

مقاله پژوهشی

پیش‌بینی برخی خواص کیفی ارقام مختلف برنج سفید با استفاده از فناوری پردازش تصویر

نصراله فاضلی بورستان^۱، امیرحسین افکاری سیاح^{۲*}، ابراهیم تقی‌نژاد^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۲. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۳. دانشیار، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، پارس‌آباد

(تاریخ دریافت: ۹۸/۹/۲۵، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۸/۱۱/۲۰، تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۸)

چکیده

برنج یکی از رایج‌ترین و پرمصرف‌ترین مواد غذایی در جهان است. خواص کیفی، از عوامل بسیار مهم در تعیین ویژگی‌های پخت و فرآوری برنج محسوب می‌شود. یکی از مشکلات مهم در صنایع غذایی، پیش‌بینی خواص کیفی است؛ از این رو، امکان پیش‌بینی میزان آمیلوز (AC)، درجه حرارت ژلاتینه شدن (GT)، قوام ژل (GC)، میزان پروتئین (PC)، حداقل چسبندگی (MV)، حداکثر چسبندگی (PV)، چسبندگی نهایی (FV)، فروریختگی چسبندگی (BDV) و پس روی چسبندگی (SBV)، از ۱۰۰ نمونه تک دانه برنج ارقام هاشمی، خزر و درفک، با استفاده از فناوری پردازش تصویر در سه شرایط نورپردازی شامل نوردهی مستقیم با لامپ LED، نوردهی مستقیم با لامپ‌های LED و فلورسنت و نوردهی به صورت ضد نور انجام شد. مدل‌های کالیبراسیون توسط رگرسیون خطی چند متغیره با حداقل مربعات جزئی (PLS) توسعه داده شد. مقادیر ضرایب تعیین کالیبراسیون متغیرهای AC، GT، GC، PC، MV، PV، FV، BDV و SBV در رقم هاشمی، خزر و درفک برای تمام تیمارها به ترتیب معادل $R^2_{cal} \geq 0/89$ ، $R^2_{cal} \geq 0/95$ ، $R^2_{cal} \geq 0/92$ و ضرایب پیش‌بینی به ترتیب با $R^2_{pre} \geq 0/88$ ، $R^2_{pre} \geq 0/94$ ، $R^2_{pre} \geq 0/90$ به دست آمد. نتایج رگرسیون PLS نشان داد که متغیرهای مستخرج از ویژگی‌های شکل و اندازه و متغیرهای رنگی R، G، B، L، a و b حاصل از پردازش تصویر، می‌توانند پارامترهای کیفی برنج را با دقت فراوانی پیش‌بینی کنند؛ در نتیجه می‌توان با استفاده از فناوری پردازش تصویر، با هزینه کمتر و غیر مخرب، برخی خواص کیفی برنج را با دقت پیش‌بینی کرد.

کلیدواژه‌ها: پردازش تصویر، تک‌دانه‌های برنج، خواص کیفی.

۱. مقدمه

تحقیقی در خصوص درجه بندی دانه‌های برنج، بر اساس فناوری‌های مورفولوژیکی با استفاده از پردازش تصویر انجام دادند. ویژگی‌های هندسی شامل مساحت، طول و قطر متوسط هر یک از دانه‌های برنج استخراج شدند، به طوری که طبقه‌بندی در سه گروه انجام شد و دقت طبقه‌بندی ۹۳٪ به دست آمد [۷]. میتال و همکاران، با طبقه‌بندی نمونه‌های برنج به صورت خودکار با استفاده از پردازش تصویر از طریق ویژگی‌های مورفولوژیکی، دقت طبقه‌بندی را ۹۳٪ به دست آوردند و نتیجه گرفتند که ارزیابی کیفی برنج بر اساس فناوری پردازش تصویر مفید و مقرون به صرفه است [۸].

با این همه، تاکنون تحقیقات اندکی در خصوص ارتباط متغیرهای مستخرج از تصاویر دیجیتال و شاخص‌های کیفی (شیمیایی و فیزیکوشیمیایی) برنج صورت گرفته است؛ بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی امکان پیش‌بینی خواص کیفی برنج شامل: میزان آمیلوز^۱ (AC)، درجه حرارت ژلاتینی شدن^۲ (GT)، قوام ژل^۳ (GC) و میزان پروتئین^۴ (PC)، حداقل چسبندگی^۵ (MV)، حداکثر چسبندگی^۶ (PV)، چسبندگی نهایی^۷ (FV)، فروریختگی چسبندگی^۸ (BDV) و پس‌روی چسبندگی^۹ (SBV) به عنوان متغیرهای وابسته در ارقام هاشمی، خزر و درفک با استفاده از فناوری پردازش تصویر در شرایط مختلف نورپردازی است. داده‌های مستخرج بر اساس ویژگی‌های شکل، اندازه و رنگ تک‌دانه‌های برنج با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) به عنوان متغیرهای مستقل و به منظور پیش‌بینی خواص کیفی برنج بررسی شد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. آماده‌سازی نمونه

نمونه‌هایی از سه رقم برنج، هاشمی، درفک و خزر، مستقیماً از مزرعه تحقیقات برنج کشور، واقع در شهرستان رشت تهیه

برنج یکی از پر مصرف‌ترین مواد غذایی برای بیش از نیمی از مردم جهان است. ارزش تجاری برنج تا حد زیادی بر اساس ویژگی‌های کیفی دانه برنج آسیاب شده تعیین می‌شود [۱]. ارزیابی کیفی برنج اغلب مربوط به خصوصیات مثل ظاهر، طعم و عطر آن است؛ به طوری که تا حد زیادی قضاوت مصرف‌کننده نهایی بر پایه کیفیت ظاهری است [۲]. ارزیابی کیفی به صورت سنتی انجام می‌شود، به طوری که این روش علی‌رغم هزینه بالا، دارای عملکرد و دقت پایینی بوده و به دلیل افزایش تقاضا پاسخگوی نیاز بازار رو به گسترش این ماده غذایی نیست [۳]. استفاده از فناوری‌های جدید برای ارزیابی خواص کیفی برنج به صورت غیر مخرب و کم هزینه ضرورت دارد. پردازش تصویر دانش جدیدی است که برای ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی، با سرعت و دقت بالا و هزینه پایین استفاده می‌شود [۴].

