نشریه مکانیزاسیون کشاورزی/ دوره ۷ شماره ۲/ سال ۱۴۰۱/ صفحه‌های ۸-۱
DOI: https://dx.doi.org/10.2203/jam.2022.15715

طبقه‌بندی ارقام میوه خرما مبتنی بر کاربرد پاسخ‌های خازنی و مبدل نیرو

هادی کریمی* و نجمه سلیمانی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۵

بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان،
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران
*مسئول مکاتبه: hadi_karimi@areeo.ac.ir

چکیده

در بسیاری از نخلستان‌های خرما، انواع مختلفی از میوه‌های خرما به طور معمول پرورش می‌یابند. هر کدام از این گونه‌ها دارای خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی هستند. بنابراین، در اولین گام توسعه سامانه‌های درجه‌بندی هوشمند و نظارت بر کیفیت، توسعه روشی خودکار برای شناسایی نوع رقم خرما بسیار مطلوب است. هدف این مطالعه توسعه الگوریتم طبقه‌بندی چهار رقم میوه خرما با استفاده از پاسخ‌های الکترونیکی حاصل از حسگرهای خازنی و یک مبدل نیرو است. برای به دست آوردن هم‌زمان خواص خازنی شامل فرکانس و پاسخ‌های آنالوگ میوه خرما و پارامترهای نیروی مربوط به وزن میوه خرما، یک سکو الکترونیکی طراحی و ساخته شد. در این سکو، پاسخ‌های خازنی و پارامترهای نیرو با راه‌اندازی آی سی ۵۵۵ و واسنجی کردن یک مبدل نیرو ۱ کیلوگرمی فراهم می‌شد. ۱۲۰ میوه خرما از چهار رقم مختلف زاهدی، قصب، مضافتی و مجول برای توسعه مدل در نظر گرفته شد. در مجموع ۳۰ درصد از نمونه‌ها برای ارزیابی طبقه‌بندی نهایی در نظر گرفته شدند. درخت تصمیم (DT) به عنوان یک روش یادگیری نظارت‌شده ناپارامتریک برای طبقه‌بندی انتخاب شد. برای تنظیم مدل طبقه‌بند با بهترین هایپرپارامترها، با برازش ۳ تا (Fold) برای هر یک از ۲۲۰۴ نامزد، در مجموع ۶۶۱۲ برازش مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی مدل توسعه‌یافته منجر به کیفیت طبقه‌بندی با شاخص F به ترتیب ۶۴، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ درصد برای چهار رقم زاهدی، قصب، مضافتی و مجول شد. نتایج نشان داد که سامانه طبقه‌بندی پایه خازنی توسعه یافته، می‌تواند با موفقیت برای طبقه‌بندی میوه خرما با کیفیت قابل‌قبول به‌کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: خرما، خازن، مبدل نیرو، فرکانس، یادگیری ماشین

Classification of Date Fruit Varieties Based on the Use of Capacitive and Force Transducer Responses

Hadi Karimi* and Najmeh Solimani

Received: 3 Aug 2022 Accepted: 26 Nov 2022

Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

*Corresponding author: hadi_karimi@areeo.ac.ir

Abstract

In many date palm gardens, different varieties of date fruits are commonly grown. Each of these varieties has different physical and chemical properties. Therefore, in the first step of developing intelligent sorting systems and quality monitoring systems, it is highly desirable to develop an automatic method for identifying the type of date fruit variety. This study aims to develop a classification algorithm of date fruit varieties using electronic responses from capacitive sensors and a force transducer. To simultaneously obtain the capacitive properties including the frequency and analog responses of date fruit and the force parameter related to the weight of the date fruit, an electronic platform was designed and constructed. In this platform, the capacitive responses and force parameters were provided by setting up the IC 555 and calibrating a 1 kg load cell. 120 date fruits from four different varieties, including Zahedi, Qhasb, Mazafati and Medjool were considered for the model development. A total of 30% of the samples were separated for final classification evaluation. Decision Tree (DTs) as a non-parametric supervised learning method was chosen for classification. To tune, the classification model with the best hyper parameters fitting 3 folds for each of 2204 candidates, totaling 6612 fits were examined. The evaluation of the developed model resulted in a classification quality with F-scores of 64%, 50%, 100% and 100% for the four varieties Zahedi, Qhasb, Mazafati and Medjool. It was concluded that the developed capacitance base classification system can be successfully used to classify date fruit with acceptable quality.

Keywords: Date, Capacitor, Force Transducer, Frequency, Machine learning

How to cite:
Karimi H and Solimani N. 2022. Classification of Date Fruit Varieties Based on the Use of Capacitive and Force Transducer Responses. *Journal of Agricultural Mechanization* 7 (2): 1–8.

۱- مقدمه

نخل خرما با نام علمی *Phoenix dactylifera* L. از خانواده *Palmacea* است. میوه خرما از اولین محصولات باغی است که در خاورمیانه کشت می‌شود (Abdul-Hamid *et al.*, 2020). میوه خرما که حدود ۲۰۰ جنس و بیش از ۲۵۰۰ گونه در سراسر جهان دارد (Eoin, 2016)، به دلیل دارا بودن ویتامین‌ها و مواد معدنی و همچنین ارزش غذایی بالا، گزینه‌ای برای استفاده به عنوان یک میوه خوراکی و مغذی است (Vayalil, 2012). بیشتر خرمای کشور با استفاده از باغات و روش‌های سنتی کشت تولید می‌شود که کیفیت و ارزش خرما را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. باوجوداینکه ایران از عمده تولیدکنندگان خرما در دنیاست، اما در زمینه صادرات این محصول از رتبه و جایگاه مناسبی برخوردار نیست. یکی از عوامل اثرگذار در این زمینه عدم وجود سامانه‌های مناسب برای درجه‌بندی میوه خرما در کشور است. در سال‌های اخیر پیشرفت‌ها در حوزه فناوری‌های اندازه‌گیری و هوش مصنوعی، ظرفیت‌های جدیدی برای پژوهش در این زمینه ایجاد کرده است.

