

مقاله علمی - پژوهشی

## ارزیابی شاخص‌های مختلف تمایز پوشش گیاهی و الگوریتم‌های پردازش تصویر برای تخمین بهره‌وری آب

سید رضا حدادی<sup>۱</sup>، مسعود سلطانی<sup>۲</sup> و معصومه هاشمی<sup>۳\*</sup>

### چکیده

درصد پوشش گیاهی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی، در بررسی اثرات توأمان عوامل مؤثر در افزایش بهره‌وری آب محسوب می‌شود. با توجه به پیشرفت و دسترسی همگانی به دوربین‌های دیجیتال، استفاده از شاخص‌های تمایز در محدوده طیف مرئی، پتانسیل قابل توجهی برای محاسبه شاخص سطح برگ و میزان کلروفیل پوشش گیاهی فراهم می‌آورد؛ بنابراین در پژوهش حاضر، عملکرد ترکیب پنج شاخص گیاهی تمایزدهنده با روش‌های مختلف آستانه‌گذاری خودکار در جداسازی پوشش گیاهی از پس‌زمینه تصویر برای گیاه چغندر قند بررسی گردید که از این تعداد، دو شاخص گیاهی تمایزدهنده برای نخستین بار معرفی شده است. نتایج نشان داد استفاده از شاخص جدید تفاضل فزونی باند سبز با فزونی باند آبی و الگوریتم آستانه‌گذاری Riddler-Calvard باعث شد صحت داده‌های محاسباتی به اندازه ۲۹/۵۴ درصد در مقایسه با استفاده از شاخص قدیمی تفاضل فزونی باند سبز با فزونی باند قرمز، افزایش پیدا کند. در ادامه رابطه بین درصد پوشش گیاهی و عملکرد وزن خشک گیاه بدست آمد که تابع توانی بالاترین دقت داشت. روش آستانه‌گذاری Riddler-Calvard و شاخص جدید استخراج پوشش گیاهی با ۱۲/۰۹ کیلوگرم خطا در برآورد عملکرد، بهترین روش و روش آستانه‌گذاری Otsu و شاخص تفاضل فزونی باند سبز با فزونی باند قرمز با ۴۱/۲۵ کیلوگرم خطا در برآورد عملکرد، بدترین روش بود.

واژه‌های کلیدی: آستانه‌گذاری، تصاویر دیجیتال، تصویر واقعیت زمینی، جداسازی

### مقدمه

پوشش گیاهی می‌تواند به‌عنوان ورودی مستقیم مدل‌های گیاهی یا به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده عملکرد گیاه، زیست‌توده و وضع مواد مغذی گیاه به شمار رود. یکی از مزایای کسر پوشش گیاهی نسبت به سایر روش‌های اندازه‌گیری رشد گیاه، مانند شاخص سطح برگ، این است که با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های تصاویر دیجیتال (مرئی) قابل برآورد است (Lee and Lee, 2011; Coy et al., 2016). امروزه الگوریتم‌های جداسازی تصاویر دیجیتال، به‌عنوان بخشی از پردازش تصویر در کشاورزی نقش ارزشمندی پیدا کرده است. جداسازی اساساً به معنای تمایز پوشش گیاهی از پس‌زمینه و حذف پیکسل‌های پس‌زمینه می‌باشد. برای مثال، جداسازی پوشش گیاهی در کنترل شرایط رشد گیاه، نظیر شناسایی بیماری برگ‌ها، پیش‌بینی عملکرد، نظارت وضعیت مواد مغذی مورد نیاز گیاه و کنترل تنش‌های گیاهی مثل تنش

کسر پوشش گیاهی که از تقسیم پیکسل‌های پوشش گیاهی به کل پیکسل‌های تصویر بدست می‌آید، به‌صورت تصویر قائم از شاخ و برگ گیاهان در صفحه افقی، تعریف می‌شود که یکی از مهم‌ترین معیارهای اندازه‌گیری رشد گیاهان است. کسر

<sup>۱</sup> فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
<sup>۳</sup> محقق مرکز تحقیقات سنجش از راه دور، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران (\* نویسنده مسئول: hashemitame@sharif.edu)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

افزایش داد (علیزاده، ۱۳۹۴). وجود تنش آبی به صورت طولانی مدت باعث کاهش اندازه گیاه و کاهش محصول تولیدی می شود که این موضوع با استفاده از توابع تولید محصول نسبت به آب قابل تعیین است (علیزاده، ۱۳۹۳).

لطیف التجار و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه خود نشان دادند که سطح پوشش گیاهی می تواند بیانگر عملکرد گیاه چغندر قند در کشت پاییزه باشد. نتایج تحقیق نشان داد بالاترین ضریب تبیین رابطه بین عملکرد و سطح پوشش گیاهی، سه ماه قبل از زمان برداشت و برابر با ۰/۸۵ می باشد. در مطالعه ای دیگر، گارسیا-مارتینز و همکاران ضریب تبیین رابطه بین عملکرد و پوشش گیاهی را در دو تاریخ، پس از گذشت ۴۷ روز و ۷۹ روز از کشت محصول ذرت به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۷۷ به دست آوردند. آن ها سطح پوشش گیاهی را با استفاده از شاخص سبزیگی مثلثی (TGI) محاسبه کردند (Garcia-Martinez et al., 2020).

همان طور که در تحقیقات پیشین نشان داده شده است، استفاده از پوشش گیاهی به منظور تخمین عملکرد محصول، قبل از برداشت دقت خوبی داشته است. در نتیجه تعیین دقیق پوشش گیاهی از طریق روش های مختلف پردازش تصویر می تواند میزان خطای تخمین عملکرد محصول از طریق پوشش گیاهی را کاهش دهد و تحقیقات گذشته تمرکز کمتری بر افزایش دقت تعیین پوشش گیاهی از طریق الگوریتم پردازش تصویر داشته است. در این پژوهش، به منظور بهبود تمایز پس زمینه و پیش زمینه تصویر (خاک و برگ)، روش های مختلف جداسازی مبتنی بر آستانه گذاری توسعه داده شده و عملکرد شاخص های مختلف در میزان صحت جداسازی پوشش گیاهی مقایسه شد. دو شاخص گیاهی تفاضل فزونی باند سبز با فزونی باند آبی (ExGB) و شاخص جدید استخراج پوشش گیاهی (CIVEn) در این مطالعه معرفی و عملکرد آن ها نسبت به شاخص های پیشین مقایسه شد. همچنین عملکرد الگوریتم های آستانه گذاری با مبانی علمی مختلف و شاخص های جدید گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. در آخر، رابطه بین عملکرد وزن خشک غده چغندر قند و درصد پوشش گیاهی بدست آمد و مقدار عملکرد با استفاده از

خشکی، تنش کود و تنش علف هرز کاربرد دارد (حدادی و همکاران، ۱۴۰۱; Thailambal, and Yogeshwari, 2020; Coy et al., 2016; Kazmi et al., 2015). جداسازی پوشش گیاهی معمولاً با استفاده از یکی از دو روش رویکرد مبتنی بر آستانه گذاری و یا رویکرد یادگیری ماشین انجام می گیرد. در رویکرد مبتنی بر آستانه گذاری، به صورت متداول از ترکیب شاخص های گیاهی تمایز (VID) و روش های آستانه گذاری برای جداسازی پوشش گیاهی استفاده می شود. مزیت بزرگ روش مبتنی بر آستانه گذاری، در مقایسه با رویکرد یادگیری ماشین، کاربری آسان تر و وابستگی کمتر به محاسبات کامپیوتری و تعداد داده ها است. در حالی که این روش ها، وابسته به شرایط تصویربرداری، محدودیت هایی نیز دارند. این محدودیت ها تحت شرایطی به وجود می آیند که شاخص ها به نور کم یا زیاد و همچنین وجود سایه حساس باشند (Kim et al., 2015; Coy et al., 2016; Riehle et al., 2020).

