

طراحی و بهینه‌یابی سامانه رنگ سنجی نرم افزاری مواد غذایی

حسن غیائی^۱ - شاهرخ جبرائیلی^۲ - سید مهدی جعفری^{۳*} - یحیی مقصدلو^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۱۷

چکیده

در این پژوهش عوامل قابل کنترل در رنگ‌سنجی نرم افزاری (فتوشاپ) شامل روش نوردهی (مستقیم و غیر مستقیم)، رنگ زمینه عکس برداری (سفید و سیاه)، تنظیمات دوربین عکاسی (زوم، نور، وضوح و وضعیت محیطی) و رابطه تبدیلی R, G, B عکس گرفته شده به L^* , a^* , b^* در مقایسه با نتایج دستگاهی، بررسی و بهینه‌یابی شدند. نتایج نشان داد که از عوامل موثر بر عکس برداری، تنها رنگ زمینه و تنظیم نور دوربین عکاسی تاثیر معنی‌داری بر نتایج رنگ‌سنجی نرم افزاری دارد و نوردهی غیر مستقیم و زمینه سفید مناسب‌ترین حالت عکس برداری هستند. پس از بهینه‌یابی عوامل قابل کنترل در عکس برداری بازهم بین نتایج دستگاهی و نرم‌افزاری اختلاف قابل توجهی مشاهده شد و روابط تبدیلی مورد استفاده نیز دقت کافی نداشتند. بنابر این لازم است تا جهت بهینه‌یابی یک سامانه رنگ سنجی نرم‌افزاری علاوه بر تعیین مناسب‌ترین شرایط عکس برداری، با توجه به تفاوت ویژگی‌های فیزیکی سطح مواد غذایی با چارت رنگی (مورد استفاده جهت بهینه‌یابی شرایط عکس برداری)، از رگرسیون بین نتایج رنگ‌سنجی دستگاهی و نرم‌افزاری خود مواد غذایی مورد آزمایش استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: رنگ سنجی، فتوشاپ، بهینه‌یابی، مواد غذایی

مقدمه

فضای رنگی L^* , a^* , b^* مدلی است که در سال ۱۹۷۶ توسط کمیسیون بین‌المللی روشنایی نور (CIE^۵) جهت توصیف روابط بین رنگ‌های قابل مشاهده توسط چشم تایید شد که در آن L^* بیانگر روشنایی رنگ (بین ۰ تا ۱۰۰)، a^* (+ قرمزی، - سبزی)، و b^* (+ زردی، - آبی رنگ) بین ۱۲۰- تا ۱۲۰+ می‌باشند و در تحقیقات علمی از آنها استفاده می‌شود (Hunter Lab, 2001). رنگ‌سنجی مواد غذایی با استفاده از دستگاه‌های رنگ‌سنج انجام می‌شود. سطح وسیع‌تر قابل رنگ‌سنجی نرم افزاری (سطح رنگ سنجی هانتربل و مینولتا 2cm^2 و 5cm^2)، هزینه کمتر و امکان نگهداری عکس گرفته شده از نمونه جهت مقایسه و آنالیز در دفعات بیشتر، موجب افزایش تمایل به رنگ سنجی نرم افزاری مواد غذایی شده است.

دقت و صحت نتایج رنگ سنجی یک سامانه رنگ سنجی نرم افزاری بستگی به نزدیکی نتایج حاصل از آن به نتایج دستگاهی

۱، ۲، ۳ و ۴ - به ترتیب دانش‌آموختگان کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(Email: smjafari@gau.ac.ir) * - نویسنده مسئول:

5- International commission of Illumination

دارد که به بهینه بودن شرایط عکس برداری از نمونه (نوع منبع نور، روش نوردهی نمونه، رنگ درون محفظه نوردهی و تنظیمات دوربین عکاسی) و همچنین روابط تبدیلی R, G, B عکس گرفته شده به L^* , a^* , b^* بستگی دارد. در مورد منابع نوری می‌توان گفت که منابع نوری مختلفی توسط CIE به صورت استاندارد، برای انجام رنگ‌سنجی مطرح شده است اما عمدتاً از D65 استفاده می‌شود (Hunter Lab, 2008).

طراحی محفظه نوردهی، به روش نوردهی نمونه بستگی دارد و با توجه به اهمیت آن در نتایج رنگ سنجی نرم‌افزاری، نیاز است تا روش نور دهی مناسبی انتخاب شود (Hunter Lab, 2001). نوردهی را می‌توان به دو صورت مستقیم (برخورد مستقیم پرتو منبع نور به جسم) و غیر مستقیم، به نمونه اعمال کرد. در روش نوردهی غیر مستقیم از پخش‌کننده نور، بین منبع نور و نمونه استفاده می‌شود. پخش‌کننده می‌تواند از جنس شیشه، پلاستیک و دیگر پلیمرها باشد که موجب می‌شود پرتو تابیده شده به صورت یکنواخت‌تر به نمونه تابیده شود (White, 1995). رنگ زمینه محفظه نوردهی نیز بر نتایج رنگ سنجی تاثیر دارد (Mendoza & Dejmeck, 2006) رنگ

همبستگی زیاد بین نتایج را گزارش دادند. کالیبراسیون سامانه رنگ سنجی می تواند به صورت تعیین L^* , a^* , b^* کارت های رنگی مختلف به صورت دستگاهی و استفاده از رگرسیون (و یا با خطای کمتر محاسباتی با استفاده از روش شبکه ای) جهت تبدیل R, G, B عکس گرفته شده از کارت های رنگی به L^* , a^* , b^* انجام شود و به عبارت دیگر بهینه یابی سامانه رنگ سنجی بر روابط تعریف شده اعمال گردد (León & Merry, 2006). در دیگر تحقیقاتی که در زمینه رنگ سنجی نرم افزاری مواد غذایی انجام شده است عمدتاً بهینه یابی بویژه تعیین مشخصات دوربین عکاسی، بر اساس تغییر شرایط عکس برداری و تنظیمات دوربین عکاسی (به صورت سعی و خطا) تا به حداقل رساندن نتایج رنگ سنجی نرم افزاری و دستگاهی و با استفاده از کارت های رنگی انجام شده اند (احتیاتی و همکاران، ۱۳۸۷، Quevedo et al., 2010, Kang & East, 2008).

