



تخمین عملکرد چغندر قند بر اساس پوشش سایه انداز گیاه با استفاده از الگوهای پردازش تصویر

سینا لطیف التجار^{۱*}، عبدالعباس جعفری^۲، سید مهدی نصیری^۲

۱- کارشناس پژوهشی موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی sinalatif@gmail.com

۲- استادیاران بخش مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز

چکیده

تخمین عملکرد محصولات زراعی یکی از پارامترهای مهم برای مدیریت اطلاعات و منابع در کشاورزی دقیق است. این اطلاعات برای بهینه سازی نهاده‌های مورد نیاز در کشت های بعدی مورد استفاده قرار می گیرد. در پژوهش حاضر امکان تخمین عملکرد محصول چغندر قند با استفاده از پردازش تصویر بررسی گردید. برای انجام آزمایش ها از ردیف های کشت در طی فصل رشد و با فواصل یک ماه عکس های نواری تهیه شد. تصویر افقی پوشش سبز بوته‌ها در انتهای هر ماه تعیین گردید. در پایان فصل رشد و پس از استخراج غده‌ها از زمین، ضریب همبستگی بین سطح پوشش سبز محصول چغندر قند در هر ماه با وزن غده برداشت شده نهایی بررسی شد. نتایج حاصله نشان داد سطح قابل رویت پوشش سبز گیاه می‌تواند بیانگر عملکرد محصول چغندر قند در کشت پاییزه باشد. بالاترین ضریب تبیین رابطه عملکرد محصول با سطح پوشش سبز گیاه، سه ماه قبل از زمان برداشت و برابر با ۰/۸۵ بدست آمد. به منظور بررسی میزان صحت معادله حاصله در سال زراعی بعد با شرایط یکسان زمین کشت و بطور مشابه داده برداری صورت پذیرفت. نتایج حاصله نشان داد که میان وزن غده های واقعی و وزن غده های محاسبه شده از مدل سال گذشته رابطه قوی با ضریب تبیین ۰/۹۴ وجود دارد. این رابطه توانست مقدار عملکرد را با خطای نسبی حدود ۹ درصد تخمین بزند. این موضوع پتانسیل استفاده از روش عکس برداری نواری را برای پیشگویی عملکرد محصول چغندر قند قبل از زمان برداشت نشان می دهد.

واژه های کلیدی: پردازش تصویر، سایه انداز، غده، عکسبرداری نواری، نقشه عملکرد

مقدمه

با توجه به اینکه میزان آب آبیاری و مقدار کود مصرفی، تاثیر قابل توجهی در مراحل مختلف رشد گیاه دارد از این رو کنترل هریک از این عوامل در واحد سطح بسیار مهم و قابل توجه است. از سوی دیگر تعیین مقدار بهینه کود و آب مصرفی در هر نقطه از مزرعه، موجب کاهش قابل ملاحظه هزینه‌های تولید خواهد شد.



در ساله ای اخیر افزایش عملکرد محصول با استفاده بهینه از آب و کود و سموم مورد توجه خاصی قرار گرفته است. بدین سبب تعیین نقشه عملکرد محصول از اهمیت بسزایی برخوردار است. با تهیه نقشه عملکرد محصول و تعیین نقشه‌های مربوط به عوامل موثر بر رشد گیاه مانند کود و میزان تبخیر و تعرق می‌توان به یک رابطه صحیح بین میزان مصرف کود و آب و عملکرد محصول در نقاط مختلف زمین زراعی دست پیدا کرد. برای تهیه نقشه عملکرد محصول می‌توان از حسگرهای تخمین عملکرد بر اساس دبی جرمی محصول در حال برداشت در واحد سطح، استفاده نمود (Loghavi, 2003). در مبحث کشاورزی دقیق، پس از برداشت محصول و مقایسه نقشه‌های مربوط به میزان عملکرد با نقشه‌های میزان رطوبت، کود و غیره، نقاطی از زمین که از نظر میزان آب و مواد معدنی دارای کاستی‌هایی هستند مشخص می‌شوند و در دوره‌های کشت بعدی طی مراحل آماده سازی زمین این کاستی‌ها بر اساس نقشه عملکرد و تامین بهینه نهاده‌های مورد نیاز گیاه مرتفع می‌گردند (Sugiura et al., 2005).

چغندر قند گیاهی دو ساله و غده‌ای است که در سال اول تولید میوه و در سال دوم تولید بذر می‌نماید. این گیاه به دو روش بهاره و پاییزه کشت می‌شود. کشت بهاره در نواحی شمالی و مرکزی کشور و کشت پاییزه در مناطق جنوبی کشور صورت می‌پذیرد. در رشد چغندر قند فاکتورهایی همچون آب، کود، طول روز، دما و میزان رطوبت هوا بسیار موثر می‌باشد. هر یک از فاکتورهای ذکر شده می‌توانند اثری مخرب و یا سودمند بر عملکرد محصول ایفا نمایند (BdalyanNvqab, 1992; Karimi, 1993; Kvlvnd, 1995).

تاکنون به منظور تخمین عملکرد محصول چغندر قند از روش‌های مختلفی استفاده شده است. در این رابطه می‌توان به استفاده از سیستم‌های تسمه نقاله‌ای با حسگرهای نیروی تعبیه شده در زیر آنها اشاره نمود که نتایج حاصله بیانگر میانگین خطایی کمتر از ۴ درصد و نیز در مواردی کمتر از ۲/۳ درصد بوده است (Walter et al., 1996). همچنین می‌توان به استفاده از سیستم‌های تعیین جریان توده تجمع^۱ (Godwin et al., 1999; Hall et al., 2003)، سیستم‌های تعیین عملکرد بر پایه اندازه‌گیری حرکت آبی غده‌های چغندر قند در اثر برخورد با یک صفحه منحنی شکل (Hennens et al., 2003)، استفاده از سامانه باند فوق عریض^۲ (Konstantinovic et al., 2007) و استفاده از حسگرهای جریان توده صفحات موازی (Kumhala et al., 2008) اشاره نمود.

