نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

اندازه‌گیری غیر مخرب محتوای قند ساقه نیشکر با استفاده از روش طیف‌نگاری دی‌الکتریک

میلاد فاضلیان دهکردی[۱]، مجتبی نادری بلداجی[۲*]، مهدی قاسمی ورنامخواستی[۳]، سید احمد میره ای[٤]

۱- داشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

۲ و ۳- استادیاران گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

٤- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

ایمیل مکاتبه کننده: m.naderi@ut.ac.ir

چکیده

از جمله چالش‌های فنی کشاورزی و صنعت نیشکر نبود حسگری برای اندازه‌گیری غیرمخرب عیار قند نیشکر در مزرعه به صورت نی یا عصاره می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از روش دی‌الکتریک، ولتاژ متناوب سینوسی به ساقه نیشکر اعمال شد و با استفاده از دستگاه اسپکتروم آنالایزر پاسخ سیگنال خروجی مدار در محدوده فرکانسی ۰/۰۳ تا ۱۰ مگاهرتز اندازه‌گیری گردید. از مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره به منظور استخراج رابطه بین شاخص پل و مقادیر توان در فرکانس‌های مختلف استفاده شد. نتایج مدل‌سازی با استفاده از تمامی محدوده فرکانس اعمال شده نشان داد که شاخص پل با ضریب تبیین ۰/۹۹ و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۱۸۵درصد قابل پیش‌بینی می‌باشد. پس از بررسی ضرایب رگرسیون، تعداد شش فرکانس مؤثر در مدل‌سازی شاخص پل نیشکر به منظور کاهش حجم محاسبات و سادگی مدل تعیین شدند. نتایج مدل‌سازی با استفاده از شش فرکانس، مشابه نتایج بدست آمده از کل محدوده فرکانسی حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: نیشکر، خازن، توان، اسپکتروم‌آنالایزر، مدل‌سازی

مقدمه

مهم‌ترین فاکتور کیفی نیشکر میزان قند موجود در ساقه آن می‌باشد. میزان شکر نی یا با درجه بریکس[۱] (محتویات جامد محلول)، و یا درجه پولاریزاسیون[۲] (محتویات شکر اندازه‌گیری شده با استفاده از خاصیت فعالیت‌های نوری که سبب پولاریزه شدن نور در اثر شکست می‌شود) و محتویات فیبر آن استنتاج می‌گردد (بی‌نام، ۱۳۹۲).

۱. Brix°

۲. Pol

عیار قند موجود در ساقه نیشکر در یک مزرعه تحت تأثیر عوامل بسیاری بوده و به صورت موضعی تغییر می‌کند. طبق گزارشات جانسون و ریچارد (۲۰۰۵) در یک مزرعه نیشکر مقدار تئوری قند قابل بازیابی از ۵۱ تا ۱۰٤ کیلوگرم بر مگاگرم نی و عملکرد قند از ۲٦٤۰ تا ۱٤۵۷۰کیلوگرم بر هکتار متغیر بوده است. کشاورزی دقیق یک برنامه‌ریزی استراتژیک ارزشمند مدیریتی برای افزایش سود مزرعه از طریق کاربرد مؤثر نهاده‌ها به وسیله ارتباط دادن آن با عملکرد و کیفیت متغیر محصول در مزرعه است (ونته و همکاران، ۲۰۰۱).

اولین گام درکاربرد کشاورزی دقیق پایش و تهیه نقشه عملکرد می‌باشد. تاکنون چندین تحقیق در رابطه با تهیه نقشه‌های عملکرد نیشکر در جهان شامل ایران (خراسانی فردوانی و همکاران، ۱۳۸۸)، استرالیا (کوکس و همکاران، ۱۹۹٦)، برزیل (مگلهیز و کری، ۲۰۰۷) و آمریکا (پرایس و همکاران، ۲۰۱۱) انجام شده است. اگر چه بازبینی گسترده‌ای که راجع به کاربرد کشاورزی دقیق در صنایع نیشکر منتشر شد، مشخص کرد که روش‌های کشاورزی دقیق تاکنون تنها به پایش عملکرد پرداخته و در خصوص پایش‌های کیفی هنوز تحقیقات موثری گزارش نشده است (بارملی، ۲۰۰۹).