با توجه به مطالب ذکر شده مشاهده می شود که در زمینه طراحی محفظه نوردهی شامل روش نوردهی (مستقیم و غیر مستقیم)، رنگ زمینه نمونه (سفید و سیاه) و روابط مورد استفاده جهت آنالیز عکس گرفته شده و نهایتاً شیوه بهینه یابی یک سامانه رنگ سنجی نرم افزاری (بویژه تنظیم مناسب دوربین عکاسی جهت عکس برداری)، می توان به صورت های مختلف عمل کرد و نیاز است تا تحقیق بیشتری در مورد تاثیر این عوامل بر نزدیکی نتایج رنگ سنجی نرم-افزاری و دستگاهی مواد غذایی بررسی گردد و مناسب ترین شیوه طراحی و بهینه یابی یک سامانه رنگ سنجی نرم افزاری ارائه گردد.

مواد و روش ها

طراحی سامانه رنگ سنجی

محفظه نوردهی از جنس چوب در ابعاد ($29 \times 58 \times 58 \text{ cm}^2$) ساخته شد که رنگ زمینه آن متناسب با شرایط آزمایش قابل تغییر بود. دو منبع نوری (لامپ D_{65} به طول 48 cm و توان 16 وات) در بالای آن و بطور متقارن و با زاویه 90° درجه نسبت به هم و زاویه 45° درجه نسبت به دوربین عکاسی نصب شد. به منظور جلوگیری از تابش مستقیم نور لامپ به درون لنز دوربین، لنز دوربین پایین تر از منابع نوری قرار گرفت. فاصله آن از نمونه $22/5 \text{ cm}$ بود (Kang & East, 2008). در چپه ای در یک طرف آن به منظور سهولت نمونه گذاری بگونه ای تعبیه شد که نور از محیط خارج وارد نشود.

به منظور ایجاد نوردهی غیر مستقیم، از یک ورق آکرلیک (ثقل ویژه $1/19$ ، عبور نور 93% ، نقطه شکست 760 kg/cm^2) و به قطر $2/8 \text{ mm}$ و به شکل دوزنقه در مقابل منابع نوری استفاده شد (YLI, 2010). سوراخی به قطر 5 cm در مرکز سقف آن جهت قرارگیری لنز دوربین عکاسی (کانون پاورشات، مدل A495)، تعبیه شد. در شکل ۱ نحوه قرارگیری اجزای محفظه نوردهی نشان داده شده است.

سنجی نرم افزاری چیپس سیبزمینی و رطب مضافتی با استفاده از روش نوردهی مستقیم و زمینه سفید و در مقابل استفاده از زمینه سیاه رنگ و روش نوردهی غیر مستقیم در عکس برداری و رنگ سنجی نرم افزاری شکلات، مناسب بودن روش پردازش تصویر جهت رنگ سنجی مواد غذایی را نشان داده است (Mendoza & Dejmek, 2006؛ فرحناکی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Kang & Sabarez, 2009). در این زمینه به نظر می رسد که نوردهی غیر مستقیم به دلیل کاهش تاثیر براقیت و ناهمواری سطح جسم بر نتایج رنگ سنجی نرم افزاری، روش نوردهی مناسب تری نسبت به روش نوردهی مستقیم باشد (Mendoza & Dejmek, 2006). تنظیمات دوربین عکاسی که در انواع مختلف دوربین های دیجیتالی به صورت های مختلف بیان می شوند نیز از عوامل موثر بر نتایج رنگ سنجی است که نیاز می باشد تا جهت بهینه یابی سامانه رنگ سنجی، مناسب ترین تنظیمات دوربین عکاسی جهت عکس برداری انتخاب شود (Mendoza & Dejmek, 2006).

به منظور تبدیل R, G, B بدست آمده از عکس نمونه به L^* , a^* , b^* ، روش های متفاوتی بیان شده است که یکی از آنها استفاده از فضاهای رنگی واسط sRGB و XYZ می باشد. برای این منظور RGB ناحیه مورد نظر از عکس گرفته شده، در ابتدا به R' , G' , B' نرمال سازی می شود (تقسیم R, G, B بر ۲۵۵). در واقع فضای رنگی RGB یک فضای کاملی نیست و به همین دلیل باید مقادیر RGB در فضاهای رنگی کامل تر مانند sRGB تعریف شده و سپس به L^* , a^* , b^* در فضای CIE تبدیل شود (پوردرد بانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Kang & Sabarez, 2009; Mendoza & Dejmek, 2006; روابط تبدیلی فضای رنگی XYZ به L^* , a^* , b^* به صورت زیر می باشد:

$$\begin{aligned} a^* &= 500 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1.3} - \left(\frac{X}{X_n} \right)^{1.3} \right] \\ b^* &= 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1.3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1.3} \right] \\ L^* &= 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1.3} - 16 \end{aligned} \quad (1)$$

$X_n = 0.9503$ و $Y_n = 1$ و $Z_n = 1/0.891$ مختصات رنگ سفید استاندارد در نور لامپ D_{65} می باشد (Kang & East, 2008). جهت مقایسه رنگ سنجی نمونه های مختلف، می توان از رابطه اختلاف رنگ (ΔE^*) استفاده کرد:

