

## پیش‌بینی تغییرات برخی از ویژگی‌های کیفی آب توت سیاه (*Morus alba Var nigra*) L. طی مراحل مختلف رسیدگی بر اساس آنالیز فرکتال و بینایی ماشین

مریم سلطانی کاظمی<sup>1</sup> - سامان آبدانان مهدی‌زاده<sup>2\*</sup> - مختار حیدری<sup>3</sup> - سید مجتبی فارغ<sup>4</sup>

تاریخ دریافت: 1395/04/20

تاریخ پذیرش: 1395/09/22

### چکیده

در این پژوهش به منظور ارزیابی کیفیت آب توت سیاه طی مراحل مختلف رسیدگی، پارامترهای فرکتالی استخراج شده توسط آنالیز فرکتال و پارامترهای بیوشیمیایی (TSS، ویتامین ث، اسیدیت، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای و pH) به ترتیب به‌عنوان ویژگی‌های غیرمخرب و مخرب مورد استفاده قرار گرفتند؛ سپس از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و نزدیکترین همسایه (k-NN) به منظور توسعه مدل پیشگو و طبقه‌بندی داده‌ها استفاده گردید. از میان پنج ویژگی استخراج شده از آنالیز فرکتال؛ Y و S که به ترتیب مربوط به بیشه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال می‌باشند، به‌عنوان موثرترین ویژگی در فرآیند آموزش شبکه عصبی و طبقه‌بند k-NN مورد استفاده قرار گرفتند. الگوریتم طبقه‌بند k-NN تغییرات رنگ در هر چهار مرحله رسیدگی را با دقت 97/08 طبقه‌بندی نمود. همچنین شبکه عصبی آنتوسیانین را با مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) 0/141، ضریب همبستگی 0/99، مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای را با RMSE=0/0016، ضریب همبستگی 0/97، فنول را با RMSE=1590/879، ضریب همبستگی 0/8057، TSS را با RMSE=0/0040، ضریب همبستگی 0/907، اسیدیت را با RMSE=3/50، ضریب همبستگی 0/986، ویتامین ث را با RMSE=0/285، ضریب همبستگی 0/878 و pH را با RMSE=0/00017 و ضریب همبستگی 0/99 پیش‌بینی نمود. بنابراین، نتایج این بررسی نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی و طبقه‌بند k-NN آنالیز فرکتال می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب در ارزیابی برخط پارامترهای کیفی آب توت سیاه طی مراحل رسیدگی مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** شبکه عصبی مصنوعی، طبقه‌بندکننده نزدیکترین همسایگی، بعد فرکتال، پارامترهای بیوشیمیایی

### مقدمه

غذایی، بینایی ماشین می‌باشد. بینایی ماشین به‌عنوان یک روش کم هزینه و سریع در ارائه اطلاعات دقیق مربوط به محصولات غذایی و کشاورزی بر بسیاری از روش‌های سنتی و وسایل اندازه‌گیری دستی برتری یافته است (Zheng, 2006). این روش در زمینه‌های مختلفی از جمله تشخیص و طبقه‌بندی کیفی گوجه فرنگی (Laykin et al., 2002)، نارنگی (Blasco et al., 2009) و زیتون (Diaz et al., 2000; Laykin et al., 2008)؛ همچنین به منظور پیش‌بینی ترکیبات شیمیایی در سیب‌زمینی (Thygesen et al., 2001)، و طبقه‌بندی مرحله رسیدگی موز (Mendoza & Aguilera, 2004) با موفقیت به کار برده شده است. اما با این حال سامانه بینایی ماشینی برای مدیریت کامل رنگ‌ها و بافت‌های متنوع موجود در بسیاری از تصاویر مواد غذایی توسعه نیافته است. آنچه در دنیای امروز مورد توجه می‌باشد؛ این است که بتوان با یک برنامه کامپیوتری ساده و کاربردی بسیاری از ویژگی‌های مربوط به این تصاویر کاملاً پیچیده را تشخیص داد.

با توجه به اینکه امروزه اندازه‌گیری کیفیت مواد مغذی در میوه‌ها به یک مساله مهم تبدیل شده است به نظر می‌رسد که پیش‌بینی پارامترهای کیفی مانند آنتوسیانین (Cemeroglu et al., 1994; Alighourchi & Barzegar, 2009)، ویتامین ث

میوه توت سیاه (*Morus alba Var nigra L.*) منبع غنی از رنگدانه‌های قرمز و آنتوسیانین می‌باشد. به‌علاوه این میوه به دلیل مواد موجود در آن دارای خواص دارویی مختلفی است که از آن جمله می‌توان به خاصیت ضد دیابتی (Asano et al., 2001)، ضد قندی (Andallu & Varadacharyulu, 2003)، ضد ویروسی (Du et al., 2003)، آنتی‌اکسیدانی (Kim et al., 1998)، ضد افسردگی (El-Beshbishy et al., 2006) و محافظ عصبی یا نرونی (Kang et al., 2006) آن اشاره کرد. یکی از روش‌های ارزیابی غیرمخرب محصولات کشاورزی و

1 و 2- به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد و استادیار، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان  
3- دانشیار، دانشکده کشاورزی، گروه باغبانی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

4- استادیار، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

(\* - نویسنده مسئول (Email: saman.abdanan@gmail.com

Damiri & Slam, 1997) و شبکه عصبی مصنوعی (Pazzani &، 2012)، نزدیک‌ترین همسایگی<sup>4</sup> (Guru et al., 2010)، و ماشین بردار پشتیبانی<sup>5</sup> (Auria & Moro, 2008) اشاره کرد. اخیراً بسیاری از محققان از الگوریتم‌های طبقه‌بندی‌های مختلفی از جمله نزدیکترین همسایه (k-NN) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) جهت طبقه‌بندی محصولات کشاورزی استفاده نمودند (Langner, 2001)؛ در پژوهشی Seng & Mirisae (2009) یک سامانه بینایی ماشین آموزش دیده با که الگوریتم k-NN به‌منظور دسته‌بندی میوه‌ها (سیب، لیمو، ترش، توت فرنگی و موز) بر اساس سه پارامتر رنگ، شکل ظاهری و اندازه طراحی نمودند. بر اساس نتایج بدست آمده عملکرد این سامانه در تشخیص ویژگی‌های ذکر شده (رنگ، شکل ظاهری و اندازه) 90% گزارش گردید. علاوه، شبکه‌های عصبی مصنوعی یک روش غیرخطی شناخته شده‌ای است که می‌تواند یک مدل طبقه‌بندی شده قوی را فراهم کند (Lee et al., 2010). شبکه‌های عصبی یک روش آنالیز داده آماری چند متغیره است که اغلب احتمال پیش‌بینی و شناخت بالاتری نسبت به الگوهای دسته‌بندی آماری دارد. با الهام از سیستم عصبی بیولوژیکی، شبکه‌های عصبی مرکب از تعدادی عناصر است که بصورت موازی عمل می‌کنند. با تنظیم وزن‌ها (اطلاعات) بین عناصر، یک شبکه عصبی می‌تواند چندین عمل همچون پیش‌بینی، مفهوم سازی داده<sup>6</sup>، دسته‌بندی و ارتباط میان داده‌ها را انجام دهد (Hykin, 1994). شبکه عصبی مصنوعی به‌طور گسترده‌ای در انجام وظایف مربوط به کارهای اقتصادی (Kaastra & Boyd, 1996)، فیزیک (Fang & Wu, 2007)، مهندسی (Parlak et al., 2006)، زمین‌شناسی (Yuanyou et al., 1997)؛ و همچنین در بخش کشاورزی برای دسته‌بندی محصولات از جمله میوه کیوی بر اساس میزان سفتی (Ragni et al., 2010)، رسیدگی هندوانه (Rizam et al., 2009)، شاخص رسیدگی زیتون (Furferi et al., 2010) و همچنین برای پیش‌بینی پارامترهای شیمیایی میوه بایبری در طول دوره انبارمانی (Zheng et al., 2011) و غیره بکار می‌رود.

هدف از این پژوهش ارزیابی فعالیت بیوشیمیایی (TSS)، ویتامین ث، اسیدیت، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای و pH در طول دوره رسیدگی آب توت سیاه به‌صورت آنالیز با استفاده از تکنولوژی بینایی ماشین و آنالیز فرکتال می‌باشد. به‌منظور توسعه مدل پیشگو و طبقه‌بندی داده‌ها به ترتیب از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و نزدیکترین همسایه (k-NN) استفاده گردید.

