

شناسایی گیاه کاهو و کلم در شرایط نوری مزرعه با استفاده از روش پیشنهادی آستانه‌گذاری پوسته‌ای

محسن مهدیانی*، رضا طباطبایی کلور و محمودرضا گلزاریان**

*نگارنده مسئول: مازندران، ساری، کیلومتر ۹ جاده فرح‌آباد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ص. پ. ۵۷۸، تلفن: ۰۱۱(۳۳۶۸۷۹۰۱)، پیام‌نگار: mahdiani_mohsen@hotmail.com
** به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد؛ و دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ و استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۲۴

چکیده

تغییرات شدت نور از مشکلات موجود در دستگاه‌های مبتنی بر پردازش تصویر است. در پژوهش حاضر به شناسایی گیاه کاهو و کلم از روی تصاویر تهیه شده در شرایط متغیر نوری مزرعه با استفاده از روشی نوین پرداخته شده است. شیوه جدید شناسایی توسط آستانه‌ای صورت می‌گیرد که در فضای اقلیدسی سه بعدی قرار دارد و به‌صورت پوسته‌ای بیضی‌گون است و از مولفه روشنایی در ساختار خود استفاده می‌کند. نتایج حاصل از به‌کارگیری این شیوه برای شناسایی تصویری گیاهان سبزرنگ در شرایط مزرعه نشان می‌دهد که شیوه پیشنهادی، نسبت به روش‌های متداول شناسایی گیاه، خطاهای نوع گیاهی، پس‌زمینه، مجموع و میانگین مربع خطای کمتری دارد. نتایج ارزیابی شیوه پیشنهادی روی دو نمونه گیاه کاهو و کلم نشان می‌دهد که این شیوه قادر به شناسایی کلم با دقتی برابر با ۸۵/۲۶ درصد است و در ترکیب این شیوه با خصوصیات شکلی برای شناسایی کاهو دقتی برابر با ۶۶/۶۷ درصد دارد.

واژه‌های کلیدی

آستانه‌گذاری پوسته‌ای، بینایی ماشین، فاصله اقلیدسی

مقدمه

و ماشین بردار پشتیبان (Mizushima & Lu, 2013) و نیز در شناسایی بیماری‌های گیاهی با استفاده از ویژگی‌های بافتی از روی برگ گیاه (Camargo & Smith, 2009) یا با استفاده از میزان جذب نور و عکس‌برداری با دوربین مادون‌قرمز (Polder *et al.*, 2014) از کاربردهای دیگر پردازش تصویر گونه‌شناسی است، در اینجا برگ گیاهان مختلف پس از اسکن شدن، با استفاده از بافت و برخی خصوصیات مورفولوژیکی مانند صاف یا کنگره‌دار بودن لبه، شناسایی می‌شود (Cope *et al.*, 2012). شناسایی گیاه و علف هرز در مزرعه نیشکر (Muangkaseem *et al.*, 2010)

یکی از راه‌های افزایش بازده مزرعه، پایش و کنترل علف‌های هرز است. پایش مزرعه از لحاظ وجود علف‌های هرز کاری سخت و زمان‌بر است ولی تکنولوژی پردازش تصویر، با ویژگی‌های سرعت و دقت بالایی که دارد، پتانسیل قابل توجهی در کاهش سختی و هزینه نشان داده است. پردازش تصویر در بخش‌های مختلف کاربرد دارد از جمله در درجه‌بندی میوه‌هایی مانند لیمو (Khojastehnazhand *et al.*, 2010)، توت‌فرنگی (Liming & Yanchao, 2010) یا سیب با روش‌های اتسو



مقایسه روش خود با روش ووبک و همکاران (Woebbecke et al., 1995a)، روش خود را برتر اعلام کردند. فضای رنگی HSV از جمله فضاهای رنگی است که در آن رنگینگی از روشنایی تفکیک می‌شود (Gonzalez & Richard, 2002) و به‌همین دلیل محققانی مانند گلزاریان و همکاران (Golzarian et al., 2007) از این فضا برای شناسایی گیاه در شرایط طبیعی مزرعه استفاده کرده‌اند.

به‌طور کلی با روش‌های یاد شده شدت روشنایی گیاه از دیگر اجزای تصویر متفاوت می‌شود که با استفاده از آستانه‌گیری، بخش‌بندی تصویر و شناسایی گیاه انجام می‌گیرد. تاکنون شیوه‌های آستانه‌گذاری و بخش‌بندی خودکار تصویر بر مبنای استفاده از یک آستانه موردی ثابت یا یک مقدار آستانه بهینه بر اساس بیشینه کردن تغییرات داخل کلاسی برای تقسیم هیستوگرام به دو کلاس بوده است (Mizushima & Lu, 2013). شیوه‌ای که در آن از آستانه ثابت برای بخش‌بندی استفاده می‌شود، وابستگی زیادی به مجموعه داده داشته و بنابراین مقدار آستانه پیشنهادی جامعیت کلی ندارد و عملکرد بخش‌بندی با این مقدار آستانه ثابت از یک مجموعه داده تصویری به مجموعه دیگری با روشنایی متفاوت، یکسان نخواهد بود و در بسیاری از مواقع، بخش‌بندی با مقدار آستانه ثابت روی تصاویری غیر از تصاویری که از آنها مقدار ثابت به‌دست آمده است، تصاویر باینری خارج از انتظار ایجاد خواهد کرد. ایراد عمده شیوه دوم (تعیین آستانه بهینه توسط اتسو)، قطعه‌بندی تصویر به دو کلاس حتی در مواردی است که تمام پیکسل‌های تصویر مربوط به یک رنگ (یک کلاس) هستند. در اکثر تحقیقات مذکور پس از شناسایی رنگ گیاه، با استفاده از خصوصیات شکلی وابسته به اندازه یا مستقل از اندازه، به شناسایی گیاه خاص در بین گیاهان هم‌رنگ شناسایی شده پرداخته می‌شود (Woebbecke et al., 1995b).

با خصوصیات رنگی و بافت تصویر (Ahmed et al., 2012) نیز از کاربردهای دیگر آن است، در اینجا نیز خصوصیات رنگی و تبدیل موجک برای یافتن مکان علف هرز در مزرعه ذرت (Kargar et al., 2013) استفاده‌های فراوانی دارد.

