

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^۳ - حمید شریفی^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

تخمین عملکرد محصولات زراعی یکی از پارامترهای مهم برای مدیریت اطلاعات و منابع در کشاورزی دقیق است. این اطلاعات برای بهینه‌سازی نهاده‌های مورد نیاز در کشت‌های بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پژوهش حاضر امکان تخمین عملکرد محصول چغندر قند با استفاده از پردازش تصویر بررسی گردید. برای انجام آزمایش‌ها از ردیف‌های کشت در طی فصل رشد و با فواصل یک ماه عکس‌های 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 رؤیت 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 به دست آمد. به منظور بررسی میزان صحت معادله حاصله در سال زراعی بعد با شرایط یکسان زمین کشت و به‌طور مشابه داده‌برداری صورت پذیرفت. نتایج حاصله نشان داد که میان وزن غده‌های واقعی و وزن غده‌های 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 عکس‌برداری نواری را برای پیش‌گویی عملکرد محصول چغندر قند قبل از زمان برداشت نشان می‌دهد.

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

مقدمه

صحيح بين 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 آماده‌سازی زمین این کاستی‌ها بر اساس نقشه عملکرد و تأمین 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 مؤثر می‌باشد. هر یک از فاکتوره‌های ذکر شده می‌توانند اثری مخرب و یا سودمند بر عملکرد محصول ایفا نمایند

با توجه به این‌که میزان آب آبیاری و مقدار کود مصرفی، تأثیر قابل توجهی در مراحل مختلف رشد گیاه دارد، کنترل هر یک 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 سال‌های 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 به‌سزایی برخوردار است. با تهیه نقشه عملکرد محصول و تعیین نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر بر رشد گیاه مانند کود و میزان تبخیر و تعرق می‌توان به یک رابطه

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز

*- نویسنده مسئول: (Email: sinalatif@gmail.com)

۲ و ۳- عضو هیأت علمی و استادیار بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۴- آموزشیار مرکز تحقیقات صفی آباد دزفول

Abdollahian Noghabi, 1992; Karimi, 1993; Kolyvand,) (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 جمعی^۱ (Godwin *et al.*, 1999; Hall *et al.*, 2003)، سیستم‌های تعیین عملکرد بر پایه اندازه‌گیری حرکت آنی 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 به‌ویژه 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 به دست 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 مگاپیکسل از بالای سطح زمین و در هر ۲/۲ ثانیه صورت گرفت که سامانه تصویر برداری را قادر ساخت با سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت حرکت کند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تغییرات نور در کیفیت عکس‌ها و استخراج داده‌ها از عکس‌ها بی‌تأثیر 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 تأثیرگذار 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 به شکلی 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.

کشت چغندر قند

پژوهش در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول (با مختصات جغرافیایی ۳۲ 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 سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر گزینش شد. از رقم رسول^۳ (بذر مونوژرم) که به‌عنوان 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 چغندر کاری مناطق مذکور انجام پذیرفت. از خاک محل اجرای طرح یک نمونه مرکب از اعماق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری 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 به‌همراه نصف کود نیتروژن به‌صورت پایه مصرف شدند و مابقی کود نیتروژن در مرحله ۴ تا ۶ برگی بعد از عملیات تنک و وجین کردن به‌صورت سرک مصرف گردید.

مزرعه آزمایشی توسط بذرکار آزمایشی ایورت در تاریخ ۱۵ آبان کشت شد. آبیاری به‌صورت 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 میلی‌متر تبخیر سطحی از سطح تشتک تبخیر انجام شد.

1- Cumulative mass determination

2- Ultra wide band

واقعی A دیده شود. از این رو مساحت به دست 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.

همان طور که در شکل ۲ مشخص است با استفاده از این روش که به روش عکس برداری نواری معروف است با کاهش پهنای نوارهای عکس برداری می توان مساحت واقعی را به مساحت حاصل از عکس برداری نزدیک نمود.