استفاده از پردازش تصویر نیز به منظور تخمین عملکرد به ویژه در مورد محصولات باغی قابل توجه می‌باشد که در این راستا می‌توان به کاربردهای پردازش تصاویر در شمارش تعداد میوه در باغ‌های مرکبات اشاره نمود که ضریب همبستگی ۰/۵۳ بین تعداد میوه‌های شمارش شده به صورت برداشت دستی با تعداد میوه‌های شمارش شده با استفاده از پردازش تصاویر بدست آمد (Annamalai et al., 2004) که این ضریب همبستگی در مواردی تا ۰/۸۹ هم گزارش شده است (Chinchuluun et al., 2007). در نمونه دیگری، از پردازش تصاویر رنگی به منظور تخمین عملکرد میوه زغال اخته استفاده شد. عکس برداری از ارتفاع ۱/۵ متری و با وضوح ۱۰ مگا پیکسل از بالای سطح زمین و در هر ۲/۲ ثانیه صورت گرفت که سامانه تصویر برداری را قادر ساخت

1- Cumulative mass determination

2- Ultra wide band



با سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت حرکت کند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تغییرات نور در کیفیت عکس‌ها و استخراج داده‌ها از عکس‌ها بی‌تاثیر بوده و رابطه‌ای با ضریب همبستگی ۰/۸۹ میان پیکسل‌های آبی محصول زغال اخته با وزن محصول برقرار باشد (Swain et al., 2010).

با توجه به تحقیقات انجام شده، تهیه نقشه عملکرد محصول چغندر قند تاکنون تنها با خارج کردن غده‌ها از زمین و اندازه‌گیری دبی جرمی مواد در حال انتقال مقدور بوده است. در اندازه‌گیری دبی جرمی به این روش مواردی از قبیل ارتعاشات و نوسانات زیاد دستگاه و حسگر وزن و همچنین توزین مقداری خاک همراه غده‌ها بر دقت اندازه‌گیری تاثیر گذار خواهد بود.

در صورتی که بتوان بین سطح پوشش سایه انداز بوته چغندر قند و وزن غده رابطه جامعی پیدا نمود، می‌توان عملکرد را در نقاط مختلف مزرعه تخمین زد و بدون نیاز به استخراج غده‌ها از زمین می‌توان نقشه عملکرد زمین را تهیه نمود. بنابراین هدف این تحقیق تعیین رابطه بین پوشش گیاهی و وزن غده‌های چغندر قند در ماه‌های مختلف رشد بوته و انتخاب بهترین رابطه مبین عملکرد می‌باشد که بتوان پیش از برداشت و حتی در طی ماه‌های رشد، عملکرد مزرعه را تخمین زد و نقشه عملکرد محصول را با استفاده از روابط استخراج شده تهیه نمود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی امکان تخمین عملکرد چغندر قند از مزارع مرکز تحقیقات صفی‌آباد دزفول استان خوزستان داده‌برداری صورت پذیرفت.

۱- کشت چغندر قند

پژوهش در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول (با مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی) انجام شد. این پژوهش متشکل از ۹ کرت بود و هر کرت شامل ۵ خط به طول ۸ متر و با فاصله ۶۰ سانتی متر و فاصله بوته‌ها ۲۰ سانتی متر گزینش شد. از رقم رسول^۳ (بذر مونوزرم) که به عنوان رقم تجاری معمول منطقه می‌باشد استفاده گردید. برای اجرای آزمایش در تابستان ۱۳۸۸ یک قطعه زمین مسطح و یکنواخت انتخاب و پس از انجام آبیاری اولیه، عملیات تهیه زمین شامل شخم عمیق، دیسک و تسطیح آن مطابق عرف چغندرکاری مناطق مذکور انجام پذیرفت. از خاک محل اجرای طرح یک نمونه مرکب از اعماق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری تهیه و مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن از جمله pH، EC، کربن آلی، فسفر و پتاسیم تعیین گردید. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خاک مقادیر ۱۰۰ کیلوگرم P₂O₅ از منبع سوپر فسفات تریپل، ۱۵۰ کیلوگرم K₂O از منبع سولفات پتاسیم و ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره به خاک اضافه شد. کودهای فسفره و پتاسه تماماً به همراه نصف کود نیتروژن به صورت پایه مصرف شدند و مابقی کود نیتروژن در مرحله ۴ تا ۶ برگی بعد از عملیات تنک و وجین کردن به صورت سرک مصرف گردید.



مزرعه آزمایشی توسط بذرکار آزمایشی ایورت در تاریخ ۱۵ آبان کشت شد. آبیاری بصورت نشتی و کنترل شده انجام گرفت. برای اطمینان از جوانه زدن و سبز شدن یکنواخت بذرها، آبیاری دوم به فاصله ۴ روز تکرار گردید. ادامه آبیاری‌ها با توجه به نیاز آبی گیاه بر اساس ۱۰۰ میلی متر تبخیر سطحی از سطح تشتک تبخیر انجام شد. در مرحله دو برگگی از حشره‌کش‌های موجود برای مبارزه با آفات برگ‌خوار و در مرحله دو تا چهار برگگی از مخلوط سموم علف‌کش پیرامین و بتانال به نسبت ۵ کیلوگرم در ۴/۵ لیتر برای مبارزه با علف‌های هرز استفاده شد. در مرحله چهار تا شش برگگی بوته‌ها به فاصله ۲۰ سانتی متر از یکدیگر تنک و همزمان وجین علف‌های هرز روی پشته نیز انجام گرفت. عملیات داده برداری در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد، طی ۵ مرحله که از ۲۸ بهمن شروع و با فواصل یک ماهه تا یک روز قبل از برداشت (۱۵ خرداد) ادامه داشت، انجام گرفت. قابل ذکر است که با توجه به اینکه در کشت پاییزه محصول با یک دوره سرما مواجه می‌گردد و این دوره باعث تاخیر در رشد گیاه می‌گردد از این رو داده برداری از اواخر بهمن ماه آغاز گردید.