در تمامی سیستم‌های بینایی ماشین نور یکی از پارامترهایی است که تاثیر بسیار زیادی روی نتیجه نهایی می‌گذارد به‌طوری که نور نامناسب در تصویر نتایج غیر قابل انتظار را فراهم می‌آورد. در شرایط طبیعی مزرعه مهم‌ترین علت به‌وجود آمدن ناهمگونی در نور، وجود سایه گیاه یا سایه دستگاه بینایی روی گیاه مورد نظر است. این مشکل از معضلاتی بوده است که محققان همواره درصدد رفع آن برآمده‌اند. روش‌هایی که محققان تاکنون به‌کار گرفته‌اند به دو دسته تقسیم می‌شوند: به‌کارگیری فاکتورهای رنگی و استفاده از فضای رنگی متفاوت. هدف از اعمال فاکتورهای رنگی یا استفاده از فضاهای رنگی متفاوت، علاوه بر نادیده گرفتن مولفه روشنایی، یافتن تضاد رنگی مناسب برای شیئی مورد نظر در تصویر و پس‌زمینه است. در این زمینه، ووبک و همکاران (Woebbecke et al., 1995a) بعد از مقایسه عملکرد چند فاکتور رنگی برای شناسایی گیاه، نتیجه گرفتند که بهترین تضاد رنگی را با رابطه $2G - R - B$ (سبزینگی مازاد) می‌توان ایجاد کرد. در همین راستا احمد و همکاران (Ahmed et al., 2012) با افزودن پارامتری دیگر به سبزینگی مازاد، این روش را بهبود بخشیدند و نشان دادند که با این روش و ویژگی‌های بافت تصویر شامل سه پارامتر اساسی الگوی دوتایی محلی، الگوی سه‌تایی محلی و الگوی راستایی محلی به‌همراه روش ماشین بردار پشتیبان، شناسایی علف هرز در تصویر امکان‌پذیر خواهد بود. مییر و نیتو (Meyer & Neto, 2008) از دیگر محققانی هستند که با تفریق شاخص رویشی مازاد رنگ قرمز از سبزینگی مازاد، تضاد رنگی گیاه در تصویر را افزایش دادند و با

$$\Delta b^* = b_2^* - b_1^*$$

که در این روابط،

R = فاصله رنگی رنگ مورد نظر از رنگ مرجع در فضای سه بعدی اقلیدسی؛ و ΔL^* ، Δa^* و Δb^* = به ترتیب اختلاف میزان روشنایی، اختلاف مقدار مولفه a^* و اختلاف مقدار مولفه b^* پیکسل مورد بررسی با رنگ مرجع هستند. با رابطه ۱ می توان محدوده‌ای برای هر مجموعه رنگی تعریف و از این محدوده‌ها برای تفکیک و کلاسه‌بندی پیکسل‌ها در مجموعه رنگ‌های مختلف و بنابراین بخش‌بندی رنگی تصویر استفاده کرد. به عنوان مثال، با فرض ثابت بودن روشنایی پیکسل‌های تصویری را فرض کنید که دارای رنگ‌هایی هستند که در صفحه a^*b^* در دو مجموعه رنگی A و B قرار می‌گیرند (شکل ۱). در این دو مجموعه، نقاط سمت راست در مجموعه A، مشخص‌کننده رنگ پیکسل‌های ناحیه مورد نظر است که اصطلاحاً پیش‌زمینه خوانده می‌شود. نقاط سمت چپ در مجموعه B مشخص‌کننده مختصات رنگی پیکسل‌هایی از تصویر است که در ناحیه‌ای غیر از ناحیه مورد نظر واقع شده‌اند و پس‌زمینه خوانده می‌شوند. رابطه ۱ نشان می‌دهد که برای جداسازی این دو مجموعه می‌توان از پارامتر فاصله رنگی با مقدار R مشخص استفاده کرد زیرا در مقایسه با نقاط مجموعه B، نقاط اطراف مجموعه A به دلیل فاصله کم نسبت به نقطه مرکز دایره A (نقطه مرجع) دارای مقدار بازگردانده شده کمتری دارند.

هدف از این تحقیق، معرفی و ارزیابی شیوه جدید آستانه‌گذاری پوسته‌ای فضایی برای شناسایی گیاه مطلوب تحت شرایط متغیر نوری مزرعه است، شیوه‌ای که در آن مولفه روشنایی از پارامترهای اصلی و تاثیرگذار در شناسایی است، مشکلات روش‌های رایج در آستانه‌گذاری را ندارد و هم‌زمان قادر به بخش‌بندی و آستانه‌گذاری است.

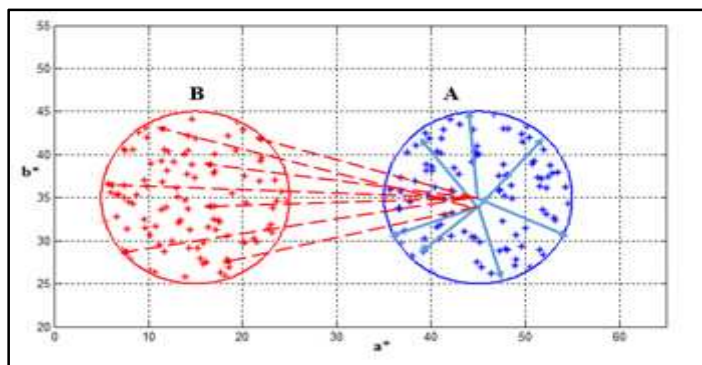
مواد و روش‌ها

شیوه آستانه‌گذاری پوسته‌ای که در این تحقیق معرفی شده است بر اساس اطلاعات رنگی و روشنایی تهیه شده در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ است. در این فضا، L^* ، a^* و b^* به ترتیب روشنایی (متغیر بین صفر تا ۱۰۰)، اختلاف سبز و قرمز (متغیر بین ۱۲۸- تا ۱۲۷) و پارامتر آبی تا زرد (متغیر بین ۱۲۸- تا ۱۲۷) است (Gonzalez et al., 2008). در این فضا، میزان شباهت یا عدم شباهت رنگی رنگ مورد نظر با رنگ مرجع را رابطه ۱ فاصله اقلیدسی در فضای رنگی به دست می‌دهد (Kheng, 2002).

$$R = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$\Delta L^* = L_2^* - L_1^*$$

$$\Delta a^* = a_2^* - a_1^*$$



شکل ۱- دو مجموعه رنگی از نقاط پیش‌زمینه (A) و پس‌زمینه (B) که نسبت به هم فاصله رنگی دارند

که در این روابط،
 P_{mis} = پیکسل گیاه که به عنوان سایه در نظر گرفته شده؛
 P_{ref} = تعداد پیکسل گیاه در تصویر مرجع (تصویری که با
 نرم افزار فتوشاپ به صورت دستی جداسازی شده)؛
 B_{mis} = تعداد پیکسل های پس زمینه که به عنوان گیاه در
 نظر گرفته شده؛ و B_{ref} = تعداد پیکسل پس زمینه در تصویر
 مرجع. خطای مجموع نیز حاصل جمع دو خطای گیاهی و
 پس زمینه است. بدین منظور با جمع کردن دو رابطه با
 یکدیگر، رابطه ۶ به دست می آید که علاوه بر دارا بودن
 محدوده دو رابطه، در سه بعد کشیده تر است.

$$(\Delta L^*)^2 + 2 \times (\Delta a^*)^2 + 2 \times (\Delta b^*)^2 \leq R^2 + r^2 = d^2 \quad (5)$$

$$\frac{(\Delta L^*)^2}{d^2} + \frac{2}{d^2} \times \Delta a^{*2} + \frac{2}{d^2} \times \Delta b^{*2} \leq 1 \quad (6)$$

کشیده تر بودن در سه بعد باعث شناسایی نقاط بیشتر
 در دو مجموعه می شود و به دلیل بیضی بودن، خطای
 پس زمینه به مراتب کمتر از دو رابطه قبلی خود دارد.
 مقدار R و r همان مقدار آستانه به دست آمده برای هر یک
 از روش ها، بدون در نظر گرفتن دیگری است.