رنگ، شکل و اندازه دانه برنج، از مهم‌ترین پارامترهای کیفیت ظاهری است که توسط مصرف‌کنندگان ارزیابی می‌شود. تحقیقات مختلفی در این زمینه انجام شده است؛ به عنوان مثال محققان از پردازش تصویر به عنوان تکنیکی غیر مخرب برای ارزیابی ظاهری نوعی برنج هندی استفاده کردند. در این تحقیق، ویژگی‌های شکلی شامل مساحت، طول دانه، ضخامت دانه و فاصله از مرکز برای دانه‌های برنج محاسبه و مشخص شد که در نمونه‌های بررسی شده، به طور متوسط، ۸۶٪ از دانه‌ها دارای طول نرمال، ۶٪ دانه‌ها بلند و ۸٪ دانه‌ها کوچک بودند [۵]. در تحقیقی مشابه، با استفاده از فناوری پردازش تصویر دیجیتال توده برنج بر پایه ویژگی‌های مورفولوژیکی شامل مساحت، بیشینه و کمینه طول دانه به طور موفقیت‌آمیز درجه‌بندی شدند [۳]. موسوی راد و همکاران، الگوریتمی برای شناسایی پنج رقم مختلف برنج با استفاده از ویژگی‌های مورفولوژیکی، پیشنهاد کردند. این الگوریتم پیشنهادی، شامل مراحل متعددی همچون تهیه تصویر، بخش‌بندی، استخراج ویژگی، انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی است. از بین ویژگی‌های مختلف، ۶ ویژگی انتخاب و سپس مورد بررسی قرار گرفت و نهایتاً دقت طبقه‌بندی، معادل ۹۸/۴٪ به دست آمد [۶]. همچنین، ویدیا و مالمت

1. Amylose Content
2. Gelatinization Temperature
3. Gel Consistency
4. Protein Content
5. Minimum Viscosity
6. Peak Viscosity
7. Final Viscosity
8. Breakdown Viscosity
9. Setback Viscosity

راپید ویسکو آنالایزر^۱ قرار داده شد [۱۴]. نتیجه آزمایش یک منحنی بود که تغییرات ویسکوزیته نمونه را در تغییرات دمایی پخت نشان داد.

۳.۲. سامانه تصویربرداری

تصاویر تک‌دانه‌های برنج (رطوبت ۹٪ بر پایه‌تر) از فاصله ثابت و تحت شرایط نورپردازی یکسان، درحالی‌که همه نمونه‌ها رطوبت یکسانی (۹٪ بر پایه‌تر) داشتند تهیه شد. برای تهیه تصاویر از یک دوربین سامسونگ^۲ با رزولوشن ISI ۱۲۸۰×۷۲۰ (۳۱۲ تراکم پیکسل) با نسبت کانونی f/1.9 و حساسیت حسگر ۴۰۰ با تنظیم دستی استفاده شد. فاصله عدسی دوربین از نمونه‌ها، معادل ۷۰ mm بود که این فاصله با آزمون و خطا به دست آمد. سامانه تصویربرداری در شکل (۱) نشان داده شده است.

برای اطمینان از یکسان بودن نورپردازی تصویربرداری، یک ساعت پس از روشن کردن منابع نوری انجام شد تا منابع نوری به انتشار بیشینه خود رسیده و در یک حالت پایدار قرار گیرند. در این بازه زمانی، رطوبت دانه‌ها با استفاده از رطوبت سنج موجود در آزمایشگاه کنترل شد تا از عدم تغییر رطوبت نمونه‌ها اطمینان حاصل شود.

۴.۲. تهیه تصاویر

تعداد ۵۰ دانه به طور تصادفی به صورت منظم روی پس زمینه ریخته شد. محل قرارگیری محفظه طوری تنظیم شد تا دانه‌های چیده شده کانون دید دوربین قرار گیرند. برای جلوگیری از کاهش کیفیت تصویر ناشی از لرزش دست، تنظیمات اعمال شده روی دوربین، ۲ ثانیه پس از فشردن دکمه ثبت، تصویر گرفته شد. برای هر رقم و در هر حالت، دانه‌های تکرار قبلی کنار گذاشته شده و از ۵۰ دانه جدید، برای تکرار بعدی که جمعاً ۱۰۰ دانه از هر رقم استفاده شد. تصاویر در قالب jpg، در حافظه دوربین ذخیره شدند. تصاویر در قالب سه تیمار شامل: نورپردازی با لامپ LED، نورپردازی با نور LED و نور فلورسنت و نورپردازی به صورت ضد نور انجام شد.

