مجله علوم كشاورزي ايران
جلد ۳۷، شماره ٤، سال ۱۳۸۵ (۵۷۲-۵۶۱)

ارائه الگوريتم مناسب جهت جداسازي علفهاي هرز از چغندر قند در شرايط واقعي مزرعه با استفاده از پردازش تصاوير

عبدالعباس جعفري[۱]، سيد سعيد محتسبي*[۲]، حسن اقبالي جهرمي[۳] و محمود اميد[٤]
۱، ۲، ٤، دانشجوي دوره دكتري و دانشياران پرديس كشاورزي و منابع طبيعي دانشگاه تهران،
۳، دانشيار مهندسي الكترونيك و كامپيوتر دانشگاه شيراز
(تاريخ دريافت: ۸۳/۷/۸ - تاريخ تصويب: ۸٤/۹/۲)

چكيده

استفاده از سمپاشهاي با پاشش نقطه‌اي با كاهش قابل ملاحظه ميزان سم مصرفي و نتيجتاً كاهش هزينه ها، از آلودگي محيط زيست نيز خواهد كاست. بدليل اهميت و هزينه زياد حذف علفهاي هرز، تلاشهاي زيادي در زمينه استفاده از ماشين بينايي در اين بخش در حال انجام مي‌باشد. در اين تحقيق با عكسبرداري ديجيتالي در شرايط واقعي مزرعه، اطلاعات لازم جهت تشخيص چغندر قند از علف هرزفراهم گرديد. اين اطلاعات از ۳۰۰ تصوير مختلف با وضوح ۱۶۰۰× ۱۲۰۰ پيكسل از ميدان ديد ۶۰×۷۰ سانتيمتر مربع بدست آمد. با استفاده از آناليز تشخيصي، روابط تشكيل دهنده نسبت رنگهاي اصلي در هر تركيب رنگ منسوب به گياه و هفت علف هرز مرسوم در مزارع استان فارس استخراج گرديد. بر اساس روابط مذكور الگوريتمي ارائه گرديده است كه قادر به جداسازي علفهاي هرز از گياه چغندرقند در شرايط مختلف نوري خواه در نور مستقيم آفتاب يا سايه برگها يا دستگاه مي باشد. نرخ طبقه‌بندي درست در مورد هر يك از هفت گونه علف هرز به صورت جداگانه مقايسه و تفسير شده است. در بين علفهاي هرز، كمترين نرخ طبقه‌بندي درست مربوط به پيچك صحرايي در سايه (۷۰/۸%) و بيشترين نرخ مربوط به ارزن دم‌رواهي در روشنايي (۹۵/۲%) بود. در الگوريتم نهايي جداسازي، نرخ طبقه‌بندي درست برابر با ۸۸/۵% در روشنايي و ۸۱/۸% در سايه بدست آمد.

واژه هاي كليدي: الگوريتم، پردازش تصوير، ماشين بينايي، جداسازي، علفهاي هرز، چغندر قند

مقدمه

حذف علفهاي هرز توسط كارگر بسيار هزينه بر بوده و بخش عمده‌اي از هزينه هاي توليد محصولاتي نظير چغندرقند را به خود اختصاص مي دهد. لذا تحقيقات زيادي در جهت يافتن روشهايي جهت حذف علفهاي هرز بدون استفاده از كارگر در حال انجام است. كنترل علفهاي هرز به روشهاي مختلفي صورت مي گيرد كه از آن جمله مي توان كنترل مكانيكي علفهاي هرز، استفاده از سموم علف كش، سوزاندن علفهاي هرز با استفاده از شعله افكن را نام برد.

هم اكنون كاربرد عملي روش مكانيكي محدود به استفاده از كولتيواتورهاي مزرعه‌اي جهت از بين بردن علفهاي هرز مابين ردیفهاي كشت مي باشد. طراحي روبوتهاي علف هرز كن هنوز مراحل تحقيق را طي مي كند. با پيشرفت فن آوري علف كشهاي انتخابي، كارآيي اين سموم روز به روز افزايش مي يابد. استفاده از علف كشهاي انتخابي و يا شش سراسري علف كش در مزرعه، ساده و سريع است اما علت عدم استقبال كشاورزان از چنين روشي و روي آوردن آنها به روش حذف دستي توسط كارگر بخاطر هزينه بالاي سموم علف كش انتخابي مي باشد. هدف نهايي تحقيقاتي كه در زمينه جداسازي علف هرز از گياه اصلي انجام مي شود، ساخت دستگاهي است كه بطور مستقل و بدون نياز به دخالت انسان قادر به تشخيص و حذف علفهاي هرز باشد. لذا روش مورد استفاده براي از بين بردن علف هرز در

* نويسنده مسئول: سيد سعيد محتسبي تلفن: ۰۹۱۲۱۰۶۶۹۰۲ E-mail: mohtaseb@ut.ac.ir

تعيين حداكثر سطح قابل تشخيص نادرستِ دستگاه، موثر خواهد بود. بر اين اساس اگر قرار باشد از روش كنترل مكانيكي استفاده شود ميزان تشخيص نادرست دستگاه مي‌بايست مقدار بسيار كمي باشد چراكه در صورت تشخيص نادرست، محصول كه هدف اصلي است صدمه خواهد ديد. اما در روش دوم كه از علف كشهاي انتخابي استفاده مي شود، ميزان خطا و تشخيص نادرست مي تواند مقدار بزرگتري نسبت به دو روش ديگر داشته باشد.

استفاده از علف‌كشهاي نقطه‌پاش نسبت به ساير روشهاي كنترل مستقل علفهاي هرز پيشرفت بيشتري داشته و به مرحله استفاده عملي نزديك تر شده است. بنابراين، تحقيقات در اين زمينه به سمت روشهايي متوجه شده است كه بتوان بدون كاهش اثر سمپاشي، ميزان سم مصرفي را كاهش داد. بر اساس تحقيقي كه براون و همكاران (۱۹۹۰) انجام دادند، اگر سم مستقيماً بر روي گياه پاشيده شود تا ۲۵% از ميزان سم مصرفي كاسته خواهد شد.