۲- روش عکس برداری و پردازش‌های صورت گرفته بر روی عکس‌ها

عکس برداری از مزرعه برای تخمین عملکرد به طور کلی در دو مرحله جداگانه انجام گرفت. مرحله اول عکسبرداری برون خط^۴ و مرحله دوم عکس برداری بالادرنگ^۵ برای تهیه نقشه عملکرد بود. در مرحله اول، هدف بررسی وجود رابطه بین سطح پوشش گیاهی و میزان عملکرد محصول نهایی بود که هدف اصلی این پژوهشاست. برای تعیین چنین رابطه‌ای از ۶۰ بوته با اندازه‌های متفاوت که از نقاط مختلف مزرعه چغندرقد انتخاب شده بودند، استفاده شد. بوته‌های مورد نظر از ابتدای فصل رشد علامت‌گذاری شده و تا پایان فصل رشد و استخراج بوته‌ها از زمین، عکس برداری از همان بوته‌ها انجام گردید (شکل ۱). عکس برداری توسط یک دوربین دیجیتال Canon مدل IXUS 960IS با وضوح ۱۲ مگا پیکسل انجام شد. با توجه به ارتفاع بوته‌های چغندرقد، فاصله ۱۵۰ سانتی‌متری از سطح زمین برای عکس برداری از بوته‌های مورد نظر انتخاب گردید. برای عکس برداری در مزرعه، یک شاسی نگهدارنده دوربین به ارتفاع ۱۵۰ سانتی‌متر ساخته شد تا فاصله عکس برداری ثابت باقی بماند (شکل ۱). در گیاهانی همچون چغندرقد هم پوشانی بوته‌های کناری با یکدیگر و نیز ارتفاع‌های متفاوت بوته‌ها از سطح زمین باعث ایجاد خطا در عکس برداری می‌گردد (شکل ۲). همچنین اثر پرسپکتیو و زاویه دوربین بر عکس‌های حاصله موثر است. با توجه به اینکه عامل پرسپکتیو با ارتفاع دارای رابطه معنی داری است از این رو تفاوت ارتفاع بوته‌ها از سطح زمین سبب می‌گردد که بین مساحت سطح واقعی بوته‌ها و مساحت سطحی که توسط دوربین نمایش داده می‌شود تفاوت موثری ایجاد گردد. در شکل (۲) اثر پرسپکتیو نمایش داده شده است. اثر پرسپکتیو سبب می‌شود که نقطه غیر واقعی A' بجای نقطه واقعی A دیده شود. از این رو مساحت بدست آمده کمتر از مقدار واقعی خواهد بود. به منظور حل این مشکل از یک قاب با ۱۰۰ سانتی متر طول و ۱۵۰ سانتی متر ارتفاع و نقاطی با فواصل ۱۰ سانتی متر بر روی آن (شکل ۲) استفاده شد. همانطور که در شکل ۲ مشخص است با استفاده از این روش

4 - Offline

5 - Real time



که به روش عکس برداری نواری معروف است با کاهش پهنای نوار های عکس برداری می توان مساحت واقعی را به مساحت حاصل از عکس برداری نزدیک نمود.



B



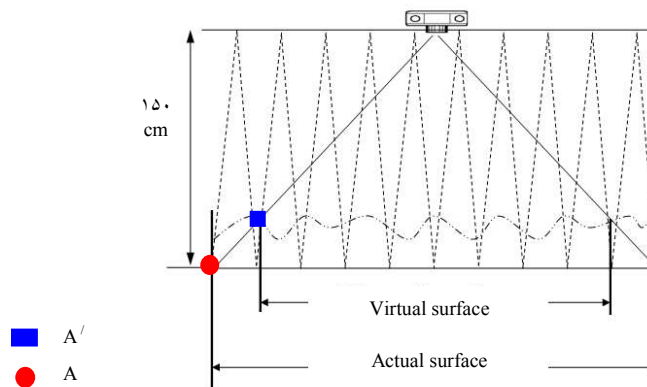
A

شکل ۱- A: پایه نگهدارنده دوربین و دوربین عکس برداری، B: علامت گذاری بوته‌های گزینش شده به منظور داده برداری در طی

۵ ماه

۴- تعیین رابطه بین مساحت سایه انداز گیاه با میزان عملکرد محصول

در تعیین رابطه مساحت سایه انداز گیاه با میزان عملکرد محصول لازم است که تصاویر اخذ شده تنها مربوط به گیاه چغندر قند باشند و علف هرز در تصویر وجود نداشته باشد به همین دلیل علف‌های هرز تصاویر و همچنین سایر اشیاء ناخواسته در تصویر بصورت دستی با استفاده از نرم افزار Adobe Photoshop (ver. 5) از تصاویر حذف شدند. البته در پیاده سازی سیستم بلادرنگ تهیه نقشه عملکرد محصول، الگوریتم‌های جداسازی علف‌های هرز از چغندر قند (Jafari, 2005) این عمل را انجام خواهند داد. از آنجا که جداسازی کامل حاشیه های برگ چغندر قند از زمینه خاک اطراف گیاه بصورت دستی بسیار مشکل بوده و از دقت کافی نیز برخوردار نیست، برای جداسازی^۶ پوشش سبز از خاک در تصاویر از سبزینگی مازاد^۷ استفاده گردید.



شکل ۲- اثر پرسپکتیو و همپوشانی بوته‌های چغندر قند با بوته‌های کناری

6 - Segmentation

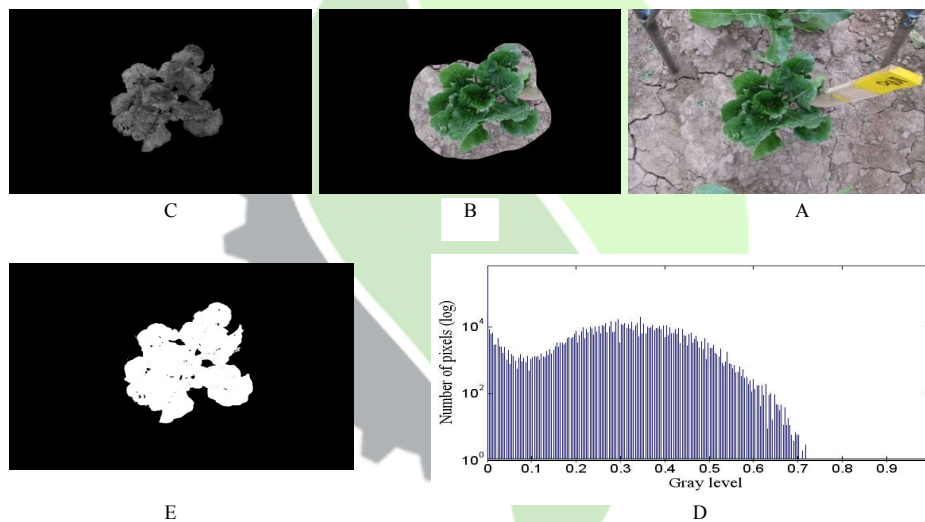
7 - Excessive green



سبزیگی مازاد با استفاده از رابطه ۱ قابل محاسبه است (Liu and Pattey, 2010).

