



## برآورد میزان دو آنزیم PPO و POD موز با استفاده از پردازش تصاویر دیجیتالی و آنالیز رگرسیونی چندگانه در طول دوره انبارمانی

مریم سلطانی کاظمی<sup>۱</sup>، سامان آبدانان مهدی‌زاده<sup>۲\*</sup>، مریم نداف‌زاده<sup>۱</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع

طبیعی خوزستان

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

(تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۱۰، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۶/۱۰/۱، تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۱)

### چکیده

پلی فنل اکسیدازها (PPO) و پراکسیدازها (POD) آنزیم‌هایی هستند که باعث قهوه‌ای شدن بافت میوه‌ها و سبزی‌ها، ایجاد ظاهری نامناسب و کاهش کیفیت در آن‌ها می‌شوند. هدف از این تحقیق بررسی تغییرات فعالیت آنزیم‌های PPO و POD موز طی شرایط انبارمانی در دمای اتاق (۲۵ °C) می‌باشد. بدین منظور طی مدت زمان انبارمانی در روزهای صفر، ۳، ۶ و ۹ با انجام عملیات پردازش تصویر، پارامترهای فرکتالی و رنگی از تصاویر نمونه‌ها استخراج و سپس فعالیت آنزیمی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش آنالیز فرکتال به منظور بررسی پدیده‌ی قهوه‌ای شدن آنزیمی برای موز پیشنهاد داده شد؛ از مجموعه تصاویر اخذ شده، ۲ ویژگی بافت فرکتالی (FDIac و FDavg) و ۶ ویژگی رنگی (a\*, b\*, L\*, g, r) به منظور توسعه مدل رگرسیونی بررسی شدند. در نهایت نشان داده شد که ویژگی‌های فرکتالی FDIac و FDavg از توانایی بیشتری نسبت به ویژگی‌های رنگی جهت پیشگویی آنزیم‌های POD (R<sup>2</sup>=۰/۹۰۳) و PPO (R<sup>2</sup>=۰/۸۹۶) برخوردار هستند. بدین ترتیب در مجموع می‌توان گفت که پردازش تصاویر دیجیتالی و رگرسیون چندگانه در پیشگویی آنزیم‌های PPO و POD دارای عملکرد مطلوب و قابل قبولی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: موز، قهوه‌ای شدن آنزیمی، آنزیم‌های PPO و POD، بعد فرکتال، رگرسیون چندگانه.

## ۱. مقدمه

قادر به اندازه‌گیری رنگ و دیگر عوامل فیزیکی محصولات می‌باشند [۹]. سیستم‌های تجزیه و تحلیل تصویر نقش مهمی در ارزیابی کیفیت غذا با حفظ دقت و ثبات ایفا می‌کنند. اندازه‌گیری رنگ با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل تصویر سبب شده است که تحلیل تصویر برای تشخیص تغییرات رنگ در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گیرد [۱۰، ۱۱].

بافت را می‌توان به صورت یک تابع از تغییرات مکانی شدت روشنایی پیکسل‌ها تعریف نمود. در واقع آنالیز بافت در پردازش تصویر اندازه‌گیری میزان تغییرات در خصوصیات مانند صافی، نرمی، زبری و نظم در سطح است. آنالیز بافت نیز به منظور تجزیه و تحلیل تصویر، برای اندازه‌گیری میزان این تغییرات در تصاویر به کار می‌رود. در بعضی واقع بافت تصویر نشان دهنده تغییر در مقادیر شدت پیکسل بوده و ممکن است حاوی اطلاعاتی درباره رنگ و ساختار هندسی اشیاء نیز باشد. در حقیقت، صنعت غذا یکی از ۱۰ صنعت برتر است که به طور مرتب از بینایی کامپیوتر و آنالیز بافت تصویر استفاده می‌کنند [۱۲]. روش‌های زیادی برای ارزیابی بافت تصویر وجود دارند از جمله آن‌ها می‌توان به بافت آماری [۱۳]، بافت ساختاری [۱۴]، مدل مبتنی بر بافت [۱۵] و مدل مبتنی بر تبدیل بافت [۱۶] اشاره نمود. در همین راستا در پژوهشی به منظور به دست آوردن مقادیر ابعاد فرکتال (FD) از آنالیز بافت با به کارگیری تبدیل فوریه در ارزیابی فرایند قهوه‌ای شدن قارچ، گلابی و سیب در طول زمان استفاده شده است [۱۷، ۱۸]. در پژوهشی دیگر نیز از مقدار فرکتال به دست آمده از تجزیه و تحلیل تبدیل فوریه بافت فرکتال به منظور تعیین لکه‌های پیر بر روی میوه موز استفاده شد؛ بر اساس نتایج مشخص گردید که مقدار فرکتال در طی زمان افزایش می‌یابد؛ بدین ترتیب در بررسی‌های اولیه ثابت شده است که از مقادیر FD می‌توان به عنوان شاخص قهوه‌ای شدن در میوه‌ها استفاده نمود [۱۹]. هم‌چنین آنالیز فرکتال به منظور توصیف سنتیک قهوه‌ای شدن آنزیمی برش‌های تازه میوه سیب گلاب استفاده گردید [۲۰]. لذا هدف از این مطالعه ارزیابی فرایند قهوه‌ای شدن پوست موز طی شرایط انبارمانی در دمای اتاق (۲۵ °C) با استفاده از تجزیه و تحلیل تصویر و تأیید صحت این روش از طریق مقایسه با آزمون حسی و سنجش فعالیت آنزیم‌های PPO و POD و هم‌چنین توسعه مدل‌هایی به منظور پیش‌بینی فعالیت این آنزیم‌ها می‌باشد.

موز با نام علمی *Musa spp.* از جمله میوه‌های مفید و مغذی می‌باشد که در مناطق جنوبی کشور کشت می‌شود. این میوه جزء میوه‌های فرازگر است و به همین خاطر در مرحله بلوغ چیده می‌شود. عوامل مختلفی هم‌چون عوامل بیولوژیکی و زیست-محیطی، روش‌های برداشت و جابه‌جایی محصول، طول دوره و نوع انبارداری بر خواص مختلف محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارند. اثر این عوامل بر میوه‌ها بارز بوده و پیامدهای اقتصادی قابل توجهی در بردارند.

پوست موز پس از برداشت دچار یک سری اختلالات فیزیولوژیکی می‌شود که به این پدیده، قهوه‌ای شدن می‌گویند. تاکنون مطالعات متعددی پیرامون قهوه‌ای شدن آنزیمی در میوه‌ها و سبزی‌ها انجام شده است؛ این پدیده نتیجه تبدیل مواد فنولی به کینون‌ها توسط آنزیم‌های پلی فنول اکسیداز و پراکسیداز می‌باشد، و در نهایت منجر به تولید نقاط قهوه‌ای بسیار کوچک می‌شوند؛ اما به مرور زمان در سراسر پوست، شدت رنگ و اندازه آن‌ها افزایش می‌یابد [۱]. با گذشت زمان لکه‌ها توسعه یافته و هم‌چنین رنگ آن‌ها قهوه‌ای تیره یا حتی سیاه شده و شکل چاله ماندنی را بر روی سطح میوه تشکیل می‌دهند [۲]. بسیاری از پژوهشگران در پی برقراری رابطه‌ای بین درجه قهوه‌ای شدن، محتوای فنولی و میزان اکسایش توسط آنزیم‌های موجود در میوه‌ها بوده‌اند [۳]. از طرف دیگر قهوه‌ای شدن علاوه بر ایجاد تغییرات در خصوصیات کیفی و ظاهری از قبیل بافت، رنگ، طعم و ارزش تغذیه‌ای باعث کاهش قیمت میوه‌ها در بازار و در برخی موارد به حذف کامل آن‌ها منجر می‌شود [۴]. پدیده قهوه‌ای شدن میوه موز، نتیجه برهم کنش پیچیده‌ای بین فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز (PPO) و پراکسیداز (POD) و محتوای مواد فنولی می‌باشد [۵]. به طور معمول، میزان قهوه‌ای شدن آنزیمی با استفاده از شاخص‌های بیوشیمیایی نظیر میزان آنزیم پلی فنل اکسیداز [۶] و یا شاخص‌های فیزیکی از قبیل تغییرات رنگ سطح ماده [۷] اندازه‌گیری می‌شود. گاهی آن را می‌توان با تکنیک‌های ابزارسنجی تشخیص داد [۸]. با این حال، تکنیک‌های رنگ‌سنجی قادر به اندازه‌گیری میانگین مقادیر رنگ و اندازه محصولات نخواهند بود. بنابراین تحلیل روش‌های کامپیوتری به عنوان یک روش جایگزین است، که علاوه بر غلبه بر خطای بصری و ابزاری،