شاخص های گیاهی تمایز، روابط جبری هستند که میان باندهای تصاویر دیجیتال مرئی اعمال می شوند و میان پیکسل های پوشش گیاهی و پس زمینه، تمایز ایجاد می کنند. در میان این شاخص ها، شاخص فزونی باند سبز (ExG)، شاخص تفاضل فزونی باند سبز با فزونی باند قرمز (ExGR) و شاخص رنگی استخراج پوشش گیاهی (CIVE) به طور گسترده استفاده شده اند (Zheng et al., 2009; Kazmi et al., 2015; Sánchez-Sastre et al., 2020).

با توجه به این که میزان مصرف نهاده ها، نظیر آب آبیاری و مقدار کود تأثیر قابل توجهی در مراحل مختلف رشد گیاه دارد، کنترل هر یک از این عوامل بسیار حائز اهمیت است و تعیین مقدار بهینه آن ها موجب کاهش هزینه های تولید می شود. افزایش عملکرد محصول با استفاده بهینه از نهاده های مصرفی مورد توجه قرار گرفته است (لطیف التجار و همکاران، ۱۳۹۳).

زراعت های آبی علاوه بر این که از مزایای بارش طبیعی استفاده می کنند، دارای این مزیت نیز هستند که با استفاده از آب در مواقعی که گیاه شدیداً به آن نیاز دارد علاوه بر تأمین رشد گیاه می توان کارایی سایر عملیات و نهاده های کشاورزی را

باعث استخراج پوشش گیاهی از تصویر می‌شود (Meyer et al., 2008).

$$ExGR = ExG - ExR = 3G - 2.4R - B \quad (۳)$$

رابطه‌ی (۴)، شاخص CIVE را نشان می‌دهد که در آن پیکسل‌های پوشش گیاهی حذف و پیکسل‌های پس‌زمینه باقی می‌ماند. این شاخص، نخستین بار توسط کاتائوکا و همکاران ارائه شد و ارتباط میان مساحت پوشش گیاهی را با مشخصات واقعی اندازه‌گیری شده (جرم خشک، ارتفاع، اندازه برگ، جرم خشک برگ‌ها، ارتفاع ریشه و جرم خشک ریشه‌ها) در محصول سویا نشان داد (Kataoka et al., 2003). این شاخص نشان داد که وضعیت رشد گیاه، از طریق تصاویر و مشخصات اندازه‌گیری شده به‌خوبی قابل ارزیابی است. در این حالت نیز، پیکسل‌های پوشش گیاهی قابل شمارش هستند.

$$CIVE = 0.441R - 0.811G + 0.385B + 18.78 \quad (۴)$$

### تعریف شاخص‌های گیاهی تمایز جدید

تاکنون شاخص‌های بسیاری برای جداسازی پوشش گیاهی توسعه داده شده است. عملکرد این شاخص‌ها در جداسازی پوشش گیاهی متفاوت است؛ یعنی هرکدام از این شاخص‌ها در فرآیند جداسازی پوشش گیاهی، مزایا و معایبی دارند. شاخص ExG به‌آسانی قابل محاسبه است، حساسیت کمی به خطای پس‌زمینه و شرایط نورپردازی دارد و سازگاری بالایی برای فضای باز دارد ولی در مواقعی که نور زیاد یا کم است، به‌خوبی عمل نمی‌کند.

شاخص ExGR، سازگاری بالایی برای فضای باز دارد و هم‌زمان دو عمل استخراج رنگ سبز و حذف اختلال پس‌زمینه را انجام می‌دهد ولی در مواقعی که نور زیاد یا کم است، به‌خوبی عمل نمی‌کند و پیکسل سایه را نیز به‌عنوان پیکسل گیاه در نظر می‌گیرد (اضافه برآورد پیکسل پوشش گیاهی). شاخص CIVE، زمان اجرایی پایین و سازگاری بالایی در فضای باز دارد ولی در مواقعی که نور زیاد یا کم باشد ضعیف‌تر عمل می‌کند و سازگاری

مقدار پوشش گیاهی محاسبه شده از طریق روش‌های جداسازی، شبیه‌سازی و مقایسه گردید.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش از مجموعه تصاویر برداشته شده و داده عملکرد محصول چغندر قند در پژوهش (Khanna et al., 2019) استفاده شده است. تصویربرداری از گیاه چغندر قند برای یک دوره ۷۰ روزه از زمان کشت و با فاصله هر ۳-۴ روز صورت گرفته است.

### شاخص‌های گیاهی تمایز

شاخص‌های بکار رفته در این مطالعه، بر پایه روابط جبری حاکم بر باندهای طیفی قرمز، سبز و آبی از طول موج مرئی است. شاخص تمایز گیاهی فزونی باند سبز (ExG) نخستین بار توسط وُئبک و همکاران ارائه شد که تفاضل باند سبز با ضریب دو را با سایر باندهای رنگی حساب می‌کرد (Woebbecke et al., 1995). مقدار ExG هر تصویر با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید. در این رابطه، R، G و B بازتاب هر یک از لایه‌های تصویر رنگی است.

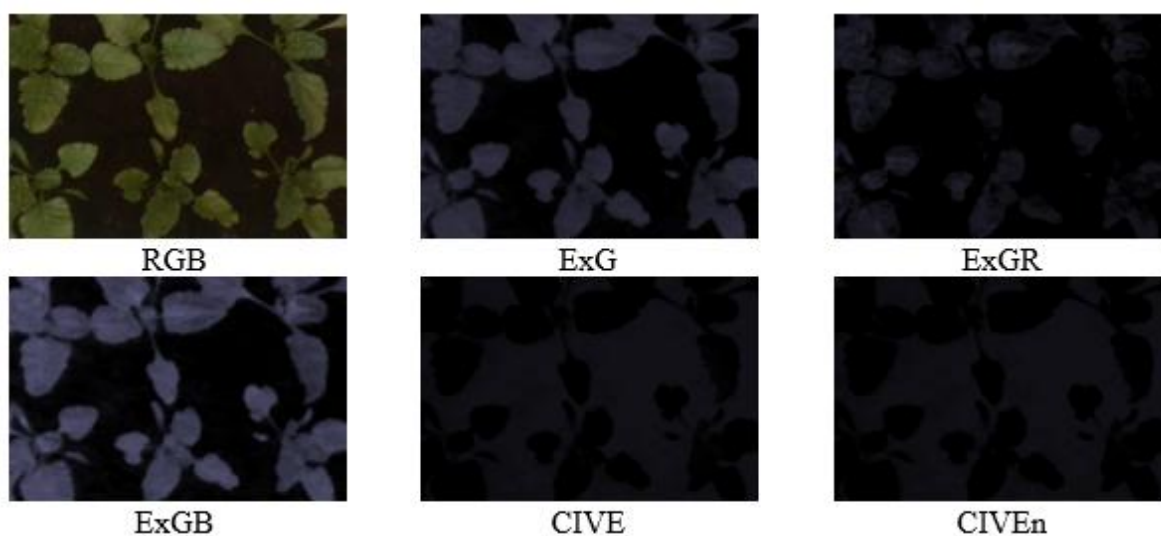
$$ExG = 2G - R - B \quad (۱)$$

شاخص ExG با تبدیل تصویر رنگی سه‌باند به تصویر خاکستری تک‌باند، تضاد واضحی بین پوشش گیاهی و خاک ایجاد می‌کند. شاخص دیگری که مورد بررسی قرار گرفته شاخص فزونی باند قرمز (ExR) است. شاخص ExR با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (Meyer et al., 1998).