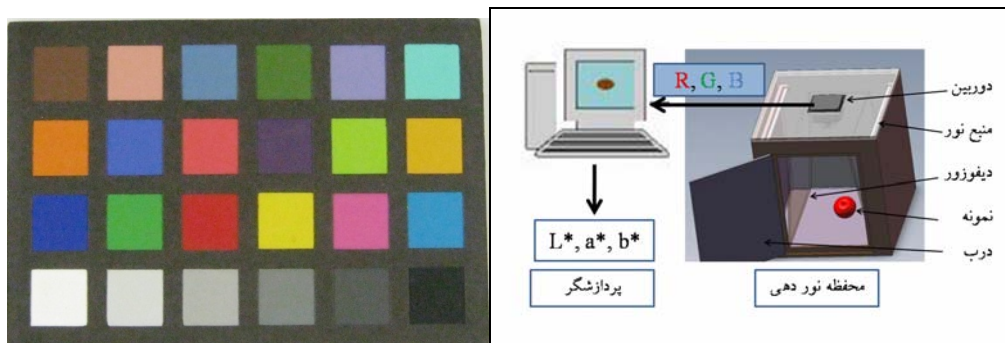
$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad \Delta a^* = a^*_{sa} - a^*_{st} \quad (2)$$

$$\Delta b^* = b^*_{sa} - b^*_{st}$$

$$\Delta L^* = L^*_{sa} - L^*_{st}$$

با Briones & Aguilera, 2005 و León & Merry, 2006

مقایسه نتایج رنگ سنجی نرم افزاری (با استفاده از روابط ۱-۴) و دستگاهی چیپس سیبزمینی و شکلات، اختلاف زیادی بین نتایج رنگ سنجی نرم افزاری و دستگاهی مشاهده کردند ولی ضریب



شکل ۱- سامانه رنگ سنجی طراحی شده

رنگ سنجی میوه و سبزیجات

پس از تعیین شرایط بهینه عکس برداری، با توجه به اینکه مواد غذایی از نظر ویژگی‌های فیزیکی سطحی با چارت رنگی متفاوت می‌باشند، به منظور بررسی بیشتر تاثیر رنگ زمینه و روش نوردهی و همچنین امکان استفاده از مناسب‌ترین شرایط عکس برداری بدست آمده بعنوان حالت بهینه‌یابی شده سامانه رنگ‌سنجی، در شرایط متفاوت رنگ زمینه (سیاه و سفید) و روش نوردهی (مستقیم و غیر مستقیم) که نتایج دستگاهی و نرم افزاری حداقل اختلاف رنگی را نشان داده‌بودند، از چهار میوه (موز، نارنگی، سیب سبز، سیب زرد) و چهار سبزی (فلفل قرمز، فلفل سبز، فلفل دلمه‌ای و گوجه فرنگی) تازه خریداری شده رنگ‌سنجی دستگاهی و نرم‌افزاری به عمل آمد.

طرح آماری

با استفاده از طرح تصادفی در قالب آرایش فاکتوریل در نرم افزار Minitab، تاثیر عوامل قابل کنترل بر رنگ‌سنجی نرم‌افزاری طراحی و بررسی شدند و به صورت فاکتوریل کامل، عواملی که تاثیرات بیشتری را بر رنگ سنجی نرم افزاری نشان داده بودند بهینه‌سازی شدند. از ضریب تعیین برای بررسی میزان همبستگی داده‌های نرم افزاری و دستگاهی استفاده شد.

نتایج و بحث

بهینه‌یابی عوامل موثر بر عکس برداری

تعیین مناسب‌ترین شرایط تنظیمات دوربین عکاسی و ویژگی‌های محفظه نوردهی از مهمترین مراحل رنگ سنجی نرم افزاری می‌باشد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود رنگ زمینه بیشترین تاثیر را بر رنگ سنجی نرم‌افزاری چارت رنگی نشان می‌دهد. تنظیم نور دوربین عکاسی نیز تاثیر معنی‌داری بر رنگ سنجی نشان می‌دهد در حالی که تاثیر دیفوزور، زوم، شرایط محیطی (نور روز و فلورسنت H) و وضوح معنی‌دار نیست. مندوزا و همکاران (۲۰۰۶) نیز تاثیر معنی‌دار رنگ‌زمینه و تاثیر جزئی زوم و وضوح دوربین

نحوه آنالیز رنگ

کامپیوتر مورد استفاده برای این منظور مدل Pentium III با مشخصات ۱۲۰ گیگا بایت حافظه و رم ۲۲۴ مگابایت بود. به منظور در نظر گرفتن رنگ کلی نواحی انتخاب‌شده جهت رنگ‌سنجی، از پنجره هیستوگرام نرم افزار فتوشاپ (CS8) استفاده شد. با توجه به مربع شکل بودن خانه‌های رنگی از برش‌دهی مربعی و جهت نمونه‌ها، از حالت دایره‌ای نرم افزار برای تعیین نواحی مورد نظر جهت رنگ سنجی، استفاده شد و L^* , a^* , b^* محاسبه شدند.

بهینه‌یابی شرایط عکس برداری

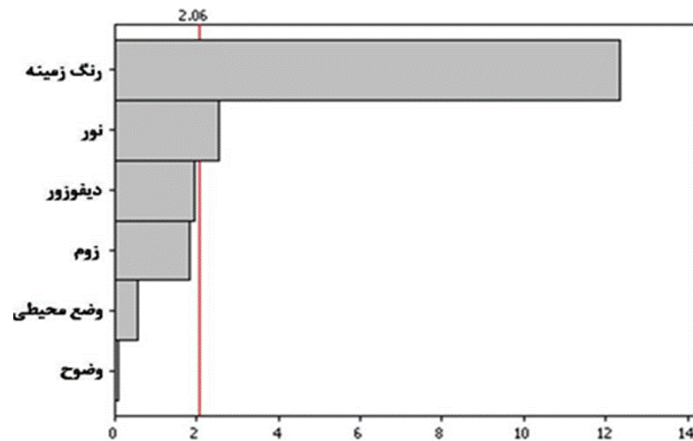
برای این منظور از چارت رنگی استاندارد^۱ با ۲۴ رنگ و شاخص‌های رنگی مشخص هر خانه رنگی، استفاده شد. در شکل ۲ چارت رنگی مورد استفاده نشان داده شده است. ابتدا مقدار تاثیر عوامل قابل کنترل در عکس برداری شامل نحوه نوردهی (بدون دیفوزور و نوردهی مستقیم و استفاده از دیفوزور و نوردهی غیر مستقیم)، رنگ درون محفظه نوردهی (سفید و سیاه)، تنظیمات دوربین عکاسی شامل وضع نور محیطی (فلورسنت H و نور روز)، وضوح (۶ و ۰/۳ مگا پیکسل)، زوم (استاندارد و ۱/۴) و مقدار نور (۴/۳، ۲/۳، ۱، -۱، -۴/۳) بر نتایج اختلاف رنگ نتایج رنگ‌سنجی نرم‌افزاری و دستگاهی (لاوبیاند مدل Cam system 500) چارت رنگی بررسی شد. سپس حالت ترکیبی لازم از عواملی که تاثیر بیشتری بر رنگ‌سنجی داشتند جهت حصول کمترین اختلاف رنگی بین نتایج نرم‌افزاری و دستگاهی، بعنوان شرایط بهینه عکس برداری تعیین شد.

