

## اندازه‌گیری پارامترهای رنگ در اسپاگتی با استفاده از سیستم بینایی ماشین

الهام نعمتی نیا<sup>۱</sup>، سامان آبدانان مهدی‌زاده<sup>۲\*</sup>، بهزاد ناصحی<sup>۳</sup>

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

۲- استادیار دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۱۴)

### چکیده

هدف از این پژوهش طراحی، ساخت یک سامانه بینایی ماشین، به منظور اندازه‌گیری برخط پارامترهای رنگ ( $L^*a^*b^*$ ) نمونه‌های اسپاگتی می‌باشد. برای این منظور یک سامانه بینایی ماشین با رابط کاربر گرافیکی در نرم افزار MatLab طراحی و اجرا شد. با توجه به آنالیز آماری صورت گرفته میان داده‌های بدست آمده از سامانه بینایی ماشین با دو دستگاه رنگ‌سنج مینولتا و هانتربل مشخص گردید که میان پارامترهای رنگی بدست آمده از این سامانه و هانتربل اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ( $p > 0.01$ ) در حالی که میان سامانه بینایی ماشین و مینولتا اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید ( $p < 0.01$ ). از طرف دیگر خطای پایین محاسبه شده میان رنگ‌سنج هانتربل و سامانه بینایی ماشین ( $e_L^* = 1/6\%$ ،  $e_a^* = 4/92\%$ ،  $e_b^* = 2/48\%$ ) نشان از یکسانی محاسبات میان این دو سامانه اندازه‌گیری (بینایی ماشین و رنگ‌سنج هانتربل) داشت. همچنین ضریب همبستگی نزدیک به یک ( $R^2 = 0.92$ ) میان رنگ‌سنج هانتربل و سامانه بینایی ماشین حاکی از قابلیت اطمینان سامانه بینایی ماشین در محاسبه پارامترهای رنگی ( $L^*a^*b^*$ ) کاربرد موثر این سامانه در اتوماتیک‌سازی فرآیندهای تولید محصولات غذایی و کنترل کیفیت در صنعت غذا است. بعلاوه سامانه ماشین بینایی توانایی تشخیص تغییرات رنگ در خلال انبارمانی را دارد.

کلید واژگان: اسپاگتی، پردازش تصویر، فضای رنگی  $L^*a^*b^*$ ، بینایی ماشین.

\* مسئول مکاتبات: saman.abdanan@gmail.com

## ۱- مقدمه

اسپاگتی یکی از فرآورده‌های مهم و پر مصرف غلات می‌باشد. اسپاگتی، از محصولات با ارزش غذایی بالا هستند که به دلیل ماهیت کربوهیدراتی، در پایه هرم راهنمای غذایی قرار می‌گیرند [۱]. این محصول به دلیل دارا بودن قیمت مناسب، قابلیت نگهداری و انبارداری و سهولت در امر تولید، در برنامه غذایی اکثر کشورهای در حال توسعه جایگاه ویژه‌ای دارد و در چند سال اخیر به دلیل افزایش قیمت برنج در ایران، مصرف آن رو به افزایش است [۲]. در نتیجه تولید محصول با کیفیت بالا و بررسی کیفیت محصول نهایی بسیار مهم می‌باشد.

در این میان، ارزیابی و تعیین ویژگی‌های حسی برای صنایع تولیدی محصولات غذایی از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد [۳]. ویژگی‌های حسی مواد غذایی را می‌توان با استفاده از ظاهر آنها برآورد کرد. در میان ویژگی‌های ظاهری رنگ یکی از پارامترهای اساسی در تشخیص کیفیت مواد غذایی به حساب می‌رود. این شاخص اولین ویژگی مورد بررسی توسط مصرف‌کنندگان محصولات غذایی در پذیرش یا رد محصول حتی قبل از مصرف خوراکی آن محسوب می‌گردد [۴].

اکثر دستگاه‌های اندازه‌گیری رنگ در محصولات غذایی، از قبیل هانترلب، رنگ محصول را در فضای  $L^*a^*b^*$  که یک فضای رنگی استاندارد بین‌المللی برای اندازه‌گیری رنگ محسوب می‌شود ارزیابی می‌کنند. این ابزار تنها میانگین مقدار رنگ را تعیین می‌کنند و برای اندازه‌گیری توزیع رنگ نقطه به نقطه در هر موقعیت مکانی از محصول غذایی، طراحی نشده‌اند [۵]. این بدین معنی است که اگر نمونه ماده غذایی ناهمگن و دارای شکل‌های غیر یکنواخت باشد مقدار رنگ گزارش شده نماینده مناسبی از نمونه نخواهد بود [۶، ۷]. از طرف دیگر اکثر مواد غذایی ناهمگن بوده که این مساله سبب کاهش تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها می‌شود. لذا پژوهش‌گران به منظور مرتفع نمودن عیوب ذکر شده به دنبال روش‌های جایگزین می‌باشند.

در حال حاضر، ابزار جدیدی برای اندازه‌گیری تغییرات در ویژگی‌های رنگی مواد غذایی استفاده می‌شود. یکی از این ابزار روش بینایی ماشین است. از این روش به طور گسترده برای تهیه یک شکل ارزان‌تر، سریع‌تر و همه‌کاره برای اندازه‌گیری رنگ و

