



طراحی الگوریتم بینایی برای ربات سم‌پاش علف‌های هرز مزارع سیب‌زمینی

فرشاد وصالی^۱، سید محمد حسن کماری‌زاده^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه

۱. چکیده

سیب‌زمینی از جمله محصولاتی که در دنیا و ایران به وفور کشت می‌شود، اما به علت ردیفی کشت شدن این محصول در معرض تهاجم علف‌های هرز قرار می‌گیرد. در این تحقیق از ماشین بینایی برای استفاده مؤثر از سموم انتخابی، استفاده شده است. حدود ۲۵۰ تصویر از مزارع سیب‌زمینی شهرستان قروه در شرایط کاملاً واقعی گرفته شد. تصاویر در شرایط مختلف نوری از ساعات اولیه صبح تا عصر در هوای ابری و آفتابی گرفته شدند. در شرایط واقعی به دلیل هم‌پوشانی و سایه‌اندازی گیاهان از پارامترهای مورفولوژیکی به سختی می‌توان استفاده کرد. در روشی که برای جداسازی علف‌های هرز از سیب‌زمینی استفاده شد، مؤلفه‌های اصلی رنگ هر کدام از گیاهان استخراج شد و برای جداسازی توسط آنالیز تشخیصی روابط بین این مؤلفه‌های اصلی رنگ برای تعیین تابع تشخیص تخمین زده شد. در دو حالت طبقه‌بندی صورت گرفت در حالت اول که طبقه‌بندی بین گیاه سیب‌زمینی و مجموعه‌ی علف‌های هرز صورت گرفت (۲ گروه)، نرخ طبقه‌بندی صحیح برابر ۵۴٫۷۳٪ و در حالت دوم که بین گیاه سیب‌زمینی و گروه‌های جداگانه‌ی علف‌های هرز (۶ گروه) در حدود ۸۷٪ بود.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، علف‌هرز، سموم انتخابی، ماشین بینایی، شبکه‌های عصبی مصنوعی

۲. مقدمه

محصول سیب‌زمینی در جهان محصول پنجم و در ایران سومین محصول برداشت شده می‌باشد. (FAO Statistic, 2010) اما تهاجم علف‌های هرز به این محصول موجب استفاده روز افزون از سموم علف‌کش انتخابی و یا غیر انتخابی در این محصول می‌گردد که موجب آلودگی محیط زیست نیز خواهد گشت. علاوه بر این هزینه‌های بالا سموم انتخابی استفاده از آنها به صورت کنونی مقرون به صرفه نیست. در صورتی که دستگاهی وجود داشته باشد که بتواند فقط سم را بر روی علف‌های هرز پخش کند، میزان مصرف سم در حدود ۵۰ الی ۷۰ درصد کاهش پیدا خواهد کرد؛ که کاهش هزینه و کاهش آلودگی محیط زیست و محصول را در پی خواهد داشت. هدف این تحقیق، ارائه‌ی روشی مناسب و سریع است که بتوان با استفاده از ماشین بینایی علف‌های هرز را از گیاه اصلی جداسازی نمود. کارهای که این زمینه انجام گرفته را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: ۱- تشخیص علف‌های بین ردیف‌ها. ۲- تشخیص علف هرز روی ردیف‌ها.

در حالت اول تمامی گیاهان بین ردیف چه علف چه گیاه اصلی می‌بایستی از بین بروند. بر همین اساس وبک

و همکاران^۱ (۱۹۹۵) جداسازی علف‌های هرز تنها به جداسازی گیاه و زمین بسنده کردند. اما لی^۲ (۱۹۹۹) با استفاده از ویژگی خاص نشای جوان گوجه‌فرنگی آنها را از علف‌های هرز جدا کرده و بر اساس این روش دستگاهی برای سم‌پاشی مزرعه نیز ابداع کردند. تشخیص بر اساس بافت روش قدرتمندی برای جداسازی سطوح یکنواخت از سطوح ناهمگن است. اسکار (۱۹۹۸) از این روش در جداسازی گیاهانی نظیر پیاز که برگ‌های آن رو به بالا بوده و امکان استفاده از روش‌های تشخیص شکل وجود ندارد استفاده کرد. مشکلات ذاتی موجود در تشخیص به وسیله شکل در این روش در حد زیادی رفع شده است و این مسأله که برگ‌ها ممکن است پهن یا باریک باشند یک مزیت بشمار می‌رفت. با در نظر گرفتن یک زیر ناحیه با بافت همگن از یک گیاه می‌توان انواع مختلف را مشخص نمود. پیاز، یک سطح زیر و خشن را نشان می‌دهد (مثلاً تغییرات شدید در سطوح خاکستری) که به خاطر برگ‌های ساقه مانند آن است. (Scarr, Taylor, & Dryden, 1998) الفاکی و همکاران (۲۰۰۰) در بررسی عوامل موثر بر تشخیص علف‌های هرز بر اساس رنگ، چهار شاخص بر اساس مؤلفه‌های اصلی رنگ گیاهان را مورد مقایسه قرار دادند. در تحقیق آنها اثر عواملی از قبیل محتوای رطوبت خاک، شدت نور و وضوح فضایی تصاویر بر دقت طبقه‌بندی بررسی شده بود. همچنین موثر بودن این روش طبقه‌بندی در شرایط مزرعه ارزیابی شد. برگئوس آرتیزو^۳ (۲۰۰۹) برای تسریع جداسازی علف‌های هرز روی ردیف از روش «استدلال موردی»^۴ برای انتخاب الگوی مناسب برای جداسازی تصویر جدید بر اساس تجربه جداسازی تصاویر قبلی استفاده کرده است. که با افزایش ضریب همبستگی پیرسون^۵ از ۶۰/۱٪ به ۷۹/۷٪ همراه بود.

