

کاربرد پردازش تصویر برای تعیین شاخص‌های رنگی $L^*a^*b^*$ در سنجش رنگ غذاها

امیر یعقوبی سوره^۱، محمد علیزاده خالدآباد^۲* و محمود رضازاد باری^۲

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۱۹

^۱اگرشناس ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
^۲استادیار و دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*مسئول مکاتبه: Email: m.alizadeh@mail.urmia.ac.ir

چکیده

رنگ یکی از شاخص‌های مهم در کیفیت غذا و کنترل سریع آن با پیشرفت فرآیند و زمان نگهداری یک امر ضروری است. در این مطالعه، قابلیت روش پردازش تصویر برای اندازه‌گیری شاخص‌های رنگی $L^*a^*b^*$ مورد ارزیابی قرار گرفت. شش روش تصویربرداری مختلف با کاربرد آزمون t-student مزدوج با دستگاه هانتربل مورد مقایسه قرار گرفتند ($\alpha=0.01$) و تنها یک روش تصویربرداری (با حساسیت سنسور به نور ایزو ۴۰۰ و سرعت شاتر ۱/۴۰ ثانیه و دیافراگم f4.0) در بین شش روش مورد مطالعه با نتایج دستگاه هانتربل تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بنابراین، این روش برای آنالیز بیشتر انتخاب گردید. حداکثر خطای استاندارد (SE) این روش برای شاخص‌های L^* ، a^* و b^* به ترتیب برابر ۲/۳، ۲/۸ و ۶/۵ و حداکثر TCD بین مقادیر بدست آمده از این روش و دستگاه هانتربل برابر ۱۱ تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، $L^*a^*b^*$ ، رنگ، غذا، هانتربل

Application of image processing for determination of L*, a* and b* indices in color measurement of foods

A Yagoobi-Soureh¹, M Alizadeh-Khaled Abad^{2*} and M Rezazad Bari²

Received: February 20, 2013 Accepted: September 10, 2013

¹MSc, Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

²Assistant Professor and Associate Professor, respectively, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

*Corresponding author: E-mail: m.alizadeh@mail.urmia.ac.ir

Abstract

Color is one of the most important quality indices and this necessitates its rapid control during process progress and storage. In this study, capability of image processing method as a measurement tool for L*, a* and b* indices were evaluated. Six different imaging procedures were compared with hunterlab results using paired t-student test ($\alpha=0.01$) and only one imaging procedure (with sensor light sensitivity of ISO 400, shutter velocity of 1/40 s and diaphragm of f4.0) did not show significant difference with hunterlab readings, therefore, this procedure was selected for imaging. Maximum standard error (SE) of this method for L*, a* and b* was equal to 2.3, 2.8 and 6.5, respectively and maximum TCD between the readings of hunterlab instrument and this method was equal 11.

Keywords: Image processing, L*a*b*, Color, Hunterlab

مقدمه

رنگ غذا اولین پارامتر کیفی است که توسط مصرف کننده ارزیابی می‌گردد و در پذیرش محصول نقش اساسی دارد. رنگ از جنبه‌های کیفی مهم غذاهای فرآوری نشده و فرآوری شده می‌باشد. رنگ به همراه طعم و بافت نقش مهمی در مقبولیت غذا ایفا می‌کند و اولین عاملی است که باعث افزایش جلب توجه مشتری می‌شود. علاوه بر این ممکن است رنگ نشان دهنده تغییرات شیمیایی در مواد غذایی در ضمن فرآیندهای حرارتی مثل قهوه‌ای شدن، کاراملیزاسیونی سرخ کردن و خشک کردن باشد (تاج بروسنان و داون سون ۲۰۰۲).

رنگ غذاها در واقع بیشتر حاصل بازتابش^۱ نور است و نور عبوری^۲ نقش مهمی در فرآیند دید و پذیرش رنگ ندارد (جان ام دمن ۲۰۰۱).

"رنگ" نام عمومی حس فعالیت انواع سلول‌های شبکیه (مخروطی و استوانه‌ای) است. نور تابشی نیز معمولاً در گستره ۴۰۰-۸۰۰ nm است. پس مفهوم رنگ کاملاً وابسته به سیستم حسی درک آن است، حال این سیستم چشم انسان باشد یا سیستم‌های شبیه‌سازی شده از چشم انسان^۲، هنگام نگاه کردن به یک جسم درخشان سه عامل بسیار مهم هستند:

۱- ترکیب طیفی منبع نوری

۲- مشخصات فیزیکی شیمیایی ماده فوق

۳- حساسیت طیفی چشم (بریمیلو و همکاران ۲۰۰۱)

رنگ غذاها اولین مولفه پذیرش توسط مشتری است. رنگ سطح غذا مهمترین عامل در رد یا پذیرش غذا در تمام پروسه های غذایی است. بنابراین یک شاخص کیفی است که بیانگر ناهنجاری یا عیوب در تمام

3-Transmittance

4-Human's eye

2-Reflectance

معمولاً رنگ غذاها در سیستم $L^*a^*b^*$ اندازه‌گیری می‌شود. فضای رنگی $L^*a^*b^*$ یا CIELab یک استاندارد بین‌المللی برای اندازه‌گیری رنگ است که توسط کمیسیون بین‌المللی روشنایی (CIE) در سال ۱۹۷۶ ارائه گردید. L^* جز نشاندهنده روشنایی می‌باشد و بین ۰ و ۱۰۰ متغیر است و پارامترهای a^* (از سبز تا قرمز) و b^* (از آبی تا زرد) اجزای رنگی می‌باشند که بین ۱۲۰- تا ۱۲۰ متغیر هستند (فرناندو مندوزا و همکاران ۲۰۰۶ و هونگلیو یو و همکاران ۲۰۰۳).

