر کارایی تکنیک پردازش تصویر در تخمین میزان قهوه ای شدن و تولید اکریل آمید می باشد.



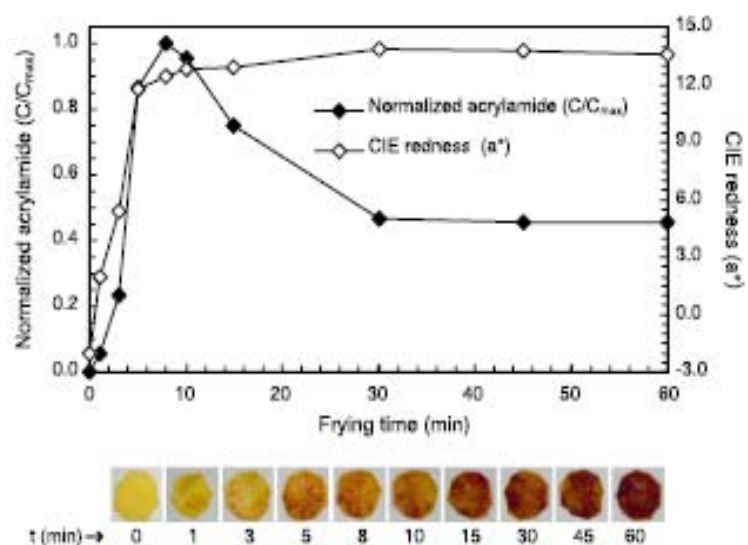
شکل ۲۷: ارتباط بین میزان اکریل آمید و تولید رنگ (پارامتر a^*) در سیب زمینی های سرخ شده در سه درجه حرارت ۱۵۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ درجه سانتیگراد

استفاده از تکنیک پردازش تصویر در تخمین میزان اکریل آمید در سیب زمینی سرخ شده: (۹)

همانطور که در پژوهش انجام شده توسط Franco Pedreschi و همکاران در سال ۲۰۰۵ به اثبات رسید بین تولید اکریل آمید و افزایش رنگ به اثبات رسید. در تحقیقی که توسط همین دانشمندان در سال ۲۰۰۷ انجام شد ارتباط بین سطح تغییر رنگ یافته در قطعات سیب زمینی سرخ شده و میزان اکریل آمید مورد بررسی قرار گرفت.

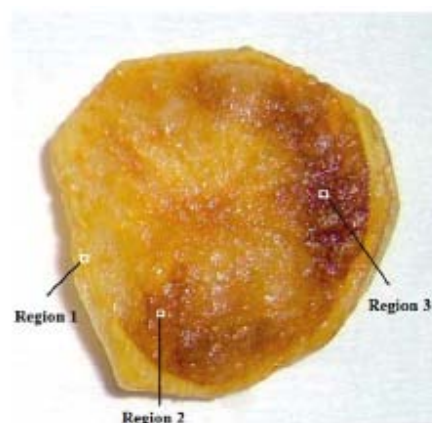
روش کار: در این مقاله نیز جزئیاتی درباره مشخصات دوربین مورد استفاده و نحوه عکسبرداری از قطعات سیب زمینی سرخ شده ارائه نگردیده و تنها به ذکر این نکته بسنده شده که عکس ها توسط دوربین دیجیتال معمولی و در شرایط یکسان تهیه گردیده است. اندازه گیری اکریل آمید نیز مانند پژوهش قبلی اندازه گیری با استفاده از دستگاه HPLC انجام شده.

نتایج: همانگونه که در مقاله قبلی ذکر گردید بین تولید رنگ قهوه ای و تولید اکریل آمید ارتباط مشخصی وجود دارد. در این پژوهش نیز این ارتباط با افزایش تولید رنگ و اکریل آمید در طی زمان به اثبات رسیده است (شکل ۲۸).



شکل ۲۸: ارتباط تولید اکریل آمید و ایجاد رنگ قرمز در طی زمان در سیب زمینی سرخ شده در ۱۷۰ درجه سانتی گراد

شکل (۲۹) گویای این واقعیت است که افزایش میزان اکریل آمید و تولید رنگ قرمز در زمان تشکیل همبستگی زیادی را نشان می دهند لذا وقتی که تولید این ترکیب به حداکثر میزان خود رسید با گذشت زمان بیشتر مقدار آن رو به کاهش می گذارد و از آن پس رنگ قرمز چپس با روندی کندتر از مرحله قبل رو به افزایش است. بررسی تصاویر سیب زمینی های سرخ شده نیز نشان دهنده سه ناحیه رنگی مشخص می باشند (شکل)



شکل ۲۹: ۳ ناحیه متفاوت رنگ در قطعات سیب زمینی سرخ شده

مقادیر کمی مربوط به پیکسلهای سه ناحیه مشخص شده در شکل فوق در (جدول) مشخص می باشد. این نواحی با استفاده از دستور imcrop در نرم افزار MatLab جدا گردیدند.

