

ارزیابی یکنواختی کاشت نشاء ذرت توسط دستگاه نشاءکار با روش پردازش

تصویر

هادی اورک^۱، سامان آبدانان مهدی زاده^{۱*}، فاطمه کاظمی کرجی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱

گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

*مسئول مکاتبه: saman.abdanan@gmail.com; s.abdanan@asnrukh.ac.ir

چکیده

کشت ذرت به صورت نشاء می‌تواند به عنوان راهکاری برای تولید محصول زودرس، کاهش زمان تولید و نیز صرفه جویی در مصرف آب و نهاده‌های مختلف کشاورزی تلقی شود. لذا هدف از پژوهش حاضر توسعه الگوریتمی به منظور ارزیابی یکنواختی کاشت در نشاءکار با کمک پردازش تصویر در نظر گرفته شد. به منظور تعیین تعداد نشاء، تبدیل‌های مختلفی (سبزی بیش از حد، شاخص اختلاف شدت نرمال شده مقادیر قرمز و سبز و شاخص اختلاف شدت نرمال شده مقادیر آبی و سبز) مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس با اعمال آستانه گذاری به روش اتسو اطلاعات نشاءهای ذرت از پس زمینه جدا گردیدند. نهایتاً با پیاده سازی روش برجسب گذاری فریمن و روش هریس و آنالیز ویژگی‌های نواحی دارای همپوشانی، الگوریتم خودکاری به منظور شمارش نشاءهای ذرت در این نواحی توسعه یافت. بیشترین قدرت تشخیص سامانه در سرعت پنج کیلومتر در ساعت، برابر ۱۰۰ درصد بود. همچنین قدرت تشخیص سامانه در سرعت‌های ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر در ساعت، به ترتیب ۹۹، ۹۸ و ۹۷ درصد مشاهده گردید. نتایج نشان داد سامانه توسعه یافته به خوبی و تنها با خطای حدود سه درصد، با صحت بیش از ۹۷ درصد قادر است در تمامی سرعت‌ها نشاءهای کشت شده را شمارش نماید. الگوریتم توسعه یافته در سرعت‌های ۵، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر بر ساعت به صورت برخط مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج به دست آمده بهترین یکنواختی و تک نشاءکاری توسط دستگاه نشاءکار در سرعت ۵ کیلومتر بر ساعت با درصد کشت درست ۹۷ درصد و بیشترین درصد کشت نادرست در سرعت ۱۲ کیلومتر بر ساعت و برابر ۲۱ درصد به دست آمد. بنابراین، بر اساس مطالعه حاضر، با توجه به صحت بدست آمده، الگوریتم توسعه یافته نه تنها برای شمارش تعداد نشاءهای ذرت در مزرعه بلکه برای ارزیابی یکنواختی کاشت دستگاه‌های کشت نشاء نیز قابل استفاده می‌باشد.

کلید واژه: پردازش تصویر، دوربین دیجیتال، شمارش نشاء، نقشه کاشت

Assessment of Uniformity of Corn Seedling Planting in Transplanter Using Image Processing

Received: 28 Jan 2022

Accepted: 23 July 2022

Hadi Orak¹, Saman Abdanan Mehdizadeh^{1*}, Fateme Kazemi Karaji¹

¹Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

*Correspond Author: saman.abdanan@gmail.com; s.abdanan@asnrukh.ac.ir

Abstract

Cultivation of corn in seedling form could be considered as a way to produce an early maturing crop, to shorten production time and also save water and agricultural inputs. Therefore, the aim of the present study was developing an algorithm for evaluation of the planting uniformity in transplanting using image processing. In order to determine the number of seedlings, different transplanting methods (excessive green, green and red normalized difference index and blue and blue normalized difference index) were evaluated. Then, the corn seedlings information was taken out from the circumstantial information using Otsu's method. Finally, by applying Freeman labeling and Harris method and analyzing the characteristic parameters of the overlapping regions of the fields, an automatic counting of corn seedlings in the overlapping regions was established. The maximum detection rate of the system at the speed of 5 km/h was equal to 100%. Also, the detection rate of the system was observed at the speeds of 8, 10 and 12 km/h, 99, 98 and 97%, respectively. The results showed that the developed system with error of about 3 percent, with an accuracy of more than 97% is able to count the cultivated seedlings at the all speeds. The developed algorithm was evaluated online at the speeds of 5, 8, 10 and 12 km/h. According to the obtained results, the best uniformity and single transplanting were achieved at the speed of 5 km/h with an accuracy of 97%. Furthermore, the highest percentage of incorrect planting was obtained 21% at the speed of 12 km/h. Therefore, the study demonstrated that the newly developed algorithm is reliable not only for automatic corn seedlings counting in the corn field, but also for the uniformity evaluation of the transplanter.

Keywords: Digital camera, Image processing, Planting map, Seedling counting,

How to cite:

Orak H, Abdanan Mehdizadeh S, Kazemi Karaji F. (2022). Assessment of Uniformity of Corn Seedling Planting in Transplanter Using Image Processing. Journal of Agricultural Mechanization 7 (1): 23-33.

۱- مقدمه

ذرت از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است که علاوه بر استفاده مستقیم به عنوان غذای انسان‌ها، دام و طیور، در صنایع مختلف برای تولید انرژی نیز کاربرد بسیار دارد (Imam, 2012; Dehghanpour, 2014). طی سال‌های اخیر در اغلب کشورهای جهان سطح زیر کشت، مقدار تولید و مقدار مصرف ذرت به میزان زیادی افزایش یافته به طوری که در ایران رتبه دوم را بعد از گندم از نظر میزان تولید به خود اختصاص داده است (Anonymouse, 2016). لذا نیاز به افزایش عملکرد و سطح زیر کشت ذرت در دنیا به خصوص در کشورهای در حال توسعه روزبه‌روز بیشتر احساس می‌گردد (Heidari et al., 2016).

کشت ذرت به صورت نشاء می‌تواند راهی برای کاهش دوره رشد و نیز صرفه‌جویی در مصرف آب تلقی شود. نشاء کاری نقش مؤثری در بهبود استفاده از نهاده‌هایی مانند بذر و کود در واحد سطح دارد. همچنین کاهش دوره رشد یا کم‌تر شدن زمان تولید گیاه در مزرعه می‌تواند موجب افزایش کارایی استفاده از نهاده‌هایی مانند آب و در نتیجه کاهش هزینه‌های تولید شود. افزایش کارایی در واحد سطح کشت، رسیدن به تراکم مطلوب، کنترل مؤثرتر آفات، بیماری‌های گیاهی و علف‌های هرز، همچنین بالاتر بودن درصد جوانه‌زنی و سبز شدن به دلیل شرایط بهینه محیطی، امکان استفاده از فصل رشد به مدت بیش‌تر، کاشت گیاه در زمین حتی در شرایط نامساعد آب و هوایی و بالابردن عملکرد، یکنواختی بیش‌تر در محصول از دیگر مزایای کشت گیاهان به روش نشاء کاری است (Vantine & Verlinden, 2003; Cao et al., 2011). نشاء کاری ذرت می‌تواند سبب افزایش سطح بازدهی و عملکرد محصول نسبت به کشت بذر شود. این مسئله به‌ویژه زمانی که گیاهان در مرحله سبز شدن و استقرار که در معرض خسارت پرندگان هستند بیش‌تر مشهود است (Fanadzo et al., 2010).