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. جمع آوری نمونه‌ها

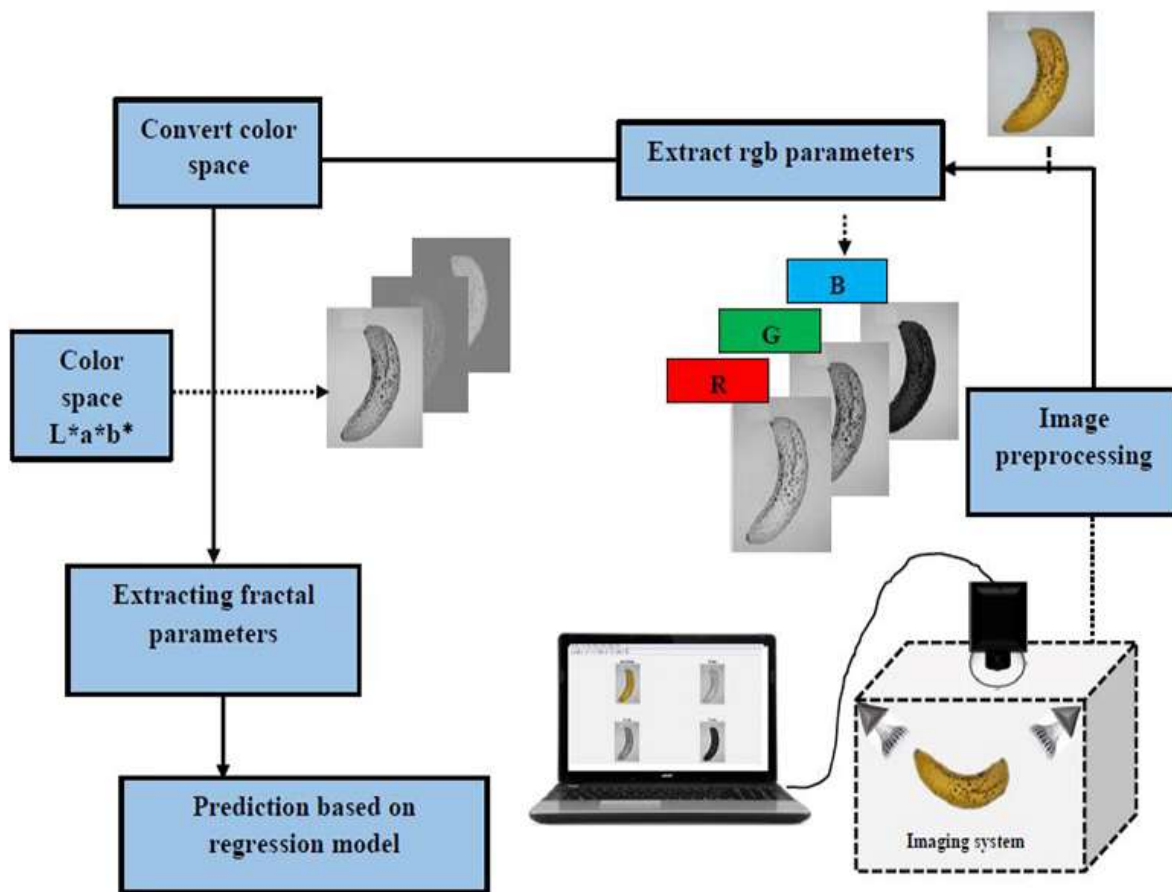
در این پژوهش تعداد ۴۰ عدد موز با پوست سالم و بدون لکه از بازار تهیه گردیدند. این نمونه‌ها درون پوششی کاغذی، در یک محیط تاریک و در دمای اتاق ( $25^{\circ}\text{C}$ ) به مدت ۹ روز نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها در روزهای صفر (شاهد)، سوم، ششم و نهم از لحاظ فعالیت آنزیم‌های پلی فنول اکسیداز و پراکسیداز با استفاده از دو روش مخرب (روش آزمایشگاهی) و غیرمخرب (آنالیز و پردازش تصاویر) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

### ۲.۲. سامانه اخذ و تحلیل تصاویر

در مرحله اول جعبه‌ای چوبی در ابعاد طول، عرض و ارتفاعی برابر ۲۵ سانتی‌متر تهیه گردید. تصاویر با استفاده از دوربین

دیجیتال CASIO (مدل Exilim EX-ZR700، ۱۶ مگا پیکسل، ساخت کشور ژاپن) اخذ گردیدند. دوربین به گونه‌ای در درب جعبه قرار داده شده که لنز دوربین به‌طور کامل عمود بر کف جعبه قرار داشت. به‌منظور فراهم نمودن نور مورد نیاز از دو لامپ فلئورسنت که با لنز دوربین از نظر موقعیت، زاویه ۴۵ درجه داشتند، استفاده گردید؛ سپس به‌منظور استخراج پارامترهای مورد نظر به رایانه منتقل گردیدند. شماتیک سامانه اخذ و پردازش تصویر در شکل (۱) نشان داده شده است. بعد از گرفتن تصویر و حذف نویز، تصاویر با استفاده از روش آستانه‌گذاری اتسوا<sup>۱</sup> بخش‌بندی شده و در نهایت برچسب‌زنی<sup>۲</sup> انجام شد [۲۱، ۲۲]. شایان ذکر است که کلیه تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته بر روی تصاویر در نرم افزار MATLAB R2013a انجام پذیرفت.

1. Otsu
2. Label



شکل (۱) دیاگرام روند نمای پردازش تصویر

Fig. 1 Diagram of image processing



## ۳.۲. اندازه‌گیری آنزیم پلی فنل اکسیداز (PPO)

### ۳.۲.۱. تهیه عصاره آنزیمی

برای آماده‌سازی عصاره آنزیمی، ۵ گرم از پوست موز در حین اضافه کردن ۵۰ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم، در هاون خرد و کوبیده شدند. لازم به ذکر است که عمل عصاره‌گیری بر روی یخ خرد شده انجام پذیرفت. سپس ۱۰ میلی‌لیتر از محلول به‌دست آمده، به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و مایع رویی به‌عنوان عصاره مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ها در هنگام عصاره‌گیری و بعد از آن تا زمان قرائت درون یخ خرد شده قرار داده شدند.

### ۳.۲.۲. تهیه سوپسترای واکنش آنزیمی

در این آزمایش از اسید آمینه تیروزین ( $C_9H_{11}NO_3$ ) محصول شرکت مرک (آلمان) به‌عنوان سوپسترای واکنش استفاده شد که تحت اثر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز اکسید می‌شود. برای تهیه محلول ۱ میلی مولار تیروزین، ابتدا مقدار ۰/۰۷۲ گرم تیروزین درون ظرفی ریخته و با آب دوبار تقطیر به حجم ۴۰ میلی‌لیتر رسانده شد تا محلول ۱۰ میلی مولار تیروزین آماده شود. سپس مقدار ۱ میلی‌لیتر از محلول پایه با آب مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

### ۳.۲.۳. سنجش فعالیت آنزیم

برای سنجش فعالیت پلی فنل اکسیداز (PPO) با توجه به روش پیشنهادی [۲۳] مقدار ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار، ۱ میلی‌لیتر تیروزین ۱ میلی مولار و ۹۰۰ میکرولیتر آب دو بار تقطیر درون کووت ریخته شده و مقدار ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن اضافه شد و میزان افزایش جذب در طول موج ۲۸۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل AE-S60-4U، ساخت کشور چین) طی مدت زمان یک دقیقه ثبت گردید. با افزایش زمان سوپسترای بیش‌تری با فعالیت آنزیم به فراوره واکنش تبدیل می‌شود. میزان فعالیت آنزیم بر حسب units/g/min محاسبه شد.

### ۴.۲. اندازه‌گیری آنزیم پراکسیدازها (POD)

برای آزمایش POD، محلول واکنش ۳ میلی‌لیتر حاوی ۱ میلی‌لیتر  $H_2O_2$  با غلظت ۳٪، ۹۵۰ میکرولیتر گویاکول ۰/۲٪، ۱

میلی‌لیتر از بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی مولار (pH=۷) و عصاره آنزیم ۵۰ میکرولیتر با هم مخلوط شدند، در نهایت افزایش جذب در ۶۰ ثانیه در ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید [۲۴].