بررسی همبستگی نتایج رنگ‌سنجی نرم‌افزاری و دستگاهی

به منظور بررسی بیشتر همبستگی بین نتایج رنگ سنجی دستگاهی و نرم افزاری، از چارت رنگی به صورت دستگاهی و در مناسب‌ترین شرایط عکس برداری، رنگ سنجی نرم افزاری انجام شد و رگرسیون بین آنها مورد بررسی قرار گرفت.

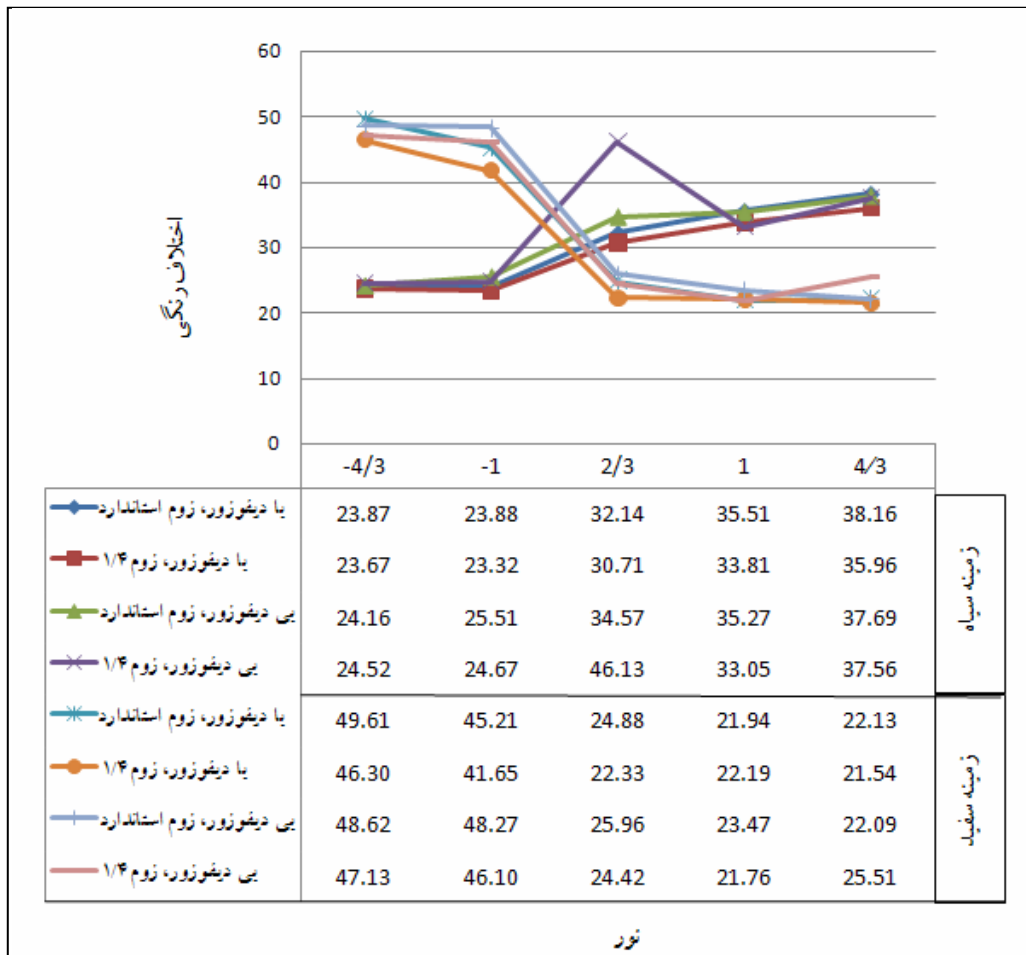
1- GretagMacbeth Color Checker

عکاسی بر رنگ سنجی نرم افزاری موز را گزارش دادند.



میزان تاثیر استاندارد

شکل ۳- نمودار توزیع احتمالی پارتو^۱ تاثیر طراحی محفظه نور دهی (رنگ زمینه سیاه و سفید و روش نور دهی مستقیم و غیر مستقیم) و تنظیمات دوربین عکاسی (نور، زوم وضع محیطی و وضوح) بر رنگ سنجی نرم افزاری ستون هایی که روی خط قرمز قرار دارند، تاثیر معنی داری بر رنگ سنجی دارند ($P < 0.05$)



شکل ۴- بهینه یابی عوامل موثر بر عکس برداری

همانطور که در شکل (۵) نیز مشاهده می‌شود، در صورتی که تحت مناسب ترین شرایط عکس برداری از چارت رنگی، به صورت دستگاهی و نرم افزاری رنگ سنجی شود باتوجه به شیب خط و عرض از مبدا رگرسیون، نتایج نرم‌افزاری و دستگاهی اختلاف قابل توجهی را نشان می‌دهند و مقدار سفیدی، آبی و قرمزی رنگ‌سنجی نرم افزاری، بطور میانگین ۶/۷ و ۲ واحد بیشتر از رنگ‌سنجی دستگاهی می‌باشد. بیشترین اختلاف رنگی مشاهده شده مربوط به رنگ فیروزه ای است که به دلیل خارج بودن آن از محدوده رنگی قابل تشخیص توسط نرم‌افزار است (Kang & Sabarez, 2009). مشاهده می‌شود که شاخص‌های رنگی L^* و a^* بدست آمده توسط نرم افزار و دستگاه ضریب همبستگی زیادی دارند ($R^2_{L^*} = ۸۹/۳$ ، $R^2_{a^*} = ۹۵/۴$) و می‌توان از رگرسیون برای نزدیک‌سازی داده‌های نرم‌افزاری و دستگاهی استفاده کرد.