دریافت در فضای $L^*a^*b^*$ کاملاً یکنواخت است یعنی فاصله اقلیدسی بین دو رنگ متفاوت تقریباً معادل تفاوت بین دو رنگ در بینایی انسان است (جی چانونا پرز و همکاران ۲۰۰۴).

برای مشخص کردن جزئیات تصویر یک ماده غذایی و ارزیابی دقیق کیفیت آن لازم است که مقدار رنگ آن را در هر پیکسل از سطح آن اندازه‌گیری شود. البته در حال حاضر دستگاه‌های اندازه‌گیری $L^*a^*b^*$ را تنها در چند سانتیمتر مربع از سطح غذا اندازه‌گیری می‌کنند و بنابراین در مواد ناهمگون مثل اکثر مواد غذایی، اندازه‌گیری رنگ قسمتی از نمونه، نمی‌تواند بیانگر کل نمونه باشد (هاروکا دانا و همکاران ۲۰۰۷).

در سال‌های اخیر دید کامپیوتری^۵ برای اندازه‌گیری تفاوت رنگی غذاها بکار می‌رود چون این تکنیک کل سطح غذا را پوشش می‌دهد می‌تواند رنگ و تعداد نقص‌ها در کل سطح ماده غذایی را ارزیابی کند (بریمیلو و همکاران ۲۰۰۱).

رنگ بسیاری از غذاها با کاربرد تکنیک دید کامپیوتری اندازه‌گیری شده است. پوردربانی و همکاران (۱۳۸۸) از پردازش تصویر برای درجه بندی کیفی سیب استفاده کرده که اساس درجه بندی صدمات سطحی بود. دقت کلی درجه بندی ۹۵/۲۳ درصد حاصل شد. ناصحی (۱۳۹۲) از چهار روش پردازش تصویر، ارزیابی حسی، هانتربل و مونیتا برای سنجش رنگ اسپاگتی به

محصولات غذایی می‌باشد. شناسایی رنگ می‌تواند هم توسط خواص حسی انسان و یا بوسیله ابزارهای فیزیکی صورت گیرد. اگرچه پردازش تصاویر توسط انسان بسیار قدرتمند است اما وابسته به شخص است و از فردی به فرد دیگر این قدرت در تمام پارامترهای خود متغیر است. همچنین استفاده از عامل انسانی بسیار زمان بر بوده و نیاز به تعلیمات یکسان به تمام افراد آموزش دیده دارد. بنابراین استفاده از ابزارهایی جهت شناسایی کیفیت رنگی غذاها لازم است. در حال حاضر از فضاهای رنگی و ارزش‌های وابسته عددی برای ایجاد و ارائه و تصویرسازی رنگ‌ها در فضاهای دو بعدی و سه بعدی استفاده می‌شود (کیت ال یاما و اسپیریون ۲۰۰۴).

رنگ اولین احساسی است که مصرف کننده دریافت می‌کند و از آن بعنوان ابزاری برای رد یا قبول غذا استفاده می‌کند. بنابراین مشاهده رنگ در تشخیص بعضی از نقص‌های غذا می‌تواند بکار گرفته شود (آچای کومارا و همکاران ۲۰۰۶ و چنج جین دو و داوون سون ۲۰۰۴).

تعیین رنگ یا توسط انسان و یا توسط یک ابزار اندازه‌گیری رنگ انجام می‌گیرد. اگرچه ارزیابی توسط انسان زیاد تحت تاثیر تغییرات روشنایی قرار نمی‌گیرد ولی تعیین رنگ در این حالت ذهنی است و از فردی به فرد دیگر بسیار متغیر است. به منظور انجام یک آنالیز رنگی ابزاری معمولاً از استانداردهای رنگی بعنوان مواد مرجع استفاده می‌گردد. متأسفانه کاربرد این استانداردها وقت‌گیر می‌باشد و نیاز به مهارت و آموزش کافی اپراتورها دارد. به همین دلایل توصیه می‌شود که از ابزارهای اندازه‌گیری برای تعیین رنگ استفاده گردد.

در حال حاضر از فضاهای رنگی و مقادیر عددی برای ایجاد و نمایش رنگ‌ها در فضاهای دو یا سه بعدی استفاده می‌گردد (دومینگو مری و فرانکو پدریشی ۲۰۰۵).