$$\text{Excessive greenness} = 2G - R - B \quad (1)$$

در این رابطه G مولفه سبز، R مولفه قرمز و B مولفه آبی می‌باشد. این رابطه تصویری ارائه می‌دهد که نقاط سبزرنگ در آن به رنگ روشن مشخص خواهند بود. با تعیین آستانه^۸ بر روی هیستوگرام این تصویر و آستانه گذاری بر روی تصویر به روش اتسو^۹، یک تصویر باینری با مقادیر صفر و یک بدست می‌آید که مقادیر ۱ نمایانگر پیکسل‌های مربوط به چغندر قند و صفر نشانگر پیکسل‌های مربوط به زمینه خاک و بقایای گیاهی می‌باشند (شکل ۳). با شمارش پیکسل‌های با مقدار ۱ در تصویر باینری شده سبزیگی مازاد، سطح پوشش سبز گیاه محاسبه شد. این عملیات برای کلیه بوته‌های شماره گذاری شده و در انتهای هر ماه از دوره رشد انجام گردید که در مجموع در طول فصل رشد چغندر قند، ۵ بار عکس برداری با فواصل یک ماهه انجام شد. این دوره (در دزفول) از ۲۸ بهمن ماه ۱۳۸۸ آغاز و تا ۲۸ خرداد ۱۳۸۹ پایان پذیرفت. قابل ذکر است که در این مدت بیش از ۴۰۰۰ عکس مورد پردازش قرار گرفت.



شکل ۳- A: عکس اولیه بوته چغندر قند، B: جداسازی دستی بوته شماره گذاری شده از اشیاء و بوته‌های مجاور، C: تصویر سبزیگی مازاد، D: هیستوگرام سبزیگی مازاد، E: تصویر باینری بوته برای محاسبه سطح سبز

در انتهای فصل رشد غده بوته‌های شماره گذاری شده بصورت دستی از زمین خارج شده و پس از تمیز کردن غده‌ها و قطع برگ‌ها (از قسمت طوقه) با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی با دقت ± 1 گرم توزین شدند. برای بررسی مدل‌های رگرسیونی از نرم افزار minitab نسخه ۱۴ استفاده شد. برای مقایسه بین روابط از آماره F و R^2 مربوط به هر رابطه و آماره t مربوط به ضرایب متغیرهای آنها استفاده شد. همچنین مناسب‌ترین رابطه تخمین با استفاده از سری دوم داده‌های برداشت شده (در سال دوم

8 - Threshold

9 - Otsu



مطالعه) و آماره های ضریب تبیین، ریشه دوم میانگین مربعات خطای تخمین و همچنین درصد میانگین خطای نسبی حاصل از مقایسه با خط یک به یک با استفاده از رابطه (۲) بررسی شد (Alirezaei et al., 2013).

$$e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|A_i - A'_i|}{A_i} \times 100 \quad (2)$$

در رابطه (۲) A میزان عملکرد واقعی محصول بر حسب گرم و A' نیز میزان عملکرد پیش بینی شده با استفاده از رابطه بدست آمده در سال اول برای تخمین عملکرد محصول چندرقتند می باشد.

نتایج و بحث

۱- بررسی روابط همبستگی در طی دوره داده برداری

نتایج حاصل از روند رشد محصول در طی دوره رشد در شکل ۴ رسم شده است. برای آنکه بتوان روند تغییرات پوشش سبز گیاه در طی فصل رشد را تعیین کرد از محدوده داده‌های نرمال شده در سطح ۹۵ درصد استفاده شد. چنانکه در شکل ۴ مشاهده می شود روند تغییرات پوشش سبز گیاه چندرقتند در طی فصل رشد دائماً صعودی نمی باشد بلکه ابتدا افزایش یافته و پس از رسیدن به یک مقدار بیشینه روند کاهشی داشته است که این نتایج با نتایج بدست آمده توسط شریفی در سال ۱۳۷۵ کاملاً تطابق دارد (Sharifi, 1996). به طور کلی برای رشد گیاه چندرقتند دو مرحله در نظر گرفته می شود. مرحله اول مربوط به فاز رشد برگ است که ابتدا گیاه شروع به تشکیل اندام‌های هوایی (برگ و دمبرگ) به منظور تامین نیازهای غذایی خود می کند. مرحله دوم شامل افزایش وزن غده است که در این مرحله میزان رشد اندام هوایی نسبت به قبل روندی کاهشی نشان داده و گیاه وارد فاز افزایش وزن ریشه می گردد (Khajehpour, 2006). از مقابل هم قرار دادن مقادیر وزن غده‌های برداشت شده در انتهای فصل رشد با مقادیر سطح سبز اندازه‌گیری شده در ماه‌های مختلف، می توان ضرایب تبیین را برای هر ماه محاسبه نمود. بر اساس ضرایب تبیین به دست آمده می توان قضاوت نمود که در کدام یک از ماه‌های رشد، بهتر می توان میزان عملکرد نهایی مزرعه را تخمین زد.