با توجه به شکل ۶ در صورتی که جهت بهینه یابی شرایط عکس برداری و روابط مورد استفاده در رنگ سنجی نرم افزاری، از رگرسیون بین شاخص‌های رنگی رنگ سنجی نرم افزاری و دستگاهی رنگ‌های مختلف (بدون رنگ فیروزه‌ای) استفاده شود، نتایج نرم افزاری بطور قابل قبولی نزدیک به نتایج دستگاهی می‌شوند.

رنگ سنجی میوه و سبزیجات

در جدول ۱ نتایج رگرسیون و اختلاف رنگی رنگ‌سنجی دستگاهی و نرم‌افزاری میوه و سبزیجات مورد آزمایش (موز، نارنگی، سیب سبز، سیب زرد، فلفل قرمز، فلفل سبز، فلفل دلمه‌ای و گوجه‌فرنگی)، تحت ۴ حالت عکس برداری رنگ زمینه (سفید و سیاه) و نحوه نوردهی (استفاده از دیفوزور و ایجاد نوردهی غیر مستقیم و بدون آن بعنوان نوردهی مستقیم) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، اختلاف رنگی نتایج رنگ‌سنجی دستگاهی و نرم‌افزاری نمونه‌ها در هر ۴ حالت، بسیار بیشتر از اختلاف رنگی مشاهده شده در رنگ سنجی چارت رنگی است. این امر به دلیل اختلاف بسیار زیاد ویژگی فیزیکی سطحی نمونه‌های مواد غذایی (تاثیر منفی براقیت و نا همواری بر رنگ‌سنجی) با سطح چارت رنگی می‌باشد. بنابر این مشاهده می‌شود که در رنگ سنجی نمونه‌های مواد غذایی نیز، هرچند که در شرایط بهینه شده عوامل موثر بر عکس برداری، رنگ سنجی نرم‌افزاری انجام شود، بازهم اختلاف زیادی بین داده‌های دستگاهی و نرم‌افزاری مشاهده می‌شود.

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود ضریب همبستگی قرمزی نتایج، زیاد تحت تاثیر شرایط عکس برداری قرار نمی‌گیرد اما ضریب همبستگی سفیدی و زردی به مقدار زیادی تحت تاثیر شرایط عکس برداری قرار می‌گیرند و بیشترین مقدار آنها در شرایط عکس برداری زمینه سفید و استفاده از دیفوزور می‌باشد (به ترتیب ۹۲/۵ و ۹۱/۹).

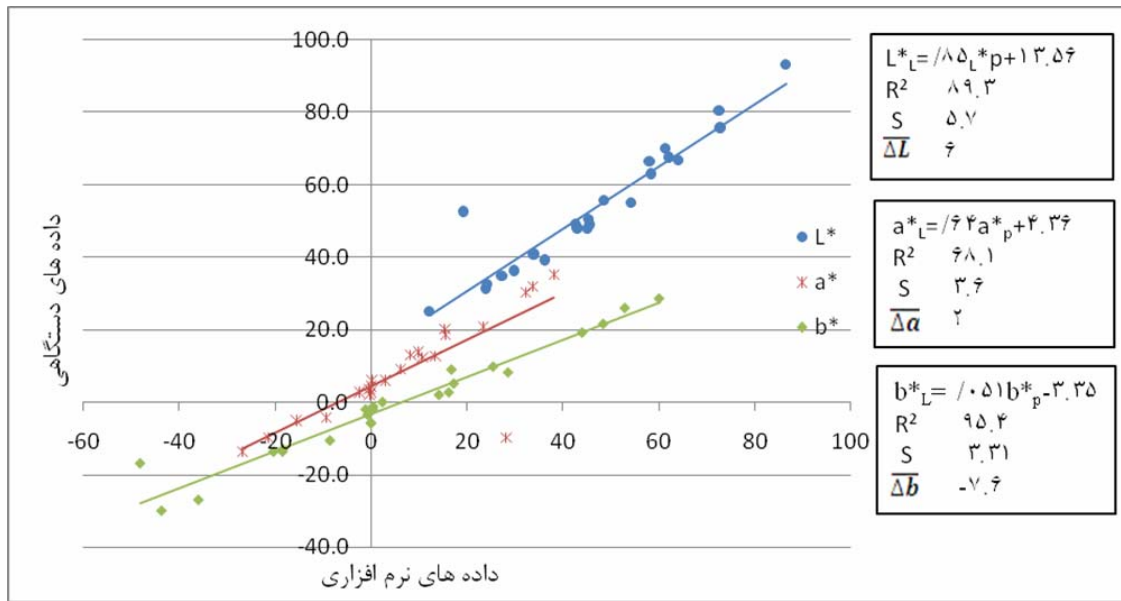
باتوجه به اینکه از لامپ‌های فلورسنت بعنوان منبع نور استفاده شده است، از تنظیم نور فلورسنت H بعنوان تنظیم مناسب دوربین عکاسی، در دیگر مراحل رنگ سنجی استفاده شد که مطابق با سامانه رنگ سنجی استفاده شده در رنگ سنجی نرم افزاری سطح نان می‌باشد (احتیاتی و همکاران، ۱۳۸۷). همچنین باتوجه به تاثیر بسیار کم وضوح بر رنگ‌سنجی، در مراحل بعدی از حد اکثر وضوح دوربین عکاسی (۶ مگاپیکسل) استفاده شد که مطابق با سامانه رنگ سنجی استفاده شده جهت رنگ سنجی نرم افزاری چپس سیب‌زمینی می‌باشد (León & Merry, 2006).

باتوجه به شکل (۴) کمترین اختلاف رنگی بین نتایج رنگ‌سنجی چارت رنگی استاندارد به صورت دستگاهی و نرم‌افزاری، در حالت عکس برداری زمینه سیاه ۲۳/۳۲ و زمینه سفید ۲۱/۵۴ است که ۱/۷۸ واحد اختلاف دارند و باتوجه به اینکه حداقل مقدار اختلاف رنگی قابل تشخیص توسط چشم^۱ ۳/۲ است، این مقدار کم و جزئی است (Gaurav Sharma, 2003).

