

# پیش‌بینی عملکرد چغندر قند به کمک پردازش تصویر به صورت برخط Predicting sugar beet performance by online image processing

هادی اورک<sup>۱</sup>، سامان آبدانان مهدی‌زاده<sup>۲\*</sup> و مجید سعدی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۰۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۰۷

ه. اورک، س. آبدانان مهدی‌زاده و م. سعدی. ۱۳۹۷. پیش‌بینی عملکرد چغندر قند به کمک پردازش تصویر به صورت برخط. چغندر قند، ۳۴(۲): ۱۸۱-۱۹۱.  
DOI: 10.22092/jsb.2019.120670.1178

## چکیده

پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی به منظور تخمین تولید و تعیین میزان نهاده‌های کشاورزی مورد نیاز از اهمیت بسیار زیادی در کشاورزی دقیق برخوردار است. در پژوهش حاضر روشی سریع، دقیق و ارزان برای تخمین عملکرد محصول چغندر قند در دو حالت برگ سبز و سرزنی‌شده ارائه شده است. ابتدا از محصول در هر دو حالت تصاویری اخذ گردید، سپس شش ویژگی مورفولوژی شامل: مساحت، محیط، قطر بزرگ، قطر کوچک، قطر معادل و خارج از مرکز بودن، از تصاویر استخراج شد. به‌منظور انتخاب بهترین ویژگی مؤثر از آنالیز ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. ویژگی‌هایی که دارای ضریب همبستگی بیش از ۰/۷ بودند به عنوان ویژگی‌های مؤثر در نظر گرفته شدند. بر این اساس برای دو حالت برگ سبز و سرزنی‌شده، به ترتیب ویژگی‌های مساحت و محیط ریشه انتخاب شدند، برای بررسی صحت معادلات خطی تخمین وزن، معادلات به سیستم برخط تشخیص محصول (در دو حالت) داده شد و به صورت بی‌درنگ با حرکت تراکتور، وزن ریشه‌ی چغندر قند تخمین زده شد. نتایج نشان داد که بین وزن واقعی و وزن تخمین زده شده در دو حالت برگ سبز و سرزنی‌شده، ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۹۵ وجود داشت. با توجه به نتایج حاصله، از سیستم پردازش تصویر می‌توان به‌عنوان سامانه تخمین برخط عملکرد محصول چغندر قند استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز پیرسون، پردازش تصویر، تخمین برخط، عملکرد چغندر قند، کشاورزی دقیق

۱- کارشناسی ارشد- پردازش تصویر، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان. اهواز، ایران.  
۲- استادیار دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان. اهواز، ایران. \*- نویسنده مسئول  
ssaman.abdanan@gmail.com  
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان. اهواز، ایران.

## مقدمه

چغندر قند با نام علمی *Beta vulgaris* L. گیاهی دو ساله از تیره اسفناجیان است که به صورت گیاهی یکساله، زراعت می‌شود. این گیاه طی دوره رشد رویشی فاقد ساقه و به صورت مجموعه‌ای از برگ‌های بزرگ افقی تا عمودی مشاهده می‌گردد. طول دوره رشد برای تولید قند شش تا نه ماه می‌باشد (Biancardi et al. 2010). چغندر قند سازگاری مناسبی با شرایط متنوع محیطی دارد؛ علاوه بر تحمل خشکی، به شوری خاک، سرما و گرما نیز نسبتاً مقاوم است. بر اساس آمار رسمی سازمان خوار و بار و کشاورزی جهانی (FAO) سطح زیرکشت چغندر قند در جهان حدود ۴/۵ میلیون هکتار با عملکرد حدود ۶۰ تن در هکتار می‌باشد. سطح زیرکشت چغندر قند در ایران، حدود ۱۰۱ هزار هکتار و عملکرد حدود ۵۴ تن در هکتار است (FAO 2016). چغندر قند گیاهی صنعتی است که پس از فرآوری در کارخانه‌های قند از آن شکر استخراج می‌شود. در کنار شکر، از این محصول فرآورده‌هایی همچون تفاله و ملاس نیز به دست می‌آید که در پرورش دام و صنعت به مصرف می‌رسند. از نظر زراعی، دو ویژگی عملکرد ریشه و عیار قند در این محصول مورد توجه می‌باشد. عملکرد ریشه به‌میزان تولید غده در هر هکتار اشاره دارد و عیار قند به محتوای شکر ریشه مربوط می‌شود. تاکنون به‌منظور تخمین عملکرد محصول چغندر قند روش‌های متفاوتی مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، استفاده از حسگرهای نیرو در تسمه‌های انتقال دهنده (Walter et al. 1996)، استفاده از حسگرهای ضربه در محل عبور ریشه‌ها و برخورد ریشه‌ها با این صفحات (Hennens et al. 2003)، سیستم‌های جریان حجمی (Godwin et al. 1999; Hall et al. 2003) و استفاده از صفحات موازی (Kumhala et al. 2008) اشاره کرد.