$$ExR = 1.4R - G \quad (۲)$$

این شاخص به‌منظور کاهش اختلال پس‌زمینه تصویر به کار می‌رود و در فرآیند جداسازی معمولاً به همراه شاخص ExG، شاخص ExGR را ایجاد می‌کند. رابطه (۳)، شاخص ExGR را نشان می‌دهد. این شاخص علاوه بر کاهش اختلال پس‌زمینه،

ضریب باند سبز در معادلات شاخص‌ها بزرگ‌تر است (قدر مطلق ضریب به‌منظور جداسازی پیش‌زمینه یا پس‌زمینه). در این پژوهش، دو شاخص ExGB و CIVEn مستخرج از شاخص ExGR و CIVE با جایجایی ضرایب باند آبی و قرمز توسعه داده شد (رابطه‌های ۵ و ۶). شکل (۱)، تبدیل تصاویر RGB به تصویر خاکستری به هر یک از روش‌های ذکر شده را نشان می‌دهد



شکل ۱- اعمال شاخص‌های گیاهی تمایز به تصویر

### آستانه‌گذاری

روش‌های آستانه‌گذاری روش‌هایی هستند که فرآیند جداسازی را تکمیل می‌کنند؛ به این صورت که تصویر خاکستری تک‌باند که شاخص تمایز گیاهی در آن اعمال شده است به یک تصویر باینری سیاه و سفید تبدیل می‌کنند. با توجه به اینکه پیکسل‌های تصویر در دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند (پوشش گیاهی و خاک در این مطالعه)، درصد پوشش گیاهی (کسر پوشش گیاهی ضربدر ۱۰۰) قابل محاسبه خواهد بود. روش‌های آستانه‌گذاری تصویر خاکستری را با یک حد آستانه مقایسه می‌کنند، پیکسل‌های بزرگ‌تر از حد آستانه به رنگ سفید و پیکسل‌های کوچک‌تر از حد آستانه، به رنگ سیاه در می‌آیند. روش‌های آستانه‌گذاری با استفاده از میانی مختلفی، حد آستانه را تعیین و تصویر را به دو رنگ سیاه و سفید در می‌آورند

پایینی نسبت به سایه دارد (Hamuda et al., 2016). یکی از روش‌های توسعه شاخص‌های جدید، تغییر ضرایب باندها در معادله‌ی جبری شاخص تمایز گیاهی است (Sánchez-Sastre et al., 2020). نحوه‌ی عملکرد این شاخص‌ها به‌صورت تقویت باند سبز به‌منظور جداسازی سبزیگی گیاه است؛ بنابراین،

این شاخص‌های گیاهی تمایز، تصویر را به دو قسمت روشن و تیره افزایش می‌دهد. شاخص‌های CIVE و CIVEn، پیکسل‌های پس‌زمینه (خاک) را روشن و سایر شاخص‌ها، پیکسل‌های پیش‌زمینه (برگ) را روشن نگه می‌دارد.

شکل (۱) میزان تمایز برگ از پس‌زمینه را بعد از اعمال شاخص‌های گیاهی تمایز مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۱) قابل مشاهده است، شاخص ExGB نسبت به شاخص ExGR، تصویر را بهتر به دو بخش برگ و خاک تقسیم‌بندی کرده است.

$$ExGB = 3G - 2.4B - R \quad (5)$$

$$CIVEn = 0.441B - 0.811G + 0.385R + 18.78 \quad (6)$$

آستانه  $t$  را به روش آستانه‌گذاری Riddler-Calvard نشان می‌دهد.

$$m_f(T_n) = \sum_{g=0}^{T_n} g \cdot p(g)$$

$$g = \{0, 1, 2, \dots, L-1\}$$

$$m_b(T_n) = \sum_{g=T_{n+1}}^{L-1} g \cdot p(g) \quad (8)$$

$$T_{n+1} = \frac{m_f(T_n) + m_b(T_n)}{2}$$

$$|T_{n+1} - T_n| < \varepsilon$$

در این روابط،  $g$ ، مقادیر رنگ در مقیاس خاکستری هستند و  $p(g)$ ، تابع چگالی احتمال (PMF) مقیاس خاکستری  $g$  می‌باشد. PMF از هیستوگرام تصویر و با نرمال کردن تمام مقادیر نمونه‌ها محاسبه می‌شود. مقدار جدید حد آستانه از میانگین‌گیری  $m_f$  و  $m_b$  بدست می‌آید. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که اختلاف حد آستانه دو مرحله متوالی کمتر از  $\varepsilon$  شود.

در آستانه‌گذاری two-peaks (Parker, 2011)، حد آستانه در یک هیستوگرام دوقله‌ای، پایین‌ترین نقطه (دره) بین دو قله تعیین می‌شود. یافتن قله‌ی اول ساده است. بیشترین مقدار را در هیستوگرام دارد. دومین نقطه که بیشترین مقدار را دارد احتمالاً در نزدیک‌ترین فاصله با قله‌ی اول باشد اما این نقطه قله‌ی دوم نیست چون دره در بین این دو نقطه قرار ندارد. راهکار ساده‌ای که اغلب به‌خوبی جواب می‌دهد این است که با ضرب مقادیر هیستوگرام در مجذور فاصله از قله‌ی اول، به دنبال قله‌ی دوم بود؛ بنابراین اگر بالاترین قله در سطح قرار داشته باشد، قله دوم با استفاده از رابطه‌ی (۹) تعیین می‌شود.

$$\max \{ (k - j)^2 h[k] \mid (0 \leq k \leq 255) \} \quad (9)$$

که در آن،  $h$ ، هیستوگرام است و ۲۵۶ سطح خاکستری از ۰ تا ۲۵۵ در آن وجود دارد. شکل (۲)، روش آستانه‌گذاری دو قله‌ای را نشان می‌دهد.

که باعث می‌شود تا هدف موردنظر از مابقی اشیا موجود در تصویر مشخص گردند. در این مطالعه از روش‌های آستانه‌گذاری Otsu، Riddler-Calvard، Two-peaks و Johannsen استفاده شده است. روش آستانه‌گذاری Otsu (Otsu, 1979) تلاش می‌کند تا یک حد آستانه  $t$  را بیابد که واریانس وزنی درون کلاسی ارائه‌شده در رابطه (۷) کمینه شود.

$$\sigma^2 w(t) = q_1(t) \sigma^2_1(t) + q_2(t) \sigma^2_2(t)$$

Where:

$$q_1(t) = \sum_{i=1}^t P(i)$$

$$q_2(t) = \sum_{i=t+1}^I P(i) \quad (7)$$

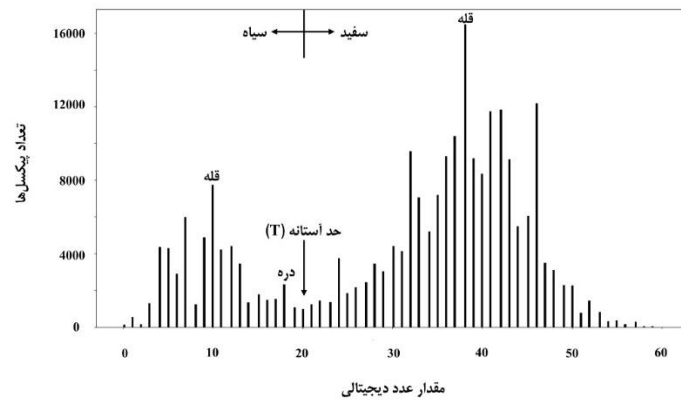
$$\sigma^2_1(t) = \sum_{i=1}^t [i - \mu_1(t)]^2 \frac{P(i)}{q_1(t)}$$

$$\sigma^2_2(t) = \sum_{i=t+1}^I [i - \mu_2(t)]^2 \frac{P(i)}{q_2(t)}$$

احتمال رخداد  $P$  برای هر پیکسل، در دو دسته یک و دو محاسبه می‌شود که توابع احتمال دسته‌ها با  $q_1(t)$  و  $q_2(t)$  مشخص شده است. روش آستانه‌گذاری Otsu طوری مقدار  $t$  را تعیین می‌کند که مقدار  $\sigma^2 w(t)$  مینیمم شود.