رابطه ۶ پوسته بیضی گون سه بعدی را در فضای رنگی
 مشخص می کند که در این تحقیق از این پوسته به عنوان
 شیوه ای جدید در آستانه گذاری و جداسازی رنگ های
 تصویر استفاده شده است.

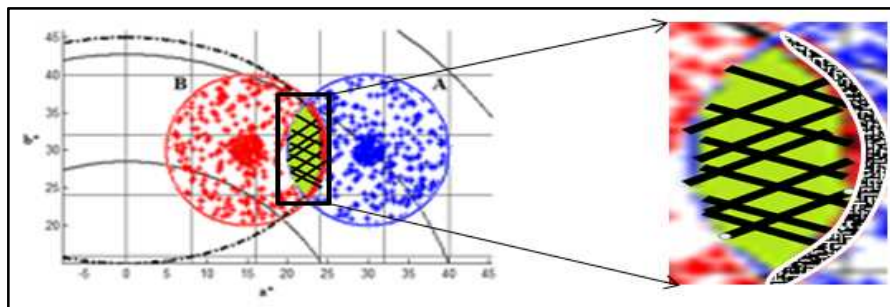
اگر در رابطه ۱ تغییرات شدت نور صفر در نظر گرفته
 شود، یعنی تعیین فاصله در شدت نور ثابت انجام شود،
 رابطه تعیین فاصله در دو بعد به دست خواهد آمد
 (رابطه ۲) که اگر نقطه مرجع $(a^*=0$ و $b^*=0)$ باشد،
 از آن برای تعیین میزان رنگینگی^۱ یک رنگ استفاده
 می شود (Kheng, 2002):

$$(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 = r^2 \quad (2)$$

رابطه ۲ نشان دهنده تفاوت رنگی دو رنگ بدون
 در نظر گرفتن میزان روشنایی است که اگر این رابطه برای
 شکل ۲ به کار برده شود با همان استدلال گفته شده برای
 دو بعد، در سه بعد نیز می توان دو رنگ را از یکدیگر
 تفکیک کرد؛ اما وقتی شرایط دو مجموعه مانند شکل ۲
 باشد دسترسی به کمترین خطای گیاهی و
 پس زمینه به طور هم زمان وجود ندارد و کم شدن
 یکی منجر به زیاد شدن دیگری می شود. روابط
 ۳ و ۴ میزان خطای گیاهی و پس زمینه را تعیین می کنند
 (Golzarian et al., 2012).

$$\text{خطای گیاهی} = \left(\frac{P_{mis}}{P_{ref}} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{خطای پس زمینه} = \left(\frac{B_{mis}}{B_{ref}} \right) \times 100 \quad (4)$$



شکل ۲- دو مجموعه و آستانه منحنی مشکی رنگ آنها سمت چپ؛
 سمت راست ناحیه ای که خطاهای گیاهی و پس زمینه در آن بزرگنمایی شده است
 (ناحیه هاشور خورده برای خطای پس زمینه و ناحیه ای با بافت ریز داخل منحنی سفید رنگ خطای گیاهی است.)

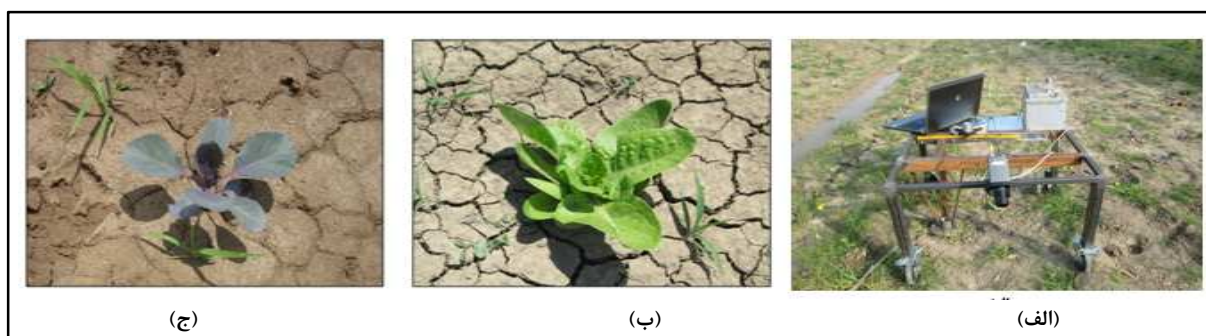
شناسایی گیاه کاهو و کلم در شرایط نوری مزرعه ...

شهرستان ساری و در ساعات بین ۱۰ تا ۱۴ (به سبب حداکثر تابش نور به گیاه) با اندازه ۳۲۴۰×۴۳۲۰ پیکسل توسط سامانه تصویربرداری طراحی شده شکل ۳ تهیه شد، این سامانه دوربین (Canon Power Shot A2200) بدون زوم و فلاش و با فاصله کانونی ۵ میلی متر را در فاصله ثابت ۶۰ سانتی متری از سطح زمین نگه می دارد. از این تصویرها ۴۰۰ تصویر شامل گیاه کاهو و زمینه (علف هرز و خاک) و بقیه شامل گیاه کلم و زمینه بود. تصویرها با نرم افزار MATLAB 2012 پس از انتقال به فضای رنگی $L^*a^*b^*$ آنالیز شد.

برای تعیین میانگین مربع خطا، از رابطه ۷ استفاده شد (Wang & Zhang, 1999) که در آن M = تعداد پیکسل های تصویر؛ X = تصویر مورد نظر؛ و X' تصویر مرجع است. تصویر مرجع تصویری است که گیاه به صورت دستی و با استفاده از نرم افزار فتوشاپ از زمینه جدا شده است.

$$MSE = \frac{1}{M} \sum (X - X')^2 \quad (7)$$

آستانه گذاری پوسته ای و کلاسه بندی بیضی گون با حدود تصویر از مزارع دو گیاه کلم و کاهو ارزیابی شد. تصویرها از مزارع واقع در کیلومتر ۱۰ جاده دریا در



شکل ۲- (الف) نگه دارنده دوربین، (ب) تصویر گرفته شده از مزرعه کاهو و (ج) تصویر گرفته شده از مزرعه کلم