۳. مواد و روشها

۲۵۰ تصویر، برای پایگاه داده‌های تصاویر این تحقیق از دو مزرعه کوچک سیب‌زمینی در داخل دانشگاه ارومیه و ۳ مزرعه در شهرستان قروه تهیه شدند. این تصاویر توسط دوربین دیجیتال (Sony CyberShot W200) گرفته شد. تصاویر با رزولشن ۱۵۳۸ × ۲۰۴۸ پیکسل ذخیره شدند. در اکثر این تصاویر ۵ نوع علف‌هرز که از عمده علف‌های هرز مزارع سیب‌زمینی است، وجود داشت که عبارت بودند از گل‌گندم، پیچک صحرايي، کنگر صحرايي، سمله‌تره میورال و سلمه‌تره‌ی آلبوم.

جداسازی در زمینه‌ی علف‌های هرز به مقدار بسیار زیادی به زمان و جین علف‌های هرز آن محصول دارد. در محصولاتی که رشد علف‌های هرز با رشد گیاه همزمان بوده و همچنین در مراحل ابتدایی و جین انجام می‌گیرد یعنی هم گیاه اصلی و هم علف‌هرز کوچک باشند، احتمال موفقیت روش‌های مورفولوژیکی پردازش تصویر وجود دارد اما در مورد بیشتر محصولات ردیفی مانند سیب‌زمینی عملاً امکان استفاده از روش‌های پردازش شکل برای جداسازی وجود ندارد. مهمترین دلیل آن همپوشانی برگ‌های گیاه اصلی با برگ‌های علف‌های هرز و با همدیگر می‌باشد. این همپوشانی باعث می‌شود که نتوان شکل مشخص و یکنواختی برای گیاه در عکس‌های مختلف استخراج کرد. علاوه بر همپوشانی عوامل دیگری مانند پیچیدگی برگ‌ها بعد از مدتی و یا تغییر شکل برگ‌ها بر اثر

¹ Woebbeck et al

² Lee

³ Burgos Artiztu et al

⁴ Case-Based Reasoning (CBR)

⁵ Pearson Correlation

عوامل محیطی نظیر حمله حشرات یا بیماری‌های گیاه و یا تغییر جهت برگ در اثر وزش باد و غیره نیز بر دشواری تشخیص خصوصیات مورفولوژیکی می‌افزاید. بنابراین در این تحقیق روش‌های پردازش رنگ و تشخیص بافت مورد بررسی قرار داده شده و در نهایت با استفاده از یک طبقه‌بندی کننده، این ویژگی‌ها برای جداسازی علف‌های هرز از سیب‌زمینی استفاده شده است.

جداسازی گیاهان از زمینه خاکی. در نگاه اول با توجه به رنگ سبز گیاهان گمان می‌رود که به راحتی می‌توان با استفاده از نمودار هیستوگرام مؤلفه‌ی سبز رنگ از دره‌ی این نمودار برای آستانه گذاری استفاده که گیاهان را از زمینه خاک جدا کند اما به دلیل ثابت نبودن رنگ خاک و همچنین تفاوت شدت روشنایی در تصویرهای مختلف و تفاوت شدت روشنایی در قسمت‌های یک تصویر این امر مسیر نخواهد بود. از آنجا که رنگ گیاهان سبز است مؤلفه‌ی رنگ سبز در گیاهان بزرگتر از دو مؤلفه دیگر است یعنی:

$$G > \frac{R+B}{2} \Rightarrow 2G - R - B > 0 \quad (1)$$

با استفاده از این رابطه و انتخاب آستانه صفر می‌توان گیاه را از زمینه خاک جدا کرد. (Paulsen, 2000 & Liu) اما در بخشی از تصاویری که در زمان سایه گرفته شده است مقدار مؤلفه‌ی سبز زمینه در بخش‌هایی از زمینه‌ی خاکی تصویر از دو مؤلفه‌ی دیگر بزرگتر بوده که ایجاد مشکل می‌نماید. به همین منظور پس از بررسی پروفایل‌های مختلف از مؤلفه‌های رنگی رابطه‌ی شرطی (۲) که تعمیم دهنده شرایط مختلف بود استفاده شد.