اخیراً پردازش تصویر در تمامی زمینه‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از تکنیک‌های پردازش

تصویر باعث افزایش سرعت و دقت در ارزیابی‌های مهم در بخش کشاورزی جهت پیش‌بینی عملکرد وزنی محصولات زراعی و باغی (Momin et al. 2017; Venkatesh et al. 2014; Latif al-tojar et al. 2014) و پیش‌بینی وزن حیوانات اهلی (Tasdemir et al. 2011; Amraei et al. 2015) اشاره نمود. در (Khojastehkey et al. 2015; 2015) اشاره نمود. پژوهشی دیگر مومین و همکاران (Momin et al 2017) سیستمی هوشمند برای جداسازی محصول انبه در سه سطح جرمی براساس پردازش تصویر توسعه دادند. این محققین دقت سامانه توسعه داده شده را براساس ویژگی‌های مساحت و یک قطر، محیط و گردی به‌ترتیب ۰/۹۷، ۰/۷۹ و ۰/۳۶ گزارش کردند. کاشیها و همکاران (Kashiha et al 2014) در پژوهشی دیگر به‌منظور پیش‌بینی وزن خوک از روابط رگرسیونی استفاده کردند. در این پژوهش تصاویری از خوک‌ها اخذ گردید و با استخراج ویژگی‌ها و استفاده از روابط رگرسیونی وزن خوک‌ها را پیش‌بینی کردند. این محققین ضریب همبستگی برای این پژوهش را ۹۷/۵ درصد گزارش کردند.

با توجه به مزیت‌های استفاده از تکنیک پردازش تصویر از قبیل ارزان، دقیق، سریع و قابل انعطاف بودن برای دیگر محصولات، نسبت به دیگر روش‌ها، در این پژوهش استفاده از تکنیک پردازش تصویر به‌منظور بررسی عملکرد محصول چغندر قند به صورت برخط بدون بیرون آوردن ریشه‌ها از زمین در دو حالت برگی بودن محصول و حذف برگ‌ها در نظر گرفته شد.

## مواد و روش‌ها

### اخذ و پردازش تصویر

به‌منظور اخذ تصاویر از یک دوربین دیجیتال لاجیتک (Logitech) مدل C930e، ساخت کشور تایوان استفاده گردید که توانایی بهبود کیفیت دید در شرایط نور کم، را به‌طور خودکار دارد. تصاویر با کیفیت Full HD 1080p در رزولوشن

هیستوگرام (Histogram) تصویر و حذف نویزهای موجود در تصویر با استفاده فیلتر گوسین بر روی هر یک از کانالهای رنگی صورت پذیرفت (شکل ۲b). سپس به منظور جداسازی گیاه (محصول و علف هرز) از پس زمینه (خاک) از ترکیب خطی فضای رنگی RGB طبق رابطه ۱ استفاده گردید (Liu and Pattey 2010). ترکیب خطی استفاده شده، بخشهای سبز رنگ تصویر (پوشش گیاهی) را نگه داشته و پس زمینه (خاک) را از تصویر حذف می نماید. به دلیل تشابه رنگی بین پوشش گیاهی و بخشهایی از پس زمینه در تصویر، علاوه بر پوشش گیاهی ناحیه های کوچکی از تصویر نیز به اشتباه باقی می ماند (شکل ۲c). نهایتاً با آستانه گذاری بر روی مساحت ۲۷۰ پیکسل مربع گیاه از پس زمینه جدا گردید و نویزهای موجود در تصاویر نیز حذف شدند (شکل ۲d).

$$Excessive\ Green = 2 \times Green - Red - Blue \quad (1)$$

برای جداسازی ریشه محصول چغندرقد پس از عملیات سر زنی از فلوجارت شکل ۳ استفاده شد.

۱۹۲۰×۱۰۸۰ پیکسل با سرعت ۳۰ فریم در ثانیه اخذ گردیدند. شکل ۱ نمونه ای از تصویر اخذ شده توسط این دوربین را نشان می دهد.



شکل ۱ نمونه ای از تصویر اخذ شده توسط دوربین دیجیتال مدل C930e، ساخت کشور تایوان

### پردازش و پیش پردازش تصویر

به منظور توسعه الگوریتم هوشمند، ۹۴ تصویر (۴۷ برگ ها) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا بر روی تصاویر عملیات پیش پردازش از قبیل: یکنواخت سازی



(a)



(b)