(Burdurlu et al., 2006; Al-Zubaidy & Khalili, 2007) و فنول (Pace et al, 2013) بوسیله مدل‌های ریاضی اهمیت بسزایی داشته باشد. شایان ذکر است که تغییرات رنگ طی فرآیند رسیدگی نیز با استفاده از مدل‌های ریاضی قابل پیش‌بینی می‌باشد. یکی از این مدل‌ها، مدل فرکتالی است. فرکتال‌ها مجموعه‌ای از روابط ریاضی می‌باشند که توانایی مدل‌سازی بسیاری از فرآیندهای پیچیده هندسی و پدیده‌های طبیعی را دارند (Mandelbrot, 1982). ساختار اولیه خود متشابه و نامنظم در طبیعت به‌عنوان فرکتال نامیده می‌شود. فرکتال ساختاری هندسی است متشکل از اجزایی که با بزرگ کردن هر جزء از شکل به نسبتی معین به‌دست آید. به‌عبارتی دیگر فرکتال ساختاری است که هر جزء از آن شکل با کل شکل همانند است. فرکتال‌ها اشکالی هستند که بر خلاف شکل‌های هندسی اقلیدسی به هیچ وجه منظم نیستند. این شکل‌ها اولاً کاملاً نامنظم‌اند، ثانیاً میزان بی‌نظمی آنها در همه مقیاس‌ها یکسان است و جسم فرکتال از دور و نزدیک یکسان دیده می‌شود؛ به تعبیر دیگر خودمتشابه است. هندسه فرکتال در سال 1982 توسط Mandelbort به تحقیقات جهان معرفی گردید و در شاخه‌های مختلفی از علم شامل هندسه، آنالیز بافت، علم مواد، طبقه‌بندی گیاهان و تصویربرداری پزشکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Pandolfi et al., 2009; He et al., 2009). همچنین از این روش برای مطالعه ساختار مواد و خواص مکانیکی مواد غذایی استفاده شده است (Barrett et al., 1995). Quevedo و همکاران (2008) بافت استخراج شده از آنالیز طیفی فوریه تصاویر موز را توسط آنالیز فرکتال مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. روش پیشنهاد شده آنها به‌عنوان شاخصی در تشخیص لکه‌های قهوه‌های موز استفاده گردید. در سایر پژوهش‌ها، ویژگی بافت تکه‌های ژامبون (Quevedo et al., 2016) و میزان آنزیم قهوه‌ای موجود در قارچ، گلابی و سیب توسط آنالیز فرکتال مورد بررسی قرار گرفته است (Mendoza et al., 2009). از دیگر کاربردهای این روش می‌توان به پیش‌بینی تغییرات پارامترهای شیمیایی آبمیوه بایبری<sup>1</sup> در طول دوره انبارمانی اشاره نمود (Zheng et al., 2011).

آنالیز فرکتالی، یک شاخه پرکاربرد برای مطالعه خصوصیات تصاویر / اشیا می‌باشد (Welstead, 1999; Zhang, 2007). اگرچه در بیشتر این کاربردها، تشخیص بعد فرکتالی از اشیا درون تصاویر تحت بررسی حائز اهمیت می‌باشد.

الگوریتم‌های طبقه‌بندی مختلفی برای حل مشکلات طبقه‌بندی پیشنهاد شده است، از جمله آنها می‌توان به تجزیه و تحلیل تفکیک خطی<sup>2</sup> (Kumar & Kaur, 2012)، طبقه‌بندی بیز<sup>3</sup> (Domingos

3 Bayes

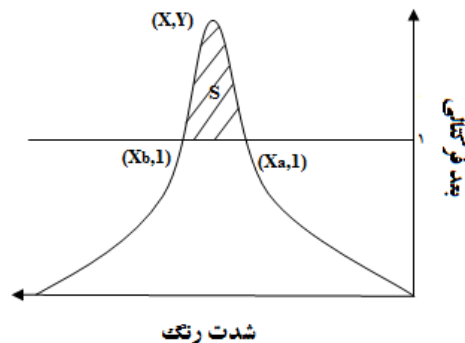
4 k-Nearest Neighbors

5 Support Vector Machine

6 Conceptualization Data

1 Bayberry

2 Linear Discriminant Analysis



شکل 1- نمودار نمایش پنج ویژگی فراکتالی

### محاسبه بعد فرکتالی

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری بعد فرکتال وجود دارد. در این پژوهش از روش Addison (2005) به منظور محاسبه بعد فرکتالی استفاده گردید. مطابق روش توصیه شده بر روی تصاویر آبمیوه از 0 تا 255 آستانه‌گذاری صورت گرفت و بعد فرکتالی در تصاویر خود متشابه در هر آستانه با استفاده از رابطه (1) محاسبه می‌گردد.

$$D = \frac{\log(N_r)}{\log\left(\frac{1}{r}\right)} \quad (1)$$

بعد از محاسبه بعد فرکتالی برای همه زیر تصاویر و ترسیم آن بر حسب مقادیر مختلف  $r$  از منحنی ترسیم شده نسبت به  $r$  مشتق گرفته و شیب خط آن به عنوان بعد فرکتالی کل تصویر گزارش می‌گردد. در این رابطه  $N_r$  تعداد زیر تصاویر تشکیل دهنده کل تصویر؛  $r$  اندازه زیر تصاویر می‌باشد.

### انتخاب موثرترین ویژگی

انتخاب ویژگی، یکی از مسائلی است که در مبحث یادگیری ماشین مطرح است. این مساله در بسیاری از کاربردها (مانند طبقه‌بندی) اهمیت بسزایی دارد، زیرا در این کاربردها تعداد زیادی ویژگی وجود دارد، که بسیاری از آنها یا بلااستفاده هستند و یا اینکه بار اطلاعاتی چندانی ندارند. حذف نکردن این ویژگی‌ها مشکلی از لحاظ اطلاعاتی ایجاد نمی‌کند ولی بار محاسباتی را برای کاربردهای برخط زیاد می‌کند. علاوه بر این باعث می‌شود که اطلاعات غیرمفید زیادی را به همراه داده‌های مفید ذخیره شود. به منظور انتخاب ویژگی، راه حل‌ها و الگوریتم‌های فراوانی ارائه شده است. در این پژوهش از جستجو شناور<sup>3</sup> در انتخاب ویژگی استفاده گردید. این روش حالت بهینه الگوریتم  $(1-r)$  می‌باشد با این تفاوت که

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به منظور بررسی پارامترهای داخلی آب توت سیاه توسط روش‌های مخرب و غیرمخرب در زمان‌های مختلف رسیدگی میوه و همچنین ارتباط این پارامترها با کیفیت آب توت انجام شد. چهار مرحله رسیدگی (ST1-ST4) مطابق با رنگ انتخاب شد. در ضمن تعداد نمونه‌های بدست آمده برای هر مرحله رسیدگی 20 می‌باشد. نمونه‌های میوه از درختان توت سیاه رشد یافته در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان واقع در 36 کیلومتری شمال شرقی اهواز برداشت گردید.

### آزمون‌های غیرمخرب

#### اخذ تصویر

ابتدا آبمیوه هر چهار مرحله توت، توسط آبمیوه‌گیر خانگی استخراج گردید، به منظور عکس‌برداری، آبمیوه موردنظر از هر مرحله در لوله استوانه‌ای شکل با قطر 2 سانتی‌متر از جنس شیشه (به دلیل شفاف بودن) قرار داده شد. تصاویر آبمیوه بدست آمده با دوربین دیجیتال CASIO (مدل Exilim EX-ZR700؛ 16 مگا پیکسل، ساخت کشور ژاپن) به منظور انجام مراحل استخراج و تعیین موثرترین ویژگی‌های رنگی در تصاویر اخذ شده و در رایانه ذخیره‌سازی شدند. از دو لامپ فلورسنت با زاویه 45 درجه نسبت به افق در اطراف دوربین به عنوان سیستم روشنایی و فراهم نمودن شرایط نوری یکسان استفاده گردید. دوربین در فاصله 25 سانتی‌متری به موازات نمونه قرار داده شد.