در روش آستانه‌گذاری خودکار Riddler-Calvard، در ابتدا یک حد آستانه حدس زده می‌شود، سپس هیستوگرام به دو کلاس A و B تقسیم می‌شود. مقادیر متوسط شدت نور (رنگ)،  $m_A$  و  $m_B$  برای هر دو کلاس بدست آمده و حد آستانه جدید از میانگین  $m_A$  و  $m_B$  بدست می‌آید. این روند همچنان ادامه یافته و تکرار می‌شود تا جایی که همگرایی بدست بیاید (He et al., 2016).

کلاس A، مربوط به پیکسل‌هایی می‌شود که از حد آستانه بزرگ‌تر هستند و کلاس B مربوط به پیکسل‌هایی می‌شود که کوچک‌تر یا برابر با حد آستانه هستند. رابطه (۸)، نحوه تعیین حد

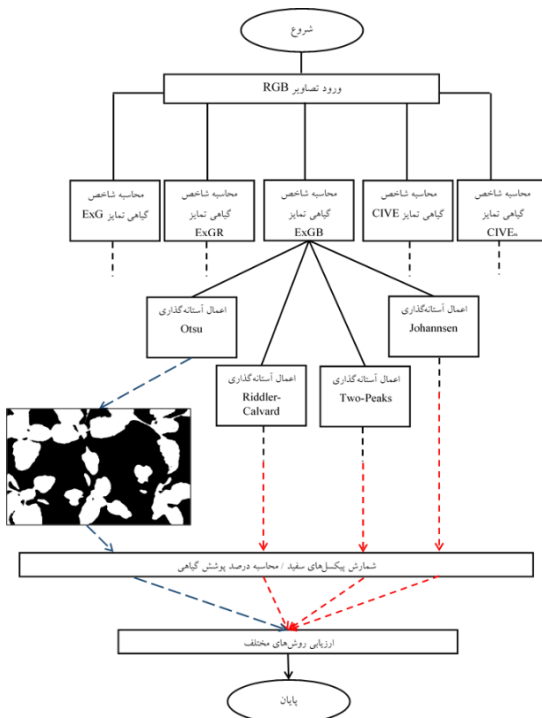


شکل ۲- نمایش روش آستانه‌گذاری دوقله‌ای (Two-Peaks)

که دارای مقدار  $i$  هستند، بر تعداد کل پیکسل‌ها بدست آمده‌اند. همچنین،  $E(x)$ ، تابع آنتروپی است.

### فلوچارت مراحل کار

در شکل (۳)، فلوچارت مراحل مختلف جداسازی پوشش گیاهی در این پژوهش نشان داده شده است.



شکل ۳- فلوچارت مراحل محاسبه کسر پوشش گیاهی

همچنین روش‌های دیگری وجود دارد که محدوده تغییر تصویر خاکستری را به دو بخش (سیاه و سفید) تقسیم می‌کند تا وابستگی متقابل بین آن‌ها (در مفهوم تئوری اطلاعات) را به حداقل برساند. روش Johanssen (Sahoo et al, 1988)، حد آستانه را بر مبنای مفهوم آنتروپی<sup>۱</sup> بدست می‌آورد. بر این اساس حد آستانه، از کمینه کردن مجموع دو عبارت مرتبط با بخش سفید و سیاه تصویر ( $S_b$  و  $S_t$ ) بدست می‌آید (رابطه ۱۰).

$$S_b(t) = \log \left( \sum_{i=0}^t p_i \right) + \frac{1}{\sum_{i=0}^t p_i} \left[ E(p_i) + E \left( \sum_{i=0}^{t-1} p_i \right) \right]$$

$$S_w(t) = \log \left( \sum_{i=t}^{255} p_i \right) + \frac{1}{\sum_{i=t}^{255} p_i} \left[ E(p_i) + E \left( \sum_{i=t+1}^{255} p_i \right) \right] \quad (10)$$

$$t^* = \underset{t \in G}{\text{Arg Min}} \{ S_b(t) + S_w(t) \}$$

$$E(x) = -x \log(x)$$

$$p_i = \text{probability}_G$$

$$t = \text{threshold}$$

در رابطه (۱۰)، مقدار حد آستانه،  $t^*$ ، از کمینه کردن مجموع دو پارامتر  $S_b$  و  $S_t$  به دست می‌آید. در تعریف این پارامترها،  $P_i$  احتمال سطح خاکستری  $i$  است. برای یک تصویر با دامنه تغییر پیکسل بین ۰ تا ۲۵۵، مقادیر  $P_i$  مقادیر مقیاس‌شده مربوط به هیستوگرام هستند، به این صورت که از تقسیم تعداد پیکسل‌هایی

<sup>1</sup> Entropy

## نتایج و بحث

برای بررسی صحت روش‌های مختلف جداسازی، تصاویر خروجی از روش‌های ترکیبی شاخص‌های گیاهی تمایز و آستانه‌گذاری، با تصویر واقعیت زمینی مقایسه شد. شکل (۵)، نمودار میله‌ای صحت میانگین روش‌های مختلف جداسازی پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. در این شکل، تأثیر متقابل شاخص‌های گیاهی تمایز شکل (a) و ۵ و الگوریتم‌های آستانه‌گذاری شکل (b) در صحت جداسازی را مشاهده می‌شود. تفاوت صحت بین روش‌های مختلف جداسازی با استفاده روش تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) مقایسه شد و آزمون توکی (Tukey test) در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. این مقایسه، به صورت حروف انگلیسی در بالای هر دسته نشان داده شده است که ستون‌هایی که دارای حروف انگلیسی یکسان هستند، اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند. دسته‌بندی a<sub>۱</sub>، نشان‌دهنده بیشترین صحت میانگین است و سایر حروف به ترتیب بیانگر صحت کمتر می‌باشند.

آستانه‌گذاری two-peaks کمترین صحت (۴۴/۲۶ درصد) را داشت. با استفاده از شاخص ExGB، روش آستانه‌گذاری Riddler-Calvard بیشترین صحت (۸۸/۹۷ درصد) و روش آستانه‌گذاری Johannsen کمترین صحت (۶۲/۷۷ درصد) کمترین صحت را داشت.