جدول ۲: مقدار کمی پیکسل‌های سه ناحیه جدا شده از قطعات سیب زمینی سرخ شده

Cropped window pixel values of Regions 1, 2 and 3 shown in Fig. 2a

Red component										Green component										Blue component									
Region 1																													
198	201	202	201	201	201	199	199	198	198	156	157	162	159	160	160	157	156	155	154	24	38	49	60	65	65	65	65	69	70
197	198	202	202	202	202	201	199	199	198	159	159	161	161	160	160	157	157	155	155	26	46	58	64	72	72	72	71	71	71
199	199	202	202	204	201	199	199	199	199	159	159	163	165	165	160	160	159	157	157	39	51	61	68	72	72	74	74	76	77
200	199	199	201	203	201	199	199	199	198	200	157	157	160	165	165	165	162	159	159	159	39	46	60	66	68	71	74	78	78
200	200	198	197	198	199	199	201	199	198	158	158	159	160	162	164	164	164	162	162	43	54	56	60	64	68	71	75	78	78
200	200	195	196	195	196	199	197	197	198	157	157	157	157	160	160	164	162	161	161	45	54	57	59	60	64	71	73	76	78
201	200	195	194	190	189	195	195	196	196	159	159	157	156	152	153	159	159	161	161	57	59	59	59	59	63	71	73	76	79
204	202	198	192	189	189	193	195	196	196	164	163	157	154	152	153	157	159	159	159	64	66	62	61	59	62	69	75	79	79
207	205	200	193	192	192	198	198	197	195	165	164	160	156	154	154	161	161	160	157	67	67	66	63	61	61	67	76	79	79
206	205	203	198	193	196	202	203	203	195	167	165	163	157	156	161	165	168	168	156	71	72	63	61	61	66	69	79	79	79
Region 2																													
189	188	188	189	189	192	198	199	203	199	114	112	111	112	112	1113	116	117	116	115	3	3	3	3	3	1	4	9	10	3
189	188	188	188	189	191	192	197	199	197	114	114	114	115	115	115	115	115	115	115	3	3	3	3	1	0	0	1	3	3
189	188	188	188	188	190	190	193	197	196	117	114	114	115	116	115	115	113	115	115	3	1	1	1	1	0	0	0	3	4
189	187	187	188	188	188	188	188	190	194	117	116	116	117	117	115	114	112	112	116	1	0	1	1	1	0	0	0	0	4
188	187	187	187	188	188	187	188	188	189	117	117	117	118	116	115	112	112	112	114	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
190	187	188	188	188	187	187	187	188	188	120	118	119	118	117	114	111	111	113	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
190	189	188	187	188	187	186	186	187	189	120	118	118	118	114	113	110	110	111	114	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1
191	189	188	187	187	187	187	187	189	190	118	116	116	114	113	112	111	111	113	114	0	0	0	0	4	1	1	1	1	3
191	189	188	188	188	188	188	189	190	191	116	116	114	113	112	112	112	113	114	116	0	0	0	0	3	4	3	1	1	3
195	193	189	189	189	190	193	192	191	191	115	115	114	114	113	113	116	117	116	117	1	0	0	2	3	3	3	1	0	0
Region 3																													
125	125	112	97	97	102	106	106	106	107	53	53	48	48	45	51	44	44	44	50	29	29	29	29	31	27	22	22	23	30
129	129	112	102	97	97	105	108	114	114	71	78	63	55	43	43	43	47	50	52	59	59	69	58	43	31	27	27	26	25
141	153	153	105	90	90	92	114	115	115	73	109	109	55	33	31	31	47	54	55	62	89	89	63	46	27	27	28	28	26
113	118	100	90	85	92	102	115	115	115	65	78	39	33	32	32	37	52	55	59	17	43	43	47	43	22	22	22	24	25
97	100	96	90	90	102	117	115	117	117	38	39	38	32	32	37	52	56	62	10	18	23	44	47	47	34	22	24	25	
96	96	96	92	92	102	113	115	117	119	35	38	38	34	34	37	44	52	60	75	8	18	22	23	22	19	34	24	30	30
96	97	96	90	90	90	96	97	118	132	35	42	38	29	16	18	20	35	62	81	12	18	20	12	7	13	20	31	55	
97	101	94	90	90	92	96	96	97	132	42	43	34	18	15	16	20	26	35	75	12	20	20	7	2	7	12	12	20	55
102	104	94	90	92	95	96	96	92	97	43	43	30	17	16	18	20	25	26	31	20	28	18	7	5	7	7	12	12	15
105	105	94	90	90	95	92	87	79	92	43	43	30	17	13	17	17	19	9	9	32	32	32	7	4	7	4	7	4	9