عملکرد و کیفیت نشاء تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، محیطی و روش‌های کشت قرار می‌گیرد. در میان روش‌های مختلف کشت، تراکم کاشت و میزان نیتروژن بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد و کیفیت گیاه دارند (Xue et al., 2014) از آنجایی که یکنواختی در تراکم نشاء باعث افزایش رشد می‌شود، انتخاب روش‌های کشت مناسب در مرحله پایانی عمدتاً بر اساس تراکم نشاء است، بنابراین تعیین دقیق و به‌موقع تراکم نشاء برای مدیریت محصول بسیار حائز اهمیت است (Dhupal & Sahu, 2020) در حال حاضر، شمارش تراکم نشاء توسط مزرعه‌دار به صورت دستی و مشاهده مزرعه صورت می‌پذیرد که کاری پر زحمت و نادرست است. لذا نیاز به روش‌های جایگزین به منظور تعیین تراکم و صحت کاشت دستگاه نشاء‌کار و بذراکار از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. از میان روش‌های جایگزین، روش پردازش تصاویر دیجیتال در کشاورزی به‌طور گسترده‌ای مورد بهره‌برداری قرار گرفته است که

استفاده از این روش، سبب کاهش کارهای خسته کننده، طولانی و تکراری شده است (Mallick et al., 2020). در پژوهشی Abdanan (2016) Mehdi Zare & Abdullah به بررسی عملکرد کارنده نیوماتیکی بر اساس پردازش فیلم و فیلتر کالمن پرداختند. در این پژوهش یک مدل حرکتی با استفاده از فیلتر کالمن برای ردیابی ساخته و رفتارهای بذور ترسیم گردید و بر اساس تجزیه و تحلیل رفتارهای سقوط بذر، مشخص شد که رابطه نزدیکی بین رفتارهای سقوط بذر و یکنواختی کاشت وجود دارد. در پژوهشی Abdolazare (2018a) Abdanan Mehdi Zare & از روش پردازش تصویر و برنامه‌نویسی الگوریتم ژنتیک به منظور مدل‌سازی ریاضی غیرخطی یکنواختی فاصله بذر در یک دستگاه کارنده نیوماتیکی استفاده شد. بر اساس نتایج مشخص گردید که مدل به دست آمده از روش برنامه‌نویسی الگوریتم ژنتیک قادر است فاصله بذر از یکدیگر را با خطای سه سانتی‌متر پیش‌بینی نماید. Onal et al. (2012) دقت فاصله کاشت یک نوع دقیق کار مکشی را به کمک پردازش تصاویر دیجیتال به دو روش تئوری و آزمایشگاهی برای بذر پنبه و ذرت مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بهترین یکنواختی کاشت برای بذر پنبه در سرعت پیش‌روی یک متر بر ثانیه و فاصله کاشت ۰/۰۵ متر و برای بذر ذرت نیز به ترتیب یک و نیم متر بر ثانیه و یک‌دهم متر بودند. در پژوهشی Lin et al. (2020) از شبکه عصبی کانولوشن^۱ (CNN) برای شناسایی و مکان‌یابی نشاء‌های برنج از تصاویر مزرعه استفاده کردند. با توجه به نتایج آزمایش، الگوریتم مبتنی بر شبکه عصبی کانولوشنال در مقایسه با یک الگوریتم کلاسیک ۶۲٪ خطای کمتری برای فاصله جانبی و ۵۷٪ خطای کمتر برای زاویه قرارگیری خطوط کشت داشت.

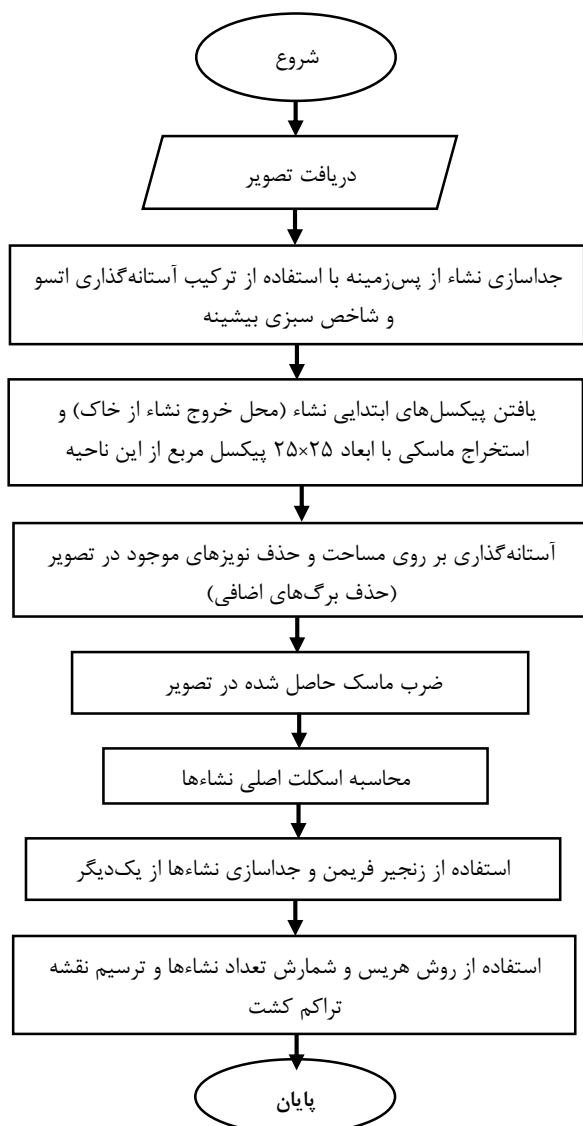
بررسی منابع پیشین نشان داد که مشکل‌ترین بخش شمارش اشیاء به‌طور خودکار با استفاده از پردازش تصویر دیجیتال، استخراج اشیاء از پس‌زمینه و جداسازی اشیاء دارای هم‌پوشانی است. Gai et al. (2020) یک سامانه بینایی ماشین برای تشخیص گیاهان زراعی در مراحل مختلف رشد برای کنترل رباتیک علف‌های هرز توسعه دادند.

Shrestha & Steward (2003) از سطح تصمیم‌گیری بیضوی منقطع^۲ برای تقسیم و شناسایی گیاهان بهره گرفتند. در پژوهشی دیگر Zhang et al. (2016) به شناسایی برگ‌ها به صورت جداگانه بر اساس اسکلت با استفاده از ویژگی‌های روشنایی و اسکلت برای تشخیص و جداسازی برگ‌ها بود. الگوریتم پیشنهادی می‌توانست توزیع برگ را با استفاده از شناسایی تعداد پیکسل‌ها در جهت خاص محاسبه کند. اما الگوریتم‌های توسعه یافته اغلب زمان‌بر بوده و قابلیت پیاده‌سازی به صورت برخط در محیط‌های پیچیده را نداشتند. در این راستا به منظور افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و کاهش مصرف نهاده‌های مصرفی مانند کود و بذر، پایش پیوسته ماشین‌های کشاورزی به‌ویژه ماشین‌های کاشت بسیار حائز اهمیت هستند. لازم به ذکر است که یکی از مهم‌ترین

^۲ - Truncated ellipsoidal decision surface

^۱ - Convolutional Neural Network

و شمارش آن‌ها از زنجیر فریمین و روش هریس استفاده گردید. در نهایت پس از جداسازی نشاء‌ها تعداد نشاء‌های کشت شده شمارش و نقشه تراکم کشت ترسیم گردید. الگوریتم پردازش تصویر به تفصیل در بخش بعد ارائه شده است.



