

تعیین پاسخ ارتعاشی ساقه نیشکر برای پیش‌بینی فیبر و بریکس با کمک پردازش تصویر

هادی اورک^۱، سامان آبدانان مهدی‌زاده^{۲*} و مریم سلطانی کاظمی^۳

چکیده

نیشکر، یکی از محصولات مهم در حوزه کشاورزی است. بخش جامد نیشکر که شامل فیبر (باگاس) به‌دست‌آمده از تفاله‌های صنعت نیشکر می‌باشد، از بزرگ‌ترین منابع سلولز به شمار می‌آید. یک شاخص قابل اندازه‌گیری دیگر در نیشکر، بریکس می‌باشد که به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری شکر و همچنین رسیدگی آن است. با توجه به اهمیت میزان فیبر، شاخص بریکس و محتوای رطوبتی ساقه نیشکر، در این مقاله سعی شده است روشی غیرمخرب برای تخمین این مؤلفه‌ها ارائه گردد؛ به این منظور، ارتعاش مکانیکی ساقه‌های نیشکر به صورت تیر یکسرگردار مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌ها بعد از قرارگیری در محل مناسب با زدن ضربه‌ای تحریک و فرکانس طبیعی، فرکانس میرایی و ضریب میرایی محاسبه شدند و به‌عنوان ورودی برای آموزش شبکه عصبی و مصنوعی برای پیشگویی بریکس، درصد فیبر و محتوای رطوبتی (به‌عنوان خروجی‌ها) مورد استفاده قرار گرفتند. میزان ضریب همبستگی برای فیبر، بریکس و رطوبت به ترتیب $R^2 = 0/97$ ، $R^2 = 0/71$ و $R^2 = 0/55$ به‌دست آمد. همچنین از ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی داده‌های ارتعاشی نیشکر استفاده گردید. نتایج نشان داد که طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان مؤلفه‌های فیبر و بریکس را به ترتیب با دقت $91/43\%$ و $83/73\%$ درصد طبقه‌بندی کرد.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش مکانیکی، پردازش تصویر، شاخص بریکس، درصد فیبر، شبکه عصبی و مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان.

ارجاع: اورک ه. آبدانان مهدی‌زاده س. و سلطانی کاظمی م. ۱۳۹۷. تعیین پاسخ ارتعاشی ساقه نیشکر برای پیش‌بینی فیبر و بریکس با کمک پردازش تصویر. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۷(۲): ۴۱-۵۱.

۱- دانش‌آموخته 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.
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

* نویسنده مسئول: saman.abdanan@gmail.com and abdanan@ramin.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۴

مقدمه

نیشکر به‌عنوان یکی از محصولات مهم در حوزه کشاورزی می‌باشد. سطح برداشت نیشکر در سال زراعی ۹۴-۹۳ معادل ۸۷/۱۴ هزار هکتار بوده است، و طی سال‌های ۹۴-۹۳ روند رو به رشدی را داشته است. کل اراضی و صنعت نیشکر کشور در استان خوزستان واقع شده است. ایران از نظر رشد عملکرد نیشکر موفقیت مناسبی داشته است؛ به طوری که طی سال‌های مذکور، عملکرد نیشکر از ۴۹ تن به ۵۱ تن در هکتار افزایش یافته است. در نتیجه، افزایش سطح نیشکر و عملکرد نیشکر در واحد سطح تولید نیشکر به حدود ۷/۵ میلیون تن در هکتار رسیده است (Anonymous, 2016). بخش جامد نیشکر، فیبر (باگاس) به‌دست‌آمده از تفاله‌های صنعت نیشکر، یکی از بزرگ‌ترین منابع سلولز جانبی صنعت کشاورزی است (Asgher et al., 2016). سالانه در جهان بیش از ۵۴ میلیون تن باگاس خشک تولید می‌شود (Satyanaraayan et al., 2007) که به‌عنوان سوخت موجود در کارخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه از این محصول جانبی به‌عنوان سوخت زیستی و منبع تجدیدپذیر در تولید برق، کاغذ، مواد ساختمانی و تولید مواد زیستی استفاده می‌شود (Chen & Chou, 1997). فیبر موجود در نیشکر دارای خصوصیتی از قبیل خواص خمشی، مقاومت به ضربه و جذاب صدا است که کاربردهای صنعتی این محصول را بیشتر می‌کند. شاخص بریکس (شاخص ساکارز)، درصد وزنی ساکارز محلول در آب خالص است. ساکارز خالص تنها از نیشکر و چغندر قند استخراج می‌شود. طبق مطالعاتی که بر روی تنوع رطوبت نیشکر انجام گرفت، شرایط محیطی (Yates, 1996) و همچنین خشک‌بودن ساقه آن (Robertson & Donaldson, 1998; Robertson et al., 1999) به‌عنوان تابعی از رسیدگی نیشکر معرفی شده است. این تنوع رطوبتی مهم است؛ زیرا در چگونگی ارتباط با ساکارز و تخمین آن اهمیت دارد. (Keating et al., 1999). O'Leary (2000) میزان رطوبت ساقه نیشکر را به ساختار ساقه و عمر آن نسبت دادند. بررسی‌های اخیر نشان می‌دهد که مدل‌های ارائه‌شده برای شبیه‌سازی محتوای رطوبتی ساقه نیشکر سازگاری ضعیفی داشتند (O'Leary, 2000). در دهه‌های اخیر، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و پردازش تصویر در مراکز تحقیقاتی پیشرفت‌های چشم‌گیری یافته است. در پژوهشی (Pujari et al., 2016)

با استفاده از تکنیک بینایی رایانه روشی را برای طبقه‌بندی گیاهان سالم از ناسالم ارائه کردند. در این پژوهش، بیماری‌های گیاهی که بر محصولات زراعی و باغی تأثیرگذار بودند، مورد مطالعه قرار گرفتند. بدین‌منظور، نمونه‌هایی از تصاویر گیاهان بیمار با بیماری‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند و از روش‌های ماشین بردار پشتیبانی (SVM) و شبکه عصبی و مصنوعی (ANN) برای طبقه‌بندی داده‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که SVM طبقه‌بند مناسب‌تری (با نرخ تشخیص ۹۲٪) برای شناسایی و طبقه‌بندی بیماری‌های گیاهان زراعی و باغی می‌باشد. (Sukumar & Ravi, 2016) سیستمی را برای شناسایی علف‌های هرز از محصول توسعه دادند. در روش پیشنهادی آن‌ها، ابتدا پنج تصویر از علف‌های هرز و محصول به سیستم تشخیص داده می‌شد. نتایج اولیه حاصل از این پژوهش برای تشخیص علف هرز از محصول با نرخ تشخیص ۷۵٪ بود. (Kurtulmus et al., 2016) در پژوهشی به طبقه‌بندی هشت رقم دانه فلفل بر اساس ویژگی‌های مورفولوژی، رنگ و بافت به کمک شبکه عصبی و مصنوعی پرداختند. این محققین نتایج حاصل از این پژوهش را ۸۴/۹۴٪ گزارش کردند.