### بعد فرکتال<sup>1</sup> (خودمتشابه)

اساس آنالیز فرکتال به شرح زیر می‌باشد: (1) عکس‌های اخذ شده از هر بطری آبمیوه به کانال‌های رنگی RGB تقسیم می‌شود؛ (2) برای هر کانال بین مقدار 0 تا 255 عملیات آستانه‌گذاری انجام می‌شود؛ (3) بعد فرکتالی  $(D)$  برای هر کانال رنگی مشخص می‌گردد (نحوه محاسبه آن در بخش بعد خواهد آمد)؛ (4) سپس طیف فرکتال، به عنوان یک تابع از وضعیت آستانه ارائه داده می‌شود. در نهایت بعد طیف فرکتال به دو ناحیه بخش فرکتال و غیرفرکتال تقسیم خواهد شد، پنج ویژگی فرکتالی  $(X_a, X_b, X, Y, S)$  مطابق شکل از آن استخراج می‌شود (شکل 1).

1 Fractal Analysis

2 Fractal Dimension

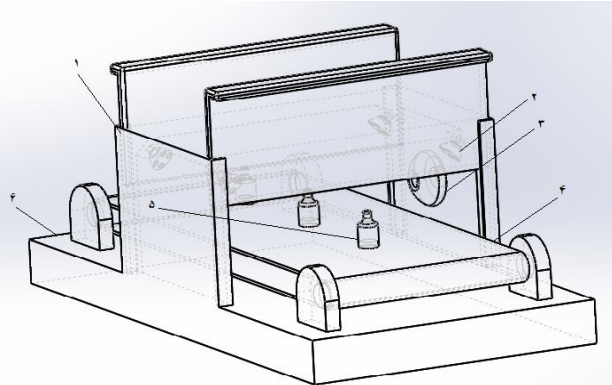
ویتامین ث، اسیدیتته، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای و pH) می‌باشند. در این مطالعه، تعداد نرون در لایه‌های پنهان با استفاده از روش سعی و خطا بدست آمد. عملکرد مدل از طریق ضریب همبستگی (R) و مجذور میانگین مربعات خطا<sup>4</sup> (RMSE) محاسبه گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (k_E - k_P)^2}{N}} \quad (3)$$

$k_E$  مقدار محاسبه شده از آزمایش،  $k_P$  مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و  $N$  تعداد کلی داده‌ها.

### سامانه هوشمند به‌منظور استخراج پارامترهای داخلی آبمیوه توت سیاه به‌صورت آنلاین

بعد از انتخاب بهترین ویژگی استخراج شده از بخش پردازش تصویر که بالاترین ارتباط را با پارامترهای شیمیایی (کل مواد جامد محلول، اسیدیتته، آنتوسیانین، فنول کل، ویتامین ث، pH) دارد، یک سیستم بینایی ماشین طراحی و ساخته شد که به‌صورت بی‌درنگ بتواند ویژگی‌های درونی آب توت سیاه را تعیین کند. شکل 2 شماتیک سامانه بینایی ماشین را نمایش می‌دهد.



شکل 2- شماتیک دستگاه 1 (اتاقک نورپردازی و تصویربرداری)، 2 (لامپ فلورسنت)، 3 (وبکم)، (تسمه نقاله)، 5 (نمونه آبمیوه)، 6 (تخته شاسی)

سیستم تشخیص خودکار مورد نظر در این پژوهش شامل بخش مکانیکی و بخش پردازش تصویر می‌باشد. بخش مکانیکی شامل یک تخته نئوپان که تمام اجزای دستگاه بر روی آن قرار داده می‌شود، تسمه نقاله (به‌ترتیب با طول و عرض: 50 و 21 سانتی‌متر) و موتور (مدل Alsong، 12 ولت، تایوان) برای انجام حمل و نقل ظرف آبمیوه می‌باشد. همچنین در بخش پردازش تصویر از یک

پارامترهای  $l$  و  $r$  شناور بوده و می‌بایست بهینه شوند (Pudil *et al.*, 1994).

### طبقه‌بند کننده نزدیکترین همسایگی ( $k$ -NN)<sup>1</sup>

نزدیکترین همسایگی، یکی از ساده‌ترین دسته‌کننده‌ها به شمار می‌آید. دسته‌بندی در این روش بر اساس محاسبه فاصله داده‌های آزمون (داده‌های ورودی جدید)، با همه الگوها در داده‌های آموزش صورت می‌پذیرد؛ گروهی که در داده‌های آموزش کوتاه‌ترین فاصله را تا داده‌های آزمون داشته باشد به‌عنوان گروه داده‌های آزمون در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش از فاصله اقلیدسی بین دو نقطه به‌منظور تعیین فاصله میان الگوی ورودی جدید با الگوی آموزش استفاده گردید (رابطه 2).

$$d_E(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^R (p_i - q_i)^2} \quad (2)$$

یک پارامتر مهم در روش  $k$ -NN تعیین مقدار  $k$  (تعداد همسایگی‌ها) می‌باشد که در این پژوهش از روش leave-one-out به‌منظور تعیین این پارامتر استفاده گردید (Mucherino *et al.*, 2009). با توجه به محاسبات بهترین مقدار برای  $k$  سه بدست آمد.

### شبکه عصبی (ANN)

ساختار و عملکرد شبکه عصبی مصنوعی الهام گرفته از مغز انسان می‌باشد (Bila *et al.*, 1999)، که از طریق یک روند آموزشی می‌توان روابط بین متغیرهای خروجی و ورودی را بدست آورد. مطابق با پژوهش‌های صورت گرفته شبکه عصبی با یک لایه پنهان برای تقریب هر تابع غیر خطی پیچیده کافی است (Dogan *et al.*, 2008). از این رو در این مطالعه از یک ساختار شبکه پیش‌خور با یک لایه پنهان استفاده گردید. به‌منظور ارتباط میان لایه ورودی با لایه پنهان و لایه پنهان با خروجی به ترتیب از تابع تانژانت سیگموئید<sup>2</sup> و خطی استفاده گردید. در این پژوهش به‌منظور آموزش شبکه، از قاعده یادگیری لوومبرگ-مارکوت<sup>3</sup> استفاده شد. برای آموزش، ابتدا داده‌ها به‌طور تصادفی به دو قسمت تقسیم شدند، به‌طوری که دو - سوم داده‌ها برای آموزش (60 عدد)، یک - سوم داده‌ها (20 عدد) برای آزمون شبکه انتخاب شدند. مقدار خطای متوسط آموزش برای شبکه تابع پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا و با ساختار مختلف مورد بررسی قرار گرفت تا الگوریتم مذکور انتخاب و بهینه‌سازی آن انجام پذیرفت. ورودی مدل پارامترهای فراکتال ( $X_a, X_b, X, Y, S$ ) و خروجی آن (TSS)،

1 k-Nearest Neighbors

2 Tangent Sigmoid Function

3 Leven Berg-Marguardt

4 Root Mean Square Error

گردید.

### آنتوسیانین کل<sup>3</sup> (AC) و مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای در آبمیوه

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین و مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای از روش پیشنهادی Holcraft و همکاران (1998) استفاده گردید. در این روش آبمیوه تازه به نسبت (1:5) با آب مقطر رقیق می‌گردد و میزان جذب در طول موج‌های 510 و 446 نانومتر (به ترتیب طول موج مربوط به آنتوسیانین و مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-2100، آمریکا) قرائت می‌شود. میزان آنتوسیانین و مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای بر اساس واحد جذب<sup>4</sup> در میلی‌متر آب میوه رقیق نشده بیان می‌گردد.

(5) آنتوسیانین کل = میزان جذب در طول موج 510 نانومتر (A<sub>510</sub>) × رقیق‌سازی (D.F)

### اندازه‌گیری فنول کل<sup>5</sup> (TP)

جهت اندازه‌گیری فنول کل آبمیوه از روش Waterhouse (2002) استفاده شد. ابتدا نیم گرم از بافت گوشت میانی میوه با استفاده از 10 میلی‌لیتر متانول 80% در شرایط نور کم، عصاره‌گیری گردید. سپس عصاره به مدت 5 دقیقه در دمای +4 درجه سلسیوس در 3000 دور سانتریفوژ شد. نهایتاً 30 میکرولیتر عصاره با 150 میکرولیتر معرف فنول و 2370 میکرولیتر آب مقطر مخلوط شده و سپس 450 میکرولیتر کربنات سدیم (20%) به محلول اضافه گردید تا رنگ محلول به رنگ آبی تیره تبدیل شود. نمونه‌ها به مدت دو ساعت در دمای +20 درجه سلسیوس نگهداری شدند سپس میزان جذب در طول موج 765 نانومتر اندازه‌گیری گردید. نمونه شاهد حاوی معرف فنول، آب مقطر و کربنات سدیم بدون عصاره بود. میزان فنول با استفاده از استاندارد اسید گالیک محاسبه شد.