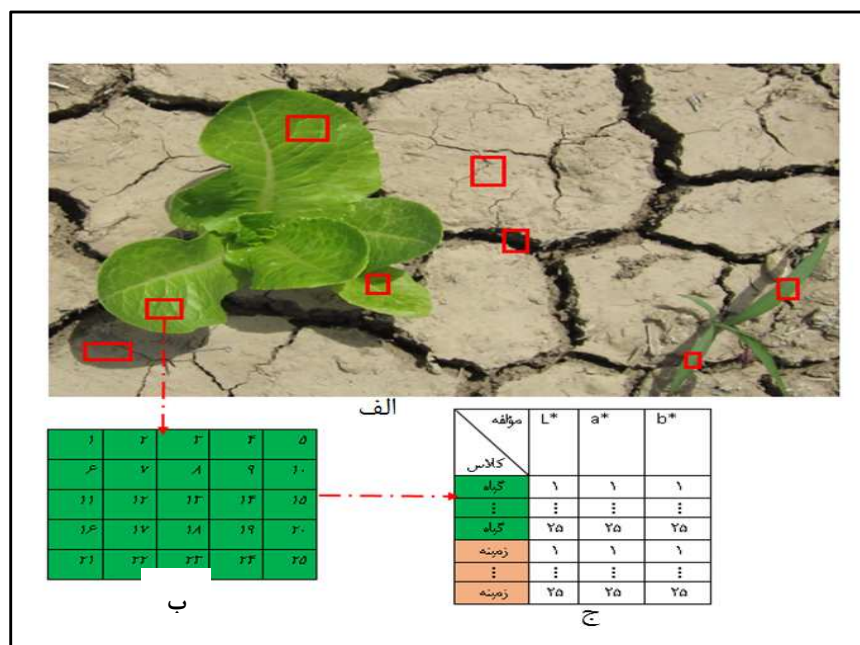
که در آن، A = مجموعه پیکسل های ناحیه مورد نظر (که با استفاده از الگوریتم جدا شده است)؛ B = مجموعه پیکسل های ناحیه ای مدنظر (که به صورت دستی بخش بندی شده است)؛ i و j = مختصات پیکسل های تصویر؛ و m و n = ابعاد تصویر.

شناسایی گیاه بر اساس رنگ: استفاده از رابطه ۶ مستلزم آن است که مقادیر شعاع های دو رابطه ۱ و ۲ و همچنین مختصات نقطه مرجع مشخص باشد. بدین منظور تعدادی تصویر به صورت اتفاقی انتخاب و قطعات ۵×۵ کوچکی از آنها جدا شد؛ ۱۰۰ قطعه کوچک شامل تصویر گیاه (کاهو و علف هرز) در سایه و تحت نور مستقیم و ۱۰۰ قطعه

برای ارزیابی الگوریتم نوشته شده برای شناسایی کلم، تعداد ۱۰۰ تصویر مرجع تهیه و الگوریتم قطعه بندی به روش آستانه گذاری پوسته ای روی آنها اعمال شد. علاوه بر استفاده از خطاهای نوع گیاهی، پس زمینه، مجموع و میانگین خطای مربع، از روش میسر و نیتو (Meyer & Neto, 2008) نیز استفاده شد. معیار ارزیابی الگوریتم های بخش بندی (Guo et al., 2013) رابطه ۸ است:

$$Q_{seg} = \frac{\sum_{i=0}^{i=m} \sum_{j=0}^{j=n} (A(v)_{i,j} \cap B(v)_{i,j})}{\sum_{i=0}^{i=m} \sum_{j=0}^{j=n} (A(v)_{i,j} \cup B(v)_{i,j})} \times 100 \quad (8)$$

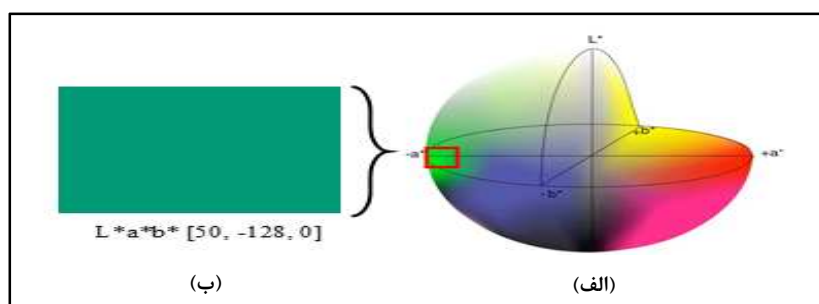
دیگر شامل خاک در سایه و تحت نور مستقیم. برای هموار شدن تصویرها و از بین رفتن نویز در آنها، فیلتر میانگین روی تصاویر اعمال شد مقدار مولفه‌های اصلی رنگ برای هر پیکسل تصویر محاسبه شد (شکل ۴).



شکل ۴- (الف) تصویر رنگی به همراه مناطق خاص مورد نظر، (ب) مربع با ۲۵ پیکسل با رنگ خاص و (ج) دسته‌بندی رنگها

با توجه به اینکه مولفه اصلی رنگی گیاه در این تصاویر رنگ سبز است، نقطه‌ای با مشخصات (صفر، -۱۲۸، ۵۰) در مختصات مشخص شده روی فضای رنگی $L^*a^*b^*$ (شکل ۵-ب) به عنوان رنگ مرجع در نظر گرفته شد. این انتخاب به دلیل داشتن بیشترین مقدار سبزی رنگی $(a^* = -128)$ و نداشتن هیچ‌گونه رنگ مایه زرد یا تمایل به آبی بودن $(b^* = 0)$ در این رنگ است. از طرفی، رنگ مرجع انتخاب شده از نظر روشنایی، در محدوده میانه شدت روشنایی $(L=50)$ قرار می‌گیرد (شکل ۵-الف).

با توجه به اینکه مولفه اصلی رنگی گیاه در این تصاویر رنگ سبز است، نقطه‌ای با مشخصات (صفر، -۱۲۸، ۵۰) در مختصات مشخص شده روی فضای رنگی $L^*a^*b^*$ (شکل ۵-ب) به عنوان رنگ مرجع در نظر گرفته شد. این انتخاب به دلیل داشتن بیشترین مقدار سبزی رنگی



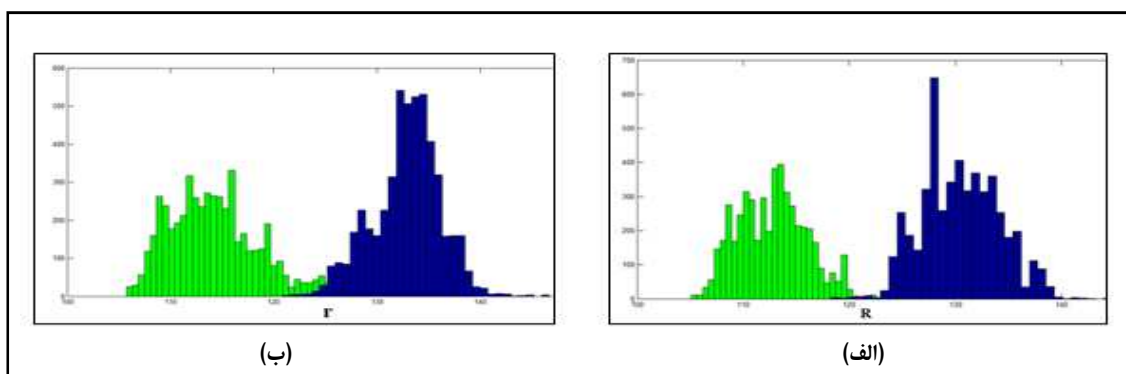
شکل ۵- (الف) فضای $L^*a^*b^*$ و (ب) رنگ مرجع استفاده شده به همراه مشخصات آن