دیگر ویژگی‌های حسی بسیاری از مواد غذایی استفاده شده است [۴، ۸، ۹]. در روش بینایی ماشین با استفاده از ترکیب یک دوربین دیجیتال و نرم‌افزار پردازش تصویر می‌توان جایگزینی مناسب برای دستگاه‌های سنجش رنگ قدیمی طراحی نمود. در این روش با توجه به انجام فرآیند کالیبراسیون بر اساس رنگ‌های مطلق رایج، ارتباط بهتری میان ارزیابی حسی و کیفیت محصول با رنگ‌های موجود در مواد غذایی ایجاد می‌گردد [۸]. سیستم بینایی ماشین قابلیت طبقه‌بندی بر اساس رنگ، مقاردهی و تقسیم بندی عناصر مورد نظر در تصاویر را دارد. به علاوه استفاده از سیستم بینایی ماشین به عنوان ابزاری برای برآورد تغییرات ویژگی‌های رنگ در مواد غذایی و جایگزین کردن آن با پاسخ‌های ارزیابی حسی در تصاویر اخذ شده با دوربین فیلمبرداری بسیار سودمند باشد [۱۰]. انجام این کار باعث کاهش هزینه، زمان و خارج ساختن اندازه‌گیری‌های رنگ از متکی بودن به فرد<sup>۱</sup>، ایجاد برآورد قابل اطمینان‌تر و عملی‌تر می‌شود [۱۱]. شایبو و همکاران (۲۰۰۷) هر دو فضای رنگ  $RGB^2$  و  $HSI^3$  را برای طبقه‌بندی سیب‌های فوجی استفاده کردند [۱۲]. در پژوهشی دیگر عبدالله و همکاران (۲۰۰۶) مختصات  $RGB$  را به  $HSI$  تبدیل کردند و مؤلفه  $H^*$  را به عنوان بهترین مؤلفه رنگی برای طبقه‌بندی میوه استارفروت گزارش کردند [۱۳]. پژوهشگران زیادی به بررسی رنگ اسپاگتی و عوامل مؤثر بر آن پرداخته‌اند. 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 [۱۴]. رنگ بسیاری از غذاها با کاربرد تکنیک دید کامپیوتری اندازه‌گیری شده است. ناصحی (۱۳۹۲) از چهار روش پردازش تصویر، ارزیابی حسی، هانترلب و مینولتا برای سنجش رنگ اسپاگتی به عنوان یک شاخص کیفی استفاده نمود و نتایج ایشان نشان داد که مدل‌های برازش شده برای روشهای حسی و پردازش تصویر از صحت بالایی برخوردار می‌باشد [۱۵]. پوردربانی و همکاران (۱۳۸۸) از پردازش تصویر برای درجه‌بندی کیفی سیب استفاده کرده که اساس درجه بندی صدمات سطحی بود. دقت کلی درجه‌بندی ۹۵/۲۳ درصد حاصل شد [۱۶]. برایانس و همکاران (۲۰۰۶) برای پیگیری تغییرات رنگی سطح

1. subjectivity of color measurements  
2. Red, Green, Blue  
3. Hue, Saturation, Intensity

نهایی خمیر و وزن آن مقدار مناسب از آرد و آب مقطر با هم مخلوط می‌شدند [۱۸].

بدین منظور مقادیر توزین شده آرد نول و آب مقطر (با دمای ۴۰ درجه سلسیوس) در خمیرگیر دستگاه ماکارونی‌ساز آزمایشگاهی (مرکز پژوهشی فناوری های نوین دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران) با سرعت ۷۰ دور بر دقیقه و طی ۱۰ دقیقه مخلوط شدند. پس از اتمام عمل اختلاط، در سیستم خلاء به مقدار ۰/۷ تا ۰/۸ اتمسفر ایجاد می‌شد تا حباب‌های هوای موجود در خمیر خارج شوند، سپس خمیر با عبور از بخش اکسترودر دستگاه و ایجاد تغییرات لازم وارد قالب می‌شد تا به صورت رشته‌ای تبدیل شود [۱۹]. مرحله بعدی خشک کردن این رشته‌ها در دمای حدود ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ ساعت بود؛ به طوری که رطوبت نسبی هوای خشک‌کن به تدریج از ۹۵ به ۶۵ درصد تغییر می‌کرد تا رطوبت خمیر از حدود ۳۵٪ به ۱۲٪ کاهش یابد. پس از سرد شدن اسپاگتی‌ها در کیسه‌های پلی پروپیلینی بسته‌بندی شدند. ارزیابی نمونه‌ها پس از گذشت حداقل ۱۰ روز از تولید آنها و تثبیت بافت و رطوبت، شروع شد.

## ۲-۲- تعیین ویژگی‌های رنگی در اسپاگتی

در این پژوهش به منظور تعیین ویژگی‌های رنگی نمونه‌ها از دستگاه‌های رنگ‌سنج هانتربل (مدل لاویباند سیستم - ۵۰۰، کشور انگلستان)، کونیکا مینولتا (مدل CR-400، ژاپن) و روش بینایی ماشین استفاده گردید. بر این اساس هنگام استفاده از دستگاه‌های رنگ‌سنج پس از آسیاب کردن، نمونه‌ها داخل ظرف دستگاه ریخته شد و اندیس  $L^*$  بیانگر روشنی نمونه، اندیس  $b^*$  گرایش به زردی و اندیس  $a^*$  گرایش به قرمزی نمونه‌ها تعیین شد [۲۰]. در روش بینایی ماشین، برای تعیین رنگ، تکه‌ای از اسپاگتی خشک به طول حدود ۵ میلی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر، زیر میکروسکوپ دستی دیجیتال (Dino-Lite AM-313, Nazca Inc, California, USA) قرار گرفت و با بزرگ‌نمایی ۶۰ از آن عکس گرفته شد؛ سپس تصاویر به محیط نرم‌افزار Matlab 2013b (The Mathworks Inc, Version 8) منتقل گردیدند. نحوه تعیین ویژگی‌های رنگی بوسیله سامانه بینایی ماشین متعاقباً توضیح داده خواهد شد.

شکلات شیری در طول نگهداری استفاده کردند. شکلات شیری در شرایطی تشدید شده برای مهاجرت چربی به سطح شکلات و در بازه‌های زمانی مورد ارزیابی قرار گرفت. این محققان تصاویر RGB گرفته شده را در ابتدا به مدل CIE XYZ و سپس به مدل CIE  $L^*a^*b^*$  با استفاده از نرم افزار MATLAB تبدیل کردند [۱۷]. آنها همچنین همبستگی بین مقادیر رنگی حاصل از پردازش تصویر را با مقادیر اندازه‌گیری شده با دستگاه هانتربل<sup>۴</sup> بررسی کردند. همچنین پدرسچی (۲۰۰۶) برای اندازه‌گیری رنگ چپیس سیب‌زمینی از پردازش تصویر در مدل  $L^*a^*b^*$  استفاده نمود [۴]. در مقایسه فضاهای رنگی مختلف از جمله RGB،  $HSV^5$  و  $L^*a^*b^*$  از نظر تدریجی بودن رنگ بر روی سطوح منحنی، ثابت شده است که  $L^*a^*b^*$  از همه مناسب تر است [۱۰].