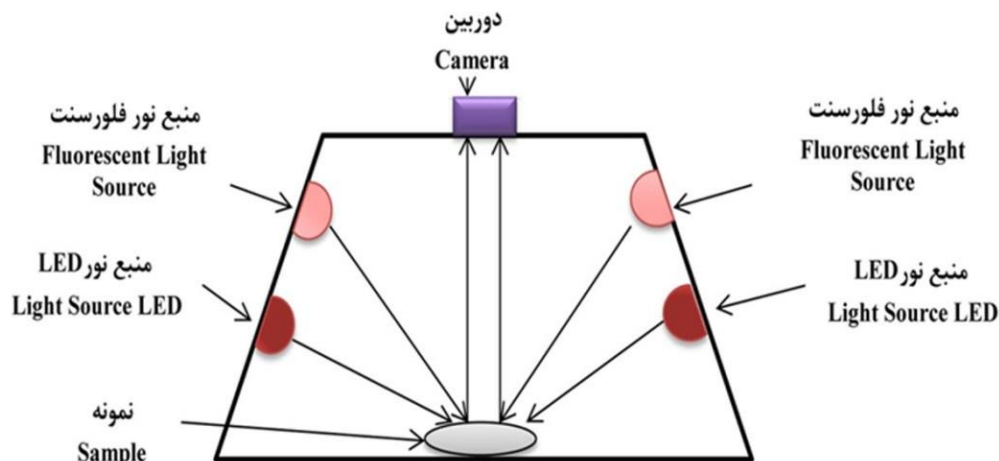
شد. برای تعیین رطوبت اولیه شلتوک‌ها با قرار دادن سه نمونه ۱۵ گرمی از هر رقم درون آون با دمای ۱۳۰°C به مدت ۱۹ ساعت استفاده شد [۹]. رطوبت اولیه به ترتیب ۱۴/۸، ۱۵/۵ و ۱۶/۵۲ بر پایه‌تر به دست آمد، سپس به منظور کاهش سطح رطوبتی برای آسیاب کردن، شلتوک‌ها به صورت لایه نازک با دمای ۳۵°C از خشک‌کن آزمایشگاهی هوای گرم استفاده شد و عملیات پوست‌کنی و سفیدکنی در شرایط یکسان صورت گرفت.

۲.۲. اندازه‌گیری خواص کیفی

در این تحقیق، برخی خواص کیفی دانه برنج شامل ویژگی‌های شیمیایی (میزان آمیلوز (AC)، درجه حرارت ژلاتینه شدن (GT)، قوام ژل (GC) میزان پروتئین) و فیزیک و شیمیایی نشاسته دانه‌ها حداقل چسبندگی (MV)، حداکثر چسبندگی (PV)، چسبندگی نهایی (FV)، فروریختگی چسبندگی (BDV) و پس‌روی چسبندگی (SBV) مورد استفاده قرار گرفت. میزان آمیلوز با استفاده از روش کالری متریک در طول موج ۶۲۰ نانومتر، با تشکیل کمپلکس‌ید-نشاسته تعیین شد [۱۰]. برای تعیین درجه حرارت ژلاتینه شدن از روش لیتل استفاده شد [۱۱] که در این روش، ۶ دانه کامل برنج سفید در داخل پتری‌دیش قرار داده شد و مقدار ۱۰ mm هیدروکسید پتاسیم ۱/۷٪، به آن اضافه شد و سپس نمونه‌ها در داخل آون در دمای ۳۰°C به مدت ۲۳ ساعت قرار داده شد. تغییرات نشاسته به صورت نمره ۷-۱ مشخص شد. در هنگام ارائه گزارش اعداد ۳-۱ درجه حرارت ژلاتینی بالا، ۵-۴ متوسط و ۷-۶ درجه حرارت ژلاتینه شدن پایین معرفی شد. قوام برنج سفید در پتاس ۰/۲ نرمال مشخص شد که نشان دهنده میزان حرکت ژل برنج پخته برحسب میلی‌متر است [۱۲]. میزان پروتئین آرد برنج با روش کدال با یک ضریب رایج N×۵/۹۵ تعیین شد [۱۳]. برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیک و شیمیایی نشاسته دانه‌ها، نمونه‌ها پس از تبدیل به برنج سفید با استفاده از آسیاب سیکلونی UDY (ساخت آمریکا) در حدّ مش ۱۰۰ آرد شدند، سپس از هر نمونه ۳ گرم وزن شد و مقدار ۲۵ mm آب مقطر، به آن اضافه و سپس داخل استوانه فلزی دستگاه

1. RVA-3D Model, Newport Scientific, Sydney, Australia

2. Samsung Galaxy A³, 2016



شکل (۱) سامانه تصویربرداری
Fig 1. Imaging System

ویژگی‌ها، الگوریتم‌هایی در نرم‌افزار متلب (R2015b) نوشته شد. در مجموع بر اساس مطالعات و تحقیقات قبلی صورت گرفته که متکی بر ویژگی‌های شکلی هستند، ۸ ویژگی اندازه‌گیری شد که عبارت‌اند از: مساحت^۲ (محاسبه بر اساس تصویر باینری و با شمارش تعداد پیکسل‌های ناحیه مورد نظر به کمک شمارنده‌های موجود)، ناحیه پوشش داده‌شده^۳، فاصله از مرکز^۴ (فاصله از مرکز یک بیضی برابر با نسبت فاصله بین مراکز بیضی و طول محور اصلی آن)، محیط^۵ (با شمارش تعداد پیکسل‌های مرزی در لبه استخراج شده از تصویر)، میانگین اقطار بیضی^۶ (EqDia)، طول محور بزرگ^۷ (MajDia) (معادل قطر بزرگ بیضی محیط بر شیء)، طول محور کوچک^۸ (MinDia) (معادل قطر کوچک بیضی محیط بر شیء) و یکپارچگی^۹ (برابر با نسبت پیکسل‌های ناحیه به تعداد پیکسل‌های چندضلعی محدب دربرگیرنده شیء). همین‌طور، ویژگی‌های رنگی، شامل میانگین پارامترهای R، G، B، L، a، b به‌عنوان متغیرهای مستقل بررسی شد.