فناوری بینایی ماشین به طور گسترده‌ای برای طبقه‌بندی محصولات غذایی مختلف استفاده شده است. اصل این فناوری مبتنی بر استخراج اطلاعات از تصویر به دست آمده در مورد کیفیت شی است. در روش بینایی ماشین ، انواع مختلفی از دوربین‌ها مانند NIR، اشعه ایکس، مادون‌قرمز، حرارتی، رنگی RGB و غیره به طور گسترده برای گرفتن تصاویر بر اساس کاربرد استفاده می‌شوند (Manickavasagan *et al.*, 2014). منابع پیشین، سامانه‌های طبقه‌بندی خودکار متعددی بر اساس پردازش تصویر برای میوه‌های مختلف مانند مرکبات، سیب، خرما، توت‌فرنگی، انبه، لیمو، گوجه‌فرنگی و حبوبات معرفی کرده‌اند (Behera *et al.*, 2020; Meenu *et al.*, 2021; Naranjo-Torres *et al.*, 2020). ویژگی‌های مورفولوژیکی اغلب در طبقه‌بندی میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده می‌شود (Bhargava *et al.*, 2021; Hameed *et al.*, 2018).

Jahromi *et al* (2008) از فناوری پردازش تصویر برای اندازه‌گیری ابعاد خطی مانند طول، عرض و ضخامت خرمای رقم مضافتی در ایران استفاده کردند. آن‌ها از یک دوربین رنگی برای دستیابی به تصویر و برنامه ویژوال‌بیسیک برای تجزیه‌وتحلیل تصاویر استفاده کردند. در مطالعه دیگری، یک سامانه نمونه اولیه مکاترونیک مبتنی بر بینایی رایانه‌ای برای درجه‌بندی ارقام خرمای سوکاری و منیفی توسعه داده شد (Al-Janobi, 2010). میانگین صحت طبقه‌بندی برای رقم سوکاری ۸۸ درصد و رقم منیفی ۹۳ درصد با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه پیش‌خور آموزش‌دیده با الگوریتم پس انتشار بود. رنگ پوست میوه خرما نیز یکی از جنبه‌های اصلی است که بر ترجیح مصرف‌کننده در انتخاب میوه خرما تأثیر می‌گذارد (Al-Jasass *et al.*, 2015).

موهانا و همکاران (۲۰۱۴) یک روش جدید برای درجه‌بندی میوه‌های خرما بر اساس ترکیبی از ویژگی‌های شکل و بافت تصویر ارائه کردند. روش طبقه‌بندی k-Nearest Neighbor (k-NN) در مقایسه با دو روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) و Linear Discriminant (LDA) بهترین نرخ درجه‌بندی را نشان داد. Zhang *et al* (2014) یک الگوریتم تجزیه‌وتحلیل هیستوگرام را برای ارزیابی کیفیت سطح خودکار میوه خرما در زمان واقعی ارائه کردند. این روش، بر اساس تصویربرداری مادون‌قرمز موج‌کوتاه، تضاد کنتراست تصویر بین سطح و پوست لایه‌لایه شده میوه را آشکار می‌کند. با مقایسه هیستوگرام، میوه به یکی از چهار کلاس کیفی اختصاص‌یافته و یک آستانه سازگار برای تقسیم‌بندی مناطق لایه‌لایه سازی پوست از سطح میوه محاسبه شد. درجه کیفیت نهایی با توجه به‌اندازه میوه و درصد پوست لایه دار تعیین شد. نتایج آزمون نشان داد که روش پیشنهادی به‌دقت درجه‌بندی ۹۵-۹۸٪ برای کلاس‌های مختلف دست می‌یابد. با توجه به ویژگی‌های متمایز مختلفی که می‌تواند برای تشخیص یک رقم خرمای خاص مفید باشد. در پژوهشی (Muhammad, 2015)، استفاده از ویژگی‌هایی شامل رنگ، بافت و شکل برای یک سامانه طبقه‌بندی خودکار انواع مختلف میوه خرما پیشنهاد شد. در سامانه پیشنهادی، یک تصویر رنگی از یک میوه خرما به اجزای رنگی آن تجزیه می‌شود. سپس، توصیفگر بافت محلی به شکل الگوی باینری محلی[1] (LBP) یا هیستوگرام توصیفگر محلی وبر[2] (WLD) به هر یک از اجزاء اعمال می‌شود تا الگوی بافت میوه خرما را رمزگذاری کند. انتخاب ویژگی مبتنی بر نسبت تمایز فیشر[3] (FDR) برای کاهش ابعاد مجموعه ویژگی استفاده شد. ویژگی‌های اندازه و شکل برای توصیف کامل میوه خرما به توصیفگرهای بافت اضافه و از روش ماشین‌های بردار پشتیبانی[4] برای طبقه‌بندی استفاده شد. سامانه پیشنهادی بیش از ۹۸ درصد دقت را برای طبقه‌بندی میوه‌های خرما به دست آورد. در مطالعه‌ای یک سامانه مبتنی بر بینایی ماشین با هدف دسته‌بندی میوه‌های خرما بر اساس مراحل مختلف بلوغ ساخته شد (Pourdarbani *et al.*, 2015). این سامانه شامل یک واحد انتقال، واحد نورپردازی و تصویربرداری و واحد دسته‌بندی بود که از یک شاخص بر اساس ویژگی‌های رنگی برای تشخیص نمونه‌های میوه استفاده می‌کرد. عملکرد سامانه در تشخیص مراحل بلوغ تمر و خلال رضایت‌بخش ارزیابی شد. اگرچه میزان تشخیص برای مرحله رطب ناکافی بود، اما تفاوت معنی‌داری بین دقت سامانه و دقت به دست آمده توسط کارشناسان وجود نداشت.