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 علف های هرز تصاویر و همچنین سایر اشیاء ناخواسته در تصویر به صورت دستی با استفاده از نرم افزار Adobe Photoshop (ver. 5) از تصاویر حذف شدند. البته در پیاده سازی سیستم بلا درنگ تهیه نقشه عملکرد محصول، الگوریتم های جداسازی علف های 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 به صورت دستی بسیار مشکل بوده و از دقت کافی نیز برخوردار نیست، برای جداسازی^۳ پوشش سبز از خاک در تصاویر از سبزی نگاری مازاد^۴ استفاده گردید.

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

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

G: مؤلفه سبز

R: مؤلفه قرمز

B: مؤلفه آبی

رابطه (۱) تصویری ارائه می دهد که نقاط سبزرنگ در آن به رنگ روشن مشخص خواهند بود. با تعیین آستانه^۵ بر روی هیستوگرام این تصویر و آستانه گذاری بر روی تصویر به روش اتسو^۶، یک تصویر باینری با مقادیر صفر و یک به دست می آید که مقادیر یک نمایانگر پیکسل های مربوط به چغندر قند و صفر نشانگر پیکسل های مربوط به زمینه خاک و بقایای گیاهی می باشند (شکل ۳). با شمارش پیکسل های با مقدار یک در تصویر باینری شده سبزی نگاری مازاد، سطح پوشش سبز گیاه محاسبه شد.

در مرحله دو برگگی از حشره کش های موجود برای مبارزه با آفات برگ خوار و در مرحله دو تا چهار برگگی از مخلوط سموم علف کش پیرامین و بتانال به نسبت ۵ کیلوگرم در ۴/۵ لیتر برای مبارزه با علف های هرز استفاده شد. در مرحله چهار تا شش برگگی بوته ها به فاصله ۲۰ سانتی متر از یکدیگر تنک و هم زمان وجین علف های 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 با توجه به این که در کشت پاییزه، محصول با یک دوره سرما مواجه می گردد و این دوره باعث تأخیر در رشد گیاه می گردد از این رو داده برداری از اواخر بهمن ماه آغاز گردید.

روش عکس برداری و پردازش های صورت گرفته بر روی عکس ها

عکس برداری از مزرعه برای تخمین عملکرد به طور کلی در دو مرحله جداگانه انجام گرفت. مرحله اول عکس برداری برون خط^۱ و مرحله دوم عکس برداری بلا درنگ^۲ 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 پژوهش است. برای تعیین چنین رابطه ای از ۶۰ بوته با اندازه های متفاوت که از نقاط مختلف مزرعه چغندر قند انتخاب شده بودند، استفاده شد. بوته های مورد نظر از ابتدای فصل رشد علامت گذاری شده و تا پایان فصل رشد و استخراج بوته ها از زمین، عکس برداری از همان بوته ها انجام گردید (شکل ۱). عکس برداری توسط یک دوربین دیجیتال Canon IXUS 960IS با وضوح ۱۲ مگا پیکسل انجام شد. با توجه به ارتفاع بوته های چغندر قند، فاصله ۱۵۰ سانتی متری از سطح زمین برای عکس برداری از بوته های مورد نظر انتخاب گردید. برای عکس برداری در مزرعه، یک شاسی نگهدارنده دوربین به ارتفاع ۱۵۰ سانتی متر ساخته شد تا فاصله عکس برداری ثابت باقی بماند (شکل ۱). در گیاهانی همچون چغندر قند هم پوشانی بوته های کناری با یکدیگر و نیز ارتفاع های متفاوت بوته ها از سطح زمین باعث ایجاد خطا در عکس برداری می گردد (شکل ۲). همچنین اثر پرسپکتیو و زاویه دوربین بر عکس های حاصله مؤثر است. با توجه به اینکه عامل پرسپکتیو با ارتفاع دارای رابطه معنی داری است از این رو تفاوت ارتفاع بوته ها از سطح زمین سبب می گردد که بین مساحت سطح واقعی بوته ها و مساحت سطحی که توسط دوربین نمایش داده می شود تفاوت مؤثری ایجاد گردد. در شکل ۲ اثر پرسپکتیو نمایش داده شده است. اثر پرسپکتیو سبب می شود که نقطه غیر واقعی A^۱ به جای نقطه