### اندازه‌گیری ویتامین ث

اندازه‌گیری ویتامین ث به روش تیتراسیون با سولفات مس براساس روش پیشنهادی Barakat (1973) انجام گردید. در روش پیشنهاد شده به 5 میلی‌لیتر از آبمیوه 10 میلی‌لیتر یدورپتاسیم 5% اضافه گردید. سپس 3 قطره محلول نشاسته 1% اضافه و در ادامه محلول سولفات مس 1% مولار در بورت ریخته می‌شود و تیتراسیون تا ظهور اولین علائم رنگ قرمز جگری ثابت، ادامه می‌یابد. حجم سولفات مس مصرفی یادداشت و با استفاده از رابطه ذیل میزان

ویکم (Logitech مدل C920، چین) و از 4 لامپ فلورسنت به‌منظور نورپردازی بهتر که با زاویه 45 درجه در درون یک اتاقک نصب شده‌اند، و از یک کامپیوتر برای اجرای برنامه پردازش تصویر (تقسیم‌بندی و استخراج ویژگی‌های درجه‌بندی) استفاده شد. سکوی تصویربرداری باید در شرایط نوری یکسانی قرار بگیرد تا تصویربرداری در شرایط ثابتی انجام پذیرد.

### آزمون‌های مخرب

#### اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی میوه

جهت اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی میوه ابتدا عصاره میوه تهیه گردید. بدین ترتیب که میوه توسط یک آبمیوه‌گیر خانگی له شد، تفاله‌های موجود در آبمیوه توسط پارچه ململ جدا شد که آبمیوه در اندازه‌گیری‌های بیوشیمیایی استفاده می‌گردد.

#### اسیدیته کل قابل تیتراسیون<sup>1</sup>

برای اندازه‌گیری اسیدیته کل قابل تیتراسیون آبمیوه از روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم 0/1 نرمال و معرف فنول فتالین استفاده شد. در این روش 5 میلی‌لیتر از آب میوه و 5 میلی‌لیتر آب مقطر درون بشر ریخته می‌شود و پس از اضافه نمودن 3 قطره معرف فنول فتالین (یک درصد) تیتراسیون با هیدروکسید سدیم 0/1 نرمال انجام می‌گردد تا رنگ بنفش ظاهر گردید. میزان سود مصرفی در رابطه 4 قرار داده شد و میزان اسیدیته کل قابل تیتراسیون براساس درصد محاسبه می‌گردد (Eksi & Turkman, 2011).

$$A = (S N F/C) \times 100 \quad (4)$$

A = مقدار اسید در عصاره میوه (درصد)؛ F = فاکتور سود (ضریب نرمال)؛ S = مقدار سود مصرفی (میلی‌لیتر)؛ N = نرمالیه سود؛ C = مقدار عصاره میوه (میلی‌لیتر)

#### کل مواد جامد محلول کل (TSS)

جهت تعیین میزان مواد جامد محلول آبمیوه، از دستگاه رفراکتومتر<sup>2</sup> دیجیتالی (مدل MA882 - ساخت کشور ژاپن) استفاده شد.

#### pH

تعیین pH عصاره میوه با استفاده از pHسنج (P-755 قابل حمل، ژاپن) انجام شد. ابتدا pHمتر با استفاده از محلول بافر چهار و هفت تنظیم گردید سپس آبمیوه در بشر ریخته و الکتروود pHمتر را در محلول قرار داده و پس از ثابت شدن عدد، pH آبمیوه یادداشت

3 Anthocyanin Content  
4 Absorbance Unit  
5 Total Phenolics

1 Total Titratable Acidity  
2 Refractometer

ویتامین ث محاسبه می‌شود.

$$(6) \quad \text{ویتامین ث} = 0/88 \times \text{حجم سولفات مس مصرفی}$$

### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

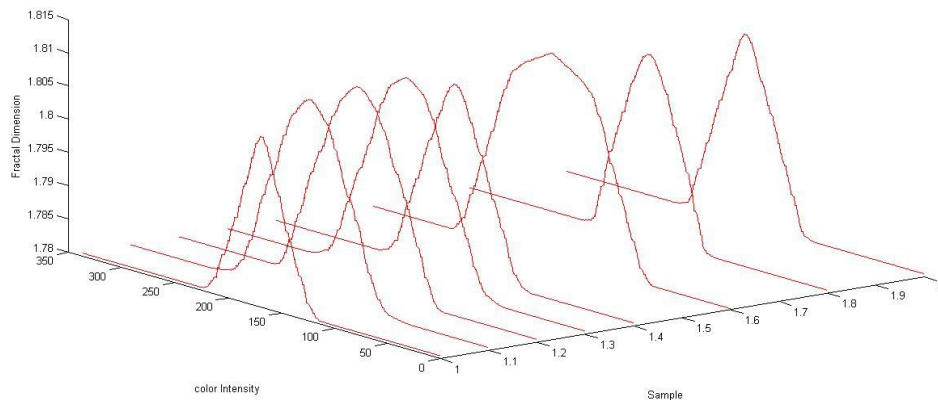
پردازش، تجزیه و تحلیل طیف‌های بدست آمده از آزمون غیرمخرب در نرم‌افزارهای Excel و MATLAB R2013a صورت گرفت. همچنین محاسبات آماری داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.3 انجام شد.

### نتایج و بحث

مراحل تغییرات رنگ آلبیوه در طول مراحل مختلف رسیدگی در



شکل 4- مراحل تغییرات رنگ آلبیوه توت سیاه در طول مراحل مختلف رسیدگی



شکل 5- نمودار بعد فرکتالی برای کانال رنگ قرمز

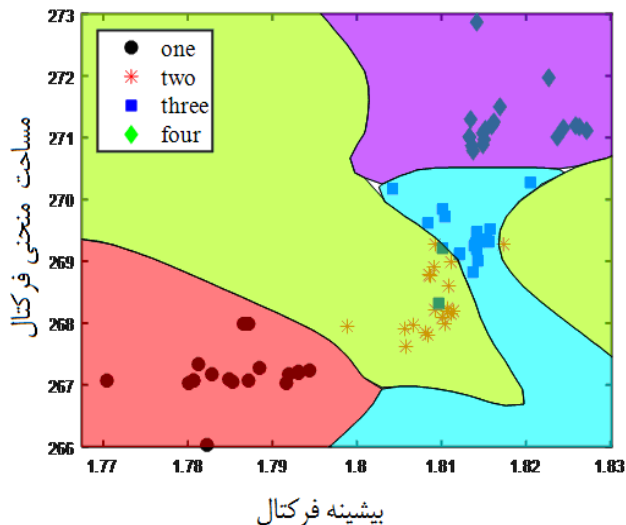
فرکتال می‌باشند، به‌عنوان موثرترین ویژگی در فرآیند آموزش شبکه عصبی و طبقه‌بند k-NN مورد استفاده قرار گرفتند. همانطور که در شکل 6 نشان داده شده است مرزبندی میان گروه‌ها توسط دو ویژگی بیشینه فرکتال و مساحت منحنی

### انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی داده‌ها

مطابق نتایج انتخاب ویژگی جستجو شناور از میان پنج ویژگی استخراج شده از روش فرکتال  $(X_a, X_b, X, Y, S)$ ،  $Y$  و  $S$  که به ترتیب مربوط به بیشینه فرکتال و مساحت منحنی

رنگ در این گروه باشد. مطابق شکل 6 هر دو اشتباه صورت گرفته به گروه رسیدگی دوم اختصاص یافته است. از طرف دیگر هیچ‌گونه خطایی میان مراحل اول و چهارم رسیدگی وجود ندارد که نشان از دقت بالا در طبقه‌بندی داده‌ها دارد.