برای اندازه‌گیری بریکس در محصولات کشاورزی روش‌های مختلفی مانند روش طیف‌سنجی امواج مرئی و کوتاه مادون قرمز^۱ (Nawi et al., 2013a)، سنسورهای دی‌الکتریک (Naderi-Boldaji et al., 2015) و امواج ماکروویو- فراصوت^۲ (Cole et al., 2016) در محصول نیشکر، استفاده از روش طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز^۳ (FT-IR) در سیب "فوجی" (Xiaobo et al., 2007) و رفراکتومتر دیجیتالی^۴ در پرتقال استفاده گردیده‌اند (Jamshidi et al., 2012). بنابراین، با پیشرفت تکنولوژی و کاربرد آن در کشاورزی دقیق، از این حوزه به‌عنوان یک استراتژی مدیریتی با ارزش در راستای افزایش سودآوری استفاده می‌ود (Wendte et al., 2001).

با توجه به اهمیت میزان فیبر، درجه بریکس و محتوای رطوبتی ساقه نیشکر، در این پژوهش سعی شده است روشی غیرمخرب برای تخمین این مؤلفه‌ها با تعیین پاسخ ارتعاشی ساقه نیشکر با کمک پردازش تصویر ارائه شود.

1- Visible and Shortwaves Near Infrared

2- Microwave-Ultrasound

3- Fourier Transformation-Infrared Red

4- Digital Refractometer

مواد و روش‌ها

تعداد ۱۰۰ عدد از دو رقم نیشکر (Cp57-، Cp69-1062) جمع‌آوری شد. برای ارزیابی ارتعاش ساقه‌ها، نمونه‌های ساقه کامل ابتدا سر زنی شدند؛ سپس، به وسیله چاقو، قطعاتی ۲۵ سانتی‌متری از هر نمونه تهیه گردید.

گرفتن تصویر و ویژگی‌های ارتعاشی

برای ارزیابی ارتعاشات مکانیکی ساقه‌های نیشکر از دوربین دیجیتال CASIO (مدل Exilim EX-ZR700؛ ۱۶ پیکسل، ساخت کشور ژاپن) با توانایی فیلم‌برداری ۱۰۰۰ فریم بر ثانیه استفاده گردید. نمونه‌ها به صورت تیر یک‌سر گیردار مورد ارزیابی قرار گرفتند. بعد از قرارگیری در محل مناسب خود به وسیله یک چکش پلاستیکی به جرم ۸۰ گرم و طول دسته ۴۰ سانتی‌متری به صورت ۹۰ درجه (عمود نسبت به افق) با زدن ضربه‌ای تحریک شدند (شکل ۱). بزرگی ضربه‌ها، با توجه به اینکه داده‌های حاصل از جابه‌جایی (ارتعاش) به بیشینه خود نرمال می‌شدند، تا زمانی که تغییر شکل غیرقابل برگشت ایجاد نمی‌کردند، از اهمیت برخوردار نبودند. نقطه دایره‌ای با مساحت مشخص بر روی نمونه‌ها علامت‌گذاری گردید و بعد از فیلم‌برداری از لحظه تحریک شدن، جابه‌جایی ساقه‌ها با دنبال کردن

مرکز سطح دایره علامت‌گذاری شده انجام می‌گرفت. این آزمایش ۴ بار برای هر نمونه تکرار و میانگین به دست آمده از این ۴ تکرار ثبت گردید. به طور متوسط، ۱۰۰۰ داده ارتعاشی در هر ثانیه در طول آزمایش ثبت و به محیط نرم‌افزار Matlab 2013a منتقل گردید. برای محاسبه نسبت میرایی (x) از روش کاهش لگاریتمی بر اساس معادله (۱) و تبدیل فوریه برای دست آوردن طیف فرکانس ارتعاش برای محاسبه فرکانس طبیعی استفاده گردید (Etaati et al., 2013).

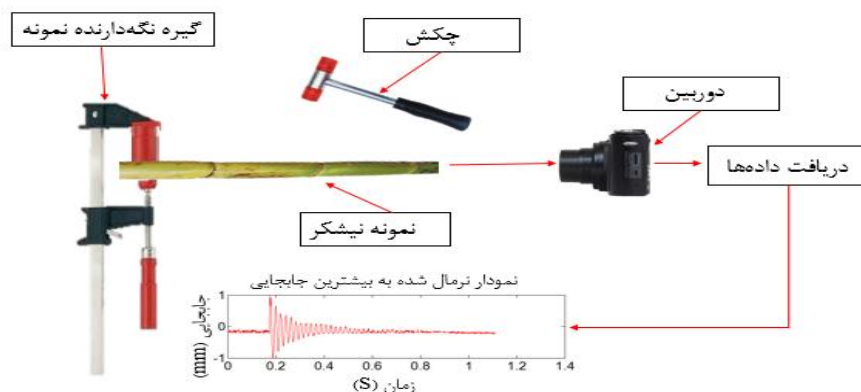
$$\xi = \frac{1}{2\pi j} \ln \left(\frac{x_i}{x_{i+j}} \right) \quad (1)$$

که در این معادله x_i ، پیک شتاب‌آم؛ و x_{i+j} ، پیک شتاب سیکل زام پس از پیک آم می‌باشد.

اندازه‌گیری مؤلفه‌های مخرب

میزان مواد جامد محلول (بریکس)

برای تعیین میزان مواد جامد محلول نیشکر، ابتدا عصاره نیشکر توسط گیره (انبردست) استخراج گردید. سپس، میزان بریکس هر نمونه با استفاده از دستگاه رفاکتومتر دیجیتالی (مدل MA882- ساخت کشور ژاپن) خوانده شد.



شکل ۱- شماتیک آزمون اندازه‌گیری ارتعاش نیشکر

اندازه‌گیری محتوای رطوبتی (MC)

برای به دست آوردن محتوای رطوبتی نیشکر، ابتدا وزن تر (W_i) آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ محاسبه گردید؛ سپس، برای محاسبه وزن خشک (D_i).