اما مطالعات اندکی به بررسی تغییرات رنگ اسپاگتی بلافاصله بعد از تولید با کمک روش پردازش تصاویر کامپیوتری پرداخته‌اند. که این مساله به احتمال زیاد ناشی از پیچیدگی استفاده و توسعه الگوریتم‌های پردازش تصاویر می‌باشد. اما پیشرفت‌های تکنولوژی امکانات جدیدی را برای ایجاد الگوریتم‌های پیچیده‌تر و قوی‌تر و همچنین اجرای آن‌ها در خطوط بازرسی به صورت برخط<sup>۶</sup> را فراهم می‌سازند. بنابراین توسعه الگوریتم‌ها و روش‌های پیشرفته و خودکار به منظور پیاده‌سازی برخط سیستم‌های کامپیوتری بسیار مهم می‌باشد، زیرا این مساله امکان تسریع و بهینه‌سازی فرآیندهای صنعتی و به ویژه تولید محصول با کیفیت بالا را فراهم می‌نماید. در این راستا، هدف از این پژوهش، طراحی و اجرای یک سامانه بینایی ماشین، برای استفاده به صورت برخط به منظور اندازه‌گیری رنگ اسپاگتی می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تهیه و آماده سازی نمونه‌ها

آرد نول از شرکت آرد رضوی (مشهد) و لوازم بسته‌بندی شامل کیسه‌های پلی پروپیلینی از بازار خریداری شدند. برای تهیه نمونه‌ها ابتدا رطوبت آرد نول تعیین و سپس با توجه به رطوبت

4. Hunterlab  
5. Hue, Saturation, Value  
6. Online

۲-۲-۱- طراحی سامانه ماشین بینایی

استخراج ویژگی‌های رنگ از تصویر توسط یک رابط کاربر گرافیکی (GUI) که در MatLab ایجاد شده بود، صورت

پذیرفت. شکل ۱ روند برآورد پارامترهای رنگی  $L^*a^*b^*$  توسط سامانه بینایی ماشین را نشان می‌دهد.

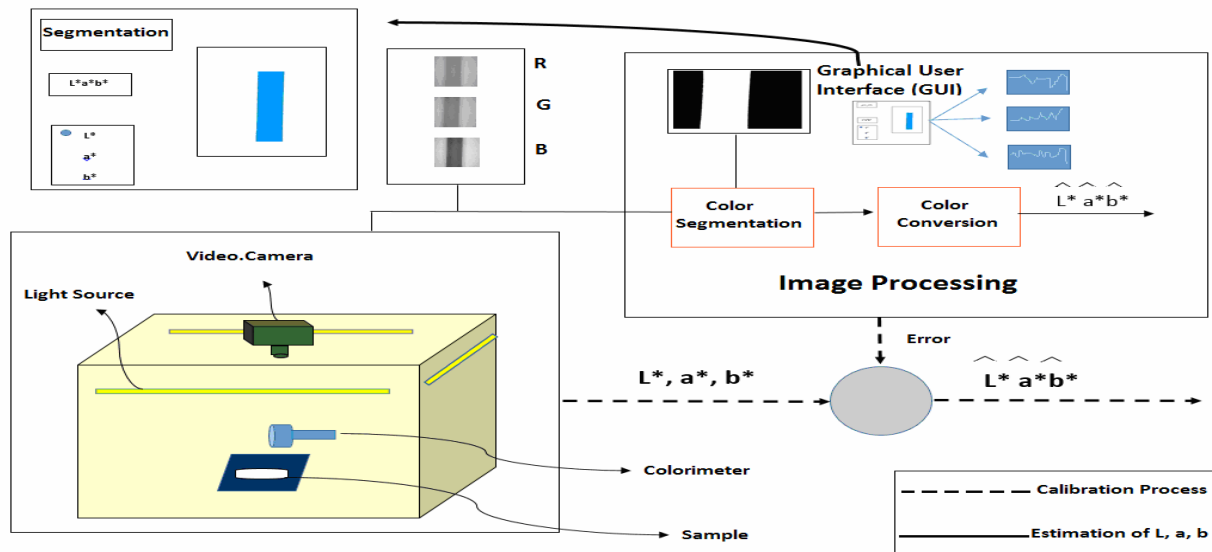


Fig 1 Scheme diagram for converting RGB images to  $L^* a^* b^*$  units using Machine vision ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  are estimated values)

پیش‌زمینه با یافتن بهترین آستانه و تقسیم هیستوگرام تصویر به دو بخش صورت می‌پذیرد. [۲۱]. آستانه‌گذاری اتسو به دلیل سادگی الگوریتم در محاسبات و بی نیاز بودنش به پارامتر یا نظارت، در این مقاله مورد استفاده قرار گرفت. بعد از بخش‌بندی تصویر، بوسیله آستانه‌گذاری با روش اتسو تصویر اسپاگتی از پس‌زمینه جدا می‌شود (شکل ۲). در نهایت پارامترهای  $L^*a^*b^*$  از RGB به صورتی که شرح آن خواهد آمد استخراج می‌شوند.

بدین منظور نمونه اسپاگتی در سامانه بینایی ماشین قرار می‌گرفتند. سپس با اجرای GUI مرحله نخست که اخذ تصویر می‌باشد آغاز می‌گردد. از آنجا که سطح آستانه‌گذاری برای هر تصویری ممکن است متفاوت باشد با استفاده از آستانه‌گذاری اتسو با توجه به هیستوگرام تصویر مقدار بهینه جهت آستانه‌گذاری تعیین گردید. نحوه عملکرد این روش آستانه‌گذاری بدین صورت است که تصویر به دو بخش اصلی پس‌زمینه و



(a)



(b)

Fig 2 Color image Spaghetti (a) And Binary image Spaghetti (b)

XYZ به فضای رنگی آزمایشگاهی CIE می‌باشد (روابط (۱۳)- (۸)).