فرکتال با موفقیت صورت گرفته است (خطوط سیاه و نواحی رنگی) و تنها یک اشتباه آشکار و مرزی در گروه سوم رسیدگی (مربع) وجود دارد. هر دو این اشتباهات در گروه دوم و سوم رسیدگی رخ داده است که می‌تواند به دلیل نزدیکی تغییرات



شکل 6- عملکرد طبقه‌بند آموزش‌دیده با دو ویژگی‌های بیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال

جدول 1- ماتریس درهم‌ریختگی دو ویژگی‌های بیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال

مرحله رسیدگی	اول	دوم	سوم	چهارم	دقت طبقه‌بندی (%)
اول	12	0	0	0	100
دوم	0	14	0	0	100
سوم	0	2	10	0	83/3
چهارم	0	0	0	13	100
دقت طبقه‌بندی (%)	100	87/5	100	100	97/08

اساس دقت درجه‌بندی مورد مقایسه قرار گرفتند. مطابق با نتایج گزارش شده، SVM خصوصیات بافت و شکل خرما را با دقت 90/33 و 87/29؛ و همچنین طبقه‌بند k-NN این دو ویژگی را به ترتیب با دقت 91/37 و 88/95 و LDA این دو ویژگی استخراجی از تصاویر گرفته شده از خرما با دقت 88/75 و 86/45 طبقه‌بندی نمود. در نهایت طبقه‌بند k-NN به عنوان بهترین طبقه‌بند شناخته شد. همچنین در تحقیقی دیگر Nur Badariah و همکاران (2009) یک سیستم درجه‌بندی اتوماتیک برای محصولات کشاورزی ارائه دادند، که از چهار نوع میوه (سیب، موز، پرتقال، انبه) و یک نوع سبزی (هویج) برای آزمایش استفاده شد. ویژگی‌های طول، عرض، مساحت، محیط

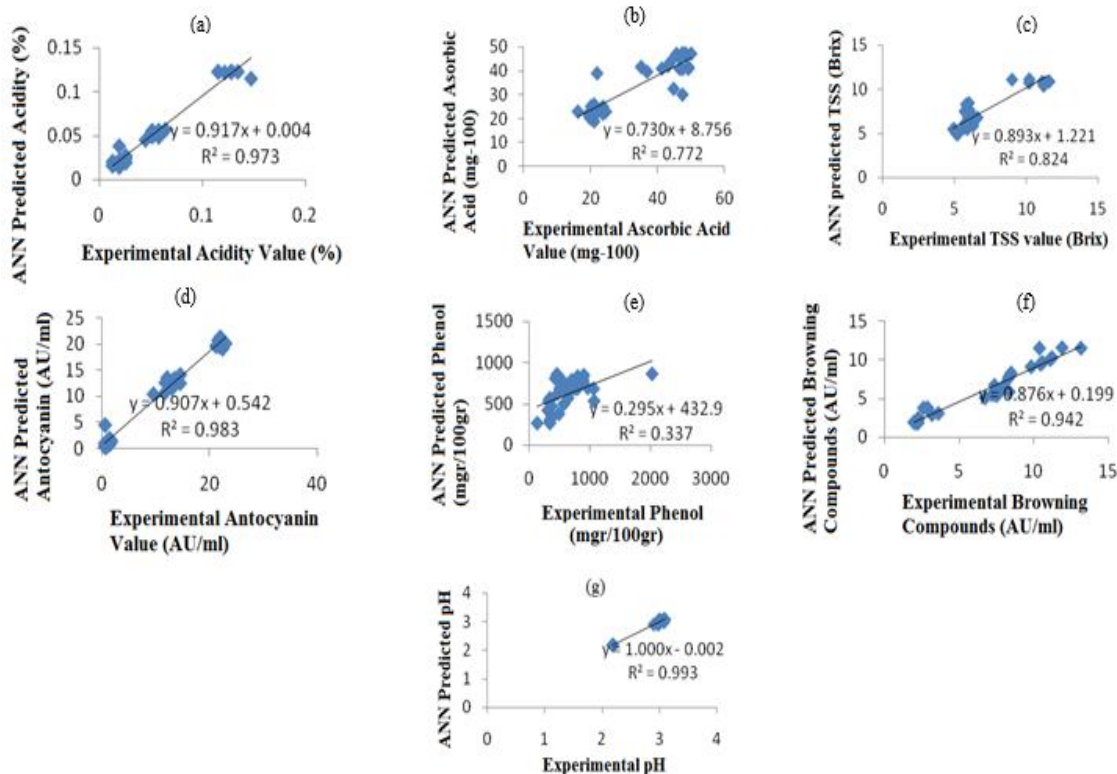
همانطور که در ماتریس درهم‌ریختگی برای دو ویژگی‌های بیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال آمده است، طبقه‌بند مراحل اول، دوم و چهارم رسیدگی را با دقت 100 درصد طبقه‌بندی می‌کند. از طرف دیگر مطابق جدول 1، طبقه‌بند در این حالت فقط دو اشتباه در تشخیص مرحله رسیدگی دوم داشت؛ در نتیجه دقت کلی بدست آمده در طبقه‌بندی 97/08 درصد گردید. در پژوهشی Prabhakar & Mohana (2014) سه طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM)، ماتریس همسایگی نزدیک (k-NN) و تجزیه و تحلیل تفکیک خطی (LDA) به منظور درجه‌بندی دو ویژگی خصوصیات بافت و شکل خرما را مورد بررسی قرار دادند. همچنین عملکرد هر سه طبقه‌بند بر

رنگ قهوه‌ای و pH بدست آمد. در ضمن تعداد نرون‌ها در لایه ورودی با توجه به نتیجه انتخاب ویژگی از پنج نرون به دو نرون کاهش یافت. شکل 7 تغییرات میزان خطای میانگین و ضریب همبستگی در پیش‌بینی پارامترهای شیمیایی از جمله TSS، ویتامین ث، اسیدیت، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای و pH در طول مراحل مختلف رسیدگی بر اساس مقادیر پارامترهای فرکتالی (به بیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال) برای بخش آزمون را نشان می‌دهند. میزان خطای میانگین برای بخش آزمون شبکه عصبی برای پارامترهای آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای، فنول، TSS، اسیدیت، ویتامین ث و pH به ترتیب 0/0016، 0/141، 0/00017 و 0/285، 3/5096E، 0/0040، 1590/879، 0/986، 0/907، 0/8057، 0/97، 0/99، 0/878 و 0/99 بدست آمد.

و طول از تصاویر استخراج گردید. ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) سیب، موز، هویج، انبه و پرتقال را به ترتیب با دقت 96/25، 81/25، 0، 98/75 و 6/52 طبقه بندی نمودند. در پژوهشی دیگر Guru و همکاران (2010) یک سیستم برای طبقه بندی تصاویر گل بر اساس ویژگی های بافت به دست آمده از ماتریس سطح خاکستری (GLCM) پیشنهاد دادند. در این مطالعه از الگوریتم k-NN، با محاسبه فاصله اقلیدسی به منظور طبقه بندی داده‌ها استفاده گردید. بر اساس نتایج بدست آمده عملکرد الگوریتم k-NN 90/13٪ گزارش گردید.

### شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

در بخش آموزش و آزمون شبکه عصبی به ترتیب دو-سوم و یک-سوم نمونه‌ها به‌طور تصادفی برای ساخت این مدل انتخاب گردیدند. تعداد نرون‌ها در لایه پنهان با روش سعی و خطا به ترتیب 6، 8، 6، 10، 6، 5، 10، 6 برای پارامترهای شیمیایی TSS، ویتامین ث، اسیدیت، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده



شکل 7- عملکرد آزمون مدل ANN به‌منظور پیش‌بینی تغییرات (a) اسیدیت، (b) ویتامین ث، (c) TSS، (d) آنتوسیانین، (e) فنول، (f) مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای و (g) pH

مربعات خطا و ضریب همبستگی به ترتیب 18/673 و 0/939، و همچنین ویتامین ث و فنول را به ترتیب با ریشه میانگین مربعات خطا (8/694) و 4/125، ضریب همبستگی 0/935 و 0/393 تخمین زد.