شکل ۲- فلوچارت الگوریتم پردازش تصویر به منظور شمارش تعداد نشاء در محیط‌های دارای همپوشانی

Fig 2. Flowchart of image processing algorithm to count the number of seedlings in overlapping environments

۲-۲-۱- سامانه دریافت تصویر

به منظور تصویربرداری از نشاء‌های کشت شده و بررسی عملکرد دستگاه نشاء‌کار از یک دوربین دیجیتال (لاجیتک، مدل c930e HD، تایوان) با وضوح پنج مگاپیکسل استفاده گردید. دریافت تصویر در شرایط نوری محیطی به انضمام منابع نوری کمکی (نوار ال ای دی تکنوتل مدل

معیارهای ارزیابی عملکرد کارنده‌ها، یکنواختی فاصله بین گیاهان است. لذا هدف از پژوهش حاضر توسعه الگوریتمی به منظور ارزیابی یکنواختی کاشت در نشاء‌کار به صورت پیوسته با کمک پردازش تصویر در نظر گرفته شد.

۱- مواد و روش‌ها

۱-۲- خصوصیات نشاء و نشاء‌کار مورد استفاده

برای تولید نشاء از بذر AGN720 استفاده شد. بدین منظور بذرها به مدت یک ماه در گلخانه در دزفول نگهداری و آبیاری توسط بوم آبیاری در پنج مرحله صورت پذیرفت. برای رشد بذرها سه مرحله ریزمغذی NpK (چهار لیتر در هکتار) و دو مرحله ریزمغذی هیومیک (دو لیتر در هکتار) به صورت سرک استفاده شد. عملیات کاشت نشاء توسط دستگاه دو ردیفه کشت نشاء اسپاپری^۱ (شکل ۱) با مشخصات اتصال از نوع سوار، فاصله نشاء روی ردیف ۱۱-۱۶۲ سانتی‌متر، عرض کار ۲۰۰ سانتی‌متر، عمق کار پنج سانتی‌متر، قدرت مورد نیاز ۳۰ اسب بخار و وزن کل ۳۴۰ کیلوگرم انجام پذیرفت.



شکل ۱- دستگاه نشاء‌کار اسپاپری مورد استفاده در پژوهش حاضر

Fig 1. Spapperi transplanter machine

۲-۲-۲- پردازش تصویر

فلوچارت الگوریتم پردازش تصویر در شکل ۲ آمده است. بر این اساس پس از دریافت تصویر با استفاده از ترکیب آستانه‌گذاری اتسو و شاخص سبزی بیشینه نشاء‌های موجود در تصویر از پس‌زمینه جدا شدند. به منظور حذف برگ‌های اضافی، پیکسل‌های ابتدایی نشاء‌ها (محل خروج نشاء از خاک) تعیین شدند. در مرحله بعد، خروجی ساقه از خاک به عنوان مبدأ مختصات در نظر گرفته شد و از این نقطه ماسکی با ابعاد ۲۵×۲۵ پیکسل مربع ترسیم و در تصویر باینری ضرب گردید. سپس نویزهای موجود در تصویر با آستانه‌گذاری بر روی مساحت حذف شدند. در این مرحله تصویر حاصل شده تصویر قسمت اصلی گیاه بدون برگ-های اضافی است. در مرحله بعد اسکلت تصویر محاسبه گردید. تصویر حاصل شده ممکن است ترکیب چند اسکلت از نشاء‌های دارای همپوشانی باشد. بنابراین، به منظور جداسازی اسکلت نشاء‌ها از یک‌دیگر

^۱ - Spapperi

NDI_{gr} و g و b به ترتیب کانال‌های رنگی قرمز، سبز و آبی هستند، شاخص اختلاف شدت نرمال شده مقادیر قرمز و سبز و شاخص اختلاف شدت نرمال شده مقادیر آبی و سبز هستند. پس از اعمال آستانه‌گذاری نویزها و حفره‌هایی در تصاویر حاصل شدند که با استفاده از به ترتیب با عملگرهای باز نمودن و بستن^۵ این مشکل‌ها برطرف شدند (Zhang et al., 2016).



شکل ۴- جداسازی نشاء از پس‌زمینه: الف) تصویر اصلی، ب) اعمال تبدیل سبزی بیش‌ازحد، پ) اعمال تبدیل اختلاف شدت نرمال شده مقادیر قرمز و سبز، ت) اعمال تبدیل اختلاف شدت نرمال شده مقادیر آبی و سبز

Fig 4. Separation of seedlings from the background:
a) main image, b) apply excessive vegetable conversion, c) apply normalized intensity difference conversion of red and green values, d) apply normalized intensity difference conversion of blue and green values

۲-۲-۳- تجزیه و تحلیل نشاءها در مناطق هم‌پوشانی

از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی دستگاه‌های کشت نشاء، بررسی تعداد نشاءهای کشت شده در سطح مشخصی از مزرعه است. در صورت خرابی دستگاه، بی‌توجهی کاربر و غیره، ممکن است چندین نشاء در یک ناحیه کشت شوند. نشاءهای کشت شده در یک مکان به دلیل نحوه قرارگیری، تعداد نشاءها و دیگر عوامل، حالت‌ها و الگوهای متفاوتی را به وجود می‌آورند. بنابراین استفاده از الگوریتم‌های بخش‌بندی به دلیل تماس داشتن نشاءها با یک‌دیگر امکان‌پذیر نخواهد بود. در این پژوهش روشی به منظور شمارش تعداد نشاء دارای ناحیه هم‌پوشانی (چند نشاء در یک مکان) ارائه شد. از دیگر عوامل ایجاد خطا در شمارش تعداد نشاء ذرت چند برگی بودن این نشاءها است. در این روش ابتدا نشاء از پس‌زمینه جدا گردید (شکل ۴-ب)، سپس پیکسل‌های ابتدایی نشاءها

(۲۸۳۵) به منظور حذف سایه‌های احتمالی و نور پردازش یکنواخت صورت پذیرفت. فاصله لنز دوربین تا نمونه ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (شکل ۳) تا از ناحیه هدف پوشش‌دهی کاملی داشته باشد. تصاویر توسط وبکم در دو حالت ایستا و برخط در شرایط مزرعه‌ای دریافت گردید. تصاویر دریافت شده در حالت ایستا به منظور به دست آوردن پارامترهای اولیه (یافتن مناسب‌ترین مقدار آستانه‌گذاری) و پیاده‌سازی الگوریتم پردازش تصویر استفاده گردید. تصویر برداری در ساعات قبل از ظهر و با شرایط آب و هوایی آفتابی (آسمان بدون ابر) صورت پذیرفت.