آنالیز کمی اکریل آمید نشان می دهد که احتمال وجود اکریل آمید در ناحیه ۲ بیش از ناحیه ۱ و ۳ می باشد. این امر با یافته های حاصل از شکل () مطابقت دارد. لذا برای اندازه گیری کمی ناحیه های مختلف رنگ در سطح نمونه ها باید روش مناسبی برای "جداسازی" وجود داشته باشد در این مقاله به این منظور از اندازه گیری اختلاف بین

پیکسل تصویر با میانگین نواحی مختلف بر اساس روابط ذیل استفاده شده است. در ناحیه ۲ می باشد میانگین رنگ قرمز ۱۸۹/۶۱ رنگ آبی ۱۱۴/۶ و رنگ سبز در آن ۱/۴ می باشد.

$$\left\{ (x_r(n,m) - 189.61)^2 + (x_g(n,m) - 114.6)^2 + (x_b(n,m) - 1.4)^2 \right\} \\ \leq \left\{ (x_r(n,m) - 198.43)^2 + (x_g(n,m) - 159.53)^2 \right. \\ \left. + (x_b(n,m) - 65.12)^2 \right\}$$

and

$$\left\{ (x_r(n,m) - 189.61)^2 + (x_g(n,m) - 114.6)^2 + (x_b(n,m) - 1.4)^2 \right\} \\ \leq \left\{ (x_r(n,m) - 103.56)^2 + (x_g(n,m) - 41.75)^2 \right. \\ \left. + (x_b(n,m) - 26.18)^2 \right\}$$

or in vector form:

$$\left\| \begin{bmatrix} x_r(n,m) \\ x_g(n,m) \\ x_b(n,m) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 189.61 \\ 114.6 \\ 1.4 \end{bmatrix} \right\|^2 \leq \left\| \begin{bmatrix} x_r(n,m) \\ x_g(n,m) \\ x_b(n,m) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 198.43 \\ 159.53 \\ 65.12 \end{bmatrix} \right\|^2$$

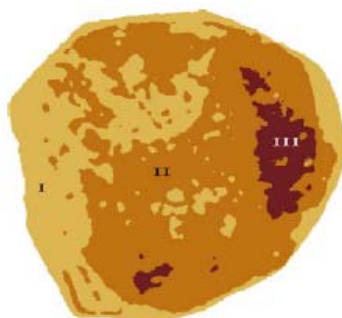
and

$$\left\| \begin{bmatrix} x_r(n,m) \\ x_g(n,m) \\ x_b(n,m) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 189.61 \\ 114.6 \\ 1.4 \end{bmatrix} \right\|^2 \leq \left\| \begin{bmatrix} x_r(n,m) \\ x_g(n,m) \\ x_b(n,m) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 103.56 \\ 41.75 \\ 26.18 \end{bmatrix} \right\|^2$$

نکته قابل توجه اینکه به منظور حذف لکه های روغن فیلتر میانه گیری بر روی تصویر با کد زیر در MatLab اعمال گردید.

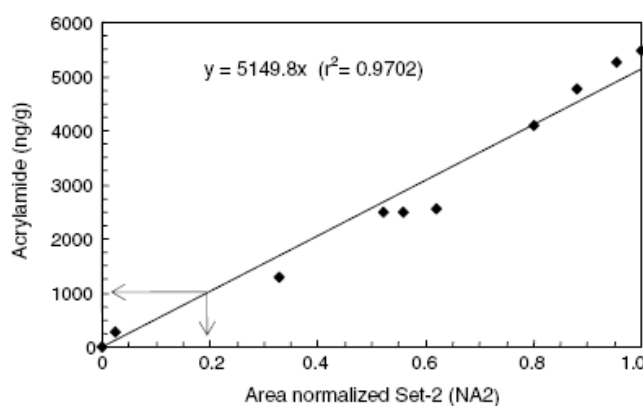
```
% median filter the segmentation image with a [3x3] win-
dow to remove tiny oil sparks
filt_im = cat(3, medfilt2(im_seg(:,:,1), 'symmetric'), med-
filt2(im_seg(:,:,2), 'symmetric'), medfilt2(im_seg(:,:,3),
'symmetric'));
```

تصویر حاصل از جداسازی نواحی مختلف بر روی سیب زمینی در (شکل ۳۰) نمایش داده شده.