در پژوهشی Zhang و همکاران (2011) با استفاده از مدل ANN آموزش دیده مبتنی بر پارامترهای فرکتال تغییرات آنتوسیانین، ویتامین ث و فنول در طول دوره انبارمانی میوه بایبری را پیش‌بینی نمودند. مطابق با نتایج گزارش شده مشخص گردید که این مدل آنتوسیانین را با ریشه میانگین



جدول ۳- مقایسه میانگین مربوط به پارامترهای مخرب (TSS، ویتامین ث، اسیدیت، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای و pH) و غیر مخرب (پیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال) عملکرد

تیمار	پیشینه فرکتال	مساحت منحنی فرکتال	TSS (°Brix)	ویتامین ث (mg-100)	اسیدیت (%)	فنول (mg/100gr)	آنتوسیانین (AU/ml)	مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای (AU/ml)	pH
ST1	۱/۷۸۸ <sup>c</sup>	۲۶۷/۴۵ <sup>d</sup>	۵/۰۵ <sup>c</sup>	۴۷/۱۷ <sup>a</sup>	-/۱۲۵ <sup>a</sup>	۴۱۹/۶۷ <sup>c</sup>	۱/۳۱۱ <sup>c</sup>	۲/۱۲ <sup>d</sup>	۳/۰۱۴ <sup>b</sup>
ST2	۱/۸۰۴ <sup>b</sup>	۲۶۷/۹۳ <sup>c</sup>	۵/۸۳ <sup>b</sup>	۴۲/۴۶ <sup>b</sup>	-/۰۲۰۵ <sup>c</sup>	۴۶۸/۰۱ <sup>c</sup>	-/۶۰۸۰ <sup>c</sup>	۳/۰۴ <sup>c</sup>	۲/۹۷ <sup>c</sup>
ST3	۱/۸۱ <sup>b</sup>	۲۶۹/۱۶۴ <sup>b</sup>	۶/۰۸۵ <sup>b</sup>	۳۲/۹۳ <sup>c</sup>	-/۰۵۵ <sup>b</sup>	۹۲۰/۹۸ <sup>a</sup>	۱۲/۴۳ <sup>b</sup>	۷/۹۵ <sup>b</sup>	۳/۰۷ <sup>b</sup>
ST4	۱/۸۳ <sup>b</sup>	۲۷۱/۰۸۳ <sup>a</sup>	۱۰/۶۹ <sup>a</sup>	۲۱/۲۶ <sup>c</sup>	-/۰۱۵ <sup>d</sup>	۶۸ <sup>b</sup>	۲۱/۴۶ <sup>a</sup>	۱۱/۰۵۱ <sup>a</sup>	۲/۱۷۵ <sup>d</sup>

حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪

جدول ۲- تجزیه واریانس مربوط به پارامترهای مخرب (TSS، ویتامین ث، اسیدیت، فنول، آنتوسیانین، مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای و pH) و غیرمخرب (پیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال) میانگین مربعات

منابع تغییرات آزادی	درجه	مساحت منحنی فرکتال	پیشینه فرکتال	مساحت منحنی فرکتال	TSS (°Brix)	ویتامین ث (mg-100)	اسیدیت (%)	فنول (mg/100gr)	آنتوسیانین (AU/ml)	مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای (AU/ml)	pH
تیمار	۳	۰/۰۰۰۰۲۶*	۵۲/۴۷*	۱۲۰/۹۷*	۳۵۰۸۵*	۳۵۰۸۵*	-/۰۱۵*	۱۰۰۵۲۵۲۰۷۸۸*	۱۹۶۶۶۳*	۳۸۵/۵۸*	۳/۶۰۶*
خطا	۷۶	۰/۰۰۳*	۰/۲۸*	۰/۳۸*	۸۹۵*	۸۹۵*	۰/۰۰۰۵*	۵۲۵۳۲/۴۹۳*	۲/۳۹۹*	۰/۸۷*	-/۰۰۰۰۴*
فرسب تغییرات	۰/۲۸	۰/۱۹	۸/۱۸۳	۸۹	۱۲/۶۹	۳۷۲۷	۱۲/۶۹	۳۷۲۷	۱۷/۸۲	۱۵/۸	-/۷۷

\* نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪

Zhang و همکاران (2011) مطابقت داشت. برای ویژگی‌های مخرب این نتایج حاصل گردید که؛ پارامترهای TSS، آنتوسیانین و مواد ایجاد کننده رنگ قهوه‌ای با پیشرفت رسیدگی مقدار آنها افزایش و متعاقبا میزان فنول، اسیدیت و ویتامین ث کاهش معنی‌داری داشتند؛ که نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های تحقیق برخی از محققان Zhang و همکاران (2011)؛ Agati و همکاران (2005)؛ Ozgen و همکاران (2009)؛ و Zaserowski و همکاران (2005) همخوانی داشت. همچنین برای پارامتر pH یک روند افزایشی و کاهش‌ی وجود داشت.

### نتیجه‌گیری

از آنجا که تاکنون در ایران هیچ پژوهشی با هدف مقایسه عملکرد دو روش غیرپارامتریک kNN و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و همچنین استفاده از آنالیز فرکتال بر روی پارامترهای مخرب و غیرمخرب آب توت سیاه و در کشور گزارش نشده است. ضرورت چنین بررسی مورد توجه نویسندگان قرار گرفت. از میان پنج ویژگی استخراج شده از تصاویر آرمیوه توت سیاه توسط آنالیز فرکتال؛ بیشینه فرکتال و مساحت منحنی فرکتال به‌عنوان موثرترین ویژگی در فرآیند آموزش شبکه عصبی و طبقه‌بند k-NN مورد استفاده قرار گرفتند.

### سپاسگزاری

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

Taghadomi-Saberi (2013) با استفاده از مدل شبکه عصبی دو پارامتر بیوشیمیایی آنتوسیانین و آنتی‌اکسیدانت موجود در میوه گیلاس را طی دوره رسیدگی پیش‌بینی نمودند. مدل شبکه عصبی میزان آنتوسیانین را با بیشترین ضریب همبستگی (0/965) و کمترین میزان خطای میانگین (215/4) و همچنین آنتی‌اکسیدانت را به‌ترتیب با کمترین خطای میانگین 0/070 و ضریب همبستگی 0/914 پیشگویی کرد. Serrano و همکاران (2005) همچنین نتایج مشابهی را برای رفتار آنتی‌اکسیدانت در طول دوره رسیدگی گیلاس گزارش نمودند. Paulraj و همکاران (2009) یک سیستم به‌منظور تشخیص مراحل رسیدگی موز بر اساس شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، طراحی و پیاده‌سازی نمودند. در این مطالعه چهار مرحله موز با اندازه و مراحل مختلف رسیدگی مورد بررسی قرار گرفتند. مدل شبکه عصبی مصنوعی دقت این دستگاه را برای شناخت موز بر اساس دو ویژگی ذکر شده (اندازه و میزان رسیدگی)، 0/96 پیش‌بینی نمود.

### نتایج آنالیز آماری

مطابق جدول 2 مشخص گردید که میان تیمار و خطا در تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال خطای 5% تفاوت معنی‌داری وجود دارد. نتایج مربوط به جدول 3 نشان می‌دهد که؛ مقدار بیشینه و مساحت منحنی فرکتال در طی مراحل رسیدگی به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد ( $p > 0/05$ ). این مساله نشان از انتخاب صحیح این دو ویژگی در بخش انتخاب ویژگی می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از این دو پارامتر غیرمخرب، هرچه رنگ آرمیوه تیره‌تر گردد، مقدار این دو افزایش خواهد یافت؛ که نتایج حاصل با یافته‌های تحقیق

### منابع

- Addison, P.S., 2005, Fractals and Chaos: IOP Publishing.
- Agati, G., Pinelli, P., Ebner, S. C., Romani, A., Cartelat, A. & Cerovic, Z. G., 2005, Nondestructive evaluation of anthocyanins in olive (*Olea europaea*) fruits by in situ chlorophyll fluorescence spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1354-1363.
- Ahmad Mustafa, N.B., Ahmed, S.K., Zaipatimah Ali, Yit, W.B., Zainul Abidin, A.A. & Md Sharrif, Z.A., 2010, Agricultural Produce Sorting and Grading using Support Vector Machines and Fuzzy Logic, *IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications*, 617-623.
- Alighourchi, H. & Barzegar, M., 2009, Some physicochemical characteristics and degradation kinetic of anthocyanin of reconstituted pomegranate juice during storage. *J. Food Eng*, 90, 179-185.
- Al-Zubaidy, M. M. I. & Khalil, R. A., 2007, Kinetic and prediction studies of ascorbic acid degradation in normal and concentrate local lemon juice during storage. *Food Chem*, 101, 254-259.
- Andallu, B. & Varadacharyulu, N.C., 2003, Antioxidant role of mulberry (*Morus indica* L. cv. Anantha) leaves in streptozocin-diabetic rate. *Clinica Chimica Acta*, 338, 3-10.
- Asano, N., Yamashita, T., Yasuda, K., Ikeda, Kizu, H. & Kameda, Y., et al., 2001, Polyhydroxylated alkaloid isolated from mulberry trees (*Morus alba* L.) and silkworms (*Bombyx mori* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 4208-4213.
- Auria, L. & Moro, R. A., 2008, Support vector machines (svm) as a technique for solvency analysis, Technical report, Discussion papers: German Institute for Economic Research (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin).