شکل ۳- محل و چگونگی قرارگیری سامانه اخذ تصویر (دوربین و سامانه نور پردازی) در نشاءکار به منظور دریافت تصاویر هنگام عملیات کاشت

Fig 3. Location of the image capture system (camera and lighting system) on the transplanter to receive images during the planting operation

۲-۲-۲- تجزیه و تحلیل شاخص‌های پوشش گیاهی

به منظور بررسی عملکرد نشاءکار در عملیات کشت می‌بایست پس از دریافت تصویر (شکل ۴-الف)، نشاءها به خوبی از پس‌زمینه جدا گردند. تبدیل‌های سبزی بیش‌ازحد^۱ (شکل ۴-ب)، شاخص اختلاف شدت نرمال شده مقادیر قرمز و سبز^۲ (شکل ۴-پ) و شاخص اختلاف شدت نرمال شده مقادیر آبی و سبز^۳ (شکل ۴-ت) به این منظور مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور اعمال هر یک از این تبدیل‌ها به ترتیب از روابط ۱ تا ۳ استفاده گردید (Meyer and Neto, 2008; Liu et al., 2016)؛ از بین تبدیل‌های مورد مطالعه شاخص سبزی بیش‌ازحد با توجه به جداسازی کامل نشاء عملکردی بهتری نسبت به دیگر شاخص‌ها در جداسازی نشاء از پس‌زمینه داشت.

$$EXG = \begin{cases} 2g-r-b & 2g > r+b \\ 255 & 2g-r-b > 1 \\ 0 & 2g-r-b < 0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$NDI_{gr} = \frac{g-r}{g+r} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$NDI_{gb} = \frac{g-b}{g+b} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این پژوهش از ترکیب آستانه‌گذاری اتسو^۴ و تبدیل سبزی بیش‌ازحد برای جداسازی نشاءها از خاک استفاده شد. در روابط ۱ تا ۳،

^۵- Closing and Opening

^۱- EXG

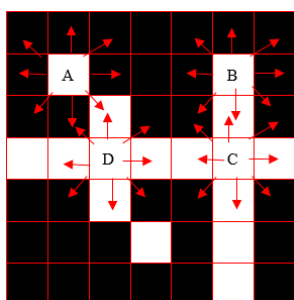
^۲- NDI_{gr}

^۳- NDI_{gb}

^۴- Otsu

اسکلت در نشاءهای دارای هم‌پوشانی با استفاده از روش هریس

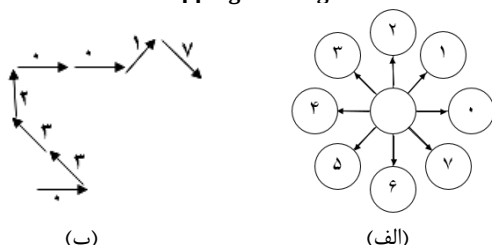
پس از به‌دست آوردن اسکلت تصویر، طبق روش پیشنهادی هریس^۲ اگر تنها یک پیکسل در تمام ۸ جهت بردار وجود داشته باشد (شکل ۶، نقاط A و B)، این نقاط به‌عنوان نقاط ابتدایی و انتهایی شی (نشاء) تعریف می‌شوند. از طرف دیگر، اگر سه یا چهار پیکسل در هشت جهت بردار وجود داشت، این نقاط به‌عنوان نقاط اتصال (نقاط مشترک) نشاءها در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۶، نقاط C و D). لذا با استفاده از روش هریس می‌توان به‌خوبی نقاط ابتدایی، انتهایی و مشترک اسکلت نشاءهای موجود در تصویر را محاسبه کرد، اما در این روش نمی‌توان پیکسل‌های مشترک نشاءها را از یک‌دیگر تفکیک نمود. بنابراین، نیازمند روشی تکمیل‌کننده برای تعیین پیکسل‌های مربوط به هر نشاء هست (Pan et al., 2021) برچسب‌گذاری پیکسل‌ها با استفاده از روش زنجیره فریم (Freeman) به‌منظور تشخیص نشاءهای دارای هم‌پوشانی از روش زنجیره فریم (Zhang et al., 2020) استفاده گردید. در این روش تکه‌های اسکلت در نواحی دارای هم‌پوشانی در ۸ جهت برچسب‌گذاری شدند (شکل ۷-الف). برچسب‌گذاری از نقاط ابتدایی گیاه (محل رویش گیاه) شروع و تا نقاط انتهایی آن (قسمت فوقانی گیاه) ادامه پیدا می‌نمود (شکل ۷-ب).



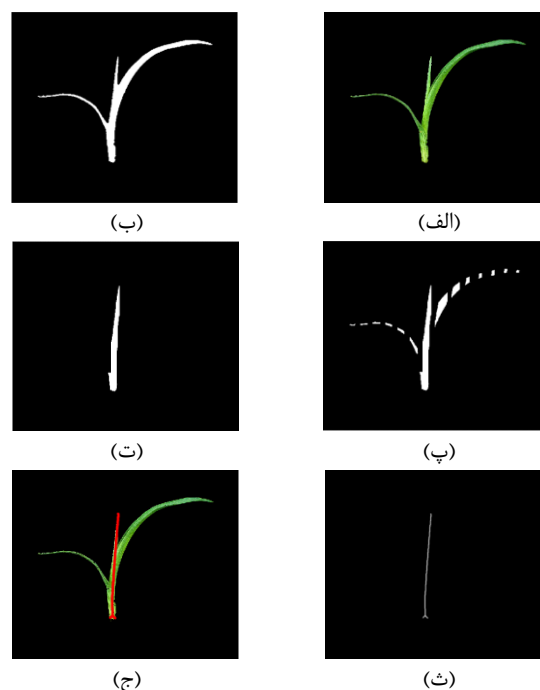
شکل ۶- شماتیک روش هریس به‌منظور جست‌وجوی نقاط ابتدایی،

انتهایی و مشترک اسکلت در نشاءهای دارای هم‌پوشانی

Fig 6. Schematic of Harris method for searching the beginning, end and common points of the skeleton in overlapping seedlings



(محل خروج نشاء از خاک) تعیین گردیدند. در مرحله بعد، خروجی ساقه از خاک به‌عنوان مبدأ مختصات در نظر گرفته شد و از این نقطه به دو انتهای چارچوب تصویر ماسکی با ابعاد ۲۵×۲۵ پیکسل مربع (تمامی المان‌های موجود در تصویر صفر می‌باشند) در تصویر باینری ضرب گردید (شکل ۵-پ). پس از آن نویزهای موجود در تصویر، با اجرای فرآیند گشودگی بر روی مساحت^۱ به ابعاد ۱۸ پیکسل حذف (شکل ۵-ت) و در مرحله آخر اسکلت تصویر حاصل شده استخراج گردید (شکل ۵-ث و ۵-ج). شایان‌ذکر است اعداد گزارش شده در این بخش به روش سعی و خطا در مرحله کاشت نشاء ذرت در خاک به‌دست آمده‌اند. این اعداد به‌وضوح دوربین استفاده شده، اندازه تقریبی بزرگ‌ترین نویز احتمالی در تصویر و اندازه کوچک‌ترین نشاء قابل کشت بستگی دارد. مقدار آستانه‌گذاری می‌بایست از تعداد پیکسل‌های بزرگ‌ترین نویز احتمالی بزرگ‌تر و از تعداد پیکسل‌های کوچک‌ترین نشاء قابل کشت در تصویر کوچک‌تر باشد. البته در الگوریتم توسعه یافته این اعداد به‌راحتی برای محصولات مختلف قابلیت تغییر را دارند.