به منظور استخراج پارامترهای  $L^*a^*b^*$  مرحله اول شامل تبدیل RGB به XYZ [۲۲]، (روابط (۷)-(۱)) و مرحله دوم تبدیل

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{var } X = (x)^{1/3} & \text{if } x > 0.008856 \\ \text{var } X = (7.787x) + (16/116) & \text{if } x \leq 0.008856 \end{array} \right\};$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{var } Y = (y)^{1/3} & \text{if } y > 0.008856 \\ \text{var } Y = (7.787y) + (16/116) & \text{if } y \leq 0.008856 \end{array} \right\};$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{var } Z = (z)^{1/3} & \text{if } z > 0.008856 \\ \text{var } Z = (7.787z) + (16/116) & \text{if } z \leq 0.008856 \end{array} \right\};$$

پس از آن پارامترهای  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  از طریق روابط (۱۳-۱۱) محاسبه شدند.

$$L^* = (116 \times \text{var } Y) - 16$$

$$a^* = 500 \times (\text{var } X - \text{var } Y)$$

$$b^* = 200 \times (\text{var } Y - \text{var } Z)$$

میانگین خطای نرمال در برآورد هر یک از متغیرهای  $L^*a^*b^*$  به وسیله مقایسه اندازه‌گیری‌های رنگ‌سنج با برآوردهای مدل  $(\hat{L}_i, \hat{a}_i, \hat{b}_i)$  با استفاده از روابط ۱۴، ۱۵ و ۱۶ محاسبه و به منظور ارزیابی عملکرد این مدل، خطای کلی ( $\bar{e}$ ) با استفاده از معادله (۱۷) بدست آمد.

$$e_L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|L_i^* - \hat{L}_i^*|}{\Delta L}$$

$$e_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|a_i^* - \hat{a}_i^*|}{\Delta a}$$

$$e_b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|b_i^* - \hat{b}_i^*|}{\Delta b}$$

$$\bar{e} = \frac{e_L^* + e_a^* + e_b^*}{3}$$

که  $L_i^*$ ،  $a_i^*$  و  $b_i^*$  به ترتیب مقدار  $L$ ،  $a$  و  $b$  بدست آمده بوسیله دستگاه رنگ سنج برای نمونه  $i$ ام؛  $\hat{L}_i$ ،  $\hat{a}_i$  و  $\hat{b}_i$  به ترتیب مقدار متوسط  $L$ ،  $a$  و  $b$  بدست آمده بوسیله سامانه بینایی ماشین برای نمونه  $i$ ام؛  $e_L$  میانگین خطای نرمال در برآورد مقدار  $L$ ؛  $e_a$  میانگین خطای نرمال در برآورد مقدار  $a$ ؛  $e_b$  میانگین خطای نرمال در برآورد مقدار  $b$ ؛  $\bar{e}$  خطای کلی محاسبات می-باشند.

در نهایت به منظور انجام آنالیز آماری از نرم افزار SPSS 15.0 استفاده گردید.

$$\left\{ \begin{array}{ll} r = \left( \frac{R + 0.055}{1.055} \right)^{2.4} & \text{if } \frac{R}{255} > 0.04045 \\ r = \frac{R}{12.92} & \text{if } \frac{R}{255} \leq 0.04045 \end{array} \right\};$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} g = \left( \frac{G + 0.055}{1.055} \right)^{2.4} & \text{if } \frac{G}{255} > 0.04045 \\ g = \frac{G}{12.92} & \text{if } \frac{G}{255} \leq 0.04045 \end{array} \right\};$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} b = \left( \frac{B + 0.055}{1.055} \right)^{2.4} & \text{if } \frac{B}{255} > 0.04045 \\ b = \frac{B}{12.92} & \text{if } \frac{B}{255} \leq 0.04045 \end{array} \right\};$$

پس از آن، مقادیر  $rgb$  با ضرب کردن در ماتریس  $M$  به  $XYZ$ ،  $D65-2^\circ$  illuminant-observer تبدیل می‌شوند (رابطه (۴)).  $D65-2^\circ$  illuminant-observer مناسب‌ترین استاندارد نوری توصیه شده توسط CIE می‌باشد [۹].

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = 100 * [M] \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix}$$

که ماتریس  $M$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$X = 100 \times r \times 0.4124 + 100 \times g \times 0.3572 + 100 \times b \times 0.18050$$

$$Y = 100 \times r \times 0.2126 + 100 \times g \times 0.7152 + 100 \times b \times 0.0722$$

$$Z = 100 \times r \times 0.0193 + 100 \times g \times 0.1192 + 100 \times b \times 0.9505$$