$$\begin{aligned} \text{if } \frac{R}{G} > 0.9 &\Rightarrow \text{Background} \\ \text{if } \frac{R}{G} < 0.9 \ \&\ \ R + G + B < 200 &\Rightarrow \text{Background} \\ \text{else} &\Rightarrow \text{Plants} \\ "0 < R, G, B < 255" & \end{aligned} \quad (2)$$

پس از اعمال رابطه بالا در تصاویر نویزهایی باقی می‌ماند. برای حذف این نویزها ابتدا مؤلفه‌ی G حاصله را که یک تصویر با سطوح خاکستری بود به تصویر باینری تبدیل گشت و سپس با اعمال توابع Opening and Closing نویزهای ریز از بین رفت و فقط گیاهان باقی ماند. این تصویر باینری در مؤلفه‌های اصلی R,G,B که از رابطه‌ی شرطی (۲) خارج شده‌اند نویزهای هر سه مؤلفه از بین رفته و در نهایت با بازسازی این سه مؤلفه بر روی همدیگر تصویر رنگی گیاهان بدون زمینه‌ی خاکی و نویز بدست آمد. یک تصویر نمونه همراه با دقت این جداسازی در بخش نتایج آمده است.

جداسازی علف‌های هرز از گیاه سیب‌زمینی.

این جداسازی در دو حالت انجام شد. در هر دو حالت واحد طبقه‌بندی کننده، آنالیز تشخیصی بود. آنالیز تشخیصی، روشی است که از خصوصیات مشاهده شده‌ی موارد موجود در یک گروه استفاده کرده و یک مدل پیشگویی عضویت ارائه می‌دهد. تابع تشخیص رابطه‌ای است خطی و یا غیر خطی از متغیرهای مستقل استاندارد شده که بیشترین اختلاف را بین گروه‌ها بدست می‌دهد. همچنان که اشاره شد الفاکی و همکاران (۲۰۰۰) برای

جداسازی از ترکیب مؤلفه‌ها استفاده کردند اما با بررسی شاخص‌هایی از مؤلفه‌های رنگی گیاه سیب‌زمینی و علف هرز اختلاف چندانی میان آنها وجود نیامد و در بعضی از شاخص‌ها به دلیل ایجاد مقادیر منفی باعث اشتباه در شناسایی شد. به همین دلیل از سه پارامتر اصلی تصاویر یعنی R,G,B برای ورودی آنالیز تشخیصی استفاده شد. این مقادیر از میان ۱۷۵ تصویر منتخب از ۲۵۰ تصویر گرفته شده استخراج شد. با توجه به اینکه هر کدام از این مؤلفه‌های از یک پیکسل بدست می‌آیند تعداد داده‌های ورودی برای آنالیز تشخیصی زیاد بود. علاوه بر این برای یکسان سازی شانس تأثیرگذاری هر کدام از علف‌های هرز با دستور imresize در نرم‌افزار Matlab R2009a مجموع این مقادیر برای سیب‌زمینی و علف‌های هرز به ۵۰,۰۰۰ داده کاهش یافت که برای سیب زمینی ۱۰,۰۰۰ داده و برای هر کدام از علف‌های هرز ۸,۰۰۰ داده بود.

جدول ۱: میانگین و انحراف سه مؤلفه‌ی اصلی نمونه‌های گیاه سیب‌زمینی و هر کدام از پنج نوع علف‌هرز و مجموع علف‌های هرز.

مؤلفه‌ی B		مؤلفه‌ی G		مؤلفه‌ی R		
انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
۵۳,۰۸	۱۳۵,۰۵	۴۵,۳۹	۱۶۶,۴۲	۴۴,۰۶	۱۳۶,۷۳	گل گندم
۴۳,۸۴	۱۱۹,۷۳	۳۸,۷۹	۱۵۳,۵۳	۳۷,۰۹	۱۰۸,۴۶	پیچک صحرائی
۳۸,۷۶	۹۷,۱۸	۳۵,۷۳	۱۴۲,۰۷	۳۵,۵۸	۹۶,۱۲	کنگر صحرائی
۴۱,۳۸	۹۹,۲۴	۳۹,۲۲	۱۵۹,۴۲	۳۹,۹۸	۱۱۲,۲۳	سلمه تره آلبوم
۳۸,۶۵	۱۰۲,۴۴	۳۳,۶۵	۱۴۴,۹۱	۳۳,۷۵	۹۳,۷۴	سلمه تره میورال
۳۸,۲۷	۷۸,۵۴	۴۰,۸۴	۱۲۴,۲۵	۳۶,۴۱	۷۵,۳۱	سیب‌زمینی
۴۳,۱۹	۱۰۶,۴۴	۳۸,۳۳	۱۵۱,۶۲	۳۹,۱۹	۱۰۵,۱۸	علف‌های هرز

از آنالیز تشخیصی جهت تعیین مدل عضویت داده‌ها استفاده شد. این فرآیند توسط جعبه ابزار آمار^۱ نرم‌افزار MATLAB انجام شد. در همین راستا داده‌های مربوط به سه دسته **R, G, B** در سه ستون قرار داده شد و به عنوان داده‌های آموزشی^۲ دستور Classify در نرم‌افزار MATLAB در نظر گرفته شد.