۵.۲. پیش‌پردازش تصویر

حذف نویز یکی از مراحل پیش‌پردازش تصویر است. تصاویری که توسط دوربین‌های CCD گرفته می‌شود، ممکن است دارای انواع نویز باشند. در این مطالعه، پس از تصویربرداری پس‌زمینه کاملاً یکنواخت نبود و نقاط سفیدرنگی در پس‌زمینه دیده می‌شد که به دلیل سفیدی بودن رنگ دانه‌های برنج، در آستانه‌یابی برای قطعه‌بندی تصویر ایجاد مشکل می‌نمود؛ بنابراین قبل از دودویی کردن^۱ تصاویر، یک فیلتر میانگین روی تصاویر اعمال شد و بدین ترتیب پس‌زمینه تصاویر یکنواخت‌تر شدند. سپس تصاویر قطعه‌بندی شدند و به پیکسل‌های متناظر پس‌زمینه مقدار صفر و به پیکسل‌های نمونه، مقدار یک اختصاص داده شد. در نتیجه پس‌زمینه و دانه‌ها به طور یکدست و یکنواخت و به ترتیب، به رنگ سیاه و سفید نشان داده شدند. پس از آن، تصاویر برچسب‌گذاری شدند و به هر دانه یک برچسب اختصاص داده شد تا نمونه‌ها از هم قابل شناسایی باشند.

۶.۲. استخراج ویژگی‌ها

در این تحقیق، ویژگی‌های اندازه و شکل نمونه‌ها از تصاویر استخراج شدند. در این نوع ویژگی‌ها، عموماً خواص هندسی اشیا مورد ارزیابی قرار می‌گیرند [۱۵]. برای استخراج این

2. Area
3. Convex
4. Eccentricity
5. Perimeter
6. Equivalent diameter
7. Major axis length
8. Minor axis length
9. Solidity

1. Binarization

۷.۲. آنالیز داده‌ها

برای پیش‌بینی باید R^2 بالا و $RMSEC$ و $RMSECV$ پایین داشته باشد [۱۷]. مدلی خوب و مناسب که $R^2 \geq 0.70$ باشد [۱۸]. در این تحقیق، تمام مدل‌های کالیبراسیون دارای $R^2_{pre} \geq 0.88$ ، $R^2 \geq 0.89$ و $RMSEC$ و $RMSECV$ بسیار پایینی به دست آمد.

۲.۱.۳. تحلیل داده‌ها

تحلیل داده‌های استخراج شده از پردازش تصویر بر اساس مدل‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی، توسط رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) انجام شد. مدل‌های کالیبراسیون و پیش‌بینی برای پارامترهای کیفی (تیمار با نوردهی با لامپ LED) در رقم هاشمی با $R^2_{cal} \geq 0.91$ و $R^2_{pre} \geq 0.90$ ، در رقم خزر با $R^2_{cal} \geq 0.97$ و $R^2_{pre} \geq 0.96$ و در رقم درفک با $R^2_{cal} \geq 0.89$ و $R^2_{pre} \geq 0.88$ به دست آمد. همچنین، برای تیمار با نوردهی با لامپ‌های LED و فلورسنت در رقم هاشمی با $R^2_{cal} \geq 0.94$ و $R^2_{pre} \geq 0.93$ ، در رقم خزر با $R^2_{cal} \geq 0.99$ و $R^2_{pre} \geq 0.98$ و در رقم درفک با $R^2_{cal} \geq 0.95$ و $R^2_{pre} \geq 0.94$ به دست آمد. به همین ترتیب، برای تیمار با نوردهی به صورت ضد نور در رقم هاشمی با $R^2_{cal} \geq 0.94$ و $R^2_{pre} \geq 0.93$ ، در رقم خزر با $R^2_{cal} \geq 0.93$ و $R^2_{pre} \geq 0.92$ و در رقم درفک با $R^2_{cal} \geq 0.93$ و $R^2_{pre} \geq 0.90$ به دست آمد. همچنین ریشه میانگین مربعات خطای کالیبراسیون و پیش‌بینی برای تمام تیمارها و متغیرهای پاسخ کمتر از 0.0001 به دست آمد.

به جهت مشابهت تحلیل تمامی ارقام برنج در تیمارهای مختلف و محدودیت تعداد صفحات مقاله، نمونه‌ای از اشکال ارائه شده است. نمونه‌ای از داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی (PLS) برای امکان پیش‌بینی میزان آمیلوز در رقم هاشمی، در شکل (۳) نشان داده شده است.

ابتدا، تمام داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار (Unscrambler 9.8) نرمالیزه شدند. سپس، داده‌های پرت با بهره‌گیری از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) مشخص و حذف شدند. نمودار پراکندگی نمونه‌های آزمایش‌های خواص کیفی با کمک نرم‌افزار Excel تهیه و مشخص شد که نمونه‌ها دارای داده‌های پرت نیستند. سپس نمونه‌های باقی مانده به صورت تصادفی به دو دسته؛ کالیبراسیون (۷۵٪ نمونه‌ها) و اعتبارسنجی (۲۵٪ نمونه‌های باقی‌مانده) به ترتیب برای تدوین مدل کالیبراسیون و پیش‌بینی تقسیم شدند. به منظور ایجاد ارتباط بین خواص کیفی اندازه‌گیری شده (متغیرهای وابسته) و داده‌های پردازش تصویر (متغیرهای مستقل) از روش مدل‌سازی رگرسیون حداقل مربعات جزئی^۱ (PLS) از نرم‌افزار (The Unscrambler 9.8, CAMO Software, Oslo, Norway) استفاده شد [۱۶]. برای مقایسه مدل‌های مختلف از پارامترهای آماری ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی^۲ (RMSEP)، ریشه میانگین مربعات خطای کالیبراسیون^۳ (RMSEC) استفاده شد. برای بررسی عملکرد مدل، از ضرایب همبستگی بین متغیرها و نمودار لودینگ^۴ برای هر یک از مدل‌های رگرسیون مشخص و تحلیل شدند.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. تحلیل داده‌های پردازش تصویر