پژوهشگرانی با هدف تشخیص سه دسته از میوه‌های خام، کم رسیده و رسیده خرما بر اعمال آستانه گذاری با استفاده از روش Otsu متمرکز شدند (Septiarini *et al.*, 2019). در ادامه، ویژگی‌های رنگ

[1]- Local Binary Pattern
[2] Weber Local Descriptor
[3] Fisher Discrimination Ratio
[4] Support Vector Machines (SVMs)

با محاسبه دو ویژگی شامل میانگین و انحراف معیار بر اساس مولفه‌های چهار رنگ قرمز، سبز، آبی و خاکستری مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، هشت ویژگی استخراج شده برای طبقه‌بندی با استفاده از روش ماشین‌های بردار پشتیبان اعمال شد. این روش با استفاده از ۱۶۰ تصویر با میزان دقت ۹۲/۵ درصد آزمایش شد. در یک مطالعه (Nasiri *et al.*, 2019)، با استفاده از یک شبکه‌های عصبی کانولوشن CNN توانایی تشخیص خرمای معیوب از خرمای سالم و پیش‌بینی مرحله رسیدن خرمای سالم (رقم شاهانی) بررسی شد. از مدل CNN برای طبقه‌بندی میوه خرما در چهار کلاس خلال، رطب و تمر و خرمای معیوب استفاده شد. همه تصاویر از طریق تلفن هوشمند تحت شرایط مختلف گرفته شد. میانگین دقت طبقه‌بندی توسط این مدل برای شاخص‌های precision، sensitivity، specificity و AUC، از ۹۶٪ تا ۹۹٪ به دست آمد. همچنین با تکیه بر آزمون‌های مبتنی بر خواص صوتی در پژوهشی از یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با یک الگوریتم پس انتشار به عنوان یک سامانه صوتی برای تشخیص دو اندازه از ارقام خرمای خشک استفاده شد (Ghelichkhani *et al.*, 2014). نتایج نشان داد شبکه عصبی چندلایه بهینه شده، اندازه‌ای ارقام دیری، پیارم و زاهدی را به ترتیب با نرخ تشخیص صحیح ۹۳، ۸۱ و ۹۱ درصد متمایز کرده است. به نظر می‌رسد استفاده از تکنیک پردازش صدای حاصله از برخورد با صفحه‌ای فولادی، کاربرد این نوع سامانه‌ها برای میوه خرما تر با اشکال روبه‌رو می‌کند.

همان‌طور از منابع پیشین برمی‌آید از فناوری بینایی ماشین به صورت گسترده‌ای برای درجه‌بندی میوه خرما استفاده شده است. اگر چه میوه خرما را می‌توان با پردازش تصویر و تشخیص الگو، طبقه‌بندی کرد. اما تفاوت در دید، فاصله، و قرار گرفتن در معرض نور موانعی هستند که انجام یک طبقه‌بندی قابل‌اعتماد را با چالش مواجه می‌کند (Koklu *et al.*, 2021, Karimi *et al.*, 2018). به اضافه اینکه فناوری‌های بینایی ماشین معمولا به توان پردازشی و سخت‌افزاری نسبتا بالایی نیاز دارند. به‌ویژه در پیاده‌سازی مدل‌های طبقه‌بندی مبتنی بر روش‌های یادگیری به توان و هزینه بسیار بالایی نیازاست.

در مقابل روش خازنی کم‌هزینه، کم‌حجم، تکرارپذیر و دارای قابلیت تشخیص سریع است. این روش یک اندازه‌گیری سریع را امکان‌پذیر می‌کند و به‌راحتی در شرایط میدانی قابل‌استفاده است. همچنین ابزارهای مبتنی بر این روش کمتر مورد خطا قرار می‌گیرند (Zhang *et al.*, 2013). روش خازنی از مزایایی دیگری مانند ساختار ساده، وضوح‌بالا و قابلیت اندازه‌گیری غیر تماسی برخوردار است. با توسعه فناوری مدار مجتمع و فناوری رایانه، حسگرهای خازنی به یکی از حسگرهای امیدوارکننده برای توسعه روش‌های سنجش غیر تماسی تبدیل‌شده است. ثابت دی‌الکتریک مواد الیافی مانند میوه خرما به وزن حجمی و همچنین به رطوبت آن‌ها بستگی دارد. هر اندازه وزن حجمی بزرگ‌تر باشد، نسبت فضای پرشده به‌وسیله الیاف بزرگ‌تر و اندازه ثابت دی‌الکتریک بیشتر است. وزن حجمی و رطوبت برای ارقام مختلف خرما می‌تواند متغیر باشد. به نظر می‌رسد با توجه به خواص دی‌الکتریک تمایز ارقام میوه خرما به وسیله طبقه‌بند مبتنی بر یادگیری ماشین امکان‌پذیر است. در این پژوهش، توسعه یک الگوریتم طبقه‌بندی ارقام میوه خرما با استفاده از پاسخ‌های الکترونیکی حسگر خازنی و مبدل نیرو مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- نمونه‌برداری

مدل‌سازی و کالیبراسیون سامانه پیشنهادی با جمع‌آوری ارقام عمده خرما استان کرمان (قصب، زاهدی، مجول و مضافتی) که نماینده خرمای خشک، نیمه‌خشک و تر در رطوبت‌های مختلف هستند، انجام شد. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از نخل‌های متفاوت در سریع‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. از بین نمونه‌های تهیه‌شده، تعداد ۳۰ نمونه به‌طور تصادفی انتخاب شد. پیش از آغاز داده‌برداری، نمونه‌ها به مدت دو ساعت از سردخانه خارج‌شده تا به تعادل با دمای محیط برسند. سپس هر نمونه شماره‌گذاری شده و جرم و مشخصات هندسی هر خرما به ترتیب با استفاده از کولیس و ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و ثبت شد. میانگین اندازه‌گیری برخی از خواصی فیزیکی ارقام میوه خرما استفاده شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

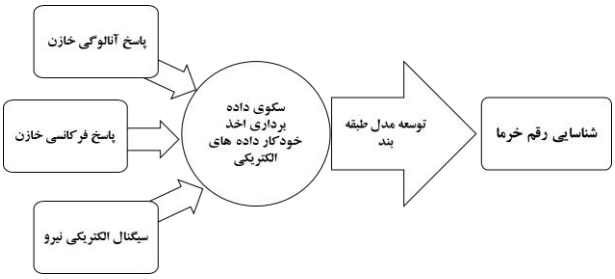
جدول ۱- برخی از خواص فیزیکی ارقام میوه خرما