نمونه‌ها در دستگاه آن‌ون به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار داده شد (Purcell et al., 2009). در نهایت، محتوای رطوبتی هر نمونه نیشکر مطابق با معادله (۲) محاسبه گردید:

$$MC, \% (wb) = \frac{W_i - D_i}{W_i} \quad (2)$$

اندازه‌گیری محتوای فیبر (FC)

FC برای هر نمونه نیشکر با استفاده از روش ریاضی پیشنهاد شده توسط Watson *et al.* (1999) تعیین شد، که جزئیات آن به شرح زیر می‌باشد:

$$^{\circ}\text{Brix in SugarCane} = \text{Brix in juice} \times \frac{(100 - (\% \text{Fiber} + 3))}{100} \quad (3)$$

$$\text{Fiber}\% = 100 - \% \text{Moisture} \times \text{Brix of SugarCane} \quad (4)$$

که با جایگزینی معادله (۳) در (۴)، معادله (۵) حاصل می‌گردد:

$$\text{Fibre}\% = \frac{(100^2 - 100 \times \text{moisture}\% - 97 \times \text{Brix of juice})}{(100 + \text{Brix of juice})} \quad (5)$$

شبکه عصبی مصنوعی^۲

شبکه عصبی مصنوعی، نوعی مدل‌سازی ریاضی است که کاربرد فراوانی در حل مسائل مختلف دارد. از این شبکه‌ها برای طبقه‌بندی، درون‌یابی، تخمین، آشکارسازی و غیره استفاده می‌شود (Kasabov, 1996; Pham & Pham, 1999). مهم‌ترین مزیت شبکه عصبی، ساده‌سازی مسائل پیچیده است. در این پژوهش برای پیشگویی درصد محتوای رطوبتی، درصد فیبر و بریکس از شبکه عصبی مصنوعی سه لایه که مطابق با مطالعات پیشین توانایی مدل‌سازی مسائل پیچیده را دارد، استفاده گردید (Nascimento *et al.*, 2000; Pleune & Chopra, 2000; Zhang, 2003). تعداد نرون‌ها در لایه میانی ۶ عدد بود که به روش سعی و خطا تعیین شد. برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی از دو-سوم (۷۰ عدد) داده‌ها و برای آزمون از یک-سوم (۳۰ عدد) آن‌ها استفاده گردید. الگوریتم یادگیری لوبنبرگ-مارکوارت^۳ برای آموزش شبکه استفاده شد. فرکانس طبیعی، فرکانس میرایی و نرخ میرایی به‌عنوان ورودی‌ها و درصد محتوای رطوبتی، درصد فیبر و بریکس به‌عنوان خروجی‌ها برای آموزش به‌عنوان اطلاعات ورودی به شبکه داده شدند.

طبقه‌بندی داده‌های ارتعاشی بر اساس SVM^۴

الگوریتم غیرخطی طبقه‌بندی براساس تئوری ماشین بردار پشتیبان در نرم‌افزار Matlab 2013a توسعه و اجرا گردید

(Ben-Hur & Weston, 2010). ماشین بردار پشتیبان، ابزاری است که بر اساس اصول تئوری یادگیری آماری استوار است. در این روش، بردارهای ورودی توسط توابع کرنل به یک فضای چند بعدی (با بعد بزرگ‌تر از بعد اولیه) نگاشت می‌شوند. سپس، یک ابرصفحه ساخته می‌شود که با حداکثر فاصله ممکن، بردارهای ورودی را از هم جدا سازد. به این ابرصفحه، ابرصفحه با حداکثر مرز جداکننده گفته می‌شود. در این پژوهش، از کرنل RBF با توجه به موفقیت آن در کاربردهای مختلف و همچنین توانایی این کرنل در مدل‌سازی مسائل غیرخطی استفاده گردید. بدین‌منظور، ابتدا داده‌های مخرب بر اساس روش پیشنهادی Ishkandar *et al.* (2016) به سه گروه تقسیم‌بندی شدند (جدول ۱). سپس، در هر گروه میزان رطوبت و فیبر نمونه‌ها بررسی گردید و محدوده رطوبت و فیبر مربوط به هر گروه تعیین گردید. به این منظور، ویژگی‌های استخراج‌شده از ارتعاش ساقه نیشکر به دو قسمت آموزش و آزمون تقسیم شدند. مجموعه آموزشی برای توسعه مدل طبقه‌بندی و از مجموعه آزمون برای ارزیابی عملکرد آن استفاده گردید. از دو-سوم مجموعه داده‌ها (۷۰ عدد) که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند، به‌عنوان یک مجموعه آموزشی و از یک-سوم باقی‌مانده (۳۰ عدد) به‌عنوان مجموعه آزمون استفاده شد. برای تعیین عملکرد طبقه‌بندی، ماتریس درهم‌ریختگی محاسبه و دقت کلی به‌دست آمد.

جدول ۱- گروه‌بندی صورت گرفته برای آموزش طبقه‌بند

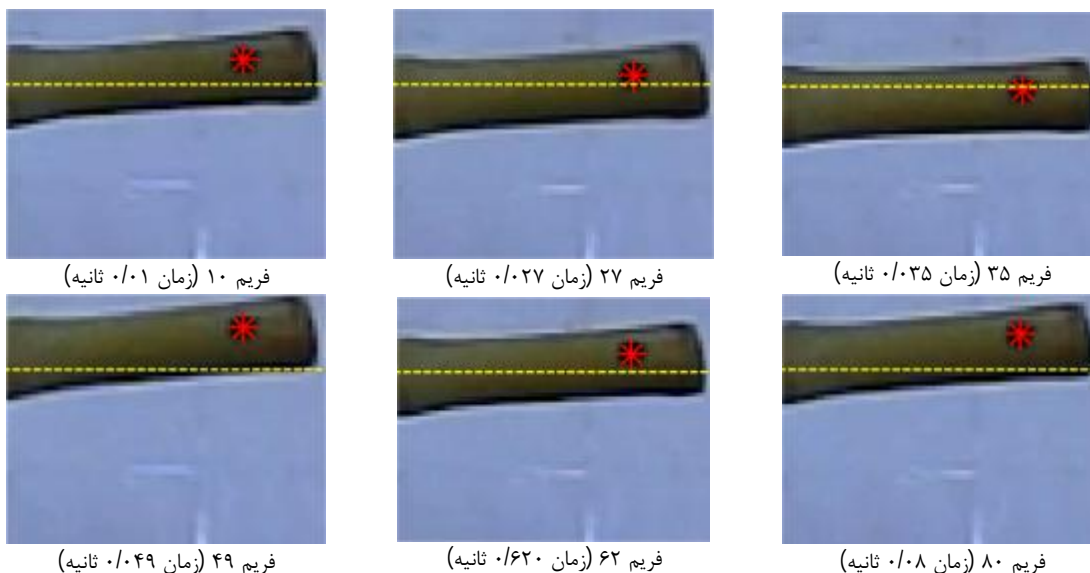
متغیر	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
رطوبت (%)	۰/۶۵-۰/۵۸	۰/۷۱-۰/۶۶	۰/۷۸-۰/۷۲
فیبر (%)	۶۵/۲-۵۸/۴	۷۱/۸-۶۵/۲۱	۷۸/۵-۷۱/۸۱
بریکس	۱۶/۶-۱۱/۸	۲۱/۵-۱۶/۶۱	۲۶/۳-۲۱/۵۱