در حالت اول طبقه‌بندی بین ۱۰۰۰۰ داده‌ی **R, G, B** اول که مربوط به گیاه سیب‌زمینی بود و ۴۰,۰۰۰ داده‌ی **R, G, B** دوم که مربوط به تمام علف‌های هرز بود صورت گرفت. اما در حالت دوم طبقه‌بندی در ۵ مرحله صورت گرفت. یعنی در هر مرحله برای هر گروه در تقابل با سایر گروه‌ها عضویت مقدار **R, G, B** مورد بررسی، در گروه‌ها اولیه پیش‌بینی می‌شد.

در نهایت برای طبقه‌بندی در هر دو حالت توابع تشخیصی که توسط آنالیز تشخیصی تخمین زده شده بودند در نرم‌افزار Matlab پیاده‌سازی شد و چند تصویر نمونه توسط الگوریتم‌هایی که پیاده‌سازی شده بودند، طبقه‌بندی شدند.

¹ Statistics Toolbox

² Training Data

۴. نتایج و بحث

در زمینه‌ی جداسازی گیاهان از زمینه‌ی خاکی همچنان که گفته شد روش‌های متعددی استفاده شد یکی از این روش‌ها استفاده از مؤلفه‌ی سبز است. نتیجه جداسازی با استفاده از آستانه گذاری بر هیستوگرام مؤلفه‌ی G در شکل ۱ آمده است.

همانطور که در شکل ۱ مشخص است به دلیل تغییرات شدت نور در ساعات مختلف روز و همچنین در شرایط مختلف (ابری، آفتابی و ...)، علاوه بر تأثیر این تغییرات در عکس‌های مختلف حتی تغییرات شدت نور در یک تصویر هم می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای موجب تغییر مؤلفه اصلی رنگی یک تصویر باشد. تغییراتی این چنینی در مؤلفه‌های اصلی R,G,B می‌تواند منجر به جداسازی اشتباه گردد.

شدت نور مستقیماً از رابطه‌ی (۳) بدست می‌آید. در این تصویر قسمت‌هایی از زمینه‌ی خاکی که شدت نور آنها بالاست یعنی مؤلفه‌ی نیز بالا خواهد بود به صورت اشتباه جداسازی انجام می‌شود و همچنین در برخی از قسمت‌های برگ گیاهان که در اثر سایه شدت نور آنها پایین است، این اشتباه مجدداً رخ می‌دهد.

$$L = \frac{R + G + B}{3} \quad (3)$$

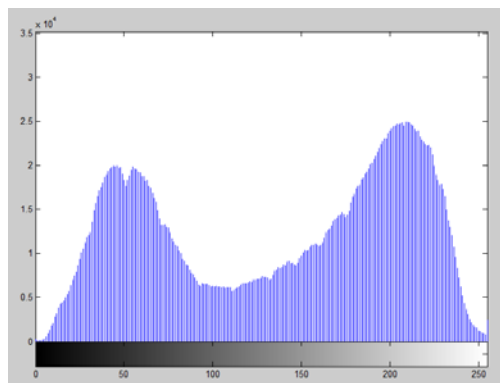
استفاده از سبزی مازاد (رابطه‌ی (۱)) نیز با اینکه تا حد قابل قبولی در جداسازی زمینه خاکی خوب عمل می‌کند اما در قسمت‌هایی از زمینه‌ی خاکی مقدار مؤلفه G از مؤلفه‌های دیگر بزرگتر است که باعث



ب



الف



پ

ت

شکل ۱: جداسازی زمینه خاک بر اساس مؤلفه‌ی سبز. الف) تصویر اولیه ب) مؤلفه‌ی سبز رنگ تصویر پ) هیستوگرام مؤلفه‌ی سبز ت) نتیجه جداسازی بر اساس آستانه‌گذاری بر هیستوگرام مؤلفه‌ی سبز رنگ.

ایجاد خطا در جداسازی می‌شود. نتیجه جداسازی یک تصویر خاص از با استفاده از سبزی مازاد و با استفاده از روشی که در این مطالعه استفاده شده است در شکل ۲ آورده شده است. برای درک بهتر تصویر جداسازی شده در تصویر اصلی ضرب شده است بنابراین پیکسل‌هایی که به عنوان زمین شناسایی شده‌اند سیاه و پیکسل‌هایی که به عنوان گیاه شناسایی شده‌اند به همان صورت اولیه باقی مانده است.