متشکل از ۴ لامپ فلورسنت ۱۶ وات می‌باشد در ۴ دیواره داخلی جعبه طوری طراحی شد که با لنز دوربین زاویه ۴۵ درجه ایجاد می‌شود. برای کمک منبع نوری از ۴ لامپ فلورسنت ۱۰ وات دیگر استفاده شد که این ۴ لامپ به فاصله ۱۰ سانتیمتر پایین‌تر از لامپ‌های اصلی و با همان زاویه ۴۵ درجه به جعبه وصل گردیدند. تمام دیواره قسمت داخلی و کل قسمت بیرونی جعبه با روکش چرمی سیاه رنگ پوشانده شد. استفاده از روکش سیاه رنگ برای قسمت داخلی جعبه جهت تاریک نمودن محیط داخلی و همچنین جلوگیری از انعکاس نور موقع عکسبرداری مناسب می‌باشد.

برای تهیه نمونه‌های رنگی، ابتدا از بازار کاغذهای رنگی مات از هر رنگ تهیه شد و پس از برش بر روی مقوا با ابعاد 6×10 سانتیمتر چسبانده شدند. بدین ترتیب ۱۸ عدد نمونه رنگی با رنگ‌های مختلف تهیه گردید.

روش کلی گرفتن عکس از نمونه‌ها

ابتدا نمونه به وسیله جک بالابر آزمایشگاهی که در داخل جعبه کار گذاشته شده بود در فاصله ۲ سانتیمتری از لنز دوربین قرار گرفت و بعد منابع نوری اصلی که شامل لامپ‌های فلورسنت ۱۶ وات بود، روشن گردید. دوربین عکاسی برای گرفتن دو عکس پی در پی در ثانیه پانزدهم تنظیم گردید و درب جعبه بسته شد.

روش‌های عکس‌برداری

در این مطالعه از شش روش زیر جهت عکس گرفتن استفاده گردید. لازم به توضیح است که در همه روش‌ها فاصله نمونه با لنز دوربین عکاسی ثابت و برابر ۲ سانتیمتر بود. پس از گرفتن تصویر فایل آن با فرمت jpg در کامپیوتر ذخیره گردید.

عنوان یک شاخص کیفی استفاده نمود و نتایج ایشان نشان داد که مدل‌های برآزش شده برای روش‌های حسی و پردازش تصویر از صحت بالایی برخوردار می‌باشد. با یک دوربین دیجیتال می‌توان رنگ هر پیکسل از تصویر را با کاربرد سنسورهای سه رنگی برای هر پیکسل ثبت کرد (کیت ال یاما و اسپیریون ۲۰۰۴ و چائوکسین ژنگ ۲۰۰۶).

پر کاربردترین مدل رنگی مدل RGB است که در آن هر سنسور به ترتیب شدت نور را در طیف قرمز، سبز و آبی اندازه‌گیری می‌نماید.

امروزه رنگ غذا و قدرت پردازش تصاویر بعنوان یک فاکتور ارزیابی کیفیت به روش غیرتخریبی^۶ بکار می‌رود. هدف از این پژوهش طراحی دستگاه جایگزین هانتربل بر اساس اصول سنجش رنگ CIE، کالیبراسیون و بهینه سازی دستگاه طراحی شده بر مبنای پارامترهای آماری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در مرحله اول جعبه اصلی مورد مطالعه در کارگاه فلزکاری دانشگاه اورمی ساخته شد برای اینکار از ورق گالوانیزه زنگ نزن استفاده گردید که ضخامت آن چهار میلیمتر بود. این نوع ورق فلزی با وجود استحکام زیاد، سبک نیز می‌باشد.

در این مطالعه از سیستم تصویربرداری تغییر یافته کاترین و همکاران (۲۰۰۶) استفاده گردید. جعبه در ابعاد طول و عرض ۶۰ سانتیمتر و ارتفاع ۵۰ سانتیمتر تهیه گردید به طوری که درب جعبه از طرف بالا می‌باشد برای تعبیه دوربین به درب دستگاه از پایه مخصوص دوربین استفاده شد بطوریکه می‌توان دوربین عکاسی را به راحتی به جعبه وصل و یا از جعبه جدا نمود. پایه دوربین طوری تنظیم شده که وقتی دوربین عکاسی وصل است و درب جعبه بسته است لنز دوربین کاملاً عمود به کف جعبه می‌باشد. برای تعبیه منابع نوری که

روش عکس‌برداری اتوماتیک (a)

در این روش کلیه تنظیمات دوربین اعم از حساسیت، دیافراگم، سرعت شاتر، فلاش، حساسیت نور فلورسنت و زوم دوربین در حالت اتوماتیک قرار داده شد و سپس عکس گرفتن از نمونه‌ها طبق توضیحی که در روش کلی گرفتن عکس از نمونه‌ها گفته شد، انجام گرفت.