Table 1. Some physical properties of date fruit cultivars

	طول **Length** (mm)	عرض **Width** (mm)	ضخامت **Thickness** (mm)	وزن **Weight** (g)	میانگین هندسی **Geometric mean**
زاهدی **Zahedi**	20	8	8	8.0	10.7
قصب **Ghasb**	27	5	5	7.5	9
مضافتی **Mazafati**	26	12	12	14.5	15.2
مجول **Medjool**	33	12	12	16.6	17.3

۲-۲- طرح کلی توسعه طبقه‌بند

در این پژوهش، توسعه الگوریتم طبقه‌بندی ارقام میوه خرما با استفاده از پاسخ‌های الکترونیکی حسگر خازنی و مبدل نیرو مورد بررسی قرار گرفت. بخش خازنی، اطلاعاتی شامل پاسخ‌های فرکانسی و آنالوگ را با توجه امکانات آی‌سی ۵۵۵ اخذ می‌کند. همچنین بخش مبدل نیرو، توزین نمونه‌ها را انجام می‌دهد. در ادامه از این ویژگی‌های الکترونیکی به‌عنوان ورودی مدل طبقه‌بندی انتخابی استفاده شد. طرح‌واره روند توسعه طبقه‌بند ارقام میوه خرما در شکل ۱ نشان داده شده است.

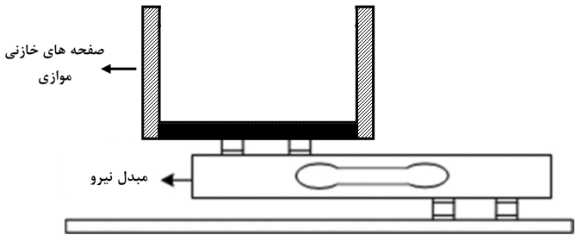


شکل ۱- روند توسعه مدل طبقه‌بند ارقام میوه خرما

Fig 1. The process of development of the classification model of date fruit varieties

۲-۳- سکوی الکترونیکی

توسعه الگوریتم طبقه‌بند بر پایه تخمین ظرفیت خازنی خرما و پارامتر نیروی وزن خرما بنا نهاده شده است. به این شکل که سامانه از یک خازن به‌عنوان حسگر و از میوه خرما به‌عنوان دی الکترولیت خازن استفاده کند. حسگر خازنی توسعه داده‌شده تغییرات دی الکتریکی را به تغییرات ظرفیت تبدیل می‌کند. آی‌سی ۵۵۵ مقدار دی‌الکتریک را به پالس تبدیل می‌کند تا از ایجاد اختلالات در تبادل اطلاعات بین حسگر و مدار پردازش جلوگیری به عمل آید، حسگر خازنی طراحی‌شده دارای صفحات آند و کاتد است که این صفحات پوششی عایقی دارند. به شکلی که محصول قرارگرفته بین صفحات هیچ تماس مستقیمی با آند و کاتد نداشته باشد و مفهوم دی‌الکتریک (عایق بودن) ایجاد شود. ساختار سکوی الکترونیکی توسعه داده شده در شکل ۲ نشان داده شده است. قسمت تشخیص دستگاه از حسگر خازنی، حسگر مبدل نیرو و پایه تشکیل شده است. طرح‌واره سکو الکترونیکی اندازه‌گیری خواص خازنی و پارامتر نیرو میوه خرما در شکل ۲ نشان داده شده است.

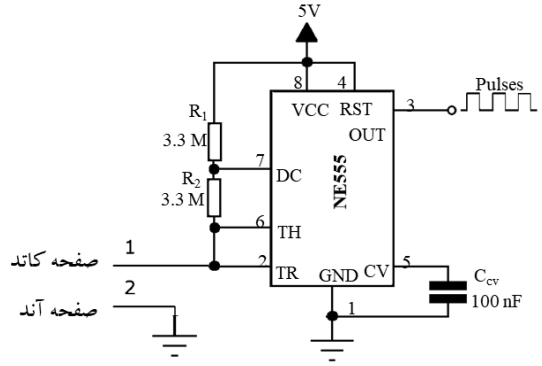


شکل ۲- طرح‌واره سکوی الکترونیکی اندازه‌گیری خواص خازنی و پارامتر نیرو میوه

Fig 2. Schematic of the electronic platform for measuring the capacitance properties and fruit force parameter

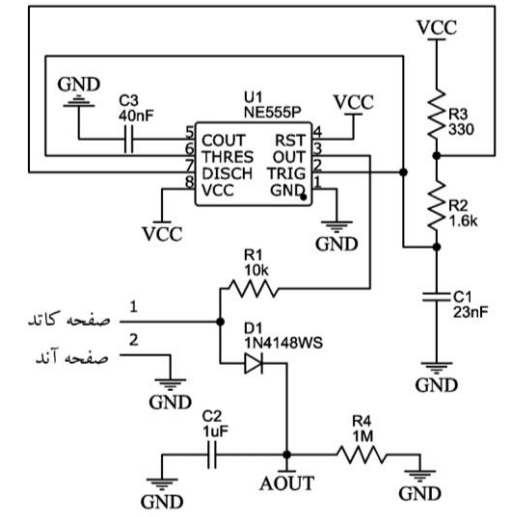
به‌منظور بررسی تأثیر وزن بر نتایج تشخیص، از یک مبدل نیرو یک کیلوگرمی استفاده شد. وزن در حسگر توزین، با اندازه‌گیری سیگنال الکتریکی تبدیل‌شده از وزن به دست می‌آید. از آنجا که سیگنال خروجی حس‌گر توزین بسیار کم است، از ماژول مبدل ۲۴ بیتی برای تبدیل و تقویت آنالوگ به دیجیتال استفاده شد. برای دریافت پاسخ خازنی مناسب با توجه به تغییرات دی‌الکتریک بر پایه امکانات آی‌سی ۵۵۵ دو مدار برای تفسیر تغییرات خواص خازنی به تغییر فرکانس و دریافت آن به‌صورت آنالوگ طراحی و ساخته شد.

