

تعیین زمان بهینه پخت سبزیجات با کمک پردازش تصاویر دیجیتالی و اندازه‌گیری مختصات رنگی

مریم ندافزاده^۱ و سامان آبدانان مهدی‌زاده^{۲*}

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

(تاریخ دریافت: 94/12/26، تاریخ پذیرش: 95/3/12)

چکیده

رنگ اولین ویژگی کیفیت مواد غذایی است که توسط مصرف‌کنندگان مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای اندازه‌گیری رنگ مواد غذایی به‌طور معمول از دستگاه‌های متداولی مانند رنگ‌سنج‌ها، طیف‌سنج‌ها و سنسورهای حسی استفاده می‌شود. حال آن‌که دستگاه اندازه‌گیری که متشکل از یک دوربین دیجیتال و نرم‌افزار تجزیه و تحلیل تصویر باشد، به‌عنوان جایگزینی مناسب برای دستگاه‌های متداول اندازه‌گیری رنگ، مورد توجه قرار گرفته‌اند. هدف از این پژوهش، توسعه سامانه‌ای جهت تعیین زمان بهینه پخت سبزیجات (مطالعه موردی: لوبیا، کدو و بروکلی) با کمک پردازش تصاویر دیجیتالی و اندازه‌گیری مختصات رنگی می‌باشد. در این مطالعه نشان داده شد که سامانه عکس‌برداری دیجیتال توسعه یافته قادر است تا تغییرات اندک رنگ سبزیجات را در طی فرایند حرارتی اندازه‌گیری کند و بر اساس آن حالت بهینه پخت محصولات را به گونه‌ای که کیفیت آن‌ها از نظر مصرف‌کننده خوشایند باشد، تعیین نماید. مطابق آنالیز آماری صورت‌گرفته مشخص گردید که میان پارامترهای رنگی سه نوع سبزی انتخاب‌شده در این پژوهش در فضای Lab در سطح احتمال 5٪ تفاوت معنی‌دار وجود دارد که نشان از توانایی سامانه پیشنهاد شده به‌منظور تشخیص زمان بهینه پخت در سبزیجات مختلف دارد.

واژه‌های کلیدی: زمان بهینه پخت، پردازش تصاویر دیجیتال، عملیات حرارتی، سبزیجات.

* نویسنده مسئول: s.abdanan@ramin.ac.ir

۱- مقدمه

رنگ مواد غذایی را می‌توان هم از طریق بینایی و هم با استفاده از ابزار تشخیصی مناسب، اندازه‌گیری کرد. اندازه‌گیری بصری رنگ‌ها وقت‌گیر، اغلب انجام آن پر زحمت و متکی به فرد می‌باشد [14]. یکی از رایج‌ترین سیستم‌ها برای توصیف مقدار و کمیت رنگ، مختصات CIELAB می‌باشد. این مختصات، رنگ را با استفاده از سه مقدار L^* ، a^* و b^* توصیف می‌کند [15-16]. مختصات L^* روشنایی نمونه را و همین‌طور موقعیت محور خاکستری را از سیاه به سفید بیان می‌نماید و مختصات a^* و b^* به ترتیب، توصیف‌گر رنگ از سبز به قرمز و از آبی به زرد هستند [17]. کروما (C^*) در نمونه‌ها از طریق مجذور مربعات مختصات a^* و b^* در قالب رابطه (1) بیان می‌گردد [15]. تفاوت رنگ کل نیز به صورت رابطه (2) محاسبه می‌شود که فاصله رنگ را در این فضای سه‌بعدی رنگ توصیف می‌کند [15]. اختلاف رنگ‌های کوچک مانند 1 واحد، به سختی توسط تجزیه و تحلیل‌های حسی قابل ملاحظه هستند [18-19].

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (2)$$

به‌طور سنتی، مختصات رنگی با استفاده از رنگ‌سنج‌ها یا طیف‌سنج‌ها تعیین می‌شوند [20]. در اکثر ابزارهای تجاری، سطح اندازه‌گیری شده می‌بایست همگن باشد و علاوه بر این، اندازه‌گیری اشکال پیچیده و یا نمونه‌های کوچک دشوار بوده و نیاز به آماده‌سازی آن‌ها وجود دارد [20-24]. آماده‌سازی نمونه‌ها در اکثر مواقع کاری زمان‌بر است؛ گذشت زمان سبب تغییر رنگ نمونه‌ها گردیده و در نتیجه رنگ ثبت‌شده را غیرقابل استفاده و اعتماد می‌نماید [20، 24]. حال آن‌که دستگاه اندازه‌گیری که متشکل از یک دوربین دیجیتال و نرم‌افزار تجزیه و تحلیل تصویر باشد به‌خوبی بررسی همه سطح نمونه را به صورت پیکسل به پیکسل ممکن می‌سازد [22، 25]. به علت سادگی و تنوع کاربرد، این نوع دستگاه‌های اندازه‌گیری، به‌عنوان جایگزینی مناسب برای دستگاه‌های متداول اندازه‌گیری رنگ، مورد توجه می‌باشند [24]. پژوهش‌های متعددی به‌منظور