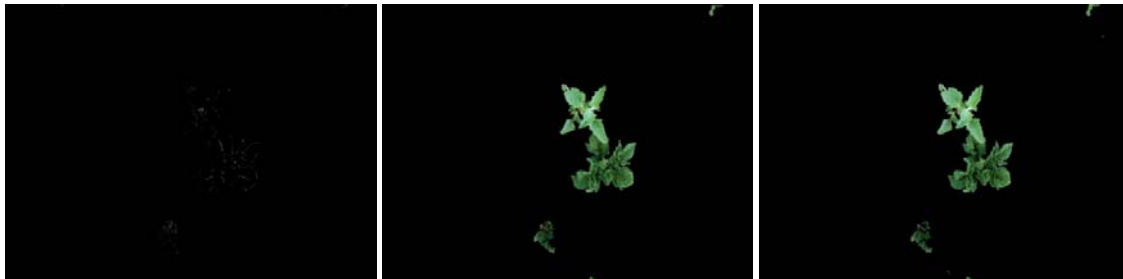


ب

الف

شکل ۲: جداسازی گیاهان از زمینه‌ی خاکی. الف) جداسازی توسط رابطه‌ی سبزی مازاد. ب) جداسازی توسط رابطه شرطی (۲).

برای اندازه‌گیری دقت جداسازی توسط رابطه‌ی شرطی چند تصویر به صورت تصادفی انتخاب شد و توسط نرم‌افزار Adobe Photoshop CS4 لبه‌های گیاهان به صورت دستی با دقت انتخاب شد و از زمینه خاکی جدا شد. با توجه به سختی جداسازی توسط این روش تنها به جداسازی چند تصویر بسنده شد. البته این نوع مقایسه شاید معیار کاملاً صحیحی نباشد اما با توجه به اینکه معیار دیگری برای این نوع مقایسه وجود ندارد این کار انجام شد. پس از جداسازی توسط نرم‌افزار Adobe Photoshop CS4، تصویر حاصله را از تصویری که توسط رابطه‌ی شرطی (۲) جداسازی شده بود توسط نرم‌افزار Matlab تفریق گردید. در حالت ایده‌آل می‌بایستی حاصل تفریق این دو تصویر صفر باشد که تصویری کاملاً سیاه را منجر خواهد شد. اما مسلماً این امر امکان‌پذیر نخواهد بود و تعدادی از پیکسل‌ها باقی می‌مانند که با تقسیم این پیکسل‌ها بر تمام پیکسل‌های تصویر درصد خطا بدست می‌آید. در شکل ۳ این فرایند نشان داده شده است.



پ

ب

الف

شکل ۳: مقایسه جداسازی از دو روش دستی و استفاده از رابطه‌ی (۲). الف) جداسازی با استفاده از رابطه‌ی (۲). ب) جداسازی با استفاده از نرم‌افزار Adobe Photoshop CS4. پ) اختلاف بین الف و ب.

همچنانکه از شکل ۳ پ مشخص است اختلاف بسیار جزئی می‌باشد که برای اندازه‌گیری میزان اختلاف تعداد پیکسل‌های غیر صفر این تصویر را اندازه‌گیری شد و آنرا بر تعداد کل پیکسل تصویر تقسیم گردید.

$$\text{number of non zero pixels of the differenced picture} = 154,635 \text{ pixels}$$

$$\text{size of the picture} = 2048 \text{ pixels of width} \times 1536 \text{ pixels of height} \times 3 \text{ dimension of image (RGB)}$$

$$\Rightarrow \text{number of thr all pixels} = 9,437,184 \text{ pixels}$$

$$\text{Percent of classification error} = \frac{154,635}{9,437,184} \times 100 = 1.64\%$$

برای چند تصویر دیگر نیز که این کار انجام شد، بیشینه‌ی خطای جداسازی در حدود ۲/۵ درصد بود. البته ممکن است مقداری از این خطا مربوط به جداسازی که به صورت دستی، باشد.

پس از جداسازی زمینه‌ی خاکی برای جداسازی گیاه سیب‌زمینی از علف‌های هرز با استفاده از آنالیز تشخیصی داده‌های آماده شده برای این بخش که در حدود ۵۰,۰۰۰ عدد برای هر کدام از مؤلفه‌های اصلی بود، مورد بررسی قرار گرفت و بهترین تابع تشخیص یا تابع عضویت در دو حالت بدست آمد. در حالت اول مجموع داده تنها در دو دسته گیاه سیب‌زمینی در نظر گرفته شد و در حالت دوم هر ۵ نوع علف‌هرز مورد بررسی در یک دسته جداگانه به همراه دسته‌ی گیاه سیب‌زمینی در نظر گرفته شد.