- Barakat, M. Z., Shehab, S.K., Darwish, N. & El-Zoheiry, A., 1973, A new titrimetric method for the determination of vitamin C. *Analytical Biochemistry*, 53, 245-251.
- Barrett, A. H. & Peleg, M., 1995, Applications of fractal analysis to food structure. *LWT-Food Sci. Technol*, 28, 553-563.
- Bila, S., Harkouss, Y., Ibrahim, M., Rousset, J., N'Goya, E., Baillargeat, D., Verdeyme, S., Aubourg, M. & Guillon, P., 1999, An accurate wavelet neural-network-based model for electromagnetic optimization of microwave circuits. *Int. J. RF Microwave CAE*, 93, 297-306.
- Blasco, J., Aleixos, N., Cubero, S., Gomez-Sanchis, J. & Molto, E., 2009, Automatic sorting of satsuma (*Citrus unshiu*) segments using computer vision and morphological features. *Computers and Electronics in Agriculture*, 66, 1-8.
- Burdurlu, H. S., Koca, N. & Karadeniz, F., 2006, Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *J. Food Eng*, 74, 211-216.
- Cemeroglu, B., Velioglu, S. & Isik, S., 1994, Degradation kinetics of anthocyanins in sour cherry juice and concentrate. *J. Food Sci*, 59, 1216-1218.
- Damiri, D. J. & Slamet, C., 2012, Application of image processing and artificial neural networks to identify ripeness and maturity of the lime (*Citrus medica*), *International Journal of Basic and Applied Science*, 1(2), 171-179.
- Diaz, R., Faus, G., Blasco, M. & Molto, E., 2000, The application of a fast algorithm for the classification of olives by machine vision. *Food Research International*, 33, 305-309.
- Dogan, A., Demirpençe, H. & Cobaner, M., 2008, Prediction of groundwater levels from lake levels and climate data using ANN approach. *Water SA*, 34 (2), 1-10.
- Du, J., He, Z.D., Jiang, R.W., Ye, W.C., Xu, H.X. & But, P.P.H., 2003, Antiviral flavonoids from the root bark of *Morus alba* L. *photochemistry*, 62, 1235-1238.
- Eksi, A. & Turkmen, I., 2011, Brix degree and sorbitol/xylitol level of authentic pomegranate (*punica granatum* L.) juice. *Food Chemistry*, 127(3), 1404-1407.
- El-Beshbishy, H.A., Singab, A.N.B., Sinkkonen, J. & Pihlaja, K., 2006, Hypolipidemic and antioxidant effect of *Morus alba* L. (*Egyptian mulberry*) root bark fraction supplementation in cholesterol-fed rats. *Life Sciences*, 78, 2724-2733.
- Fang, Y. C. & Wu, B. W., 2007, Neural network application for thermal image recognition on flow-resolution objects. *J. Opt. A: Pure Appl. Opt*, 9 (2), 134-144.
- Furferi, R., Governi, L., & Volpe, Y., 2010, ANN-based method for olive ripening index automatic prediction. *J. Food Eng*, 101, 318-328.
- Guru, D.S., Sharath, Y.H. & Manjunath, S., 2010, "Texture Features and K-NN in Classification of Flower Images", IJCA Special Issue on "Recent Trends in Image Processing and Pattern Recognition", RTIPPR.
- Haykin, S., 1994, Neural network: A comprehensive foundation. New York, NY: Macmillan.
- He, Z., You, X., & Yuan, Y., 2009, Texture image retrieval based on nontensor product wavelet filter banks. *Signal Process*, 89, 1501-1510.
- Holecraft, D. M., Gil, M. I. & Keder, A. A., 1998, Effects of carbon dioxide on anthocyanine ammonia, phenylalanine, ammonia lyase and glucosyltransferase in the arils of stored pomegranates. *Journal American Society Horticulture Science*, 123(1), 136-140.
- Kaasra, I., & Boyd, M., 1996, Designing a neural network for forecasting financial and economic time series. *Neurocomputing*, 10, 215-236.
- Kang, T.H., Hur, J.Y., Kim, H.B, Ryu, J.H. & Kim, S.Y., 2006, Neuroprotective effects of the cyaniding-3-O-β-D-glucopyranoside isolated from mulberry fruit against cerebral ischemia. *Neuroscience Letters*, 391, 168-172.
- Kim, S.Y., Park, K.J. & Lee, W.C., 1998, Antiinflammatory and antioxidative effect of *Morus* spp. Fruit extract. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 6, 204-209.
- Kumar, S. & Kaur, H., 2012, Face recognition techniques: Classification and comparisons, *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, 5(2), 361-363.
- Langner, J., 2001, Leaves Recognition v.1.0. Retrieved from <http://www.jenslangner.de/lrecog>.
- Laykin, S., Alchanatis V. & Edan Y., 2002, Image processing algorithms for tomato classifications. *Transactions of the ASAE*, 45, 851-858.
- Laykin, S., Alchanatis, V., Edan, Y. & Weisman, Z., 2008, Image Processing Algorithms for Table Olives Classification.
- Lee, W. S., Alchanatis, V., Yang, C., Hirafuji, M., Moshou, D. & Li, C., 2010, Sensing technologies for precision specialty crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74, 2-33.
- Mandelbrot, B. B., 1982, Fractal Geometry of Nature; Freeman Press: San Francisco, CA.
- Mendoza, F., Valous, N.A., Paul Allen, P., Kenny, T.A., Paddy Ward, P. & Sun, D.W., 2009, Analysis and classification of commercial ham slice images using directional fractal dimension features. *Meat Science*, 81, 313-320.
- Mendoza, L. & Aguilera, J.M., 2004, Application of image analysis for classification of ripening bananas. *Journal of Food Science*, 69, 471-477.