شکل ۵- روند تشخیص ساقه اصلی نشاء ذرت: (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر باینری، (پ) ضرب ماسک در تصویر باینری، (ت) حذف نویزها، (ث) مرحله اول استخراج اسکلت، (ج) مرحله دوم استخراج اسکلت

Fig 5. The process of recognizing the main stem of corn seedlings: a) the main image, b) binary image, c) multiplication of the mask in the binary image, d) removal of noise, e) the first stage of skeletal extraction, c) the second stage of skeletal extraction

۲-۲-۴- تشخیص نقاط ابتدایی، انتهایی و مشترک

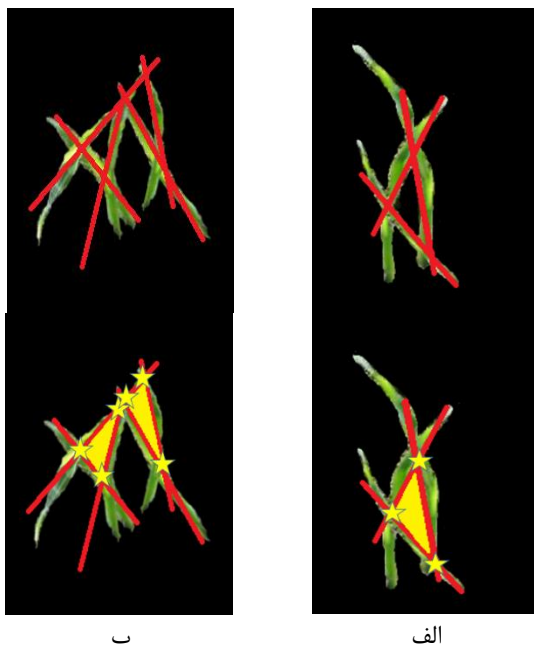
^۲ - Harris

^۱ - Area opening

نشاءها به طور دقیق محاسبه شدند.

$$NS = NCP - NCR + 1 \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در رابطه (۴)، NS تعداد نشاءها، NCP تعداد گوشه‌های نواحی بسته ایجاد شده از برخورد نشاءها باهم در تصویر و NCR تعداد نواحی بسته ایجاد شده توسط نشاءها است. مطابق با شکل ۹-الف تعداد گوشه‌های نواحی بسته ایجاد شده از برخورد نشاءها باهم در تصویر برابر با سه است و تعداد نواحی بسته ایجاد شده توسط نشاءها برابر یک است، در نتیجه با توجه به رابطه ۴ تعداد نشاءها برابر سه می‌شود. همچنین در شکل ۹-ب تعداد نواحی بسته ایجاد شده توسط نشاءها برابر دو است و تعداد گوشه‌های نواحی بسته ایجاد شده از برخورد نشاءها باهم در تصویر برابر شش است در نتیجه مطابق رابطه ۴، تعداد نشاءها برابر پنج می‌شود.



شکل ۹- ارتباط بین تعداد و گوشه‌های فضاهای بسته ایجاد شده توسط نشاءها با تعداد نشاءها (الف) ناحیه بسته ایجاد شده برابر یک (ب) ناحیه بسته ایجاد شده برابر دو

Fig 9. Relationship between the number and angles of closed spaces created by seedlings with the number of seedlings a) The closed area created equal to one b) The closed area created equal to two

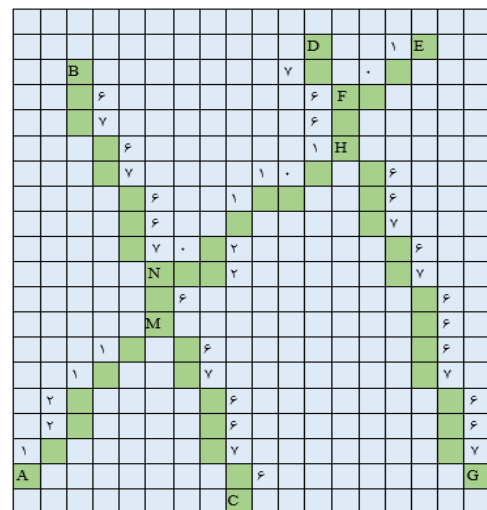
۲-۳- ترسیم نقشه عملکردی دستگاه نشاءکار

نقشه عملکرد دستگاه نشاءکار شامل تعداد نشاءهای کشت شده در طی مسیر کشت است؛ به این صورت که با هر عمل کشت تعداد نشاءها محاسبه و فاصله تقریبی کشت (فاصله بین دو نشاء کشت شده) ثبت می‌گردد. به منظور محاسبه تعداد فریم‌های دریافت شده در هر ثانیه با توجه به سرعت پیش‌روی از رابطه ۵ و فاصله بین دو نشاء از رابطه ۶ استفاده گردید. لذا در برنامه پردازش برخط با توجه به سرعت پیش‌روی

شکل ۷- برچسب‌گذاری پیکسل‌ها بر اساس زنجیر فریمین، الف) برچسب‌گذاری تکه‌های اسکلت در ۸ جهت، ب) برچسب‌گذاری از نقاط ابتدایی تا انتهایی

Fig 7. Labeling of pixels based on Freeman chains, a) Labeling of skeletal pieces in 8 directions, b) Labeling from the beginning to the end

شکل ۸ نمونه از برچسب‌گذاری پیکسل‌ها در نشاءهای دارای هم‌پوشانی بر اساس زنجیره فریمین را نشان می‌دهد. پیکسل‌های A، B، C و D نقاط ابتدایی و انتهایی و M و N نقاط اتصال نشاءها در تصویر را نشان می‌دهند. مقدار میانگین پیکسل‌های برچسب‌گذاری شده تا نقطه اتصال نشاء بر روی یک خط، تعیین کننده جهت آن خط می‌باشند. اگر اختلاف میانگین اعداد به دست آمده برای دو خط در محدوده ۱-۰ قرار بگیرد آن دو خط به هم متصل شده و یک خط کامل (اسکلت یک نشاء) را تشکیل خواهند داد (Jusoh & Zian 2009).



شکل ۸- برچسب‌گذاری پیکسل‌ها در نشاءهای دارای هم‌پوشانی بر اساس زنجیر فریمین به منظور شمارش تعداد نشاء

Fig 8. Labeling of pixels in overlapping seedlings based on Freeman chains to count the number of seedlings

به عنوان مثال مقدار جهت GH در شکل ۸ برابر ۶/۳۳ و برای FD برابر ۶/۵ است. اختلاف مقادیر GH و FD ۰/۱۷ هست که در محدوده ۱-۰ قرار می‌گیرد. بنابراین دو خط در امتداد هم‌دیگر به هم متصل می‌شوند. این محاسبات برای دیگر خطوط نیز انجام شده و نهایتاً نشاءها تشخیص داده می‌شوند. اگر خطی در جستجو نتواند به خط‌های دیگر متصل شود به عنوان خط جداگانه (نشاء مستقل) در نظر گرفته می‌شود. بر اساس روش ارائه شده هر نشاء در ناحیه هم‌پوشانی شده به صورت خطی ساده‌سازی می‌شود. خطوط ایجاد شده بر اساس نحوه قرارگیری نشاءها می‌تواند به صورت چندضلعی نشان داده شوند و یک اسکلت بسته را به وجود آورد (Soille et al., 2003). پس از بررسی چندضلعی‌های بسته (شکل ۹) رابطه‌ای بر اساس تعداد نقاط اتصال و تعداد چندضلعی‌ها طبق رابطه ۴ به دست آمد که از طریق آن تعداد

دریافت تصاویر اتفاق می افتاد.

$$N_i = \frac{V}{I_d} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$D = \frac{I_d}{I_w} \times I_{ws} \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در رابطه های ۵ و ۶ N_i تعداد تصاویر دریافت شده (s^{-1})، V سرعت پیش روی ($m.s^{-1}$)، I_d عرض محدوده تصویربرداری (m)، I_w تعداد پیکسل های عرض تصویر ($pixel$)، I_{ws} مجموع پیکسل های عرضی بین دو نشاء (از محل قرارگیری در زمین) در تصویر ($pixel$) و D فاصله بین دو نشاء (m) است. مطابق رابطه ۶ فاصله بین دو نشاء با استفاده از محدوده تصویربرداری و تعداد فریم های دریافت شده محاسبه گردید؛ در رابطه ۵ تعداد فریم های مورد نیاز برای تصویربرداری با استفاده از جابه جایی تراکتور (سرعت پیش روی) و محدوده تصویربرداری محاسبه گردید. سپس نقشه عملکرد بر اساس فاصله و تعداد نشاء های کشت شده (با استفاده از الگوریتم ارائه شده در این پژوهش) محاسبه و ترسیم شد. ارزیابی الگوریتم توسعه یافته در سرعت های مختلف ۵، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر در ساعت صورت پذیرفت.