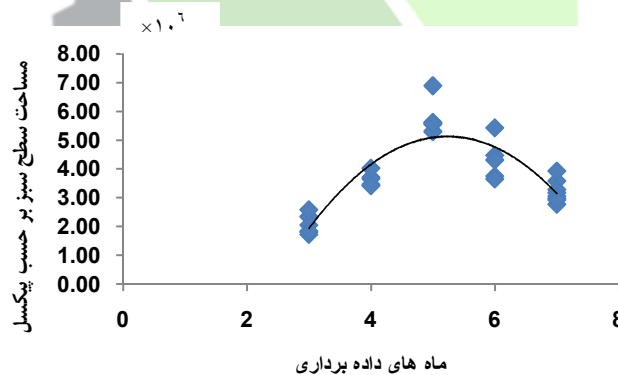
لازم به ذکر است که در ابتدای فصل رشد بوته‌ها با یکدیگر همپوشانی نداشته و بصورت مجزا هستند و براحتی پوشش سبز هر بوته در برابر وزن غده همان بوته قرار داده شد ولی در طول فصل رشد با افزایش همپوشانی برگ‌های بوته‌ها با یکدیگر، امکان تفکیک آنها از یکدیگر نبوده و بر همین اساس مجموع پوشش سبز چند بوته مجاور هم در برابر مجموع وزن غده آنها قرار داده شد (جدول ۱).

در اولین داده برداری که در ماه چهارم از کشت چندرقتند انجام شد (جدول ۱) بوته‌ها در مرحله ۲ یا ۳ برگی بودند. ضریب تبیین بدست آمده در این سن در مقایسه با ماه بعد کمتر است. این مساله می تواند بیانگر این باشد که اندازه بوته‌ها در این سن تناسب کاملی با وزن غده نهایی ندارد.



در مراحل اولیه رشد، گیاه همچنان در فاز رشد برگ‌ری بوده (Khajehpour, 2006) و غده‌ها کوچک هستند. پایین بودن ضریب تبیین در این مرحله بدین معنی نیست که کوچک بودن پوشش سبز بوته‌ها الزاماً به معنی تولید غده نهایی کوچکتر است. به عبارت دیگر برخی بوته‌های کوچک نیز وجود داشته‌اند که در نهایت غده‌های بزرگی تولید کرده‌اند. از مقایسه ضریب تبیین این مرحله با مرحله بعدی رشد که ضریب تبیین بزرگتری دارد (جدول ۱) چنین نتیجه‌گیری می‌شود که بوته‌های کوچک در ماه بعد توانسته‌اند پایین بودن رشد رویشی خود را جبران کنند و در نتیجه سطح سبز بوته‌ها در ماه پنجم تناسب بیشتری با وزن غده نهایی ایجاد نماید. به عبارت دیگر، از آنجا که گیاه هنوز فرصت زیادی تا پایان فصل رشد دارد، رشد کل گیاه می‌تواند دستخوش تغییرات زیادی شده و وزن غده نیز کمتر یا بیشتر شود. بنابراین انتظار می‌رود که با نزدیکتر شدن به اواخر دوره رشد، تناسب بیشتری بین تصویر سایه‌انداز و وزن غده حاصل شود. این مطلب در ماه پنجم به وضوح قابل مشاهده است (جدول ۱). این مطلب بیانگر آن است که ضعیف بودن بوته‌ها در اوایل رشد که در اثر عواملی از جمله عمق کشت نامناسب، سله بستن سطح خاک، یا نا کافی بودن ذخیره بذر و ... پدید آمده بود در ماه بعد با ادامه رشد گیاه بهبود یافته است.

از ضریب تبیین در این ماه (ماه پنجم) چنین بر می‌آید که تصویر سایه‌انداز می‌تواند معیار مناسبی از وزن غده نهایی باشد. اگر چه انتظار می‌رفت نتایج ماه‌های آتی تطابق بیشتری بین پوشش سبز و غده را بدست دهد لیکن چنانکه در جدول (۱) مشاهده می‌شود این تناسب کاهش یافته است.



شکل ۴- روند تغییرات پوشش سبز بوته‌ها در طی فصل رشد در منطقه صفی آباد دزفول

کاهش ضریب تبیین در ماه ششم به علت رشد ناچیز سطح بوته‌ها بوده است. بطور کلی دو علت می‌توان برای آن بیان کرد، نخست آنکه همپوشانی بوته‌ها با یکدیگر افزایش یافته است و دوم آنکه در این سن گیاه وارد فاز افزایش وزن غده شده است که به موجب آن رشد سبزینه کاهش یافته است. به عبارت دیگر توجه گیاه بیشتر به سمت تولید غده معطوف شده است. به همین دلیل بوته‌هایی که رشد کمتری داشته‌اند و از رشد رویشی عقب افتاده‌اند همچنان در حال افزایش رشد رویشی خود هستند و سطح سبز

خود را به سایر بوته‌ها نزدیک‌تر می‌کنند، درحالی که بوته‌هایی که قبلاً سطح سبز بزرگتری داشته‌اند به جای افزایش سطح سبز فرآورده های فتوسنتزی را به افزایش وزن غده‌ها اختصاص داده‌اند.

جدول ۱- ضرایب تبیین و سطح معنی داری میان پوشش سطح سبز برگ و شاخص سطح برگ چغندر قند در طی دوره رشد