### ۵.۲. آنالیز بافت تصاویر

در ابتدا تصاویر اخذ شده از فضای رنگی RGB به فضای رنگی Lab تبدیل شدند. این تبدیل، سه پارامتر مربوط به شدت یک تصویر را در اختیار ما قرار می‌دهد؛ که کانال  $L^*$ ، کانال  $a^*$  و کانال  $b^*$  هستند. با رسم مختصات پیکسلی ( $x, y$ ) در برابر سطوح رنگ در راستای محور  $Z$  می‌توان شدت سطوح (SI) از کانال  $L^*$  ( $SI_L^*$ )، کانال  $a^*$  ( $SI_a^*$ ) و کانال  $b^*$  ( $SI_b^*$ ) را به‌دست آورده و در نهایت مقادیر  $SI_L^*$ ،  $SI_a^*$  و  $SI_b^*$  را با استفاده از تئوری فرکتال محاسبه نمود [۱۵]. فرکتال‌ها مجموعه‌ای از روابط ریاضی می‌باشند که توانایی مدل‌سازی بسیاری از فرایندهای پیچیده هندسی و پدیده‌های طبیعی را دارند؛ به‌علاوه مفهوم نوینی است که امکان توصیف پیچیدگی‌های اشکال طبیعی را فراهم می‌نماید. کشف مفاهیم فرکتال ابزار نیرومندی برای توصیف بی‌نظمی‌ها را در اختیار ما قرار می‌دهد [۲۵]. ساختار اولیه خود متشابه و نامنظم در طبیعت به‌عنوان فرکتال نامیده می‌شود، که ساختاری هندسی است متشکل از اجزایی که با بزرگ کردن هر جزء از شکل به نسبتی معین به‌دست آید. به عبارتی دیگر ساختاری است که هر جزء از آن شکل با کل شکل همانند است. مقدار بعد فرکتالی برای سطوح ناهموار خیلی بیش‌تر از صاف می‌باشد. بافت فرکتال تصاویر را می‌توان با استفاده از بعد فرکتال (FD) مشتق شده از مقیاس پاورلا تعیین نمود [۲۶، ۲۷]. روش فوریه فرکتال جهت محاسبه بعد فرکتال برای یک تصویر دو بعدی از هر کانال رنگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. طیف فوریه نمایشی از دامنه اجزای فرکانسی مختلف یک تصویر دو بعدی است که با استفاده از تبدیل فوریه سریع از حوزه فضایی به حوزه فرکانس تبدیل شده است. فرکانس‌های مختلف در طیف فوریه در فواصل و جهات مختلف از مبدأ قرار گرفته‌اند. در این پژوهش پس از در نظر گرفتن انتقال فوریه از ناحیه مورد نظر در ۲۴ جهت بر روی تصویر، مقدار طیف شدت فوریه از سطح به‌عنوان تابعی از فرکانس محاسبه شد. در نهایت با رسم لگاریتم تغییرات اندازه ضرایب فوریه در توان ۲ در مقابل رسم لگاریتم تغییرات فرکانس‌ها، می‌توان مقادیر پارامترهای FD شامل میانگین بعد فرکتال

مدل رگرسیون ساده برای هر یک از پارامترهای مستقل، برازش می‌شود و برای هر مدل رگرسیون ساده آماری، مقدار آماره  $F$  محاسبه می‌گردد. متغیر مستقلی که دارای مقدار آماره  $F$  بزرگ‌تری است برای افزودن به مدل انتخاب می‌شود. چنانچه  $F$  مربوط به این متغیر مستقل انتخاب شده از ۱ بزرگ‌تر باشد، آن‌گاه متغیر مستقل مربوطه به مدل افزوده می‌شود، در غیر این صورت، افزودن این متغیر مستقل به مدل، چندان مفید نخواهد بود. سرانجام مجموعه‌ای که با افزودن پارامتر مستقل دیگر در سطح  $\alpha$ ، افزایش معنی‌داری در آماره  $F$  ایجاد نکند، به‌عنوان بهترین ترکیب ورودی برای مدل‌سازی انتخاب می‌گردد [۳۱].

### ۷.۲. ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی مورد بررسی در این پژوهش شامل رنگ و ظاهر، طعم و رایحه و بافت بودند. لذا ۱۰ نفر ارزیاب زن و مرد (محدوده سنی ۲۰-۳۰) انتخاب و در مورد ویژگی‌های کیفی و ارزیابی بافت موز و شیوه امتیازدهی، آموزش دیدند. داوران بر اساس پارامترهای مورد ارزیابی موز امتیازدهی کلی از ۱ تا ۱۰ به نمونه‌های موز اختصاص دادند [۳۲].

### ۸.۲. تحلیل آماری

تحلیل آماری بر پایه صفات مخرب (PPO و POD) و غیرمخرب ( $FDIac$ ،  $FDavg$ ،  $r$ ،  $g$ ،  $b$ ،  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$ ) در ۴ زمان ننگه‌داری (صفر، ۳، ۶ و ۹ روز) در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۱۰ تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم افزار SAS 9.3 و در سطح معنی‌داری ۵ درصد صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چندمقیاسه‌ای دانکن انجام پذیرفت. نمودارها با نرم افزار Excel و MATLAB R2013a ترسیم گردید.

### ۳. نتایج و بحث

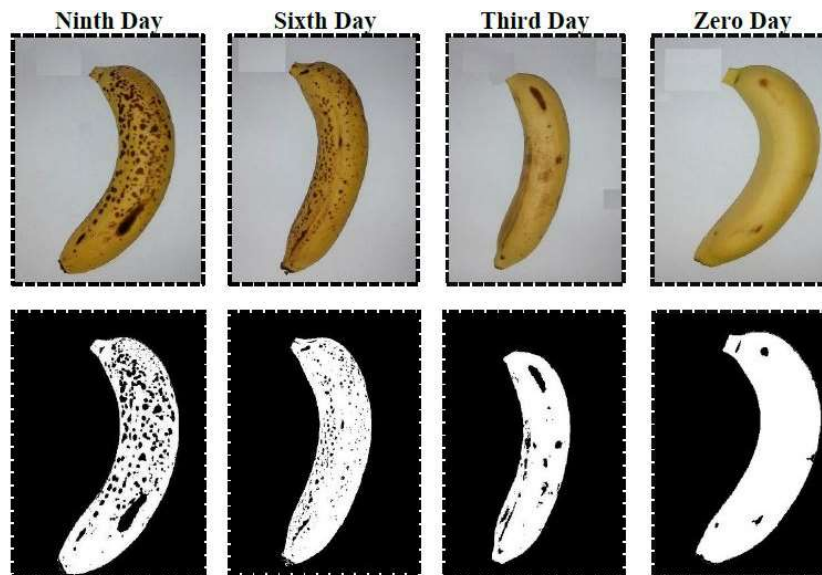
شکل (۲) فرایند قهوه‌ای شدن پوست موز و ایجاد لکه‌های قهوه‌ای در روزهای صفر (شاهد)، ۳، ۶ و ۹ انبارمانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۲) مشخص است در طول فرایند انبارمانی تعداد این لکه‌ها افزایش می‌یابد که با نتایج پژوهش چو و همکاران [۵] همسو می‌باشد. در ادامه تأثیر این لکه‌ها بر

( $FDavg$ ) و حفره‌های بعد فرکتال ( $FDIac$ ) را به‌دست آورد؛  $FDIac$  برابر با ابعاد فرکتال است که ضمن توصیف بافت یک فرکتال به اندازه حفره‌های توزیع شده مربوط می‌شود. به‌طور کلی، اگر یک فرکتال دارای شکاف‌ها یا حفره‌های بزرگ باشد، به این معنی است که زاویه بالا می‌باشد؛ از سوی دیگر، اگر فراکتال تقریباً غیر قابل تغییر باشد، دارای زاویه کم است.

### ۶.۲. روش رگرسیون خطی چندمتغیره به روش گام به گام

در این مطالعه از روش رگرسیون چند متغیره به‌منظور برآورد آنزیم‌های موجود در میوه موز (PPO و POD) استفاده گردید. به‌طور کلی تحلیل رگرسیون چند متغیره از جمله تکنیک‌های آماری است که برای آزمون تجربی روابط نظری در میان مجموعه‌ای از متغیرها، انجام آزمون فرضیه و رتبه‌بندی سهم نسبی عوامل، مفید است [۲۸]. همچنین این روش تحلیلی، از جمله روش‌هایی است که قابلیت پیش‌بینی روابط میان متغیرها را داراست [۲۹]. تحلیل رگرسیون چند متغیره؛ شامل چهار روش توأم، گام به گام، حذف پسرو و پیشرو است [۳۰].