علاوه بر کاربردهای فوق، توسعه و بکارگیری یک حسگر مناسب برای تشخیص تغییرات محتوای قند در طول ساقه نیشکر جهت تنظیم ارتفاع مناسب تاپر در نواحی مختلف مزرعه از جمله چالش‌های فنی موجود می‌باشد که توجه بیش از پیش در خصوص توسعه یک حسگر مناسب برای اندازه‌گیری قند نیشکر را توجیه می‌نماید. به طور کلی، بسیاری از فن‌آوری‌های رایج برای تعیین محتوای قند نیشکر برای استفاده سریع مناسب نیستند، چرا که اجرای آن‌ها نیاز به افراد با مهارت بالا و تجهیزات گران‌قیمت دارند. روش‌های آزمایشگاهی همچنین وقت‌گیر بوده، اغلب وابسته به کاربر هستند و شامل استفاده از مواد شیمیایی خطرناک می‌باشند. مهم‌تر از همه اینکه تنها در آزمایشگاه قابلیت اجرا دارند (مهروتا و سایسلر، ۲۰۰۳). به عنوان مثال، روش آزمایشگاهی پلاریمتری[۱] نیاز به آماده‌سازی نمونه‌های عصاره قبل از تجزیه و تحلیل ساکاروز دارد و اغلب با سطوح بالایی از آلودگی مانند استات سرب سرو کار دارد. روش‌های دیگری چون رفرکتومتری استاندارد[۲] و روش بازتاب مادن قرمز[۳] نیز در زمینه تعیین محتوای قند نیشکر وجود دارند که روش‌هایی آزمایشگاهی اگرچه دقیق ولی پرهزینه می‌باشند (مکارتی، ۲۰۰۳).

همه روش‌هایی که تا امروز برای عیارسنجی قند نیشکر بکار گرفته شده‌اند، به مقداری زمان برای ارائه نتایج خود نیاز دارند. در بسیاری از این روش‌ها که در مزرعه انجام می‌شوند، ابتدا لازم است که ساقه نیشکر له شده و از عصاره آن برای تعیین عیار قند و یا سایر ویژگی‌ها مثل محتوای رطوبت استفاده شود. این شیوه با مشکلاتی از قبیل کافی نبودن عصاره برای عمل اندازه‌گیری و خشک شدن عصاره بر روی حسگر همراه است. از سوی دیگر امکان عصاره‌گیری در اندازه‌گیری‌های دینامیکی بر روی ماشین برداشت این مشکل را افزون می‌کند (ناوی و همکاران، ۲۰۱۲).

---

۱. Polarimetric

۲. Standard refractometric

۳. Near Infrared Reflectance

امروزه مطالعات بسیار زیادی در خصوص استفاده از روش دی‌الکتریک برای کیفیت‌سنجی محصولات کشاورزی گزارش شده است. از جمله این محصولات می‌توان به ذرت، نخود، هندوانه، یونجه، برنج، سویا و... اشاره کرد. باقری و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش دی‌الکتریک رطوبت خرما را در مراحل مختلف رسیدگی به خوبی مدل‌سازی و پیش‌بینی نمودند. تقی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۲) یک حسگر خازنی را به منظور اندازه‌گیری رطوبت ساقه نیشکر توسعه و ارزیابی نمودند. نتایج حاکی از دقت بسیار خوب حسگر خازنی در اندازه‌گیری رطوبت ساقه بود. با این حال هیچ گزارشی تاکنون مبنی بر پتانسیل روش دی‌الکتریک برای اندازه‌گیری محتوای قند ساقه نیشکر آزمون نشده است