هدف از اين تحقيق استخراج روابط تشكيل دهنده نسبت تركيب رنگهاي اصلي منسوب به هفت گونه علف هرز و گياه اصلي يعني چغندر قند مي باشد. چنين روابطي مي تواند در جداسازي علفهاي هرز از چغندر قند بر اساس تركيب رنگي آنها مورد استفاده قرار گيرد. در نهايت با تعيين ميزان موفقيت هر رابطه در ميزان جداسازي، الگوريتمي ارائه خواهد شد كه تا حد امكان قادر به جداسازي علفهاي هرز و گياه اصلي بر اساس رنگ باشد.

از دلايل گستردگي تحقيقات در زمينه تشخيص علفهاي هرز از گياه اصلي را مي‌توان به تنوع علفهاي هرز مرسوم در هر منطقه و همچنين تفاوت علفهاي هرز محصولات مختلف اشاره كرد.

حذف علفهاي هرز عمدتاً به دو صورت حذف علفهاي هرز بين رديفهاي كشت و يا حذف علفهاي هرز روي رديفها انجام مي گردد.

يكي از روشهاي تشخيص علف هرز، استفاده از تشخيص دهنده‌هاي نوري[1] است (۷، ۱۰، ۱۱). اگر چه تشخيص دهنده‌هاي نوري از نظر تجاري مقرون به صرفه ترند ليكن وضوح فضايي بسيار كمي دارند بهمين دليل در تشخيص گياه، مگر با استفاده از محدوده باريكي از طول موجهاي مختلف، دچار مشكل مي شوند (۱۱).

محققين‌در بسياري از تحقيقات خود اقدام به ساده‌سازي‌هايي نموده اند كه اگرچه صورت مساله از حالت واقعي مزرعه بسيار دور مي شود اما به هر حال شروعي در جهت تلاش براي حل مساله جداسازي علف هرز از گياه اصلي است. ساده سازي‌ها شامل اين موارد است: تحقيق در شرايط آزمايشگاهي با نور كنترل شده، خاك مشخص با رنگ يكنواخت، و تهيه عكس بشكلي كه تنها شامل گياه اصلي يا علف هرز باشد(٤، ٦، ۱۵). تلاشها در اين جهت بود تا با يافتن ويژگيهاي متفاوتي بين گياه اصلي و علفهاي هرز از قبيل پيچيدگي، كشيدگي، گشتاور مركزي و گشتاور حول محور اصلي، گردي، نسبت شكل و زاويه‌هاي حاشيه برگ و تركيبهايي از آنها كه خصوصيات سطح بالا را تشكيل مي‌دهند بتوان در جداسازي استفاده كرد (۶). ليكن چنانكه ذكر شد اين خصوصيات در عكسبرداري از مزرعه واقعي چندان قابل استفاده نمي‌نمايند چرا كه تصوير تهيه شده شامل تركيبي از گياه اصلي و علف هرز است كه بطور مجزا نمي توان اين خصوصيات را از آنها استخراج نمود. بهمين دليل به نظر مي رسد كه استفاده از روشهاي رنگي تنها راه حل است در اين راستا الفاكي و همكاران (۲۰۰۰) موفق شدند با استفاده از تركيبات مختلف فضاي رنگRGB، گونه‌هايي از علف هرز مزارع سويا را جداسازي نمايند. شدت نور مستقيما روي مقادير هر يك از مولفه هاي اصلي رنگ تاثير مي گذارد. اگر چه اين رابطه يك رابطه مستقيم است يعني با افزايش شدت نور، هر يك از مولفه ها نيز افزايش مي يابند، ليكن ميزان اين افزايش براي هر سه مولفه RGB يكسان نيست. علاوه بر اين ميزان هر يك از مولفه‌هاي نور منعكس شده، تابع رنگ سطح منعكس كننده نيز مي باشد (۳). اين مساله موجب مي‌شود تا نتوان يك رابطه عمومي به شكلي

1. Photo detector

نوشت که رنگ را بطور کاملا مستقل از شدت نور بیان کند. بعبارت دیگر جداسازي رنگي در قسمتهاي در معرض تابش نور از روابطي تبعيت مي کنند که متفاوت با روابط بين مولفه هاي رنگ در قسمتهاي واقع در سايه است.

محققين جهت حل اين مساله و بيان مستقل رنگ از روابطي استفاده کرده اند که تا حدودي اثر شدت نور را کمرنگ کند. بعنوان مثال تيان و همکاران (۱۹۹۷) جهت جداسازي علفهاي هرز از فضاي رنگ HSI[1] استفاده کردند که رنگ[2] را جداي از شدت نور[3] بيان مي کند. فضاهاي رنگ[4] YCrCb[5] و NTSC[6] نيز رنگ را مستقل از شدت نور بيان مي کنند. تيان و همکاران (۱۹۹۷) و الفاکي (۲۰۰۰) از رنگينگي[7] و روابطي نظير نسبت مولفه هاي رنگ نيز به همين منظور استفاده کردند. چنين روابطي، همانطور که گفته شد تقليل دهنده اثر شدت نور هستند اما بطور کامل نمي توانند اثر شدت نور بر رنگ را حذف کنند.

يانگ (۲۰۰۰) بدون استخراج خصوصيت شکل يا بافت، مستقيماً با وارد کردن خودِ پيکسلهاي تصوير به شبکه عصبي و تعليم آن، شبکه را در تشخيص علف هرز از گياه اصلي بکار گرفت. البته چنانکه گفته شد در اين تحقيق نيز تنها از عکسهايي استفاده شد که فقط شامل علف هرز يا گياه اصلي بودند نه عکسي مرکب از هر دوي آنها . همين مساله موجب شده تا محققين هنوز در مسير اکتساب خصوصيات مورفولوژيکي به پيش روند. در اين مسير، تيان و همکاران (۱۹۹۷) توانستند با استفاده از خصوصيات جديدي که در گياه مورد نظر مشاهده نمودند يعني زاويه کمتر از۲۰ درجه بين محورهاي اصلي برگهاي اوليه نشاي گوجه فرنگي، برنامه رايانه‌اي بنويسند که اين خصوصيت را بعنوان يك ويژگي در جداسازي مورد استفاده قرار دهد و بر همين اساس يکدستگاه سمپاش را مجهز به اين سيستم هوش مصنوعي نمودند تا فقط بر روي علفهاي هرز پاشش کند. مشکلي که اجازه تعميم اين روش به ساير محصولات را نمي‌داد اين بود که ويژگي مذکور منحصر به نشاي گوجه فرنگي با سن کم (مرحله برگهاي اوليه تا دو برگي) مي‌باشد. از طرف ديگر زمان وجين بسيار محدود بوده و در طول رشدِ محصول قابل استفاده نيست.

