تعیین تعداد گیاه‌چه‌های چغندرقند با به‌کارگیری روش پردازش تصویر

Determining the number of sugar beet seedling using image processing method

محمد شاکر[۱]*، محسن بذرافشان[۲] و عبدالعباس جعفری[۳]

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۰

نوع مقاله: پژوهشی

DOI:10.22092/jsb.2020.126354.1222

م. شاکر، م. بذرافشان و ع.ا. جعفری. ۱۳۹۹. تعیین تعداد گیاه‌چه‌های چغندرقند با به‌کارگیری روش پردازش تصویر. **چغندرقند، ۳۶(۱): ۷۱- ۷۹.**

چکیده

در صد سبز شدن ارقام و هیبریدهای مختلف چغندرقند در مزرعه به‌عنوان یک ویژگی برتر رقم ا صلاح شده برای به‌نژادگر اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف از اجرای این تحقیق، ارائه یک روش مبتنی بر پردازش تصـویر برای شـمارش سـریع و دقیق گیاه‌چه‌های سبزشده ارقام مختلف چغندرقند در مزرعه بود. تصاویر با استفاده از یک دوربین دیجیتال و از یک ارتفاع ثابت، در خرداد ماه سال ۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرقان تهیه و به محیط نرم‌افزار (Matlab) منتقل شد. با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصـویر و توابع موجود در نرم‌افزار، الگوریتم شـمارش و تعیین تعداد گیاه‌چه‌های چغندرقند در یک طول ثابت، کدنویسی و ارائه شد. الگوریتم ارائه شده، مربوط به حالت‌هایی بود که برگ گیاه‌چه‌های چغندرقند از یکدیگر فاصله داشته و یا فقط با یکدیگر تماس داشتند. دقت الگوریتم ۹۰/۳۲ درصد و مدت زمان اجرای آن حدود ۱/۶۷ ثانیه بود. تعداد واقعی گیاه‌چه‌ها و تعداد مشاهده شده توسط الگوریتم، با استفاده از آزمون مقایسه‌ای (T-student) زوجی از نظر آماری مورد بررسـی قرار گرفت و مشـخص شـد که بین آنها تفاوت معنی‌داری در سـطح احتمال پنج درصـد وجود ندارد. هم‌چنین ارقام مختلف چغندرقند در اجرای الگوریتم و دقت آن تأثیری نداشت. نتایج نشان داد که می‌توان به‌جای شمارش چشمی تعداد گیاهچه‌ها، با تصویربرداری و به‌کارگیری الگوریتم این عمل را با دقت بیش از ۹۰ در صد برای دو حالت فوق انجام داد.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، چغندرقند، جوانه زدن، گیاه‌چه

۱- اسـتادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسـی کشـاورزی، مرکز تحقیقات کشـاورزی و منابع طبیعی اسـتان فارس، سـازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشـاورزی، شـیراز، ایران.

*- نویسنده مسئول. M.shaker1348@gmail.com

۲- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

۳- استادیار بخش مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

مقدمه

در صد سبز شدن ارقام و هیبریدهای مختلف چغندرقند در مزرعه به‌عنوان یک ویژگی برتر رقم اصلاح‌شده برای به‌نژادگر اهمیت ویژه‌ای دارد. در آزمایشات به‌نژادی و مقایسه‌ای به‌دلیل تعداد زیاد هیبرید و رقم و محدوده کوتاه زمانی برای شمارش تعداد بذر سبزشده عملاً چنین اندازه‌گیری‌هایی امکان‌پذیر نیست. در موارد معدودی هم که این کار انجام می‌شود با صرف وقت، هزینه و نیروی کار زیاد صورت می‌گیرد. از آنجا که به‌کارگیری روش دستی به‌منظور تعیین تعداد بذر سبز شده چغندرقند در مزرعه، کاری دشوار و زمان‌بر است، در چنین شرایطی به‌کارگیری فناوری‌های نوین همچون ماشین‌بینایی بر اساس پردازش‌تصویر دیجیتال، می‌تواند راه‌کاری سریع و مؤثر در این خصوص باشد. در واقع از فناوری ماشین‌بینایی به‌جای چشم انسان استفاده می شود. جایگزینی روش سنتی استفاده از نیروی انسانی با این فناوری جدید، سرعت و دقت کار و در نتیجه کارایی ارزیابی‌ها را بهبود می‌بخشد.