لذا با توجه به اینکه اولاً تاکنون از روش‌های خازنی برای اندازه‌گیری غیر مخرب قند ساقه نیشکر استفاده نشده و ثانیاً روش طیف‌نگاری دی‌الکتریک در مقایسه با روش‌های تک فرکانس اطلاعات بیشتر و دقیق‌تری عرضه می‌کند، هدف از این تحقیق استفاده از روش طیف‌نگاری دی‌الکتریک در محدوده فرکانسی ۰/۰۳ تا ۱۰ مگاهرتز با استفاده از خازن صفحه موازی برای اندازه‌گیری شاخص پل ساقه نیشکر و مدل‌سازی محتوای پل با استفاده از داده‌های دی‌الکتریک می‌باشد. شایان ذکر است که این روش قابلیت اندازه گیری غیر مخرب قند بر روی ساقه در مزرعه و یا نمونه های نی در آزمایشگاه را فراهم می نماید که تاکنون بررسی نشده است. همچنین روش طیف‌نگاری دی‌الکتریک در مقایسه با اندازه‌گیری‌های دی‌الکتریک تک فرکانس اطلاعات بیشتری از تغییرات در محدوده‌های مختلف فرکانس به دست داده که منجر به پیش بینی دقیق‌تر متغیر کیفی مورد نظر (در اینجا درصد قند) خواهد شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، نمونه‌های نیشکر رسیده در اواخر فصل پاییز از مزارع نیشکر شرکت کشت و صنعت امیرکبیر واقع در استان خوزستان از چهار رقم CP-57، CP-48، CP-69 و IRC-9902 انتخاب شدند. نمونه‌ها به صورت تصادفی از نقاط مختلف مزرعه برای انتقال به دانشگاه شهرکرد توسط کارشناس مجرب بریده شدند و برای جلوگیری از تغییرات رطوبت نی‌ها از چند لایه پلاستیک برای انتقال استفاده شد.

برای انجام این تحقیق یک سامانه اندازه‌گیری دی‌الکتریک طراحی شد. این سامانه شامل یک دستگاه مولد تابع[۱] و یک دستگاه اسپکتروم آنالایزر (هر دو محصول شرکت GW Instek، ساخت کشور تایوان)، دو عدد صفحه موازی از جنس آلومینیوم به شکل مستطیل با ابعاد ۵×۲/۵ سانتی‌متر که بر روی یک بدنه عایق از جنس پلاستوگلاس نصب شدند، تشکیل شد. صفحات با استفاده از پروب‌های کواکسیال به مولد تابع و اسپکتروم آنالایزر متصل شدند.

فاصله صفحات از یکدیگر ۳۳ میلی‌متر بود که این فاصله بزرگتر از قطر نی‌های مورد استفاده در آزمون انتخاب شد. صفحات به صورت موازی به بدنه حسگر متصل شدند. دستگاه مولد تابع در محدوده ۰/۰۳ تا ۱۰ مگاهرتز اختلاف ولتاژ متناوب سینوسی را با بیشینه ولتاژ ۵ ولت به دو سر صفحات اعمال کرد. بر اثر اعمال اختلاف پتانسیل