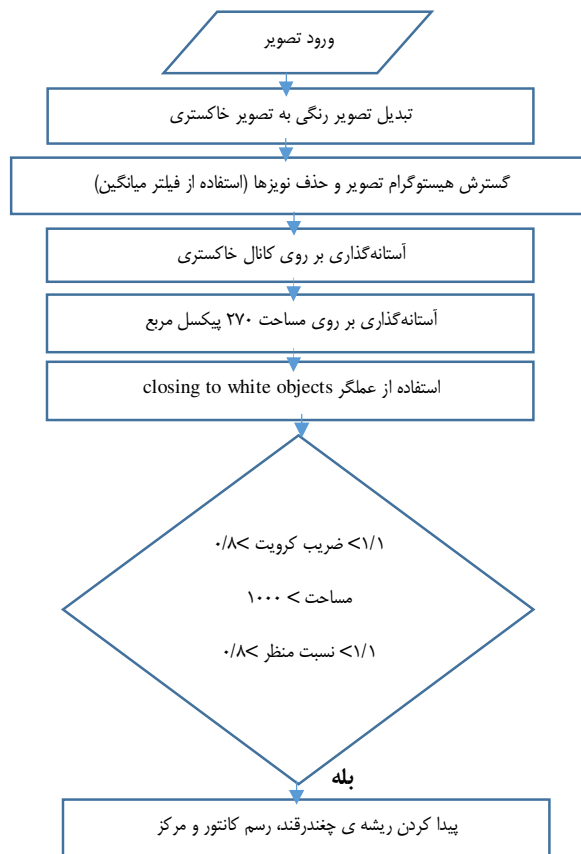


(c)



(d)

شکل ۲ نمونه ای از فرایند جداسازی تصویر گیاه از پس زمینه



شکل ۳ فلوجارت جداسازی ریشه ی گیاه چغندرقد از تصویر پس از عملیات حذف برگ‌ها

پس‌زمینه با فیلترگذاری بر روی مساحت ۲۷۰ پیکسل مربع حذف گردید. ریشه ی گیاه چغندرقد به‌جای مانده در خاک پس از عملیات تاپر زدن محصول، از نمای بالای تصویر شکلی شبیه به دایره دارد. لذا با دانستن این موضوع و با محاسبه ضریب کروییت (رابطه ۲)، نسبت منظر (رابطه ۳) و مساحت شئی در تصویر با استفاده از آستانه‌گذاری بر روی این ویژگی‌ها، چغندرقد از تصویر جدا گردید (Du et al. 2007). شایان ذکر است که مقادیر آستانه بدست آمده با روش سعی و خطا بر روی تصاویر اعمال شدند.

$$S = \frac{I_i}{r_c} \quad (2)$$

در این رابطه  $S$  ضریب کروییت،  $I_i$  شعاع دایره محاطی داخلی و  $r_c$  شعاع دایره محیط شده خارجی می‌باشد.

مطابق با شکل ۳، پس از دریافت تصویر ابتدا تصویر رنگی به تصویر خاکستری تبدیل شده و پس از گسترش هیستوگرام کیفیت تصویر بهبود یافت. نویزهای موجود در تصویر با استفاده از فیلترگذاری (فیلتر میانگین) حذف شدند. در مرحله بعد با آستانه‌گذاری بر روی مقادیر ماتریس خاکستری، قسمت‌هایی از پس‌زمینه حذف شدند؛ اما علاوه بر ریشه، قسمت‌های دیگری از پس‌زمینه نیز باقی می‌ماند. همچنین بخش‌هایی از ریشه به‌دلیل تشابه شدت رنگ با پس‌زمینه حذف گردیدند که می‌بایست نقاط حذف شده پر شده و تصویر ریشه، خالی از نقاط و حفره‌های سیاه رنگ به‌دست آید. به این منظور از عملیات بستن تصویر (Image closing) (پنجره ۳×۳) استفاده شد (Soille et al. 2000). همچنین قسمت‌هایی از

که در شکل ۴a مشاهده می‌شود ریشه در تصویر اخذ شده پس از عملیات جداسازی و اعمال شرایط از پس‌زمینه جدا شده (شکل b و c) و در نهایت با رسم کانتور و مرکز ریشه در تصویر نشان داده می‌شود (شکل ۴d).

$$AR = \frac{D_{Max}}{D_{Min}} \quad (3)$$

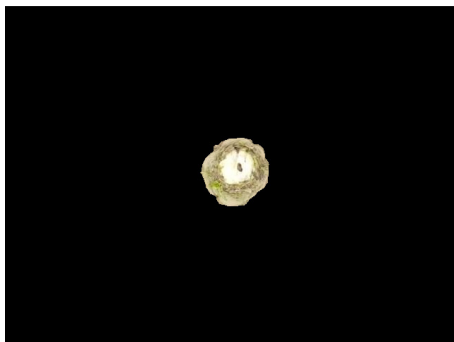
در این رابطه AR نسبت منظر،  $D_{Max}$  قطر ماکزیمم و  $D_{Min}$  قطر مینیمم ریشه‌ی چغندر قند می‌باشد. نمونه‌ای از عملکرد الگوریتم جداسازی ریشه‌ی گیاه چغندر قند از تصویر در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور



(a)



(b)



(c)



(d)

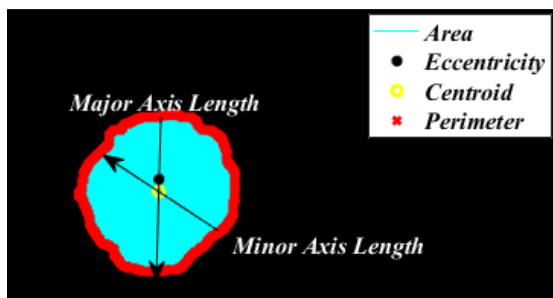
شکل ۴ نمونه‌ای از عملکرد جداسازی تصویر ریشه‌ی چغندر قند از پس‌زمینه