شکل ۳۰: تصویر حاصل از فیلتر میانه و جداسازی بر روی قطعه ای از چیپس سیب زمینی

در نهایت تعداد نرمالیزه شده پیکسل ها در ناحیه ۲ که با NA_2^7 نشان داده شده و حاصل نسبت تعداد پیکسل های ناحیه ۲ به کل پیکسل های سطح نمونه می باشد، محاسبه گردید. با استفاده از میزان اکریل آمید موجود در نمونه ها و محاسبه NA_2 منحنی کالیبراسیون (شکل ۳۱) رسم گردید.



شکل ۳۱: همبستگی بین اکریل آمید و NA_2 در قطعات سیب زمینی سرخ شده

پیشنهاد نویسندگان مقاله تعیین حد بحرانی NA_2 ، نصب دوربین در خط بسته بندی سیب زمینی سرخ شده و تعبیه مکانیسمی برای خروج سیب زمینی هایی با مقادیر بیش از حد بحرانب تعیین شده می باشد.

🌟 استفاده از تکنیک پردازش تصویر در ارزیابی قهوه ای شدن ناشی فرایند پخت در پنیر پروسه: (۵)

معمولاً قهوه ای شدن در پنیرهای پروسه در طی حرارت دادن و در نتیجه واکنش میلارد اتفاق می افتد. ارزیابی تاثیر حرارت و زمان بر قهوه ای شدن پنیرهای پروسه به وسیله تکنیک پردازش تصویر توسط Hai-Hong Wang Da- Wen Sun در سال ۲۰۰۳ انجام شد.

روش کار: تصاویر توسط دوربین JVC برداشته شد. منابع نور شامل ۲ لامپ فلورسنس ۱۱ وات می باشد که در اطاق تاریک و در سطح بالایی نمونه تعبیه گردیده اند. شرایط در طی عکسبرداریها ثابت در نظر گرفته شد. پنیر بر روی یک قطعه پیتزا قرار گرفته و در آون که از پیش حرارت داده شده بود قرار گرفت. دمای مورد مطالعه در این تحقیق ۷۰-۲۰۰ در نظر گرفته شد و زمان پخت ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد. ظرف حاوی پیتزا در فواصل زمانی مختلف از آون خارج شده و تصاویر تهیه گردید.

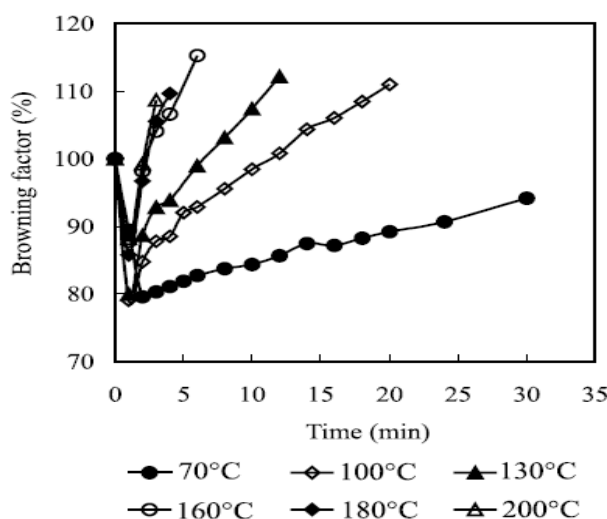
نتایج: این محققین برای تخمین فاکتور قهوه ای شدن BF^8 از فرمول زیر استفاده کردند:

⁷ -Number of pixel in set 2

⁸ -Browning Factor

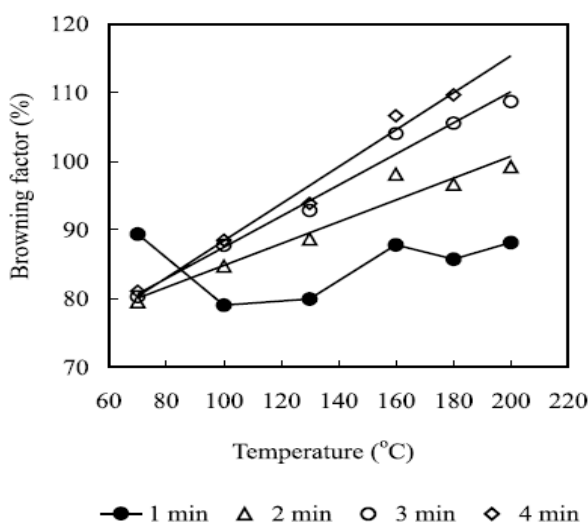
$$BF = GV_0 / GV_t \times 100\%$$

GV نشان دهنده سطح خاکستری تصویر می باشد و عددی بین ۰-۲۵۵ می باشد. لذا فاکتور قهوه ای شدن از درصد سطوح خاکستری قبل و بعد از پخت محاسبه می گردد. همانگونه که در (شکل) نشان داده شده میزان BF با افزایش درجه حرارت پخت از ۷۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد افزایش می یابد.