تعیین مقادیر بهینه پارامترهای ثابت R و r در رابطه ۶، فاصله رنگی تمامی رنگ‌های موجود در تصویر (تمامی

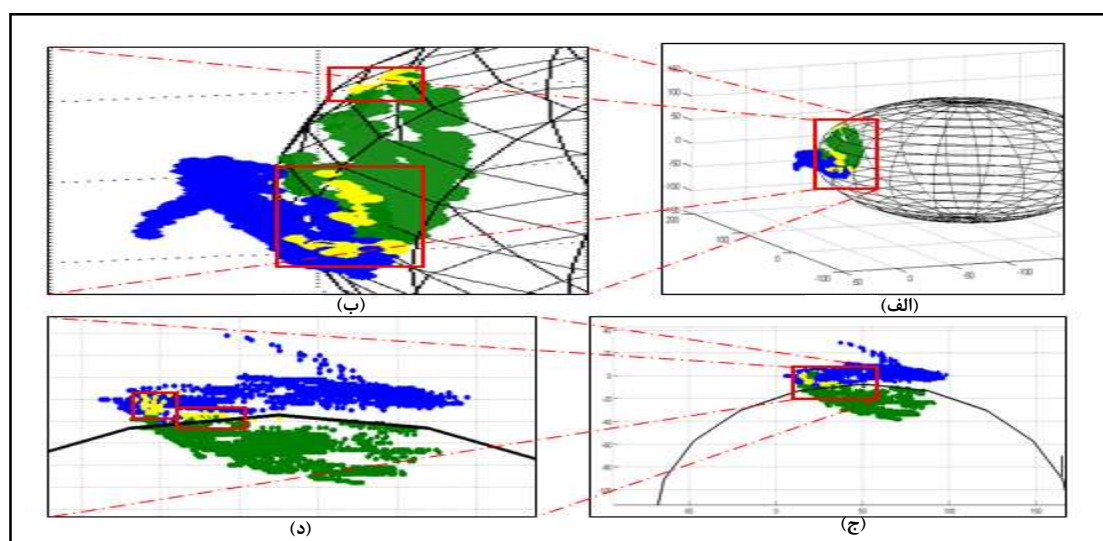
رنگ تمامی پیکسل‌های ناحیه گیاهی و غیرگیاهی در مختصات سه‌بعدی این فضای رنگی به دست آمد و برای

گیرگیاهی به دست آمد. تحلیل توزیع رنگ‌های پیکسل‌های گیاهی و غیرگیاهی در فضای سه‌بعدی نشان‌دهنده این موضوع است که پوسته‌ای با رابطه ۱، خطای گیاهی بالایی را در شناسایی پیکسل‌های گیاهی سبب می‌شود. به عبارت دیگر، اگر از کره برای جداسازی رنگ‌ها استفاده شود، مقدار قابل توجهی از پیکسل‌های گیاه خارج از محدوده رابطه قرار می‌گیرند (مستطیل‌های مشخص شده در (شکل ۷) که با ترکیب روابط و استفاده از رابطه ۶ می‌توان به خطای به مراتب کمتری دست یافت (شکل ۸).

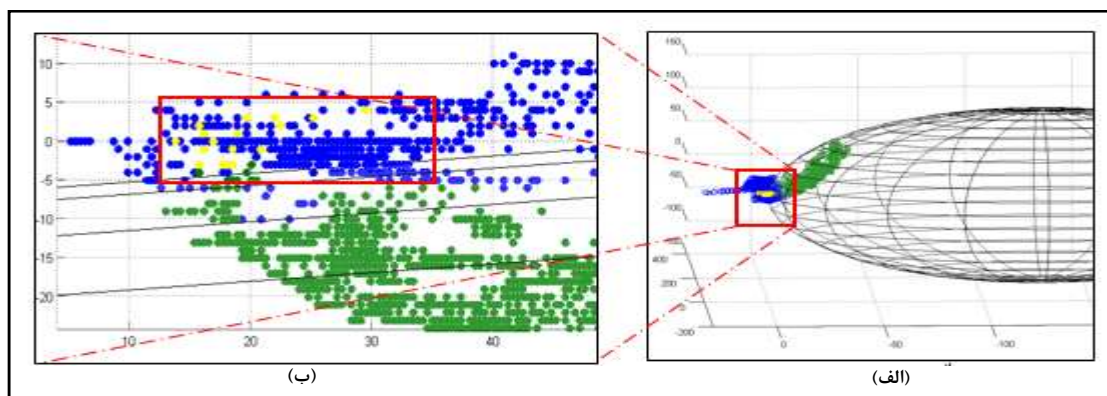
پیکسل‌ها) در این فضای سه‌بعدی از رنگ مرجع محاسبه شد. برای به دست آوردن مقادیر بهینه فاصله r و R که شعاع کره رنگی و مقدار بهینه رنگینگی را مشخص می‌کند می‌توان از رسم نمودار هیستوگرام تعداد رنگ‌ها و فاصله رنگ‌ها تا رنگ مرجع استفاده کرد (شکل ۶) و مقادیر آنها را از گودی قرار گرفته بین دو کلاس به دست آورد یا از الگوریتم‌های دو کلاسه کردن هیستوگرام (مانند الگوریتم اتسو) کمک گرفت. با تحلیل هیستوگرام‌ها، دو مقدار فاصله‌ای $122/67$ و $123/18$ به ترتیب به عنوان مقادیر بهینه پارامترهای r و R برای جداسازی گیاه سبز از نواحی



شکل ۶- (الف) هیستوگرام حاصل از رابطه ۳ و (ب) هیستوگرام حاصل از رابطه ۶ (ناحیه با رنگ روشن مربوط به پیکسل‌های گیاه و ناحیه با رنگ تیره مربوط به پیکسل‌های زمینه است).



شکل ۷- (الف) کره حاصل از رابطه ۱، (ب) بزرگنمایی بخش نشان داده شده از تصویر الف (نقاط زرد رنگ داخل مستطیل‌ها نشان‌دهنده پیکسل‌های ناحیه گیاهی از تصویر هستند که به عنوان پس‌زمینه شناسایی شده‌اند)، (ج) دایره حاصل از رابطه ۲ و (د) بزرگنمایی شده بخشی از تصویر ج



شکل ۸- (الف) بیضی گون ترسیم شده با روش پیشنهادی به همراه پیکسل‌های گیاه (رنگ سبز) و پس‌زمینه (آبی) (ب) بزرگ‌نمایی شده بخشی از تصویر الف (تنها تعداد اندکی از پیکسل‌های گیاه شناسایی نشده‌اند)

اندازه حاصل می‌شود و از آنها می‌توان برای توصیف شکل بهره برد و به خصوصیات وابسته به اندازه هم معروف‌اند. این خصوصیات به راحتی به دست می‌آیند و قابل درک هستند (Tian et al., 2002). نوع دیگری از خصوصیات که به نام خصوصیات مستقل از اندازه شناخته می‌شوند، وجود دارند که به پارامترهای ایده‌آل شکل یعنی پارامترهایی که با آنها می‌توان یک شکل را از دیگر شکل‌ها به طور کامل جدا کرد. به عبارت دیگر، با این پارامترهای ایده‌آل می‌توان برای هر شکل مقداری خاص انتظار داشت (Russ, 1999). این توصیف‌گرها بدون بعد و مستقل از اندازه گیاه، میزان دوران ناحیه و موقعیت آن در تصویر هستند (Woebbecke et al., 1995b). دو نمونه از این خصوصیات که برای شناسایی کاهو استفاده شد عبارت‌اند از وسعت^۱ یعنی میزان پیکسل‌های ناحیه مورد نظر به پیکسل‌های جعبه احاطه‌کننده و صلابت^۲ که نسبت سهم پیکسل‌های بدنه محدب به پیکسل‌های شیئی موجود در تصویر است.