در ارتباط با مدل تحلیلی رگرسیون گام به گام می‌توان گفت زمانی که تعداد عوامل ورودی مؤثر ( $n$ ) بر پدیده‌ای کم باشند، می‌توان با بررسی تمام ترکیبات ممکن و مقایسه خطا در مدل‌های مختلف رگرسیونی، بهترین مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی آن پدیده را به‌دست آورد. اما وقتی تعداد عوامل ورودی، افزایش می‌یابد؛ برای ارزیابی کلیه رگرسیون‌های ممکن، به حجم محاسبات زیادی نیاز است. بنابراین روش‌های مختلفی ایجاد شده است که صرفاً تعداد کمی از مدل‌های رگرسیون دارای زیر مجموع‌های از متغیرها را در یک زمان بررسی می‌کنند. این روش‌ها عموماً به گام به گام معروف هستند [۳۱]. در روش رگرسیون گام به گام که بر اساس مدل رگرسیون خطی بنا نهاده شده است، برای قضاوت این که آیا در هر مرحله، باید یک متغیر مستقل جدید به مدل افزوده شود یا خیر، یک سطح انتخاب می‌شود که در این مطالعه سطح معنی‌داری برابر با ۰/۰۵ انتخاب شد. این روش با این فرض شروع می‌شود که هیچ متغیر مستقلی در مدل حضور ندارد و فقط عرض از مبدأ وجود دارد. اولین متغیر مستقل که برای ورود به معادله انتخاب می‌شود متغیری است که بزرگ‌ترین همبستگی ساده را با متغیر وابسته  $Y$  دارد. سپس یک متغیر مستقل برای ورود به مدل، برگزیده می‌شود. به بیان دیگر،



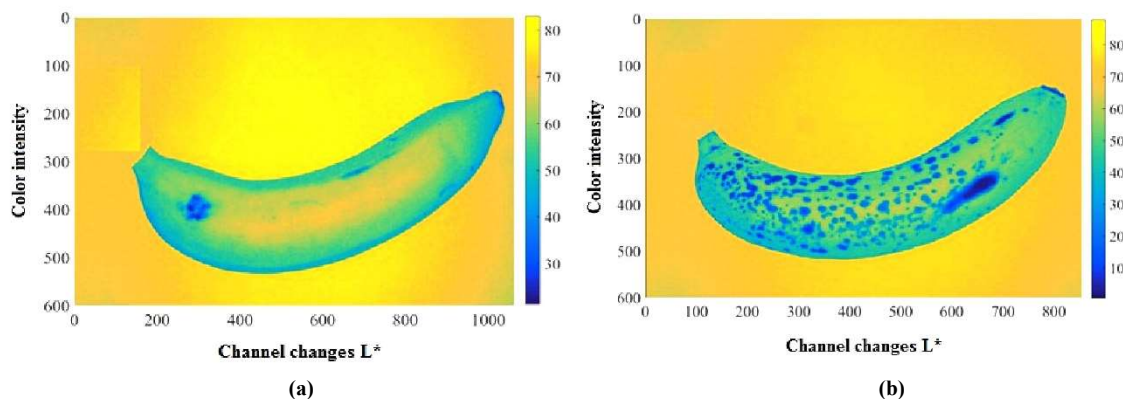
شکل (۲) تصاویر انتخاب شده از مراحل مختلف انبارمانی و روند افزایش تعداد نقاط قهوه‌ای شدن و تغییر پارامترها.  
 Fig.2 Selected images from different storage steps and the process of increasing the number of brown spots and changing the parameters.

یافته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقدار پارامتر  $L^*$  از حدود  $50/112$  به  $36/73$  در پایان آزمایش رسید. در مطالعاتی که چو و همکاران [۵] و کووندو و همکاران [۱] انجام دادند نیز نتیجه مشابهی در رابطه به کاهش میزان روشنایی در موز در طی دوره انبارمانی به‌دست آمد. با این اساس کاهش میزان روشنایی (مولفه) با تیره شدن رنگ موز در طول دوره انبارمانی مورد انتظار است. شکل (۳) نمونه‌ای از کانال  $L^*$  به همراه تغییرات شدت (میله تغییر رنگ) در کنار تصاویر برای موز در روزهای صفر و نهم بعد از انبارمانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۳) مشخص می‌باشد با افزایش لکه‌ها میزان روشنایی در نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

هم‌چنین با توجه به جدول (۱) این نتیجه دریافت می‌شود که با گذر زمان مقدار مولفه  $b^*$  روند نیز افزایش یافته است و مقدار این پارامتر از حدود  $36/617$  در روز صفر به  $36/309$  در روز نهم رسید. پارامتر  $b^*$  در سیستم CIELab مولفه رنگ با دامنه تغییرات آبی تا زرد رنگ می‌باشد و روند افزایشی آن به معنای افزایش میزان زردی در گذر زمان است [۵]. افزایش میزان زردی رنگ را نیز می‌توان با گذر زمان با توجه به واکنش قهوه‌ای شدن توجیه کرد. نتیجه به‌دست آمده با مطالعات انجام شده توسط کووندو و همکاران [۱] در زمینه تغییرات رنگی موز در طول انبارمانی همسو بود.  $a^*$  مولفه تغییرات رنگ از سبز تا قرمز

پارامترهای فرکتالی، رنگی و آنزیم‌های فعال و هم‌چنین ارزیابی حسی در ادامه توضیح داده خواهد شد.

جدول (۱) مقایسه میانگین مربوط به تغییرات پارامترهای رنگ  $(L^*, a^*, b^*, g, t)$  و بعد فرکتال (FDIac, FDavg) را در طول دوره انبارمانی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، پارامتر FDavg، بین روز صفر ( $1/8122$ ) و روز نهم ( $1/7564$ ) کاهش معنی‌داری از خود نشان می‌دهد. هم‌چنین مقدار FDIac، از  $0/0254$  در روز صفر به  $0/0571$  در روز نهم افزایش یافته است. نتیجه مشاهده شده با پژوهش‌های چو و همکاران [۵]؛ کووندو و همکاران [۱۸] و آبدانان مهدی‌زاده و نعمتی‌نیا [۳۳] در یک راستا می‌باشد. بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی انبارمانی موز، رنگ موز به سمت قهوه‌ای شدن پیش می‌رود که نتیجه برهم‌کنش پیچیده‌ای بین فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز (PPO) و پراکسیداز (POD) و محتوای مواد فنولی است، که نتیجه این واکنش، قهوه‌ای شدن می‌باشد نیز یکی از عوامل تغییر رنگ در طی دوره نگهداری موز است که با گذر زمان افزایش می‌یابد [۳۴]. مطابق با نتایج حاصل، تغییرات برای دو پارامتر PPO و POD به صورت افزایشی بوده است. پس بنابراین، افزایش هر دو آنزیم PPO و POD با تیره شدن رنگ، افزایش لکه‌های قهوه‌ای و افزایش تعداد حفره‌های موز در طول دوره انبارمانی صادق بود. با توجه به جدول (۱) میزان  $L^*$  که نماینده روشنایی در سیستم رنگی CIELab کاهش



شکل (۳) نمونه‌ای از تغییرات شدت کانال  $L^*$  برای موز در روزهای (a) صفر و (b) نهم بعد از انبارمانی.

Fig. 3 An example of changes in the intensity of  $L^*$  channel for bananas on a) day zero and b) day nine after storage.

### ۱.۳. ارزیابی حسی

ارزیابی حسی در خصوص رنگ و ظاهر، طعم و بافت بررسی شد و با توجه به نمرات ارزیاب‌ها، نتایج مذکور در جدول (۲) به دست آمد. پارامتر رنگ از مقدار  $8/05$  در روز صفر به  $4/63$  در روز نهم کاهش یافت؛ هم‌چنین طبق نتایج جدول، علاوه بر کاهش معنی‌داری پارامتر طعم و رایحه، ویژگی بافت موز هم در طول ۹ روز انبارمانی کاهش داشته است. به طور کلی، در این ارزیابی نمونه‌های روز صفر که دارای رنگ پوست زرد-سبز و هم‌چنین دارای کم‌ترین میزان نقاط قهوه‌ای بودند، از مقبولیت بهتری نسبت به سایر روزها برخوردار بودند. بنابراین امتیاز بالا در تست

می‌باشد و افزایش آن نشان دهنده تغییرات رنگ به سمت قرمزی بیش‌تر است، این روند نشان دهنده تیره شدن موز است. چو و همکاران [۵] و کووندو و همکاران [۱] نیز افزایش این پارامتر در طول ذخیره‌سازی موز را گزارش دادند. مقدار CIE Lab به‌طور مداوم افزایش یا کاهش می‌یابد. بسیاری از مطالعات گزارش کرده‌اند که کاهش مولفه  $L^*$ ، هم‌چنین افزایش مقدار  $a^*$  و  $b^*$  با افزایش قهوه‌ای شدن میوه همراه می‌باشد [۱، ۳۵]. علاوه بر این پارامترهای رنگی  $r$ ،  $g$  و  $b$  تغییر محسوسی در طول دوره انبارمانی بر روی موز نداشتند لذا تغییرات این پارامترها طی روند قهوه‌ای شدن آنزیمی شاخص نمی‌باشد.