۱. Function Generator

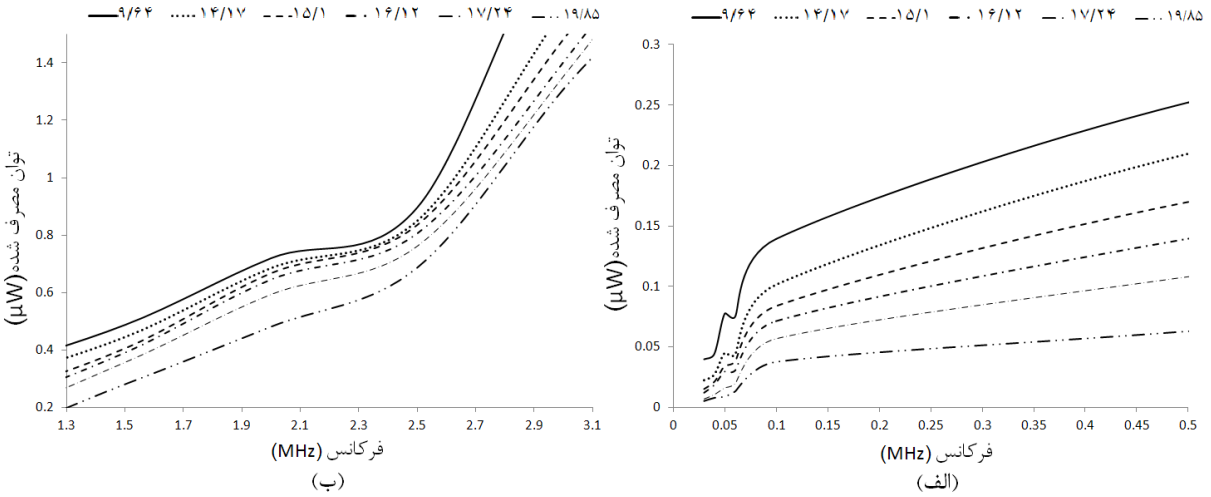
میدان‌های الکتریکی متناوبی بین صفحات موازی به وجود آمده که دستگاه اسپکتروم آنالایزر توان مصرفی حسگر را به تفکیک فرکانس‌های اعمال شده از طریق نرم‌افزار مخصوص دستگاه (Eagleshot_V3.6.8) به رایانه منتقل نمود. نمونه‌ها به قطعات ۱۰ سانتی‌متری بریده شدند و سپس درون حسگر قرار گرفتند. پس از ثبت داده‌های خروجی، نمونه‌ها از وسط بریده شدند و هر نمونه به دو قسمت ۵ سانتی‌متری بریده شد. قسمت اول درون آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ٤۸ ساعت جهت تعیین محتوای رطوبت قرار گرفت و قسمت دوم برای اندازه‌گیری شاخص پل به آزمایشگاه منتقل شد و با استفاده از روش مرجع (پلاریمتری) شاخص پل نمونه‌ها مشخص گردید. صفحات موازی، نمونه نیشکر و هوای محصور شده بین نی و صفحات را می‌توان به صورت یک خازن در نظر گرفت. بنابراین، ضریب دی‌الکتریک خازن شامل ضرایب دی‌الکتریک نمونه و هوای محصور شده می‌باشد. ضریب دی‌الکتریک هوا بسیار ناچیز است به همین خاطر می‌توان از آن چشم پوشید (باقری و همکاران، ۱۳۹۳). مقدار توان مصرف شده توسط یک خازن شامل توان الکتریکی ذخیره شده و توان تلف شده توسط خازن است. توان مصرف شده با مقادیر گذردهی دی‌الکتریک رابطه مستقیم دارد. بنابراین، می‌توان به جای مقادیر ضریب دی‌الکتریک، از مقادیر توان مصرفی در خازن برای مدل‌سازی محصول استفاده کرد (باقری و همکاران، ۱۳۹۳).

پس از جمع‌آوری داده‌ها، نمونه‌ها به صورت تصادفی به دو دسته کالیبراسیون (شامل ٤۹ نمونه) و پیش‌بینی (شامل ۱٦ نمونه) تقسیم شدند. از دسته داده‌های کالیبراسیون برای مدل‌سازی رابطه بین توان مصرفی خازن با محتوای پل ساقه نیشکر و از دسته داده‌های پیش‌بینی به منظور اعتبارسنجی و تعیین قدرت پیش‌بینی مدل استفاده شد. در این تحقیق، برای مدل‌سازی از روش رگرسیون خطی چند متغیره[۱] با استفاده از نرم‌افزار آماری (Unscrambler X. V10.3) استفاده شد. در این روش، ابتدا از مقادیر توان در کل فرکانس‌های ثبت شده در دامنه ۰/۰۳ تا ۱۰ مگاهرتز به عنوان متغیر مستقل و از شاخص پل ساقه گزارش شده توسط آزمایشگاه به عنوان متغیر وابسته استفاده گردید. گام بعدی برای بهبود مدل و سادگی بیشتر، بررسی ضرایب کالیبراسیون بود تا فرکانس‌هایی را که سهم بیشتری از پیش‌بینی را به خود اختصاص داده بودند مشخص گردند. در نهایت تعداد ٦ فرکانس برای مدل‌سازی شاخص پل با کمک روش رگرسیون خطی چند متغیره انتخاب شد. پارامترهای آماری برای ارزیابی مدل‌ها شامل مقادیر ضریب تبیین در دو مرحله کالیبراسیون و پیش‌بینی، ریشه میانگین مربعات خطای کالیبراسیون و پیش‌بینی انتخاب شد.