وبك و همکاران (۱۹۹۵) شاخصهاي مختلف رنگ را در جداسازي علفهاي هرز از خاك و بقاياي گياهي مورد ارزيابي قرار دادند. در اين مطالعه، جداسازي علفهاي هرز از محصول يا تشخيص گونه هاي مختلف گياهي مورد نظر نبوده است. آنها همچنين در تحقيق ديگري ويژگيهاي مورفولوژيکي را نيز در مورد گونه‌هاي مختلف علف هرز مورد بررسي قرار دادند که همانند تحقيقاتي که قبلاً گفته شد اين ويژگيها مربوط به تصاويري بود که شامل تنها يك گونه گياه بودند (۱۵).

بارکز و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از روش تشخيص بافت رنگي و آناليز تشخيصي اقدام به جداسازي پنج گونه علف هرز نمودند. جهت حذف شدت نورهاي مختلف در طول روز و هواي ابري يا آفتابي، مجموعه دوربين و فضاي عکسبرداري با پارچه پوشانده شد و از منبع نور مصنوعي جهت روشن کردن صحنه عکسبرداري استفاده شد. آنها ابتدا داده هاي فضاي رنگ RGB را به فضاي رنگ HSI تبديل کردند سپس با استفاده از تشکيل ماتريس هم رخداد[8] ميزان آنتروپي[9] را در مورد تصاوير متعلق به هر کدام از گونه هاي علف هرز محاسبه کردند و در نهايت با استفاده از آناليز تشخيصي اقدام به طبقه‌بندي گروه‌هاي مختلف علف هرز نمودند.

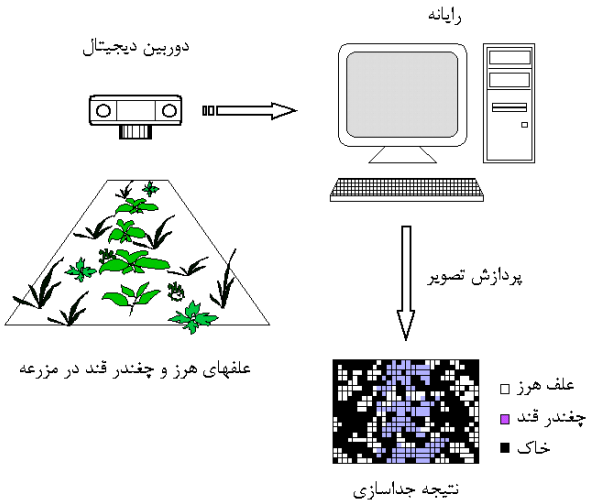
مواد و روش‌ها

تصاوير مورد نياز اين تحقيق از ۷ مزرعه مختلف کشت چغندر قند در اطراف شيراز، فسا، زرقان و مرودشت در استان فارس تهيه شدند. عکسبرداري در زمان وجين علفهاي هرز (مرحله ٤ تا ۷ برگي) و در بعضي از مزارع در مرحله ۲ تا ٤

1. Hue, Saturation, Intensity
2. Hue
3. Light intensity
4. Color spaces
5. Luma, Chrominance
6. National Television Standards Committee
7. Chromaticity
8. Co-occurrence matrix
9. Entropy

برگي انجام گرفت. بمنظور شامل شدن مقادير مختلف شدت نور، زواياي مختلف تابش و ساير عوامل احتمالي تاثير گذار بر شرايط واقعي تصوير در مزرعه، عكسبرداري از اواسط ارديبهشت تا اواسط مرداد ماه در مزارع مختلف انجام شد. عكسها در ساعات مختلف روز از ٨ صبح تا ٦ بعد از ظهر گرفته شد و شامل هواي آفتابي، ابري، صبح و بعد از ظهر بود.

علفهاي هرز متداول در مزارع مذكور عبارت بودند از: سلمه، تاج خروس، خرفه، عروسك پشت پرده، پيچك صحرايي، ارزن دم روباهي و دژگال. عكسبرداري از فاصله يک متري بالاي گياه عمود بر سطح زمين توسط دوربين ديجيتال فتوكليپ ٢/١ مگا پيكسل انجام شد. وضوح تصاوير ١٦٠٠×١٢٠٠ و ميدان ديد تصاوير سطح ٦٠×٧٠ سانتيمتر مربع بر روي سطح خاك بود (شكل ١). در مجموع ٣١٢ عكس با فرمت JPEG بصورت داده‌هاي ٢٤ بيتي ذخيره شد.

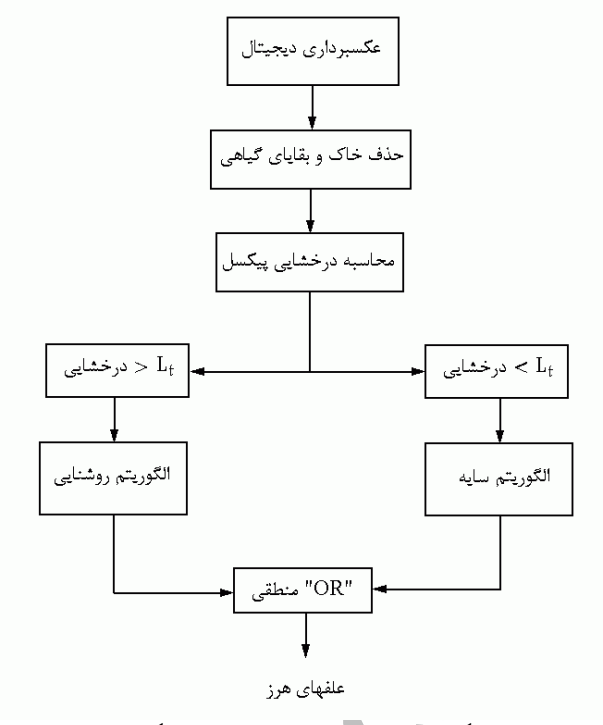


شكل١- مراحل جداسازي رنگي علفهاي هرز از گياه اصلي

پيش پردازش تصاوير با استفاده از نرم افزار MATLAB نسخه ٦/٥ و جعبه ابزار پردازش تصوير نسخه ٣/٠٠ انجام گرفت(٩). جهت انجام آناليز تشخيصي از نرم افزار SPSS نسخه ٩/٠٥ استفاده شد(١٢).