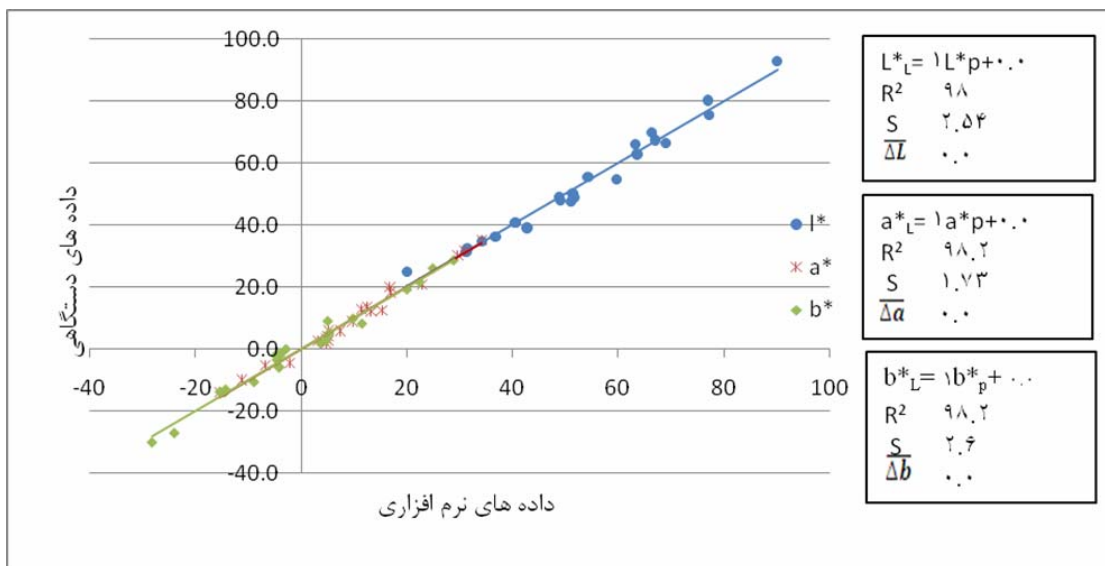
بنابراین در صورتی که هدف از رنگ‌سنجی، بررسی ظاهر و تغییرات رنگی آن از نظر چشم انسان (مصرف کننده ماده غذایی) باشد، استفاده از رنگ زمینه سیاه یا سفید برای عکس برداری فرقی نمی‌کند و تنها لازم است تا در صورت استفاده از زمینه سیاه، از تنظیمات نوری کم و در صورت سفید بودن رنگ زمینه، از تنظیمات نوری بیشتر دوربین عکاسی بعنوان مناسب ترین شرایط عکس برداری استفاده کرد. در صورتی که منظور از رنگ‌سنجی، بررسی دقیق رنگ دانه ماده غذایی باشد، باتوجه به اینکه حداقل اختلاف رنگی مشاهده شده بین نتایج دستگاهی و نرم افزاری ۲۱/۵۴ است، لازم است تا عکس برداری از نمونه در رنگ زمینه سفید و تنظیمات نوری ۴/۳ دوربین عکاسی و نوردهی غیر مستقیم (در این تحقیق استفاده از دیفوزور بین منبع نور و نمونه) انجام شود. بنابراین می‌توان گفت جهت بهینه یابی عوامل موثر بر عکس برداری، بررسی و تعیین مناسب ترین تنظیمات نوری دوربین عکاسی، سریع و آسانترین راه ممکنه است.

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود باوجود بررسی تمامی حالات عوامل موثر بر عکس برداری از چارت رنگی، حداقل اختلاف رنگی مشاهده شده بین نتایج رنگ سنجی دستگاهی و نرم افزاری آن، ۲۱/۵۴ است که تقریباً ۶/۵ برابر حد اقل مقدار قابل تشخیص توسط چشم است که به دلیل تفاوت در مکانیسم تشخیص رنگ در دستگاه و نرم‌افزار، و همچنین روابط استفاده شده در رنگ سنجی نرم‌افزاری جهت تبدیل R, G, B عکس گرفته شده به L^* , a^* , b^* می‌باشد (Kang & Sabarez, 2009; White, 1995).

1- Just Notified Difference



شکل ۵- نزدیکی نتایج رنگ سنجی دستگاهی و نرم افزاری چارت رنگی در مناسب ترین شرایط عکس برداری
 L^*_L : سفیدی اندازه گیری شده توسط دستگاه لایویناند
 L^*_p : سفیدی اندازه گیری شده توسط نرم افزار فتوشاپ



شکل ۶- رگرسیون داده های رنگ سنجی دستگاهی و نرم افزاری بدون رنگ فیروزه ای و پس از خطی سازی.
 L^*_L : سفیدی اندازه گیری شده توسط دستگاه لایویناند.
 L^*_p : سفیدی اندازه گیری شده توسط نرم افزار فتوشاپ.

جدول ۱- رگرسیون و اختلاف رنگی رنگ سنجی نرم افزاری و دستگاهی نمونه ها در چهار حالت عکس برداری

شرایط عکس برداری	اختلاف رنگی		ضریب همبستگی			انحراف معیار		
	نمونه ها	چارت رنگی	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
زمینه سیاه با دیفوزور	۶۱/۰۸	۲۳/۳۲	۷۸/۹	۹۶/۷	۶۹/۵	۲/۵۱	۰/۵۹	۱/۳۲
زمینه سیاه بی دیفوزور	۵۸/۶۹	۲۴/۱۶	۸۴/۲	۹۶/۷	۹۱/۳	۲/۱۸	۰/۵۹	۰/۷
زمینه سفید با دیفوزور	۵۷/۶۴	۲۱/۵۴	۹۲/۵	۹۵/۲	۹۱/۹	۱/۵	۰/۷۱	۰/۶۸
زمینه سفید بی دیفوزور	۵۵/۷۴	۲۱/۷۶	۸۲/۶	۹۵	۸۳	۱/۷۶	۰/۷۳	۰/۹۸

مقدار رنگ نمونه است (منظور تنها بررسی تغییرات رنگ نمونه نباشد)، بهینه‌سازی یک سامانه رنگ سنجی نرم‌افزاری پس از تعیین مناسب‌ترین شرایط عکس‌برداری (با استفاده از چارت رنگی) به صورت رگرسیون بین نتایج رنگ‌سنجی نرم‌افزاری و دستگاهی خود مواد غذایی انجام شود.