اخیراً استفاده از روش پردازش تصویر، در زمینه‌های مختلف کشاورزی و در بیشتر محصولات، مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، وضعیت سبزشدن تراکم‌های ارقام مختلف گندم در مزرعه (Liu *et al.* 2016)، اندازه گیاهچه (طول ریشه‌چه و ساقه‌چه) و بنیه بذر گندم (Brunes *et al.* 2016)، جوانه‌زنی ارقام مختلف برنج با استفاده از ویژگی‌های رنگ، اندازه، شکل و بافت بذر (Lurstwut and Pornpanomchai 2016)، تعیین اندازه گیاهچه‌های کلم و گوجه‌فرنگی (Geneve and Kester 2001) را می‌توان اشاره نمود.

به‌کارگیری تکنیک‌های پردازش تصویر باعث افزایش سرعت و دقت در شمارش دانه‌ها و گیاهچه‌های محصولات مختلف شده است. در این زمینه، شمارش تعداد ساقه‌چه نوظهور در بذر آفتابگردان (Ducournau *et al.* 2004)، مقایسه روش مبتنی بر پردازش تصویر و روش شمارش دستی برای شاخص بنیه بذر کاهو (Sako *et al.* 2001)، تعیین تعداد سنبله‌های گندم در مراحل مختلف رشد (Alharbi *et al.* 2018; Guerin *et al.* 2004)، تعیین تعداد دانه‌ها در خوشه ذرت (Zhao *et al.* 2015) و شمارش خودکار انواع گل و تعداد گل در گلدان که قیمت در زمان فروش را تعیین می‌کند (Bairwa *et al.* 2014; Harmsen and Koenderink 2009) را می‌توان برشمرد.

در پژوهشی دیگر به منظور تخمین امکان پیش‌گویی وزن ریشه‌ی گیاه چغندرقند در دو حالت با برگ سبز و سرزنی شده از پردازش تصاویر دیجیتال استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که بین وزن واقعی و وزن تخمین زده شده در دو حالت برگ سبز و سرزنی شده، ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۹۵ وجود داشت که به‌خوبی قادر به تشخیص وزن ریشه بود و در هر دو حالت توانست به‌طور قابل قبول وزن ریشه‌ی گیاه چغندرقند را پیش‌بینی کند (Orek *et al.* 2019). در پژوهشی دیگر به‌منظور اصلاح عملکرد دستگاه پوست‌کن شلتوک و کاهش ضایعات برنج، سامانهٔ کنترل خودکار و ماشین بینایی طراحی، ساخته و آزمایش شد. در این تحقیق، الگوریتم پردازش تصویر به منظور تعیین درصد شکستگی برنج در نرم‌افزار (Matlab) کدنویسی و ارزیابی شد. نتایج ارزیابی الگوریتم نشان داد که دقت آن برای تعیین درصد شکستگی برنج، برابر با ۹۱/۸۱ درصد است (Shaker *et al.* 2015).

بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که بهره‌گیری از فناوری پردازش تصویر دیجیتال به‌منظور تشخیص و اندازه‌گیری متغیرهای کیفی و ظاهری محصولات کشاورزی، روشی کارآمد و دقیق است. به‌کارگیری روش پردازش تصویر در تعیین تعداد گیاهچه‌های چغندرقند، برای اولین بار است که در ایران انجام می شود. در خارج از کشور نیز پیرو بررسی‌های انجام شده، مقاله‌ای در این خصوص ارائه نشده است.