چنانكه پيشتر گفته شد يكي از مشكلات جداسازي رنگي مساله اثر شدت نور مي باشد كه روشهاي تقليل اثر آن ذكر شد. در اين تحقيق سعي شد بجاي استفاده از فرمول مربوط به بيان رنگ در حالات سايه و روشنايي، الگوريتم بشكلي طراحي شود كه بطور جداگانه جداسازي در سايه و روشنايي را انجام دهد و سپس نتايج را با يكديگر جمع كند. بدين ترتيب خطايي كه در اثر گردآوري نقاط مربوط به سايه و روشنايي در يك دسته پديد ميآمد كاملاً برطرف خواهد شد.

بر اساس مطالب فوق ، الگوريتم به دو شاخه جداگانه شكسته شد. هر يك از اين دو شاخه كه از اين پس با نام الگوريتم سايه و روشنايي ذكر خواهند شد، به ترتيب مسوول جداسازي علفهاي هرز در سايه و روشنايي خواهند بود (شكل٢).



شكل٢- الگوريتم جداسازي علفهاي هرز از گياه اصلي

از آنجا كه در مورد گياهان سبز مقدار مؤلفه G بيش از دو مؤلفه R , B است خواهيم داشت:

$$G > \frac{R+B}{2} \Rightarrow 2G - R - B > 0 \qquad (١$$

بنابراين سير مراحل جداسازي بدين ترتيب خواهد بود كه پس از دريافت تصاوير ديجيتال، زمينه خاك و بقاياي گياهي با آستانگذاري بر رابطه 2G-R-B حذف خواهند شد(١٤). پس از اين مرحله بمنظور هدايت پيكسل مورد نظر به شاخه مربوطه ، ميزان درخشايي[1] آن با استفاده از رابطه٢ محاسبه گرديد (٥).

1. Luminance

$$L = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (٢$$

كه در آن L درخشايي و R، G و B مقادير سه رنگ اصلي قرمز، سبز و آبي پيكسل مي‌باشند. مقادير مذكور بر مبناي سطح خاكستري[1] از صفر تا ٢٥٦ مي باشند. پس از آن بسته به اينكه مقدار درخشايي محاسبه شده بيشتر يا كمتر از مقدار آستانگذاري[2] محاسبه شده (براي قسمتهاي واقع در روشنايي يا سايه باشد، پيكسل مذكور، جهت پردازش به ترتيب به سمت الگوريتم روشنايي (شاخه سمت راست) يا الگوريتم سايه (شاخه سمت چپ) هدايت مي‌گشت.

جمع آوري داده‌ها

از درون ٣١٢ عكس گرفته شده در مزرعه، براي هر يک از گونه‌هاي علفهاي هرز، ١٢٥قطعه از قسمتهاي مختلف تصوير مربوط به علف هرز مورد نظر جدا شد (با استفاده از نرم افزار MATLAB) سپس هر قطعه به ابعاد ٨× ٨ پيكسل تغييراندازه[3] داده شد تا شانس تاثير گذاري هر گونه گياهي در آناليز تشخيصي يكسان شود. بنابراين براي هر گونه علف هرز تعداد ٨٠٠٠= ٦٤×١٢٥ پيكسل انتخاب شد. اين مقدار در مورد چغندر قند ٨٣٢٠ پيكسل بود. از آنجا كه تصاوير در فضاي RGB مي باشند و هر قطعه تصوير شامل ٣ ماتريس ٨×٨ مي‌باشد، لذا براي ٧ گونه علف هرز مذكور، در دو حالت سايه و روشنايي، مقدار ٣٣٦٠٠٠= ٢× ٨٠٠٠× ٣ × ٧ داده استخراج شد كه با اضافه كردن داده‌هاي مربوط به چغندر قند در مجموع ٣٨٥٣٢٠= ٤٩٩٢٠+ ٣٣٦٠٠٠ داده به آناليز تشخيصي وارد شد.

اين روش جمع‌آوري داده‌ها كاملا واقعي است زيرا سايه بوجود آمده در تصوير شامل سايه پيچش يك برگ، سايه برگهاي ديگر و سايه مصنوعي ايجاد شده روي گياهان بمنظور شبيه‌سازي سايه دستگاه وجين‌كن بود. جهت شبيه سازي سايه دستگاهها، از يک صفحه فلزي به ابعاد ٢٠×٣٠ سانتيمتر مربع استفاده شد كه از فواصل متفاوت بين يک متر تا ٥٠ سانتيمتري از سطح زمين، موجب ايجاد سايه بر روي ميدان ديدِ دوربين مي‌گشت. از آنجا كه در چنين داده برداري، كليه شرايط واقعي در آناليز وارد مي‌شود، اين روش در مقايسه با تغيير شدت نور در آزمايشگاه، به واقعيت نزديك‌تر است.

نتايج و بحث

بمنظور تعيين ميزان مؤلفه هاي اصلي رنگِ قسمتهاي واقع در سايه و روشنايي و همچنين تعيين مقدار آستانه در جداسازي قسمتهاي مربوط به سايه و روشنايي، جدول١ تهيه گرديد. ميزان درخشايي (L) با استفاده از رابطه (٢) محاسبه شده است.