جدول (۱) مقایسه میانگین مربوط به پارامترهای مخرب (PPO و POD) و غیرمخرب (پارامترهای رنگی و فرکتالی)

Table 1 Comparison of mean for destructive parameters (PPO and POD) and non-destructive (color and fractal parameters)

میانگین مربعات Mean Squares										تیمار Treatment
POD	PPO	$b^*$	$a^*$	$L^*$	b	G	R	FDlac	FDavg	
3.555 <sup>d</sup>	4.177 <sup>c</sup>	30.62 <sup>b</sup>	1.837 <sup>b</sup>	50.12 <sup>a</sup>	0.129 <sup>a</sup>	0.4148 <sup>a</sup>	0.0464 <sup>b</sup>	0.0254 <sup>c</sup>	1.8122 <sup>a</sup>	روز صفر Zero Day
5.603 <sup>c</sup>	3.139 <sup>d</sup>	33.758 <sup>ab</sup>	-2.42 <sup>c</sup>	47.69 <sup>b</sup>	0.127 <sup>a</sup>	0.3812 <sup>b</sup>	0.4918 <sup>a</sup>	0.0459 <sup>b</sup>	1.7923 <sup>b</sup>	روز سوم Third Day
15.68 <sup>b</sup>	18.178 <sup>b</sup>	33.84 <sup>ab</sup>	3.696 <sup>a</sup>	47.16 <sup>b</sup>	0.014 <sup>a</sup>	0.3696 <sup>b</sup>	0.4925 <sup>a</sup>	0.055 <sup>a</sup>	1.78817 <sup>c</sup>	روز ششم Sixth Day
21.96 <sup>a</sup>	25.022 <sup>a</sup>	36.309 <sup>a</sup>	4.649 <sup>a</sup>	36.73 <sup>c</sup>	0.0135 <sup>a</sup>	0.3723 <sup>b</sup>	0.4947 <sup>a</sup>	0.0571 <sup>a</sup>	1.7568 <sup>d</sup>	روز نهم Ninth Day

حروف غیرمشترک نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵

Unsimilar letters represent a significant level at the probability level of 0.05

جدول (۲) مقایسه میانگین مربوط به پارامترهای آزمون حسی  
Table 2 Comparison of the mean of the sensory test parameters

تیمار Treatment	میانگین Mean		
	بافت Texture	طعم و رایحه Taste and smells	رنگ Color
پدیرش کلی General acceptance			
روز صفر Zero Day	8.65 <sup>c</sup>	6.98 <sup>a</sup>	8.05 <sup>a</sup>
روز سوم Third Day	6.4 <sup>b</sup>	6.35 <sup>ab</sup>	5.94 <sup>b</sup>
روز ششم Sixth Day	6.19 <sup>b</sup>	6.01 <sup>b</sup>	5.06 <sup>c</sup>
روز نهم Ninth Day	5.49 <sup>c</sup>	5.06 <sup>c</sup>	4.63 <sup>c</sup>

حروف غیرمشترک نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵  
Unsimilar letters represent a significant level at the probability level of 0.05

گردید (جدول ۵). در مدل رگرسیون توسعه یافته علاوه بر معنی دار بودن معادله کلی، بخش خطی و غیرخطی آن نیز در سطح احتمال ۵٪ معنی دار می‌باشند. به علاوه معنی دار شدن معادله و ضریب تبیین مدل توسعه یافته ۰/۹۰۳ نشان از همبستگی بالا میان مقادیر وابسته و مستقل است. جدول (۶) ضرایب به دست آمده در معادله رگرسیونی توسعه یافته با روش گام به گام را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول (۶) آمده است صفات وارد شده به معادله دارای اثر معنی داری در سطح احتمال ۵٪ بر روی خروجی آن (POD) دارند.

بر اساس نتایج حاصل، هنگامی که دو آنزیم PPO و POD به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. ضریب تبیین به منظور پیشگویی آنزیم PPO، ۰/۸۹۶ گردید. جدول (۷) نتایج تجزیه رگرسیون چند متغیره توسعه داده شده با روش گام به گام را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشخص شده است، مدل رگرسیون توسعه یافته علاوه بر معنی دار بودن معادله کلی، بخش خطی و غیرخطی آن نیز در سطح احتمال ۵٪ معنی دار می‌باشند. جدول (۸) ضرایب به دست آمده در معادله رگرسیونی توسعه یافته با روش گام به گام را نشان می‌دهد؛ طبق آنالیز آماری صورت گرفته تمامی متغیرهای وارد شده اعم از FDIac، FDIavg، اثر متقابل هر دو متغیر (FDIac × FDIavg)، FDIac<sup>2</sup> و FDIavg<sup>2</sup> در مدل، دارای اثر معنی داری در پیشگویی آنزیم PPO داشتند. به منظور بررسی دقیق‌تر نمونه‌ها در حین انبارمانی، نمودار سه

ارزیاب این مطالعه را می‌توان به معنای رنگ مورد پسند و بافت تقریباً سفت موز دانست. برای نمونه‌های روز آخر به دلیل رنگ و ظاهر، طعم و بافت نه چندان مطلوب این دسته از موزها نظر افراد را جلب نکرده است. علت این موضوع افزایش تعداد نقاط قهوه‌ای در روز نهم انبارمانی بود که تأثیر مستقیمی بر سه پارامتر مورد ارزیابی داشت [۳۶]. تغییرات رنگ پوست و افزایش روند لکه‌های قهوه‌ای بر روی میوه موز که پیش از این در شکل (۲) نشان داده شد، به خوبی گویای این مسأله است. مطابق با نتایج آنالیز همبستگی که در جدول‌های ۳ و ۴ نشان داده است، بین پارامترهای بافت فرکتالی (FDIac و FDIavg) و هر دو آنزیم PPO و POD، و هم‌چنین بین پارامترهای FDIac و FDIavg با پذیرش کلی همبستگی معنی داری وجود دارد. مطابق با جدول (۴)، مولفه رنگی L\* با دو آنزیم استخراجی از موز همبستگی معنی داری در سطح احتمال ۵٪ دارد. با توجه به این که بین پذیرش کلی از ارزیابی حسی و دو پارامتر PPO و POD ارتباط معنی داری وجود داشت، این نتیجه حاصل شد که تغییرات هر دو آنزیم در طول دوره انبارمانی بر نمره‌دهی افراد تأثیرگذار بوده است.

### ۲.۳. رگرسیون چندگانه برای پارامترهای بافت فرکتالی

بر اساس نتایج حاصل، آنزیم پراکسیداز (POD) به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات (FDIac و FDIavg) به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. با استفاده از تجزیه رگرسیون گام به گام سهم صفاتی که بیش‌ترین تأثیر را در پراکسیداز داشتند، مشخص



جدول (۳) همبستگی بین پارامترهای غیرمخرب (FDIac, FDavg, r و g) ، مخرب (POD, PPO) و حسی

Table 3 Correlation between non-destructive (FDavg, FDIac, r and g) and destructive (PPO, POD) and sensory parameters

پذیرش کلی General acceptance	بافت Texture	طعم و رایحه Taste and smells	رنگ Color	POD	PPO	g	r	FDIac	FDavg
									1
								1	-0.855*
							1	0.685*	-0.55 <sup>ns</sup>
						1	-0.651 <sup>ns</sup>	-0.799*	0.694*
					1	0.522 <sup>ns</sup>	0.44 <sup>ns</sup>	0.739*	-0.868*
				1	0.979*	-0.597*	0.562 <sup>ns</sup>	0.748*	0.900*
			1	-0.75*	-0.69*	0.520 <sup>ns</sup>	-0.640*	0.790*	0.750*
		1	0.81*	-0.68*	0.620*	0.170 <sup>ns</sup>	-0.42 <sup>ns</sup>	-0.790*	0.620*
	1	0.780*	0.91*	-0.67*	0.600*	0.540 <sup>ns</sup>	-0.630*	-0.54 <sup>ns</sup>	0.730*
1	0.78*	0.630*	0.77*	-0.81*	-0.76*	0.692*	0.529 <sup>ns</sup>	-0.771*	0.859*

\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم معنی داری\*and <sup>ns</sup> respectively significant at the level of five percent and non-significant

بخش خطی و غیرخطی آن نیز در سطح احتمال ۰.۵٪، معنی دار می‌باشند. ضریب تبیین برای توسعه مدل ۰/۸۰۶ پیش‌بینی گردید. جدول (۱۰) ضرایب به‌دست آمده در معادله رگرسیونی توسعه یافته با روش گام به گام را نشان می‌دهد. مطابق این جدول (۱۰) در پیشگویی PPO در رابطه رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفتند. مطابق با آنالیز آماری صورت گرفته تمامی متغیرهای وارد شده در مدل به جز  $a^*$  دارای اثر معنی‌داری در پیشگویی PPO بودند.

مدل رگرسیونی برای تخمین آنزیم POD در جدول (۱۱) آورده شده است، در مدل رگرسیونی توسعه یافته معادله کلی، بخش خطی و غیرخطی آن نیز در سطح احتمال ۰.۵٪ معنی دار می‌باشند. جدول (۱۲) مربوط به ضرایب به‌دست آمده در معادله رگرسیونی توسعه یافته با روش گام به گام می‌باشد. با توجه به آنالیز آماری صورت گرفته تمامی متغیرهای وارد شده در مدل به جز  $a^*$  و  $b^* \times g$  دارای اثر معنی‌داری در پیشگویی POD بودند. هم‌چنین ضریب تبیین برای توسعه مدل ۰/۸۷۲ پیش‌بینی گردید.