هدف از انجام این پژوهش، ارائه یک روش مبتنی بر پردازش تصویر برای شمارش سریع و دقیق گیاهچه‌های سبزشده چغندرقند و کدنویسی الگوریتم پردازش تصویر به منظور شمارش گیاهچه‌های سبزشده بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس در مزرعه ایستگاه تحقیقاتی زرقان اجرا شد. برای این منظور از پروژه در حال اجرای بخش تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند تحت عنوان «آزمون تعیین ارزش زراعی ارقام جدید چغندرقند» که شامل ۲۰ رقم بود استفاده گردید. در این پروژه هر رقم در سه ردیف به طول هفت متر و به فاصله ۵۰ سانتی‌متر کاشته شده بود. تصاویر موردنیاز گیاه‌چه‌های چغندرقند، در روز هفتم پس از نخستین آبیاری تهیه شد. برای تصویربرداری از دوربین دیجیتال کونیکا (Konica) که مشخصات فنی آن در جدول ۱ ارائه شده است، استفاده شد. تصویربرداری در روز و بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ و با استفاده از نور محیط انجام گرفت. برای اینکه از یک ارتفاع ثابت، تصویربرداری‌ها انجام شود و لرزش یا خطایی در تصاویر به وجود نیاید، یک چهار پایه فلزی از جنس آلومینیم طراحی و ساخته شد. این چهار پایه به‌گونه‌ای طراحی شد که از سه قطعه مجزا تشکیل شود و به‌راحتی قابل نصب و حمل و نقل باشد (شکل ۱).

جدول ۱ مشخصات فنی دوربین دیجیتال مورد استفاده برای تصویربرداری

نوع دوربین	کارخانه سازنده	مدل دوربین	کشور سازنده	وضوح تصویر
دیجیتال	کونیکا	A200	ژاپن	هشت مگا پیکسل

شکل ۱ سه قطعه مجزای چهار پایه فلزی

دوربین دیجیتال به‌نحوی در وسط چهارپایه نصب شد که لنز دوربین به طرف زمین باشد و به‌راحتی تنظیمات و تصاویر موردنظر تهیه شود (شکل ۲). از هر رقم چغندرقند در ردیف میانی، سه تصویر به‌عنوان سه تکرار تهیه شد. قبل از تصویربرداری در مزرعه، ابتدا آزمایشی بر روی دوربین انجام شد تا مناسب‌ترین فاصله کانونی لنز به‌دست آید. بدین منظور در حالی که دوربین روی چهار پایه نصب شده بود و لنز آن به‌طرف پایین قرار داشت، با تغییر فاصله کانونی لنز تعدادی تصویر تهیه شد. این فاصله‌ها شامل اعداد ۲۸ ، ۳۵ ، ۵۰ ، ۱۰۰ ، ۱۵۰ و ۲۰۰ بود که روی لنز دوربین قابل انتخاب بود. در این آزمایش مناسب‌ترین فاصله کانونی لنز دوربین، عدد ۵۰ به‌دست آمد که علاوه‌بر وضوح تصویر، پایه‌های مربوط به چهارپایه فلزی نیز در تصویر وجود نداشت. در این حالت با استفاده از یک شاخص چوبی به‌طول ۵۰ سانتی‌متر و یک متر نواری، طول تصویر اندازه‌گیری شد که حدود ۶۶ سانتی‌متر بود.

شکل ۲ نصب دوربین دیجیتال بر روی چهارپایه

پس از تعیین مناسب‌ترین فاصله کانونی لنز دوربین، تصاویر موردنیاز از گیاهچه‌های چغندرقند در مزرعه تهیه شد. این تصاویر به محیط نرم‌افزار (Matlab R2013) منتقل شد و با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و توابع موجود در نرم‌افزار، الگوریتم شمارش و تعیین تعداد گیاهچه‌های چغندرقند در یک طول ثابت، کدنویسی و ارائه شد. بررسی‌های انجام شده در مزرعه نشان داد که برگ گیاهچه‌های چغندرقند پس از بیرون آمدن از خاک، بسته به‌میزان تراکم کشت، از نظر هم‌پوشانی دارای سه حالت بودند. در حالت اول گیاهچه‌ها از یکدیگر فاصله داشتند. در حال دوم گیاهچه‌ها فقط با یکدیگر تماس داشته و هیچگونه هم‌پوشانی نسبت به هم نداشتند. در حالت سوم به‌دلیل تراکم کشت زیاد، گیاهچه‌ها نسبت به یکدیگر هم‌پوشانی داشته و تفکیک و شمارش آنها با این روش بسیار مشکل بود (شکل ۳). الگوریتم ارائه شده، مربوط به حالت‌های اول و دوم است. توضیحات لازم در مورد الگوریتم در قسمت نتایج و بحث ارائه شده است.