نوع رابطه	ماه چهارم		ماه پنجم		ماه ششم		ماه هفتم		ماه هشتم	
	F	R ²	F	R ²	F	R ²	F	R ²	F	R ²
خطی	۱۰۰/۸۷**	۰/۶۶	۷۵/۴۸**	۰/۸۳	۵۰/۴۰**	۰/۷۱	۳۲/۳۳**	۰/۶۱	۴۰/۶۲**	۰/۶۷
لگاریتمی	۶۰/۱۹**	۰/۵۴	۶۰/۸۹**	۰/۷۹	۶۰/۱۶**	۰/۷۴	۳۳/۶۹**	۰/۶۳	۵۳/۸۹**	۰/۷۳
معکوس	۱۷/۴۷**	۰/۲۵	۳۳/۷۳**	۰/۶۸	۴۹/۶۳**	۰/۷۰	۳۴/۸۱**	۰/۶۲	۴۵/۷۵**	۰/۷۰
درجه دوم	۴۹/۹۰**	۰/۶۶	۳۵/۳۸**	۰/۸۳	۳۹/۶۶**	۰/۷۵	۱۷/۸۰**	۰/۶۴	۲۲/۲۴**	۰/۷۰
درجه سوم	۳۲/۶۳**	۰/۶۶	۲۶/۱۶**	۰/۸۴	۱۸/۸۰**	۰/۷۵	۱۱/۴۸**	۰/۶۴	۱۹/۴۸**	۰/۷۶
ترکیبی	۸۶/۴۰**	۰/۶۲	۶۰/۸۶**	۰/۷۹	۳۶/۰۱**	۰/۶۳	۳۰/۱۴**	۰/۶۰	۲۴/۶۵**	۰/۵۵
توانی	۸۱/۰۴**	۰/۶۱	۹۱/۲۳**	۰/۸۵	۵۸/۶۸**	۰/۷۴	۳۷/۲۳**	۰/۶۴	۵۴/۸۷**	۰/۷۳
تصادفی	۸۶/۴۰**	۰/۶۲	۶۰/۸۶**	۰/۷۹	۳۶/۰۱**	۰/۶۲	۳۰/۱۴**	۰/۶۰	۲۴/۶۵**	۰/۵۵
منطقی	۸۶/۴۰**	۰/۶۲	۶۰/۸۶**	۰/۷۹	۳۶/۰۱**	۰/۶۲	۳۰/۱۴**	۰/۶۰	۲۴/۶۵**	۰/۵۵
نمایی	۸۶/۴۰**	۰/۶۲	۶۰/۸۶**	۰/۷۹	۳۶/۰۱**	۰/۶۲	۳۰/۱۴**	۰/۶۰	۲۴/۶۵**	۰/۵۵

این مساله موجب شده تا در این دوره از رشد تناسب بین وزن غده و پوشش گیاهی در مورد بوته ها یکسان نبوده و بر خلاف انتظار بوته‌های بالغ‌تر پوشش گیاهی بزرگتری نسبت به بوته های جوان‌تر نداشته‌اند و به همین دلیل ضریب تبیین بین پوشش گیاهی و وزن غده نهایی افزایش نیافته است و در ماه هفتم حتی کمتر از ماه ششم شده است.

علاوه بر این، با گذشت زمان از رشد برگ‌ها کاسته شده و برگ‌های مسن پژمرده و خشک می‌گردند. در ماه‌های انتهایی دوره رشد به منظور کند نمودن رشد رویشی (ریشه و اندام هوایی) و نیز افزایش میزان قند ذخیره شده، گیاه را تحت استرس ملایم رطوبتی قرار می‌دهند. این استرس موجب کاهش رشد اندام هوایی و ریشه و افزایش غلظت قند ذخیره شده در غده‌ها می‌گردد. از این رو نمودار پوشش سبز گیاه در اوایل دوره رشد به شدت افزایش یافته و پس از رسیدن به مقدار حداکثر خود، روندی کاهشی طی می‌نماید که در شکل ۴ نیز به خوبی این روند قابل مشاهده است.

در ماه هفتم که گیاه در فاز افزایش وزن غده می‌باشد و از سوی دیگر برگ‌های پیر شروع به پژمرده شدن می‌کنند (Khajehpour, 2006) نه تنها افزایشی در سطح سبز صورت نگرفته است بلکه سطح سبز گیاه نیز روندی کاهنده داشته است.

در مرحله نهایی، در ماه هشتم، که بوته‌ها پژمرده شده‌اند با یک بار آبیاری نهایی جهت برداشت راحت‌تر محصول، برگ های جدیدی ایجاد شده‌اند که البته در مجموع پوشش سبز گیاه کمتر شده است. اگر چه دوره این رشد بسیار کوتاه می باشد ولی بوته‌هایی که غده قویتری دارند به سرعت برگ‌های نسبتاً بزرگتری تولید می‌کنند به همین دلیل تناسب بین سطح برگ و وزن غده



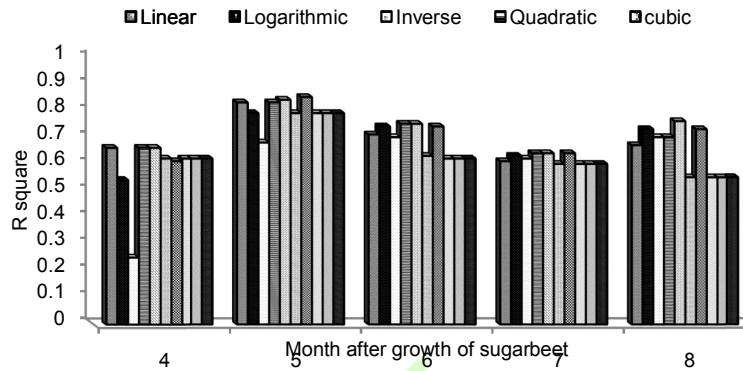
بهبود نسبی یافته است. اما همچنان بهترین رابطه بین پوشش سبز گیاه و وزن غده نهایی برداشت شده در ماه پنجم، پس از سبز شدن گیاه برقرار است.

۲- بررسی میزان دقت ضرایب معادلات

با توجه به نتایج حاصله در جدول (۱) و شکل (۵) مشاهده می‌گردد که در ماه پنجم از شروع کشت بهترین ضریب تبیین میان پوشش سبز گیاه و عملکرد نهایی آن برقرار شده است. بطور کلی معادله خطی و درجه دوم با ضریب تبیین $0/83$ ، معادله درجه سوم با ضریب تبیین $0/84$ و معادله توانی با ضریب تبیین $0/85$ دارای بالاترین مقادیر می‌باشند. با توجه به اینکه ضرایب تبیین این معادلات بسیار نزدیک به هم می‌باشد از اینرو بررسی میزان صحت ضرایب معادلات بسیار حائز اهمیت می‌باشد. نتایج حاصله از بررسی صحت ضرایب در جداول (۲) تا (۵) بیان شده است. نتایج حاصله از بررسی معادله خطی در جدول (۲) بیان می‌دارد که ضریب متغیر معادله دارای دقت 100 درصد بوده و از سوی ضریب ثابت آن دارای دقت $70/3$ درصد می‌باشد. در رابطه با معادله درجه دوم می‌توان گفت که این معادله دارای ضریب متغیری با دقت $88/9$ و ضریب ثابتی با دقت $37/1$ درصد است. بنابراین در مجموع می‌توان بیان داشت که معادله خطی نسبت به معادله درجه دوم دارای دقت بالاتری می‌باشد. در رابطه با معادله درجه سوم ضریب متغیر دارای دقت $83/8$ و ضریب ثابت با دقت 53 درصد بود که این مقادیر در رابطه با معادله توانی برای ضریب متغیر دقت 100 درصد و برای ضریب ثابت دقت $53/5$ درصد بود. بنابراین در مجموع می‌توان بیان داشت که معادله خطی و معادله توانی دارای دقت بالاتری نسبت به دو معادله دیگر می‌باشند. البته قابل ذکر است چون ضریب تبیین معادله توانی نسبت به معادله خطی بالاتر است از این رو این معادله دارای خطای کمتری و در نتیجه دقت بالاتری نسبت به سایر معادلات می‌باشد.