مواد غذایی به‌طور معمول در وهله اول از طریق ادراک بصری مورد ارزیابی قرار می‌گیرند [1]. از میان ویژگی‌های بصری، رنگ‌ها مهم‌ترین عاملی هستند که حس امنیت، سلامت، لذت و مقبولیت غذا را تحت تأثیر قرار می‌دهند [2]. علاوه بر این، رنگ بر روی دیگر ویژگی‌های حسی مانند طعم و مزه غذا نیز تأثیر می‌گذارد [1]، به‌عنوان مثال سبزیجاتی که دارای کروما¹ بیش‌تری هستند و رنگ‌های روشن‌تری دارند، در مقایسه با سبزیجاتی که دارای رنگی کدر می‌باشند تازه‌تر بوده و دارای کیفیت رنگ بهتری می‌باشند [3-4]. رنگ‌های سبز موجود در میوه‌ها و سبزیجات ناشی از مولکول‌های کلروفیل می‌باشد. اساساً کلروفیل a و b در گیاهان عالی² به‌طور تقریب با نسبت 3:1 یافت می‌شوند [5]. بر اساس تحقیقات دیمن، مشخص گردید که اتم‌های منیزیم کلروفیل، به راحتی توسط اسیدهایی که به‌طور طبیعی در بافت‌های گیاهی ایجاد می‌شوند و به فتوفیتین‌ها³ رنگ سبز زیتونی می‌دهند، زوده می‌شوند. در بافت‌های گیاهی سالم، کلروفیل‌ها در غلاف لیپوپروتئین‌ها⁴ محدود هستند و از اسیدها محافظت می‌گردند، اما برای مثال حرارت سبب انعقاد این پروتئین‌ها شده و اثر محافظتی آن‌ها را پایین می‌آورد [6]. طی حرارت‌دهی طولانی مدت، فتوفیتین‌ها از طریق دی کربن متاهزالین⁵ بیش‌تر به فروفتوفیتین‌ها⁶ تجزیه می‌شوند [7-9]. بنابراین، اندازه‌گیری دقیق شدت و فام⁷ رنگ سبز و هم‌چنین کمیت رنگ سبز در یک وعده غذایی، شاخص مهمی از تازگی و کیفیت حسی⁸ و هم‌چنین سلامت کلی این رژیم غذایی محسوب می‌گردد [10]. پیش از این، پژوهش‌های متعددی در رابطه با بررسی تغییرات و حفظ رنگ سبز در سبزیجات صورت گرفته است [۳، ۷، ۱۳-۱۱]. با این حال روش‌های معرفی شده در این تحقیقات، زمان‌بر هستند و اغلب نیاز به آماده‌سازی بسیار زیاد نمونه‌ها دارند. در تحقیقات مربوط به کیفیت مواد غذایی، اندازه‌گیری قابل اطمینان رنگ‌ها مانند میزان و شدت سبزی در یک رژیم غذایی، مورد نیاز است.

1. chroma
2. higher plants
3. pheophytins
4. lipoproteins
5. decarbomethoxylation
6. pyropheophytins
7. hue
8. sensory quality

مطالعه، بررسی و توسعه روش‌های مختلف کالیبراسیون و اندازه‌گیری رنگ [21، 24، 26]، تشخیص و تجزیه و تحلیل ناهمگنی در سطح مواد غذایی و هم‌چنین چگونگی توزیع رنگ در سطح نمونه‌ها با ابزارهایی مبتنی بر تکنولوژی دوربین‌های دیجیتال صورت پذیرفته است [23، 26]. هم‌چنین روش‌هایی برای درجه‌بندی محصولات غذایی مختلف مانند قارچ [27]، توت‌فرنگی [28]، سیب و سیب‌زمینی [29]، توسعه یافته است. علاوه بر این، به تازگی از یک دستگاه اندازه‌گیری رنگ براساس تجزیه و تحلیل تصویر در تعیین سینتیک تغییر رنگ شیرینی‌ها در طول فرایند سرخ کردن استفاده شده است [30].