نتایج و بحث

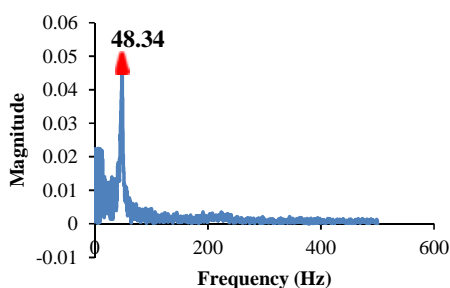
برای محاسبه فرکانس طبیعی و میرایی و همچنین ضریب میرایی نمونه‌های ساقه نیشکر می‌بایست پس از اینکه نمونه‌ها با ضربه چکش پلاستیکی تحریک شدند و جابه‌جایی آن‌ها در طی زمان محاسبه گردید. شکل ۲، نمونه‌ای از تصاویر ساقه نیشکر بلافاصله بعد از تحریک (زمان ۰/۰۱ ثانیه) تا ۰/۰۸ ثانیه بعد از تحریک شدن را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، دوربین سرعت بالا و الگوریتم نوشته‌شده به خوبی نوسانات

1- Fiber Content
2- Artificial Neural Network
3- Lovenberg Marquardt
4- Support Vector Machine

ساقه نیشکر را در گذر زمان ثبت کرده است (شایان ذکر است که برای تسهیل در بررسی خوانندگان خط ثابتی روی ساقه نیشکر قرار داده شده است).



شکل ۲ - ارتعاش مکانیکی نمونه ساقه نیشکر در طی زمان



شکل ۳ - شماتیکی از طیف فرکانس نمونه‌ای از ساقه نیشکر

برای تعیین فرکانس طبیعی ساقه‌های نیشکر تبدیل فوریه بر پایه پاسخ زمانی ارتعاش آن‌ها انجام گردید؛ اولین پیک مربوط به طیف فرکانسی ساقه، فرکانس طبیعی آن بود (Etaati *et al.*, 2013). شکل ۳، طیف فرکانس پاسخ ارتعاشی ساقه نیشکر را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ به صورت نمونه برای یک ساقه نیشکر آمده است، فرکانس طبیعی آن در ۴۸/۳۴ هرتز می‌باشد که با مثلث قرمز رنگ مشخص شده است.

جدول ۲ - آمارهای توصیفی از ساقه‌های نیشکر (۱۰۰ نمونه)

نمونه‌ها	فرکانس طبیعی (Hz)	فرکانس میرایی (Hz)	نسبت میرایی	بریکس (%)	محتوای رطوبت بر پایه تر (%)	فیبر (%)
میانگین \pm انحراف معیار	۱۲/۴۳ \pm ۴۵/۲۲	۱۲/۴۳ \pm ۴۳/۲۰	۰/۰۱ \pm ۰/۰۲۵	۳/۸۱ \pm ۲۰/۵۳	۵/۵۷ \pm ۶۸/۰۴	۵/۱۹ \pm ۶۶/۰۳

شکل ۴، نمودارهای (a)، (b)، (c) و (d) ارتعاش ساقه نیشکر بر حسب زمان برای مقادیر مختلف فیبر (به ترتیب ۶۶/۹۹، ۷۸/۵۲، ۵۸/۴۹ و ۶۴/۴۷) را برای دو رقم Cp57-614 و Cp69-1062 نشان می‌دهد (نمودارهای (a) و (b) مربوط به رقم Cp57-614 و (c) و (d) مربوط به رقم Cp69-1062 می‌باشند). از مقایسه نمودار ارتعاشی حاصل شده (همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود) با افزایش محتوای فیبر در هر دو رقم، ارتعاش با سرعت بیشتری مستهلک می‌شود. این مسئله با مقایسه پاسخ

آمارهای توصیفی مربوط به نسبت میرایی، فرکانس طبیعی، درصد بریکس، درصد رطوبت و فیبر برای ۱۰۰ نمونه از ساقه‌های نیشکر در جدول ۲ محاسبه شده است. همان‌طور که در جدول ۲ آمده است، میانگین فرکانس طبیعی و میرایی به ترتیب ۴۵/۲۲ و ۴۳/۲۰ هرتز می‌باشد. تغییرات این دو مؤلفه با توجه به انحراف معیار گزارش شده (۱۲/۴۳ هرتز) نسبت به دیگر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده و یا محاسبه شده بیشتر می‌باشد که البته دلیل این مسئله را می‌توان به وزن متفاوت ساقه‌های نیشکر نسبت داد.