## صحت شاخص‌های گیاهی تمایز

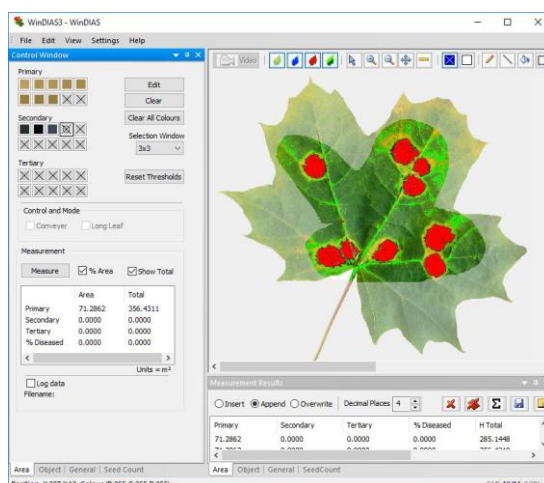
همان‌طور که از شکل (۵a) مشخص است، شاخص تمایز گیاهی ExGR کمترین صحت و شاخص تمایز گیاهی CIVEn بیش‌ترین صحت را در میان تمامی شاخص‌های گیاهی تمایز داشت. همان‌طور که از شکل (۵a) نشان داده شده است، با استفاده از شاخص ExG، روش آستانه‌گذاری Riddler-Calvard بیشترین صحت (۹۱/۳۵ درصد) و روش آستانه‌گذاری Johannsen کمترین صحت (۸۰/۲۳ درصد) را داشت. با استفاده از شاخص ExGR، روش آستانه‌گذاری Riddler-Calvard بیشترین صحت (۵۹/۴۳ درصد) و روش با استفاده از شاخص

همان‌طور که اشاره شد، در گام ابتدایی، تصویر مرئی RGB با استفاده از شاخص‌های گیاهی تمایز معرفی شده، به تصاویر تک‌باند خاکستری تبدیل شده و تصویر به دو قسمت روشن و تیره افراز می‌شود. سپس با استفاده از الگوریتم‌های آستانه‌گذاری، تصویر به یک تصویر سیاه و سفید (باینری) تبدیل و پیکسل‌های سفید (پیکسل برگ) شمارش می‌شود.

در نهایت از تقسیم پیکسل‌های سفید بر تعداد کل پیکسل‌های تصویر، از طریق رابطه (۱۱)، درصد پوشش گیاهی محاسبه می‌شود. یک نمونه از خروجی روش مذکور، در شکل (۳)، نشان داده شده است.

$$\text{Vegetation Cover(\%)} = \frac{\text{White Pixel numbers}}{\text{Total pixel numbers}} \times 100 \quad (11)$$

شکل (۴)، صفحه رابط کاربری گرافیکی نرم‌افزار Windias 3.3 را نشان می‌دهد. در این نرم‌افزار می‌توان پیکسل‌های برگ را در سه دسته رنگ (در صورت وجود بیماری می‌توان از دسته و رنگ مخصوص برای برگ‌های بیمار استفاده کرد) انتخاب کرد. در این بررسی، دو دسته برگ و پس‌زمینه (خاک) مورد بررسی قرار گرفتند. پس با استفاده از دو دسته رنگ (معمولاً از دو رنگ سفید و سیاه استفاده می‌شود) و به صورت نظارت‌شده، پیکسل‌های برگ و



خاک مشخص شدند.

شکل ۴- صفحه رابط کاربری گرافیکی نرم‌افزار Windias 3.3

از روش آستانه‌گذاری Otsu، شاخص CIVEn بیشترین صحت (۹۳/۵۷ درصد) و شاخص ExGR کمترین صحت (۵۷/۸۶ درصد) را داشت. با استفاده از روش آستانه‌گذاری Riddler-Calvard، شاخص CIVEn بیشترین صحت (۹۳/۰۸ درصد) و شاخص ExGR کمترین صحت (۵۹/۴۳ درصد) را داشت. با استفاده از روش آستانه‌گذاری two-peaks، شاخص ExG بیشترین صحت (۹۰/۸۶ درصد) و شاخص ExGR کمترین صحت (۴۴/۲۶ درصد) را داشت. با استفاده از روش آستانه‌گذاری Johannsen، شاخص CIVEn بیشترین صحت (۸۷/۸۹ درصد) و شاخص ExGR کمترین صحت (۵۹/۵۹ درصد) را داشت؛ بنابراین، به‌طور میانگین، در بین شاخص‌ها، شاخص CIVEn و در بین روش‌های آستانه‌گذاری، روش آستانه‌گذاری Riddler-Calvard بهترین عملکرد را در جداسازی پوشش گیاهی داشتند.

#### عملکرد روش‌های جداسازی پوشش گیاهی در دوره‌های مختلف رشد گیاه

صحت روش‌های مختلف، در طول دوره کشت موردبررسی قرار گرفت که در شکل (۶)، قابل مشاهده است. در این شکل، همچنین مقدار مجموع قدرمطلق فاصله بین داده واقعی زمینی و مقدار بدست آمده از الگوریتم‌های آستانه‌گذاری (ADGT)، به‌صورت نمودار میله‌ای نشان داده شده است. با توجه به شکل (۶)، شاخص ExGR در طول دوره رشد، نیز کمترین صحت جداسازی را به خود اختصاص داد. استفاده از CIVEn دقت جداسازی را نسبت به CIVe چهار درصد افزایش داده است و بیشترین دقت بین تمام روش‌ها به خودش اختصاص داده است. شاخص جدید ExGB نسبت به شاخص ExGR صحت جداسازی به‌اندازه تقریباً ۳۰ درصد افزایش داده است. جدول (۱)، مقدار مجموع قدر مطلق فاصله بین داده واقعی زمینی و مقدار بدست آمده از الگوریتم‌های آستانه‌گذاری را نشان می‌دهد.

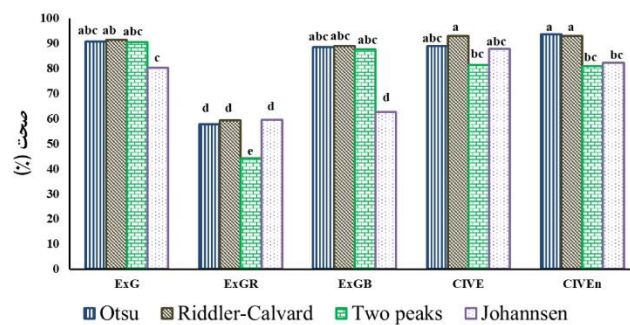
CIVE، روش آستانه‌گذاری Riddler-Calvard بیشترین صحت (۹۳/۰۱ درصد) و روش آستانه‌گذاری two-peaks کمترین صحت (۸۱/۵۳ درصد) را داشت. با استفاده از روش آستانه‌گذاری CIVEn، روش آستانه‌گذاری Otsu بیشترین صحت (۹۳/۵۷ درصد) و روش آستانه‌گذاری two-peaks کمترین صحت (۸۱/۰۷ درصد) را داشت. در مقایسه روش‌های جداسازی با استفاده از شاخص ExGR و روش‌های جداسازی با استفاده از شاخص ExGB، به‌طور میانگین صحت را به‌اندازه تقریباً ۲۷ درصد افزایش داده است. در مقایسه روش‌های جداسازی با استفاده از شاخص CIVe و CIVEn، ترکیب شاخص جدید با روش آستانه‌گذاری Otsu بیشترین دقت را در میان تمام روش‌ها با صحت ۹۳/۵۷ به خود اختصاص داده است. ترکیب CIVEn با روش‌های آستانه‌گذاری Riddler-Calvard و Two Peaks به ترتیب باعث افزایش دقت ۰/۰۷ و ۰/۱۷ درصد شده است. از طرف دیگر ترکیب شاخص جدید با روش آستانه‌گذاری Johannsen دقت محاسبه پوشش گیاهی را به‌اندازه تقریباً ۶ درصد کاهش است. تفاوت صحت در روش‌های جداسازی با استفاده از شاخص ExGR و ExGB، در سطح اطمینان آماری ۹۵ درصد معنی‌دار بود و استفاده از شاخص جدید ExGB باعث ۳۴/۵۶ درصد افزایش در صحت جداسازی پوشش گیاهی شد. همچنین، در مورد مقایسه صحت روش‌های جداسازی با استفاده از شاخص CIVe و CIVEn، در سطح اطمینان آماری ۹۵ درصد، تفاوت معنی‌دار نبود ولی شاخص جدید CIVEn باعث افزایش ۱/۴۱ درصدی صحت جداسازی پوشش گیاهی شد.