برای مقایسه عددی دقت روش آستانه‌یابی ارائه شده در این پژوهش، از پارامترهای خطای گیاهی، خطای پس‌زمینه، خطای مجموع، میانگین مربع خطا و معیار مییر نیتو (Meyer & Neto, 2008) استفاده شد.

ارزیابی عملکرد شیوه پیشنهادی برای شناسایی کلم و کاهو: به منظور ارزیابی میزان دقت و مقایسه شیوه آستانه‌گذاری پیشنهادی، از دو گیاه کاهو و کلم استفاده شد. کاهو و کلم در مناطق شمال کشور به وفور در تمامی فصول یافت می‌شوند که به صورت ردیفی کشت شده‌اند؛ کاهو سبز رنگ و کلم قرمز رنگ است رنگ سبز در اکثر گیاهان وجود دارد و رنگ قرمز نیز برای ارزیابی الگوریتم با رنگی متفاوت بوده است تا بتوان آن را در مواردی غیر از شناسایی گیاه به کار برد. عملکرد بخش‌بندی با استفاده از این شیوه با شیوه‌های معمول مقایسه شد، شیوه‌هایی مانند روش ووبک و همکاران (Woebbecke et al., 1995a) سبزینگی مازاد (ExG) روش تانگ و همکاران (Tang et al., 2003) شاخص سبزینگی مازاد تغییر یافته (MEGI)، و روش مییر و نیتو (Meyer & Neto, 2008) سبزینگی مازاد پیشرفته (IVI) برای جداسازی ناحیه گیاهی از نواحی پس‌زمینه و سایه. بدین منظور ۲۰۰ تصویر مشتمل بر علف هرز و کاهو انتخاب شد. گیاه به‌عنوان ناحیه مورد نظر برای جداسازی و شناسایی گیاه به‌عنوان هدف اصلی از قطعه‌بندی این تصاویر در نظر گرفته شد.

خصوصیات شکلی با ترکیب کردن مناسب ویژگی‌های

نتایج و بحث

شناسایی گیاه

رنگی خاص از یک رنگ مرجع هستند. روش مذکور برای شناسایی گیاه در تصویر به کار گرفته شد و سپس با روش‌های متداولی مقایسه گردید که برای شناسایی گیاه انتخاب می‌شوند. نتایج حاصل از مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش‌های ذکر شده (جدول ۱) نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در این تحقیق کمترین میزان میانگین مربع خطا و همچنین کمترین میزان خطای گیاهی و خطای مجموع را دارد. البته، خطای پس‌زمینه در روش پیشنهاد شده بیشتر از خطایی است که با باینری کردن تصویر با کمک شیوه اتسو روی تصویر سبزی‌نگی مازاد تغییر یافته به دست می‌آید. همان‌طور که دیده می‌شود، خطای گیاهی روش سبزی‌نگی مازاد تغییر یافته به‌طور چشمگیر بیشتر از خطای گیاهی روش پیشنهاد شده در این تحقیق است، به‌طوری که استفاده از روش سبزی‌نگی مازاد تغییر یافته را برای شناسایی گیاه در تصاویر به‌نحوی غیرقابل توجیه می‌کند. خطای مجموع برای روش پیشنهادی و سه شیوه دیگر حکایت دارد از برتری چشمگیر روش پیشنهادی برای قطعه‌بندی تصویر به‌منظور جداسازی بهتر ناحیه گیاهی از تصویر با نویز کمتر.

در محیط مزرعه میزان روشنایی که در تصویر وجود دارد متغیر است به این معنی که در تصویر پیکسلی با روشنایی‌های متفاوت وجود دارد که از این دست می‌توان به گیاه در سایه و گیاه در روشنایی مستقیم خورشید اشاره کرد. این تغییرات باعث می‌شود که در شناسایی گیاه با استفاده از روش‌های کنونی اختلال ایجاد شود. بدین منظور در این پژوهش روشی توسعه یافت که با آن میزان روشنایی تصویر در نظر گرفته می‌شود و می‌توان بازه شناسایی را بیشتر کرد و انتظار داشت که تعداد پیکسل بیشتری از گیاه در مقابل تعداد کمتری از پیکسل‌های زمینه به دست آید.

در این پژوهش، برای کاهش خطای تشخیص اشتباه شیوه‌ای جدید به نام آستانه‌گذاری پوسته‌ای معرفی شده است که بخشی از یک بیضی‌گون فضایی مبتنی بر فواصل رنگی در مدل رنگی $L^*a^*b^*$ است. با این روش جدید می‌توان هر رنگی را در روشنایی مختلفی از آن رنگ تشخیص داد. در این روش با در نظر گرفتن فضای رنگی $L^*a^*b^*$ ، پوسته‌ای سه‌بعدی تعریف شده است که می‌تواند پیکسل‌های تصویر را تشخیص دهد که در محدوده فاصله

جدول ۱- مقایسه روش پیشنهادی با روش اتسو اعمال شده روی سه فاکتور متداول مورد استفاده برای جداسازی گیاه از تصاویر

روش پیشنهادی	سبزی‌نگی مازاد	سبزی‌نگی مازاد پیشرفته	سبزی‌نگی مازاد تغییر یافته
۰/۰۴۱	۰/۰۷۲	۰/۰۷۱	۰/۰۹۵
۳/۱۹۲	۱۲/۲۴۴	۵/۲۵۸	۳۹/۳۴۴
۵/۲۵۷	۶/۹۳۶	۹/۳۳۲	۱/۶۹۱
۸/۴۴۹	۱۸/۱۸۰	۱۴/۵۹۱	۴۱/۰۳۶