۳- بررسی میزان صحت معادله بدست آمده

به منظور اطمینان از معادله حاصله در سال زراعی $89-1388$ در منطقه صفی آباد دزفول، مطالعه مشابه با آن سال در سال زراعی $91-1390$ در همین منطقه انجام پذیرفت. تعداد 18 نمونه شماره گذاری شده و مشابه با همان سال مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از داده برداری و با استفاده از معادله بدست آمده در اولین ارزیابی میان وزن بدست آمده از معادله و وزن واقعی رابطه ای برقرار گشت (شکل ۶). همانطور که مشاهده می‌گردد نتایج حاصله رابطه‌ای با ضریب تبیین $0/94$ و ریشه دوم میانگین خطای تخمین $278/21$ گرم را بیان می‌دارند.



شکل ۵- مقدار ضرایب تبیین رابطه میان پوشش سطح سبز برگ و وزن غده نهایی در ماه های مختلف دوره رشد

جدول ۲- بررسی دقت ضرایب معادله خطی

متغیر	ضریب متغیر	ضریب خطای استاندارد	مقدار آماره ضریب	سطح معنی داری
متغیر	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۸/۶۸۸	۰/۰۰۰
ضریب ثابت	۲۹۴/۱۲	۲۷۲/۷۴۰	۱/۰۷۸	۰/۲۹۷

جدول ۳- بررسی دقت ضرایب معادله درجه دوم

متغیر	ضریب متغیر	خطای استاندارد ضریب	مقدار آماره ضریب	سطح معنی داری
(متغیر) ^۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۶۹۱	۰/۱۱۱
متغیر	۲/۴۰۳E-۱۲	۰/۰۰۰		
ضریب ثابت	۳۰۳/۲۰۰	۶۱۴/۱۲۶	۰/۴۹۴	۰/۶۲۹

جدول ۴- بررسی دقت ضرایب معادله درجه سوم

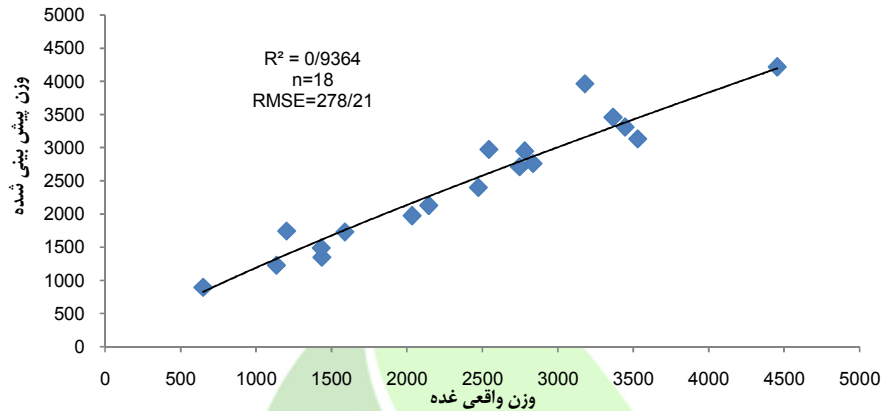
متغیر	ضریب متغیر	خطای استاندارد ضریب	مقدار آماره ضریب	سطح معنی داری
(متغیر) ^۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۱/۴۷۶	۰/۱۶۲
(متغیر) ^۲	-۱/۲۱۰E-۹	۰/۰۰۰		
متغیر	۱/۸۲۹E-۱۶	۰/۰۰۰		
ضریب ثابت	-۱۰۴۷/۳۸۹	۱۴۱۱/۵۱۸	-۰/۷۴۲	۰/۴۷۰

جدول ۵- صحت ضرایب معادله توانی

متغیر	ضریب متغیر	خطای استاندارد ضریب	مقدار آماره ضریب	سطح معنی داری
Ln(متغیر)	۰/۸۸۴	۰/۰۹۳	۹/۵۵۲	۰/۰۰۰
ضریب ثابت	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹	۰/۷۴۹	۰/۴۶۵



مقایسه این رابطه با خط یک به یک نشان داد که معادله حاصل از پژوهش دوساله با میانگین خطای ۸/۹۳ درصد قادر است مقدار عملکرد محصول را قبل از برداشت آن تخمین بزند. همچنین با توجه به اینکه این تخمین در ماه‌های قبل از برداشت آن صورت می‌پذیرد امکان کنترل‌های بعدی را بر روی محصول فراهم می‌نماید که نیاز به پژوهش بعدی دارد. بنابراین در مجموع می‌توان بیان داشت که رابطه حاصله می‌تواند به خوبی بازگوکننده عملکرد محصول چغندر قند در قبل از زمان برداشت این محصول باشد.



شکل ۶- ضریب تبیین و ریشه دوم میانگین خطای تخمین رابطه بین وزن غده واقعی (گرم) و وزن پیش بینی شده توسط معادله از مطالعه سال اول (گرم)

نتیجه گیری

تخمین عملکرد محصول چغندر قند در نقاط مختلف مزرعه و مانیتورینگ محصول بدون نیاز به خارج کردن غدد از خاک، هدف نهایی این تحقیق بود. بررسی عملکرد محصول چغندر قند در سنین مختلف رشد نشان داد که سه ماه قبل از برداشت، قوی‌ترین رابطه بین مساحت پوشش سبز گیاه و عملکرد چغندر قند وجود دارد. بنابراین با توجه به ضریب تبیین ۰/۸۵ بین دو عامل مذکور و بررسی دقت ضرایب معادله‌ها تخمین و همچنین ضریب تبیین ۰/۹۴ میان وزن غده‌های واقعی و پیش بینی شده و در نهایت میانگین خطای ۸/۹ درصد می‌توان گفت رابطه ایجاد شده بین پوشش سبز گیاه و وزن غده‌های چغندر قند در سه ماه پیش از برداشت محصول می‌تواند برای تهیه نقشه عملکرد مزرعه و پیش بینی عملکرد نهایی مزرعه مورد استفاده قرار گیرد.