نتایج و بحث

شکل (۱) نمودارهای توان مصرفی خازن برحسب فرکانس در دو ناحیه ۰/۵–۰ مگاهرتز (شکل ۲–الف) و ۱/۳–۳/۱ مگاهرتز (شکل ۲–ب) را برای برخی نمونه های نیشکر با درصدهای مختلف پل ۱٤/۱۷، ۱۵/۱۰، ۱٦/۱۲، ۱۷/۲٤ و ۱۹/۸۵ نشان می‌دهد. برخی نواحی دیگر طیف‌های دی‌الکتریک نیز به خوبی از هم متمایز بوده که نشان داده نشده‌اند.

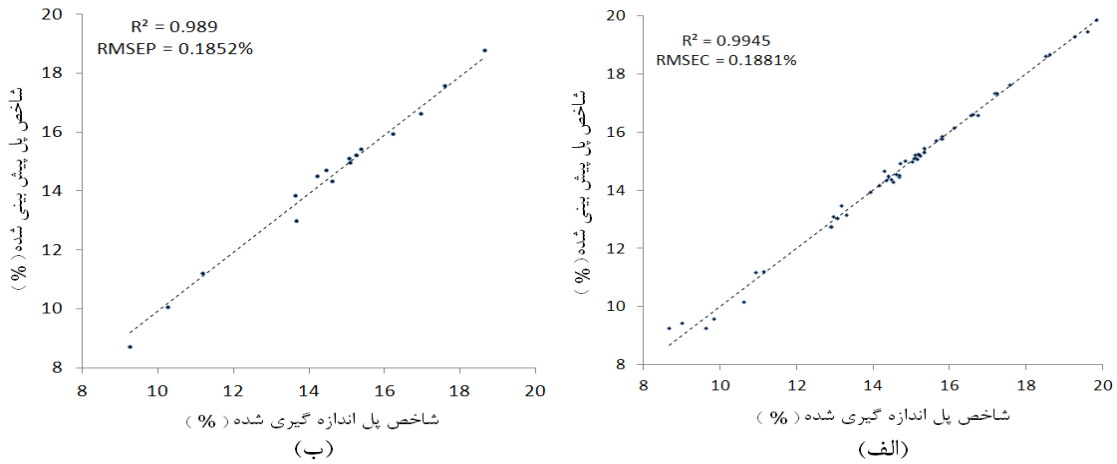
۱. Multiple Linear Regression



شکل ۱- نواحی مختلف طیف‌های دی‌الکتریک الف) صفر تا ۰/۵ مگاهرتز و ب) ۱/۳ تا ۳/۱ مگاهرتز برای نمونه های نیشکر با درصد پل متفاوت.

مطابق شکل (۱) با افزایش فرکانس، توان مصرفی نیز افزایش می‌یابد. باقری و همکاران (۱۳۹۳) این امر را چنین توجیه نمودند که ذرات باردار ماده دی‌الکتریک در اثر قرارگیری در میدان الکتریکی متناوب، مطابق با فرکانس اعمالی شروع به حرکت می‌نمایند. حرکات چرخشی مولکول‌های قطبی آب و یون‌های محلول در آن، بیشترین مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهند. به همین دلیل با افزایش فرکانس، در مدت زمان کمتر به انرژی بیشتری برای غلبه بر اصطکاک موجود میان ذرات نیاز است. همچنین واضح است که با افزایش محتوای قند (شاخص پل)، توان مصرفی کاهش می‌یابد. توجیه این امر می‌تواند با تشکیل شدن پیوند میان مولکول‌های آب با قند و کاهش تعداد پیوندهای قطبی آب (کاهش ضریب گذردهی محلول آب-قند نسبت به آب خالص) بیان شود (انکاویسیتپن و منسری، ۲۰۱۲).