1. Gray level
2. Threshold
3. Resize

جدول ١- ميانگين و انحراف معيار مولفه هاي RGB و ميزان درخشايي قسمتهاي واقع در سايه و روشنايي گياه چغندر قند و علفهاي هرز

	سايه				روشنايي			
	L	B	G	R	L	B	G	R
چغندر قند	٣٦±١٦	٢٠±١٧	٥٥/١±١٩	٣٢/٩±١٣	١٠٨±٤٣	٨٣/٤±٥٢	١٣٨/٦±٤٢/٤	١٠١/٩±٣٨/٢
سلمه تره	٣٩±١٠	٣٣/٣±١١/٩	٥٠/٥±١٢/٥	٣٤/٣±٩	١١٥±٣٨	١١٨/٢±٤٢/٥	١٢٩±٣٨/٩	٩٨/١±٣٦/٤
تاج خروس	٤٢±١٣	٣١/٩±١٤/٤	٥٦±١٥/٩	٣٩/٢±١٣/٦	١١٠±٢٩	١٠٥/٦±٣٤/٤	١٢٦/٣±٢٨/٣	٩٧/٣±٢٧/٦
عروسك پشت پرده	٤١±١٨	٣٧/٩±٢٠/١	٥٠/٤±٢٠/٢	٣٥/٦±١٤/٧	١٢٨±٣٣	١٢٦/٩±٣٩/٩	١٤٣/٨±٣١/٣	١١٣/٦±٢٨/٣
خرفه	٦٦±٢٤	٥٨/٢±٢٥/٢	٨١/٧±٢٨/٤	٥٨/٩±٢١/٩	٨٨±٣٢	٧٠±٣٩/٤	١١١/٥±٣٢/٢	٨٣/٤±٢٨/٨
پيچك	٣٧±١٧	٢٦±١٨/٦	٥٠/٨±٢٠	٣٣/٦±١٤/٩	١٢٠±٣٣	١١٦/٤±٣٧	١٣٤/٧±٣٤/٨	١٠٨/٧±٢٩/٧
ارزن دم‌روباهي	٥٠±٢٢	٤٧/٢±٢٤/٨	٦١/٨±٢٤/١	٤٢/٣±١٩	١٠٧±٢٦	١٠٨/٤±٢٧	١١٨/٩±٢٨/٩	٩٤/٥±٢٣/٧
دژگال	٦٠±٢٣	٦٠/٥±٢٦/١	٦٩/٢±٢٤	٤٨/٩±٢٢	١٠٢±١٩	٩٥/١±٢٠/٥	١٢٠/٧±٢٠/٩	٩٠/٢±١٨/٧
ميانگين	٤٦±١٨				١١٠±٣٢			

آناليز تشخيصي، روشي است كه از خصوصيات مشاهده شدة موارد موجود در يک گروه استفاده كرده و يك مدل پيشگويي عضويت ارائه مي‌دهد. تابع تشخيص رابطه‌اي است خطي از متغيرهاي مستقل استاندارد شده كه بيشترين اختلاف را بين گروهها بدست مي دهد (٨).

در اينجا، خصوصيات، مولفه‌هاي RGB تصاوير بوده و گروه‌هاي طبقه‌بندي، ٨ عدد مي باشند. بنابراين با استفاده از آناليز تشخيصي، عضويت هر پيكسل در هفت گروه علف هرز يا چغندر قند بر اساس متغيرهاي مستقل (مولفه هاي RGB) مشخص خواهد شد.

در اين تحقيق سه حالت مختلف گروه بندي بشكل زير در نظر گرفته شد:

١- طبقه بندي گياه چغندر قند و علفهاي هرز(٨ گروه)

٢- طبقه بندي گياه چغندر قند در برابر گروه علفهاي هرز (٢ گروه)

٣- طبقه بندي گياه چغندر قند در برابر هر يك از علفهاي هرز (٨ گروه ، ٧ مرحله)

طبقه بندي گياه چغندر قند و علفهاي هرز(٨ گروه)

در اين طبقه بندي ٨ گروه مجزا شامل چغندر قند و ٧ گروه علف هرز در نظر گرفته شد. استفاده از آناليز تشخيصي جهت طبقه بندي بيش از دو گروه چندان مرسوم نيست اما نتايج حاصل از اين طبقه‌بندي براي تعيين اينكه كدام گروه يا گروههايي بيشترين مشابهت را با چغندر قند دارند مورد استفاده قرارگرفت. نتايج اين آزمايش در جدول ٢ آورده شده است.

جدول ٢- نتايج طبقه‌بندي چغندر قند و هفت گونه علف هرز در روشنايي

		عضويت پيش بيني شده در گروه							
	گياه	چغندر قند	سلمه	تاج خروس	عروسك پشت پرده	خرفه	پيچك	ارزن دم‌رواهي	دژگال	مجموع
مقادير اصلي	چغندر قند	۴۹۵۷	۴۱۷	۲۶	۵۸۲	۱۳۹۸	۲۶۱	۸۹	۵۹۰	۸۳۲۰
	سلمه	۳۹۲	۳۷۶۸	۹۹	۱۰۴۸	۸۳	۴۶۴	۸۵۰	۱۲۶۹	۸۰۰۰
	تاج خروس	۳۹۵	۱۸۵۹	۱۵۸	۵۷۳	۹۱۸	۱۵۵۲	۸۳۳	۱۷۱۲	۸۰۰۰
	عروسك پشت پرده	۳۷۳	۱۱۶۶	۳۷۲	۲۳۴۵	۳۳۷	۱۳۴۷	۹۲۴	۱۱۳۶	۸۰۰۰
	خرفه	۱۹۲۰	۳۳۲	۶۳	۳۴۲	۳۴۶۸	۶۹۷	۶۲۱	۵۵۷	۸۰۰۰
	پيچك	۵۵۶	۵۶۵	۲۰۲	۱۴۵۶	۵۹۹	۲۳۵۶	۱۷۰۵	۵۶۱	۸۰۰۰
	ارزن دم‌رواهي	۶۳	۱۸۸۵	۳۰۶	۷۰۸	۱۰۰	۱۱۴۴	۳۱۳۵	۶۵۹	۸۰۰۰
	دژگال	۴۰۶	۱۵۹۷	۳۴۲	۵۳۵	۹۰۰	۸۱۱	۶۷۳	۲۷۳۶	۸۰۰۰
درصد	چغندر قند	۵۹/٦	۵/۰	۰/۳	۷/۰	۱۶/۸	۳/۱	۱/۱	۱/۱	۱۰۰
	سلمه	۴/۹	۴۷/۱	۱/۲	۱۳/۱	۱/۰	۵/۸	۱۰/۶	۱٦/۲	۱۰۰
	تاج خروس	۴/۹	۲۳/۲	۲/۰	۷/۲	۱۱/۵	۱۹/۴	۱۰/۴	۲۱/۴	۱۰۰
	عروسك پشت پرده	۴/۷	۱۴/۶	۴/۷	۲۹/۳	۴/۲	۱۶/۸	۱۱/۶	۱۴/۲	۱۰۰
	خرفه	۲۴/۰	۴/۲	۰/۸	۴/۳	۴۳/۴	۸/۷	۷/۸	۷/۰	۱۰۰
	پيچك	۷/۰	۷/۱	۲/۵	۱۸/۲	۷/۵	۲۹/۵	۲۱/۳	۷/۰	۱۰۰
	ارزن دم‌رواهي	۰/۸	۲۳/۶	۳/۸	۸/۹	۱/۳	۱۴/۳	۳۹/۲	۸/۲	۱۰۰
	دژگال	۵/۱	۲۰/۰	۴/۳	۶/۷	۱۱/۳	۱۰/۱	۸/۴	۳۴/۲	۱۰۰