3- Segmentation

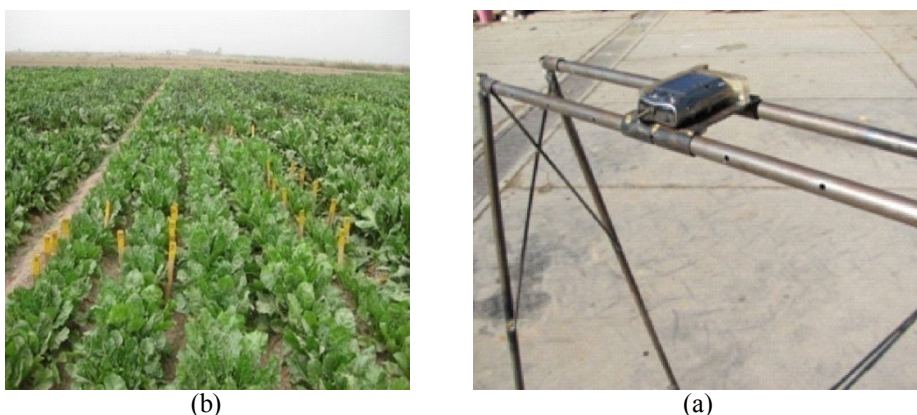
4- Excessive green

5- Threshold

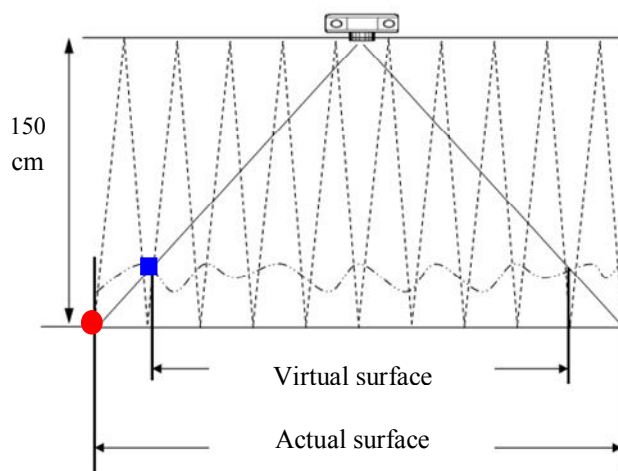
6- Otsu

1- Offline

2- Real time



شکل ۱- (a) پایه نگهدارنده دوربین و دوربین عکس برداری، (b) علامت گذاری بوته‌های گزینش شده به منظور داده برداری در طی ۵ ماه
Fig.1. (a) Camera bracket and camera, (b) Selected parent plants for taking data for 5 months



شکل ۲- اثر پرسپکتیو و هم‌پوشانی بوته‌های چغندر قند با بوته‌های کناری
Fig.2. Perspective effect and overlap of adjacent sugar beet plants