منابع:

- ۱- جعفری، ع. ۱۳۸۴. ارائه الگوریتم مناسب جهت جداسازی علف‌های هرز از گیاه چغندر قند با استفاده از ماشین بینایی و شبکه‌های عصبی مصنوعی. رساله دکترا، دانشکده بیوسیستم، دانشگاه تهران
- ۲- خواجه پور، م. ر. ۱۳۸۵. گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۵۴۶ صفحه.
- ۳- شریفی، ح. ۱۳۷۵. تجزیه و تحلیل کمی رشد و بررسی مشخصات مهم مولتی ژرم متحمل به بولتینگ در خوزستان. رساله کارشناسی ارشد، رشته زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد واحد دزفول.
- ۴- عبدالهیمن نوقابی، م. ۱۳۷۱. بررسی تغییرات پارامترهای کمی و کیفی رشد چغندر در تاریخهای مختلف کاشت، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.



- ۵- کریمی، م. ۱۳۷۲. آنالیز شاخص های رشد بر اساس واحد گرمایی، مقالات کلیدی اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه تهران.
- ۶- کولیوند، م. ۱۳۷۴. بررسی روند رشد چغندرقد در کرمانشاه. مجله علمی و تحقیقاتی چغندرقد، جلد ۱۱، شماره های ۱ و ۲.
- ۷- لغوی، م. ۱۳۸۲. راهنمای کشاورزی دقیق برای متخصصین کشاورزی (ترجمه)، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، ۲۹۰ صفحه.
- 8- Alirezaei, M., D. Zare and S. M. Nassiri. 2013. Application of computer vision for determining viscoelastic characteristics of date fruits. *Journal of Food Engineering* 118: 326-332.
- 9- Annamalai, P., W. S. Lee, and T. F. Burks. 2004. Color vision system for estimating citrus yield in real-time. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Meeting Presentation*. 043054:1-12.
- 10- Chinchuluun, R., W. S. Lee, and R. Ehsani. 2007. Citrus yield mapping system on a canopy shake and catch harvester. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Meeting Presentation*. 073050:1-13.
- 11- Godwin, R. J., P. N. Wheeler, M. J. O'Dogherty, C. D. Watt, and T. Richards. 1999. Cumulative mass determination for yield maps of non-grain crops. *Computers and Electronics in Agriculture* 23: 85-101.
- 12- Hall, T. L., L. F. Backer, and V. L. Hofman. 2003. Sugarbeet yield monitoring f site-specific farming part I-laboratory tests and preliminary field tests. *Precision Agriculture* 4(4): 421-431
- 13- Hennens, D., J. Baert, B. Broos, H. Ramon, and J. DeBaerdemaeker. 2003. Development of a flow model for the design of a momentum type beet mass flow sensor. *Bio systems Engineering* 85 (4): 425-436.
- 14- Konstantinovic, M., S. Woeckel, P. Schulze Lammers, and J. Sachs. 2007. Evaluation of a UWB Radar System for Yield Mapping of Sugar Beet. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Meeting Presentation*. 071051:1-11.
- 15- Kumhala, F., V. Prosek, M. Kroulik, and Z. Kviz. 2008. Parallel plate mass flow sensor for forage crops and sugar beet. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Meeting Presentation*. 084700:1-11.
- 16- Liu, J., and E. Pattey. 2010. Retrieval of leaf area index from top-of-canopy digital photography over agricultural crops. *Agricultural and Forest Meteorology* 150(11): 1485-1490.
- 17- Sugiura, R., N. Noguchi, and K. Ishii. 2005. Remote-sensing technology for vegetation monitoring using an unmanned helicopter. *Biosystems Engineering* 90(4):369-379.
- 18- Swain, K. C., Q. U. Zaman, A. W. Schumann, D. C. Percival, and D. D. Bochtis. 2010. Computer vision system for wild blueberry fruit yield mapping. *Biosystems Engineering* 106:389-394.
- 19- Walter, J.D., V.L. Hofman, and L.F. Backer. 1996. Site-specific sugar beet yield monitoring. *International Conference on Agricultural Engineering, Madrid, Spain*.



Yield estimation of sugar beet based on plant canopy using machine vision methods

Sina Latifotojar¹, Abdolabbas Jafari², Seyed Mehdi Nassiri²

- 1- Research member at institute of research and training of sugar cane and by-products
sinalatif@gmail.com
- 2- Assistant professor, Department of Biosystems Engineering , Shiraz University
- 3- Instructor of Safi Abad agricultural research center

Abstract:

Crop yield estimation is one of the most important parameters for information and resources management in precision agriculture. This information is employed for optimizing the field inputs for successive cultivations. In the present study, feasibility of sugar beet yield estimation by means of machine vision was studied. For field experiments stripped images were taken during the growth season with one month intervals. Horizontal image of plants canopy was prepared at the end of each month. At the end of growth season, beet roots were harvested and correlation between the sugar beet canopy in each month of growth period and corresponding weight of the roots were investigated. Results showed that there was a strong correlation between the beet yield and green surface area of autumn cultivated sugar beets. The highest coefficient of determination was obtained 0.85 at three months before harvest. In order to assess the accuracy of the final model, second year study was performed with the same methodology. The results depicted a strong relationship between actual and estimated beet weights with 0.94 coefficient of determination. The model estimated beet yield with about 9 percent relative error. It concluded that this method has appropriate potential for estimation of sugar beet yield based on band imaging prior to harvest.

Keywords: image processing, canopy, beet, band imaging, yield monitoring