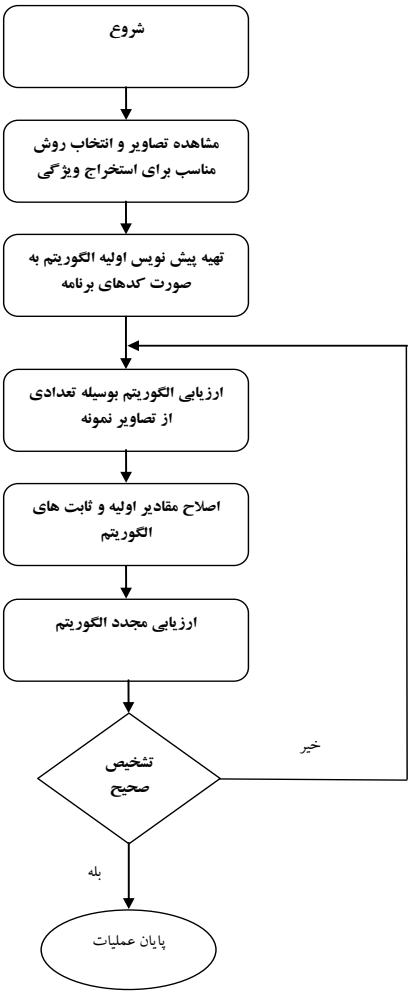
شکل ۳ تصویر گیاهچه‌های چغندرقند در حالتی که نسبت به یکدیگر هم‌پوشانی دارند

به طورکلی الگوریتم پردازش تصویر شامل توابع و عملگرهایی است که مشخصه‌های ویژه‌ای از تصویر را استخراج نموده و مبنای تصمیم‌گیری قرار می‌دهد. این مشخصه‌ها با استفاده از داده‌های هر پیکسل از تصویر دیجیتال به‌دست می‌آید. در ابتدا با انجام پیش‌پردازش و بهینه‌سازی تصویر و حذف ناخالصی‌ها و مواد خارجی، گیاهچه‌ها از زمینه اصلی تفکیک شد و برای انجام پردازش نهایی و استخراج شاخص‌های

کیفی مورد ظر آماده شد. مراحل عملکرد الگوریتم پردازش تصویر در شکل چهار نشان داده شده است (Heidari 2012).

هدف از طراحی این الگوریتم، تشخیص شاخص تعیین کننده تعداد گیاهچه‌های چغندرقند با استفاده از تصاویر ثبت شده از مزرعه بود. در این تحقیق، برای تهیه الگوریتم پردازش تصویر از جعبه ابزار مربوطه در نرم‌افزار متلب (Matlab) استفاده شد. این الگوریتم با تشخیص ویژگی رنگ گیاهچه‌های چغندرقند و تمایز آنها از پس‌زمینه، گیاهچه‌ها را تشخیص داده و آنها را از پس‌زمینه جدا می‌نماید. با به‌کارگیری این الگوریتم، تصویر اصلی به سه بخش مجزا یعنی پس‌زمینه، مواد خارجی و گیاهچه‌ها تفکیک می‌گردند. در پایان بر اساس ویژگی استخراج شده از تصاویر، گیاهچه‌ها را تشخیص و تعداد آنها را شمارش و ارائه می‌دهد.

برای ارزیابی الگوریتم، در مزرعه در یک طول ثابت، تعداد واقعی گیاهچه‌های سبز شده به‌صورت چشمی با دقت شمارش شد. سپس با تصویربرداری از همان طول و اجرای الگوریتم، تعداد گیاهچه‌ها تعیین و با تعداد واقعی در ۱۰ تکرار مقایسه شد. پس از آن خطا و دقت الگوریتم بر حسب درصد محاسبه شد. داده‌ها با استفاده از آزمون مقایسه‌ای تی ـ استیودنت (T-student) زوجی از نظر آماری مورد بررسی قرار گرفت.