### روش انجام آزمایش

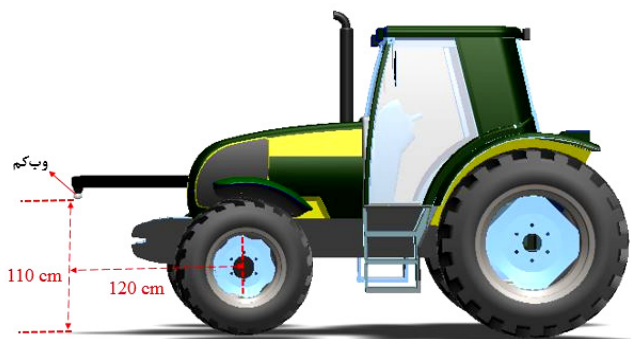
به‌منظور تخمین میزان قند و بریکس ریشه‌ی چغندر قند، ابتدا دوربین در جلوی تراکتور در فاصله ۱۱۰ سانتی‌متر نسبت به سطح زمین قرار گرفت. هدف از انتخاب این فاصله پوشش‌دهی محدوده حضور گیاه چغندر قند در تصویر بود. شماتیک تراکتور و محل قرارگیری دوربین در شکل ۶ آورده شده است.

### ویژگی‌های استخراج شده

پس از جداسازی تصویر گیاه و ریشه از پس‌زمینه به‌ترتیب قبل از عملیات سرزنی و بعد از عملیات سرزنی، ویژگی‌های ابعادی گیاه و ریشه چغندر قند استخراج شدند. ویژگی‌های استخراج شده در این پژوهش شامل: مساحت، محیط، خارج از مرکز بودن، قطر بزرگ، قطر معادل و قطر کوچک ریشه‌ی چغندر قند بودند (شکل ۵).



شکل ۵ شماتیکی از ویژگی‌های استخراج شده از ریشه سرزنی شده چغندر قند



شکل ۶ شماتیک از تراکتور و محل قرارگیری دوربین

به منظور به دست آوردن وزن ریشه گیاه چغندر قند، ابتدا ریشه‌ها با بیلچه‌های باغبانی از خاک بیرون آورده شدند. سپس با استفاده از آب شستشو شده و در نهایت با تراوی دیجیتالی (دقت ۰/۰۰۱) وزن گردیدند.

#### بریکس چغندر قند

جهت تعیین میزان مواد جامد محلول در ریشه گیاه چغندر قند، ابتدا عصاره قسمت میانی چغندر قند توسط گیره (انبردست) استخراج گردید. سپس میزان بریکس هر نمونه با استفاده از دستگاه رفاکتومتر دیجیتالی (مدل MA882، ساخت کشور ژاپن) قرائت شد.

#### نتایج

به منظور تشکیل روابط رگرسیونی برای پیش‌بینی مقادیر درجه بریکس و وزن ریشه‌ی چغندر قند، می‌بایست بین ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر (مساحت، محیط، قطر بزرگ، قطر کوچک، قطر معادل و خارج از مرکز بودن) و

سپس تراکتور وارد مزرعه گردید و از ردیف‌های کشت محصول فیلم‌برداری صورت گرفت. سرعت حرکت تراکتور پنج کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شد. پس از آن برگ‌های گیاه چغندر قند (محصول) توسط تاپر زده شدند و دوباره تراکتور وارد مزرعه شده و از قسمت بالای ریشه‌ها پس از عملیات سرزنی فیلم‌برداری صورت پذیرفت. فیلم‌های اخذ شده از ردیف‌های کشت محصول در دو حالت با برگ و سرزنی شده مورد بررسی قرار گرفتند. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده شامل میزان بریکس و وزن ریشه‌ی چغندر قند بودند و ویژگی‌های آزمون غیرمخرب شامل ویژگی‌های استخراج شده در مرحله پردازش تصویر می‌باشند. این ویژگی‌ها به منظور توسعه روابط رگرسیونی استفاده شدند؛ در این روابط ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر به عنوان متغیرهای مستقل و ویژگی‌های اندازه‌گیری شده به عنوان متغیر وابسته مورد استفاده قرار گرفتند.