۱.۱.۳. توسعه مدل

نتایج مدل‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی بر اساس رگرسیون PLS نمونه‌های دانه برنج در رقم هاشمی با نوردهی با لامپ LED در جدول شماره (۱) منعکس شده است. همچنین، شکل (۲) نمونه‌ای از مدل کالیبراسیون و اعتبارسنجی متغیر AC در رقم هاشمی را نشان می‌دهد. سیریفولاکول و همکاران گزارش کردند که یک مدل خوب

1. Partial Least Square
2. Root mean square error of prediction
3. Root mean square error of calibration
4. Loading

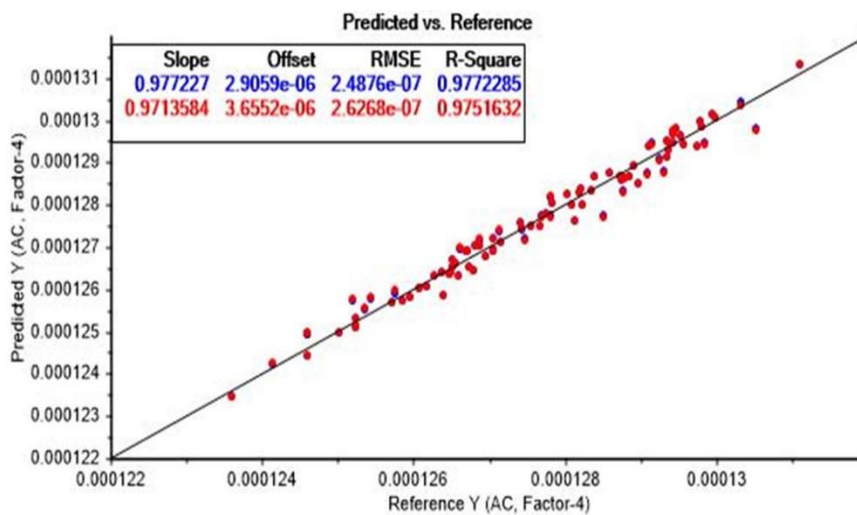
5. Root Mean Square Error of Calibration

6. Root Mean Square Error of Cross-Validation

جدول (۱) مدل‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی بر اساس PLS (تیمار نوردهی با لامپ LED، نوردهی با لامپ LED و فلورسنت و ضد نور) در رقم هاشمی

Table 1. Calibration and validation models based on PLS (treatment with LED lamp, LED+F and Zednoor) in hashemi variety

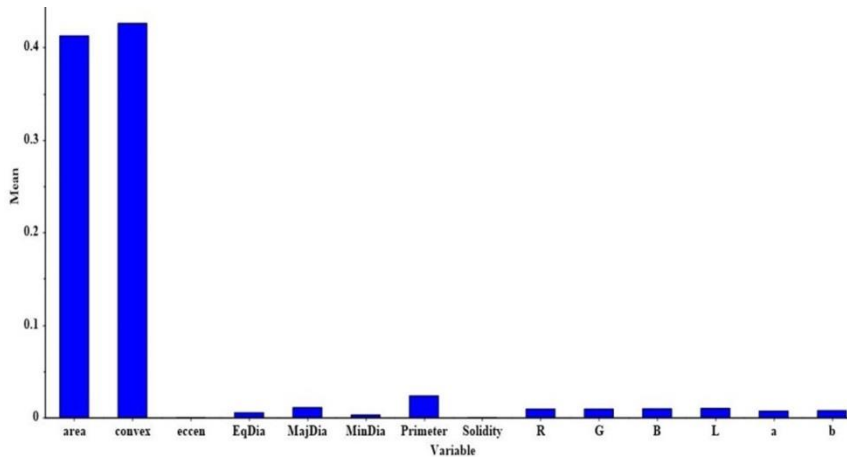
ضد نور Zednoor		LED و فلورسنت		LED		متغیرهای پاسخ Response variables
R^2_{pre}	R^2_{cal}	R^2_{pre}	R^2_{cal}	R^2_{pre}	R^2_{cal}	
0.97	0.98	0.96	0.972	0.97	0.97	میزان آمیلوز Amylose Content
0.93	0.94	0.93	0.94	0.90	0.91	درجه حرارت ژلاتینه‌شدن Gelatinization Temperature
0.98	0.99	0.96	0.97	0.96	0.97	قوام ژل Gel Consistency
0.96	0.97	0.96	0.974	0.97	0.98	میزان پروتئین Protein Content
0.98	0.99	0.96	0.973	0.97	0.98	حداقل چسبندگی Minimum Viscosity
0.98	0.99	0.97	0.98	0.98	0.98	حداکثر چسبندگی Peak Viscosity
0.98	0.99	0.97	0.98	0.98	0.98	چسبندگی نهایی Final Viscosity
0.98	0.99	0.96	0.975	0.97	0.98	فروریختگی چسبندگی Breakdown Viscosity
0.98	0.99	0.95	0.96	0.96	0.97	پس‌روی چسبندگی Setback Viscosity
0.98	0.99	0.96	0.97	0.98	0.98	مدت‌زمان لازم جهت رسیدن به حداکثر چسبندگی Peak Time
0.98	0.99	0.97	0.98	0.97	0.98	درجه حرارت چسبندگی Pasting Temperature



شکل (۲) مدل کالیبراسیون و اعتبارسنجی میزان آمیلوز (AC) در رقم هاشمی
Fig 2. Calibration and validation model of amylose content (AC) in hashemi variety

بیشتر است و متغیرهایی که داخل دو دایره قرار گرفته باشند، تأثیری در معادله رگرسیون ندارند در نتیجه می‌توان آن‌ها را حذف کرد [۱۹].