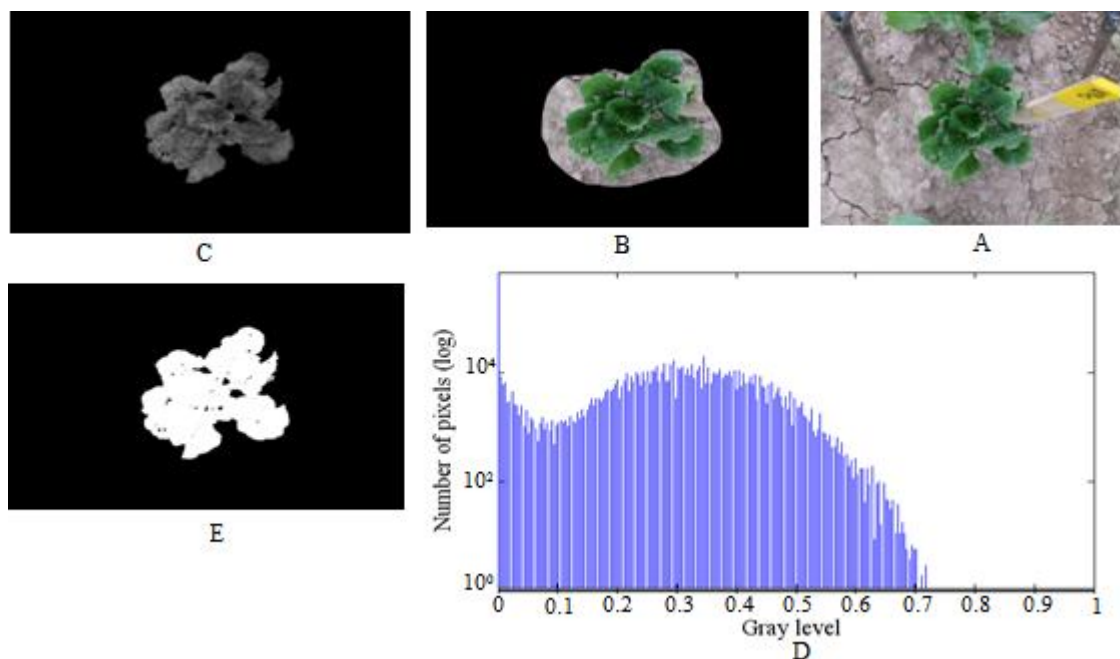
برداشت شده (در سال دوم مطالعه) و آماره‌های ضریب تبیین، ریشه دوم میانگین مربعات خطای تخمین و همچنین درصد میانگین خطای نسبی حاصل از مقایسه با خط یک به یک با استفاده از رابطه (۲) بررسی شد (Alirezai et al., 2013).

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

A: میزان عملکرد واقعی محصول برحسب گرم
 A': میزان عملکرد پیش‌بینی شده با استفاده از رابطه به‌دست آمده در سال اول برای تخمین عملکرد محصول چغندر قند می‌باشد.

این عملیات برای کلیه بوته‌های شماره‌گذاری شده و در انتهای هر ماه از دوره رشد انجام گردید که در مجموع در طول فصل رشد چغندر قند، ۵ بار عکس‌برداری 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.

در انتهای فصل رشد غده بوته‌های شماره‌گذاری شده به‌صورت 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



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

Fig.3. (A) Initial photo of sugar beet plant, (B) Manual separation of specified plants from other plants and objects, (C) Images of excessive green, (D) Histogram of excessive green, (E) Calculation of binary images of green plant

به دست آمده می توان قضاوت نمود که در کدام یک از ماه های رشد، بهتر می توان میزان عملکرد نهایی مزرعه را تخمین زد. لازم به ذکر است که در ابتدای فصل رشد بوته ها با یکدیگر هم پوشانی نداشته و به صورت مجزا هستند و به راحتی پوشش سبز هر بوته در برابر وزن غده همان بوته قرار داده شد ولی در طول فصل رشد با افزایش هم پوشانی برگ های بوته ها با یکدیگر، امکان تفکیک آن ها از یکدیگر نبوده و بر همین اساس مجموع پوشش سبز چند بوته مجاور هم در برابر مجموع وزن غده آن ها قرار داده شد (جدول ۱). در اولین داده برداری که در ماه چهارم از کشت چغندر قند انجام شد (جدول ۱) بوته ها در مرحله ۲ یا ۳ برگی بودند. ضریب تبیین به دست آمده در این سن در مقایسه با ماه بعد کمتر است. این مسأله می تواند بیانگر این باشد که اندازه بوته ها در این سن تناسب کاملی با وزن غده نهایی ندارد.