محدوده پوشش داده شده در حین تصویر برداری توسط دوربین در هر فریم 45×30 سانتی متر بوده است. میانگین زمان صرف شده جهت انجام محاسبات هر فریم حدوداً 0.133 ثانیه بود. شایان ذکر است الگوریتم ارائه شده در تحقیق حاضر بهینه سازی شده و تنها قسمت هایی از تصویر مورد پردازش قرار می گیرند که گیاه حضور دارد، همچنین محاسبات انجام شده بر روی تصاویر دو بعدی (باینری) صورت گرفته است که بار محاسباتی را به صورت چشمگیری کاهش می دهد. نرخ فریم مورد استفاده برای تمامی سرعت ها برابر سه فریم در ثانیه بود. تمامی مراحل از دریافت تصویر، پیش پردازش، پردازش داده های تصویر و انجام محاسبات در نرم افزار Matlab 2020b و استفاده از کتابخانه پردازش تصویر حاصل گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- شمارش نشاء ها

به منظور شمارش نشاء های هم پوشانی شده در تصویر به دست آمده چندین مرحله انجام گرفت؛ در مرحله اول بر اساس روش پیشنهادی اسکلت تصویر استخراج شد (شکل ۱۰-ب)، در مرحله دوم، نقاط ابتدایی و انتهایی اسکلت محاسبه گردیدند (شکل ۱۰-پ)، در مرحله سوم، نقاط اشتراک بین نشاء ها با استفاده از روش پیشنهادی هریس محاسبه و تعیین شدند (شکل ۱۰-ت)، با محاسبه نقاط ابتدایی، انتهایی و نقطه مشترک (شکل ۱۰-ث)، در مرحله چهارم نقاط ابتدایی و انتهایی به نزدیک ترین نقطه مشترک متصل شدند (شکل ۱۰-ج). در مرحله آخر پیکسل ها بر اساس زنجیره فریمین برچسب گذاری شده و بردار ویژه

هر کدام از خط ها محاسبه و در صورت برابر بودن مقدار بردار ویژه (محدوده اختلاف مقدار ۰-۱)، خطوط به هم متصل و امتداد یافتند. همان طور که در شکل ۱۰-چ و ۱۰-ح مشخص است نشاء های موجود در تصویر که دارای هم پوشانی می باشند به خوبی از یک دیگر تفکیک و در نتیجه یکنواختی کاشت تعیین می شود.

۳-۲- عملکرد الگوریتم توسعه یافته در ارزیابی تعداد نشاء در سرعت های مختلف

به منظور ارزیابی الگوریتم توسعه یافته در سرعت های مختلف (۵، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر در ساعت)، ابتدا سامانه تصویربرداری به صورت برخط به همراه الگوریتم توسعه داده شده بر روی نشاء کار نصب گردید. سپس نشاء کار وارد مزرعه شده و عملیات نشاء کاری در سرعت های مختلف انجام پذیرفت. در نهایت تعداد نشاء های تشخیص داده شده توسط سامانه با تعداد واقعی نشاء های کشت شده مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی الگوریتم توسعه یافته در جدول ۱ نشان داده شده است. مطابق نتایج به دست آمده بیش ترین قدرت تشخیص سامانه در سرعت پنج کیلومتر در ساعت، برابر ۱۰۰ درصد است. با توجه به نتایج به دست آمده در سرعت های ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر در ساعت، میزان دقت به ترتیب ۹۹، ۹۸ و ۹۷ درصد مشاهده شد و سامانه تشخیص در تمامی سرعت ها به خوبی و تنها با خطای حدود سه درصد، با صحت بیش از ۹۷ درصد نشاء های کشت شده را شمارش نمود. این مسئله نشان دهنده توانایی بالای الگوریتم و سامانه توسعه داده شده برای ارزیابی تعداد نشاء کشت شده توسط نشاء کار در حین عملیات نشاء کاری است. Yang et al. (2011) عملکرد مکانیسم تقسیم بذریک کارنده نوع مغناطیسی مجهز به سیستم دوربین سرعت بالا را در مقایسه با روش بینایی ماشین و روش اندازه گیری دستی بررسی و خطای نسبی دقت و ضریب تغییرات انحراف استاندارد به ترتیب کمتر از سه و پنج درصد را گزارش نمودند. در مطالعه ای دیگری تأثیر پارامترهای عملیاتی بر سرعت ریزش بذری (ذرت و کرجک) و مسیر کاشت دستگاه کارنده نیوماتیکی بررسی شد. نتایج نشان داد که در محدوده سرعت عمل سه تا چهار و نیم کیلومتر در ساعت، یکنواختی فاصله بذری برای تیمارهای مختلف هر دو بذری از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ هم در آزمایشگاه و هم در مزرعه یکسان بود (Abdolahzare & Abdanan Mehdizadeh, 2018b)



شکل ۱۰- روند تشخیص نشاءها در حالت هم پوشانی (الف) تصویر اصلی، (ب) اسکلت تصویر، (پ) محاسبه نقاط ابتدایی تا انتهایی اسکلت، (ت) تعیین نقاط اشتراک بین نشاءها، (ث) محاسبه نقطه اشتراک، (ج) اتصال نقاط ابتدایی و انتهایی به نزدیک ترین نقطه مشترک، (چ) تفکیک نشاءهای دارای هم پوشانی، (ح) تفکیک نشاءهای دارای هم پوشانی در تصویر اصلی

Fig 10. The process of detecting seedlings in the overlapping state a) main image, b) image skeleton, c) calculating the beginning to end points of the skeleton, d) determining the common points between seedlings, e) calculating the common point, c) connecting the beginning and end points to The closest common point, g) separation of overlapping seedlings, h) separation of overlapping seedlings in the main image

جدول ۱- ارزیابی الگوریتم توسعه یافته در سرعت های مختلف

Table 1. Evaluation of algorithms developed at different speeds

سرعت (متر بر ساعت) Speed (km.h ⁻¹)	تعداد کل تشخیص Total detections				تعداد خطا در تشخیص Number of errors in detection				تعداد تشخیص تعداد تشخیص		دقت تشخیص (درصد) Accurate detection (%)	خطا (درصد) Error (%)
	تکی Single	دو تایی Double	سه تایی Ternary	چهار تایی Quaternary	تکی Single	دو تایی Double	سه تایی Ternary	چهار تایی Quaternary	درست True Detection	اشتباه False Detection		
5	305	20	3	0	0	0	0	0	328	0	100	0
8	287	33	13	0	0	1	2	0	330	3	99	1
10	264	36	28	11	0	2	3	1	333	6	98	2
12	258	32	25	19	0	2	3	3	326	8	98	2