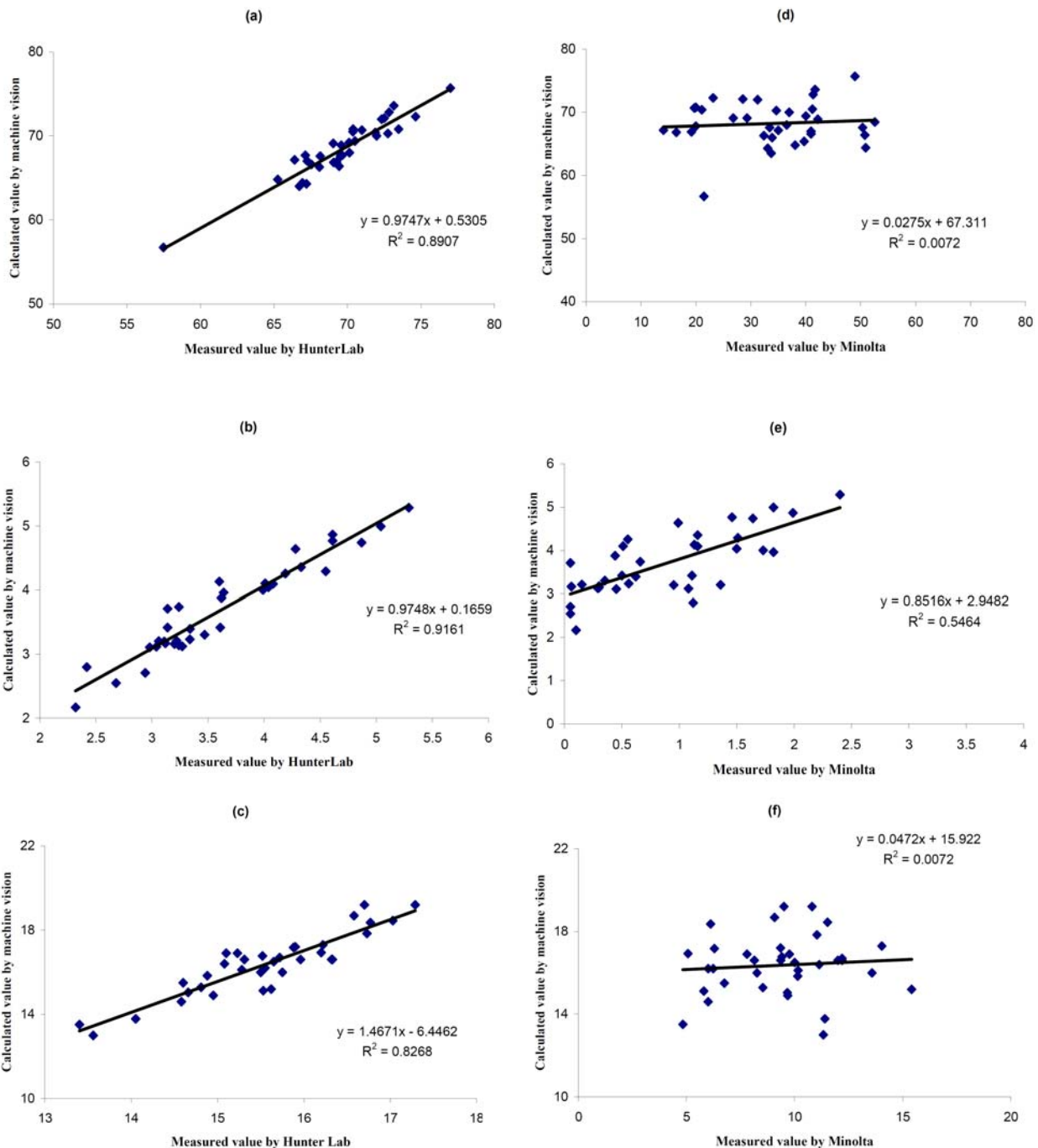
با استفاده از ماتریس  $M$ ، مقادیر  $X$ ،  $Y$  و  $Z$  بدست می‌آید (روابط (۷)-(۵)).

نهایتاً مقادیر  $x$ ،  $y$  و  $z$  محاسبه شدند  $(x = X / Xn; y = Y / Yn; z = Z / Zn)$  که در آن  $Xn = 95.047$ ،  $Yn = 100$  و  $Zn = 108.883$ ، مقادیر فضای رنگی سه بعدی هستند. این مقادیر مدل مختصات وزنی استاندارد توصیه شده توسط CIE و  $D65-2^\circ$  illuminant می‌باشند. سپس  $\text{var } X$ ،  $\text{var } Y$  و  $\text{var } Z$  با استفاده از روابط (۱۰)-(۸) محاسبه می‌شوند [۲۳].

### ۳- نتایج و بحث

هانتربل، کونیکا مینولتا نسبت به مقادیر بدست آمده در روش بینایی ماشین در شکل ۳، نشان داده شده است.

نمودار تغییرات روشی رنگ بوسیله دستگاه‌های رنگ‌سنج



**Fig 3** Plot of L value measured by Hunter lab system (a) and Minolta (d); a value measured by Hunter lab system (b) and Minolta (e); b value measured by Hunter lab system (c) and Minolta (f) versus machine vision calculated values.

اختلاف معنی‌داری میان این دو مقدار در سطح احتمال ۱٪ وجود ندارد. این در حالی است که میان مقادیر محاسبه شده توسط

با توجه به پارامترهای رنگ ( $L^*$ ,  $a^*$  و  $b^*$ ) بدست آمده توسط رنگ‌سنج هانتربل و سامانه بینایی ماشین، مشخص گردید که

پذیرفت. رنگ بدست آمده در روش بینایی ماشین بسیار نزدیک به متوسط رنگ واقعی فیله ماهی آزاد اقیانوس اطلس تعیین شده توسط ناظر بود. در حالی که اندازه‌گیری صورت پذیرفته با استفاده از رنگ‌سنج متمایل به رنگ ارغوانی برای هر ۳ پارامتر رنگی  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  مشاهده گردید [۲۴]. از طرف دیگر خطای پایین محاسبه شده میان رنگ‌سنج هانترلب و سامانه بینایی ماشین کاملاً مشهود می‌باشد ( $e_L = 1/6$ ،  $e_a = 4/92$ ،  $e_b = 2/48$ ،  $e_p = 0/92$ ). خطاهای کمتر از ۱۰٪ نشان از توسعه مدل تجربی قابل قبول می‌باشد [۲۵]. همچنین ضریب تعیین نزدیک به یک (۰/۹۲)  $R^2 =$  درجه بالایی از همبستگی را مشخص می‌نماید.

سامانه بینایی ماشین و رنگ‌سنج مینولتا تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۱ و ۲). این مساله نشان از تبدیل قابل اطمینان مقادیر RGB به  $L^*a^*b^*$  توسط سامانه بینایی ماشین و نزدیکی آنها به مقادیر اندازه‌گیری شده توسط رنگ‌سنج هانترلب می‌باشد. در پژوهشی روش رنگ‌سنجی با دستگاه مینولتا و بینایی ماشین در اندازه‌گیری رنگ ماهی آزاد تابش دیده با امواج UV با دوزهای مختلف را با یکدیگر مقایسه کردند. اعداد بدست آمده در روش بینایی ماشین برای  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  در مقایسه با رنگ-سنج مینولتا به صورت معنی‌داری بالاتر بودند (این مساله همراستا با پژوهش حاضر می‌باشد). سپس به منظور تعیین رنگ‌های واقعی، ارزیابی بصری بر روی نمونه‌ها توسط ناظر صورت

**Table 1** Variance Analysis of colour parameters measured with machine vision, Minolta and Hunterlab

Source of variation	DF	MS		
		L* value	a* value	b* value
Measurement device	2	14920.4**	92.87**	475.92**
Error	105			

\*\* Significant at 1% probability level.