٣٥/٦ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شده‌اند.

جدول٣- نتايج طبقه‌بندي چغندر قند و هفت گونه علف هرز در سايه

		عضويت پيش بيني شده در گروه							
	گياه	چغندر قند	سلمه	تاج خروس	عروسك پشت پ	خرفه	پيچك	ارزن‌دم‌روباهي	دژگال	مجموع
مقادير اصلي	چغندر قند	٤٩٨٠	٦٠٣	٢٧٤	٤٠٧	٣٨١	١٢١٤	٤٤٦	١٥	٨٣٢٠
	سلمه	١٤٣٢	٨٤٠	٩٥٢	٢٤٣٢	١٢٠	٨٤٠	٩٦٨	٤١٦	٨٠٠٠
	تاج خروس	١٤٤٠	٩٣٦	٢٢٨٠	١١٢٨	٨٠٨	٥٥٠	٦٩٣	١٦٥	٨٠٠٠
	عروسك پشت پ	٣٤٥	٧٦٩	٥٦٩	٣٢٨٩	٦٧٣	٥٣٧	٨٨١	٩٣٧	٨٠٠٠
	خرفه	٧٦٠	١٢٠	٣٣٦	١٢٤٠	٣٦٤٨	٢٨٠	٣٣٦	١٢٨٠	٨٠٠٠
	پيچك	١٩٢٢	٨٨٠	١٠٤٨	٥٦٠	٧٦٨	٢٤٨٨	١٢٠	٢٨٠	٨٠٠٠
	ارزن دم‌روباهي	٣٧٦	١٣٤٤	١٣٦	١٧٢٠	٧٥٢	٣٦٠	١٤٧٢	١٨٤٠	٨٠٠٠
	دژگال	٤١٦	٣١٢	١٢٨	٨٨٨	١١٨٤	٩٦	١٠٤٨	٣٩٢٨	٨٠٠٠
درصد	چغندر قند	٥٩/٩	٧/٣	٣/٣	٤/٩	٤/٦	١٤/٦	٥/٤	٠/٢	١٠٠
	سلمه	١٧/٩	١٠/٥	١١/٩	٣٠/٤	١/٥	١٠/٥	١٢/١	٥/٢	١٠٠
	تاج خروس	١٨/٠	١١/٧	٢٨/٥	١٤/١	١٠/١	٦/٩	٨/٧	٢/١	١٠٠
	عروسك پشت پ	٤/٣	٩/٦	٧/١	٤١/١	٨/٤	٦/٧	١١/٠	١١/٧	١٠٠
	خرفه	٩/٥	١/٥	٤/٢	١٥/٥	٤٥/٦	٣/٥	٤/٢	١٦/٠	١٠٠
	پيچك	٢٣/١	١١/٠	١٣/١	٧/٠	٩/٦	٣١/١	١/٥	٣/٥	١٠٠
	ارزن دم‌روباهي	٤/٧	١٦/٨	١/٧	٢١/٥	٩/٤	٤/٥	١٨/٤	٢٣/٠	١٠٠
	دژگال	٥/٢	٣/٩	١/٦	١١/١	١٤/٨	١/٢	١٣/١	٤٩/١	١٠٠

طبقه‌بندي گياه چغندرقند در برابر گروه علفهاي هرز(٢ گروه)

در اين طبقه‌بندي كليه علفهاي هرز در يك گروه قرار داده شدند و چغندر قند در يك گروه ديگر. اين آزمايش بدين جهت انجام شد كه مشخص شود آيا مي توان كليه علفهاي هرز را با يك تابع تشخيص از چغندر قند جدا نمود. نتايج در جداول ۴و ۵ براي روشنايي و سايه آورده شده است.

جدول٤ - نتايج طبقه‌بندي چغندرقند در برابر گروه علفهاي هرز در روشنايي

		عضويت پيش‌بيني شده در گروه		
	گياه	چغندرقند	علف هرز	مجموع
مقادير اصلي	چغندر قند	٦٣٩٨	١٩٢٢	٨٣٢٠
	علف هرز	٧٦٥٣	٤٨٣٤٧	٥٦٠٠٠
درصد	چغندر قند	٧٦/٩	٢٣/١	١٠٠
	علف هرز	١٣/٧	٨٦/٣	١٠٠

٨٥/١ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شده‌اند.

جدول٥- نتايج طبقه‌بندي چغندر قند در برابر گروه علفهاي هرز در سايه

		عضويت پيش‌بيني شده در گروه		
	گياه	چغندرقند	علف هرز	مجموع
مقادير اصلي	چغندر قند	٦٣٩٨	١٨٨٠	٨٣٢٠
	علف هرز	٧٦٥٣	٤٣٠٠٨	٥٦٠٠٠
درصد	چغندر قند	٧٧/٤	٢٢/٦	١٠٠
	علف هرز	٢٣/٢	٧٦/٨	١٠٠

٧٦/٨ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شده‌اند.