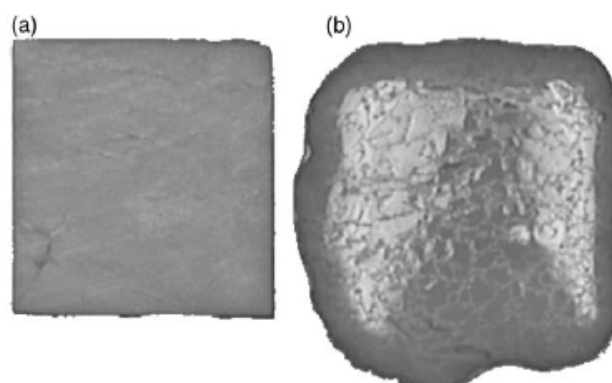


شکل ۳۲: تاثیر درجه حرارتهای مختلف در طی زمان ۲۰ دقیقه بر روی BF در پنیر موزورلا

همانگونه که در (شکل ۳۲) مشخص می باشد با افزایش زمان میزان قهوه ای شدن افزایش می یابد و پنیر حرارت داده شده قهوه ای تر از پنیر قبل از پخت می باشد تنها با افزایش درجه حرارت در ۱ دقیقه اول BF کاهش می یابد. این کاهش در درجه حرارتهای بالا بیشتر مشهود می باشد که دلیل آن به آزاد شدن چربی در سطح و متعاقب آن ایجاد درخشندگی در سطح پنیر نسبت داده شده است. (شکل ۳۳، ۳۲ و ۳۴)



شکل ۳۳: تاثیر زمان در افزایش اندیس BF در درجه حرارت‌های مختلف در پنیر موزولا



شکل ۳۴: a: سطح پنیر قبل از فرایند پخت b: سطح پنیر پس از ۱ دقیقه حرارت دیدن در ۱۰۰ درجه سانتیگراد که به دلیل آزاد شدن روغن در سطح منجر به درخشندگی آن گردیده است

در (جدول ۳) افزایش خطی فاکتور BF در نتیجه حرارت پخت پس از دقیقه دوم در پنیر موزولا نشان داده شده است.

جدول ۳: همبستگی بین فاکتور BF و حرارت پخت در پنیر موزولا

Cooking time (min)	Regression equation	R^2
2	$BF = 0.159T + 69.0$	0.84
3	$BF = 0.226T + 64.9$	0.91
4	$BF = 0.267T + 61.8$	0.90

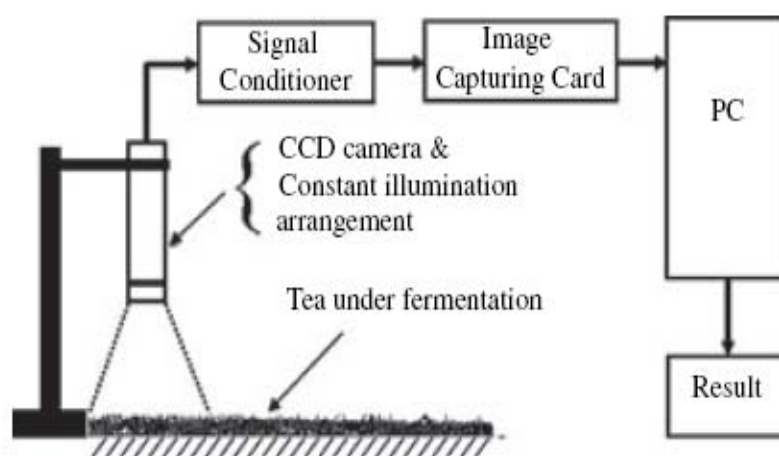
^a Browning factor.