روش عکس‌برداری بصورت دستی حالت (b)

در این روش دوربین عکاسی به طریق ذیل تنظیم گردید:

۱. حساسیت سنسور به نور (ISO): ۱۰۰

۲. دیافراگم: f5.0

۳. سرعت شاتر: ۱/۱۰ ثانیه

۴. فلاش: غیر فعال یا خاموش

۵. زوم دوربین: بدون زوم

۶. حساسیت به نور فلورسنت: فعال یا روشن

روش عکس‌برداری بصورت دستی حالت (c)

۱. حساسیت سنسور به نور (ISO): ۱۰۰

۲. دیافراگم: f4.0

۳. سرعت شاتر: ۱/۲۰ ثانیه

۴. فلاش: غیر فعال یا خاموش

۵. زوم دوربین: بدون زوم

۶. حساسیت به نور فلورسنت: فعال یا روشن

روش عکس‌برداری بصورت دستی حالت (d)

۱. حساسیت سنسور به نور (ISO): ۱۰۰

۲. دیافراگم: f5.0

۳. سرعت شاتر: ۱/۳۰ ثانیه

۴. فلاش: غیر فعال یا خاموش

۵. زوم دوربین: بدون زوم

۶. حساسیت به نور فلورسنت: فعال یا روشن

روش عکس‌برداری بصورت دستی حالت (e)

۱. حساسیت سنسور به نور (ISO): ۲۰۰

۲. دیافراگم: f5.0

۳. سرعت شاتر: ۱/۳۰ ثانیه

۴. فلاش: غیر فعال یا خاموش

۵. زوم دوربین: بدون زوم

۶. حساسیت به نور فلورسنت: فعال یا روشن

روش عکس‌برداری بصورت دستی حالت (f)

۱. حساسیت سنسور به نور (ISO): ۴۰۰

۲. دیافراگم: f4.0

۳. سرعت شاتر: ۱/۴۰ ثانیه

۴. فلاش: غیر فعال یا خاموش

۵. زوم دوربین: بدون زوم

۶. حساسیت به نور فلورسنت: فعال یا روشن

روش پردازش تصویر

برای پردازش تصویر و استخراج اندیسهای رنگی $L^*a^*b^*$ از ابزار پردازش تصویر نرم افزار Matlab با ورژن ۷/۸ استفاده گردید و رنگها از فرمت استاندارد قرمز-سبز-آبی به فرمت Lab تبدیل شده و میانگین آنها محاسبه گردید.

اندازه‌گیری نمونه‌ها با دستگاه هانتربل

اندیسهای $L^*a^*b^*$ تمامی نمونه‌های مورد مطالعه توسط دستگاه هانتربل مدل (Colorimeter, Minolta CR-400, Japan) اندازه‌گیری گردیدند.

آنالیز آماری

برای مقایسه میانگین‌های شاخص‌های L^*, a^*, b^* بدست آمده از ست تصویربرداری و مقادیر بدست آمده از دستگاه هانتربل از تست t-student مزدوج استفاده گردید و سطح معنی‌دار برابر $\alpha=0.01$ در نظر گرفته شد. برای ارزیابی همسویی مقادیر بدست آمده از ست تصویربرداری و دستگاه هانتربل از ضریب همبستگی Pearson استفاده گردید. با توجه به اینکه مساوی بودن مقادیر میانگین قادر به توجیه تغییرات تک تک مشاهدات نمی‌باشد برای کم کردن اختلاف بین مقادیر هانتربل و ست تصویربرداری از مدل‌های تجربی برای کالیبراسیون استفاده گردید. در این مرحله از مدل‌های خطی درجه اول تا سوم برای پارامترهای L^*, a^*, b^* استفاده گردید. برای برآزش معادلات از روش حداقل مربعات و آنالیز رگرسیون استفاده گردید برای انجام

رابطه‌ای بین L^*, a^*, b^* هانترب و روش تصویربرداری انتخاب شده استفاده گردید.

مقایسه روش‌های مختلف عکسبرداری با دستگاه

هانترب با در نظر گرفتن شاخص L^*

پس از انجام آزمون t-student مشخص گردید که در بین شش روش مورد مطالعه تنها مقادیر L^* بدست آمده از روش f با نتایج هانترب اختلاف معنی داری ندارد و بقیه روشها L^* متفاوتی با L^* هانترب داشتند ($\alpha=0.01$).

محاسبات آماری و رسم نمودار نرم افزارهای اکسل^۱ و SAS ورژن ۹ بکار گرفته شد.

نتایج و بحث

اندیس‌های L^*, a^*, b^* اندازه‌گیری شده با دستگاه هانترب برای هجده نمونه رنگی تهیه شده در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. از این نتایج برای مقایسه روش‌های مختلف تصویربرداری با دستگاه هانترب و تعیین بهترین روش تصویربرداری و همچنین برای یافتن

جدول ۱- داده‌های L^*, a^*, b^* حاصل از اندازه‌گیری نمونه‌ها با دستگاه هانترب

L^*	a^*	b^*	رنگ
28.63	14.75	-31.73	آبی ۱
55.19	38.68	48.38	نارنجی ۱
39.12	45.55	25.05	قرمز ۱
72.06	8.47	76.97	زرد ۱
24.16	0.15	-0.46	سیاه
94.67	-0.4	0.39	سفید ۱
31.47	30.18	3.35	زرشکی ۱
29.51	-15.97	0.59	سبز تیره ۱
38.86	45.55	24.7	قرمز ۲
28.95	-12.83	-0.3	سبز تیره ۲
64.39	-43.32	55.29	سبز روشن
29.19	14.45	-31.35	آبی ۲
31.53	30.13	3.36	زرشکی ۲
37.34	45.48	1.4	صورتی تیره
58.62	8.37	22.12	رنگ مقوا
94.41	-0.25	0.36	سفید ۲
55.03	38.8	48.2	نارنجی ۲
71.84	8.69	76.55	زرد ۲