سامانه بر اساس روش پیشنهادی عملیات جداسازی نشاءها در تصویر را به صورت برخط انجام می داد و تمامی نشاءها شمارش می شدند. ارزیابی نشاءکار در سرعت های مختلف (۵، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر در ساعت) انجام شد. مطابق جدول ۲ با افزایش سرعت پیش روی تعداد کشت های درست کاهش و تعداد کشت های نادرست افزایش می یابد. بیش ترین

۳-۳- ارزیابی نشاءکار توسط سامانه توسعه داده شده

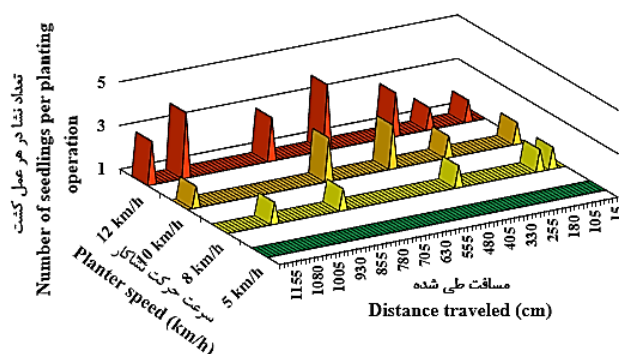
الگوریتم توسعه یافته به منظور ارزیابی عملکرد نشاءکار ذرت به صورت برخط مورد استفاده قرار گرفت. با حرکت تراکتور و نشاءکار، نشاءهای ذرت توسط سامانه توسعه داده شده از پس زمینه جداسازی شده و شمارش شدند. در صورتی که نشاءها به صورت توده کشت شده باشند نیز

Shirzadifar et al. (2020) در شمارش تعداد نشاء ذرت نسبت به پژوهش حاضر با توجه به عدم توانایی در شناسایی نشاءهای دارای همپوشانی کمتر هست. در مطالعه‌ای دیگر Gai et al. (2021) یک سامانه مبتنی بر بینایی با استفاده از دوربین عمقی^۲ برای تشخیص ردیف‌های محصول موازی توسعه دادند. نتایج آزمایش نشان داد که سیستم پیشنهادی قادر به ترسیم ردیف‌های محصول با متوسط خطای مطلق سه و چهار دهم سانتی‌متر و سه و شش دهم سانتی‌متر در مزارع ذرت و سورگوم است. در این راستا Valente et al. (2020) با استفاده از تکنولوژی پهبادی و تصویربرداری با وضوح بالا به شمارش گیاهان پرداختند. این محققین از شاخص سبزی بیش‌ازحد و روش اتسو به همراه شبکه عصبی کانولوشن استفاده نمودند. بر اساس این پژوهش دقت تشخیص گیاهان در تصاویر با وضوح بالا ۹۵٪ بدست آمد که این مقدار با آلودگی هوا و کاهش میدان دید کاهش می‌یافت. در پژوهشی از شبکه عصبی کانولوشن به منظور شمارش گیاهان موجود در تصاویر دریافت شده از هواپیماهای بدون سرنشین استفاده گردید. در این پژوهش از روابط رگرسیون به جای الگوریتم‌های طبقه‌بندی استفاده شد و میزان خطای مطلق این روش در شمارش گیاهان ۶/۷٪ گزارش گردید (Ribera et al., 2017).

جدول ۲. عملکرد نشاکار (تعداد کاشت صحیح) در سرعت‌های مختلف

Table 2. Planter performance (number of correct plantings) at different speeds

سرعت (متر بر ساعت) Speed (km.h ⁻¹)	تعداد کل نشاء Total seedlings	تعداد کاشت درست Number of Correct planting	تعداد کاشت نادرست Number of incorrect planting	کاشت درست (درصد) Correct planting (%)	کاشت نادرست (درصد) Incorrect planting (%)
5	603	586	17	97	3
8	618	573	45	93	7
10	644	557	87	86	14
12	672	534	138	79	21



شکل ۱۱- نقشه تراکم نشاء در زمین کشاورزی در سرعت‌های مختلف کاشت نشاء به منظور مدیریت و ارزیابی عملیات کاشت

Fig 11. Seedling density map in agricultural land at different seedling planting speeds in order to manage and evaluate planting operations

میزان کاشت درست توسط نشاء کار در سرعت پیش‌روی پنج کیلومتر در ساعت و برابر ۹۷ درصد بوده است. با افزایش سرعت از پنج کیلومتر به ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر در ساعت به ترتیب میزان کاشت درست به ۹۳، ۸۶ و ۷۹ درصد رسید. هم‌چنین کمترین میزان کاشت درست (۷۹ درصد) و بیش‌ترین میزان کاشت نادرست (۲۱ درصد) در سرعت ۱۲ کیلومتر در ساعت بود. با توجه به نتایج با افزایش سرعت پیش‌روی میزان نشاءهای کاشت شده افزایش می‌یابد که علت آن می‌تواند نبودن زمان کافی در جداسازی نشاءها از هم‌دیگر توسط کاربر باشد. علاوه بر این با افزایش سرعت امکان کاشت در مکان صحیح نیز کاهش می‌یابد که علت این مسئله نیز می‌تواند بالا بودن سرعت دوارنی مقسم نسبت به عملکرد کاربر باشد.

در پژوهشی Shirzadifar et al. (2020) از تصاویر هواپیماهای بدون سرنشین با وضوح بالا^۱ (UAV) برای تشخیص تعداد کل گیاهان ذرت و یکنواختی کاشت پس از جوانه‌زنی با استفاده از دو روش شامل روش شاخص سبزی بیش‌ازحد و روش خوشه‌بندی، استفاده کردند. میانگین دقت با استفاده از روش شاخص سبزی بیش‌ازحد ۴۶٪ بود؛ با این‌حال، روش خوشه‌بندی به‌طور رضایت بخشی گیاهان را با میانگین دقت ۹۱٪ در مزرعه شناسایی نمود. دقت گزارش شده در مطالعه

در نهایت سامانه توسعه یافته نقشه‌ای از مزرعه و تعداد نشاءها و تراکم آن‌ها در مناطق مختلف در اختیار کشاورز قرار می‌دهد (شکل ۱۱). این نقشه اطلاعات مفیدی در خصوص یکنواختی کاشت، عملکرد کاربران دستگاه و همچنین مدیریت منابع مورد استفاده، در اختیار کشاورز می‌گذارد. با توجه به شکل ۱۱ در سرعت پنج کیلومتر بر ساعت، تجمع در کاشت مشاهده نشد و از سرعت ۸ تا ۱۲ کیلومتر بر ساعت با افزایش سرعت حرکت تراکتور عدم یکنواختی کاشت افزایش می‌یابد به‌گونه‌ای که بیش‌ترین خطا در سرعت ۱۲ کیلومتر بر ساعت مشاهده گردید. در این سرعت در دو نقطه از مسیر کاشت نشاء چهارتایی کاشته شده‌اند. در نتیجه بر اساس نقشه ترسیم شده می‌توان دستگاه تنک‌کن را به موقعیت مناسب فرستاد و عملیات حذف نشاءهای چندتایی را انجام داد. به‌علاوه در صورتی که زمین نیاز به کاشت مجدد نیز داشته باشد از روی نقشه مشخص می‌گردد.

^۱ - Unmanned Aerial Vehicle

^۲ - Depth Camera

۴- نتیجه گیری

است. زیرا در این سرعت کاربر فرصت لازم جهت قرار دادن نشاء در موزع کارنده را دارد، در نتیجه درصد کشت نادرست کمتر در این سرعت حرکت از سه درصد گردید. بنابراین با توجه به عملکرد سامانه توسعه داده شده، نصب آن بر روی نشاءکارها می تواند اطلاعات یکنواختی کاشت را برای کشاورز فراهم نماید و ایشان را در مدیریت صحیح منابع یاری نماید.