#### صحت الگوریتم‌های آستانه‌گذاری

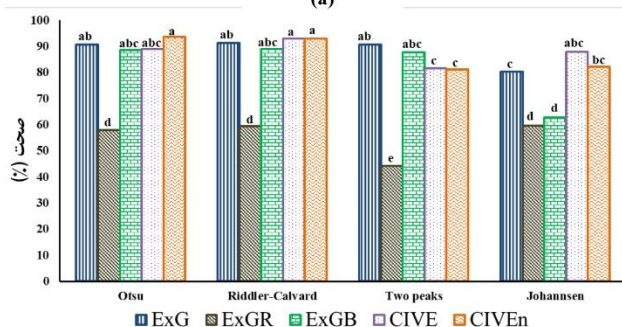
روش ترکیبی استفاده از شاخص CIVEn و الگوریتم آستانه‌گذاری Otsu بیشترین صحت (۹۳/۵۷ درصد) و روش ترکیبی استفاده از شاخص ExGR و الگوریتم آستانه‌گذاری Two-Peaks کمترین صحت (۴۴/۲۶ درصد) را داشت. همان‌طور که در شکل (۵b) نشان داده شده است، با استفاده

<sup>1</sup> Absolute Difference between Ground truth and Thresholding method (ADGT)





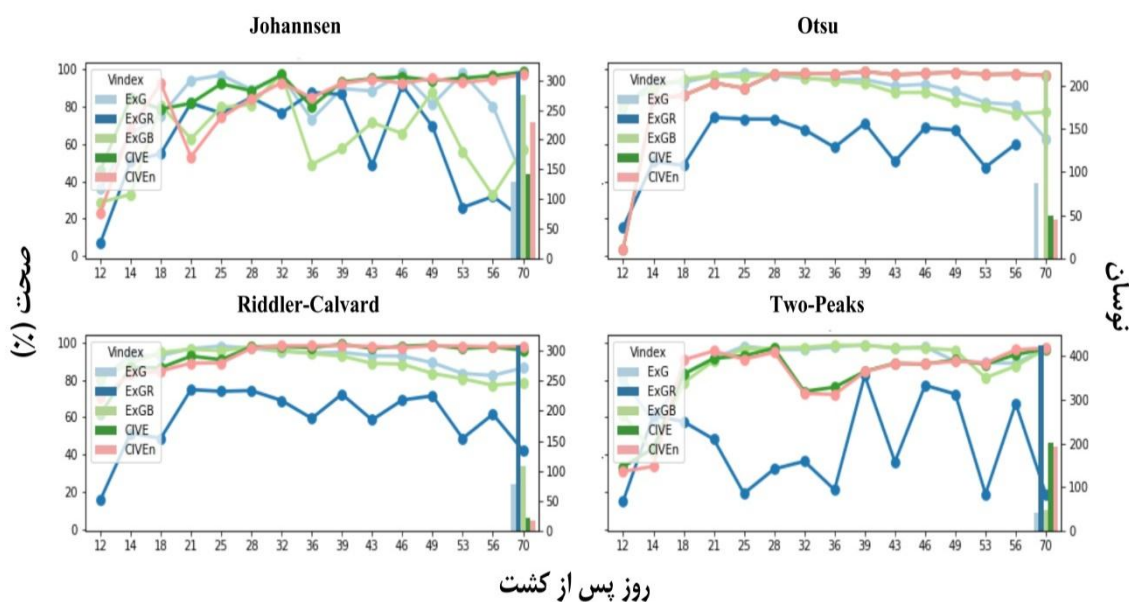
(a)



(b)

شکل ۵- نمودار میله‌ای صحت میانگین روش‌های مختلف جداسازی پوشش گیاه

(a) مقایسه صحت شاخص‌های گیاهی تمایز، (b) مقایسه‌ی صحت الگوریتم‌های آستانه‌گذاری



شکل ۶- صحت میانگین روش‌های مختلف جداسازی در طول دوره رشد

جدول ۱- مقایسه مقدار مجموع فاصله مطلق از مقدار واقعیت زمینی در طول دوره رشد برای روش‌های مختلف جداسازی

شاخص	الگوریتم آستانه‌گذاری	مجموع فاصله مطلق از مقدار واقعیت زمینی (بی‌بعد)
ExG	Otsu	۸۷/۳۰
	Riddler-Calvard	۷۸/۷۵
	Two-Peaks	۴۲/۵۶
ExGR	Johannsen	۱۲۸/۵۸
	Otsu	۳۱۸/۹۹
	Riddler-Calvard	۳۰۹/۰۹
ExGB	Two-Peaks	۴۲۴/۶۸
	Johannsen	۳۱۴/۸۸
	Otsu	۱۱۵/۱۵
CIVE	Riddler-Calvard	۱۰۸/۶۹
	Two-Peaks	۴۸/۳۰
	Johannsen	۲۷۶/۳۶
CIVEn	Otsu	۴۸/۹۹
	Riddler-Calvard	۲۱/۵۴
	Two-Peaks	۲۰۲/۹۶
CIVEn	Johannsen	۱۴۱/۱۸
	Otsu	۴۴/۹۸
	Riddler-Calvard	۱۷/۱۰
CIVEn	Two-Peaks	۱۹۲/۲۱
	Johannsen	۲۲۸/۸۳

برای به‌دست آوردن ارتباط میان عملکرد و سطح پوشش سبز گیاهی، مقادیر عملکرد وزن خشک غده چغندر قند در برابر مقادیر واقعیت زمینی پوشش گیاهی قرار گرفت و توابع مختلف خطی، چندجمله‌ای درجه دوم، نمایی و لگاریتم طبیعی به نقاط برازش داده شد (شکل ۷). دقت تخمین عملکرد در طول دوره رشد با استفاده از پوشش گیاهی بررسی گردید و نتایج نشان داد تابع نمایی بهترین برازش را بر داده‌ها داشت. جدول (۲)، تغییرات ضریب تبیین تابع توانی را در طول دوره رشد نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است در روز ۴۹، ضریب همبستگی تابع توانی، با مقدار ۰/۸۸ بیشینه بوده است. سپس مقادیر درصد پوشش گیاهی که از روش‌های مختلف جداسازی به‌دست آمدند به‌عنوان متغیر مستقل در بهترین تابع برازش داده شده قرار گرفتند و عملکرد تخمین زده شد. مطابق جدول (۳)، عملکرد تخمین زده شده با استفاده از درصد

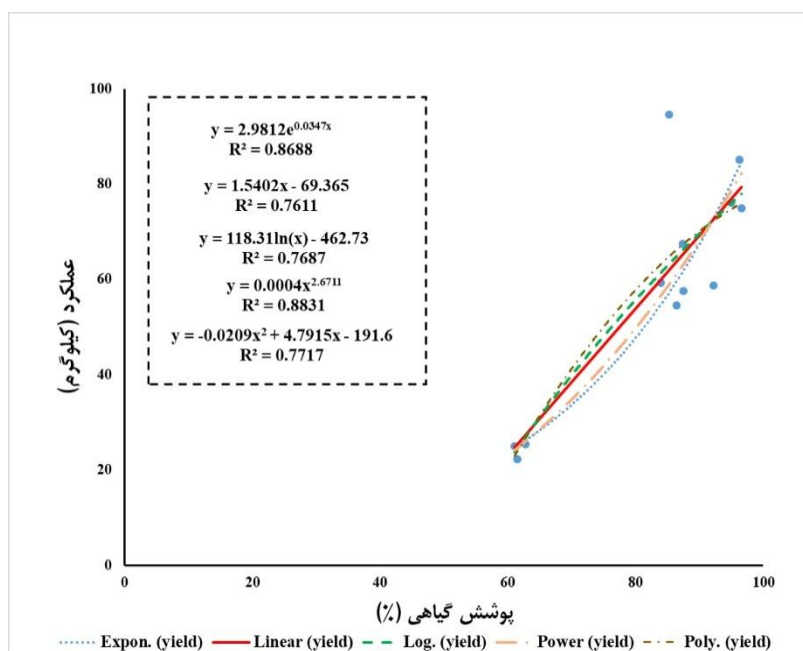
همچنین، مقدار مجموع قدر مطلق فاصله روش‌های مختلف جداسازی در طول دوره رشد نسبت به واقعیت زمینی در جدول (۱) ارائه شده است. روش جداسازی شاخص CIVEn و الگوریتم آستانه‌گذاری Riddler-Calvard کمترین فاصله و روش شاخص ExGR و آستانه‌گذاری Two-Peaks بیشترین فاصله را نسبت به واقعیت زمینی نشان داد.