٣- طبقه بندي گياه چغندر قند در برابر هر يك از علفهاي هرز (٨ گروه، ٧ مرحله)

در اين طبقه‌بندي، چغندر قند يك به يك با هر كدام از علفهاي هرز مورد طبقه بندي قرار گرفتند. از آنجا كه ٧ گونه علف هرز در برابر چغندر قند قرار مي گيرند، اين حالت ٨ دسته جهت طبقه بندي و ٧ مرحله مجزا در حالت روشنايي و به همين تعداد در حالت سايه خواهد داشت. چنانكه پيشتر گفته

شد، آناليز تشخيصي در حالتي كه دو كلاس طبقه بندي در نظر گرفته شوند دقت بيشتري دارد بنابراين، اين طبقه بندي نتيجه دقيقتري خواهد داشت. نتايج اين طبقه بنديها جهت مقايسه، بصورت يكجا در جدول ٦ آورده شده است.

جدول٦- نتايج طبقه بندي گياه چغندر قند در برابر هر يك از علفهاي هرز در حالات روشنايي و سايه

روشنايي			سايه		
گياه	چغندر قند	سلمه	گياه	چغندر قند	سلمه
چغندر قند	٨١/٩	١٨/١	چغندر قند	٧٣/٩	٢٦/١
سلمه	٩/٩	٩٠/١	سلمه	٢٤/٤	٧٥/٦
٨٥/٩ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.			٧٤/٥ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.		
گياه	چغندر قند	تاج خروس	گياه	چغندر قند	تاج خروس
چغندر قند	٧٧/٤	٢٢/٦	چغندر قند	٧٧/٧	٢٢/٣
تاج خروس	١١/٨	٨٨/٢	تاج خروس	٢٧/٠	٧٣/٠
٨٢/٧ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.			٧٦/٤ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.		
گياه	چغندر قند	عروسكپشتپ	گياه	چغندر قند	عروسكپشتپ
چغندر قند	٨٠/٢	١٩/٨	چغندر قند	١٨/٦	١٨/٤
عروسكپشتپ	١٠/٦	٨٩/٤	عروسكپشتپ	١٣/٣	٨٦/٧
٨٤/٧ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.			٨٣/٦ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.		
گياه	چغندر قند	خرفه	گياه	چغندر قند	خرفه
چغندر قند	٧٢/٩	٢٧/١	چغندر قند	٨٧/٩	١٢/١
خرفه	٢٧/٦	٧٢/٤	خرفه	٢٥/٦	٧٤/٤
٧٢/٧ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.			٨٤/٨ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.		
گياه	چغندر قند	پيچك	گياه	چغندر قند	پيچك
چغندر قند	٨٣/٣	١٦/٧	چغندر قند	٦٦/٤	٣٣/٦
پيچك	١٢/١	٨٧/٩	پيچك	٢٩/٢	٧٠/٨
٨٥/٦ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.			٦٨/١ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.		
گياه	چغندر قند	ارزندمروباهي	گياه	چغندر قند	ارزندمروباهي
چغندر قند	٨٤/٧	١٥/٣	چغندر قند	٨٠/٦	١٩/٤
ارزندمروباهي	٤/٨	٩٥/٢	ارزندمروباهي	١٤/٢	٨٥/٨
٨٩/٨ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.			٨٢/٦ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.		
گياه	چغندر قند	دژگال	گياه	چغندر قند	دژگال
چغندر قند	٧٤/١	٢٥/٩	چغندر قند	٨٩/٠	١١/٠
دژگال	٩/٨	٩٠/٢	دژگال	٩/٨	٩٠/٢
٨٢/٠ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.			٨٩/٦ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شدهاند.		

هر يك از آناليزها يك تابع تشخيص بدست خواهد داد. بدين ترتيب ٧ تابع تشخيص در حالت روشنايي و ٧ تابع تشخيص در حالت سايه بدست خواهد آمد كه با DF_1 تا DF_7 نشان داده مي‌شود و هر يك، فاصله بين گروه چغندر قند و يكي از علفهاي هرز را بيشينه مي‌كند. اين معادلات به شكل كلي زير مي باشند:

$$DF_n = b_1R + b_2G + b_3B \quad (٣$$

كه در آن DF_n تابع تشخيص nام و n شماره علفهاي هرز از ١ تا ٧ ، b_1 تا b_3 ضرايب تابع تشخيص و R و Gو B مولفه رنگهاي اصلي مي باشند.

ساختار الگوريتم

بمنظور تعيين آستانه در جداسازي پيكسلها بر اساس درخشايي از ميانگين كل درخشايي پيكسلهاي واقع در نور و پيكسلهاي واقع در سايه (جدول١) استفاده شد. بر اين اساس آستانه درخشايي (L_t) برابر با ٧٨ در نظر گرفته شد و تصوير پس از عبور از فيلتر آستانگذاري زير در "الگوريتم روشنايي" مورد پردازش قرار مي گيرد:

IF $L(i,j)<L_t$ THEN f(i,j)=0 ELSE f(i,j)is kept up. (٤

همين تصوير پس از عبور از فيلتر آستانگذاري زير در الگوريتم سايه نيز مورد پردازش قرار مي‌گيرد:

IF $L(i,j)> L_t$ THEN f(i,j) = 0 ELSE f(i,j) is kept up. (٥

كه در آن L(i,j) مقدار درخشايي پيكسل واقع در نقطه به مختصات (i,j) مي باشد كه با استفاده از رابطه ٢ محاسبه شده است و f(i,j) ميزان سطوح خاكستري مولفه‌هاي اصلي رنگ تصوير مورد نظر مي‌باشد.