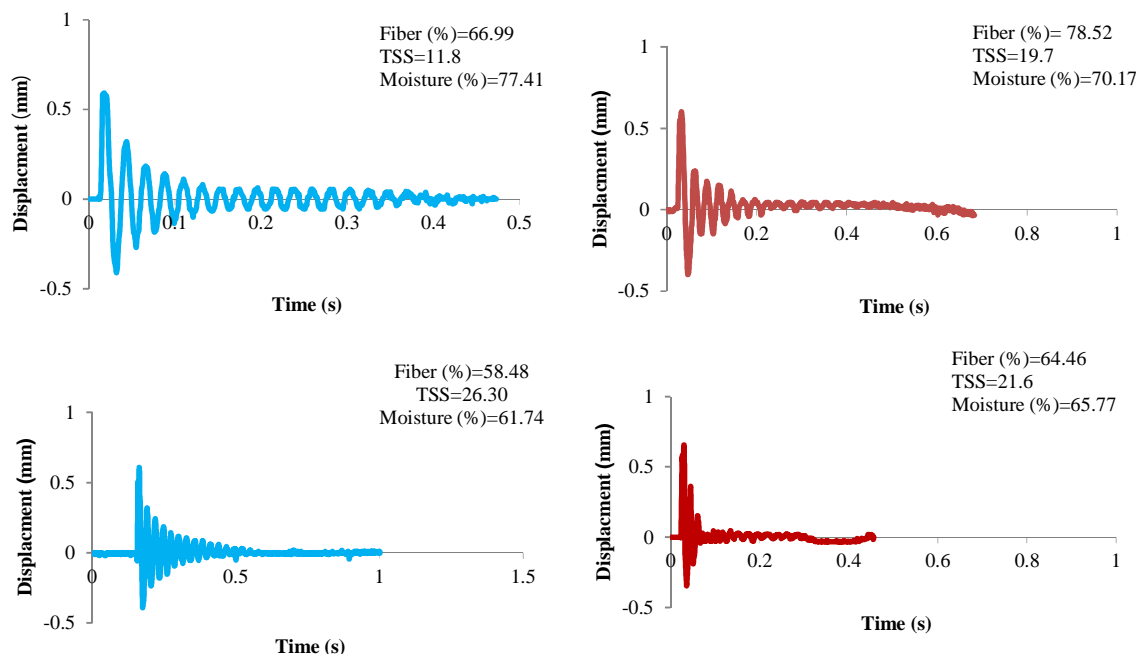
Nawi *et al.* (2014) در پژوهشی با طیف‌سنجی مادون قرمز میزان R^2 برای پیش‌بینی فیبر را به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۹۳ گزارش دادند. در پژوهشی دیگر، Nawi *et al.* (2012) دو مدل PLS و FRs را برای پیش‌گویی فیبر موجود در نیشکر با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از طیف‌سنجی مورد ارزیابی قرار دادند؛ نتایج کسب‌شده برای مدل PLS، $R^2=0/56$ و مدل FRs، $R^2=0/81$ گزارش گردید. همان‌طور که در بررسی‌های صورت گرفته برای تعیین غیرمخرب میزان فیبر با روش‌های مختلف صورت گرفته است، مشخص می‌گردد که روش پیشنهاد شده در این پژوهش دارای ضریب همبستگی بالاتری در مقایسه با پژوهش‌های گذشته است.

Valderrama *et al.* (2007) با مطالعه بر روی نیشکر دریافتند که ضریب همبستگی برای پیش‌بینی بریکس در نیشکر ۰/۷۶ بود. طی تحقیقی که با روش طیف‌سنجی NIR بر روی اسکن پوست ساقه نیشکر انجام شد، نتایج کسب‌شده، میزان ضریب همبستگی را برای پیش‌بینی بریکس به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۸۸ گزارش دادند (Berding *et al.* 1988; Meyer & Wood., 1989; *al.* همچنین، در پژوهشی دیگر که توسط Melquiades *et al.* (2012) استفاده از تابش اشعه ایکس برای پیش‌بینی بریکس انجام گردید، مشخص گردید که بریکس ساقه نیشکر با $R^2=0/88$ با مقادیر پیش‌بینی شده همبستگی دارد. در پژوهش‌های انجام‌شده با روش طیف‌سنجی مادون قرمز میزان R^2 برای پیش‌بینی بریکس به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۸۸ گزارش شده‌اند (Nawi *et al.*, 2014; Ochola *et al.*, 2015). همچنین Nawi *et al.* (2012) در پژوهشی دیگر، میزان پیش‌گویی بریکس ساقه نیشکر را ۰/۶۶ به روش طیف‌سنجی گزارش کردند. البته همین پژوهشگر در مطالعه‌ای دیگر با ترکیب طیف‌سنجی مادون قرمز با شبکه عصبی و مصنوعی دقت روش پیشنهادی خود را افزایش داد و میزان بریکس میان‌گره نیشکر را در مراحل مختلف رسیدگی $R^2=0/82-0/92$ گزارش کرد (Nawi *et al.*, 2013b). Peirset *al.* (2001) با استفاده از بازتاب طیف مادون قرمز ضریب تبیین میزان بریکس واریته‌های مختلف سیب را بین بازه ۰/۷۳ و ۰/۸۹، Schaare & Fraser (2000) میزان بریکس کیوی را ۰/۸۶ و Chia *et al.* (2012) میزان قند آناناس را کمتر از ۰/۶۸ گزارش کردند.

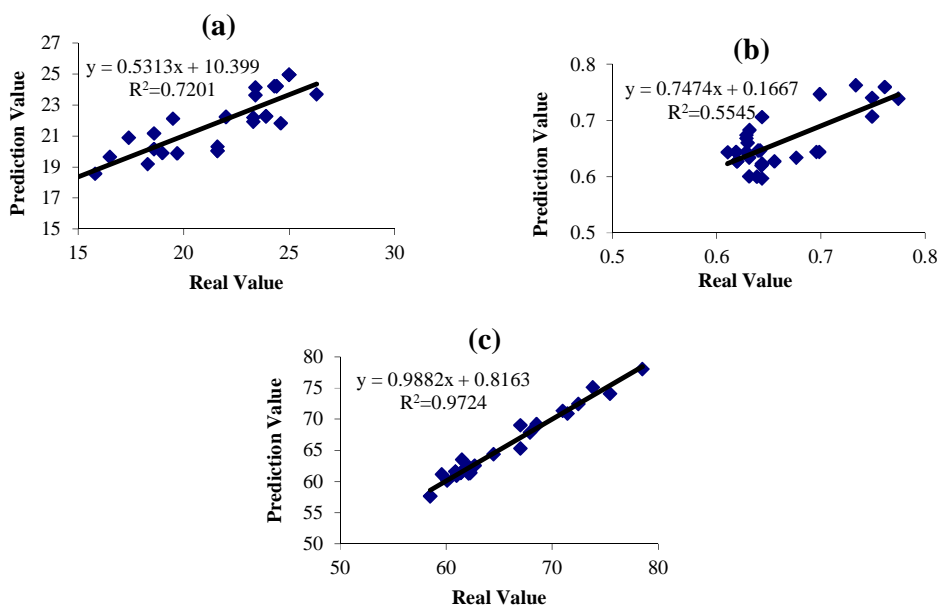
ارتعاشی (a) و (b) در رقم Cp57-614 و همچنین (c) و (d) در رقم Cp69-1062 کاملاً مشهود می‌باشد. این امر، ممکن است به دلیل وجود پیوندهای کوتاه میان فیبرهای نیشکر باشد (Etaati *et al.*, 2013). بنابراین، حضور پیوندهای کوتاه میان فیبرها در تمامی سطوح ساقه نیشکر می‌تواند انرژی ایجادشده را از بین ببرد؛ در نتیجه، انرژی بیشتری در طول ارتعاش به علت اصطکاک داخلی، مخصوصاً زمانی که تعداد زیادی از این پیوندها درگیر می‌شوند، از بین خواهند رفت. بنابراین، ساقه‌ای که بیشتر نوسان می‌کند، پیوند فیبری کمتری دارد (Chandra *et al.*, 2003). از آنجایی که میرایی به‌عنوان یک قابلیت ماده برای دفع انرژی تعریف می‌شود، یک ساقه با نسبت میرایی بالا، مدت زمان کمی نوسان می‌نماید. بنابراین، کاهش زمان نوسان از نسبت بالای ضریب میرایی نشأت می‌گیرد. از طرف دیگر، وجود آب شکر موجود در ساقه سبب افزایش چسبندگی فیبرها می‌شود که این مسئله خود سبب افزایش سرعت مستهلک‌شدن نوسانات می‌باشد. شکل ۵، نمودارهای مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌گویی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی را برای میزان قند، محتوای رطوبتی و فیبر نشان می‌دهد. مطابق نتایج ضریب همبستگی، فیبر و بریکس و رطوبت به ترتیب با مقادیر ۰/۹۷، ۰/۷۱ و ۰/۵۵ به‌دست آمدند. در نتیجه، با توجه به نتایج ذکر شده، می‌توان به دقت روش پیشنهادی پی برد و از آن برای محاسبه مقادیر فیبر و بریکس نیشکر به صورت غیرمخرب استفاده کرد. (Berding *et al.* 1989) با روش طیف‌سنجی NIR، مدلی برای پیش‌بینی فیبر نیشکر ارائه کردند، که میزان ضریب همبستگی در میان مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده آن پژوهش ۰/۸۹ به‌دست آمد. در همین راستا، Meyer & Wood (1988) طی پژوهشی با استفاده از روش طیف‌سنجی NIR، به پیش‌بینی محتوای فیبر در نیشکرهای خردشده پرداختند. بر اساس نتایج گزارش‌شده میزان فیبر اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی شده با ضریب همبستگی ۰/۸۶ با یکدیگر در ارتباط بودند. همچنین، طی تحقیقی که با تابش اشعه ایکس بر روی نیشکر انجام گردید، مدلی برای پیش‌بینی فیبر موجود در نیشکر ارائه گردید؛ مطابق نتایج به‌دست آمده، مشخص گردید که مقادیر فیبر پیش‌بینی شده، با ضریب همبستگی $R^2=0/86$ با مقادیر واقعی فیبر در ارتباط می‌باشد (Melquiades *et al.*, 2012). (Ochola *et al.* 2015) و