با مشاهده نتایج حاصل از جدول (۱)، دریافت می‌شود که شاخص‌های جدید ارائه شده به‌خوبی عمل کرده‌اند. با توجه به افزایش دقتی که در استفاده از شاخص CIVEn و ExGB مشاهده شده پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی برای گیاهان مختلف و همچنین در سطح مزرعه کارایی آن بررسی گردد.

### بررسی و مقایسه روش‌های جداسازی پوشش گیاهی در تخمین عملکرد

جز در حالت استفاده از الگوریتم آستانه‌گذاری Two-Peaks که شاخص ExGB بهترین تخمین از عملکرد را داشت) و عملکرد تخمین زده شده با استفاده از شاخص جدید ExGB از خطای کمتری نسبت به عملکرد تخمین زده شده با استفاده از شاخص ExGR داشت.

پوشش گیاهی محاسبه شده با شاخص CIVEn و الگوریتم آستانه‌گذاری Riddler-Calvard کمترین مقدار خطا (RMSE = 12.09 Kg) و روش جداسازی شاخص ExGR و آستانه‌گذاری Otsu بیشترین مقدار خطا (RMSE = 41.25 Kg) را نشان داد. درصد پوشش گیاهی محاسبه شده با استفاده از شاخص CIVEn و CIVE بهترین تخمین از عملکرد را داشتند



شکل ۷- رابطه بین درصد پوشش گیاهی واقعیت زمینی و عملکرد وزن خشک غده چغندر قند در روز ۴۹ پس از کشت

جدول ۲- تغییرات ضریب تبیین رابطه بین پوشش گیاهی و عملکرد چغندر قند در طول دوره کشت

ضریب تبیین	روز پس از کشت
۰/۵۵	۲۵
۰/۵۱	۲۸
۰/۵۱	۳۲
۰/۵۱	۳۶
۰/۸۵	۳۹
۰/۷۹	۴۳
۰/۸۳	۴۶
۰/۸۸	۴۹
۰/۸۴	۵۳
۰/۶۰	۵۶
۰/۰۷	۷۰

جدول ۳- مقایسه مقدار خطای تخمین عملکرد با استفاده از درصد پوشش گیاهی روش‌های مختلف جداسازی

روشن آستانه‌گذاری	شاخص تمایز	RMSE کیلوگرم
Otsu	ExG	۳۰/۸۴
	ExGR	۴۱/۲۵
	ExGB	۳۵/۰۷
	CIVE	۱۲/۱۴
	CIVE <sub>n</sub>	۱۲/۱۱
Riddler-Calvard	ExG	۲۹/۳۰
	ExGR	۴۰/۵۶
	ExGB	۳۰/۸۸
	CIVE	۱۲/۱۵
	CIVE <sub>n</sub>	۱۲/۰۹
Two-Peaks	ExG	۲۷/۵۵
	ExGR	۲۳/۹۲
	ExGB	۱۳/۰۷
	CIVE	۲۶/۴۷
	CIVE <sub>n</sub>	۲۷/۱۲
Johannsen	ExG	۲۳/۷۵
	ExGR	۳۹/۶۴
	ExGB	۲۴/۳۵
	CIVE	۲۳/۶۳
	CIVE <sub>n</sub>	۲۲/۲۹

### نتیجه‌گیری

برآورد پوشش گیاهی، به روش جداسازی پیش‌زمینه (برگ) از پس‌زمینه (خاک) و با استفاده از شاخص‌های گیاهی تمایز و الگوریتم‌های آستانه‌گذاری با صحت بالایی انجام شد. شاخص‌های گیاهی تمایز براساس تقویت باند سبز عمل می‌کنند؛ بنابراین، در این مطالعه علاوه بر شاخص‌های پر استفاده ExG، ExGR و CIVE از دو شاخص تمایز گیاهی جدید ExGB و CIVE<sub>n</sub> استفاده شد که از تغییر ضرایب باند قرمز و آبی در شاخص تمایز ExGR و CIVE به‌دست آمد. به‌علاوه از چهار روش آستانه‌گذاری Otsu، Riddler-Calvard، two-peaks و Johannsen با مبانی علمی متفاوت استفاده شد. بیشترین صحت در بین روش‌های جداسازی مربوط به روش استفاده از شاخص

تمایز گیاهی CIVE<sub>n</sub> و الگوریتم آستانه‌گذاری Otsu (۹۳/۵۷ درصد) و کمترین صحت (۴۴/۲۶ درصد)، مربوط به روش ترکیبی شاخص ExGR و الگوریتم آستانه‌گذاری two-peaks بود. همچنین، منحنی صحت روش‌های جدید جداسازی در طول دوره کشت، روند تقریباً کم‌نوسانی را نشان داد که حاکی از این است که این روش‌ها توانسته‌اند در طول کشت به‌خوبی پوشش گیاهی را از پس‌زمینه جدا کنند. با استفاده از این نمودار و مقدار مطلق فاصله از مقدار واقعیت زمینی، مشاهده شد که روش‌های جدید ارائه‌شده از عملکرد بالایی برخوردار هستند. نتایج نشان داد که درصد پوشش گیاهی می‌تواند بیانگر عملکرد محصول چغندر قند باشد. تابع توانی با ضریب تبیین ۰/۸۸ بهترین رابطه بین عملکرد و پوشش گیاهی را نشان داد. با

- Coy, A., Rankine, D., Taylor, M., Nielsen, D. C. and Cohen, J. 2016. Increasing the accuracy and automation of fractional vegetation cover estimation from digital photographs. *Remote Sensing*, 8(7): 21–25.  
<https://doi.org/10.3390/rs8070474>
- García-Martínez, H., Flores-Magdaleno, H., Ascencio-Hernández, R., Khalil-Gardezi, A., Tijerina-Chávez, L., Mancilla-Villa, O. R. and Vázquez-Peña, M. A. 2020. Corn grain yield estimation from vegetation indices, canopy cover, plant density, and a neural network using multispectral and RGB images acquired with unmanned aerial vehicles. *Agriculture (Switzerland)*, 10(7): 1–24.  
<https://doi.org/10.3390/agriculture10070277>
- Hamuda, E., Glavin, M. and Jones, E. 2016. A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field. *Computers and Electronics in Agriculture*, 125: 184–199.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.024>
- He, H. J., Zheng, C. and Sun, D. W. 2016. Image segmentation techniques. In *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation: Second Edition*. Elsevier Inc.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802232-0.00002-5>
- Kataoka, T., Kaneko, T., Okamoto, H. and Hata, S. 2003. Crop growth estimation system using machine vision. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, AIM, 2(Aim): 1079–1083.  
<https://doi.org/10.1109/AIM.2003.1225492>
- Kazmi, W., Garcia-Ruiz, F. J., Nielsen, J., Rasmussen, J., and Jørgen Andersen, H. 2015. Detecting creeping thistle in sugar beet fields using vegetation indices. *Computers and Electronics in Agriculture*, 112: 10–19.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.01.008>
- Khanna, R., Schmid, L., Walter, A., Nieto, J., Siegwart, R., and Liebisch, F. 2019. A spatio temporal spectral framework for plant stress phenotyping. *Plant Methods*, 15(1): 1–18.  
<https://doi.org/10.1186/s13007-019-0398-8>
- Kim, S.-H., Ryu, C.-S., Kang, Y.-S., and Min, Y.-B. 2015. Improved plant image segmentation method using vegetation indices and automatic