#### اندازه‌گیری وزن

اگرچه این ویژگی ضریب همبستگی پیرسون کمتر از ۰/۷ دارد ولی نسبت به دیگر ویژگی‌ها، ضریب پیرسون بالاتری داشته و علاوه بر این در سطح پنج درصد نیز معنی‌دار می‌باشد. در حالت سرزنی شده بهترین ویژگی‌ها به‌منظور پیش‌بینی مقدار وزن ریشه چغندرقد، تمامی ویژگی‌ها به جز ویژگی خارج از مرکز به‌عنوان بهترین ویژگی برگزیده شدند (جدول ۳). میزان ضریب همبستگی پیرسون برای ویژگی‌های محیط، مساحت، قطر معادل، قطر بزرگ و قطر کوچک به‌ترتیب برابر با ۰/۹۷، ۰/۹۶، ۰/۹۳، ۰/۹۱ و ۰/۹۱ حاصل شد؛ علاوه بر این تمامی ویژگی‌های ذکر شده در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار بودند. بدیهی است که با افزایش وزن مقدار ویژگی‌های ذکر شده نیز افزایش می‌یابد که این مسئله با توجه به مقدار و مثبت بودن ضریب پیرسون نیز قابل توجیه می‌باشد. به‌منظور تخمین میزان بریکس در حالت سرزنی شده بهترین ویژگی، ویژگی محیط با قدر مطلق ضریب پیرسون ۰/۴۴ و سطح آماری پنج درصد انتخاب گردید (جدول ۴).

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده (وزن و بریکس ریشه چغندرقد) رابطه رگرسیونی برقرار گردد. لذا انتخاب بهترین ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر که به‌توانند همبستگی بالایی با مقادیر اندازه‌گیری شده داشته باشند از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید و ویژگی‌هایی که ضریب همبستگی پیرسون بالای ۰/۷ داشتند و در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار بودند به‌عنوان ویژگی‌های تأثیرگذار انتخاب و در روابط رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفتند. مطابق جدول ۱ در صورت وجود برگ بهترین ویژگی‌ها برای پیش‌بینی مقدار وزن، مساحت و محیط بودند. میزان ضریب همبستگی پیرسون برای مساحت و محیط به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۸۶ به‌دست آمد که نشان از باریک بودن بیضی نمودار پراکنش داده‌ها و رابطه قوی بین این ویژگی‌ها و وزن می‌باشند. همچنین بین وزن و ویژگی‌های مساحت و محیط ریشه‌ی چغندر در سطح پنج درصد رابطه معناداری وجود داشت ( $p < 0.05$ ). به‌منظور تخمین بریکس در حالتی که برگ وجود داشته باشد بهترین ویژگی نسبت به دیگر ویژگی‌ها، ویژگی محیط بود (جدول ۲).

**جدول ۳** آنالیز همبستگی پیرسون بین وزن ریشه چغندرقد و ویژگی‌های هندسی ریشه در حالت سرزنی شده

مقدار p	R	
۰/۰۰	۰/۹۶	مساحت (pixel <sup>2</sup> )
۰/۰۰	۰/۹۷	محیط (pixel)
۰/۰۰	۰/۹۳	قطر بزرگ (pixel)
۰/۰۰	۰/۹۱	قطر کوچک (pixel)
۰/۰۰	۰/۹۶	قطر معادل (pixel)
۰/۸۹	-۰/۲۰	خارج از مرکز

**جدول ۴** آنالیز همبستگی پیرسون بین بریکس ریشه چغندرقد و ویژگی‌های هندسی ریشه در حالت سرزنی شده

مقدار p	R	
۰/۰۰	-۰/۳۹	مساحت (pixel <sup>2</sup> )
۰/۰۲	-۰/۴۴	محیط (pixel)
۰/۰۱	-۰/۳۶	قطر بزرگ (pixel)
۰/۰۰	-۰/۴۲	قطر کوچک (pixel)
۰/۰۰	-۰/۴	قطر معادل (pixel)
۰/۲۶	۰/۱۶	خارج از مرکز

**جدول ۱** آنالیز همبستگی پیرسون بین وزن ریشه چغندرقد و ویژگی‌های هندسی ریشه در حالت برگی

مقدار p	R	
۰/۰۰	۰/۹۱	مساحت (pixel <sup>2</sup> )
۰/۰۰	۰/۸۶	محیط (pixel)
۰/۳۷	۰/۳۰	قطر بزرگ (pixel)
۰/۲۰	۰/۳۳	قطر کوچک (pixel)
۰	۰/۴۳	قطر معادل (pixel)
۰/۸۷	۰/۲۰	خارج از مرکز

**جدول ۲** آنالیز همبستگی پیرسون بین بریکس ریشه چغندرقد و ویژگی‌های هندسی ریشه در حالت برگی

مقدار p	R	
۰/۱۰	-۰/۳۷	مساحت (pixel <sup>2</sup> )
۰/۰۰	-۰/۴۰	محیط (pixel)
۰	-۰/۲۵	قطر بزرگ (pixel)
۰/۱۸	-۰/۱۹	قطر کوچک (pixel)
۰	-۰/۲۸	قطر معادل (pixel)
۰/۱۶	۰/۱	خارج از مرکز

کوچک، قطر معادل، خارج از مرکز، مساحت و محیط) در دو حالت برگی و سرزنی شده ریشه چغندر قند ارتباط خطی نداشته و تخمین بریکس ریشه ی محصول چغندر قند با استفاده از ویژگی‌های ظاهری استخراج شده با دقت بالا امکان پذیر نمی‌باشد.