در جدول ۲ نتایج رنگ سنجی نمونه‌های مورد آزمایش را به صورت دستگاهی و نرم‌افزاری در حالتی که تنها عوامل موثر بر عکس برداری بهینه شده اند (تغییر عوامل موثر بر عکس برداری نمونه‌ها تا حصول نزدیک‌ترین نتایج به نتایج دستگاهی) و استفاده از رگرسیون نتایج رنگ‌سنجی نرم‌افزاری و دستگاهی چارت رنگی و نمونه‌ها جهت نزدیک‌سازی داده‌های نرم‌افزاری به دستگاهی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف رنگی داده‌های دستگاهی و نرم‌افزاری در حالتی که در آن تنها شرایط عکس برداری بهینه شده است، ۵۷/۶۴ است که مقدار بسیار زیادی است اما در حالت بهینه‌سازی سامانه رنگ سنجی با استفاده از روابط رگرسیون بدست آمده با استفاده از چارت رنگی، ۱۳/۱۵ می‌باشد که کمتر از حالت قبل است اما در صورتی که بهینه‌سازی بر اساس خود نمونه‌ها انجام شود به مقدار ۱/۴۹ می‌شود که کمتر از حد اقل مقدار قابل تشخیص با چشم است که بیانگر نزدیکی قابل قبول بین نتایج دستگاهی و نرم‌افزاری می‌باشد.

بنابراین با توجه به اینکه به منظور استفاده از رگرسیون جهت بهینه‌سازی سامانه رنگ سنجی نرم‌افزاری، شرایطی که نتایج رنگ-سنجی نرم‌افزاری آن بیشترین همبستگی را با نتایج دستگاهی داشته باشد مناسب‌تر است، می‌توان زمینه سفیدرنگ نمونه، نوردهی غیر مستقیم، و در این سامانه رنگ‌سنجی مورد بررسی، تنظیمات دوربین عکاسی زوم ۱/۴، نور ۴/۳ و وضعیت محیطی فلورسنت H و وضوح ۶ مگاپیکسل را بعنوان شرایط بهینه عکس‌برداری بیان کرد. بنابراین مشاهده می‌شود که همان شرایط بهینه‌شده عکس‌برداری که با استفاده از چارت رنگی تعیین شده است، برای نمونه‌های مواد غذایی نیز مناسب‌ترین شرایط عکس‌برداری هستند ولی در عین حال نتایجی که برای چارت رنگی و هم مواد غذایی بدست می‌آیند، تفاوت زیادی با نتایج دستگاهی دارند. بنابر این جهت رنگ سنجی نرم‌افزاری مواد غذایی نیز لازم است تا با توجه به اینکه ضریب همبستگی زیادی بین نتایج رنگ‌سنجی دستگاهی و نرم‌افزاری وجود دارد، از این رابطه جهت نزدیک‌سازی نتایج رنگ سنجی نرم‌افزاری دستگاهی مواد غذایی استفاده گردد.

باتوجه به تفاوت بسیار زیاد ویژگی‌های فیزیکی سطح مواد غذایی با سطح چارت رنگی مورد استفاده (و یا کارت‌های رنگی که در دیگر تحقیقات استفاده شده‌اند) نیاز است تا در صورتی که نیاز به نزدیک بودن داده‌های نرم‌افزاری به داده‌های دستگاهی و تعیین دقیق

جدول ۲- نتایج رنگ سنجی نمونه‌های غذایی به صورت دستگاهی و نرم‌افزاری بهینه‌یابی شده به شیوه‌های مختلف

نمونه	نتایج دستگاهی			نتایج نرم‌افزاری (تحت شرایط بهینه عکس برداری)			نتایج نرم‌افزاری (تصحیح با رگرسیون چارت رنگی)			نتایج نرم‌افزاری (تصحیح با رگرسیون نمونه‌ها)		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
موز	۶۸/۶	۵/۱	۶/۷	۶۶/۲	۵	۲۵	۶۹/۸۴	۹/۶۶	۷/۲۵	۶۸/۳	۴/۷	۶
نارنگی	۵۷/۳	۲	۱/۲	۳۷/۷	-۷/۳	۱۲/۸	۴۲/۶	۳/۵	۱/۹	۵۹/۴	۲/۵	۰/۵
گوجه	۵۹	۹	۰/۴	۳۳/۷	۷/۲۴	۱۰/۳	۳۸/۸	۱۰/۷	۰/۸۸	۵۷/۸	۸/۵	-۰/۳
سیب سبز	۶۷	۲/۷	۲/۷	۶۷/۴	-۵/۸	۲۰/۲	۷۰/۹	۴/۳	۵/۱	۶۸	۲/۹	۳/۲
سیب زرد	۷۱	۴/۳	۳/۵	۷۰/۶	۲/۷	۲۳/۲	۷۴	۸/۵	۶/۴	۶۹/۹	۴/۱	۳/۹
فلفل قرمز	۶۰/۴	۹	-۰/۴	۳۵/۷	۳۲/۲	۱۴/۷	۴۰/۷	۲۳/۱	۲/۷	۵۸/۹	۹/۶	۰/۵
دلمه سبز	۶۰	۳	۲	۴۴/۱	-۹/۸۶	۱۶	۴۸/۷	۲/۳	۳/۳	۶۱/۷	۲	۲/۲
فلفل سبز	۶۱	۱/۲	۱/۲	۳۷/۳	-۸/۱۸	۱۳	۴۲/۲	۳/۱	۲	۶۰/۴	۲/۲	۱/۴
	استاندارد			۵۷/۶۴			۱۳/۱۵			۱/۴۹		

رگرسیون بین L^* , a^* , b^* دستگاهی و نرم افزاری مواد غذایی مورد نظر انجام شود.