و Bentley *et al.* (2001) میزان R^2 را برای پیشگویی رطوبت ساقه نیشکر ۰/۹۲-۰/۹۵ گزارش کردند. این مسئله نشان از توانایی بالاتر روش‌های دیگر (مانند طیف‌سنجی) در مقایسه با روش پیشنهاد شده در این پژوهش در پیش‌بینی محتوای رطوبت دارد.

طبق نمودار شکل ۵c، ضریب همبستگی برای محتوای رطوبتی برابر با $R^2=0/55$ به دست آمد. Ochola *et al.* (2015) و Nawi *et al.* (2014) را برای پیش‌بینی رطوبت به روش طیف‌سنجی مادون قرمز به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۹۰ گزارش دادند. همچنین، Larrahondo *et al.* (2000)



شکل ۴- پاسخ ارتعاش آزاد در ساقه‌های نیشکر با مقادیر مختلف درصد فیبر، درصد قند و محتوای رطوبتی برای دو رقم Cp57-614 و Cp69-1062



شکل ۵- نمودارهای (a)، (b) و (c) مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر پیشگویی شده به ترتیب برای قند، فیبر و محتوای رطوبت

طبقه‌بندی داده‌های ارتعاشی

در جدول ۳، ماتریس درهم‌ریختگی برای سه ویژگی رطوبت، فیبر و بریکس نیشکر به‌دست آمده از SVM ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است، برای مؤلفه رطوبت طبقه‌بند گروه اول، دوم و سوم را به‌ترتیب با دقت ۴۰، ۳۳/۳ و ۷۱/۴ درصد طبقه‌بندی کرد، که طبقه‌بند بیشترین اشتباه را در تشخیص گروه اول و سوم داشت. در نتیجه، دقت کلی به‌دست آمده در طبقه‌بندی ۵۰/۴۶ درصد محاسبه گردید.

برای مؤلفه فیبر، طبقه‌بند گروه اول، دوم، و سوم را به‌ترتیب با دقت ۱۰۰، ۷۷/۸ و ۱۰۰ درصد طبقه‌بندی کرد؛ که طبقه‌بند ۲ اشتباه در تشخیص گروه دوم داشت. در نهایت، دقت کلی در طبقه‌بندی فیبر ۹۱/۴۳ درصد به‌دست آمد. برای مؤلفه بریکس طبقه‌بند گروه اول، دوم، و سوم را به‌ترتیب با دقت ۱۰۰، ۵۷/۱ و ۸۸/۸۹ درصد طبقه‌بندی کرد، که طبقه‌بند بیشترین اشتباه را در تشخیص گروه دوم داشت، که دقت کلی به‌دست آمده در طبقه‌بندی ۸۳/۷۳ درصد محاسبه گردید. مطابق با نتایج طبقه‌بندی صورت گرفته‌شده، بیشترین دقت در طبقه‌بندی فیبر (دقت کلی ۹۱/۴۳ درصد) مشاهده شد. (Nawi et al. (2013a در پژوهشی برای طبقه‌بندی سه رقم نیشکر تجاری بر اساس میزان بریکس از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده کردند. نتایج دقت طبقه‌بندی به‌دست آمده از این پژوهش از ۵۰ تا ۱۰۰ درصد متغیر بود؛ دقت متوسط روش ارائه شده برابر ۸۳/۱ درصد بود. Galvao et al (2005) در پژوهشی دیگر برای طبقه‌بندی پنج رقم نیشکر بومی کشور برزیل از داده‌های طیفی استفاده کردند. این محققین برای طبقه‌بندی از تجزیه و تحلیل رگرسیون چندمتغیر (MDA) استفاده کردند، نرخ طبقه‌بندی صحیح در این پژوهش ۸۰-۹۰ درصد گزارش شد. در پژوهشی (Prabhakar & Mohana (2014 از سه طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM)، ماتریس نزدیک‌ترین همسایگی (k-NN) و تحلیل تفکیک خطی (LDA) برای درجه‌بندی خرما بر اساس ویژگی‌های بافتی و مورفولوژی استفاده کردند. مطابق با نتایج گزارش شده، SVM خصوصیات بافت و شکل خرما را با دقت ۹۰/۳۳ و ۸۷/۲۹ طبقه‌بندی کردند. نتایج تحقیق حاضر برای مؤلفه فیبر با این پژوهش با مقدار اندکی اختلاف بهتر بود. همچنین، در تحقیقی دیگر Ahmad Mustafa et al.