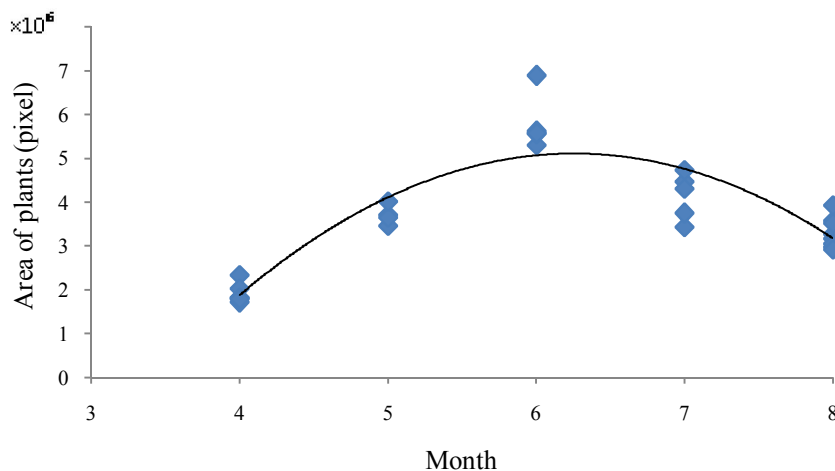
در مراحل اولیه رشد، گیاه همچنان در فاز رشد برگی بوده (Khajehpour, 2006) و غده ها کوچک هستند. پایین بودن ضریب تبیین در این مرحله بدین معنی نیست که کوچک بودن پوشش سبز بوته ها الزاماً به معنی تولید غده نهایی کوچکتر است. به عبارت دیگر برخی بوته های کوچک نیز وجود داشته اند که در نهایت غده های بزرگی تولید کرده اند. از مقایسه ضریب تبیین این مرحله با مرحله بعدی رشد که ضریب تبیین بزرگ تری دارد (جدول ۱) چنین

نتایج و بحث

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 آن که بتوان روند تغییرات پوشش سبز گیاه در طی فصل رشد را تعیین کرد از محدوده داده های نرمال شده در سطح ۹۵ درصد استفاده شد. چنان که در شکل ۴ مشاهده می شود روند تغییرات پوشش سبز گیاه چغندر قند در طی فصل رشد دائماً صعودی نمی باشد بلکه ابتدا افزایش یافته و پس از رسیدن به یک مقدار بیشینه روند کاهش داشته است که این نتایج با نتایج به دست آمده توسط شریفی (۱۹۹۶) کاملاً تطابق دارد. به طور کلی برای رشد گیاه چغندر قند دو مرحله در نظر گرفته می شود: مرحله اول مربوط به فاز رشد برگی است که ابتدا گیاه شروع به تشکیل اندام های هوایی (برگ و دمبرگ) به منظور تأمین نیازهای غذایی خود می کند. مرحله دوم شامل افزایش وزن غده است که در این مرحله میزان رشد اندام هوایی نسبت به قبل روندی کاهش نشان داده و گیاه وارد فاز افزایش وزن ریشه می گردد (Khajehpour, 2006). از مقابل هم قرار دادن مقادیر وزن غده های برداشت شده در انتهای فصل رشد با مقادیر سطح سبز اندازه گیری شده در ماه های مختلف، می توان ضرایب تبیین را برای هر ماه محاسبه نمود. بر اساس ضرایب تبیین

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.



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

Fig.4. Trend of green cover plants variation during growth season in Safiabad region, Dezful

جدول ۱- ضرایب تبیین و سطح معنی‌داری میان پوشش سطح سبز برگ و شاخص سطح برگ چغندرقد در طی دوره رشد

Table 1- Coefficient of determination and significance of relationship between the level of canopy and leaf area index during the growth season