شکل ۳ و شکل ۴ مدارهای نوسان‌ساز ساخته شده با آی‌سی ۵۵۵ را نشان می‌دهد که ظرفیت خازن صفحه‌ای را به داده‌های فرکانس و آنالوگ تبدیل می‌کند. آی‌سی ۵۵۵ به دلیل عملکرد ساده، توانایی‌های ویژه در نوسان و اهداف اقتصادی در موارد متعددی مورد استفاده قرار گرفته است (Besharati *et al.*, 2021; Korkua & Sakphrom, 2020; Placidi *et al.*, 2020).



شکل ۳- مدار اسیلاتور تبدیل ظرفیت خازن صفحه‌ای به داده‌های فرکانس

Fig 3. The oscillator circuit converts the capacitance of the plate capacitor into frequency data



شکل ۴- مدار اسیلاتور تبدیل ظرفیت خازن صفحه‌ای به داده آنالوگ

Fig 4. Oscillator circuit to convert the capacitance of the plate capacitor into analog data

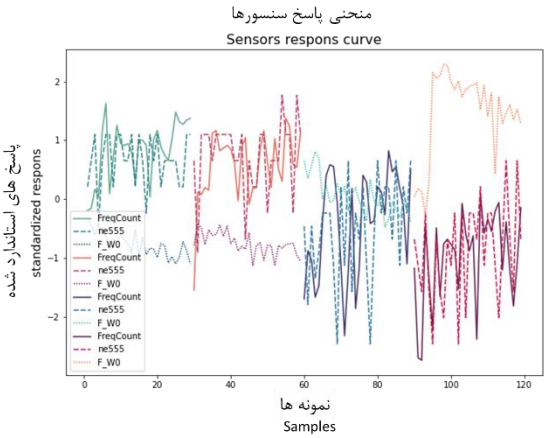
برآورد فرکانس و دریافت اطلاعات به‌صورت آنالوگ با استفاده از میکروکنترلر اتمگا ۳۲ در قالب برد آردوینو Mini Pro صورت گرفت. این برد مجهز به کریستال (نوسان‌ساز) با فرکانس ۱۶ مگاهرتز، امکانات مناسبی برای تخمین فرکانس فراهم می‌کند. فرکانس با شمارش تعداد پالس‌ها در یک زمان ثابت اندازه‌گیری شد. فرکانس دریافتی از تراشه

حین بارگذاری نمونه‌های بین ۶۰۴۸ تا ۶۳۴۱ هرتز متغیر بود. پس از کالیبراسیون مبدل نیرو، داده‌برداری از نمونه‌های میوه خرما با اندازه‌گیری وزن میوه خرما و دریافت دو پاسخ خازنی برای هر میوه خرما صورت گرفت. در هنگام داده‌برداری، اطلاعات از میکروکنترلر از طریق پورت سریال ,ماژول مبدل USB به سریال TTL تراشه CP2102 به رایانه منتقل و به صورت فایل اکسل برای پردازش‌های بعدی ذخیره شد (شکل ۶).

شکل ۵- سکوی الکترونیکی ساخته شده برای اندازه‌گیری خواص خازنی و پارامتر نیرو

Fig 5. Built-in electronic platform for measuring capacitance properties and power parameters

شکل ۶ منحنی پاسخ هر حسگر را برای هر نمونه از خرمای آزمایش نشان می‌دهد .منحنی به ترتیب از صفر تا ۳۰ مربوط به رقم زاهدی، از ۳۰ تا ۶۰ رقم قصب، از ۶۰ تا ۹۰ مضافتی و از ۹۰ تا ۱۲۰ رقم مجول است.



شکل ۶- منحنی پاسخ هر حسگر (از صفر تا ۳۰ مربوط به رقم زاهدی، از ۳۰ تا ۶۰ رقم قصب، از ۶۰ تا ۹۰ مضافتی و از ۹۰ تا ۱۲۰ رقم مجول)

Fig 6. The response curve of each sensor (from 0 to 30 corresponding to the Zahedi variety, from 30 to 60 for the Qhasb variety, from 60 to 90 for Mazafati and from 90 to 120 for thee Medjool variety)

۲-۴- انتخاب مدل طبقه‌بند

درخت تصمیم[۱] (DT) به عنوان یک روش یادگیری نظارت‌شده ناپارامتریک برای توسعه مدل طبقه‌بند مورد توجه قرار گرفت. برای انجام مدل‌سازی با ناظر نیاز به در اختیار داشتن اطلاعات برچسب دار است. ازاین‌رو در فرایند آماده‌سازی داده‌ها پس از اخذ داده‌های خازنی و وزنی، چهار کلاس مربوطه شامل زاهدی، قصب، مضافتی و مجول برچسب گذاری و برای توسعه مدل مدنظر قرار گرفتند. پس از مرحله مدل‌سازی، ارزیابی مدل طبقه‌بند با توجه به ویژگی‌های برآورد شده توسط دستگاه و مقدار واقعی از پیش تعیین‌شده صورت گرفت. ۳۰ درصد از مجموعه داده‌های ثبت‌شده پیش از آموزش سامانه جداسازی، برای ارزیابی مدل استفاده شدند.

۲-۵- شاخص‌های ارزیابی

در دسته‌بندی نمونه‌ها دو نوع خطای احتمالی، شامل نمونه عضو کلاس مثبت که به اشتباه عضو کلاس منفی (منفی کاذب[۲](FN)) و نمونه عضو کلاس منفی که به اشتباه عضو کلاس مثبت (مثبت کاذب[۳](FP)) تشخیص داده شده، وجود دارد. دقت طبقه‌بند توسعه‌یافته در این دو بعد به وسیله دو شاخص دقت[۴] و فراخوانی[۵] مورد بررسی قرار گرفت. این شاخص‌ها که از پیش‌بینی نمونه عضو کلاس منفی که عضو همین کلاس تشخیص داده شود (منفی صحیح[۶](TN)) مستقل است، نتایج منطقی‌تری را به‌همراه خواهد داشت.