استفاده از درصد پوشش گیاهی محاسبه شده از روش‌های مختلف جداسازی عملکرد تخمین زده شد که روش آستانه‌گذاری Riddler-Calvard و شاخص جدید استخراج پوشش گیاهی با ۱۲/۰۹ کیلوگرم خطا در برآورد عملکرد، بهترین روش و روش آستانه‌گذاری Otsu و شاخص تفاضل فزونی باند سبز با فزونی باند قرمز با ۴۱/۲۵ کیلوگرم خطا در برآورد عملکرد، بدترین روش بود. با توجه به صحت و سرعت بالای روش پردازش تصویری جداسازی در تشخیص پوشش گیاهی و با توجه به این که این روش‌ها عملکرد قابل توجهی در شرایط فضای گلخانه‌ای نشان دادند، می‌توان از این روش‌ها در هوشمندسازی فعالیت‌های گلخانه‌ای برای کنترل و نظارت وضع گیاه استفاده کرد.

## سیاسگزار

برای انجام پردازش‌ها و اندازه‌گیری سطح پوشش گیاهی، از ابزارهای آزمایشگاه آبیاری گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) استفاده شد. هم‌چنین از آقای مهندس سید غلامرضا بابایی، مسئول محترم آزمایشگاه بابت کمک‌هایی بی‌دریغ ایشان، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

- علیزاده، ا. ۱۳۹۴. طراحی سیستم‌های آبیاری (جلد اول)، چاپ ششم، دانشگاه امام رضا (ع).
- علیزاده، ا. ۱۳۹۳. رابطه آب و خاک و گیاه، ویرایش چهارم، چاپ چهاردهم، دانشگاه صنعتی سجاد.
- لطیف‌التجار، س.، جعفری، ع.، نصیری، س. م. و شریفی، ح. ۱۳۹۳. تخمین عملکرد چغندر قند براساس پوشش سایه‌انداز گیاه با استفاده از الگوهای پردازش تصویر. نشریه ماشین‌های کشاورزی، ۲ (۴): ۲۸۴–۲۷۵.
- حدادی، سیدرضا، سلطانی، مسعود، & هاشمی، معصومه. (۱۴۰۱). مقایسه صحت روش‌های مختلف پردازش تصویر در برآورد پوشش سایه‌انداز گیاه چغندر قند با استفاده از تصاویر دوربین دیجیتال. مدیریت آب و آبیاری، ۱۲(۲)، ۳۰۸–۲۹۵. doi: 10.22059/jwim.2022.336225.954

- Sahoo, P. K., Soltani, S. and Wong, A. K. C. 1988. A survey of thresholding techniques. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*. 41(2): 233–260. [https://doi.org/10.1016/0734-189X\(88\)90022-9](https://doi.org/10.1016/0734-189X(88)90022-9)
- Sánchez-Sastre, L. F., Alte da Veiga, N. M. S., Ruiz-Potosme, N. M., Carrión-Prieto, P., Marcos-Robles, J. L., Navas-Gracia, L. M. and Martín-Ramos, P. 2020. Assessment of RGB vegetation indices to estimate Chlorophyll content in sugar beet leaves in the final cultivation stage. *AgriEngineering*. 2(1): 128–149. <https://doi.org/10.3390/agriengineering2010009>
- Thailambal, G. and Yogeshwari, M. 2020. Automatic segmentation of plant leaf disease using improved fast Fuzzy C-Means clustering and adaptive Otsu thresholding. *European Journal of Molecular and Clinical Medicine*. 7(3): 5447–5462. [https://ejmcm.com/article\\_5513.html](https://ejmcm.com/article_5513.html)
- Woebbecke, D. M., Meyer, G. E., Von Bargaen, K., and Mortensen, D. A. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 38(1): 259–269. <https://doi.org/10.13031/2013.27838>
- Zheng, L., Zhang, J., and Wang, Q. 2009. Mean-shift-based color segmentation of images containing green vegetation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 65(1): 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.08.002>
- thresholds. *Journal of Agriculture & Life Science*. 49(5): 333–341. <https://doi.org/10.14397/jals.2015.49.5.333>
- Lee, K.-J., and Lee, B.-W. 2011. Estimating canopy cover from color digital camera image of rice field. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 14(2): 151–155. <https://doi.org/10.1007/s12892-011-0029-z>
- Meyer, G. E., Mehta, T., Kocher, M. F., Mortensen, D. A. and Samal, A. 1998. Textural imaging and discriminant analysis for distinguishing weeds for spot spraying. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 41(4): 1189–1197. <https://doi.org/10.13031/2013.17244>
- Meyer, George 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. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.03.009>
- Otsu, N. 1979. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*. 20(1): 62–66.
- Parker, J. R. 2011. Algorithms for image processing and computer vision. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. 53(9).
- Riehle, D., Reiser, D., and Griepentrog, H. W. 2020. Robust index-based semantic plant/background segmentation for RGB-images. *Computers and Electronics in Agriculture*. 169(December 2019): 105201. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105201>

## Evaluation of Different Vegetation Discriminator Indices and Image Processing Algorithms to Estimate Water Productivity

S. R. Haddadi<sup>۱</sup>, M. Soltani<sup>۲</sup> and M. Hashemi<sup>۳\*</sup>

### Abstract

A canopy cover percentage is considered one of the most important evaluation criteria for evaluating the simultaneous effects of impressive factors on water efficiency. Since digital cameras are developed and widely available, the use of discrimination indices in the visible spectrum is making it possible to calculate the leaf area index and chlorophyll content of vegetation covers. Therefore, in this study, the performance of five plant Vegetation Discrimination Indices (VIDs) and a variety of thresholding algorithms was compared in order to distinguish the sugar beet's vegetation cover from its background, among which two new indices were introduced. In comparison with the old VID of Excess Green minus excess Red (ExGR), using the new VID of Excess Green minus excess Blue (ExGB) and Riddler-Calvard's thresholding algorithm resulted in a 29.54 percent increase in vegetation cover segmentation accuracy. Following this step, we determined which function would best predict dry beet weight from vegetation cover percentage, and the power function did the best. In order to estimate the yield, the segmentation method based on Riddler-Calvard thresholding and the New Canopy Index of Vegetation Extraction (CIVE<sub>n</sub>) had an error of 12.09 Kg. With an error of 41.25 Kg, the segmentation method based on Otsu thresholding and ExGR index performed worst.

**Keywords:** Digital images, Ground Truth images, Segmentation, Thresholding

---

<sup>1</sup>M. Sc. Graduated, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

<sup>3</sup> Researcher, Faculty of Remote Sensing Institute of Civil Engineering, Sharif University, Tehran, Iran

(\* Corresponding Author Email: hashemitame@sharif.edu)

Received: 4 Dec 2022

Accepted: 4 Jan 2023