شکل (۲) مقادیر محتوای پل به دست آمده توسط حسگر دی‌الکتریک در برابر مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده توسط روش پلاریمتری را به وسیله مدل رگرسیون خطی چند متغیره در دامنه ۰/۰۳ تا ۱۰ مگاهرتز در دو مرحله کالیبراسیون (الف) و پیش‌بینی (ب) نشان می‌دهد.



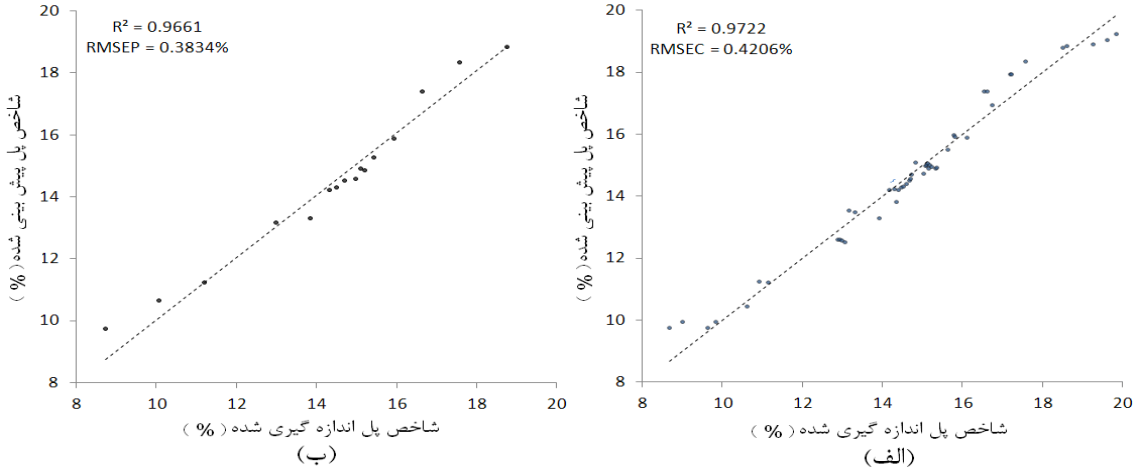
شکل ۲- مقادیر شاخص پل به دست آمده توسط مدل رگرسیون خطی چند متغیره در دامنه ۰/۰۳ تا ۱۰ مگاهرتز دربرابر مقادیر حقیقی اندازه‌گیری شده توسط روش پلاریمتری. الف) مرحله کالیبراسیون و ب) مرحله پیش‌بینی.

ضرایب تبیین ۰/۹۸۹ و ۰/۹۹٤٥ و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۱۸۸۰ و ۰/۱۸۵۲ درصد برای مراحل به ترتیب کالیبراسیون و پیش‌بینی، نشان‌دهنده توانایی بسیار خوب مدل‌ها در برآورد محتوای پل بوسیله داده‌های دی‌الکتریک می‌باشد. شایان ذکر است که این دقت پیش بینی در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده (اغلب با روش طیف نگاری NIR) بسیار بالاتر می‌باشد. برای مثال ناوی و همکاران (۲۰۱۲) خطای پیش بینی ۱/٤ درصد بریکس با استفاده از طیف نگاری موج کوتاه NIR (تا ۱۱۰۰ نانومتر) بر روی پوست ساقه نیشکر را گزارش نمودند. این مقایسه نشان می‌دهد که روش کم هزینه دی‌الکتریک توانایی بسیار خوبی در اندازه‌گیری غیر مخرب کیفیت نیشکر دارد. تأثیر برخی فرکانس‌ها در برآورد محتوای پل ساقه نسبتاً بالا می‌باشد در حالی که در سایر فرکانس‌ها، مقادیر ضریب رگرسیون کمتر است. به منظور تشخیص فرکانس‌های مؤثرتر در برآورد محتوای پل ساقه نیشکر و و ارائه مدل ساده‌تر رگرسیون خطی چند متغیره، مقادیر قدرمطلق ضرایب رگرسیون استخراج و تعداد ٦ فرکانس با بالاترین ضرایب رگرسیون اتخاب شدند. این فرکانس‌ها عبارتند از ۰/۰۳، ۰/۰٤، ۰/۰٦، ۰/۱، ۱/۵ و ۲ مگاهرتز.