جدول ۲- ضریب همبستگی، شاخص L^* بدست آمده در روش‌های مختلف عکس‌برداری با مقادیر L^* هانترلب

روش	a	b	c	d	e	f
r	۰/۸۷۸	۰/۹۱۹	۰/۹۴۱	۰/۹۲۴	۰/۹۴۶	۰/۹۳۱

معنی دار دارد و بقیه روش‌های تصویربرداری اختلاف معنی داری با هانترلب نشان ندادند.

ضریب همبستگی بین مقادیر a^* بدست آمده از روش‌های تصویربرداری و دستگاه هانترلب در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که این جدول نشان می‌دهد نتایج روش‌های تصویربرداری و دستگاه هانترلب همسو بوده و روش f بالاترین همبستگی را با نتایج دستگاه هانترلب دارد.

همانطور که جدول ۲ نشان می‌دهد تمامی روش‌های تصویربرداری از نظر شاخص L^* دستگاه هانترلب و دستگاه ست تصویربرداری با هم همسو می‌باشند.

مقایسه روش‌های مختلف عکس‌برداری با دستگاه هانترلب با در نظر گرفتن شاخص a^*

مقایسه میانگین‌های a^* هانترلب و شش روش تصویربرداری با آزمون t-student مزدوج نشان داد که تنها روش تصویربرداری d با دستگاه هانترلب تفاوت

جدول ۳- ضریب همبستگی، شاخص a^* بدست آمده در روش‌های مختلف عکس‌برداری با مقادیر a^* هانترلب

روش	a	b	c	d	e	f
r	۰/۹۳۵	۰/۹۷۷	۰/۹۶۸	۰/۷۹۵	۰/۹۴۲	۰/۹۸۴

($\alpha=0.01$) و چهار روش دیگر اختلاف معنی داری با دستگاه هانترلب داشتند و مقایسه ضرایب همبستگی نتایج روش‌های تصویربرداری و دستگاه هانترلب (جدول ۴) نشان داد که روش f بالاترین ضریب همبستگی را با نتایج دستگاه هانترلب دارد.

مقایسه روش‌های مختلف عکس‌برداری با دستگاه هانترلب با در نظر گرفتن شاخص b^*

مقایسه میانگین‌های b^* هانترلب و شش روش تصویربرداری با آزمون t-student مزدوج روشن کرد که دو روش b و f از شش روش تصویربرداری اختلاف معنی داری با دستگاه هانترلب نداشتند

جدول ۴- ضریب همبستگی، شاخص b^* بدست آمده در روش‌های مختلف عکس‌برداری با مقادیر b^* هانترلب

روش	a	b	c	d	e	f
r	۰/۹۳۱	۰/۹۶۴	۰/۹۶۴	۰/۹۶۴	۰/۹۷۱	۰/۹۷۵

ندارد و لذا این روش برای کالیبراسیون استفاده گردید. اندیس‌های L^*, a^*, b^* بدست آمده از تصاویر گرفته شده با روش f در جدول ۵ نشان داده شده است. از آنجا که برابر بودن میانگین‌ها از لحاظ آماری، قادر به توجیه تفاوت‌های تک تک اعداد نمی‌باشد، برای افزایش دقت پیش‌بینی نیاز بود که رابطه‌ای بین مقادیر L^*, a^*, b^*

مدلسازی شاخص‌های L^*, a^*, b^* دستگاه هانترلب بعنوان تابعی از L^*, a^*, b^* ست تصویربرداری

آزمون‌های t-student نشان دادند که در بین روش‌های مختلف تصویربرداری میانگین پارامترهای L^*, a^*, b^* بدست آمده از روش f (ایزو ۴۰۰ و ۱/۴۰ و f4.0) تفاوت معنی‌داری با مقادیر میانگین L^*, a^*, b^* دستگاه هانترلب

بنابراین استفاده از ست تصویربرداری در بازه ۸۰-۲۰ بسیار نتایج دقیق و قابل مقایسه‌ای با هانتربل خواهد داد.

بدست آمده از ست تصویربرداری و L^*, a^*, b^* بدست آمده از هانتربل برقرار گردد تا میزان اختلاف بین نتایج به حداقل برسد. برای یافتن رابطه بین پارامترهای رنگی بدست آمده از دستگاه هانتربل و پارامترهای رنگی بدست آمده از ست تصویربرداری، از مدل‌های چند جمله‌ای خطی استفاده گردید. در این مدل‌ها L^*, a^*, b^* هانتربل به عنوان متغیر وابسته و L^*, a^*, b^* بدست آمده از دستگاه ست تصویربرداری به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد و با کاربرد روش حداقل مربعات بهترین معادله برای ارتباط دادن این عکس‌ها بدست آمد و رابطه بدست آمده مورد آنالیز و رگرسیون قرار گرفت تا کارآمدی آن در پیشگویی مقادیر L^*, a^*, b^* مورد ارزیابی قرار گیرد. برای ارزیابی کفایت برازش مدل‌ها از ضریب تبیین استفاده گردید.