3-2- روند اجرای آزمایشات

در این پژوهش، در هر مرحله تعداد 5 عدد از سبزیجات مورد بررسی، به صورت افقی در حد واسط منابع نوری جهت یکنواخت‌سازی نور زمینه تصویر، قرار گرفتند. بعد از اخذ تصاویر، یکنواخت‌سازی هیستوگرام آن‌ها و حذف نویز ناشی از انتقال تصاویر با فیلتر باترورث، مختصات رنگ R، G و B و همین‌طور L^* ، a^* و b^* برای هر نمونه استخراج گردید [32]. شایان ذکر است که به‌منظور کاهش نویزهای احتمالی دیگر از قبیل لرزش دست و یا تنظیم نبودن لنز دوربین، از هر نمونه سه تصویر اخذ گردید که میانگین مختصات رنگ به‌دست آمده از این سه تصویر مورد ارزیابی قرار گرفت. البته فیلتر گوسی نیز قابلیت حذف برخی از این نویزها را داشت که با توجه به حذف اطلاعات تصویر توسط این فیلتر تصمیم به استفاده از میانگین‌گیری از سه تصویر گردید.

در این پژوهش، تغییرات رنگی در طی فرایند خشک‌کردن برش‌های سیب به صورت بر خط تعیین گردید [31]. در نتیجه هدف از این پژوهش، توسعه و ارزیابی یک دستگاه اندازه‌گیری رنگ مبتنی بر پردازش تصاویر دیجیتال به‌منظور تعیین کیفیت سبزیجات سبز در خلال پخت در یک وعده غذایی رایج می‌باشد. روش مورد استفاده در این پژوهش، بر اساس تشخیص تغییرات در سبزی مواد گیاهی (مطالعه موردی لوبیای سبز¹، کلم بروکلی² و کدوی سبز³) طی عملیات حرارت‌دهی طراحی شده است. شایان ذکر است که روش پیشنهادی بر روی مواد گیاهی مشابه که موجود در دسترس مصرف‌کنندگان می‌باشند، قابل پیاده‌سازی است.

2- مواد و روش‌ها

1-2- نمونه‌ها و آزمایشات

لوبیاهای سبز، کلم بروکلی و کدوی سبز مورد نیاز در صبح روز آزمایشات، از یک سوپرمارکت محلی خریداری شدند. در حین آزمایش، نمونه‌ها درون یخچال در دمای +8 درجه سانتی‌گراد، به دور از نور نگهداری گردیدند. همه نمونه‌های تحت بررسی از محصولات داخلی کشور بودند و تمامی آزمایشات در طول پاییز و زمستان 1394 انجام پذیرفت.

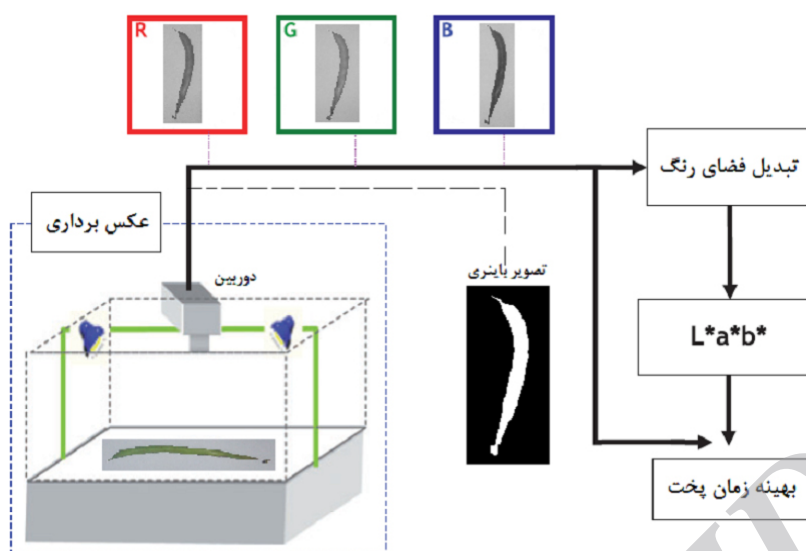
2-2- سامانه اخذ و تحلیل تصاویر

در این بخش، نمونه‌ها برای عکس‌برداری در جعبه‌ای که با کاغذ مقوایی سفیدرنگ پوشش یافته و دوربین در بالای جعبه

1. phaseolus vulgaris
2. brassica oleraceae var. Italica
3. cucurbita pepo var. Cylandrica

5-2- محاسبات و تجزیه و تحلیل آماری

برای هر مجموعه از نمونه، بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده



شکل (۱) سیستم عکس برداری دیجیتال برای ارزیابی تغییرات رنگ سبزیجات

میانگین مختصات رنگ a^* ، b^* و L^* و انحراف معیار برای هر نمونه (لوبیای سبز، کلم بروکلی، کدوی سبز) محاسبه گردید و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB 2013A شکل سه‌بعدی کشیده شد. مراکز حوضه‌های بیضی‌گون برای هر ماده، بر اساس مقادیر میانگین مختصات رنگ اندازه‌گیری شده، تعیین گردید.

مختصات رنگ واحدهای سبزیجات، متوسط رنگ محاسبه شد و انحراف استاندارد نیز برای مختصات رنگ برآورد شد. در نهایت انحراف از میانگین رنگ برای ارزیابی کل انحراف‌ها تعیین و با استفاده از رابطه (3) محاسبه گردید.