در حالت اول در دو حالت خطی و غیر خطی بررسی شد اما میزان خطای جداسازی در حالت خطی کمتر بود.

جدول ۲: نتایج طبقه‌بندی گیاه سیب‌زمینی در برابر گروه مجموع علف‌های هرز

عضویت پیش‌بینی شده در گروه توسط آنالیز تشخیصی			
گیاه	سیب‌زمینی	علف‌هرز	مجموع
سیب‌زمینی	مقدار	۸,۵۶۶	۱۰,۰۰۰
	درصد	%۸۵,۶۶	%۱۰۰
علف‌های هرز	مقدار	۱۰,۶۱۷	۴۰,۰۰۰
	درصد	%۲۶,۶۲	%۷۳,۳۸

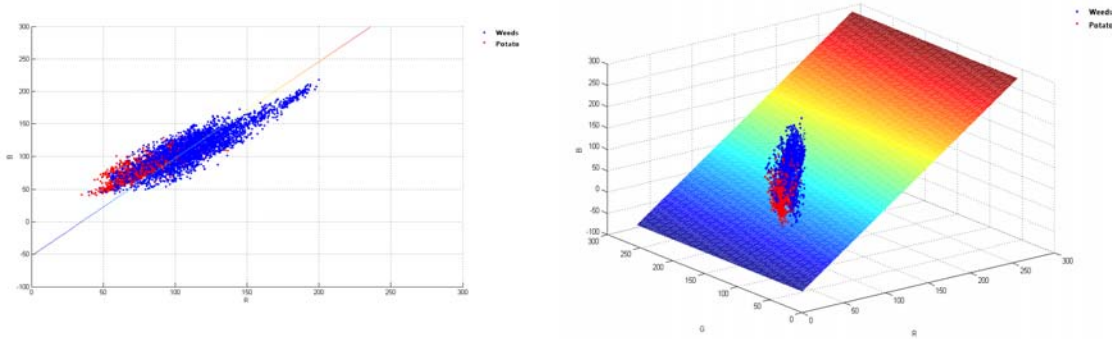
نرخ طبقه‌بندی نادرست در این حالت برابر ۲۴/۱۶۴ درصد می‌باشد. به عبارتی نرخ طبقه‌بندی درست ۷۵/۸۳ در برای حالتی که گروه سیب‌زمینی در مقابل گروه علف‌های هرز قرار بگیرد. این نرخ طبقه‌بندی درست که گفته شد میانگین وزنی نرخ تشخیص درست سیب‌زمینی و علف‌هرز است، یعنی:

$$CCR_{\text{Potato vs Weed}} = \frac{(\%85.66 \times 10,000 + \%73.38 \times 40,000)}{50,000} = \%75.83 \quad (۴)$$

تابع تشخیصی که توسط آنالیز تشخیصی تخمین زده شد به صورت رابطهی (۵) می‌باشد. در واقع تابع تشخیص ضرایب صفحه‌ای را تعیین کرد که سیب‌زمینی و علف‌های هرز را از هم جدا نمود.

$$DF_{P \& V} = -0.0530 \times R - 0.0015 \times G + 0.0014 \times B + 4.9774 \quad (5)$$

همانطور که گفته شد رابطهی بالا رابطهی یک صفحه‌ایست که در صورت جاگذاری مقادیر تک تک پیکسل‌ها را در رابطهی بالا، مقدار مجموع از صفر کوچکتر باشد، آنگاه عضویت آن پیکسل مربوط به علف‌های هرز می‌باشد.



ب

الف

شکل ۴: نگاره‌ی سه بعدی تابع تشخیص طبقه‌بندی کننده گیاه سیب‌زمینی و علف هرز همراه با مقادیر R, G, B مربوط به این دو گروه. الف) نمای سه بعدی. ب) نمای راستای $R-B$. توضیح: رنگ آبی علف‌های هرز و رنگ قرمز سیب‌زمینی.

در شکل ۴ صفحه‌ی تابع تشخیص (۵) همراه با مقادیر R, G, B هر دو گروه نشان داده شده است. قسمت ب این شکار در واقع با چرخش نمودار سه بعدی حاصل گشته و برای بهتر مشخص شدن نحوه‌ی طبقه‌بندی تابع تشخیص نشان داده شده است.

در حالت دوم که سیب‌زمینی همراه با دسته‌های مختلف علف‌هرز بررسی شد، در مجموع ۱۵ تابع تشخیص ایجاد گشت تا این ۶ دسته را از هم تفکیک نماید. نتایج این جداسازی توسط آنالیز تشخیصی در جدول ۳ به تفکیک برای تمام گروه‌ها آمده است.