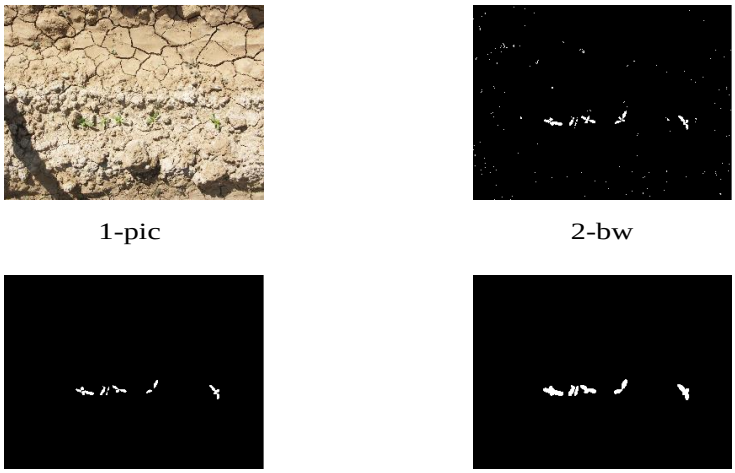
شکل ۴ مراحل طراحی الگوریتم پردازش تصویر

نتایج و بحث

با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و توابع موجود در نرم‌افزار، الگوریتم شمارش و تعیین تعداد گیاه‌چه‌های چغندرقند به‌شرح زیر کدنویسی و ارائه شد. همان‌گونه که اشاره شد این الگوریتم برای حالتی که گیاه‌چه‌ها از یکدیگر فاصله داشته و هم‌چنین حالتی که فقط با یکدیگر تماس داشته باشند کاربرد دارد.

```
1- pic=imread('Picture 1.jpg');
2- pic=im2double(pic);
3- red=pic(:,:,1);
4- green=pic(:,:,2);
5- blue=pic(:,:,3);
6- EXG=2*green-red-blue;
7- bw=im2bw(EXG,.2);
8- subplot(2,2,1)
9- imshow(pic);
10- subplot(2,2,2)
11- imshow(bw);
12- p3=bwareaopen(bw,1400);
13- se = strel('disk',10);
14- p4=imdilate(p3,se);
15- subplot(2,2,3)
16- imshow(p3)
17- subplot(2,2,4)
18- imshow(p4)
19- [l,count]=bwlabel(p4);
20- count
```

مراحل مختلف اجرای الگوریتم در شکل ۵ نشان داده شده است. در مرحله یک تصویر رنگی اولیه که گیاه‌چه‌های چغندرقند در آن مشخص است، نشان داده شده است. در مرحله دو تصویر باینری یا سیاه و سفید تصویر اولیه با ضریب ۰/۲ به نمایش درآمده است. در مرحله سه، تصویر باینری با حذف نقاط ریز تصویر که به صورت دانه‌های سفید هستند، نشان داده شده است. در مرحله چهار که آخرین مرحله اجرای الگوریتم است، عنصر سازه طراحی شده بر روی تصویر اعمال شده و افزایش دهنده همسایگی اتفاق افتاده است. در پردازش تصویر، زمانی‌که یک سازه تعریف می‌شود و بر روی پیکسل‌های تصویر اعمال می‌گردد، بدین معنی است که هر پیکسلی که در تصویر اصلی وجود دارد، مرکز ثقل سازه بر روی آن قرار می‌گیرد و سازه در آنجا کپی می‌شود. افزایش دهنده همسایگی در تصویر باعث می‌گردد که اشیاء درون تصویر درشت‌تر و پر رنگ‌تر دیده شوند. مدت زمان اجرای الگوریتم حدود ۱/۶۷ ثانیه بود.



شکل ۵ مراحل مختلف اجرای الگوریتم برای شمارش گیاه‌چه‌های چغندرقند

همان‌طور که از داده‌های جدول دو مشـــخص اســـت، خطای الگوریتم برابر با ۹/۶۸ درصـــد و دقت آن برابر با ۹۰/۳۲ در صد بود. به‌منظور برر سی آماری داده‌های جدول ۲، از آزمون مقایسه‌ای تی ـ استیودنت (T-student) زوجی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲ تعداد واقعی گیاه‌چه‌ها و تعداد آنها با استفاده از الگوریتم و درصد دقت الگوریتم