نمودار لودینگ همبستگی فاکتورهای ۱ و ۲ پیشنهادی نرم‌افزار در رقم هاشمی با تیمار نوردهی با لامپ LED در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳) میانگین متغیرهای مستقل تأثیرگذار در معادلات رگرسیون

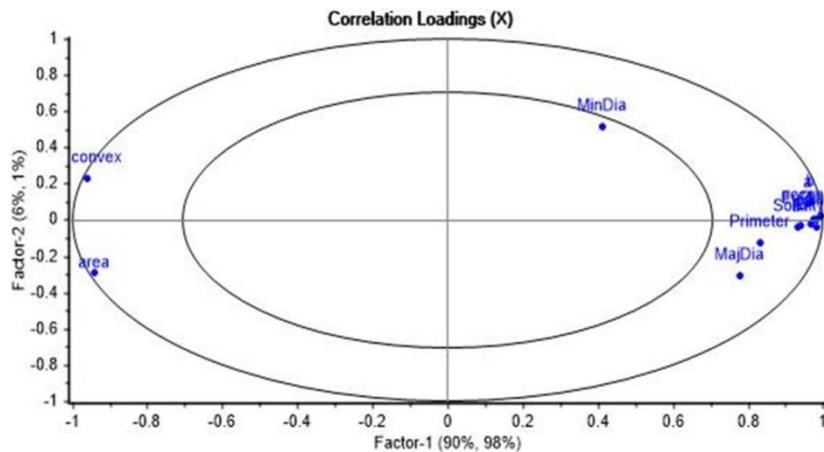
Fig 3. The mean of the independent variables affecting the regression equations

تیمار با نوردهی با لامپ‌های LED و فلورسنت متغیرهای Area و Convex، به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۹- و ۰/۹۹- بیشترین تأثیر در پیش‌بینی متغیرهای پاسخ را دارا هستند. متغیر MinDia با ضریب همبستگی ۰/۹۷- تأثیر کمی در پیش‌بینی متغیرهای پاسخ دارند. با توجه به این‌که سایر متغیرها نزدیک هستند، شرایط یکسانی دارند؛ بنابراین متغیر L که دارای ضریب همبستگی بیشتری است، در نظر گرفته می‌شود؛ به همین ترتیب، در تیمار با نوردهی به صورت ضد نور، متغیر MinDia حذف شد. متغیرهای Area و Convex، به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۶- و ۰/۸۱- بیشترین تأثیر را دارند و از میان متغیرهای با شرایط یکسان Solidity، EqDia، Eccen، یک متغیر انتخابی (Eccen) با ضریب همبستگی ۰/۹۵) تأثیر بسیار ضعیفی در پیش‌بینی دارند که از میان متغیرهای با شرایط یکسان MajDia و Perimeter، متغیر انتخابی (Perimeter) با ضریب همبستگی ۰/۹۰) تأثیر کمی در پیش‌بینی پارامترهای کیفی دارد؛ این امر با نتایج به دست‌آمده توسط [۲۰] مشابهت دارد. میانگین

۲.۳. تحلیل داده‌های رقم هاشمی

در رقم هاشمی برای تیمار نوردهی با لامپ LED، متغیر MinDia که در داخل دو دایره قرار دارد، تأثیر خیلی ضعیفی در معادله رگرسیون دارد؛ بنابراین می‌توان آن متغیر را حذف کرد. متغیرهای Convex و Area به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۶- و ۰/۹۴- بیشترین تأثیر را در معادلات رگرسیون دارند. همچنین، متغیرهای L، EqDia، Eccen و Solidity که نزدیک همدیگر هستند، لذا دارای شرایط یکسانی با هم دارند؛ بنابراین می‌توان تنها یکی از آن‌ها را که دارای ضریب همبستگی بالایی است، در این رقم متغیر Solidity با ضریب همبستگی ۰/۹۸ در نظر گرفته می‌شود که بیشترین تأثیر را در معادله رگرسیون دارد، درحالی‌که با توجه به نمودار میانگین وزنی متغیرهای مستقل کمتری برخوردار است. متغیرهای MajDia و Perimeter به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۷۸ و ۰/۸۳ تأثیر کمی در معادله دارند. متغیرهای B و G شرایط یکسانی دارند، ولی متغیر B، به علت داشتن ضریب همبستگی پایین حذف می‌شود. در

متغیرهای مستقل برای رقم هاشمی در تیمار با نوردهی لامپ LED، در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴) نمودار لودینگ همبستگی فاکتور پیشنهادی نرم‌افزار برای رقم هاشمی با لامپ LED

Fig 4. Loading diagram of correlation coefficient of the proposed software factor for the hashemi variety treatment with LED lamp

ضد نور، متغیر MinDia حذف شد. متغیرهای Area, Eccen و Convex به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۷، ۰/۹۶- و ۰/۷۱- بیشترین تأثیر را دارند. متغیرهای MajDia و Perimeter به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۸۹ و ۰/۹۲ تأثیر ضعیفی در پیش‌بینی پارامترها دارند. از میان متغیرهای با شرایط یکسان Solidity و EqDia متغیر انتخابی (Solidity با ضریب همبستگی ۰/۹۶) تأثیر کمی در پیش‌بینی پارامترهای کیفی دارند. که این با نتایج به دست آمده توسط مابود و همکاران [۲۰] مشابهت دارد.