مدل پیشگویی شاخص L^*

مدل پیشگویی شاخص L^* بعنوان تابعی از نتایج ست تصویربرداری بصورت زیر است:

$$L^*_H = 25.472 + 0.083 \times L^*_S + 0.006 \times L^*_S^2$$

که در این مدل L^*_S نشان‌دهنده L^* حاصل از ست تصویربرداری و L^*_H نشان‌دهنده L^* حاصل از هانتربل می‌باشد. ضریب تبیین^۶ مدل فوق ۰/۹۳۱ می‌باشد که نشان‌دهنده کارآمدی مدل در پیش‌بینی مقادیر L^*_H می‌باشد.

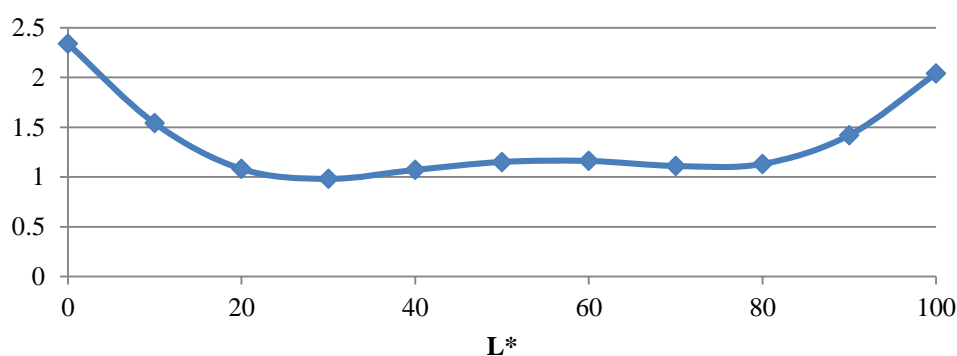
مطالعه بیشتر مدل نشان داد که دقت پیش‌بینی L^* برای همه رنگ‌ها یکسان نیست بنابراین مقدار SE مدل در بازه $L^* = [0-100]$ مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت که نتایج در شکل ۳ نشان داده می‌شود.

همانطور که مشاهده می‌شود در بازه $L^* = 20-80$ میزان SE تقریباً ثابت و در پایین‌ترین مقدار خود قرار دارد ولی در خارج از این بازه میزان SE افزایش می‌یابد بهر حال مقدار ماکزیمم SE نیز بسیار پایین و رضایت بخش می‌باشد و حداکثر خطای استاندارد برابر ۲/۳ می‌باشد.

جدول ۵- داده‌های حاصل از پردازش تصویر گرفته شده با روش (f)

L*	a*	b*	رنگ
29.2654	15.7834	-57.0136	آبی ۱
57.0231	40.3205	65.0482	نارنجی ۱
37.2149	55.6612	40.704	قرمز ۱
81.5753	1.3967	80.7671	زرد ۱
3.5008	-0.218	-0.0339	سیاه
100	0	0	سفید ۱
31.9708	40.1787	0.1966	زرشکی ۱
9.375	-10.4179	-2.1221	سبز تیره ۱
36.6749	54.3198	38.293	قرمز ۲
8.9707	-8.8056	-2.7769	سبز تیره ۲
76.7974	-60.2377	69.0563	سبز روشن
29.7419	15.3601	-56.5887	آبی ۲
28.8285	37.9535	0.6793	زرشکی ۲
34.6433	52.64	-7.3664	صورتی تیره
71.5161	4.1732	13.0779	رنگ مقوا
98.3898	0	0	سفید ۲
56.8307	40.393	64.8283	نارنجی ۲
81.3952	1.9964	80.7443	زرد ۲

SE



شکل ۱- نمودار نشان دهنده تغییرات SE به عنوان تابعی از مقدار L^*

مدل پیشگویی شاخص a^*

مدل پیشگویی شاخص a^* بعنوان تابعی از فاکتورهای

مطالعه شده بصورت زیر است:

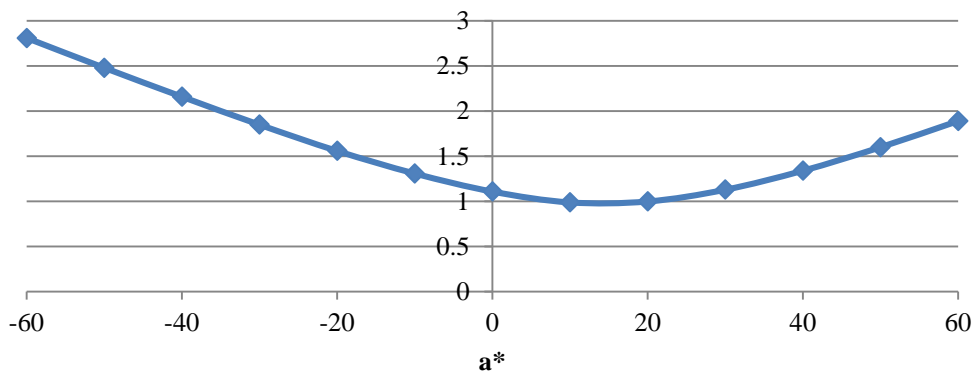
$$a^*_H = 1.025 + 0.821 * a^*_s$$

که در این مدل a^*_s نشان‌دهنده a^* حاصل از ست
تصویربرداری و a^*_H نشان‌دهنده a^* حاصل از هانتربل
می باشد