(2009) یک سیستم درجه‌بندی خودکار برای محصولات کشاورزی ارائه دادند که از چهار نوع میوه (سیب، موز، پرتقال و انبه) و یک نوع سبزی (هویج) در این پژوهش استفاده شد. ویژگی‌های طول، عرض، مساحت، محیط و طول از تصاویر استخراج گردید. ماشین بردار پشتیبان (SVM) سیب، موز، هویج، انبه و پرتقال را به‌ترتیب با دقت ۹۶/۲۵، ۸۱/۲۵، ۹۸/۷۵ و ۸۶/۵۲ درصد طبقه‌بندی کرد.

جدول ۳- ماتریس درهم‌ریختگی طبقه‌بندی رطوبت، فیبر و بریکس

	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	دقت (%)
گروه ۱	۴	۴	۲	۴۰
گروه ۲	۲	۲	۲	۳۳/۳
گروه ۳	۰	۴	۱۰	۷۱/۴
دقت (%)	۶۶/۶۷	۲۰	۷۱/۴	۵۰/۴۶
گروه ۱	۱۰	۰	۰	۱۰۰
گروه ۲	۲	۷	۰	۷۷/۸
گروه ۳	۰	۰	۱۲	۱۰۰
دقت (%)	۸۳/۳	۸۷/۵	۱۰۰	۹۱/۴۳
گروه ۱	۱۴	۰	۰	۱۰۰
گروه ۲	۲	۴	۱	۵۷/۱
گروه ۳	۰	۱	۸	۸۸/۸۹
دقت (%)	۸۷/۵	۸۰	۸۸/۸۹	۸۳/۷۳

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک روش جدید و غیرمخرب با استفاده از دوربین با سرعت بالا و تکنیک پردازش تصویر برای تعیین مؤلفه‌های اساسی ساقه نیشکر (فیبر و بریکس) به صورت ساده و قابل اعتماد معرفی گردید. بدین منظور، ارتعاش ساقه نیشکر در اثر ضربه ثبت شد و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بین مؤلفه‌های مخرب ساقه نیشکر، شامل درصد محتوای رطوبتی، میزان بریکس و درصد فیبر و مؤلفه‌های غیرمخرب استخراج‌شده از پاسخ ارتعاشی ساقه نیشکر (ضریب میرایی، فرکانس طبیعی و میرایی)، ارتباط ریاضی ایجاد گردید. طبق نتایج پژوهش انجام‌شده، میزان R^2 برای پیش‌بینی بریکس، فیبر و محتوای رطوبتی به‌ترتیب ۰/۷۱، ۰/۹۷ و ۰/۵۵ بود. اگرچه محتوای رطوبتی با این روش سازگاری مناسبی نداشت؛ ولی برای پیش‌بینی مؤلفه‌های کیفی نیشکر (بریکس و فیبر) روشی سریع، ارزان و غیرمخرب است. از این روش می‌توان برای تعیین

- Reinforced Plastics and Composites, 33: 330-341
10. Galvao, L. S. Formaggio, A. R. and Tisot, D. A. 2005. Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. Remote Sensing of Environment, 94: 523-534.
 11. Jamshidi, B. Minaei, S. Mohajerani, E. and Ghassemanian, H. 2012. Reflectance vis/NIR spectroscopy for nondestructive taste characterization of Valencia oranges. Comput. Electron. Agric, 85: 64-69.
 12. Kasabov, N. K. 1996. Foundation of natural networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering, MIT Press, 581 p.
 13. Keating, B. A. Robertson, M. J. Muchow, R. C. and Huth, N. I. 1999. Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. Field Crops Research, 61: 253-271.
 14. Kurtulmus, F. Alibas, I. and Kavdir, I. 2016. Classification of pepper seeds using machine vision based on neural network. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 9(1): 51-62.
 15. Larrahondo, J. E. Palau, F. Navarrete, A. and Ramirez, C. 2000. Application of near infrared spectroscopy in the sugarcane industry of Columbia. Centro de Investigación de la Cana le Azucar de Colombia, Cenicana, Cali, Colombia, 163-
 16. Asgher, M., Ahmad, Z. and Iqbal, H. M. N. 2013. Alkali and enzymatic delignification of sugarcane bagasse to expose cellulose polymers for scarification and bio-ethanol production. Industrial Crops and Products, 44: 488-495.
 17. Melquiades, F. L. Bortoleto, G. G. Marchiori, L. F. S. and Bueno, M. I. M. S. 2012. Direct Determination of Sugar Cane Quality Parameters by X-ray Spectrometry and Multivariate Analysis. Journal of Agriculture and Food Chemistry, Washington, 60(43): 10755-10761.
 18. Meyer, J. H. and Wood, R. A. 1988. Rapid analysis of cane juice by near infra-red reflectance. Proceedings of South African Sugar Technologists Association, 62: 203-207.
 19. Mohana, S.H. and Prabhakar, C. J. 2014. A novel Technique for grading of dates using shape and texture features. An International Journal, 2(1): 15-29.
 20. Naderi-Boldaji, M. Fazeliyan-Dehkordi, M. Mireei, S.A. and Ghasemi-Varnamkhasti, M. 2015. Dielectric power spectroscopy as a potential technique for the non-destructive measurement of sugar concentration in sugarcane. Biosystems engineering, 140: 1-17
- میزان قند و فیبر ساقه نیشکر در طی رشد استفاده کرد و معیاری برای برداشت به موقع ساقه‌های نیشکر باشد. برای طبقه‌بندی داده‌های ارتعاشی از تئوری ماشین بردار پشتیبان استفاده گردید. بنابراین، نتایج این بررسی نشان داد که ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی داده‌های ارتعاشی، از جمله فیبر بریکس، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