(3)

$$MCDM = \frac{\sum_{i=1}^n [(L_i^* - L_{mean}^*)^2 + (a_i^* - a_{mean}^*)^2 + (b_i^* - b_{mean}^*)^2]^{\frac{1}{2}}}{n}$$

3- نتایج و بحث

بهترین زمان پخت لوبیا، کلم بروکلی و کدوی سبز، با توجه به تشخیص افراد خبره، به ترتیب مدت زمان 20-25، 30-35 و 15-20 دقیقه به دست آمد. در این مدت علاوه بر این که رنگ محصولات حفظ گردید بافت آن‌ها نیز از دید افراد خبره مطلوب بود. با توجه به مدت زمان مطلوب پخت، طبق آزمایشات مشاهده می‌شود که انحراف از میانگین رنگ جهت ارزیابی کل انحرافات نمونه‌ها (MCDM)، برای لوبیا، کلم بروکلی و کدوی سبز تازه، به ترتیب 4/66، 7/27 و 10/37 بوده است.

تغییرات مختصات رنگ نمونه‌های لوبیای اندازه‌گیری شده، در شکل (2) آمده است. مطابق این شکل در فضای رنگی RGB مختصات رنگ R و B روندی افزایش داشته در حالی که مختصات رنگ G روندی کاهشی از خود نشان می‌دهد. این مسأله حاکی از افزایش رنگ قرمز و کاهش سبزی در محصول می‌باشد. در مورد فضای رنگی Lab هر سه مختصات رنگ a^* ، b^* و L^* روندی کاهشی داشتند که علاوه بر تطبیق آن با مقادیر به دست

که در آن a_i^* و L_i^* ، b_i^* مقادیر منفرد تعیین شده در اندازه‌گیری‌ها و a_{mean}^* ، L_{mean}^* ، b_{mean}^* مقادیر میانگین محاسبه شدند و n تعداد نمونه‌ها در هر مجموعه بود [33]. ضریب کوچک (f) (رابطه 4) را می‌توان با استفاده از مختصات رنگ a^* بیان کرد که تغییرات رنگ را از سبز به قرمز نشان می‌دهد.

$$f = \frac{-a_0^* + a_i^*}{-a_0^* + a_\infty^*} \quad (4)$$

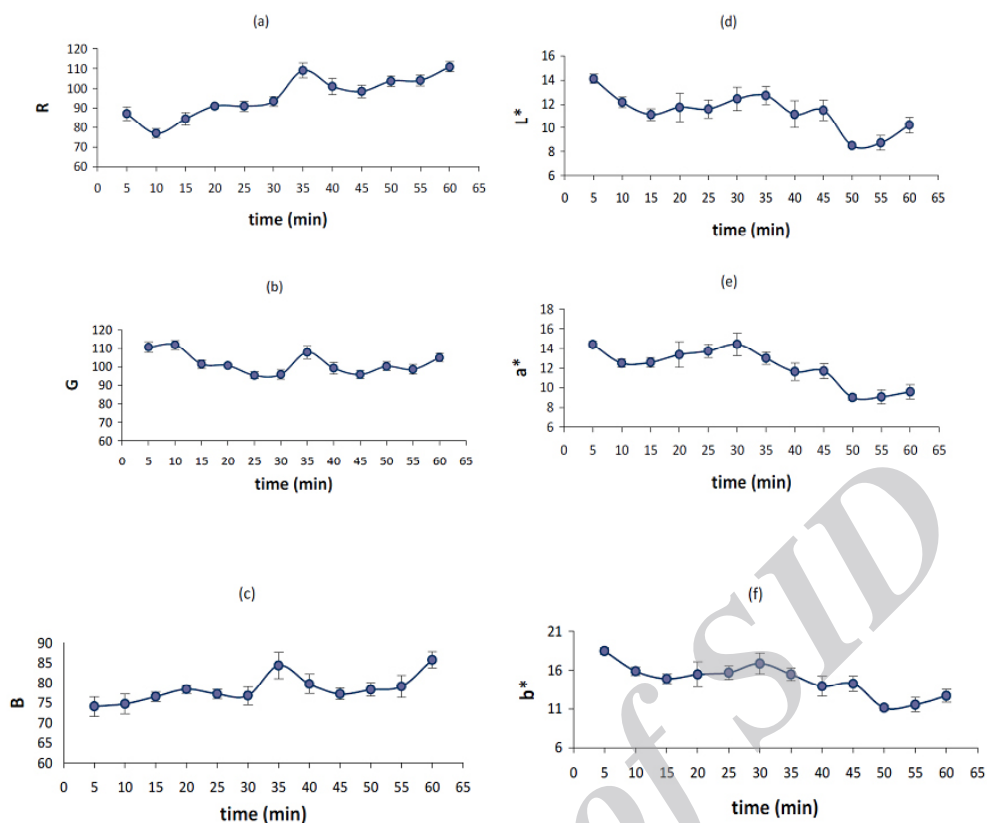
در رابطه (4)، a_0^* مربوط به ابتدای زمان پخت و a_i^* میانگین مختصه رنگی a^* در هر مرحله از آزمایش و a_∞^* مربوط به انتهای زمان پخت است [34]. در نهایت، منحنی برازش نمایی جهت نشان دادن روند تغییرات رنگ از سبز به قرمز در طی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار MS Excel 2013 رسم شد. هم‌چنین منحنی سه‌بعدی جهت مشاهده نتایج آزمایشات برای سه نوع سبزیجات، ارائه شد که برای رسم این منحنی،