شاخص دقت (۱) تعداد نمونه‌های صحیح را در مقابل تمام نمونه‌های شناسایی‌شده در کلاس مثبت محاسبه می‌کند. در مقابل شاخص فراخوانی در رابطه با کسری از تشخیص درست نسبت به تمام نمونه‌های برچسب‌گذاری شده است. به عبارت دیگر شاخص فراخوانی به نقاط جامانده (منفی کاذب (FN)) در پیش‌بینی مدل و شاخص دقت به نقاطی که به‌صورت اشتباه به‌عنوان نمونه صحیح پیش‌بینی‌شده (مثبت کاذب (FP))، حساس هستند. شاخص دقت و فراخوانی به شرح زیر تعریف می‌شود. (Visa & Salembier, 2014; Martin *et al.*, 2004)

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (۱)$$

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (۲)$$

که در آن، P و R به‌ترتیب شاخص دقت و شاخص فراخوانی، TP[۷] شاخص تشخیص صحیح کلاس (مثبت صحیح) را نشان می‌دهد. این معیارها عملکرد مدل را از دو بعد بررسی می‌کند. این شاخص‌ها

۱ Decision Tree
۲ False Negative
۳ False Positive
۴ Precision
۵ Recall
۶ True Negative
۷ True Positive

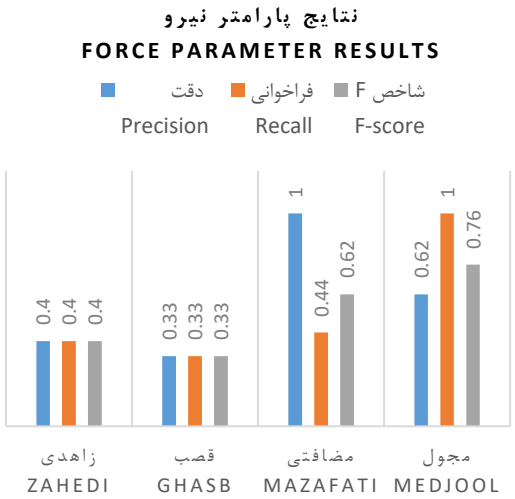
به‌صورت انفرادی نمی‌توانند قضاوت منصفانه‌ای از عملکرد طبقه‌بندی ارائه دهند. به‌طوری‌که دستگاهی با احتمال تشخیص اشتباه (مثبت کاذب)، می‌تواند شاخص فراخوانی بالا داشته باشد. همچنین با وجود طبقه‌بندی با احتمال جاگذاری نمونه‌ها (منفی کاذب) می‌توان احتمال شاخص دقت بالا را متصور بود. برای داشتن یک قضاوت جامع درباره طبقه‌بندی با یک مقدار واحد، میانگین هارمونی شاخص دقیق و شاخص فراخوانی به‌صورت معیار F تعریف می‌شود (معادله ۳)(Visa & Salembier, 2014).

$$F = \frac{2 \times T \times R}{P + R} \qquad (۳)$$

۲-۶- نتایج و بحث

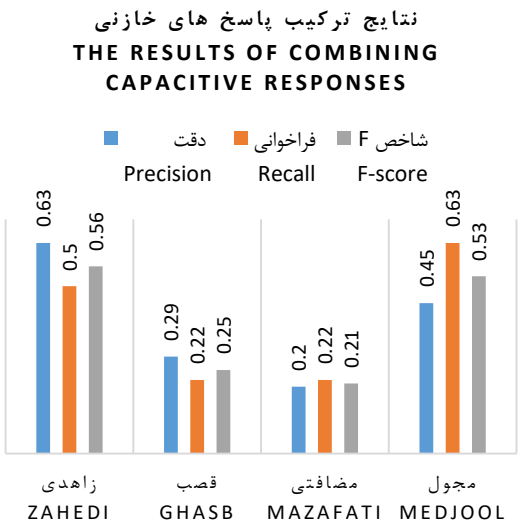
در مرحله ارزیابی و توسعه مدل، ۷۰ درصد از نمونه‌ها برای توسعه مدل درخت تصمیم و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل جداسازی شدند. اندازه‌گیری کیفیت پیش‌بینی‌های الگوریتم طبقه‌بند با برآورد تعداد پیش‌بینی‌های درست در مورد رقم میوه خرما و تعداد پیش‌بینی نادرست صورت می‌گیرد. به طور خاص‌تر، از مثبت‌های واقعی، مثبت‌های کاذب، منفی‌های واقعی و منفی‌های کاذب برای برآورد معیارهای طبقه‌بندی استفاده شد. از گزارش کیفیت طبقه‌بندی مدل درخت تصمیم توسعه داده شده با توجه به برآورد شاخص‌های دقت، فراخوانی و شاخص برای هر کدام از ارقام زاهدی، قصب، مضافتی و مجول برای ارزیابی مدل طبقه‌بند استفاده شد.

پیش از مدل‌سازی با استفاده از مجموعه خواص خازنی میوه خرما و پارامتر نیرو، دو مدل‌سازی جداگانه برای بررسی توانایی هر کدام از این ویژگی‌های برای توسعه یک طبقه بند موفق مبتنی بر درخت تصمیم صورت گرفت. در توسعه طبقه بندها، برای تنظیم بهینه‌ترین مدل طبقه‌بندی با بهترین هایپرپارامترها (حداکثر عمق درخت، حداکثر تعداد ویژگی ها در هر گره، حداقل تعداد داده های لازم برای یک برگ و روش های پیدا کردن ناخالصی هر ویژگی) برازش ۳ تا[1] برای هر یک از ۲۲۰۴ نامزد و در مجموع ۶۶۱۲ ترکیب مورد بررسی قرار گرفت. گزارش کیفیت طبقه‌بندی مدل توسعه‌یافته بر اساس پارامتر نیرو با توجه به شاخص‌های دقت، فراخوانی و شاخص F برای هر کدام از ارقام زاهدی، قصب، مضافتی و مجول در شکل ۷ نشان داده شده است. ارزیابی مدل توسعه‌یافته منجر به کیفیت طبقه‌بندی با شاخص F به ترتیب ۴۰، ۳۳، ۶۲ و ۷۶ درصد برای چهار رقم زاهدی، قصب، مضافتی و مجول شد. کیفیت طبقه‌بندی با توجه به شاخص پایین F برای طبقه‌بندی خرما مناسب ارزیابی نمی‌شود. در همین رابطه ارزیابی مدل توسعه‌یافته بر اساس نتایج ترکیب پاسخ‌های خازنی میوه خرما منجر به شاخص F به ترتیب ۵۶، ۲۵، ۲۱ و ۵۳ درصد برای چهار رقم زاهدی، قصب، مضافتی و مجول شد (شکل ۸). شاخص‌ها نشان‌دهنده کیفیت پایین طبقه‌بندی مبتنی بر مدل‌سازی جداگانه بر اساس هر کدام از این ویژگی‌های است. بنابراین ترکیب ویژگی‌های خازنی و نیرو برای توسعه طبقه‌بندی مد نظر قرار گرفت.