همانطور که مشاهده می‌شود در بازه -60 تا $+60$ میزان SE بسیار پایین و رضایت بخش می‌باشد و حداکثر خطای استاندارد برابر $2/8$ می‌باشد. بنابراین استفاده از ست تصویربرداری در بازه -60 تا $+60$ بسیار نتایج دقیق و قابل مقایسه‌ای با هانتربل خواهد داد.

ضریب تبیین مدل فوق $0/984$ می‌باشد که نشان‌دهنده کارآمدی مدل در پیش‌بینی مقادیر a^*_H می‌باشد. با مطالعه دقیق‌تر در این مدل نیز مشخص شد که دقت پیش‌بینی a^*_S برای همه رنگ‌ها یکسان نیست بنابراین مقدار SE مدل در بازه -60 تا $+60$ از a^* مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت که نتایج در شکل ۲-۳ نشان داده می‌شود.

SE



شکل ۲- نمودار نشان‌دهنده تغییرات SE به عنوان تابعی از مقدار a^*

مطالعه بیشتر مدل نشان داد که دقت پیش‌بینی b^*_S برای همه رنگ‌ها یکسان نیست بنابراین مقدار SE مدل در بازه -60 تا $+80$ مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت که نتایج در شکل ۳-۳ نشان داده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود در بازه -60 تا $+70$ میزان SE در پایین‌ترین مقدار خود قرار دارد ولی بیشتر از $+70$ میزان SE افزایش می‌یابد بهر حال مقدار ماکزیمم SE نیز بسیار پایین و رضایت بخش می‌باشد ($Max_{SE}=6.5$). بنابراین استفاده از ست تصویربرداری در بازه -80 تا $+20$ بسیار نتایج دقیق و قابل مقایسه‌ای با هانتربل خواهد داد.

مدل پیشگویی شاخص b^*

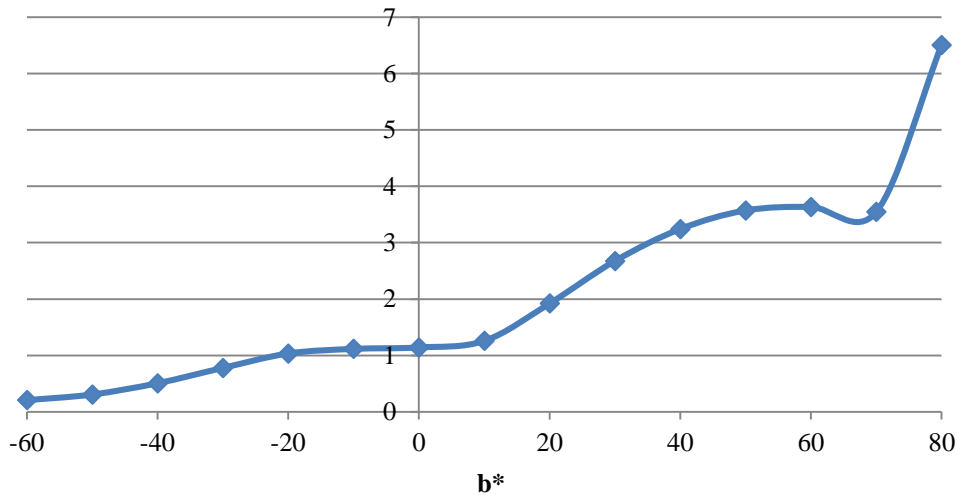
مدل پیشگویی شاخص b^* بعنوان تابعی از فاکتورهای مطالعه شده بصورت زیر است:

$$b^*_H = 10^{(1.581 + 0.009 * b^*_S - 0.0001 * b^*_S^2 + 0.000001 * b^*_S^3)} - 34.9$$

که در این مدل b^*_S نشان‌دهنده b^* حاصل از ست تصویربرداری و b^*_H نشان‌دهنده b^* حاصل از هانتربل می‌باشد

ضریب تبیین مدل فوق $0/975$ می‌باشد که نشان‌دهنده کارآمدی مدل در پیشگویی مقادیر b^*_H می‌باشد.