بعدی آن‌ها ترسیم گردید (شکل ۴). در این بخش تغییرات دو آنزیم POD (شکل ۴-a) و PPO (شکل ۴-b) از دو پارامتر غیرمخرب FDavg و FDIac آورده شده است. همان‌طور که پیش از این اشاره شده است، در طول دوره انبارمانی با افزایش آنزیم POD، مقدار دو پارامتر FDavg و FDIac به ترتیب روند کاهشی و افزایشی را دنبال نمودند. هم‌چنین برای نمودار (b) با افزایش آنزیم PPO، مقدار دو پارامتر FDavg و FDIac روند افزایشی را داشتند. نتایج این بخش با تحقیق صورت گرفته توسط کووندو و همکاران [۱۹] در ارتباط با افزایش بعد فرکتال در طول دوره پیری موز مطابقت داشت.

### ۳.۳. رگرسیون گام به گام برای دو فضای رنگی rgb و Lab

جدول‌های ۹ و ۱۰ نتایج مدل رگرسیونی با روش گام به گام برای فضاهای رنگی Lab و rgb (متغیرهای مستقل) را به‌منظور پیش‌بینی دو آنزیم PPO و POD (متغیرهای وابسته) را نشان می‌دهد. جدول (۹) مربوط به نتایج مدل رگرسیونی برای تخمین آنزیم PPO می‌باشد، در مدل رگرسیونی توسعه یافته معادله کلی،

جدول (۴) همبستگی بین پارامترهای غیرمخرب (b, L\*, a\* و b\*) مخرب (PPO, POD) و حسی

Table 4 Correlation between non-destructive (b, l \*, a \* and b \*), destructive (PPO, POD) and sensory parameters

پذیرش کلی General acceptance	بافت Texture	طعم و رایحه Taste and smells	رنگ Color	POD	PPO	b*	a*	L*	b
									1
								0.71*	L*
							1	0.065*	a*
						1	0.561 <sup>ns</sup>	-0.799*	b*
					1	0.55 <sup>ns</sup>	0.44 <sup>ns</sup>	0.739*	PPO
				1	0.98*	-0.59*	0.56 <sup>ns</sup>	0.748*	POD
			1	0.75*	-0.69*	-0.1 <sup>ns</sup>	-0.31 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	رنگ Color
		1	0.82*	-0.67*	-0.63*	0.36 <sup>ns</sup>	-0.39 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	طعم و رایحه Taste and smells
	1	0.780*	0.91*	-0.67*	0.60*	-0.0 <sup>ns</sup>	-0.17 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	بافت Texture
1	0.78*	0.63*	0.77*	-0.81*	-0.769*	-0.10 <sup>ns</sup>	-0.34 <sup>ns</sup>	-0.10 <sup>ns</sup>	پذیرش کلی General acceptance

به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم معنی داری <sup>ns</sup> و

\*and <sup>ns</sup> respectively significant at the level of five percent and non-significant

جدول (۵) تجزیه رگرسیون چند متغیره با روش گام به گام صفات ارزیابی شده بر روی POD

Table 5 Multivariate regression analysis using stepwise method of evaluated traits on POD

F	میانگین مجموع مربعات Sum Mean of Squares	درجه آزادی df	مجموع مربعات Mean Squares	
	85.381	39	2276.9	کل Total
81.637	514.11*	4	2056.5	مدل Model
146.94	925.37*	2	1850.7	خطی Linear
16.333	102.86*	2	205.72	غیرخطی Non- Linear
	6.2976	35	220.42	باقی مانده Residual

به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم معنی داری <sup>ns</sup> و

\*and <sup>ns</sup> respectively significant at the level of five percent and non-significant

جدول (۶) ضرایب متغیرهای مستقل مورد استفاده در معادله توسعه یافته با روش گام به گام بر روی POD

Table 6 The coefficients of the independent variables used in the equation developed by stepwise method on POD

t-test	خطای استاندارد Standard Error	ضرایب Coefficients	
3.3793	7285.6	24620*	FDavg
5.6488	8790.6	49657*	FDlac
-5.5163	4850.7	-27447*	FDlac × FDavg
-3.2849	1998.8	-6566*	FDavg <sup>2</sup>

\* و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم معنی داری

\*and ns respectively significant at the level of five percent and non-significant

جدول (۷) تجزیه رگرسیون چند متغیره با روش گام به گام صفات ارزیابی شده بر روی PPO

Table 7 Multivariate regression analysis using stepwise method of evaluated traits on PPO

درجه آزادی df	مجموع مربعات Mean Squares
39	3476.5
5	3116.3
2	2622.7
3	493.54
34	360.2

\* و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم معنی داری

\*and ns respectively significant at the level of five percent and non-significant

جدول (۸) ضرایب متغیرهای مستقل مورد استفاده در معادله توسعه یافته با روش گام به گام بر روی PPO

Table 8 The coefficients of the independent variables used in the equation developed by stepwise method on PPO

t-test	خطای استاندارد Standard Error	ضرایب Coefficients	
3.3339	18101	60348*	FDavg
4.3924	27198	1.1947e+05*	FDlac
-4.4282	14795	-65517*	FDlac × FDavg
-3.2826	4896.5	-16073*	FDavg <sup>2</sup>
-1.9313	8661	-16727 <sup>ns</sup>	FDlac <sup>2</sup>

\* و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم معنی داری

\*and ns respectively significant at the level of five percent and non-significant

جدول (۹) تجزیه رگرسیون چند متغیره با روش گام به گام بر روی PPO

Table 9 Multivariate regression analysis with stepwise method on PPO

F	میانگین مجموع مربعات Sum Mean of Squares	درجه آزادی df	مجموع مربعات Mean Squares	
	89.14	39	3476.5	کل Total
28.245	560.38*	5	2801.9	مدل Model
33.121	657.12*	4	2628.5	خطی Linear
8.741	173.42*	1	173.42	غیر خطی Non- Linear
	19.84	34	674.55	باقی مانده Residual

\* و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم معنی داری  
and ns respectively significant at the level of five percent and non-significant \*

جدول (۱۰) ضرایب متغیرهای مستقل مورد استفاده در معادله توسعه یافته با روش گام به گام بر روی PPO

Table 10 The coefficients of the independent variables used in the equation developed by the stepwise method on PPO

t-test	خطای استاندارد Standard Error	ضرایب Coefficients	
4.0469	48.232	195.19*	r
2.4252	42.087	102.07*	b
1.8749	0.12514	0.23462 <sup>ns</sup>	a*
5.2644	0.2952	1.554*	b*
0.9565	0.065433	0.19345*	b <sup>2</sup>

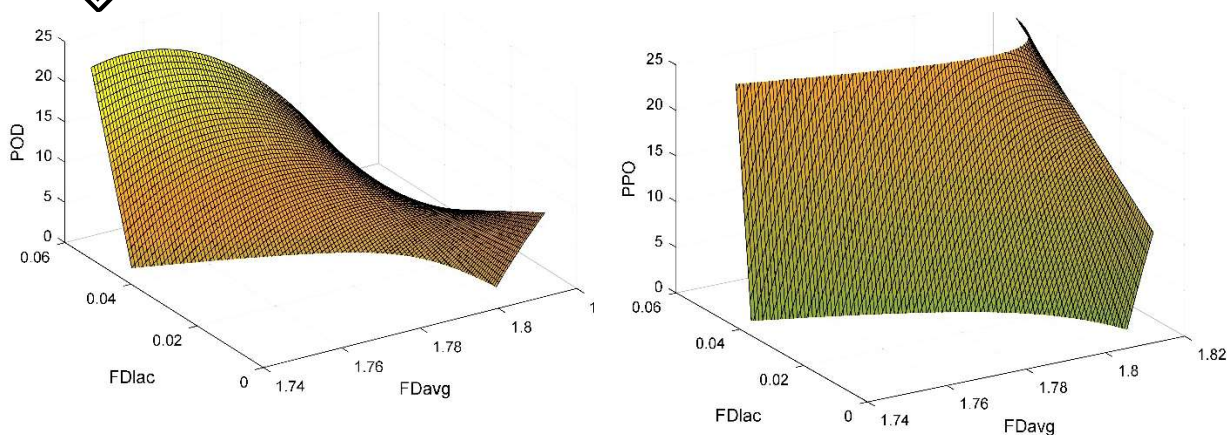
\* و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم معنی داری  
and ns respectively significant at the level of five percent and non-significant \*

جدول (۱۱) تجزیه رگرسیون چند متغیره با روش گام به گام بر روی POD

Table 11 Multivariate regression analysis with stepwise method on POD

F	میانگین مجموع مربعات Sum Mean of Squares	درجه آزادی df	مجموع مربعات Mean Squares	
	58.381	39	227.9	کل Total
17.373	180.54*	11	1985.9	مدل Model
41.497	431.23*	4	1724.9	خطی Linear
3.588	37.286*	7	261	غیر خطی Non- Linear
	17.392	28	290.97	باقی مانده Residual