شکل ۷- گزارش کیفیت طبقه‌بندی مدل با توجه به شاخص‌های دقت، فراخوانی و شاخص F برای هر کدام از ارقام زاهدی، قصب، مضافتی و مجول (نتایج پارامتر نیرو)

Fig 7. Model classification quality report according to precision, recall and F index for each of Zahedi, Ghasb, Mazafati and Medjool varieties (Force parameter results)



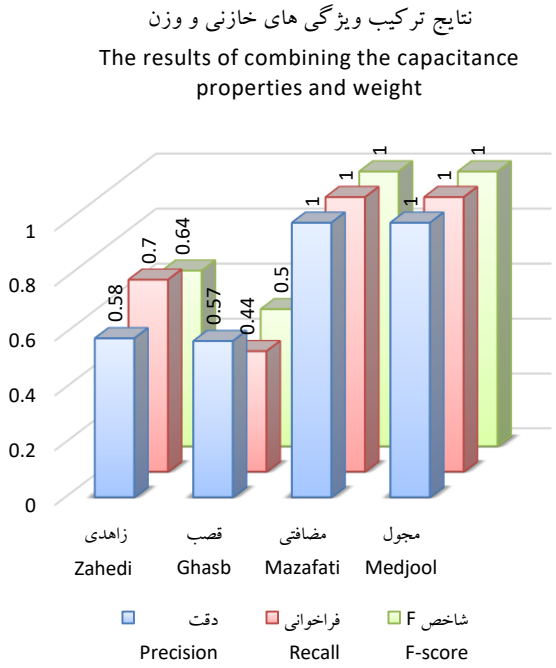
شکل ۸- گزارش کیفیت طبقه‌بندی مدل با توجه به شاخص‌های دقت، فراخوانی و شاخص F برای هر کدام از ارقام زاهدی، قصب، مضافتی و مجول (نتایج ترکیب ویژگی‌های خازنی)

Fig 8. Model classification quality report according to precision, recall and F index for each of Zahedi, Qhasb, Mazafati and Medjool cultivars (combination results of capacitive characteristics)

[1] Fold

گزارش کیفیت طبقه‌بندی مدل انتخابی بر اساس ترکیب ویژگی‌های خازنی و نیرو با توجه به شاخص‌های دقت، فراخوانی و شاخص F برای هر کدام از ارقام زاهدی، قصب، مضافتی و مجول در شکل نشان داده شده است. ارزیابی مدل توسعه‌یافته منجر به کیفیت طبقه‌بندی به ترتیب ۶۴، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ درصد برای چهار رقم زاهدی، قصب، مضافتی و مجول شد. نتایج نشانگر توسعه موفقیت‌آمیز مدل طبقه‌بند درخت تصمیم مبتنی بر ترکیب ویژگی‌های خازنی و نیرو است. بهترین کیفیت تفکیک بر اساس شاخص F برای رقم مجول و مضافتی و ضعیف‌ترین کیفیت تفکیک برای رقم قصب و سپس زاهدی حاصل شد.

همچنین برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی از ماتریس درهم‌ریختگی[1] هم استفاده شد (جدول ۲). عناصر قطر اصلی تعداد نقاطی را نشان می‌دهند که برچسب پیش‌بینی‌شده برای آن‌ها برابر با برچسب واقعی است، در حالی که عناصر دیگر آن‌هایی هستند که توسط طبقه‌بندی کننده به‌اشتباه برچسب‌گذاری شده‌اند. هرچه مقادیر قطری درهم‌آمیختگی بالاتر باشد نشان‌دهنده بیشتر بودن تعداد پیش‌بینی‌های صحیح است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید مدل درخت تصمیم توسعه داده‌شده صد درصد در تفکیک اطلاعات مربوط به رقم مضافتی و مجول موفق بوده و تمام پیش‌بینی‌ها با حقیقت منطبق هستند. مدل طبقه بند ۵ خرمای قصب را به اشتباه زاهدی و ۳ خرمای زاهدی را به اشتباه قصب پیش‌بینی کرده است. به نظر می‌رسد علت عملکرد مدل درخت تصمیم توسعه یافته در طبقه‌بندی ضعیف‌تر این دو نوع خرما به خواص فیزیکی و رطوبتی بسیار نزدیک این دو نوع رقم خرما برمی‌گردد.



شکل ۹- گزارش کیفیت طبقه‌بندی مدل با توجه به شاخص‌های دقت، فراخوانی و شاخص F برای هر کدام از ارقام زاهدی، قصب، مضافتی و مجول (نتایج ترکیب ویژگی‌های خازنی و وزن)

Fig 9. Model classification quality report according to accuracy, recall and F index for each of Zahedi, Qhasb, Mazafati and Medjool varieties (results of combination of capacitance and weight characteristics)

۳- نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش سامانه‌ای برای ثبت ویژگی‌های الکترونیکی شامل پاسخ های خازنی و نیرو توسعه داده شد. با توجه به ویژگی‌های اخذشده، نتایج نشان داد مدل طبقه بند توسعه داده شده در تفکیک ارقام آزمایش شده عملکرد نسبتا موفقی داشته است. این سامانه می‌تواند در توسعه سامانه‌های درجه‌بندی هوشمند و پایش رطوبت و کیفیت میوه خرما در طول انبارداری و توسعه روشی خودکار برای شناسایی نوع رقم میوه خرما مورد استفاده قرار گیرد. برای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود امکان بررسی کیفیت درونی شامل نسبت هسته به گوشت توسط روش‌های خازنی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین پیش‌بینی می‌شود تلفیق روش‌های خازنی با روش‌های مبتنی بر فناوری بینایی ماشین شامل استفاده، انواع مختلفی از دوربین‌ها مانند RGB، NIR، اشعه ایکس، مادون‌قرمز، حرارتی نتایج بسیار امیدوارکننده‌ای را در آینده به همراه داشته باشد.