در حقیقت در گیاهان، تجزیه کلروفیل‌ها به فتوفیتین‌ها وابسته به تغییرات مختصات a^* می‌باشد [34]. ویمس و همکاران (1999) نیز رفتار مشابهی در تغییرات رنگ آب بروکلی حرارت دیده مشاهده نمودند.

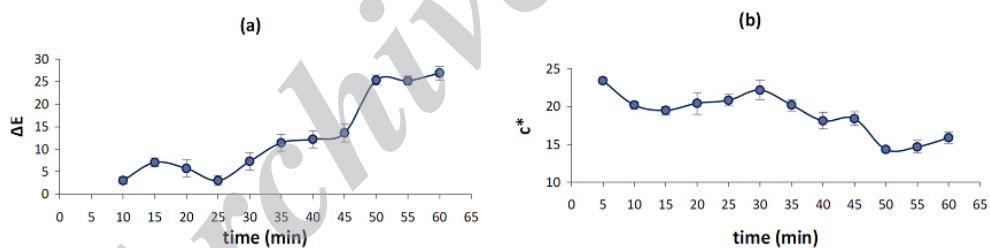
مطابق روش پیشنهاد شده می‌توان حتی تغییرات اندک در فرایند حرارتی را مشاهده و بر اساس آن حالت بهینه پخت محصولات دارای رنگ سبز را به گونه‌ای که کیفیت آن‌ها از نظر مصرف‌کننده خوشایند باشد تعیین نمود. به‌منظور بررسی اختلاف معنی‌دار میان مختصات رنگی استخراج شده در سه سبزی مورد مطالعه آنالیز آماری دانکن در سطح احتمال 5% انجام پذیرفت. با توجه به این‌که هرکدام از سبزیجات (لوبیا، بروکلی و کدو) دارای یک زمان بهینه پخت مشخص می‌باشند، پس از عملیات حرارتی و نزدیک شدن هر یک از سبزیجات به زمان بهینه پخت خود، مختصات رنگ در هرکدام نسبت به دیگری، دارای مقداری متفاوت می‌گردد. به همین خاطر میان زمان بهینه پخت در سبزیجات (لوبیا، کدو و بروکلی)، آزمون آماری صورت پذیرفت. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در جدول (1) گزارش شده است.

مطابق جدول (1) مشاهده می‌گردد که ضمن معنی‌دار بودن اختلافات بین تیمارها در سطح احتمال 5٪، مختصات رنگ L^* ، a^* ، G ، B و C^* برای لوبیا کم‌ترین مقدار و برای کدو بیش‌ترین مقدار را دارا می‌باشند اما b^* و ΔE در لوبیا نسبت به بروکلی و کدو در بالاترین مقدار قرار گرفته و b^* در بروکلی و ΔE در کدو کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. مختصه رنگی R نیز در این سه نوع محصول در طی عملیات حرارتی، زمانی که کدو به انتهای زمان بهینه پخت خود نزدیک می‌شود، نسبت به بروکلی و لوبیا در بالاترین سطح قرار می‌گیرد، این در حالی است که R در زمان بهینه پخت بروکلی مقداری کم‌تر از R لوبیا و کدو داشته است. لازم به ذکر است که در میان این مختصات رنگ، تغییرات مقادیر R و ΔE بین تیمارها به‌صورت تقریبی مشابه و نزدیک به هم بود. در نتیجه میان پارامترهای رنگی استخراج شده، a^* ، b^* و L^* توانایی بهتری در تشخیص تغییرات رنگ دارد. در نهایت با توجه به اختلافات معنی‌دار میان این مختصات رنگی (a^* ، b^* و L^*) در زمان بهینه پخت در سه نوع سبزی مورد مطالعه منحنی سه‌بعدی رسم گردید.