نرخ طبقه‌بندی صحیح در این حالت (گیاه سیب‌زمینی در مقابل ۵ گروه علف‌هرز)، با احتساب ضرایب وزنی هر کدام از گروه‌ها مجموعاً برابر ۵۲٫۴۸۴٪ بود. برای محاسبه‌ی دقت طبقه‌بندی کلی تمام داده‌هایی که عضویت آنها به درستی در گروه خود صورت گرفته بود بر مجموعه‌ی داده‌ها تقسیم شدند. (رابطه‌ی (۶))

$$CCR_{Potato \text{ vs } Weeds} = \frac{(6597 + 6206 + 3756 + 1510 + 5425 + 2630)}{50,000} = \%52.484 \quad (6)$$

جدول ۳: نتایج طبقه‌بندی گیاه سیب‌زمینی در مقابل ۵ گروه علف‌های هرز

مجموع	عضویت پیش‌بینی شده در گروه توسط آنالیز تشخیصی						گیاه	
	سلمه‌تره‌ی آلبوم	سلمه‌تره‌ی میورال	کنگر صحرائی	پیچک صحرائی	گل‌گندم	سیب‌زمینی		
۱۰,۰۰۰	۱۲۰۳	۶۹۹	۱۰۱۶	۴۰۴	۸۱	۶۵۹۷	مقدار	سیب‌زمینی
%۱۰۰	%۱۲,۰۳	%۶,۹۹	%۱۰,۱۶	%۴,۰۴	%۰,۸۱	%۶۵,۹۷	درصد	
۸,۰۰۰	۹	۵۳۷	۳۴۹	۶۴۶	۶۲۹۶	۱۶۳	مقدار	گل‌گندم
%۱۰۰	%۰,۱۱	%۶,۷۱	%۴,۳۶	%۸,۰۸	%۸۲,۴۵	%۲,۰۴	درصد	
۸,۰۰۰	۱۴۸۰	۴۱۲	۵۵۴	۳۷۶۶	۱۱۱۹	۶۶۹	مقدار	پیچک صحرائی
%۱۰۰	%۱۸,۵	%۵,۱۵	%۶,۹۳	%۴۷,۰۸	%۱۳,۹۹	%۸,۳۶	درصد	
۸,۰۰۰	۱۸۸۰	۱۴۶۴	۱۵۱۹	۸۷۰	۶۰۳	۱۶۶۴	مقدار	کنگر صحرائی
%۱۰۰	%۲۳,۵	%۱۸,۳	%۱۸,۹۹	%۱۰,۸۸	%۷,۵۴	%۲۰,۸	درصد	
۸,۰۰۰	۴۰۹	۵۴۲۵	۶۹۸	۱۵۱	۸۳۸	۴۷۹	مقدار	سلمه‌تره‌ی میورال
%۱۰۰	%۵,۱۱	%۶۷,۸۱	%۸,۷۳	%۱,۸۹	%۱۰,۴۸	%۵,۹۹	درصد	
۸,۰۰۰	۲۶۳۹	۴۵۴	۷۷۱	۱۶۴۷	۳۳۴	۲۱۵۵	مقدار	سلمه‌تره‌ی آلبوم
%۱۰۰	%۳۲,۹۹	%۵,۶۸	%۹,۶۴	%۲۰,۵۹	%۴,۱۸	%۲۶,۹۴	درصد	
	۷۶۲۰	۸۹۹۱	۴۹۰۷	۷۴۸۴	۹۲۷۱	۱۱,۷۲۷	مقدار	مجموع
	%۹۵,۲۵	%۱۱۲,۳۹	%۶۱,۳۳	%۹۳,۵۵	%۱۱۵,۸۹	%۱۱۷,۲۷	درصد	

۵ تابع برای جداسازی علف‌های هرز از سیب‌زمینی و به همین ترتیب برای جداسازی علف‌های هرز از یکدیگر نیز توابع تشخیص تخمین زده شدند.

در اینجا تنها به ۵ تابع تشخیص که سیب‌زمینی را از تک تک علف‌های هرز جدا می‌کند اشاره شده است. رابطه‌ی (۷) تا (۱۱) به ترتیب تابع تشخیص بین سیب‌زمینی و گل‌گندم، پیچک صحرائی، کنگر صحرائی، سلمه‌تره میورال و سلمه‌تره‌ی آلبوم می‌باشد.

$$DF_{P \& \text{cent.}} = -0.3677 \times R + 0.2773 \times G - 0.0136 \times B + 0.1312 \quad (7)$$