استفاده از تکنیک پردازش تصویر در کنترل کیفیت فرایند تخمیر برگ چای: (۸)

چای یک محصول ارزشمند و بسیار پر مصرف در بسیاری از کشورهای جهان می باشد. تولید یک چای مطلوب مستلزم انجام مراحل مختلفی می باشد که بخشی از آن فعل و انفعالات طبیعی بوده و بخشی دیگر باید در شرایط کنترل شده صورت پذیرد. لذا یک سیستم پایش مناسب در طی فرایند از اهمیت زیادی برخوردار است. فرمانتاسیون یک فرایند اصلی و تاثیر گذار در کیفیت چای سیاه می باشد. در روشهای معمول اتمام مرحله تخمیر توسط ارزیابی چشمی صورت می گیرد. این روش ارزیابی وابسته به فرد می باشد. از جمله پارامترهای کلیدی در ارزیابی فرایند

مذکور رنگ و آروما می باشد. عملیاتی که بر روی برگ چای انجام می شود با اکسیداسیون ماده کاتیشین موجود در برگ منجر به تولید گروههای از ترکیبات مانند تیافلاوین^۹ و تیاروبیجین^{۱۰} ها می گردد که عامل اصلی طعم و آروما در چای شناخته شده اند. علاوه بر ترکیبات مذکور تغییرات شیمیایی دیگری مانند تجزیه پروتئین و تغییر کلروفیل به فئوفتین ها نیز در طی فرایند تخمیر صورت می گیرد که می توان تمامی این ترکیبات را با روشهای بسیار حساس ، هزینه بر و زمان بر آنالیتیکی شناسایی کرد. لذا نکته قابل توجه اینکه حاصل کلیه واکنش های گفته شده تغییر رنگ برگ چای از سبز به قرمز مسی می باشد. در مقاله ای که توسط Surajit Borah & Manabendra Bhuyan در سال ۲۰۰۵ منتشر گردید از تکنیک پردازش تصویر بر اساس هیستوگرام های رنگ حاصل در کنترل فرایند تخمیر استفاده شد.

روش کار: شرایط تصویر برداری توسط دوربین دیجیتال، در این پژوهش به صورتی می باشد که در (شکل ۳۵) نمایش داده شده است. در این مقاله توضیحاتی پیرامون شرایط نورپردازی ارائه نشده ولی به این نکته اشاره شده است که از نور سفید استفاده شده لذا شرایط و شدت نور در طی تمام تصویر برداریها ثابت بوده است. از طرفی سعی شده ضخامت چای در حال تخمیر نیز در تمام مناطق روی صفحه ثابت باشد.



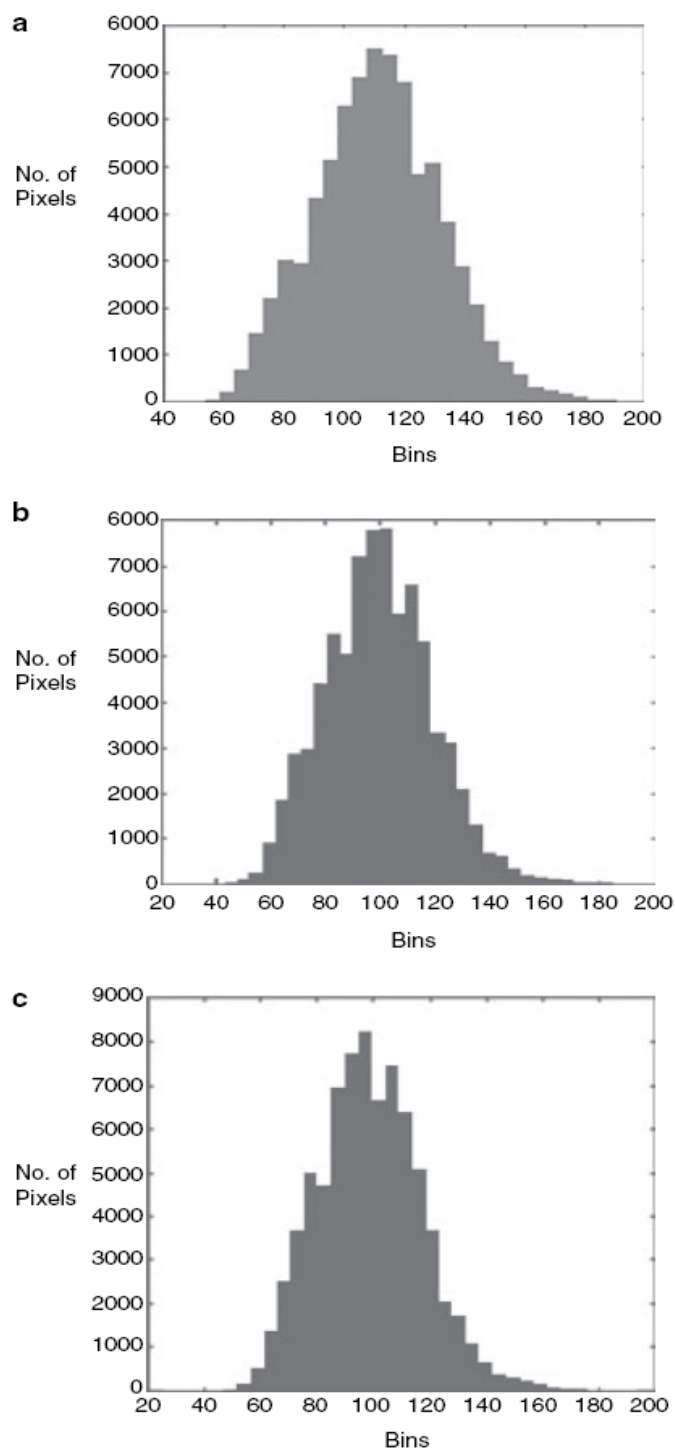
شکل ۳۵: شرایط تصویر برداری از فرایند تخمیر چای