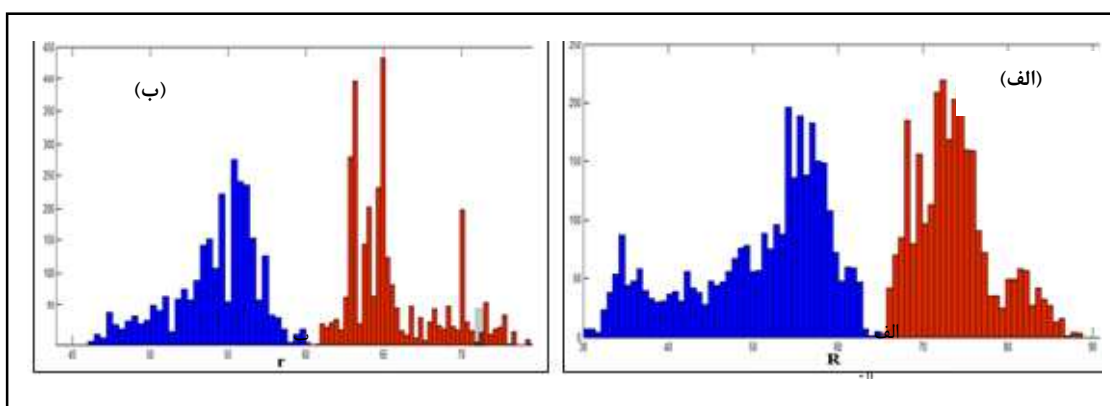
شناسایی کلم

قرار دارند و با در نظر گرفتن اینکه هر یک از این دو مولفه بازه‌ای از غلظت چهار رنگ را مشخص می‌کند، یعنی رنگ سبز و قرمز برای مولفه a^* و رنگ آبی و زرد برای مولفه

با توجه به اینکه تمام رنگ‌ها بدون در نظر گرفتن میزان روشنایی آنها در فضای $L^*a^*b^*$ در دو مولفه a^* و b^*

با مختصات (۵۰-، ۳۰-، ۳۶) به‌عنوان مرجع شناسایی شد. این مقدار در رابطه ۶ قرار داده شد و مقادیر r و R جدید یعنی ۶۶/۵۵ و ۶۲/۳۳ برای شناسایی کلم به‌دست آمد. با این مقادیر آستانه پوسترهای مربوط به شناسایی کلم به‌دست آمد. همان‌گونه که در هیستوگرام شکل ۹ دیده می‌شود این روش گیاه کلم را از دیگر اجزا جدا می‌کند.

b^* ، بنابراین با آستانه پوسترهای معرفی شده با دقت بسیار خوبی این چهار رنگ مشخص شد. برای تعیین رنگی مانند بنفش که برای کلم مد نظر است، از روش میانگین‌گیری استفاده شد. بدین صورت که ابتدا ۵۰ تصویر همانند روش قبل انتخاب و تمام پیکسل‌های آنها به فضای $L^*a^*b^*$ منتقل شد و مقدار مولفه‌های آنها به‌دست آمد، پس از آن میانگین مقدار این مولفه‌ها یعنی نقطه‌ای



شکل ۳- (الف) هیستوگرام مربوط به شعاع R برای شناسایی کلم و (ب) هیستوگرام مربوط به شعاع r برای شناسایی کلم

شناسایی (Q_{seg}) در روش پیشنهادی برابر با ۸۵/۲۶ درصد است. یعنی اینکه روش پیشنهادی دارای دقت مطلوب است.

نتایج حاصل از اعمال شیوه پیشنهادی روی شناسایی کلم جدول ۲ نشان می‌دهد که میانگین مقدار درصد

جدول ۲- میزان خطای روش پیشنهادی برای شناسایی کلم

روش پیشنهادی	
۰/۱۲۵	میانگین مربع خطا
۲۹/۱۵۸	خطای گیاهی
۱۸/۱۴۸	خطای پس‌زمینه
۴۷/۳۰۶	خطای مجموع
۸۵/۲۶	درصد شناسایی

شناسایی کاهو

اصلی (کاهو) از خصوصیات شکلی برای تشخیص کاهو استفاده شد (شکل ۱۰). مقدار آستانه و میزان جداپذیری

پس از شناسایی رنگ گیاه در تصویر با توجه به نوع علف هرز موجود در تصاویر (باریک برگ) و شکل گیاه

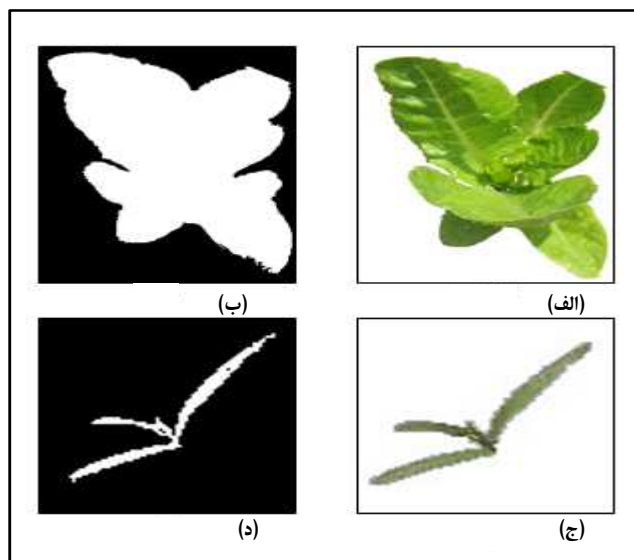
شناسایی گیاه کاهو و کلم در شرایط نوری مزرعه ...

یک از پارامترها به تنهایی و در ترکیب با هم برای شناسایی اعمال شد که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است.

ترکیب شیوه آستانه پوسته‌ای و خصوصیات شکلی نشان می‌دهد که درصد تشخیص گیاه برابر با ۸۷/۶۱ است که نسبت به شیوه بلاسکو برتر است که فقط از پارامتر مساحت استفاده می‌کند و ۸۴ درصد شناسایی گیاه را دارد (Blasco *et al.*, 2002).

هر یک از پارامترهای وسعت و صلابت با استفاده از روش اتسو به دست آمد که در جدول ۳ نشان داده شده است.

میزان جداپذیری در آستانه اتسو پارامتری است که هرچه به ۱ نزدیکتر باشد نشان‌دهنده بالاتر بودن قدرت تفکیک اتسو برای مجزا کردن داده‌ها به دو دسته است. جدول ۳ نشان می‌دهد که اتسو با نسبت خوبی می‌تواند از هر دو پارامتر برای جداسازی استفاده کند، بنابراین، هر



شکل ۱۰- (الف) نمونه کاهو جدا شده با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ، (ب) تصویر باینری حاصل از الف، (ج) نمونه علف هرز جدا شده با فتوشاپ و (د) تصویر باینری حاصل از ج.