جدول ۲- ارزیابی دقت طبقه‌بندی ارقام زاهدی، قصب، مضافتی و مجول با استفاده ماتریس درهم‌ریختگی

Table 2. Evaluation of the classification accuracy of Zahedi, Qhasb, Mazafati and Medjool varieties using confusion matrix

حقیقت (برچسب) Truth (label)	پیش بینی مدل Model prediction			
	زاهدی Zahedi	قصب Ghasb	مضافتی Mazafati	مجول Medjool
زاهدی Zahedi	7	3	0	0
قصب Ghasb	5	4	0	0
مضافتی Mazafati	0	0	9	0
مجول Medjool	0	0	0	8

[1] confusion matrix

منابع

Abdul-Hamid, N. A., Mustaffer, N. H., Maulidiani, M., Mediani, A., Ismail, I. S., Tham, C. L., . . . Abas, F. (2020). Quality evaluation of the physical properties, phytochemicals, biological activities and proximate analysis of nine Saudi date palm fruit varieties. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 19*(2), 151-160.

Al-Janobi, A. (2010). A prototype mechatronic system for inspection of date fruits. *2*, 2013.

Al-Jasass, F. M., Siddiq, M., and Sogi, D. S. (2015). Antioxidants activity and color evaluation of date fruit of selected cultivars commercially available in the United States. *Advances in Chemistry, 2015*, 1-5.

Behera, S. K., Rath, A. K., Mahapatra, A., Sethy, P. K. J. J. o. A. I., and Computing, H. (2020). Identification, classification & grading of fruits using machine learning & computer intelligence: a review. 1-11.

Besharati, B., Lak, A., Ghaffari, H., Karimi, H., and Fattahzadeh, M. (2021). Development of a model to estimate moisture contents based on physical properties and capacitance of seeds. *Sensors and Actuators A: Physical, 318*, 112513.

Bhargava, A., Bansal, A. J. J. o. K. S. U.-C., and Sciences, I. (2021). Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review. *33* (3), 243-257.

Eoin, L. N. J. N. p. (2016). Systematics: blind dating. *2*(5), 1-1.

Ghelichkhani, M., Mahmoudi, A., and Nahandi, F. Z. (2014). *Feasibility of applying acoustic and ANN in date separating*.

Hameed, K., Chai, D., Rassau, A. J. I., and Computing, V. (2018). A comprehensive review of fruit and vegetable classification techniques. *80*, 24-44.

Jahromi, M. K., Mohtasebi, S., Jafari, A., Mirasheh, R., & Rafiee, S. (2008). Determination of some physical properties of date fruit (cv. Mazafati). *Journal of Agricultural Technology, 4* (2), 1-9.

Karimi, H., Skovsen, S., Dyrmann, M., and Nyholm Jørgensen, R. (2018). A Novel Locating System for Cereal Plant Stem Emerging Points' Detection Using a Convolutional Neural Network. *Sensors, 18*(5), 1611.

Koklu, M., Kursun, R., Taspinar, Y. S., and Cinar, I. (2021). Classification of date fruits into genetic varieties using image analysis. *Mathematical Problems in Engineering, 2021*.

Korkua, S. K., and Sakphrom, S. J. H. (2020). Low-cost capacitive sensor for detecting palm-wood moisture content in real-time. *6*(8), e04555.

Manickavasagan, A., Al-Mezeini, N. K., and Al-Shekaili, H. N. (2014). RGB color imaging technique for grading of dates. *Scientia Horticulturae, 175*, 87-94.

Martin, D. R., Fowlkes, C. C., and Malik, J. (2004). Learning to detect natural image boundaries using local brightness, color, and texture cues. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*(5), 530-549.

Meenu, M., Kurade, C., Neelapu, B. C., Kalra, S., Ramaswamy, H. S., Yu, Y. J. T. i. F. S., and Technology. (2021). A concise review on food quality assessment using digital image processing. *118*, 106-124.

Muhammad, G. (2015). Date fruits classification using texture descriptors and shape-size features. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 37*, 361-367.

Naranjo-Torres, J., Mora, M., Hernández-García, R., Barrientos, R. J., Fredes, C., and Valenzuela, A. J. A. S. (2020). A review of convolutional neural network applied to fruit image processing. *10*(10), 3443.

Nasiri, A., Taheri-Garavand, A., and Zhang, Y.-D. (2019). Image-based deep learning automated sorting of date fruit. *Postharvest biology and technology, 153*, 133-141.

Placidi, P., Gasperini, L., Grassi, A., Cecconi, M., and Scorzoni, A. (2020). Characterization of Low-Cost Capacitive Soil Moisture Sensors for IoT Networks. *20* (12), 3585.

Pourdarbani, R., Ghassemzadeh, H. R., Seyedarabi, H., Nahandi, F. Z., and Vahed, M. M. (2015). Study on an automatic sorting system for Date fruits. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 14* (1), 83-90.

Septiarini, A., Hamdani, H., Hatta, H. R., and Kasim, A. A. (2019, 23-24 Oct. 2019). *Image-based processing for ripeness classification of oil palm fruit.* Paper presented at the 2019 5th International Conference on Science in Information Technology (ICSITech).

Vayalil, P. K. (2012). Date Fruits (Phoenix dactylifera Linn): An Emerging Medicinal Food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 52*(3), 249-271. doi:10.1080/10408398.2010.499824

Visa, G. P., and Salembier, P. (2014). *Precision-recall-classification evaluation framework: Application to depth estimation on single images.* Paper presented at the European Conference on Computer Vision.

Zhang, D., Lee, D.-J., Tippetts, B. J., and Lillywhite, K. D. (2014). Date quality evaluation using short-wave infrared imaging. *Journal of Food Engineering, 141*, 74-84.

Zhang, H., Liu, W., Tan, B., and Lu, W. (2013). Corn Moisture Measurement using a Capacitive Sensor. *JCP, 8* (6), 1627-1631.

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)