مقادیر پل به دست آمده توسط مدل رگرسیون خطی چند متغیره با استفاده از شش فرکانس مذکور در برابر مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده توسط روش پلاریمتری در مراحل کالیبراسیون (الف) و پیش‌بینی (ب) در شکل (۳) نشان داده شده است. ضرایب تبیین ۰/۹۷۲ و ۰/۹٦٦۱ و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/٤۲۰٦ و ۰/۳۸۳٤ درصد برای مراحل به ترتیب کالیبراسیون و پیش‌بینی، نشان‌دهنده توانایی مدل‌ها در برآوردی دقیق از محتوای پل نیشکر به وسیله داده‌های ٦ فرکانس مؤثر است. شایان ذکر است که توانایی پیش‌بینی ٦ فرکانس، مشابه توانایی پیش‌بینی همه فرکانس‌های اعمال شده می‌باشد. مدل ریاضی رگرسیون خطی چند متغیره با استفاده از این شش فرکانس با معادله (۱) بیان شد.

$$Pol^{\%} = -359.54P_{0.03} + 8.71P_{0.04} - 34.79P_{0.06} + 61.45P_{0.1} + 40.14P_{1.5} - 42.3P_{2} \quad (۱)$$

که در این رابطه Pol بیانگر درصد شاخص پل و P_i توان مصرفی خازن در فرکانس i می‌باشد.



شکل ۳- مقادیر پل به دست آمده توسط مدل رگرسیون خطی چند متغیره در فرکانس‌های ۰/۰۳، ۰/۰٤، ۰/۰٦، ۰/۱، ۱/۵ و ۲ مگاهرتز در برابر مقادیرحقیقی اندازه‌گیری شده توسط روش پلاریمتری. الف) مرحله کالیبراسیون و ب) مرحله پیش‌بینی.

لازم به ذکر است که نتایج این مطالعه برای ساقه نیشکر نسبت به روش اسپکتروسکوپی به طور قابل ملاحظه‌ای دقیق‌تر می‌باشند. این در حالی است که شاخص پل در صنعت قندسازی نتایج دقیق‌تری نسبت به درجه بریکس از محتوای ساکارز ساقه نیشکر در اختیار قرار می‌دهد.

آنچه باعث تغییرات دی‌الکتریک عصاره نی می‌شود غلظت محلول عصاره می‌باشد چرا که با افزایش میزان قند در عصاره، تحرک مولکول‌های قطبی آب کمتر شده و لذا ثابت دی‌الکتریک عصاره با افزایش قند کاهش می‌یابد. با این حال نیاز است پتانسیل روش دی‌الکتریک برای اندازه‌گیری محتوای قند نیشکر در مراحل مختلف رشد نی ارزیابی شود چرا که ممکن است رابطه بین رطوبت و قند در مراحل مختلف رشد و توسعه گیاه از توابع مختلفی پیروی کند و لذا نتایج یکسان نباشند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که روش دی‌الکتریک یک روش توانمند و دقیق در اندازه‌گیری محتوای قند ساقه نیشکر می‌باشد. مقادیر توان مصرف شده در خازن متشکل از صفحات موازی و ساقه‌های نیشکر در هر نمونه با افزایش فرکانس، افزایش یافت و با افزایش شاخص پل ساقه (محتوای قند) کاهش نشان داد. مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره در دامنه ۰/۰۳ تا ۱۰ مگاهرتز توانستند شاخص پل ساقه نیشکر را با ضریب تبیین ۰/۹۸۹، ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۱۸۵۲ درصد پیش‌بینی کنند. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های ساده‌تر و تشخیص شش فرکانس مؤثر ۰/۰۳، ۰/۰٤، ۰/۰٦، ۰/۱، ۱/۵ و ۲ مگاهرتز، ضریب تبیین ۰/۹٦٦۱، ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۳۸۳٤ درصد پیش‌بینی شد. در حالی که تحقیقات بیشتر در دامنه فرکانسی وسیع‌تر می‌تواند منجر به نتایج بهتری شود، اما یافته‌های این تحقیق بیانگر آن است که فرکانس‌های پایین‌تر از ۳ مگاهرتز نتایج به اندازه کافی دقیق را برای پیش بینی شاخص پل ساقه نیشکر به همراه دارد.