\* و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم معنی داری  
and ns respectively significant at the level of five percent and non-significant \*



شکل (۴) نمودار ۳ بعدی تغییرات دو آنزیم PPO و POD به همراه کانتور تغییرات FDlac و FDavg

Fig. 4 3-D Plot of Changes of PPO and POD Enzymes with FDavg and FDlac

جدول (۱۲) ضرایب متغیرهای مستقل مورد استفاده در معادله توسعه یافته با روش گام به گام بر روی POD

Table 12 The coefficients of independent variables used in the equation developed by stepwise method on POD

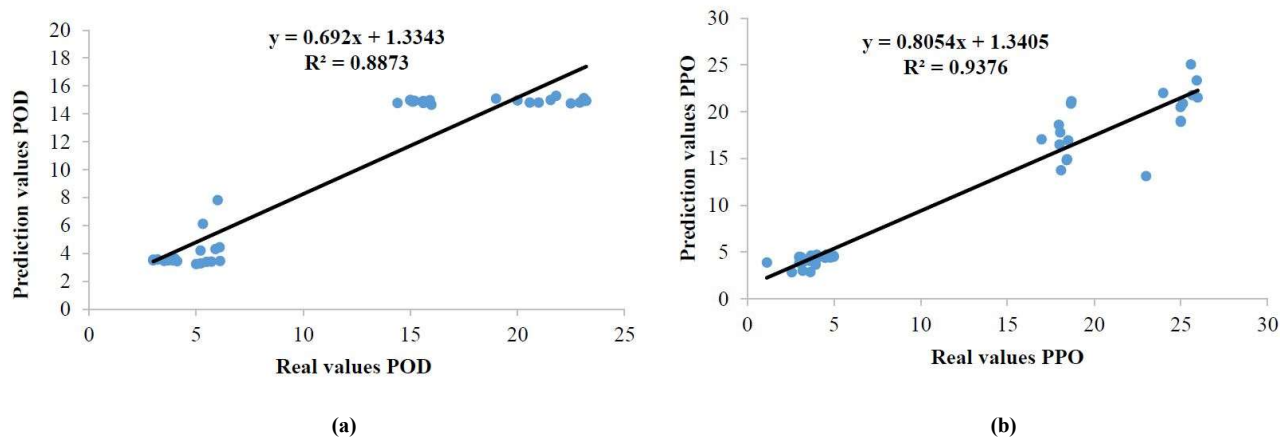
t-test	خطای استاندارد Standard Error	ضرایب Coefficients	
		0	r
-2.8245	1996.6	-5639.4*	g
2.0543	1673.9	3438.7*	b
0.46052	1.2549	0.57785 <sup>ns</sup>	a*
-2.1203	13.345	-28.296*	b*
2.3728	4694.3	11139*	r × g
1.9583	34.962	67.937 <sup>ns</sup>	g × b*
2.1453	6.0844	13.053*	b × a*
1.9908	0.044624	0.0888*	a* × b*
2.7031	1949.5	5269.8*	g <sup>2</sup>
-1.7605	0.014452	-0.05442 <sup>ns</sup>	a <sup>2</sup>
2.1248	0.042074	0.15315*	b <sup>2</sup>

\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم معنی داری  
and <sup>ns</sup> respectively significant at the level of five percent and non-significant \*

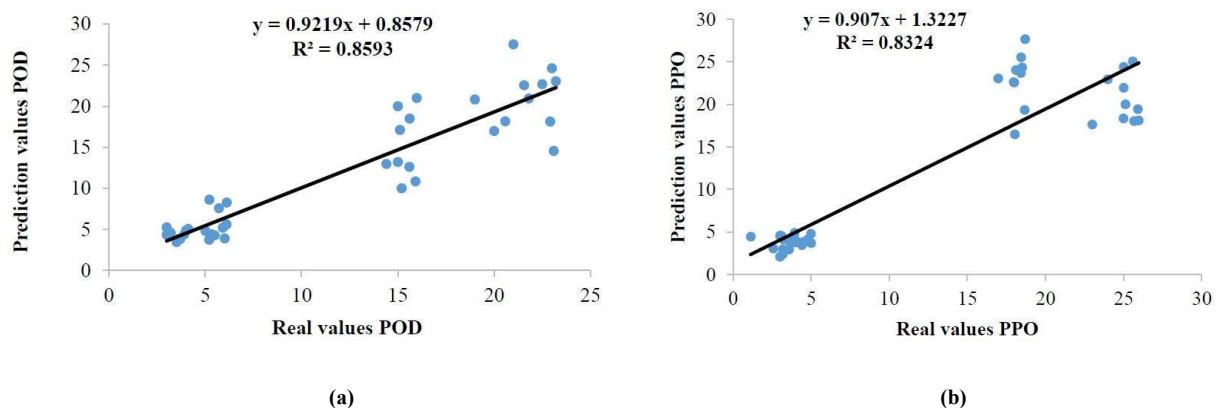
به منظور اعتبارسنجی مدل‌های توسعه یافته مقادیر واقعی دو آنزیم POD و PPO نسبت به مقادیر پیش‌بینی ترسیم شدند. استفاده از این روش باعث تعمیم نتایج حاصل از تحلیل آماری بر روی مجموعه داده، صرف‌نظر از داده‌های آموزشی خواهد شد. شکل‌های ۵ و ۶ نمودار مربوط به برازش بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده برای اعتبارسنجی دو آنزیم POD و PPO توسط مدل رگرسیون گام به گام می‌باشد. شکل ۵-a و ۵-b مقادیر پیش‌بینی شده توسط پارامترهای فرکتالی را نشان می‌دهد؛ بر اساس نمودارها ضریب رگرسیون مدل اعتبارسنجی برای هر دو

از مقایسه نتایج حاصل از رگرسیون گام به گام برای دو فضای رنگی Lab و rgb و پارامترهای بافت فرکتالی که به منظور پیشگویی دو آنزیم PPO و POD استفاده گردید و همین‌طور با توجه به نتایج مدل رگرسیونی، این نتیجه حاصل شد که پارامترهای بافت فرکتالی از توانایی بالاتری به منظور پیشگویی دو آنزیم مذکور برخوردار هستند. علاوه بر این مقادیر فرکتالی همبستگی بالایی با آنالیز حسی داشتند؛ بنابراین انتخاب آنالیز بافت به منظور بررسی فرایندهای موز در طول دوره انبارمانی از جمله شاخص قهوه‌ای شدن درست و منطقی به نظر می‌رسد.

آنزیم POD و PPO به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۹۳ به دست آمد. هم‌چنین برای پارامترهای دو فضای رنگی (a\*, b\*, L\*, g, t) ضریب ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۸۳ تخمین زده شد (شکل ۶-a و ۶-b).



شکل (۵) مدل اعتبارسنجی برای پیشگویی هر دو آنزیم (a) POD و (b) PPO.  
 Fig. 5 Validation model for prediction of both enzymes a) POD and b) PPO.



شکل (۶) مدل اعتبارسنجی برای پیشگویی هر دو آنزیم (a) POD و (b) PPO.  
 Fig. 6 Validation model for prediction of both enzymes a) POD and b) PPO.

#### ۴- نتیجه‌گیری

به‌منظور تخمین هر دو آنزیم با استفاده از پارامترهای بافت فرکتالی نسبت به فضاهای رنگی Lab و rgb جواب بهتر و قابل قبول‌تری را پیشگویی نمود. علاوه‌براین این دو پارامتر FDavg و FDlac همبستگی معنی‌داری با ارزیابی حسی و دو آنزیم PPO و POD داشتند، با توجه به این مساله می‌توان صحت و دقت آزمون

در این پژوهش رگرسیون گام به گام با استفاده از اطلاعات رنگی و پارامترهای بافت فرکتالی به‌منظور پیشگویی دو آنزیم POD و PPO مورد استفاده قرار گرفت. هم‌چنین از آنالیز بافت فرکتالی به‌منظور برآورد نرخ قهوه‌ای شدن در طی دوره انبارمانی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که رگرسیون گام به گام

## تشکر و قدردانی

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

حسی و سنجش فعالیت آنزیم‌های PPO و POD در استفاده از این دو پارامتر دانست. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت، بعد فرکتال و تحلیل بافت تصویر می‌تواند برای مواد غذایی که در آن‌ها الگوهای رنگ غیریکنواختی در طی قهوه‌ای شدن ایجاد می‌شود مورد استفاده قرار بگیرد.

## منابع

پژوهش‌های علوم صنایع غذایی ایران، جلد ۱۳، شماره ۲، ص

۲۶۲-۲۷۲.

[11] Du, C.J., Sun, D.W. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends Food Sci Technol.*, 15, 230-249.

[12] Wen-Shiung, C., Shang-Yuan, Y., Chih-Ming, H. (2003). Two algorithms to estimate fractal dimension of gray-level images. *Opt. Eng.*, 42, 2452-2464.