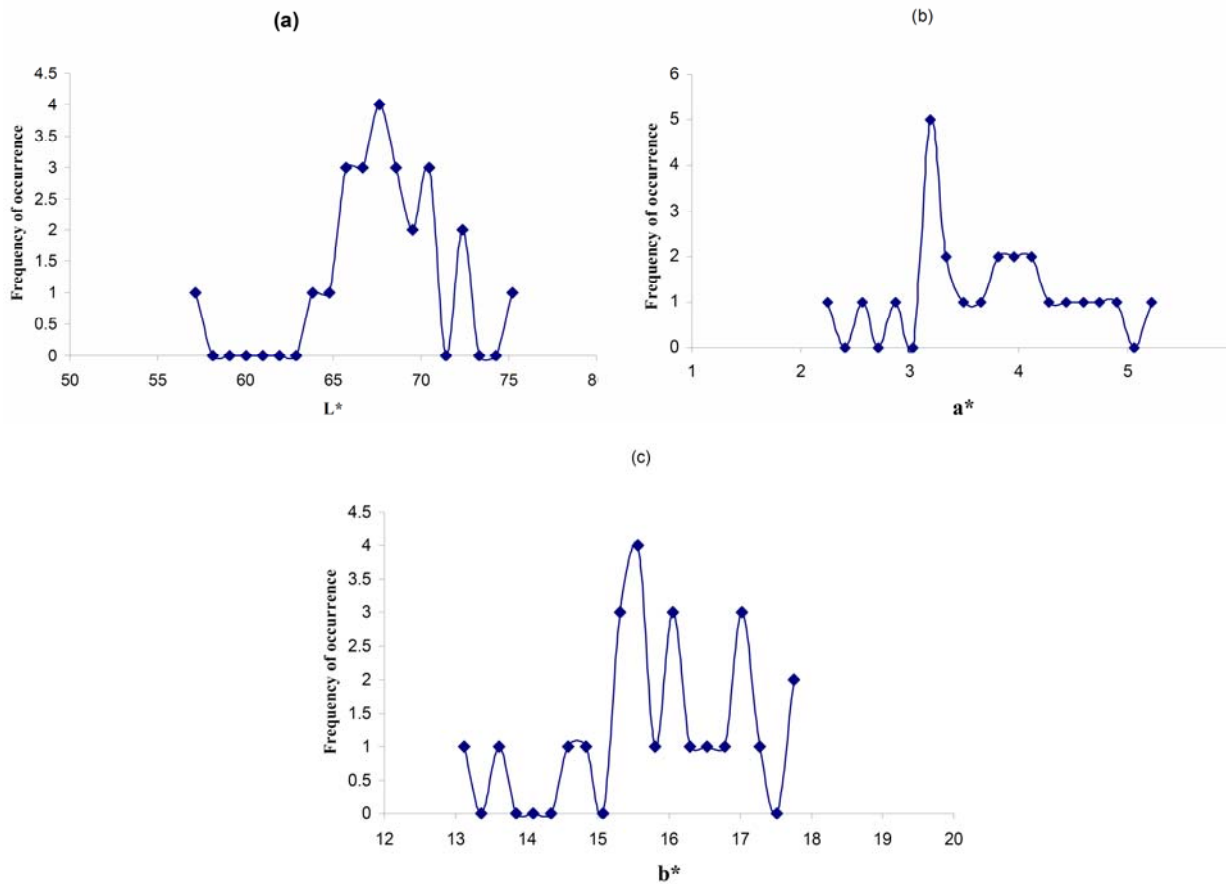
**Table 2** Duncan Analysis of colour parameters measured with machine vision, Minolta and Hunterlab

Variable	Measurement Method	Mean ± Standard Error	p-Value	Coefficient of Determination
<b>L*</b>	Hanterlab	69.66 ± 3.28	0.19 <sup>ns</sup>	0.924
	Machine Vision	68.63 ± 3.38		
<b>a*</b>	Minolta	33.89 ± 10.57	4.6×10 <sup>-29</sup> **	0.007
	Machine Vision	68.63 ± 3.38		
	Hanterlab	3.63 ± 0.73		
<b>b*</b>	Machine Vision	3.71 ± 0.74	0.65 <sup>ns</sup>	0.916
	Minolta	0.88 ± 0.64		
	Machine Vision	3.63 ± 0.73		
<b>b*</b>	Hanterlab	15.55 ± 0.9	0.22 <sup>ns</sup>	0.917
	Machine Vision	15.84 ± 1.1		
	Minolta	9.40 ± 2.6		
	Machine Vision	15.84 ± 1.1	2.3×10 <sup>-21</sup> **	0.007

\*\* and ns significant and non-significant at 1%, respectively.

فرآوانی برای پارامترهای روشنایی ( $L^*$ )، قرمزی ( $a^*$ ) و زردی ( $b^*$ ) در محصول به ترتیب در بازه ۶۵-۷۰، ۴-۳ و ۱۶/۵-۱۴ اتفاق می‌افتد. مقادیر مختلف درخشندگی ( $L^*$ ) نشان می‌دهد که بازتاب نور در یک نمونه اسپاگتی ناهمگن بود. همچنین فرآوانی بیشتر مقادیر بزرگتر ( $b^*$ ) نشان از بالا بودن زردی در اسپاگتی می‌باشد.

رنگ یک ویژگی مهم مربوط به ترکیب شیمیایی و میزان تغییر رنگ مواد غذایی در طول زمان است. ترسیم نمودار فرآوانی امکان بررسی تغییرات مقادیر روشنایی ( $L^*$ )، قرمزی ( $a^*$ ) و زردی ( $b^*$ ) در محصول را فراهم می‌نماید. از این رو استخراج نمودار فرآوانی به ویژگی‌های سامانه بینایی ماشین اضافه گردید (شکل ۳). همانطور که در شکل ۳ مشخص است بیشترین



**Fig 4** The Frequency distribution of the values of  $L^*$  (a);  $a^*$  (b);  $b^*$  (c);

مقادیر مثبت  $a^*$  بیانگر تمایل بیشتر به رنگ قرمز در نمونه‌های اسپاگتی است. پارامتر  $b^*$  نیز همانند مقدار  $L^*$  روندی افزایشی-کاهشی داشت. این تغییرات افزایش ناچیزی در طی ماه اول تا ماه چهارم از ۲۵/۹۱ به ۲۷/۴۹ داشت که نشان از گرایش نمونه‌ها به سمت زردی می‌باشد. حال آنکه از ماه چهارم به بعد پارامتر  $b^*$  کاهش شدیدی می‌نماید. این نتایج با داده‌های پژوهش‌های قبلی همخوانی دارد [۲۶ و ۲۷]. آنها نشان دادند که اسپاگتی غنی شده با آرد سویای بدون چربی و سیب زمینی شیرین تغییرات متفاوتی داشته است، به طوری که شاخص روشنایی رنگ طی شش ماه نگهداری افزایش یافته و از قرمزی آن کاسته شده است. این تغییرات با اکسیداسیون کاروتینوئیدهای در نمونه‌ها که سبب افزایش روشنایی و کاهش قرمزی در آنها در ارتباط است.