۴.۳. تحلیل داده‌های رقم درفک

در رقم درفک برای تیمار با نوردهی با لامپ LED، متغیر MinDia تأثیری در معادلات رگرسیون ندارد، در نتیجه می‌توان آن متغیر را حذف کرد. متغیرهای Area و Convex به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۹- و ۰/۹۹- بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی پارامترهای کیفی دارند. همچنین، متغیرهای G, a, b, L, EqDia, Eccen و Solidity که نزدیک همدیگر هستند، شرایط یکسانی دارند؛ از این رو تنها یکی از آن‌ها (Solidity با ضریب همبستگی ۰/۹۴) را می‌توان در نظر گرفت که بیشترین تأثیر را در معادله

۳.۳. تحلیل داده‌های رقم خزر

در رقم خزر، برای تیمار با نوردهی با لامپ LED، متغیرهای Area و Convex، Perimeter به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۳، ۰/۹۹- و ۰/۹۹- بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی متغیرهای پاسخ دارند. متغیرهای MinDia، MajDia و a تأثیر بسیار ضعیفی در پیش‌بینی پارامترها دارند. همچنین، متغیرهای R, G, b, L, EqDia, Eccen و Solidity، نزدیک همدیگر هستند؛ بنابراین شرایط یکسانی دارند لذا می‌توان تنها یکی از آن‌ها را که دارای ضریب همبستگی بالایی دارند در نظر گرفت که این رقم متغیرهای Solidity و L با ضریب همبستگی ۰/۹۹ در نظر گرفته می‌شود، بیشترین تأثیر را در معادله رگرسیون دارد. همچنین در تیمار با نوردهی با لامپ‌های LED و فلورسنت، متغیرهای Area، Convex و MinDia به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۹-، ۰/۹۹- و ۰/۹۷ بیشترین تأثیر در پیش‌بینی پارامترهای کیفی دارند. سایر متغیرها با توجه به نزدیکی بسیار زیادی که با هم دارند، دارای شرایط یکسانی هستند. به همین لحاظ، یکی از آن متغیرها که ضریب همبستگی بالایی (L یا Solidity با ضریب همبستگی ۰/۹۹) دارد، انتخاب شد. به همین ترتیب، در تیمار با نوردهی به صورت

کیفی دارد. این امر با نتایج به دست آمده توسط مابود و همکاران [۲۰] مطابقت دارد.

۴. نتیجه‌گیری

پیش‌بینی غیر مخرب خواص کیفی نمونه‌های تک دانه برنج در ارقام هاشمی، خزر و درفک، با استفاده از فناوری پردازش تصویر انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌های استخراج شده از پردازش تصویر، براساس مدل‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی توسط رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) نشان داد که دقت پیش‌بینی پارامترهای کیفی برنج برای تیمارهای با نوردهی لامپ LED، نوردهی با لامپ‌های LED و فلورسنت و نوردهی به صورت ضد نور، به ترتیب $R^2_{cal} 0/89$ و $R^2_{pre} \geq 0/94$ ، $R^2_{cal} \geq 0/95$ ، $R^2_{pre} \geq 0/88$ و $R^2_{pre} \geq 0/90$ تخمین زده شد.

این نتیجه حاصل شد که متغیرهای Area و Convex، بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی خواص کیفی برنج داشتند. از میان سه تیمار مطالعه شده بهترین تیمار (نوردهی با لامپ‌های LED و فلورسنت) با دقت پیش‌بینی بیشتر از ۰/۹۴ به دست آمد. همچنین، با استفاده از فناوری پردازش تصویر با هزینه کمتر، می‌توان برخی پارامترهای کیفی دانه برنج را تخمین زد.

رگرسیون دارد ولی از لحاظ وزنی، میانگین پایینی دارند، به همین جهت، تأثیر چندانی در معادلات رگرسیون ندارند. متغیرهای MajDia و Perimeter به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۸۷ و ۰/۸۸ تأثیر ضعیفی در پیش‌بینی پارامترهای کیفی دارند. همچنین، در تیمار با نوردهی، با لامپ‌های LED و فلورسنت، متغیر MinDia به لحاظ قرار گرفتن در داخل دوایر، حذف می‌شود. متغیرهای Area و Convex، به ترتیب با ضریب همبستگی -۰/۹۹ و -۰/۹۹، بیشترین تأثیر در پیش‌بینی پارامترهای کیفی دارند. متغیرهای a، MajDia و Perimeter، به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۸۵، ۰/۸۷ و ۰/۸۷ به دلیل قرارگیری در داخل بیرونی نمودار لودینگ، تأثیر ضعیفی در پیش‌بینی پارامترها دارند. سایر متغیرها با توجه به نزدیکی همدیگر دارای شرایط یکسانی هستند؛ لذا یکی از آنها (Solidity) با ضریب همبستگی (۰/۹۴) انتخاب شد. به همین ترتیب، در تیمار با نوردهی به صورت ضد نور، متغیر MinDia حذف شد. متغیرهای Area و Convex به ترتیب با ضریب همبستگی -۰/۷۱ و -۰/۹۹ بیشترین تأثیر را دارند و از میان متغیرهای با شرایط یکسان Solidity، EqDia و Eccen، یک متغیر انتخابی (Solidity) با ضریب همبستگی (۰/۷۷) تأثیر بسیار ضعیفی در پیش‌بینی دارند. از میان متغیرهای با شرایط یکسان MajDia و Perimeter، متغیر انتخابی (Perimeter) با ضریب همبستگی (۰/۶۹) تأثیر کمی در پیش‌بینی پارامترهای