نتیجه گیری

رنگ‌سنجی مواد غذایی را می‌توان بصورت نرم افزاری و بگونه‌ای انجام داد، که نتایج حاصله نزدیکی بسیار زیادی با نتایج دستگاهی داشته‌باشد که مستلزم بهینه‌بودن سامانه رنگ‌سنجی نرم‌افزاری طراحی شده است. برای این امر استفاده از زمینه سفید رنگ و نور-دهی غیر مستقیم مناسب‌تر می‌باشد اما تنها با تعیین مناسب‌ترین شرایط عکس‌برداری نمی‌توان به این هدف رسید و لازم است تا بهینه‌سازی بر اساس خود مواد غذایی انجام شود. به منظور اینکه بتوان سامانه رنگ سنجی نرم افزاری را جهت رنگ سنجی انواع بیشتری از مواد غذایی بهینه‌سازی کرد، نیاز می‌باشد تا از روابط ۱-۴ جهت تبدیل RGB عکس گرفته شده از نمونه به L^* , a^* , b^* استفاده شود و بهینه‌سازی، بصورت رگرسیونی بین L^* , a^* , b^* دستگاهی و نرم افزاری مواد غذایی مورد نظر انجام شود.

همچنین مشاهده می‌شود که بهینه‌سازی سامانه رنگ سنجی نرم افزاری با این روش، این امکان را فراهم می‌سازد تا بر خلاف دیگر تحقیقات مشابه که به صورت رنگ سنجی نرم افزاری یک ماده غذایی انجام شده‌اند (سامانه رنگ سنجی بر اساس یک ماده غذایی کالیبره شده‌اند)، امکان رنگ سنجی دامنه وسیع تری از مواد غذایی فراهم گردد (Afshari-Jouybari & Farahnaky, 2011; Laurent1 et al, 2010; Quevedo, 2010).

رنگ‌سنجی مواد غذایی را می‌توان به صورت نرم افزاری و بگونه‌ای انجام داد، که نتایج حاصله نزدیکی بسیار زیادی با نتایج دستگاهی داشته‌باشد که مستلزم بهینه‌بودن سامانه رنگ‌سنجی نرم‌افزاری طراحی شده است. برای این امر استفاده از زمینه سفید رنگ و نور-دهی غیر مستقیم مناسب‌تر می‌باشد اما تنها با تعیین مناسب‌ترین شرایط عکس‌برداری نمی‌توان به این هدف رسید و لازم است تا بهینه‌یابی بر اساس خود مواد غذایی انجام شود. به منظور اینکه بتوان سامانه رنگ سنجی نرم افزاری را جهت رنگ سنجی انواع بیشتری از مواد غذایی بهینه‌یابی کرد، نیاز می‌باشد تا پس از تبدیل RGB عکس گرفته شده از نمونه به L^* , a^* , b^* ، بهینه‌یابی به صورت

منابع

- احتیاطی، ا.، محبی، م.، شهیدی، ف.، ۱۳۸۷، کاربرد پردازش تصویر در رنگ سنجی سطح نان غنی شده با آرد سویا. هجدهمین کنگره ملی صنایع غذایی. ۸ صفحه.
- پوردربانی، ر.، قاسم زاده، ج.ر.، گل زاده، ع.آ.، بهفر، ح.، ۱۳۸۸، امکان درجه بندی کیفی سیب با استفاده از پردازش تصویر. مجله پژوهش های صنایع غذایی ایران. جلد ۱۹. شماره ۱. صفحات ۷۵ تا ۸۵.
- فرحناکی، ع.، عسکری، ح.، مصباحی، غ.، ۱۳۸۸، تحلیل تغییرات رنگ رطب در طی خشک کردن کابینی با استفاده از روش عکس برداری دیجیتال. فصلنامه علوم و صنایع غذایی. دوره ۶ شماره ۲. صفحات ۴۳-۵۱.
- Afshari-Jouybari, H., Farahnaky, A., 2011, Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. *Journal of Food Engineering*, 106, 170-175.
- Hunter Lab., 2001, The basic of color perception and measurement. Hunter Associates Laboratory. (<http://www.hunterlab.com/pdf/color>) (PDF).
- Hunter Lab., 2008, Equivalent White Light Sources and CIE Illuminants. Hunter Associates Laboratory . Applications Note Vol. 17, No. 5.
- White, T. P., 1995, Continuous diffuse illumination method and apparatus. U.S. pat. No.5,461,417.
- Mendoza, F., Dejmek, P., 2006, Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 285-295.
- Kang, S. P., Sabarez, H. T., 2009, Simple colour image Segmentation of bicolour food products for quality measurement," *Journal of food Engineering*, 94, 21-25.
- Briones, V., Aguilera, J. M., 2005, Image analysis of changes insurface color of chocolate. *Food Research International*, 38(1), 87-94.
- Kang, S. P., East, A. R., 2008, Color vision system evaluation of bicolor fruit: A case study with [B74"]mango. *Postharvest Biology and Technology*, 49(1), 77-85.
- Laurent1, B., Ousman, B., Dzudie1, T., Carl, M. F., Emmanuel, T., 2010, Digital camera images processing of hard-to-cook beans. *Journal of Engineering and Technology Research*, 2(9), 177-188.
- León, K., Merry, D., 2006, Color measurement in $L^*a^*b^*$ units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10), 1084-1091.
- Quevedo, R. A., Aguilera, J. M., Pedreschi, F., 2010, Color of Salmon Fillets By Computer Vision and Sensory

Panel. *Food Bioprocess Technology*, 3,637–643.

Yam, K. L., Papadakis, S. E., 2004, A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 137-142.

Year Long Industrial Co., Ltd. Properties and Application of Acrylic Sheet. Oct 2010 [on-line]. (http://www.yearlong.com.tw/ENGLISH/Manufacture_Process.html).

Gaurav Sharma., 2003, *Digital Color Imaging Handbook*" (1.7.2 ed.). CRC Press. P:243.

Hunt, R. W., 1998, *Measuring colour* (3rd ed.). Fountain Press, England. P: 39-46.