- Mohana S.H. & Prabhakar C.J., 2014, A novel Technique for grading of dates using shape and texture features. *An International Journal (MLAIJ)* Vol.1, No.2, 15-29.
- Mucherino, A., Papajorgji, P. J. & Pardalos, P. M., 2009, Data mining in agriculture (Vol. 34). Springer Science & Business Media.
- Ninawe, P. & Pandey, Sh., 2014, A Completion on Fruit Recognition System Using K-Nearest Neighbors Algorithm. *International Journal of Advanced Research in Co Engineering & Technology (IJARCET)* Volume 3 Issue 7, 2352-2356.
- Ozgen, M., Serc, E.S. & Kaya, C., 2009, Phytochemical and antioxidant properties of anthocyanin-rich *Morusnigra* and *Morusrubra* fruits. *Sci. Horti*, 119, 275–279.
- Pace, B., Cefola, M., Renna, F., Renna, M. & Serio, F., 2013, Multiple regression models and computer vision systems to predict antioxidant activity and total phenols in pigmented carrots. *Journal of Food Engineering*, 117, 74-81
- Pandolfi, C., Messina, G., Mugnai, S., Azzarello, E., Masi, E., Dixon, K. & Mancuso, S., 2009, Discrimination and identification of morphotypes of *Banksia integrifolia* (Proteaceae) by an artificial, neural network (ANN) based on morphological and fractal parameters of leaves and flowers. *TAXON*, 58 (3), 925-933.
- Parlak, A., Islamoglu, Y., Yasar, H. & Egrisogut, A., 2006, Application of artificial neural network to predict specific fuel consumption and exhaust temperature for a diesel engine. *Appl. Therm. Eng.*, 26, 824-828.
- Paulraj, M., Hema, C. R., R Pranesh, K. & Siti Sofiah, M. R., 2009, Color recognition algorithm using a neural network model in determining the ripeness of a banana, *The International Conference on Man-Machine Systems (ICoMMS)*, *Universiti Malaysia Perlis*, pp. 2B71–2B74.
- Pudil, P., Novovičová, J. & Kittler, J., 1994, Floating search methods in feature selection. *Pattern recognition letters*, 15(11), 1119-1125.
- Quevedo, R., Mendoza, F., Aguilera, J.M., Chanona, & Gutierrez-Lopez, J., 2008, Determination of senescent spotting in banana (*Musa Cavendish*) using fractal texture Fourier image. *Journal of Food Engineering*, 84, 509–515.
- Quevedo, R., Pedreschi, F., Bastias, J.M. & Díaz, O., 2016, Correlation of the fractal enzymatic browning rate with the temperature in mushroom, pear and apple slices. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 406-413.
- Ragni, L., Berardinelli, A. & Guarnieri, A., 2010, Impact device for measuring the flesh firmness of kiwifruits. *Journal of Food Engineering*, 96, 591-597.
- Seng, W.C. & Mirisae, S.H., 2009, " A New Method for Fruits Recognition System ", *International Conference on Electrical Engineering & Informatics, Selangor*, 346-350.
- Serrano, M., Guilleán, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S. & Valero, D., 2005, Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2741-2745.
- Shah Rizam, M., Farah Yasmin, A., Ahmad Ihsan, M. & Shazana, K., 2009, Non-destructive watermelon ripeness determination using image processing and artificial neural network (ann), *International Journal of Electrical and Computer Engineering* 4(6).
- Taghadomi-Saberi, S., Omid, M., Emam-Djomeh, Z. & Ahmadi, H., 2013, Development of an intelligent system to determine sour cherry's antioxidant activity and anthocyanin content during ripening. *International Journal of Food Properties*, 48, 735-741.
- Thygesen, L.G., Thybo, A.K., & Engelsen, S.B., 2001, Prediction of sensory texture quality of boiled potatoes from lowfield <sup>1</sup>H NMR of raw potatoes. The role of chemical constituents. *Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie*, 34, 469–477.
- Waterhouse, A. L., 2002, Determination of total phenolics. In: *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 11(1), 11-18.
- Welstead, S., 1999, Fractal and Wavelet Image Compression Techniques: *Tutorial in optical engineering*, Volume TT40.
- Yuanyou, X., Yanming, X. & Ruigeng, Z., 1997, An engineering geology evaluation method based on an artificial neural network and its application. *Eng. Geol.*, 47 (1-2), 149-156.
- Zadernowski, R., Naczki, M. & Nesterowicz, J., 2005, Phenolic acid profiles in some small berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2118-2124.
- Zhang, J., Zhang, B., & Bai, S., 2007, Fractal Image Processing and Analysis by Programming in Matlab: Proceeding of 8th WSEAS Int. Conference on Mathematics and Computers in Biology and Chemistry, Vancouver, Canada, June 19-21.
- Zheng, C., Sun, D.W. & Zheng, L., 2006, Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection – a review. *Trends in Food Science and Technology*, 17, 642–655.
- Zheng, H., Jiang, L., Lou, H., Hu, Y., Kong, X. & Lu, H., 2011, Application of Artificial Neural Network (ANN) and Partial Least-Squares Regression (PLSR) to Predict the Changes of Anthocyanins, Ascorbic Acid, Total Phenols, Flavonoids, and Antioxidant Activity during Storage of Red Bayberry Juice Based on Fractal Analysis and Red, Green, and Blue (RGB) Intensity Values. *J. Agric. Food Chem.*, 59, 592-600.



## Predict changes of some quality parameters of black mulberry juice (*Morusnigra* L.) during ripening using machine vision and fractal analysis

M. Soltani kazemi<sup>1</sup>, S. Abdanan Mehdizadeh<sup>2\*</sup>, M. Heydari<sup>3</sup>, S. M. Faregh<sup>4</sup>

Received: 2016.07.10

Accepted: 2016.12.12

**Introduction:** Blackberry is a perennial woody plant native to warm, temperate, and subtropical regions of Asia, Africa, North America, and southern Europe. Blackberry fruit (*Morus Alba Varnigra* L.) is a rich source of anthocyanins. Furthermore, it has great many medicinal properties such as an antidiabetic (Asano *et al.*, 2001), antihyperglycemic (Andallu & Varadacharyulu, 2003), antiviral (Du *et al.*, 2003), antioxidative (Kim *et al.*, 1998), hypolipidemic (El-Beshbishy *et al.*, 2006), and neuroprotective (Kang *et al.*, 2006). However, measuring some qualitative and nutrient parameters in this fruit such as anthocyanins, vitamin C and phenol directly has become a major issue (Pace *et al.*, 2013). Therefore, researchers try to predict aforementioned parameters by mathematical models. One of these models is the fractal model which is widely used to study the properties of the images/objects (Welstead, 1999; Zhang, 2007). Recently, many researchers try to develop different methods to classify or predict the agricultural products quality (Langner, 2001). In a research Seng and Mirisae (2009) designed a machine vision algorithm for classification of fruits (apple, lemon, strawberry and banana) based on color, shape and size. Li and He investigated the application of visible/near infrared spectroscopy (Vis/NIRS) for measuring the acidity of Chinese bayberry. The model for prediction the acidity ( $r=0.963$ ), standard error of prediction (SEP) 0.21 with a bias of 0.138 showed an excellent prediction performance. Therefore, the aim of this study was to predict biochemical parameters (TSS, anthocyanins, browning compounds, total phenols, Ascorbic Acid, pH) of blackberry juice, nondestructively, during maturity process using machine vision and fractal analysis. To develop predictive models and data classification, artificial neural networks (ANN) and k-nearest neighbor (k-NN) were used.

**Materials and methods:** Eighty blackberry fruits from four maturity stages were selected. The fruit samples were placed in airtight polyethylene bags, stored in an ice-filled cooler and transported to the laboratory to keep at cold temperature ( $4\pm 1^\circ\text{C}$ ).

Fresh fruits were squeezed by a household juicer, and immediately transported to the laboratory. Then, juice images were taken with a digital camera CASIO (Model Exilim EX-ZR700; 16 megapixels, Japan) and stored to the computer.

There are several ways to measure the fractal dimension. In this study, the proposed method by Addison (2005) was used to calculate the fractal dimension.

Feature selection is one of the issues that have been raised in the context of machine learning. In this study, floating search method feature selection was used (Pudil *et al.*, 1994).

k-Nearest Neighbor (k-NN) is one of the simplest methods for information classification. In this study, the Euclidean distance between two points was used to determine the distance between the input data with the training patterns (Mucherino *et al.*, 2009).

To train the neural network, Levenberg–Marquardt training algorithm was used. In this regard, the data were divided randomly into two parts (two-thirds for training (60) and one-third (20) for testing the network). Input parameters were  $X_a$ ,  $X_b$ ,  $X$ ,  $Y$  and  $S$  and output parameters were TSS, ascorbic acid, acidity, polyphenols, anthocyanins, brown-causing substances and pH. Moreover, in this study, the number of neurons in the hidden layer was selected by trial and error method.

After selecting the best features extracted from the image processing with the highest correlation with

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

3. Associate professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan.

4. Assistant professor, Agricultural Farm machinery and Mechanization Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan

(\*Corresponding Author: saman.abdanan@gmail.com)

chemical parameters (TSS, anthocyanins, total phenols, ascorbic acid, and pH), a machine vision system was designed and built to be able to determine the internal properties of black mulberry juice.

Total soluble solids (TSS) were determined by a hand refractometer device (model: MT03 Japan). The anthocyanin content was estimated following the procedure of Holecraft et al., (1998). Ascorbic acid of the juice was measured by titration with copper sulfate and potassium iodide based on the Barakat et al., (1973) procedure. Titratable acidity was measured according to the Eksi and Turkman, (2011) method. Waterhouse (2002) method was used for measuring the total phenol of juice.

**Results and discussion:** Artificial neural network (ANN) and (k-NN) models were used to predict the changes of anthocyanin (AC), browning compounds, ascorbic acid (AA), total phenols (TP), acidity, TSS and pH in mulberry juice during ripening based on fractal analysis. Two features namely: maximum fractal and fractal curve area were selected from five extracted features and used for training neural network and k-NN classifier

**Key Words:** ANN, k-NN, Fractal Dimension, Biochemical Par