1. Anonymous. 2016. Agriculture - Iran - Statistics. Agriculture Agricultural Census 2014-2015. Vol. 1: 24-26 p.
2. Ahmad Mustafa, N. B. Ahmed, S. K. Zaipatimah, A. Yit, W. B. Zainul Abidin, A. A. and Md Sharif, Z. A. 2009. Agricultural Produce Sorting and Grading using Support Vector Machines and Fuzzy Logical, IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications, 617-623.
3. Bentley, G. A. Habib, M. Staunton, P. G. Atherton, P. G. and Henderson, C. 2001. Application of NIR cane analysis technology to small consignments of cane in Fiji. Proceedings of the Congress. International Society of Sugarcane Technologists, 2: 59-65.
4. Berding, N. Brotherton, G. A. Le Brocq, D. G. and Skinner, J. C. 1989. Analysis of sugar cane in clonal evaluation trials by near infra-red reflectance (NIR) spectroscopy. Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists, 11: 8-15.
5. Chandra, R., Singh, S. P. and Gupta, K. 2003. A study of damping in fiber-reinforced composites. Journal of Sound and Vibration, 262(3): 475-496.
6. Chen, P. and Chou, C. 1997. Cane Sugar Hand Book, 12th edn (Winley and Sons, Inc). 947 p.
7. Chia, K. S. Rahim, H. A. and Rahim, R. A. 2012. Prediction of soluble solids content of pineapple via non-invasive low cost visible and shortwave near infrared spectroscopy and artificial neural network. Biosystems Engineering, 113: 158-165.
8. Cole, M. R. Eggleston, G. Gilbert, A. and Chung, Y. J. 2016. Development of an analytical method to measure insoluble and soluble starch in sugarcane and sweet sorghum products. Food Chemistry, 190: 50-59.
9. Etaati, A. Abdanan Mehdizadeh, S. Wang, H. and Pather, S. 2014. Vibration damping characteristics of short hemp fiber thermoplastic composites. Journal of

- Feature Reduction Technique. International Journal of Interactive Multimedia & Artificial Intelligence, 3(7): 6-14.
33. Purcell D. E. O'Shea, M. G. and Kokot, S. 2009. Complex Biopolymeric Systems at Stalk/Epicuticular Wax Plant Interfaces: A Near Infrared Spectroscopy Study of the Sugarcane. *Biopolymers*, 91(8): 642-651.
34. Robertson, M. J. and Donaldson, R. A. 1998. Changes in the components of cane and sucrose yield in response to drying-off of sugarcane before harvest. *Field Crops Research*, 55: 201-208.
35. Robertson, M. J. Muchow, R. C. and Wood, A. W. 1999. A physiological basis for response of sugarcane to drying-off before harvest. *Proc Aust Soc Sugar Cane Technol*, 21: 196-202.
36. Satyanarayanan, K. G. Gulimaraes, J. L. and Wypych, F. 2007. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part 1: source, production, morphology, properties and application. *Compos Parts A: Appl Sci Manuf*. 38(7): 1694-1709.
37. Schaare, P. N. and Fraser, D. G. 2000. Comparison of reflectance, interreflectance and transmission modes of visible-near infrared spectroscopy for measuring internal properties of kiwifruit (*Actinidia chinensis*). *Postharvest Biology and Technology*, 20: 175-184.
38. Sukumar, P. and Ravi, D. S. 2016. Weed Detection Using Image Processing By Clustering Analysis. *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER)*. 4(5): 14-18.
39. Valderrama, V. Braga, J. W. B. and Poppi, R. J. 2007. Validation of multivariate calibration models in the determination of sugar cane quality parameters by near infrared spectroscopy. *Journal of Brazilian Chemical Society*, 18(2): 259-266.
40. Watson L. J. Williams N. D. and Staunton S. P. 1999. Fiber Classification using on-Line Near Infrared Spectroscopy. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, 21: 401-405.
41. Wendte, K. W. Skotnikov, A. and Thomas, K. K. 2001. Sugar cane yield monitor. U.S. Patent No. 6: 272-819.
42. Wu, D. Feng, L. Zhang, C. and He, Y. 2008. Early detection of *Botrytis cinerea* on eggplant leaves based on visible and near infrared spectroscopy. *Transactions of the ASABE*, 51(3): 1133-1139.
43. Xiaobo, Z. Jiewen, Z. Xingyi, H. and Yanxiao, L. 2007. Use of FT-IR spectrometry in non-invasive measurements of soluble solid content (SSC) of 'Fuji' apple on different PLS models. *Chemometrics and*
- 10.
21. Najafpour, Z. A. 2013. Take the sugar market in Iran during the years 2001-2012. *Economic Journal*, 11(12): 131-142. (In Farsi).
22. Nascimento, C. A. O. Giudici, R. and Guardani, R. 2000. Neural network based approach for optimization of industrial chemical processes. *Computer and Chemical Engineering*, 24: 2303-2314.
23. Nawi, M. N. Jensen, T. and Chen, G. 2012. The application of spectroscopic methods to predict sugarcane quality based on stalk cross-sectional scanning. *Journal American Society of Sugar Cane Technologists*, 32: 16-27.
24. Nawi, N. M. Chen, G. and Jensen, T. 2013b. Application of spectroscopic method to predict sugar content of sugarcane internodes. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 41(2): 211-220.
25. Nawi, N. M. Kamal, M. R. Chen, G. and Jensen, T. 2014. Prediction of Sugarcane Quality Parameters Using Visible short wave Near Infrared Spectroradiometer. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2: 136 -143.
26. Nawi, N. M. Chen, G. Jensen, T. and Mehdizadeh, S. A. 2013a. Prediction and classification of sugar content of sugarcane based on skin scanning using visible and shortwave near infrared. *biosystems engineering*, 115:(2) 154-161.
27. O'Leary, G. J. 2000. A review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. *Field Crops Research*, 68: 97-111.
28. Ochola, P. E. Apunda, O. and Yewa, E. O. 2015. Evaluation of Near Infrared Spectroscopy for Sugarcane Quality Determination in Western Kenya. *Chemistry and Materials Research*, 7(9): 2224-3224.
29. Peirs, A. Lammertyn, J. Ooms, K. and Nicolai, B. M. 2001. Prediction of the optimal picking date of different apple cultivars by means of VIS: NIR-spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 21: 189-199.
30. Pham, D. T. and Pham, P. N. T. 1999. Artificial intelligent in engineering. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39: 937-949.
31. Pleune, T. T. and Chopra, O. K. 2000. Using artificial neural network approach to predict the fatigue life of the carbon and low-alloy steels. *Nuclear Engineering and design*, 197: 1-12.
32. Pujari, J. D. Yakkundimath, R. and Byadgi, A. 2016. SVM and ANN Based Classification of Plant Diseases Using

- Intelligent Laboratory systems, 87: 43-51.
44. Yates, R. A. 1996. Factors that affect the quality of sugarcane. Part I- Environmental factors. Sugar Cane, 2: 4-11.
45. Zhang, Z. Barakoula, N. M. Karger-Kocsis, J. and Friedrich, K. 2003. artificial neural network predictions on erosive wear polymers. Wear, 255: 708-2044.
46. Ishkandar, C. D. M. Nawi, N. M. Chen, G. Jensen, T. and Mehdizadeh, S. A. 2016. Comparison of chemometrics methods for classification of sugarcane brix using visible and shortwave near-infrared technology. International Conference on Agricultural and Food Engineering.