نوع رابطه Equations	زمان داده برداری Data collecting duration									
	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 Linear	100.87**	0.66	75.48**	0.83	50.40**	0.71	32.32**	0.61	40.62**	0.67
لگاریتمی Logarithmic	60.19**	0.54	60.89**	0.79	60.16**	0.74	35.69**	0.63	53.89**	0.73
معکوس Inverse	17.47**	0.25	33.73**	0.68	49.62**	0.70	34.81**	0.62	45.75**	0.70
درجه دوم Quadratic	49.90**	0.66	35.38**	0.83	29.66**	0.75	17.80**	0.64	22.24**	0.70
درجه سوم Cubic	32.63**	0.66	26.16**	0.84	18.80**	0.75	11.48**	0.64	19.48**	0.76
ترکیبی Compound	86.40**	0.62	60.86**	0.79	36.01**	0.63	30.14**	0.60	24.65**	0.55
توانی Power	81.04**	0.61	91.23**	0.85	58.68**	0.74	37.23**	0.64	54.87**	0.73
تصادفی Growth	86.40**	0.62	60.86**	0.79	36.01**	0.62	30.14**	0.60	24.65**	0.55
منطقی Logistic	86.40**	0.62	60.86**	0.79	36.01**	0.62	30.14**	0.60	24.65**	0.55
نمایی Exponential	86.40**	0.62	60.86**	0.79	36.01**	0.62	30.14**	0.60	24.65**	0.55

** Significant at 1% of probability levels معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

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، برگ‌های جدیدی ایجاد شده‌اند که البته در مجموع پوشش سبز گیاه کمتر شده است. اگر چه دوره این رشد بسیار کوتاه می‌باشد 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.

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. به‌طور 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 این که ضرایب تبیین این معادلات بسیار نزدیک به هم می‌باشد از این رو 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 ۱۰۰ درصد بوده و از سویی 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 ۱۰۰ 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.

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 سایه انداز 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 غیره پدید آمده بود در ماه بعد با ادامه رشد گیاه بهبود یافته است.

از ضریب تبیین در این ماه (ماه پنجم) چنین برمی‌آید 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 به دست دهد لیکن چنان که در جدول ۱ مشاهده می‌شود این تناسب کاهش یافته است.

کاهش ضریب تبیین در ماه ششم به علت رشد ناچیز سطح بوته‌ها بوده است. به‌طور کلی دو علت می‌توان برای آن بیان کرد، نخست آن که هم‌پوشانی بوته‌ها با یکدیگر افزایش یافته است و دوم آن که 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 فرآورده‌های فتوسنتزی را به افزایش وزن غده‌ها اختصاص داده‌اند.

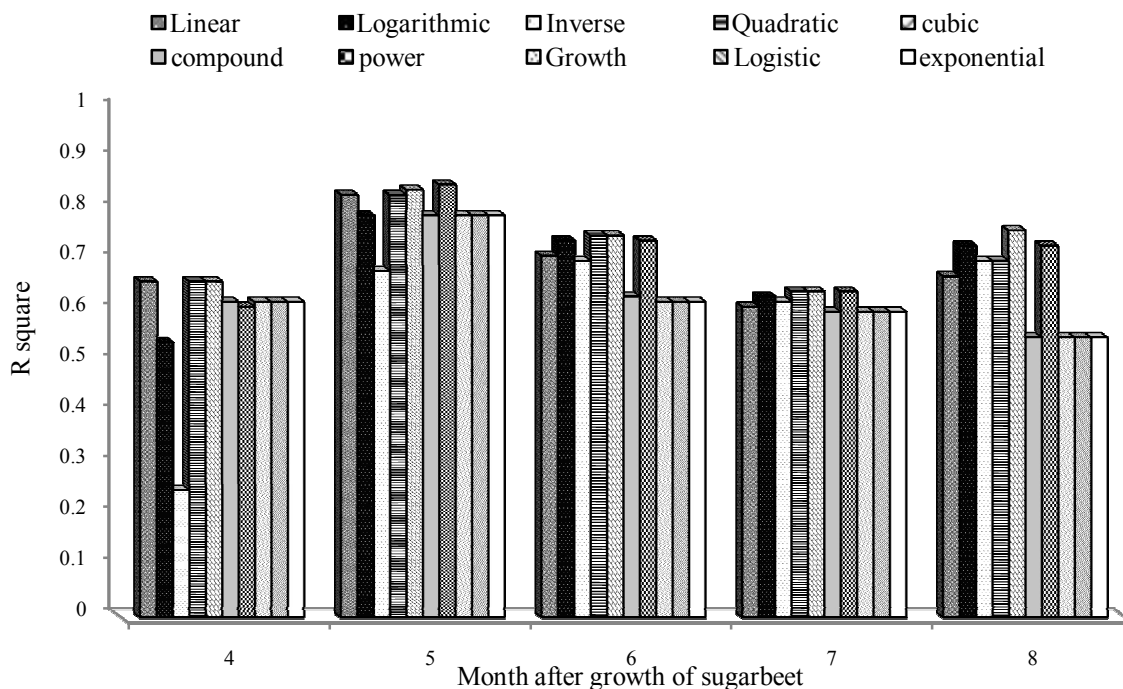
این مسأله موجب شده تا در این دوره از رشد تناسب بین وزن غده و پوشش گیاهی در مورد بوته‌ها یکسان نبوده و بر خلاف انتظار بوته‌های بالغ‌تر پوشش گیاهی بزرگ‌تری نسبت به بوته‌های جوان‌تر نداشته‌اند و به همین دلیل ضریب تبیین بین پوشش گیاهی و وزن غده نهایی افزایش نیافته است و در ماه هفتم حتی کمتر از ماه ششم شده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