به‌منظور بررسی معادلات حاصل شده از داده‌های اندازه‌گیری شده، معادلات فوق به سیستم تشخیص برخط متصل به تراکتور داده شد و صحت معادلات تخمین وزن در هر دو حالت مورد بررسی قرار گرفت. با حرکت تراکتور سیستم تشخیص محصول در هر دو حالت محصول را تشخیص داد، برای حالت وجود برگ ویژگی مساحت و حالت سرزنی شده ویژگی محیط را به صورت بر خط محاسبه کرده و وارد معادلات نمود، در نهایت وزن ریشه به صورت بر خط تخمین زده شد. نتایج نشان داد که ضریب تعیین بین داده‌های واقعی و بدست آمده در صورت وجود برگ (شکل ۷a) و در حالت سرزنی شده (شکل ۷b) به‌صورت بر خط به ترتیب برابر ۰/۸۱ و ۰/۹۴ به‌دست آمد که نشان از صحت معادلات رگرسیونی (جدول ۵) برای تخمین وزن می‌باشد.

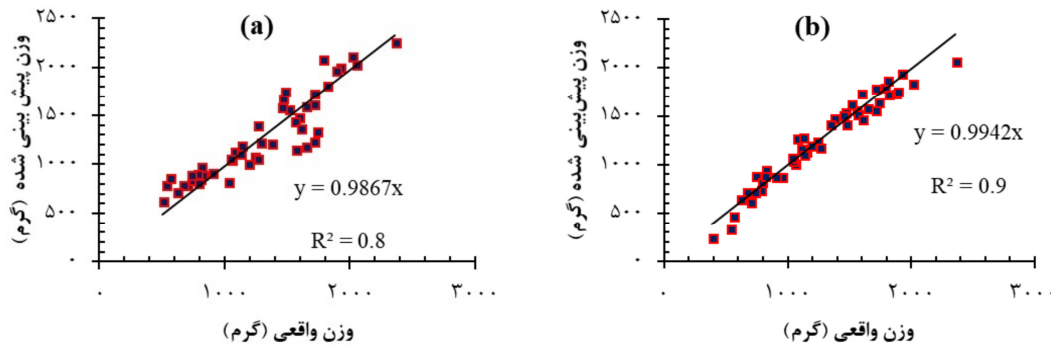
به‌منظور برآورد میزان وزن و درجه بریکس، بین ویژگی‌های انتخاب شده با بریکس و وزن ریشه ها رگرسیون خطی برقرار گردید و معادلات رگرسیونی برای ویژگی‌های معنی‌دار و با ضریب همبستگی بالا توسعه یافت که نتایج در جدول ۵ آورده شده است. بهترین معادله حاصل از رگرسیون خطی برای تخمین مقدار وزن ریشه ی چغندر قند در صورت وجود برگ معادله بین مساحت و وزن می‌باشد که دارای ضریب تعیین ( $R^2$ ) و میانگین مربعات خطا، به ترتیب ۰/۸۵ و ۱۸۹/۴۴ می‌باشد. همچنین بهترین معادله حاصل از رگرسیون خطی بین وزن و ویژگی‌های انتخاب شده، معادله بین محیط و وزن ریشه چغندر قند در حالت سرزنی شده (بدون برگی) می‌باشد. مقدار ضریب تعیین و میانگین مربعات خطا برای این معادله به ترتیب ۰/۹۷ و ۱۰۴/۷۵ بود. هرچند ویژگی‌های دیگر (مساحت و قطر معادل) نیز قادر به تخمین وزن ریشه چغندر قند در حالت سرزنی شده می‌باشند اما معادله بین محیط و وزن دارای مقدار میانگین مربعات خطای کمتر و ضریب تعیین بالاتری است. همان‌طور که در جداول ۲، ۴ و ۵ قابل مشاهده می‌باشد بریکس ریشه ی چغندر قند با ویژگی‌های ظاهری محصول (قطر بزرگ، قطر

جدول ۵ رگرسیون خطی بین ویژگی‌های انتخاب شده با وزن و بریکس در دو حالت برگی و سرزنی شده

مقدار تعدیل شده $R^2$	مقدار $R^2$	معادله برازش شده	میانگین مربعات خطا
۰/۸۳	۰/۸۵	۲۲۰/۳ - ۰/۰۰۳۸ a	۱۸۹/۴۴
۰/۷۴	۰/۷۴	۵۵۸/۳ - ۰/۲۹۸۳ b	۲۳۷/۶۳
۰/۱۲	۰/۱۴	(۲۱/۴۵ - ۰/۰۰۰۳ b)	۱/۰۸
۰/۹۳	۰/۹۳	۱۳۹/۹ - ۰/۳۳۹۷ a	۱۲۲/۹
۰/۹۴	۰/۹۷	۱۸۶۲ - ۱۲/۷۱ b	۱۰۴/۷۵
۰/۸۷	۰/۸۷	۱۶۲۷ - ۳۵/۱۸ c	۱۶۷/۰۸
۰/۸۳	۰/۸۳	۱۵۰۳ - ۳۸/۶۶ d	۱۸۹/۶۶
۰/۹۲	۰/۹۲	۱۷۹۱ - ۴۰/۰۷ e	۱۲۸/۶۱
۰/۱۸	۰/۱۹	(۲۳/۱۰ - ۰/۰۱۴۴ b)	۱/۰۵