جدول ۳- خصوصیات شکلی به همراه آستانه و میزان جداپذیری

پارامتر	آستانه	میزان جداپذیری
وسعت	۰/۴۹۲	۰/۸۱۷
صلابت	۰/۵۱۵	۰/۸۰۷

جدول ۴- جدول مقایسه پارامترها

پارامتر	وسعت	صلابت	ترکیب وسعت و صلابت
درصد تشخیص صحیح	۴۶/۲۵	۶۰/۵۶	۸۷/۶۱

نتیجه‌گیری

به‌صورت برخط به‌راحتی از این روش استفاده کرد. نتایج حاصل از ارزیابی این روش شناسایی نشان می‌دهد که دقت آن برای شناسایی ۸۷/۶۱ درصد است. در تشخیص کلم از همان روش آستانه پوستانه‌ای استفاده شد که این بار با توجه به تغییر رنگی که در کلم وجود دارد نقطه مرجع به رنگی تغییر داده شد که متناسب با رنگ کلم است. آستانه‌های جدیدی برای کره و استوانه به‌دست آمد تا از آنها برای شناسایی استفاده شود. پس از ارزیابی این روش میزان دقت آن بررسی شد و نتایج نشان می‌دهد که روش مورد استفاده ۸۵/۲۶ درصد قابلیت اجرا دارد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که بسته به رنگ گیاه یا شیئی مورد بررسی می‌توان از آستانه پوستانه‌ای به تنهایی یا ترکیب آن با خصوصیات شکلی برای شناسایی بهره برد.

در این پژوهش، شیوه‌ای نوین به‌نام قطعه‌بندی آستانه‌ای پوستانه‌ای در قطعه‌بندی رنگی تصاویر برای جداسازی گیاهان مرجع از کلاسه‌های دیگری نظیر پس‌زمینه خاک و سایه و علف هرز ارائه شد. عملکرد روش جدید آستانه‌گذاری پوستانه‌ای برای شناسایی نواحی مد نظر گیاهی روی چند مجموعه تصویر تهیه شده در شرایط نور طبیعی نشان داد که خطای گیاهی، خطای مجموع و میانگین مربع خطا در روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های دیگر مانند سبزینگی تشدید یافته، سبزینگی مازاد پیشرفته و سبزینگی مازاد تغییر یافته کمتر است. برای تشخیص کاهو پس از شناسایی گیاه سبز در تصویر، از خصوصیات مستقل از اندازه یعنی وسعت و صلابت استفاده شد که می‌توان برای شناسایی

مراجع

- Ahmed, F., Kabir, H., Bhuyan, S. A., Bari, H. and Hossain, E. 2012. Automated weed classification with local pattern-based texture descriptors. *Int. Arab J. Info. Technol.* 11(1): 87-94.
- Blasco, J., Aleixos, N., Roger, J., Rabatel, G. and Molto, E. 2002. Robotic weed control using machine vision. *Biosys. Eng.* 83, 149-157.
- Camargo, A. and Smith, J. 2009. Image pattern classification for the identification of disease causing agents in plants. *Comput. Electron. Agr.* 66, 121-125.
- Cope, J. S., Corney, D., Clark, J. Y., Remagnino, P. and Wilkin, P. 2012. Plant species identification using digital morphometrics: a review. *Expert Syst. Appl.* 39, 7562-7573.
- Golzarian, M. R., Fielke, J. and Desbiolles, J. 2007. A novel approach to improve the plant-background segmentation in computer vision systems. *National Conference: Agriculture and Engineering: Challenge Today, Technology Tomorrow.* Society for Engineering in Agriculture. Australian Society of Engineering in Agriculture. Canberra. Australia.
- Golzarian, M., Lee, M. K. and Desbiolles, J. 2012. Evaluation of color indices for improved segmentation of plant images. *Trans. ASABE.* 55, 261-273.
- Gonzalez, R. C. and Richard, E. W. 2008. *Digital Image Processing.* 2nd Ed. Adison-Wesley, Reading.
- Guo, W., Rage, U. K. and Ninomiya, S. 2013. Illumination invariant segmentation of vegetation for time series wheat images based on decision tree model. *Comput. Electron. Agr.* 96, 58-66.

- Kargar, B., Amir, H. and Shirzadifar, A. M. 2013. Automatic weed detection system and smart herbicide sprayer robot for corn fields. First RSI/ISM International Conference on Robotics and Mechatronics. Feb. 13-15. Tehran. Iran.
- Kheng, L. W. 2002. Color spaces and color-difference equations. *Color Res. Appl.* 24, 186-198.
- Khojastehnazhand, M., Omid, M. and Tabatabaeefar, A. 2010. Development of a lemon sorting system based on color and size. *African J. Plant Sci.* 4, 122-127.
- Liming, X. and Yanchao, Z. 2010. Automated strawberry grading system based on image processing. *Comput. Electron. Agr.* 71, S32-S39.
- Meyer, G. E. and Neto, J. C. 2008. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Comput. Electron. Agr.* 63, 282-293.
- Mizushima, A. and Lu, R. 2013. An image segmentation method for apple sorting and grading using support vector machine and Otsu's method. *Comput. Electron. Agr.* 94, 29-37.
- Muangkasem, A., Thainimit, S., Keinprasit, R. and Isshiki, T. 2010. Weed detection over between-row of sugarcane fields using machine vision with shadow robustness technique for variable rate herbicide applicator. *Energy Res. J.* 1, 141-145.
- Polder, G., van der Heijden, G. W. A. M., van Doorn, J. and Baltissen, T. A. H. M. C. 2014. Automatic detection of tulip breaking virus (TBV) in tulip fields using machine vision. *Biosys. Eng.* 117, 35-42.
- Russ, J. C. 1999. *The Image Processing Handbook*. 3rd Ed. Boca Raton: CRC Press.
- Tang, L., Tian, L. and Steward, B. 2003. Classification of broadleaf and grass weeds using Gabor wavelets and an artificial neural network. *Trans. ASAE.* 46(4): 1247-1254.
- Tian, L. F., Slaughter, D. C. and Norris, R. F. 2002. Machine vision identification of tomato seedlings for automated weed control. *Trans. ASAE.* 40(6): 1761-1768.
- Wang, Z. and Zhang, D. 1999. Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images. *Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, IEEE Trans.* 46, 78-80.
- Wobbecke, D., Meyer, G., Von Bargen, K. and Mortensen, D. 1995a. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Trans. ASAE.* 38, 259-269.
- Wobbecke, D., Meyer, G., Von Bargen, K. and Mortensen, D. 1995b. Shape features for identifying young weeds using image analysis. *Trans. ASAE.* 38, 271-281.

Detection of Lettuce and Cabbage from Images Taken under Different Lighting Conditions Using an Elliptic Thresholding

M. Mahdiani^{*}, R. Tabatabaei-Kolor and M. R. Golzarian

* Corresponding Author: M. Sc. Department of Mechanics of Agricultural Engineering, Sari Agricultural and Natural Resources University, P. O. Box: 578, Sari, Iran. Email: mahdiani_mohsen@hotmail.com

Received: 20 May 2014, Accepted: 15 November 2014

Variations in lighting are a problem for visual systems. In the current research, a new thresholding method using a 3D Euclidian elliptical surface was defined and applied for plant detection purposes. The results showed that this method had lower type I error, type II error, total error and mean square error compared with those of conventional segmentation methods. The method was evaluated for detection of cabbage and lettuce from images. The results showed the proposed method located cabbages in the images with 85.26% accuracy. When the proposed method was combined with image-based shape features it identified lettuce from the images at 66.67% accuracy.

Keywords: Computer Vision, Shape-Independent Properties, Surface Threshold