[13] Park, B., Lawrence, K. C., Windham, W. R., Chen, Y. R., Chao, K. (2002). Discriminant analysis of dual-wavelength spectral images for classifying poultry carcasses. *Comput Electron Agric.*, 33, 219-231.

[14] Zheng, C. X., Sun, D. W., Zheng, L. Y. (2006). Recent applications of image texture for evaluation of food qualities – A review. *Trends Food Sci Technol.*, 17, 113-128.

[15] Quevedo, R., Carlos, L. G., Aguilera, J. M., Cadoche, L. (2002). Description of food surfaces and micro structural changes using fractal image texture analysis. *J Food Eng.*, 53, 361-371.

[16] Cernadas, E., Carrion, P., Rodriguez, P. G., Muriel, E., Antequera, T. (2005). Analysing magnetic resonance images of Iberian pork loin to predict its sensorial characteristics. *Comput Vis Image Underst.*, 98, 345-361.

[17] Quevedo, R., Jaramillo, M., Diaz, O., Pedreschi, F., Aguilera, J. (2009). Quantification of enzymatic browning in apple slices applying the fractal texture Fourier image. *J. Food Eng.*, 95(2), 285-290.

[18] Quevedo, R., Pedreschi, F., Bastias, J. M., Diaz, O. (2016). Correlation of the fractal enzymatic browning rate with the temperature in mushroom, pear and apple slices. *LWT. Food Sci. Technol.*, 65, 406-413.

[19] Quevedo, R., Mendoza, F., Aguilera, J. M., Chanona, J., Gutierrez-Lopez, G. (2008). Determination of senescent spotting in banana (*Musa cavendish*) using fractal texture Fourier image. *J. Food Eng.*, 84(4), 509-515.

[۲۰] صلاحی، م.ح؛ قیطران پور، آ.؛ محبی، م.؛ نوشاد، م. (۱۳۹۴).

توصیف کنتیک قهوه ای شدن آنزیمی برش‌های تازه سیب گلاب

[1] Quevedo, R., Diaz, O., Ronceros, B., Pedreschi, F., Aguilera, J. M. (2009). Description of the kinetic enzymatic browning in banana (*Musa Cavendish*) slices using nonuniform color information from digital images. *Food Res Int.*, 42, 1309-1314.

[2] Choehoma, R., Ketsa, S., Van Doorn, W. (2004). Senescent spotting of banana peel is inhibited by modified atmosphere packaging. *Postharvest Biol Technol.*, 31, 167-175.

[3] Murata, M., Tsurutani, M., Tomita, M., Homma, S., Kaneko, K. (1995). Relationship between apple Ripening and browning: changes in polyphenol content And polyphenol oxidase. *J. Agric. Food Chem.*, 43 (5), 1115-1121.

[4] Huang, Y., Lacey, E., Moore, L., Miller, K., Whittaker, D., Ophir, J. (1997). Wavelet textural features from ultrasonic elastograms for meat quality prediction. *Trans ASAE.*, 40, 1741-1748.

[5] Cho, J. S., Lee, H. J., Park, J. H., Sung, J. H., Choi, J. Y., Moon, K. D. (2016). Image analysis to evaluate the browning degree of banana (*Musa spp.*) peel. *Food chem.*, 194, 1028-1033.

[6] Hosoda, H., Inoue, E., Iwahashi, Y., Sakaue, K., Tada, M., Nagata, T. (2005). Inhibitory effect of sulfides on browning of apple slice. *J. JPN Soc. Food Sci. (Japan).*, 52, 120-124.

[7] Shengmin, L., Yaguang, L., Ellen Turner, B., Hao Feng, C. (2007). Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices. *Food Chem.*, 104, 824-829.

[8] Wainwright, H., Hughes, P. (1990). Changes in banana pulp color during ripening. *Fruits*, 45, 25-28.

[9] Amodio, M. L., Cabezas-Serrano, A. B., Peri, G., Colelli, G. (2011). Post-cutting quality changes of fresh-cut artichokes treated with different anti-browning agents as evaluated by image analysis. *Postharvest Biol Technol.*, 62, 213-220.

[۱۰] آبدانان مهدی‌زاده، س.؛ نوری، م.؛ سلطانی کاظمی، م.؛

امرایبی، س. (۱۳۹۵). بررسی غیرمخرب فاکتورهای کیفی آبمیوه

مرکبات در خلال انبارمانی با کمک پردازش تصویر. نشریه

- [32] Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M., Emam-Djomeh, Z. (2014). Formulation of apple juice beverages containing whey protein isolate or whey protein hydrolysate based on sensory and physicochemical analysis. *Int J Dairy Technol.*, 67, 1-9.
- [۳۳] آبدانان مهدی زاده، س.؛ نعمتی‌نیا، الف. (۱۳۹۵). سنجش میزان قهوه‌ای شدن آنزیمی با استفاده از فوریه بافت فرکتال تصویر در نمونه‌ای سیب و موز برش خورده. *فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی*، سال چهارم، شماره ۱۴، صفحه ۵۴-۴۳.
- [34] Sapers, G. M., Douglas, F. W. (1987). Measurement of enzymatic browning at cut surfaces and in juice of raw apple and pear fruits. *J. Food Sci.*, 52, 1258.
- [35] Cho, J.S., Jeong, M.C., Moon, K.D. (2012). Effects of ultrasound and ascorbic acid cotreatment on browning of fresh-cut 'Tsugaru' apples. *J Korean Soc Food Sci.*, 19, 323-327.
- [36] Huang, H., Zhu, Q., Zhang, Z., Yang, B., Duan, X., Jiang, Y. (2013). Effect of oxalic acid on antibrowning of banana (*Musa spp.*, AAA group, cv. 'Brazil') fruit during storage. *Sci Hort.*, 160, 208-212.
- با استفاده از روش های مختلف آنالیز تصاویر دیجیتال. *علوم و صنایع غذایی*، شماره ۶۶، دوره ۱۴، ص ۱۱۷-۱۲۹.
- [۲۱] نداف‌زاده، م.؛ آبدانان مهدی‌زاده، س. (۱۳۹۵). تعیین زمان بهینه پخت سبزیجات با کمک پردازش تصاویر دیجیتالی و اندازه‌گیری مختصات رنگی. *فناوری‌های نوین غذایی*، جلد ۳، شماره ۱۱، ص ۵۷-۴۹.
- [۲۲] آبدانان مهدی‌زاده، س.؛ سلطانی‌کاظمی، م. (۱۳۹۶). ساخت، توسعه و ارزیابی سامانه جداکننده توت فرنگی با استفاده از تکنولوژی بینایی ماشین. *پژوهش‌های کشاورزی (پذیرش برای چاپ)*.
- [23] Worthington, V. (1993). Alpha amylase. *Worthington enzyme manual*, 36-41.
- [24] Wu, W., Wan, X., Shah, F., Fahad, S., Huang, J. (2014). The role of antioxidant enzymes in adaptive responses to sheath blight infestation under different fertilization rates and hill densities. *Sci. World J.*, Article ID 502134, 8 page.
- [25] Fathi, M. (2009). Neural network modeling of kinetics, physicochemical properties and fractal dimension of osmotically dehydrated and air-dried kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). MSc Thesis. Ferdowsi University of Mashhad.
- [۲۶] سلطانی‌کاظمی، م.؛ آبدانان مهدی‌زاده، س.؛ حیدری، م.؛ فارغ، س.م. (۱۳۹۶). پیش‌بینی تغییرات برخی از ویژگی‌های کیفی آب توت سیاه (*Morus alba Var nigra L.*) طی مراحل مختلف رسیدگی براساس آنالیز فرکتال. *پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی/ایران (پذیرفته شده برای چاپ)*.
- [27] Mandelbrot, B.B. (1977). The Fractal Geometry of Nature. *W.H. Freeman and Co, New York*.
- [28] Munroe, D., Muller, D. (2007). Issues in spatially explicit statistical land-use/cover change (LUCC). *Land use policy.*, 24, 521-530.
- [29] Munroe, D., South worth, J., Tucker, C.M. (2004). Modeling spatially and temporally complex land cover change: the case of western Honduras. *Prof Geogr.*, 56 (4), 544-559.
- [۳۰] سمیه امرایی، س.؛ آبدانان مهدی‌زاده، س.؛ سالاری، س. (۱۳۹۵). سامانه برآورد وزن جوجه‌های گوشتی به صورت جداگانه با استفاده از پردازش تصویر و آنالیز رگرسیون چندگانه. *مهندسی بیوسیستم/ایران*، دوره ۴۷، شماره ۴، ص ۶۱۵-۶۲۳.
- [۳۱] بازرگان لاری، ع. (۱۳۸۴). *رگرسیون خطی کاربردی*، چاپ اول، شیراز: انتشارات مرکز نشر دانشگاه شیراز.