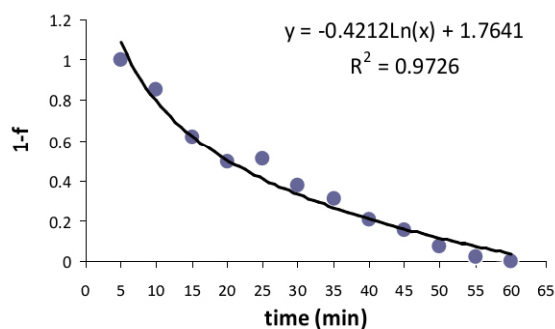
آمده در فضای رنگی RGB، کاهش مختصات L^* نشان‌دهنده تیرگی رنگ محصول در خلال فرایند پخت می‌باشد. این مسأله بدین صورت قابل توجیه می‌باشد که در بافت‌های سالم گیاهی، کلروفیل‌ها در غلاف لیپوپروتئین‌ها محدود هستند و از اسیدها محافظت می‌گردند، اما طی فرایند حرارت‌دهی پروتئین‌ها انعقاد یافته و اثر محافظتی آن‌ها پایین می‌آید [6]. از طرف دیگر طی حرارت‌دهی طولانی مدت، فتوفیتین‌ها از طریق دی‌کربن متاهزالین بیش‌تر به فروفتوفیتین‌ها تجزیه می‌شوند [7-9]. در نتیجه مطابق تحقیقات دیمن (1999)، اتم‌های منیزیم کلروفیل، به راحتی توسط اسیدهایی که به‌طور طبیعی در بافت‌های گیاهی ایجاد می‌شوند و به فتوفیتین‌ها رنگ سبز زیتونی می‌دهند، زدوده می‌شوند. این مسأله سبب ایجاد تغییر رنگ در سبزیجات می‌گردد. به‌علاوه همان‌طور که در شکل (2) مشخص است زمان 35 دقیقه در فضای رنگی RGB یک حالت خاص بوده و نشان از یک تغییر عمده در رنگ محصول در خلال فرایند پختن می‌باشد. این مسأله در فضای رنگی Lab به گونه‌ای دیگر نمایان می‌باشد. همان‌طور که شکل (d-f) 2 مشخص شده تغییرات رنگ در هر سه کانال از زمان 35 به مدت 10 دقیقه تقریباً ثابت شده و بعد از زمان 45 دقیقه دوباره روند کاهشی آن ادامه می‌یابد. مانینن و همکاران نیز روند مشابهی برای b^* و L^* ولی روند متفاوتی برای a^* در کاهو و نخود سبز یخ‌زده تحت تیمار حرارتی و اسیدی گزارش نمودند. تغییرات کروما C^* و اختلاف رنگ کل ΔE نمونه‌های لوبیاهای تازه در شکل (3) ترسیم شده است. تغییرات کروما و تغییر رنگ کل برای لوبیای تازه پخته شده به مدت 60 دقیقه به ترتیب از 23/40 به 15/88 و 3 به 26/9 واحد تغییر یافتند. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با مطالعات گذشته که کاهش کروما را در مراحل اولیه تیمار حرارتی گزارش کردند در یک راستا می‌باشد [13، 35]. در ضمن کاهش کروما در طول مدت حرارت‌دهی نشان از کاهش میزان تازگی گیاه می‌باشد [36]. شکل (4) نمودار تغییر در مختصات a^* و تجزیه رنگ سبز در محصول حرارت‌دیده را نشان می‌دهد. مطابق شکل (4) مقدار مختصات a^* با افزایش زمان به صورت نمایی کاهش می‌یابد. تجزیه رنگ در مختصات a^* - از رابطه سینتیکی مرتبه اول با ضریب همبستگی به میزان 0/9726 تبعیت می‌نماید.



شکل (2) تغییرات مختصات رنگ (R و G, B) و (L*, a*, b*) اندازه‌گیری شده از سطح لوبیاهای سبز در طول فرایند پختن



شکل (3) (a) کروما، C* و (b) تفاوت رنگ کل، ΔE، اندازه‌گیری شده از سطح لوبیاهای سبز در طول فرایند پختن



شکل (4) نمودار نمایی تغییر در مختصات a* که تغییرات رنگ را از سبز به قرمز نشان می‌دهد

مطابق شکل (5)، مشاهده می‌گردد تغییرات رنگ سه محصول در زمان بهینه پخت، دارای اختلاف قابل توجهی بوده که همین عامل سبب می‌شود، هرکدام از این سه نوع محصول دارای محدوده‌ای مجزا برای زمان بهینه پخت خود باشند و به این ترتیب می‌توان با داشتن مختصات رنگ سبزیجات، زمان بهینه پخت آن‌ها را تشخیص داد.

نتایج نشان داد به دلیل قابل توجه بودن انحراف استاندارد رنگ درون نمونه‌ها، می‌توان این سیستم را به‌عنوان یک روش اندازه‌گیری انتخاب کرد. مطابق با شکل (5) تغییرات رنگ سه محصول دارای اختلاف قابل توجهی بوده که این مسأله می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای توقف زمان پخت در فرایندهای حرارتی مورد استفاده قرار گیرد.