تشکر و قدردانی

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

منابع

Anomymous. (2016). Production and trade of basic products of the agricultural sector in the period of 2001-2016. From <https://rc.majlis.ir/fa/report/download/1003180> (In Farsi)

Abdolahzare, Z. and Abdanan Mehdizadeh, S. (2018a). Nonlinear mathematical modeling of seed spacing uniformity of a pneumatic planter using genetic programming and image processing. *Neural Computing and Applications*, 29 (2), 363-375.

Abdolahzare, Z. and Abdanan Mehdizadeh, S. (2018b). Real time laboratory and field monitoring of the effect of the operational parameters on seed falling speed and trajectory of pneumatic planter. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 187-198.

Abdanan Mehdizadeh, S. and Abdullah Zare, Z. (2016). Evaluation of pneumatic agent performance based on film processing and Kalman filter. *Iranian Biosystem Engineering (Iranian Agricultural Sciences)*, 47 (2), 363-373. (In Farsi)

Cao, Q. He, M. R. Dai, X. L. Men, H. W. and Wang, C. Y. (2011). Effects of interaction between density and nitrogen on grain yield and nitrogen use efficiency of winter wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 17, 815-822.

Dehghanpour, Z. (2014). Technical instructions for planting, holding and harvesting corn (grain and fodder). *Agricultural Education Publication*, 110 pages. (In Farsi)

Dhupal, G., and Sahu, S. (2020). Fabrication of manual operated two row tomato transplanter. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9 (4), 290-293.

با توجه به پیشرفت دانش در حوزه کشاورزی و مکانیزه شدن ادوات کشاورزی نیاز به استفاده از ادوات مؤثر و کارآمد بیش از پیش احساس می شود. در این مقاله روشی مبتنی بر بینایی ماشین و آنالیز برخط تصاویر به منظور ارزیابی نشاءکار ذرت در کشت نشاء ارائه گردید. پس از ارزیابی الگوریتم توسعه یافته مشخص گردید که این الگوریتم دارای بیش از ۹۸ درصد کارایی در سرعت های مختلف (۵، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر در ساعت) است. بعلاوه الگوریتم توسعه یافته همزمان با نشاءکاری و به صورت برخط تعداد نشاءهای کشت شده و همچنین تعداد نشاءهای چندتایی را محاسبه می نماید. طبق نتایج به دست آمده مناسب ترین سرعت کشت نشاء با این دستگاه پنج کیلومتر در ساعت

Fanadzo, M. Chiduza, S. and Mnkeni, P. N. (2010). Comparative response of direct seeded and transplanted maize to nitrogen fertilization at Zanyokwe Irrigation Scheme, Eastern Cape, South Africa.

Gai, J. Tang, L. and Steward, B. L. (2020). Automated crop plant detection based on the fusion of color and depth images for robotic weed control. *Journal of Field Robotics*, 37 (1), 35-52

Gai, J. Xiang, L. and Tang, L. (2021). Using a depth camera for crop row detection and mapping for under-canopy navigation of agricultural robotic vehicle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 188, 106301.

Heidari, A. Haji Agha Alizadeh, H. Yazdanpanah, A. Amiri Parian, J. (2016). The effect of different tillage and fertilization methods on soil physical properties and grain yield, *Journal of Soil and Water Sciences (Agricultural Science and Technology and Natural Resources)*, 20 (4), 103-112. (In Farsi).

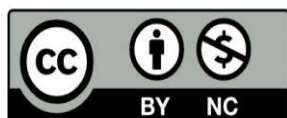
Imam, Y. (2012). Cereal cultivation. *Shiraz University Press*. Fourth edition, 194 pages (In Farsi).

Jusoh, N. A. and Zain, J. M. (2009). Application of Freeman Chain codes: An alternative recognition technique for Malaysia car plates. *International Journal of Computer Science and Network Security*. 9 (11): 222-227.

Lin, S. Jiang, Y. Chen, X. Biswas, A. Li, S. Yuan, Z. and Qi, L. (2020). Automatic Detection of Plant Rows for a Transplanter in Paddy Field Using Faster R-CNN. *IEEE Access*, 8, 147231-147240.

Mallick, D. K. Ray, R. and Dash, S. R. (2020). Detection and Classification of Crop Diseases

- from Its Leaves Using Image Processing. In *Smart Intelligent Computing and Applications* (pp. 215-228), Springer, Singapore.
- Meyer, G. E. and Neto, J. C. (2008). Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Computers and electronics in agriculture*, 63 (2), 282-293.
- Onal, I. Degirmencioglu, A. and Yazgi, A. (2012). An evaluation of seed spacing accuracy of a vacuum type precision metering unit based on theoretical considerations and experiments. *Turkish Journal of Agricultural and Forestry*, 36, 133-144.
- Pan, X. Zhu, J. Yu, H. Chen, L. Liu, Y. and Li, L. (2021). Robust corner detection with fractional calculus for magnetic resonance imaging. *Biomedical Signal Processing and Control*, 63, 102112.
- Ribera, J., Chen, Y., Boomsma, C., and Delp, E. J. (2017). Counting plants using deep learning. In *2017 IEEE global conference on signal and information processing*, 1344-1348.
- Shirzadifar, A. Maharlooei, M. Bajwa, S. G. Oduor, P. G. and Nowatzki, J. F. (2020). Mapping crop stand count and planting uniformity using high resolution imagery in a maize crop. *Biosystems Engineering*, 200, 377-390.
- Shrestha, D. S. and Steward, B. L. (2003). Automatic corn plant population measurement using machine vision. *Transactions of the Asae*, 46, 559-566.
- Soille, P. Vogt, J. and Colombo, R. (2003). Carving and adaptive drainage enforcement of grid digital elevation models. *Water resources research*, 39 (12).
- Valente, J., Sari, B., Kooistra, L., Kramer, H., and Mùcher, S. (2020). Automated crop plant counting from very high-resolution aerial imagery. *Precision Agriculture*, 21, 1366-1384.
- Vantine, M. and Verlinden, S. (2003). Growing organic vegetable transplants. *West virginia university*.
- Xue, Y. F. Zhang, W. Liu, D. Y. Yue, S. C. Cui, Z. L. Chen, X. P. and Zou, C. Q. (2014). Effects of nitrogen management on root morphology and zinc translocation from root to shoot of winter wheat in the field. *Field Crops Research*, 161, 38-45. and Xie Z. Q. (2010). Detection technology for precision metering performance of magnetic-type seeder based on machine vision. *Computer and Computing Technologies in Agriculture IV. 4th IFIP TC 12 conference, CCTA, selected papers*, part 1. 555-562.
- Yang, D. Hu, J. And Xie, Z. (2011). Detection Technology for Percision Metering Performance of Magnetic-Type Seeder Based on Machine Vision. *Computer and Technologeis in Agriculture IV. CCTA, Vol 344*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Zhang, L. Weckler, P. Wang, N. Xiao, D. and Chai, X. (2016). Individual leaf identification from horticultural crop images based on the leaf skeleton. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 184-196.
- Zhang, X. Wang, Y. Zhao, Q. Bao, F. Wu, S. and Yan, P. (2020). Fast automatic multi-defects recognition based on the spatial characteristics of Freeman chain code. *Optical Engineering*, 59 (12), 124103.



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)