حرف a, b, c, d و e به ترتیب بیانگر مساحت ( $\text{pixel}^2$ )، محیط ( $\text{pixel}$ ) قطر بزرگ ( $\text{pixel}$ )، قطر کوچک ( $\text{pixel}$ ) و قطر معادل ( $\text{pixel}$ )





شکل ۷ مقایسه وزن واقعی ریشه چغندرقد در دو حالت برگی (a) و سرزنی شده (b) با وزن پیش‌بینی شده به صورت بر خط

بوده که کار تخمین وزن را تسهیل می‌سازد. اما در این پژوهش ریشه‌ی چغندرقد به دلایل متفاوتی از قبیل: سختی مزرعه، وجود ناحیه سخت در محل رشد ریشه، تغییر شکل داده و از متقارن بودن خارج می‌گردد. علاوه بر این در پژوهش و نکاتش و همکاران (2015) از پنج بعد محصول به منظور برآورد وزن میوه، تصویر اخذ شده بود در حالی که در این پژوهش حاضر تنها یک بعد محصول مورد بررسی قرار گرفت. پژوهش‌های مشابه دیگری به منظور تخمین وزن بر روی حیوانات نیز صورت پذیرفته است. در پژوهشی به برآورد وزن گاوهای شیری با استفاده از ویژگی‌های ظاهری استخراج شده از بدن حیوان با کمک پردازش تصاویر دیجیتال و روابط رگرسیونی چندگانه پرداختند (Tasdemir et al. 2011). مطابق نتایج به دست آمده میزان ضریب تعیین همانند پژوهش حاضر در بهترین حالت ۰/۹۷ حاصل شد. در پژوهش دیگری به منظور برآورد وزن جوجه‌های گوشتی از تکنیک پردازش تصاویر دیجیتال استفاده کردند (Amraei et al. 2015). در این پژوهش ویژگی‌های ابعادی بدن جوجه‌ها استخراج و مدل رگرسیونی چند متغیره توسعه داده شد. مطابق نتایج گزارش شده ضریب همبستگی مقادیر پیش‌بینی شده وزن جوجه‌ها با مقادیر واقعی آن بیش از ۰/۹۵ بود. در پژوهش حاضر به منظور پیش‌بینی وزن ریشه‌ی گیاه چغندرقد در هر دو حالت برگی و سرزنی شده

پژوهش‌های متعددی هم‌راستا با پژوهش حاضر به منظور تخمین وزن با کمک پردازش تصویر بر روی محصولات مختلف صورت پذیرفته است. لطیف‌التجار و همکاران (Latif al-tojar et al. 2014) از پوشش سایه‌انداز گیاه به منظور تخمین عملکرد چغندرقد استفاده کرد. این محققین با استفاده از تکنیک پردازش تصویر بر روی تصاویر اخذ شده از محصول به تخمین عملکرد محصول چغندرقد پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد که بالاترین ضریب تعیین، رابطه عملکرد محصول با پوشش سبز (پوشش گیاهی) برابر با ۰/۸۵ به دست آمد که با نتایج پژوهش حاضر در زمان برگی محصول چغندرقد هم‌خوانی دارد. علاوه بر نتایج حاصل از این پژوهش قادر است که هم‌زمان با عملیات برداشت، عملکرد ریشه‌ی چغندرقد را قبل از بیرون آوردن ریشه تخمین بزند. و نکاتش و همکاران (Venkatesh et al. 2015) در پژوهشی با استفاده از پردازش تصویر به بررسی وزن میوه‌های سیب، لیمو ترش، لیموشیرین و پرتقال پرداختند. نتایج نشان داد که همبستگی بین وزن‌های تخمین زده با مقادیر واقعی آن‌ها برای سیب، لیمو ترش، لیموشیرین و پرتقال به ترتیب برابر با ۰/۸۸، ۰/۹۸، ۰/۹۴ و ۰/۸۶ بود. اگرچه نتایج حاصل از پژوهش و نکاتش و همکاران (2015) بسیار خوب و قابل قبول می‌باشد، اما میوه‌های مورد بررسی از لحاظ مورفولوژی متقارن و همگن

دستی اندازه‌گیری شد. در نهایت میان ویژگی‌های استخراج شده با وزن واقعی و میزان بریکس آنالیز رگرسیونی خطی صورت پذیرفت. به‌منظور پیش‌بینی وزن ریشه‌ی گیاه چغندر قند در هر دو حالت برگی و سرزنی شده با ضریب همبستگی به‌ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۹۷ به دست آمد که به خوبی قادر به تشخیص وزن ریشه می‌باشد و در هر دو حالت می‌تواند به‌طور قابل قبول وزن ریشه‌ی گیاه چغندر قند را پیش‌بینی کند. نتایج برآزش نشان داد که رابطه‌ای بین میزان بریکس و ویژگی‌های استخراج شده به‌صورت خطی وجود ندارد. همچنین تخمین وزن ریشه‌ی چغندر قند در هر دو حالت برگی و سرزنی شده به‌صورت بر خط به خوبی انجام شد و امکان استفاده از سامانه ارائه شده برای برآورد عملکرد محصول چغندر قند بدون بیرون آوردن ریشه‌ها به خوبی وجود دارد.

### تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان قدردانی می‌نمایند.

ضریب تعیین به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۹۷ به‌دست آمد که به خوبی قادر به تشخیص وزن ریشه می‌باشد و در دو حالت می‌تواند به طور قابل قبول وزن ریشه‌ی محصول چغندر قند را پیش‌بینی کند. علاوه بر این، پژوهش حاضر به صورت بر خط نیز توانست به خوبی وزن محصول (ریشه) چغندر قند را تخمین بزند. نتایج نشان داد که مقدار بریکس ریشه‌ی چغندر قند ارتباط خوبی با ویژگی‌های مورفولوژی و ظاهری ریشه ندارد و نمی‌توان بر اساس ویژگی‌های ظاهری مقدار بریکس را به خوبی پیش‌بینی کرد.

### نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش امکان پیش‌گویی وزن و میزان بریکس ریشه‌ی گیاه چغندر قند با استفاده از پردازش تصاویر دیجیتال و رگرسیون خطی بود. از تصاویر به‌دست آمده در دو حالت برگی و سرزنی شده شش ویژگی مساحت، محیط، قطر معادل، قطر بزرگ، قطر کوچک و خارج از مرکز بودن استخراج گردید. پس از فیلم‌برداری در هر دو حالت، ریشه‌ها برچسب‌گذاری شده و مقادیر وزن و بریکس آن‌ها به‌صورت

### References:

### منابع مورد استفاده:

- Amraei S, Abdanan Mehdizade S, Salari S. The system for estimating the weight of broiler chicks individually using image processing and multiple analysis. Iranian journal of Biosystems engineering. 2015; 65(5): 615-623. (in Persian)
- Biancardi E, McGrath M.J, William Panella L, Stevanato P. Sugar Beet- Chapter 6: Root and Tuber Crops. 2010; 173-219.
- Du JX, Wang XF, zhang GJ. Leaf shape based plant species recognition-Applied Mathematics and Computation. 2007; 185: 883-893.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2016. <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>.
- Godwin RJ, Wheeler PN, O'Dogherty MJ, Watt CD, Richards T. Cumulative mass determination for yield maps of non-grain crops. Computers and Electronics in Agriculture 1999; 23: 85-101.

- Hall TL, Backer LF, Hofman, VL. Sugarbeet yield monitoring for site-specific farming part I-laboratory tests and preliminary field tests. *Precision Agriculture*. 2003; 4 (4): 421-431.
- Hennens DJ, Baert B, Broos H, Ramon P, DeBaerdemaeker J. Development of a flow model for the design of a momentum type beet mass flow sensor. *Biosystems Engineering*. 2003; 85 (4): 425-436.
- Kashiha M, Bahr C, Ott S, Moons CP, Niewold TA, Odberg FO, Berckmans D. Automatic weight estimation of individual pigs using image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014; 107, 38-44.
- Khojastehkey M, Abbasi MA, Akbari Sharif A, Hasani AM. Estimation Zandi lambs using digital image processing. 2015; 29:99-104. (in Persian, abstract in English)
- Kumhala FV, Prosek M, Kroulik M, Kviz Z. Parallel plate mass flow sensor for forage crops and sugar beet. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Meeting Presentation*. 2008; 084700: 1-11.
- Latif al-tojar S, Jafari AA, Nasiri SM, Sharifi H. Sugar beet performance estimation based on plant shadow coverage using image processing patterns. *Journal of Agricultural Machinery*. 2014; 4 (2): 275-284. (in Persian)
- Liu J, Pattey E. Retrieval of leaf area index from top-of-canopy digital photography over agricultural crops. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2010; 150 (11): 1485-1490.
- Momin MA, Rahman MT, Sultana MS, Igathinathane C, Ziauddin ATM, Grift TE. Geometry-based mass grading of mango fruits using image processing. *Information Processing in Agriculture*. 2017; 4: 150-160.
- Soille P. Morphological image analysis applied to crop field mapping. *Image and Vision Computing*. 2000; 18: 1025-1032.
- Tasdemir S, Urkmez A, Inal S. Determination of body measurements on the Holste in cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. *Computers and electronics in agriculture*. 2011; 76(2), 189-197.
- Venkatesh GV, Lqbal MDS, Gopal A, Ganesan D. Estimation of volume and mass of Axi-Symmetric Fruits using image processing technique. *International Journal of Food Properties*. 2015; 18: 608-625.
- Walter JD, Hofman VL, Backer LF. Site-specific sugar beet yield monitoring. *International Conference on Agricultural Engineering, Madrid, Spain*. 1996.