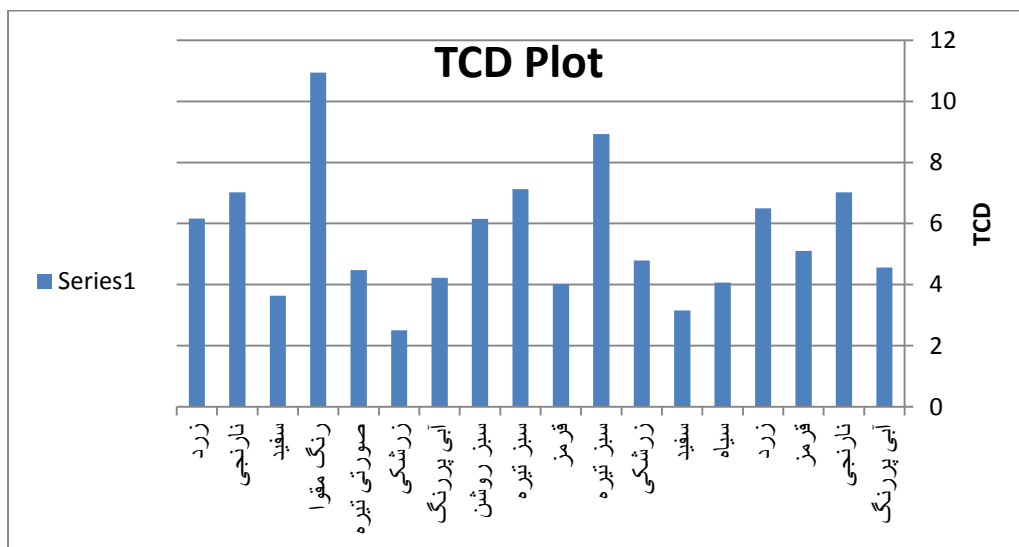
SE



شکل ۳-۳- نمودار نشان‌دهنده تغییرات SE به عنوان تابعی از مقدار b^*

کالیبره شده را نشان می‌دهد. طبق این نمودار رنگ‌های زرشکی و سفید کمترین اختلاف و رنگ مقوایی بیشترین اختلاف را دارند.

بررسی نمودار اختلاف رنگ کل (TCD)
نمودار TCD مقادیر تفاوت رنگ کل حاصل از داده‌های دستگاه هانتربل با داده‌های دستگاه ست تصویربرداری



شکل ۴-۴- نمودار TCD

تنظیم شده دوربین بر کارایی پردازش تصویر در برآورد پارامترهای رنگی $L^*a^*b^*$ موثر می‌باشد. دقت روش پردازش تصویر در برآورد اندیس‌های $L^*a^*b^*$ رنگ‌های مختلف متفاوت است.

نتیجه گیری کلی
نتایج این مطالعه نشان داد که روش پردازش تصویر قابلیت جایگزینی دستگاه هانتربل را دارد و اعداد بدست آمده با این روش با اعداد بدست آمده از دستگاه هانتربل برای رنگ‌های مختلف همخوانی دارد. شرایط

منابع مورد استفاده

- پوردربانی ر، قاسم زاده ح، آقا گل زاده ع و بهفر ح، ۱۳۸۸. امکان سنجی درجه بندی سیب با استفاده از پردازش تصویر. پژوهش‌های صنایع غذایی. جلد ۱۹ شماره ۱، صفحات ۸۵-۷۵.
- ناصی ب، ۱۳۹۲. بررسی روشهای مختلف ارزیابی رنگ در اسپاگتی. پژوهش‌های صنایع غذایی. جلد ۲۳ شماره ۱، صفحات ۵۷-۴۷.
- Kumara A , Ganjyal GM, Jones DD , Hanna MA, 2006 Digital image processing for measurement of residence Time distribution in a laboratory extruder. *Journal of Food Engineering*, 75:237-244.
- Brimelow CJB, Nestle R, Centre D, 2001. Lausanne, Colour measurement of foods by colour reflectance. Research Centre, CRC Press LLC.
- Chanona-Pérez J, Quevedo R, Jiménez AR, Aparicio C, Chávez G, Mendoza Pérez JA, Calderón Domínguez G, Alamilla-Beltrán L, and Gutiérrez-López GF, 2004. Image Processing Methods and Fractal Analysis for Quantitative Evaluation of Size, Shape, Structure and Microstructure in Food Materials, *Food Engineering: Integrated Approaches*, 16, 277-286.
- Zheng C, Sun DW and Zheng L 2006, Recent developments and applications of Image features for food quality evaluation and inspection. *Food Science & Technology*, 17:113-128.
- Du CJ and Sun D 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 15:230-249.
- Mery D, Pedreschi F 2005, Segmentation of colour food images using a robust algorithm, *Journal of Food Engineering*, 66:353-360.
- Mendozaa F, Dejmeckb P, Aguileraa J, 2006, Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis, *Journal of Postharvest and Biology and Technolgy*, 41(3):285-295
- Dana H, Azumab T, Kohyama K, 2007, Characterization of spatiotemporal stress distribution during food fracture by image texture analysis methods, *Journal of Food Engineering*, 31:429-436.
- Yu H and MacGregor JF, 2003, Digital Imaging for online monitoring and control of industrial snack food processes, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 42 (13): 3036-3044.
- Katherine L, Domingo M, Franco P, Jorge L, 2006, Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39:1084-1091.
- deMann JM, 2001, *Food chemistry* (3rd edition), New York, Marcel Dekker
- Yama KL, Spyridon E. Papadakisb 2004, A simple digital imaging method for measuring and analyzing Color of food surfaces, *Journal of Food Engineering*, 61:137-142.
- Brosnan T and Da-Wen Sun 2002, Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36:193-213.