بررسی میزان صحت معادله به‌دست آمده

به‌منظور اطمینان از معادله حاصله در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در منطقه صفی‌آباد دزفول، مطالعه مشابه با آن سال در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در همین منطقه انجام پذیرفت. تعداد ۱۸ نمونه شماره گذاری شده و مشابه با همان سال مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از

داده‌برداری و با استفاده از معادله به‌دست آمده در اولین ارزیابی میان وزن به‌دست آمده از معادله و وزن واقعی رابطه‌ای برقرار گشت (شکل ۶). همان‌طور که مشاهده می‌گردد نتایج حاصله رابطه‌ای با ضریب تبیین ۰/۹۴ و ریشه دوم میانگین خطای تخمین ۲۷۸/۲۱ گرم را بیان می‌دارند.



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

Fig.5. The value of coefficient of determination for relationship between final sugar beet weight and canopy in different months of the growth season

جدول ۲- بررسی دقت ضرایب معادله خطی

Table 2- Verification of the linear equation coefficients

متغیر Variable	ضریب متغیر B	خطای استاندارد ضریب Std. Error	مقدار آماره ضریب T	سطح معنی داری Sig.
متغیر Variable	0.001	0.000	8.688	0.000
ضریب ثابت Constant	294.120	272.740	1.078	0.297

جدول ۳- بررسی دقت ضرایب معادله درجه دوم

Table 3- Verification of the quadratic equation coefficients

متغیر Variable	ضریب متغیر B	خطای استاندارد ضریب Std. Error	مقدار آماره ضریب T	سطح معنی داری Sig.
متغیر Variable	0.001	.001	1.691	0.111
ضریب ثابت Constant	303.200	614.126	0.494	0.629

جدول ۴- بررسی دقت ضرایب معادله درجه سوم

Table 4- Verification of the cubic equation coefficients

متغیر Variable	ضریب متغیر B	خطای استاندارد ضریب Std. Error	مقدار آماره ضریب T	سطح معنی داری Sig.
$(\text{متغیر})^3$ (Variable) ³	0.003	.002	1.476	0.162
$(\text{متغیر})^2$ (Variable) ²	-1.210E-9	0.00		
متغیر Variable	1.829E-16	0.00		
ضریب ثابت Constant	-1047.389	1411.518	-0.742	0.470