منابع

- [1] Vithu, P., Tech, M., & Moses, J. A. (2016). Machine vision system for food grain quality evaluation: A review. *Journal of Trends In Food Science & Technology*, 56, 13-20.
- [2] Tomlins, K., Manful, J., Gayin, J., Kudjawu, B., & Tamakloe, I. (2007). Study of sensory evaluation, consumer acceptability, affordability and market price of rice. *J. Sci. Food Agric.*, 87, 1564-1575.
- [3] Kuchekar, N. A., & Yerigeri, V. V. (2018). Rice Grain Quality Grading Using Digital Image Processing Techniques. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, 13 (3), 84-88.
- [4] Wang, N. N., Sun, D. W., Yang, Y. C., Pu, H., & Zhu, Z. (2016). Recent Advances in the Application of Hyper spectral Imaging for Evaluating Fruit Quality. *Food Analytical Methods*, 9, 178-191.
- [5] Maheshwari, C.V, Jain, K. R., & Modi, C.K. (2012). Non-destructive quality analysis of Indian Basmati Oryza sativa SSP indica (Rice) using image processing, *In: Int. Conf. on Communication Systems and Network Technologies (CSNT)*, (pp. 189-193), 10-14 May, Rajkot, India.
- [6] Mousavirad, S.J., Tab, F.A., & Mollazade K. (2012). Design of an Expert System for Rice Kernel Identification Using Optimal Morphological Features

- and Back Propagation Neural Network. *International Journal of Applied Information Systems*, 3(2), 33-37.
- [7] Vidya, P., & Malemath, V. S. (2015). Quality Analysis and Grading Of Rice Grain Images. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 3(6), 5672-5678.
- [8] Mittal, S., Dutta, M. K., & Issac, A. (2019). Non-destructive image processing based system for assessment of rice quality and defects for classification according to inferred commercial value. *Measurement*, 148, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106969>.
- [9] Nalladurai, K., Alagusundaram, K., & Gayathri, P. (2003). Effects of variety and moisture content on the engineering properties of paddy and rice. *The American Medical Association (AMA)*, 34(2), 47-52.
- [10] Juliano, B. (1971). A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Science Today*, 16, 334-360.
- [11] Champagne, E., Bett, K., Vinyard, B., McClung, A., Barton, F., Moldenhauer, K., Linscombe, S., & McKenzie, K. (1999). Correlation between cooked rice texture and Rapid Visco Analyses measurements. *Cereal Chemistry*, 76, 764-771.
- [12] Cagampang, G. (1973). A gel consistency test for eating quality of rice. *Journal Sci. Food and Agric.*, 24(12), 1589-94.
- [13] Xu, Y. L., Xiong, S. B., Li, Y. B., & Zhao, S. M. (2008). Study on creep properties of indica rice gel. *Journal of Food Engineering*, 86, 10-16.
- [14] Kesarwani, A., Chiang, P., & Chen, S. (2016). Rapid Visco Analyzer Measurements of japonica Rice Cultivars to Study Interrelationship between Pasting Properties and Farming System. *International Journal of Agronomy*, 3595326, 1-6.
- [15] Patel, K., Kar, A., Jha, S., & Khan, M. (2012). Machine vision system: a tool for quality inspection of food and agricultural products. *J. Food Sci Technol.*, 49(2), 123-141.
- [16] Chen, J., Miao, Y., Sato, S., & Zhang, H. (2008). Near infrared spectroscopy for determination of the protein composition of rice flour. *J. Food Science Technology Research*, 14(2), 132-138.
- [17] Siriphollakul, P., Nakano, K., Kanlayanarat, S., Ohashi, S., Sakai, R., Rittiron, R., & Maniwaru, P. (2017). Eating quality evaluation of KhaoDawk Mali 105 rice using near infrared spectroscopy. *LWT - Food Science and Technol.*, 79, 70-77.
- [18] Nicolai, B., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K., & Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 99-118.
- [19] Heidarbeigi, K., Mohtasebi, S. S., Foroughirad, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Rafiee, S., & Rezaei, K. (2015). Detection of adulteration in saffron samples using electronic nose. *International Journal of Food Properties*, 18(7), 1391-1401.
- [20] Mabood, F., Hussain, J., Jabeen, F., Abbas, G., Allaham, B. A., Albroumi, M., & Haq, Q. M. (2018). Applications of FT-NIRS combined with PLS multivariate methods for the detection & quantification of saccharin adulteration in commercial fruit juices. *Food Addit Contam.*, 35(6), 1052-1060.

*Research Article***Predicting Some Quality Properties of Different White Rice Varieties by Image Processing Technology**

N. Fazeli Bourestan¹, A. H. Afkari Sayyah^{*2}, E. Taghinezhad³

1. Ph.D. candidate, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil.

2. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil.

3. Associate Professor, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources Moghan, University of Mohaghegh Ardabili, Parsabad.

Abstract

Rice is one of the most common and most consumed foods in the world. Quality properties are among the most important factors in determining the cooking and processing characteristics of rice. One of the major problems in the food industry is predicting quality properties. Therefore, in this study, it is possible to predict amylose content (AC), gelatinization temperature (GT), gel consistency (GC), protein content (PC), minimum viscosity (MV), peak viscosity (PV), final viscosity (FV), breakdown viscosity (BDV) and setback viscosity (SBV) of 100 single grain rice samples of Hashemi, Khazar and Dorefak using image processing technology in three exposure treatments including high exposure with LED lamp, high exposure with LED lamp and fluorescent and Anti-light exposure. Calibration models were developed by multivariate linear least squares (PLS) regression. Calibration coefficients of variables AC, GT, GC, PC, MV, PV, FV, BDV and SBV in Hashemi, Khazar and Darfak varieties for all treatments were $R^2_{cal} \geq 0.89$, $R^2_{cal} \geq 0.95$, and $R^2_{cal} \geq 0.92$ respectively. prediction coefficients were obtained with $R^2_{pre} \geq 0.88$, $R^2_{pre} \geq 0.94$ and $R^2_{pre} \geq 0.90$, respectively. The results of PLS regression showed that the variables derived from the shape and size characteristics and color variables R, G, B, L, a and b of image processing were able to predict the rice quality parameters with good accuracy. As a result, using low-cost, non-destructive image processing technology can predict some of the qualitative properties of rice.

Keywords: Image processing, Quality properties, Rice single kernels.

* Corresponding Author: ahafkari@uma.ac.ir