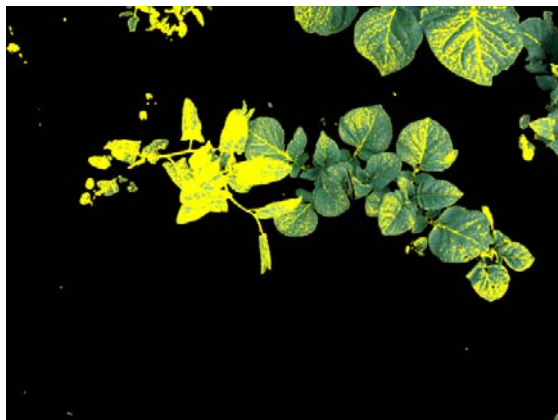
$$DF_{P \& \text{conv.}} = -0.0753 \times R + 0.0496 \times G - 0.0940 \times B + 6.5725 \quad (8)$$

$$DF_{P \& \text{div.}} = -0.0762 \times R + 0.0258 \times G - 0.0141 \times B + 4.3282 \quad (9)$$

$$DF_{F \& \text{Chem}_A} = -0.1579 \times R - 0.0433 \times G + 0.0933 \times D + 12.6134 \quad (10)$$

$$DF_{F \& \text{Chem}_A} = 0.0122 \times R - 0.0256 \times G - 0.0517 \times B + 7.1130 \quad (11)$$

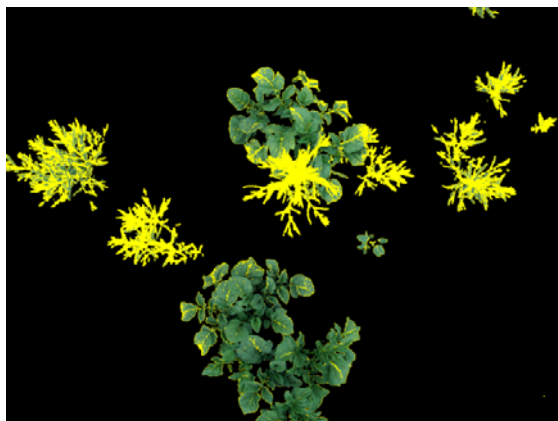
دو تصویر نمونه که تصویر گیاه گندم و پیچک صحرائی به همراه گیاه سیب‌زمینی در شکل ۵ آورده شده است. این تصاویر پس از اعمال تابع تشخیص و تخصیص رنگ زرد برای علف‌هرز به صورت شکل ۵ قسمت‌های (ب) و (ت) مشخص شده‌اند.



ب



الف



ت



پ

شکل ۵: جداسازی دو نوع علف‌هرز از گیاه اصلی توسط تابع تشخیص. الف و پ) تصویر پس از جداسازی زمینه‌ی حاکی توسط رابطه‌ی شرطی (۲).
ب و ت) اعمال تابع تشخیص مربوطه و جداسازی علف‌های هرز تصویر. (رنگ زرد به صورت اختیاری برای علف‌هرز در نظر گرفته شد.)

۵. نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی شناسایی علف‌های هرز در شرایط واقعی همراه با مشکلاتی می‌باشد. روش‌های مورفولوژیکی در شرایطی خاص و برای گیاهان خاص می‌تواند جوابگو باشد. اما روش‌های متعددی بر پایه‌ی مؤلفه‌های اصلی رنگ برای شناسایی علف‌های هرز پیشنهاد شده است، در صورتی بتوان به صورت جداگانه گیاه سیب‌زمینی را با تک‌تک علف‌های هرز مورد بررسی قرار داد مطمئناً نرخ جداسازی بالاتری خواهیم داشت.

به علاوه اگر بتوان تا حدودی شرایط واقعی را تحت کنترل گرفت به میزان زیادی تفکیک در رنگ‌های علف‌های هرز و گیاه سیب‌زمینی بیشتر خواهد شد و به جداسازی بهتر کمک خواهد کرد.

۶. بررسی منابع

Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., Tellaeche, A., Pajares, G., & Fernández-Quintanilla, C. (2009). Improving weed pressure assessment using digital images from an experience-based reasoning approach. 65.

FAO Statistic (۲۰۱۰). بازتابی از May 02 (Food and Agriculture Organization of the United Nations: <http://www.fao.org/corp/statistics/en/>)

Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). *Digital Image Processing*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Lee, W. S., Slaughter, D. C., & Geiles, D. (1999). Development of a Machine Vision System for Weed Control Using Precision Chemical Application. 39 (13).

Liu, J & Paulsen, M. R. (۲۰۰۰). Corn whiteness measurement and classification using machine vision . *Transactions of the ASAE*. ۱۶۶۹-۱۶۷۵, (۶)۴۳,

MathWorks. (1998). Image Processing Toolbox User's Guide.

Scarr, M. R., Taylor, C. C & Dryden, I. L. (۱۹۹۸). *Unsupervised texture segmentation using reversible jump Markov chain Monte Carlo methodology*. University of Leeds, Statistics Technical . Report STAT 98/02.

Woebbeck, D. M., Meyer, G. E., Von Bargen, K & Mortensen, D. A. (۱۹۹۵). Shape features for identifying young weeds using image analysis . *Transaction of ASAE*. ۲۷۱-۲۸۱, ۳۸,