شماره تصویر	تعداد واقعی گیاه‌چه در تصویر	تعداد گیاه‌چه با استفاده از الگوریتم	خطای الگوریتم (درصد)	دقت الگوریتم (درصد)
۱	۶	۶	۰	۱۰۰
۲	۸	۶	۲۵	۷۵
۳	۸	۹	۱۲/۵	۸۷/۵
۴	۵	۵	۰	۱۰۰
۵	۵	۴	۲۰	۸۰
۶	۴	۴	۰	۱۰۰
۷	۷	۶	۱۴/۲۸	۸۵/۷۲
۸	۳	۳	۰	۱۰۰
۹	۳	۳	۰	۱۰۰
۱۰	۴	۵	۲۵	۷۵
	میانگین		۹/۶۸	۹۰/۳۲

جدول ۳ نتایج آزمون مقایسه‌ای تی ـ استیودنت (T-student) زوجی

منابع تغییر	تفاوت جفتی			آماره	درجه آزادی	معنی داری
	میانگین	انحراف معیار	میانگین خطای استاندارد	t		
تیمار (تعداد واقعی و تعداد مشاهده شده)	-۰/۲	۰/۹۱۹	۰/۲۹۰	-۰/۶۸۸	۹	۰/۵۰۹^{ns}

همان‌طور که از جدول سه مشخص است، بین تعداد واقعی گیاه‌چه‌ها و تعداد مشاهده شده توسط الگوریتم، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد وجود ندارد. بنابراین می‌توان به جای شمارش تعداد گیاه‌چه‌ها، با تصویربرداری و به‌کارگیری الگوریتم این عمل را با دقت ۹۰/۳۲ درصد انجام داد.

لازم به ذکر است که شمارش تعداد گیاه‌چه‌ها برای ارقام مختلف چغندرقند به‌طور جداگانه انجام شد، ولی از آنجا که در این روش، شمارش گیاه‌چه‌ها بر اساس تبدیل تصویر به باینری (سیاه و سفید) انجام شد، و تمامی ارقام نیز از وضعیت مرفولوژیک و رنگ گیاه‌چه یکسانی برخوردار بودند، لذا هیچ‌گونه تفاوتی مشاهده نشد و نوع رقم در مقایسات جایگاهی پیدا نکرد. بنابراین ارقام مختلف چغندرقند در اجرای الگوریتم و دقت آن تأثیری نداشت.

در تحقیق حاضر میانگین دقت اجرای الگوریتم ۹۰/۳۲درصد به‌دست آمد و از روی رنگ سبز گیاه‌چه‌ها تفکیک آنها از زمینه صورت گرفت و شمارش شد. مشابه همین نتیجه توسط لیو و همکاران (Liu *et al*. 2016) نیز به‌دست آمد و آنها میانگین دقت الگوریتم را ۸۹/۹۴ درصد اعلام کردند. آنها

هم‌چنین اعلام نمودند که دقت ارزیابی‌ها تحت تأثیر رقم قرار نگرفت که نتایج تحقیق حاضر نیز آن را تأیید نمود.

در تحقیق لورستوت و پورن پانومچای (Lurstwut and Pornpanomchai 2016) نیز دقت روش استفاده از ماشین‌بینایی بر روی جوانه‌زنی شش رقم برنج ۹۳/۰۶ درصد و سرعت به‌کارگیری این روش ۸/۳۱ ثانیه برای هر تصویر اعلام شد. هم‌چنین در تحقیق جنو و کستر (Geneve and Kester 2001) مشخص شد که تفاوت آماری بین روش تجزیه و تحلیل تصاویر دیجیتال با کمک کامپیوتر با اندازه‌گیری چشمی وجود ندارد که مشابه همین نتیجه در تحقیق حاضر به‌دست آمد و تفاوت استفاده از اجرای الگوریتم و روش شمارش چشمی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نشد.