منابع و مآخذ

۱. باقری، ر.ا. میره‌ای، ا. صادقی، م. معصومی، ا.ا. موم کش، ش. ۱۳۹۳. اندازه‌گیری رطوبت خرما با روش غیر مخرب دی‌الکتریک. مجله مهندسی بیوسیستم ایران. دوره ٤۵(۲). ۹۷-۱۰٤.
۲. بی نام. ۱۳۹۲. موسسه تحقیقات نیشکر ایران.
۳. خراسانی فردوانی، م.ا. علیمردانی، ر. امید، م. ۱۳۸۸. ساخت و ارزیابی آزمایشگاهی مکانیزم کاهنده نوفه سکوی توزین با استفاده از مبدل نیروی جرم آزاد در سامانه سنجش عملکرد نیشکر. مجله مهندسی بیوسیستم ایران. دوره ٤۰ (۱). ۵۳-٦۲.

4. Angkawisittpan, N. & Manasri, T. 2012. Determination of Sugar Content in Sugar Solutions using Interdigital Capacitor Sensot. Measurement Science Review. Vol 12(1), 8-13.
5. Bramley, R. G. V. 2009. Lessons from nearly 20 years of precision agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. Crop and Pasture Science. Vol 60, 197-217.
6. Cox, G. Harris, H. Pax, R. & Dick, R. 1996. Monitoring cane yield by measuring mass flow rate through the harvester. Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists. 152-157.
7. Johnson, R. M. & Richard Jr, E. P. 2005. Precision agriculture research in Louisiana sugarcane", Sugar Journal. Vol 67(11), 6-7.
8. Magalha˜es, P. S. G. & Cerri, D. G. P. 2007. Yield monitoring of sugar cane. Biosystems Engineering. Vol 96(1), 1-6.
9. McCarthy, S. G. 2003. The integration of sensory control for a sugar cane harvester. PhD Thesis. Univ. of Southern Queensland, Australia.
10. Mehrotra, R. & Siesler, H. W. 2003. Application of mid infrared/near infrared spectroscopy in sugar industry. Applied Spectroscopy Reviews. Vol 38, 307–354.
11. Nawi, N. M. Jensen, T. & Chen, G. 2012. The application of spectroscopic methods to predict sugarcane quality based on stalk cross-sectional scanning. Journal of American Society of Sugar Cane Technologists. Vol 32, 16 -27.
12. Price, R. R. Johnson, R. M. Viator, R. P. Larsen, J. & Peters, A. 2011. Fiber optic yield monitor for a sugarcane harvester. Transactions of the ASABE. Vol 54(1), 31-39.
13. Taghinezhad, J. Alimardani, R. & Jafari, A. 2012. Development of a capacitive sensing device for prediction of water content in sugarcanes stalks. International Journal of Advanced Science and Technology. Vol 44, 61-68.
14. Wendte,K. W. Skotnikov, A. & Thomas, K. K. 2001. Sugar cane yield monitor. United States Patent. No US6272819 B1.

Non-destructive measurement of the sugar content of sugarcane using dielectric spectroscopy method

Abstract

One of the technical challenges in agriculture and industry of sugarcane is a sensor for measuring the sugar content of either standing cane in the field. In this study, using a parallel plate capacitor, alternating sinusoidal voltage was applied to the sugarcane stalk samples and the dielectric spectra, power in the frequency range 0.03 - 10 MHz, was measured by a spectrum analyzer. Multiple linear regression models (MLR) were developed in order to derive the relationship between sugar content (in terms of $Pol^{\%}$) and the consumed power as a function of frequency. The models by the full frequency spectra predicted the sugar content with R^2 of 0.99 and RMSE of 0.185%. After examining the regression coefficients for each frequency, six frequencies were selected as the most effective for predicting the sugar content of sugarcane. Similar prediction results (R^2 and RMSE) were achieved as compared to the models by the full-range spectra.

Keywords : Sugarcane, capacitor, Power, Spectrum analyzer, Modeling