^۹ -Theaflavin(TF)

^{۱۰} -Thearubigin(TR)

تصویر برداری در طی فرایند تخمیر به طور مدام انجام می شد و تصاویر در بانک اطلاعاتی که حاوی تصاویر مختلف از شرایط متفاوت طی تخمیر بود ذخیره می شد. سپس این تصاویر با تصاویر استاندارد مقایسه می گردید. در این تحقیق ۴ نوع چای و ۴ نوع بستر تخمیر در نظر گرفته شد تا از بین تصاویر گرفته شده در طی فرایند تخمیر (۲۸ تصویر در هر نوبت تخمیر) در قالب بانک اطلاعاتی تصاویر، تصاویر استاندارد برای شرایط مختلف (NF: تخمیر نشده، UF: در حال تخمیر، WF تخمیر کامل و OF تخمیر بیش از حد) توسط پانلیستها انتخاب شدند

نتایج: تصاویر حاصل در فضای RGB و توسط هیستوگرام های رنگ آنها پردازش گردیدند. سه هیستوگرام مختلف برای هر تصویر با توجه به پارامترهای R, G, B آن رسم گردیدند (شکل ۳۶).



شکل ۳۶: a. هیستوگرام مربوط به رنگ قرمز R. b. هیستوگرام مربوط به رنگ سبز G. c. هیستوگرام مربوط به رنگ آبی B

تصاویر مربوط به پایان تخمیر که بیانگر یک چای تخمیر شده خوب بود توسط پانلیستها ارزیابی گردید و از بین آنها یک تصویر به عنوان تصویر استاندارد جهت مبنا قرار دادن هیستوگرام آن تصویر برای مقایسه و تعیین شباهت^{۱۱} و یا عدم تشابه^{۱۲} بر اساس فرمولهای زیر انتخاب شد.

فاکتور تعیین میزان شباهت تصاویر با تصویر استاندارد

$$S\{H(I), H(Q)\} = \frac{\sum_{j=1}^n \min\{h_j(I), h_j(Q)\}}{N_Q \times M_Q}$$

فاکتور تعیین میزان عدم شباهت تصاویر با تصویر استاندارد

$$\begin{aligned} D\{H(I), H(Q)\} &= \sum_{j=1}^N \left| \frac{h_j(I)}{N_I \times M_I} - \frac{h_j(Q)}{N_Q \times M_Q} \right| \\ &= \frac{1}{(N_I \times M_I)} \sum_{j=1}^N |h_j(I) - h_j(Q)| \end{aligned}$$

عدم تشابه هیستوگرامهای تصویر (13DPV) در ۳ فضای رنگی R, G, B برای تمامی ۲۸ تصویر که در مراحل مختلف تخمیر گرفته شده بودند، تعیین گردید (جدول ۴).