جمع‌بندی نتایج و بررسی‌های انجام شده در مزرعه نشان داد که برگ گیاهچه‌های چغندرقند پس از بیرون آمدن از خاک، بسته به‌میزان تراکم کشت، از نظر هم‌پوشانی دارای سه حالت بودند. در حالت اول گیاهچه‌ها از یکدیگر فاصله داشتند. در حال دوم گیاهچه‌ها فقط با یکدیگر تماس داشته و در حالت سوم به دلیل تراکم کشت زیاد، گیاهچه‌ها نسبت به یکدیگر هم‌پوشانی داشته و تفکیک و شمارش آنها با این روش بسیار مشکل بود. الگوریتم ارائه شده، مربوط به حالت‌های اول و دوم بود. دقت الگوریتم ۹۰/۳۲ درصد و مدت زمان اجرای آن حدود ۱/۶۷ ثانیه بود. هم‌چنین ارقام مختلف چغندرقند در اجرای الگوریتم و دقت آن تأثیری نداشت.

پیشنهاد می‌شود که فاصله کاشت بین بذور در روی یک ردیف، بین پنج تا شش سانتی‌متر باشد. با رعایت این موضوع، در هفته اول بعد از اولین آبیاری، بین گیاهچه‌های سبزشده هم‌پوشانی ایجاد نمی‌شود و به‌راحتی با به‌کارگیری الگوریتم قابل شمارش هستند و هم‌چنین تا مدت زمان بیشتری (تا پیش از هم‌پوشانی گیاهچه‌ها) می‌توان از این تکنیک جهت پایش سریع و دقیق گیاهچه‌های سبز شده ا ستفاده نمود. این نتیجه به‌عنوان توصیه‌ای برای اجرای پروژه‌های مقایسه ارقام چغندرقند بسیار حائز اهمیت است و می‌توان به‌عنوان یک شاخص سریع و دقیق در ارزیابی ارقام از آن استفاده نمود.

منابع مورد استفاده: References:

Alharbi N, Zhou J, Wang W. Automatic Counting of Wheat Spikes from Wheat Growth Images. Proceedings of the 7th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods; 2018.

Bairwa N, Agrawal N, Gupta S. Development of counting algorithm for overlapped agricultural products. International Journal of Computer Application. 2014; 16–19.

Brunes AP, Araújo AS, Dias LW, Villela FA, Aumonde TZ. Seedling length in wheat determined by image processing using mathematical tools. Revista Ciência Agronômica. 2016; 47(2): 374-379.

Ducournau S, Feutry A, Plainchault P, Revollon P, Vigouroux B, Wagner MH. An image acquisition system for automated monitoring of the germination rate of sunflower seeds. Computers and Electronics in Agriculture. 2004; 44(3): 189–202.

Geneve RL, Kester ST. Evaluation of seedling size following germination using computer-aided analysis of digital images from flat-bed scanner. Horticultural Science. 2001; 36: 1117–1120.

Guerin D, Cointault F, Gee F, Guillemin J. Feasibility study of a wheatears counting vision system. Proceedings of the 7th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods. 2004.

Harmsen SR, Koenderink NJJP. Multi-target Tracking for Flower Counting using Adaptive Motion Models. Computers and Electronics in Agriculture. 2009; 65: 7-18.

Heidari AR. Image processing in Matlab, Behavara and Kelk Zarin Publishers, 2012; pp. 228. (in Persian, abstract in English)

Liu T, Wu W, Chen W, Sun C. Automated image-processing for counting seedlings in a wheat field. Precision Agriculture. 2016; 17(4): 392-406.

Lurstwut B, Pornpanomchai C. Application of image processing and computer vision on rice seed germination analysis. International Journal of Applied Engineering Research. 2016; 11: 6800-6807.

Orek H, Abdanan Mehdizadeh S, Saadi M. Predicting sugar beet performance by online image processing. Journal of Sugar Beet. 2019; 34(2): 181-191.

Sako Y, McDonald MB, Fujimura K, Evans AF, Bennett MA. A system for automated seed vigor assessment. Seed Science and Technology. 2001; 29(3): 625-636.

Shaker M, Minaei S, Khoshtaghaza MH, Banakar A, Jafari AA. Utilization of Machine Vision for Performance Improvement and Reduction of Losses in Paddy Husker. Agricultural Mechanization and systems Research. 2015; 16(65): 47-64. (in Persian, abstract in English)

Zhao MJ, Qin SL, Liu Z, Cao J, Yao X, Ye S, Li L. An automatic counting method of maize ear grain based on image processing. Springer International Publishing. 2015; 452: 521–533.