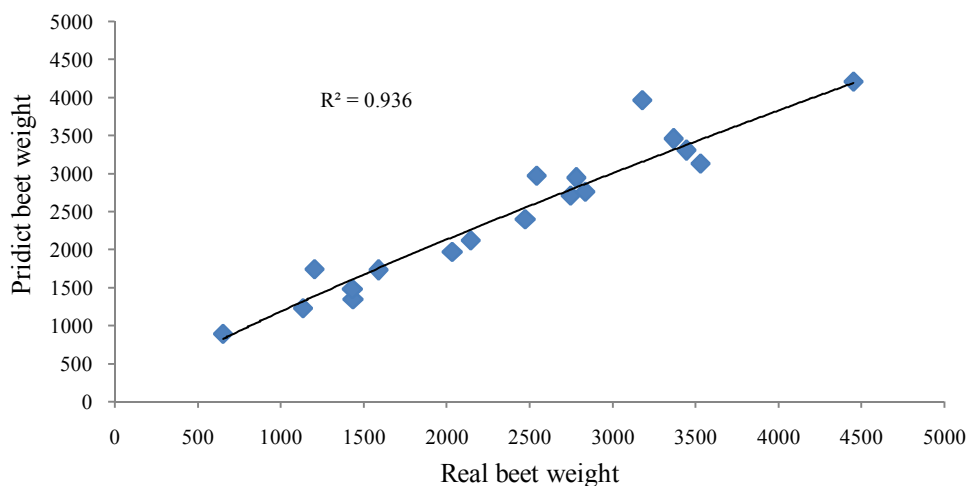
جدول ۵- صحت ضرایب معادله توانی

Table 5- Verify of the power equation coefficients

متغیر Variable	ضریب متغیر B	خطای استاندارد ضریب Std. Error	مقدار آماره ضریب T	سطح معنی داری Sig.
Ln (متغیر) Ln (area)	0.884	.093	9.552	0.000
ضریب ثابت Constant	0.007	.009	0.749	0.465

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 بازگو کننده عملکرد محصول چغندر قند در قبل از زمان برداشت این محصول باشد.

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 این که این تخمین در ماه‌های قبل از برداشت آن صورت می‌پذیرد



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

Fig.6. Coefficient of determination and root mean squared of error for relationship between the actual beet weight (gr) and the weight predicted by the first year equation (gr)

نتیجه‌گیری

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

منابع

ضرایب معادله‌ها تخمین و همچنین ضریب تبیین ۰/۹۴ میان وزن غده‌های واقعی و پیش‌بینی 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 پیش‌بینی عملکرد نهایی مزرعه مورد استفاده قرار گیرد.

- 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.
- Abdollahian Noghabi, M. 1992. Changes of quantitative and qualitative parameters of sugar beet grown in different planting dates. MSc. thesis of Crop Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University. (In Farsi).
- 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.
- 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.
- 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.
- Hall, T. L., L. F. Backer, and V. L. Hofman. 2003. Sugarbeet yield monitoring for site-specific farming part I-laboratory tests and preliminary field tests. *Precision Agriculture* 4 (4): 421-431.
- 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. *Biosystems Engineering* 85 (4): 425-436.
- Jafari, A. 2005. Developing a suitable algorithm for weeds segmentation from sugar beet crop using machine vision and artificial neural networks. Ph.D. dissertation, University of Tehran. (In Farsi).
- Karimi, M. 1993. Growth analysis based on thermal units. 12th Agronomy and Plant Breeding Conf., University of Tehran. Tehran. (In Farsi).
- Khajehpur, M. R. 2003. Industrial plants. Publications Academic Jihad. Isfahan University. (In Farsi).
- 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.
- Kolyvand, M. 1995. Growth of sugar beet in Kermanshah. *Sugar Beet Research* 11 (1&2): 1-19. (In Farsi).
- 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.
- 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.
- Loghavi, M. 2003. Precision farming guide for professionals agriculture. Agricultural Research and Education Organization. Shiraz University. (In Farsi).
- Sharifi, H. 1996. A quantitative analysis of growth and important features multigeram cultivars tolerant to Bolting in Khuzestan. MSc. thesis, University of Dezful. (In Farsi).
- Sugiura, R., N. Noguchi, and K. Ishii. 2005. Remote-sensing technology for vegetation monitoring using an unmanned helicopter. *Biosystems Engineering* 90 (4): 369-379.
- 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.
- Walter, J. D., V. L. Hofman, and L. F. Backer. 1996. Site-specific sugar beet yield monitoring. *International Conference on Agricultural Engineering, Madrid, Spain*.