4- نتیجه‌گیری

سبزیجات، یک وعده غذایی سالم را تشکیل می‌دهند. بنابراین با توجه به اهمیت سبزیجات برای حفظ کیفیت آن‌ها از لحاظ

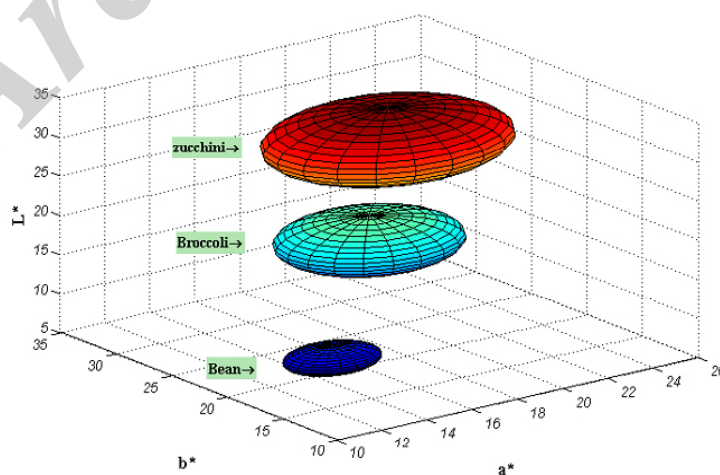
تشکر و قدردانی

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

جدول (1) جدول مقایسه میانگین زمان بهینه پخت در سبزیجات (لوبیا، کدو و کلم بروکلی)

تیما	L*	a*	b*	R	G	B	ΔE	C*
لوبیا	12/775 ^b	12/515 ^c	87/521 ^a	112/15 ^a	109/58 ^b	15/571 ^b	7/589 ^a	19/980 ^b
سبزیجات کدو	22/324 ^a	19/060 ^a	72/922 ^b	132/31 ^a	138/05 ^a	25/304 ^a	4/433 ^a	31/680 ^a
بروکلی	15/969 ^b	15/109 ^b	58/200 ^c	109/25 ^a	111/75 ^b	21/559 ^a	5/047 ^a	27/199 ^a

حروف مشترک نشان‌دهنده غیر معنی‌دار بودن در سطح احتمال 5%



شکل (5) منحنی سه‌بعدی برای سه نوع سبزیجات (کلم بروکلی، کدو سبز، لوبیا سبز) با تعیین میانگین مختصات رنگ a^* ، b^* و L^* و انحراف معیار برای هر نمونه

منابع

- [13] Tijsskens, L. M. M., Schijvens, E. P. H. M., Biekman, E. S. A. (2001). Modelling the change in colour of broccoli and green beans. *Innov. Food Sci. Emerg.*, 2, 303-313.
- [14] Hunt, R., Pointer, M. (2011). Measuring colour, 4th ed., New York: John Wiley and Sons.
- [15] CIE. (2004). *CIE Technical Report: Colorimetry*, 3th ed., Vienna: CIE Central Bureau. Publication CIE no. 15.2.
- [16] HunterLab. (2001). Application note. *Insight on Color*, 13, pp 1-4.
- [17] [17] آبدانان مهدی‌زاده، س.؛ امرایی، س. (1395). برآورد محاسباتی واحدهای رنگی $L^*a^*b^*$ از RGB با کمک پردازش تصاویر دیجیتال. نشریه پژوهش‌های علوم صنایع غذایی ایران (پذیرفته شده برای چاپ).
- [18] Hill, B., Roger, T., Vorhagen, F.W. (1997). Comparative analysis of the quantization of color spaces on the basis of the CIELAB color-difference formula. *ACM T. Graphic.*, 16, 109-154.
- [19] Mahy, M., Eycken, L., Oosterlinck, A. (1994). Evaluation of uniform color spaces developed after the adoption of CIELAB and CIELUV. *Color Res. Appl.*, 19, 105-121.
- [20] Balaban, M. O., Odabasi, A. Z. (2006). Measuring color with machine vision. *Food Technol.*, 60, 32-36.
- [21] Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., Leon, J. (2006). Color measurement in $L^*a^*b^*$ units from RGB digital images. *Food Res. Int.*, 39, 1084-1091.
- [22] O'Sullivan, M. G., Byrne, D. V., Martens, H., Gidskehaug, L. H., Andersen, H. J., Martens, M. (2003). Evaluation of pork colour: prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis. *Meat Sci.*, 65, 909-918.
- [23] Segnini, S., Dejmek, P., Oste, R. (1999). A low cost video technique for colour measurement of potato
- [1] Cardello, A. V. (1996). The role of the human senses in food acceptance. In *Food choice, acceptance and consumption*, (pp. 1-82). Springer US.
- [2] Clydesdale, F. M. (1993). Color as a factor in food choice. *Crit. Rev. Food Sci.*, 33, 83-101.
- [3] Canjura, F., Schwartz, S., Nunes, R. (1991). Degradation kinetics of chlorophylls and chlorophyllides. *J. Food Sci.*, 56, 1639-1643.
- [4] Lee, S. M., Lee, K. T., Lee, S. H., Song, J. K. (2013). Origin of human colour preference for food. *J. Food Eng.*, 119(3), 508-515.
- [5] Schwartz, S. J., Lorenzo, T. V. (1990). Chlorophylls in foods. *Crit. Rev. Food Sci.*, 29, 1-17.
- [6] DeMan, J. M. (1999). *Principles of Food Chem*, 3th ed., Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc.
- [7] Schwartz, S. J., von Elbe, J. H. (1983). Kinetics of chlorophyll degradation to pyropheophytin in vegetables. *J. Food Sci.*, 48, 1303-1306.
- [8] Schwartz, S. J., Woo, S. L., von Elbe, J. H. (1981). High-performance liquid chromatography of chlorophylls and their derivatives in fresh and processed spinach. *J. Agr. Food Chem.*, 29, 533-535.
- [9] Teng, S. S., Chen, B. H. (1999). Formation of pyrochlorophylls and their derivatives in spinach leaves during heating. *Food Chem.*, 65, 367-373.
- [10] World Health Organization. (2014). Healthy diet. Fact sheet, pp 394.
- [11] Clydesdale, F., Francis, F. (1968). Chlorophyll changes in thermally processed spinach as influenced by enzyme conversion and pH adjustment. *Food Technol.*, 22, 793-796.
- [12] Haisman, D., Clarke, M. (1975). The interfacial factor in the heat-induced conversion of chlorophyll to pheophytin in green leaves. *J. Sci. Food. Agr.*, 26, 1111-1126.