به منظور بررسی توانایی سامانه بینایی ماشین اسپاگتی‌ها در تشخیص تغییرات رنگ در خلال انبارمانی، نمونه‌ها در دمای محیط و رطوبت نسبی ۱۵٪ به مدت ۲۱۰ روز نگهداری و تغییرات رنگ ( $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$ ) در شکل ۴ ترسیم گردید. همانطور که در شکل ۴a مشخص است روند تغییرات  $L^*$  در خلال انبارمانی روندی افزایشی داشت. متوسط مقدار  $L^*$  از ۵۱/۳۲ (ماه اول) به ۵۸/۲۸ (ماه چهارم) افزایش یافته و سپس اگرچه در ماه هفتم به ۵۳/۰۳ کاهش می‌یابد اما از نمونه تازه آن روشن‌تر بود. این به این معنی است که افزایش کلی مقدار  $L^*$  نشان از روشن‌تر شدن نمونه با گذر زمان می‌باشد. پارامتر  $a^*$  در خلال انبارمانی روند کاهشی دارد. مقادیر این پارامتر در ماه اول از ۴/۹۵ به صورت خطی کاهش داشته و به ۱/۴۱ در ماه هفتم می‌رسد.



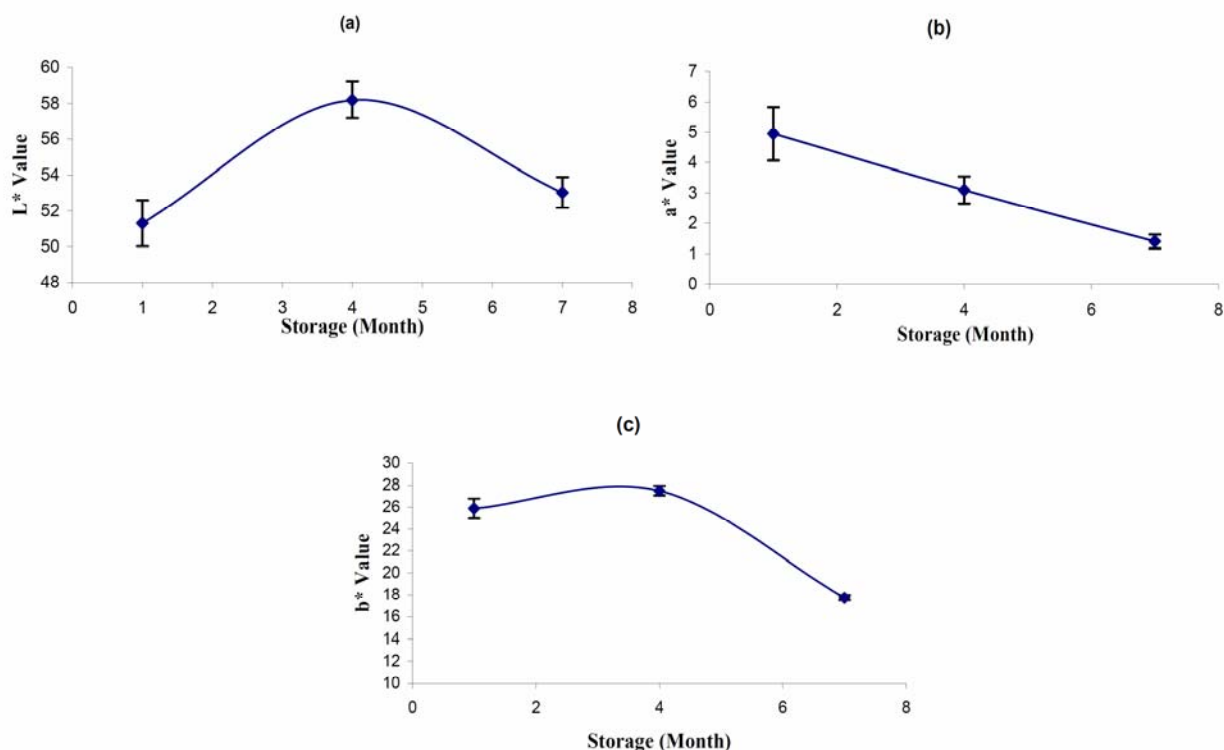


Fig 5 Variation of the values of L\* (a); a\* (b); b\* (c) during Storage

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق یک الگوریتم جدید با استفاده از سیستم بینایی ماشین به منظور تعیین رنگ نمونه‌های اسپاگتی توسعه داده شد. با اجرای الگوریتم در این سامانه می‌توان پارامترهای آزمایشگاه CIE را با خطاهای کم ( $e_{L^*} = 1.1\%$ ,  $e_{a^*} = 4.92\%$ ,  $e_{b^*} = 2.48\%$ ) نسبت به رنگ هانتربل برآورد نمود. بعلاوه با توجه به آنالیز آماری صورت گرفته میان داده‌های بدست آمده از سامانه بینایی ماشین با رنگ سنج هانتربل مشخص گردید که میان پارامترهای رنگی بدست آمده از این سامانه و هانتربل اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ( $p > 0.01$ ) همچنین ضریب همبستگی نزدیک به یک ( $R^2 = 0.92$ ) میان رنگ سنج هانتربل و سامانه بینایی ماشین حاکی از قابلیت اطمینان سامانه بینایی ماشین در محاسبه پارامترهای رنگی ( $L^*a^*b^*$ ) است. همچنین این سامانه توانایی تشخیص تغییرات رنگ در خلال انبارمانی را دارد. بنابراین این سیستم می‌تواند در هر زمان، کیفیت رنگ در مواد غذایی تعیین و نمونه‌های دارای حداقل کیفیت را از نمونه‌های با کیفیت جدا نماید.