¹¹ -Similarity

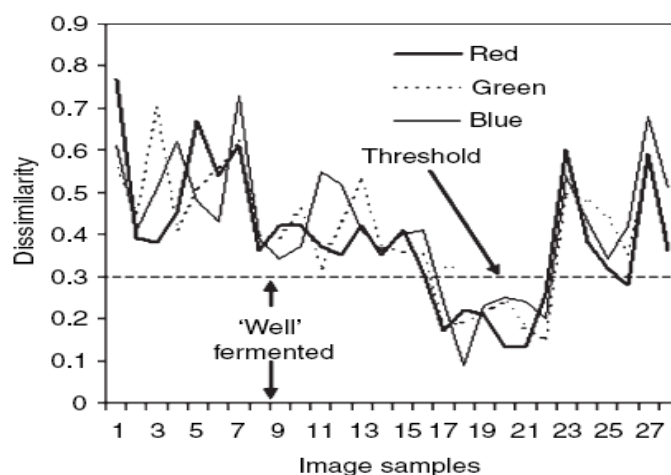
¹² -Dissimilarity

¹³ -Dissimilarity Pixel Value

جدول ۴: عدم تشابه هیستوگرامهای تصویر در فضای رنگی R, G, B

Samples no.	State of fermentation for the sample images	DPV for R colour space	DPV for G colour space	DPV for B colour space
1	NF	0.77	0.56	0.61
2	NF	0.39	0.45	0.41
3	NF	0.38	0.70	0.51
4	NF	0.45	0.41	0.62
5	NF	0.67	0.51	0.48
6	NF	0.54	0.56	0.43
7	NF	0.61	0.62	0.73
8	UF	0.36	0.40	0.39
9	UF	0.42	0.39	0.34
10	UF	0.42	0.46	0.37
11	UF	0.37	0.32	0.55
12	UF	0.35	0.43	0.52
13	UF	0.42	0.53	0.41
14	UF	0.35	0.37	0.36
15	UF	0.41	0.36	0.40
16	UF	0.31	0.35	0.41
17	WF	0.17	0.18	0.24
18	WF	0.22	0.19	0.09
19	WF	0.21	0.21	0.23
20	WF	0.13	0.24	0.25
21	WF	0.13	0.18	0.24
22	WF	0.26	0.15	0.20
23	OF	0.60	0.50	0.54
24	OF	0.38	0.48	0.43
25	OF	0.32	0.44	0.34
26	OF	0.28	0.35	0.42
27	OF	0.59	0.56	0.68
28	OF	0.36	0.39	0.51

همانطور که از اعداد جدول نیز مشخص می باشد بیشترین عدم تشابه در اعداد مربوط به فضای قرمز R می باشد. از طرفی بیشترین همبستگی بین این اعداد و نظر پانلیستها در همان فضای قرمز R تشخیص داده شد. حد تشخیص بین تصاویر نیز با مقایسه با برداشتهای چشمی ۰/۳ در نظر گرفته شد. لذا تصاویری که مقادیر DPV در آنها کمتر از ۰/۳ بود به عنوان چای خوب تخمیر شده یا WF رتبه بندی می گردند. (شکل ۳۷)



شکل ۳۷: نمودار عدم تشابه رنگی برای پارامترهای R,G,B

نتایج نشان می دهد که قضاوت پانلیستها همبستگی مناسبی با ارزیابی بر اساس تکنیک پردازش تصویر دارد و بجز ۲ مورد یکدیگر را تایید می کنند. (جدول ۵)

جدول ۵: مقایسه قضاوت پانلیستها و نتایج حاصل از تکنیک پردازش تصویر

Samples no.	Majority decision of expert panel on the sample images	Image processing technique		
		DPV for R colour space	Decision	Remarks
1	UF	0.77	NF	
2	UF	0.39	NF	
3	UF	0.38	NF	
4	UF	0.45	NF	
5	UF	0.47	NF	
6	WF	0.24	WF	
7	WF	0.21	WF	
8	WF	0.37	NF	Misclassification
9	WF	0.27	WF	
10	WF	0.12	WF	
11	WF	0.17	WF	
12	WF	0.20	WF	
13	WF	0.34	NF	Misclassification
14	WF	0.24	WF	
15	WF	0.11	WF	
16	OF	0.31	NF	
17	OF	0.37	NF	
18	OF	0.42	NF	
19	OF	0.35	NF	
20	OF	0.43	NF	

Reference List

1. Color space. wikipedia . 2007.
Ref Type: Electronic Citation
2. Andrea Antonelli , M. C. P. F. G. F. G. C. F. D. M. A. U. Automated evaluation of food colour by means of multivariate image analysis coupled to a wavelet-based classification algorithm. *Analytica Chimica Acta* 515: 3-13, 2004.
3. Franco Pedreschi , J. L. n. D. M. P. M. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International* 39: 1092-1098, 2006.
4. Franco Pedreschi , P. M. K. K. K. G. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International* 38: 1-9, 2005.
5. Hai-Hong Wang, D.-W. S. Assessment of cheese browning affected by baking conditions using computer vision. *Journal of Food Engineering* 56: 339-345, 2003.
6. John Hutchings, Mark Singleton Keith Plater & M. Benjamin Dias. Food Colour And Appearance Measurement, Specification And Communication, Can We Do Better? 2007.
Ref Type: Conference Proceeding
7. Sandra Segnini, P. D. a. R. O. s. A Low Cost Video Technique for Colour Measurement of Potato Chips. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol.* 32: 216-222, 1999.
8. Surajit Borah & Manabendra Bhuyan. A computer based system for matching colours during the monitoring of tea fermentation. *International Journal of Food Science and Technology* 40: 675-682, 2005.

9. V. Gökmen, H. Z. S. B. D. I. A. E. C. Computer vision-based image analysis for the estimation of acrylamide concentrations of potato chips and french fries. *Food Chemistry* 101: 791-798, 2007.