- [34] Steet, J. A., Tong, C. H. (1996a). Degradation kinetics of green color and chlorophylls in peas by colorimetry and HPLC. *J. Food Sci.*, 61, 924-928.
- [35] Mackinney, G., Weast, C. A. (1939). Color changes in Green vegetables. *Ind. Eng. Chem.*, 32, 392-395.
- [36] Gunawan, M. I., Barringer, S. A. (2000). Green color degradation of blanched broccoli (*Brassica oleracea*) due to acid and microbial growth. *J. Food Process. Pres.*, 24, 253-263.
- [37] Manninen, H., Paakki, M., Hopia, A., Franzén, R. (2015). Measuring the green color of vegetables from digital images using image analysis. *Lwt- Food Sci. Technol.*, 63(2), 1184-1190.
- [38] Weemaes, C. A., Ooms, V., Van Loey, A. M., Hendrickx, M. E. (1999). Kinetics of chlorophyll degradation and color loss in heated broccoli juice. *J. Agr. Food Chem.*, 47, 2404-2409.
- [24] Yam, K. L., Papadakis, S. E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *J. Food Eng.*, 61, 137-142.
- [25] Wu, D., Sun, D. W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control- a review. *Trends. Food Sci. Tech.*, 29, 5-20.
- [26] Valous, N. A., Mendoza, F., Sun, D. W., Allen, P. (2009). Colour calibration of a laboratory computer vision system for quality evaluation of pre-sliced hams. *Meat Sci.*, 81, 132-141.
- [27] Heinemann, P. H., Huges, R., Morrow, C. T., Sommer, H. J., Beelman, R. B., Wuest, P. J. (1994). Grading of mushrooms using a machine vision system. *T. ASAE.*, 37, 1671-1677.
- [28] Liming, X., Yanchao, Z. (2010). Automated strawberry grading system based on image processing. *Comput. Electron. Agr.*, 71, S32-S39.
- [29] Tao, Y., Heinemann, P. H., Varghese, Z., Morrow, C. T., Sommer, J. H. (1995). Machine vision for colour inspection of potatoes and apples. *T. ASAE.*, 38, 1555-1561.
- [30] Abdollahi Moghaddam, M. R., Rafe, A., Taghizadeh, M. (2014). Kinetics of color and physical attributes of cookie during deep-fat frying by image processing techniques. *J. Food Process. Pres.*, 39, 91-99.
- [31] Nadian, M. H., Rafiee, S., Aghbashlo, M., Hosseinpour, S., Mohtasebi, S. S. (2015). Continuous real-time monitoring and neural network modeling of apple slices color changes during hot air drying. *Food. Bioprod. Process.*, 94, 263-274.
- [32] Gonzalez, R. C., Woods, R. E. (2009). *Digital Image Processing using MATLAB*, 3th ed., Pearson Education India, pp. 1-954.
- [33] Berns, R. S. (2000). *Billmeyer and Saltzman's principles of color technology*, 3th ed., New York: John Wiley and Sons.