#### ۵- تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان قدردانی می‌نمایند.

#### ۶- منابع

- [1] Homayouni, A., Amini, A., Khodavirdvand Keshtiban, A., Mohammadi, M. and Bahadori Monfared, E. 2015. Investigation of Adding Resistant Starch Type Two on the Physical, Rheological, Organoleptic and Cooking Characteristics of Fortified Probiotic Macaroni. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 10(2), 81-88.
- [2] Shahedi, M., Goli Khorasgani, P. and Hamidi Esfahani, Z. 1999. Effect of Gluten, Extruder temperature and drying temperature on adhesion and pasta dough. *Isfahan University of Technology*, 3(2), 65-74.
- [3] Du, C. J., and Sun, D. W. 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in food science and technology*, 15(5), 230-249.

- [16] Pourdarbani, R., Ghassemzadeh, H. R., Aghagolzadeh, A., and Behfar, H. 2009. Feasibility Study of Apple Quality Grading Using Image Processing. *Journal of food research*, 19(1), 72-85.
- [17] Briones, V., Aguilera, J. M., and Brown, C. 2006. Effect of surface topography on color and gloss of chocolate samples. *Journal of food engineering*, 77(4), 776-783.
- [18] American Association of Cereal Chemists. 1990. *Approved method of the American Association of Cereal Chemists*. St Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, Inc.
- [19] Nasehi, B., Mortazavi, S.A., Razavi, S.A., Nasiri Mahallati, M. and Karim, R. 2009. Optimization of the extrusion conditions and formulation of spaghetti enriched with full fat soy flour based on the cooking and color quality. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60, 205-214.
- [20] Abdanan Mehdizadeh, S. and Amraei, S. 2015. Computational estimation of  $L^*a^*b^*$  units from RGB using machine vision. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*.
- [21] Otsu, N. 1975. A threshold selection method from gray-level histograms. *Automatica*, 11, 285-296, 23-27.
- [22] Poynton, C. A. 1996. *A technical introduction to digital video*. John Wiley & Sons, Inc.
- [23] CIE. 1995. *Industrial colour-difference evaluation (Technical Report)*. Publication CIE No. 116. Vienna: Central Bureau of the Commission Internationale de L'Eclairage.
- [24] Yagiz, Y., Balaban, M. O., Kristinsson, H. G., Welt, B. A., and Marshall, M. R. (2009). Comparison of Minolta colorimeter and machine vision system in measuring colour of irradiated Atlantic salmon. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 728-730.
- [25] Gutierrez Pulido, H., and de la Vara Salazar, R. 2004. Analisis y dise no de exper- ~imentos, *Mexico DF: McGraw-Hill*.
- [26] Krokida, M., Oreopoulou, V., Maroulis, Z., and Marinos-Kouris, D. 2001. Colour changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*, 48(3), 219-225.
- [27] Pangolin, P., Collins, J. L., Penfield, M. P. 2000. Storage conditions affect quality of noodles with added soy flour and sweet potato. *International Journal of Food Science and Technology*. 35, 235-242.
- [4] Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., and Moyano, P. 2006. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International*, 39(10), 1092-1098.
- [5] Yam, K. L. and Papadakis, S. E. 2004. A digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61, 137-142.
- [6] Mancini, R. A., and Hunt, M. C. 2005. Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100-121.
- [7] Pathare, P. B., Opara, U. L., and Al-Said, F. A. J. 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36-60.
- [8] Mendoza, F., Dejmek, P., and Aguilera, J. M. 2006. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 285-295.
- [9] Blasco, J., Aleixos, N., and Molto, E. 2007. Computer vision detection of peel defects in citrus by means of a region oriented segmentation algorithm. *Journal of Food Engineering*, 81(3), 535-543.
- [10] Saldana, E., Siche, R., Castro, W., Huamán, R., and Quevedo, R. 2014. Measurement parameter of color on yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices using a computer vision system. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 1220-1226.
- [11] Brosnan, T., and Sun, D. W. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision - a review. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 3-16.
- [12] Xiaobo, Z., Jiewen, Z., and Yanxiao, L. 2007. Apple color grading based on organization feature parameters. *Pattern Recognition Letters*, 28(15), 2046-2053.
- [13] Abdullah, M. Z., Mohamad-Saleh, J., Fathinul-Syahir, A. S., and Mohd-Azemi, B. M. N. 2006. Discrimination and classification of fresh-cut starfruits (*Averrhoa carambola* L.) using automated machine vision system. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 506-523.
- [14] Yam, K. L., and 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.
- [15] Nasehi, B. 1392. Evaluation of different methods of color evaluation in Spaghetti. *Journal of Food Research*, 23(1), 47-57.

## Meaurment Spaghetti colors parameters using machine vision system

Nematinia, E.<sup>1</sup>, Abdanan Mehdizadeh, S.<sup>2\*</sup>, Nasehi, B.<sup>3</sup>

1,2. MSc student and Assistant professor of Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Ramin University of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan, Respectively.

3. Associate professor of Food science and technology Department, Ramin University of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan,.

(Received: 2016/05/28 Accepted: 2016/07/04)

The aim of this research was to design and implement of a machine vision system, in order to measure the color of spaghetti samples in real-time. For this purpose, a machine vision system with a graphical user interface (GUI) were developed and preformed in MatLab. Statistical analysis between machine vision system with Minolta and Hunterlab colorimeter showed that there was no significant difference between machine vision system and Minolta colorimeter ( $p>0.01$ ); However, significant difference between machine vision system and Hunterlab colorimeter was observed ( $p<0.01$ ). Furthurmore, low errors ( $e_{L^*} = 1.6\%$ ,  $e_{a^*} = 4.92\%$ , and  $e_{b^*} = 2.48\%$ ) indicated calculations consistency between two measurement systems (Machine Vision and Hunterlab). Moreover the correlation coefficient close to one ( $R^2=0.92$ ) between Hunterlab colorimeter and machine vision systems ensures suitable and efficient application of deveopted system in industrial process automation and quality control in the food industry. Besides, machine vision promisingly could discriminate color changes during storage.

**Keyword:** Pasta, Image processing, L\*a\*b\* color space, Machine vision.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: saman.abdanan@gmail.com