شماي كلي الگوريتم جداسازي در شكل ٢ نشان داده شد. جزئيات الگوريتمهاي سايه و روشنايي در شكل ٣ آورده شده است. بايد توجه داشت كه اگرچه عملكرد هر دو الگوريتم سايه و روشنايي يكسان است ولي توابع تشخيص (DF1 تا DF7) در هر يك از اين دو حالت متفاوت است. بعنوان مثال تابع تشخيص براي چغندر قند و سلمه (حالت سوم، جدول ٦) بشكل زير مي‌باشد:

DF.1= 0.371B - 0.114G (٦

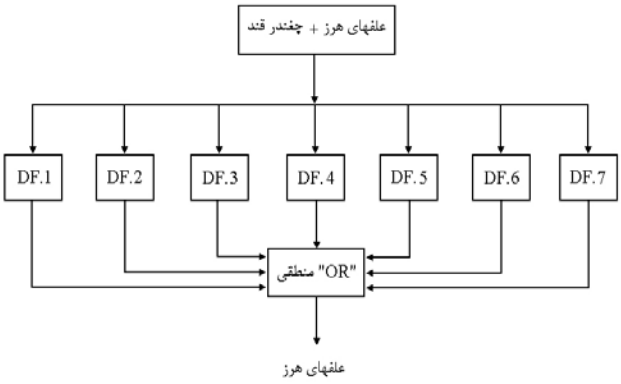
اين رابطه نشان مي دهد كه در مورد سلمه و چغندر قند مولفه رنگ قرمز (R) تاثيري در جداسازي اين دو كلاس نداشته است. مراكز گروه براي دو گروه چغندر قند و سلمه تره بترتيب ١/٠٠٦ و ٠/٩٦٧- بدست آمده‌اند لذا قانون جداسازي آنها بر اساس فاصله نقطه مياني (٠/٠١٩٥)بشكل زير نوشته شد:

IF 0.371 B – 0.114 G > 0.0195 THEN f(i,j) = 1 (٧

IF 0.371 B – 0.114 G <0.0195 THEN f(i,j) = 0 (٨

چنين جداسازي در مورد كليه علفهاي هرز با استفاده از توابع تشخيص مربوطه صورت مي‌گيرد و هر تابع مسوول جداسازي علف هرز مخصوص به خود مي باشد. نتيجه خروجي از هر بلوك شكل٣ يك تصوير دودويي[1] است كه نمايانگر يك يا چند گونه علف هرز، بدون چغندر قند است.

با انجام OR منطقي[2] كليه اين تصاوير كه هر يك نماينده يك علف هرز است با يكديگر جمع شده و تصويري از اجزاي علفهاي هرز واقع در روشنايي بدون وجود چغندرقند حاصل خواهد شد. چنين نتيجه‌اي از الگوريتم سايه براي قسمتهايي از علفهاي هرز كه در سايه قرار گرفته‌اند، بدست مي‌آيد.



شكل٣- الگوريتم سايه (و يا روشنايي)

در نهايت نتايج حاصل از الگوريتم سايه و روشنايي به يكديگر افزوده مي شوند و تصوير كاملي از علفهاي هرز تشكيل مي دهند. بعنوان مثال اگر قسمتي از يك برگ در سايه برگهاي

1. Binary
2. Logical OR

ديگر قرار گرفته باشد اين قسمت در الگوريتم سايه پردازش شده و از تصاوير چغندر قند جدا مي‌شود و بقيه برگ كه در روشنايي قرار دارد در الگوريتم روشنايي از چغندر قند جدا مي شود. سپس اين دو قسمت با OR منطقي (شكل۲) به هم چسبيده و شكل يك برگ كامل علف هرز را مشخص مي‌كنند.

نتايج حاصل از طبقه‌بندي اول (طبقه‌بندي چغندر قند و علفهاي هرز) براي جداسازي گونه‌هاي مختلف گياهي قابل استفاده نيست(جداول ۲و ۳). اين نتيجه قابل پيش بيني بود چون آناليز تشخيصي براي طبقه‌بندي اين تعداد كلاس مرسوم نيست. اما اين آزمايش نشان داد كه در حالت روشنايي، خرفه نرخ جداسازي نادرست بيشتري نسبت به ساير علفهاي هرز دارد، بعبارت ديگر در دسته علفهاي هرز، خرفه نسبت به سايرين شباهت بيشتري به چغندر قند دارد و بهتر است از اين دسته بيرون گذاشته شود. چنين وضعيتي در حالت سايه در مورد پيچك وجود دارد.

در طبقه‌بندي بصورت دو دسته علف هرز و چغندر قند (جداول ٤ و ٥) نرخ طبقه‌بندي صحيح بالاتري بدست آمده كه نسبتاً قابل قبول مي‌نمايد ليكن با توجه به نتايج جداول ۲ و۳ مي‌دانيم كه خرفه در روشنايي و پيچك در سايه موجب كاهش اين نرخ طبقه بندي صحيح شده اند و در صورت كنار گذاشتن اين دو گونه از دسته علفهاي هرز اين نرخ بيشتر خواهد شد. چنانكه نتايج آزمايش سوم (جدول ٦) نيز موبد اين مطلب است.

بنابراين اگر در مورد الگوريتم سايه، كليه علفهاي هرز بدون خرفه را در يك گروه قرار دهيم، ضمن اينكه به نرخ جداسازي صحيح بالاتري دست خواهيم يافت مي توانيم با يك تابع تشخيص يكباره كليه علفهاي هرز را از چغندر جدا كنيم. خرفه نيز بطور جداگانه جهت تكميل جداسازي پردازش خواهد شد (شكل ٤) . جدول ۷ نتايج چنين دسته بندي را نشان مي دهد. نظير همين عمل در مورد پيچك صحرايي در سايه انجام مي شود(جدول ۸).

براساس نتايج فوق الگوريتم زير ارائه مي شود كه ضمن دارا بودن نرخ جداسازي تقريبا برابر با حالت قبل (شكل۳) از سرعت بالاتري برخوردار خواهد بود.

جدول۷ - طبقه بندي چغندر قند در برابر كليه علفهاي هرز بجز خرفه

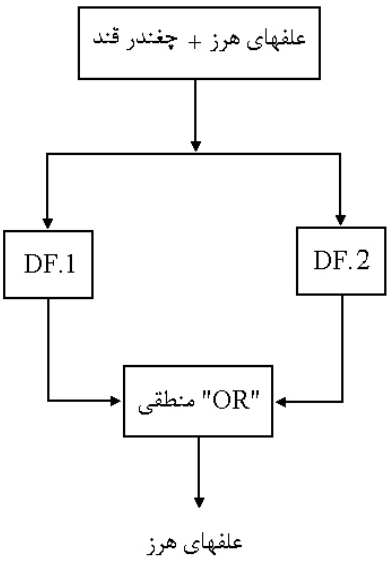
		عضويت پيش‌بيني شده در گروه		
	گياه	چغندر قند	علفهاي هرز	مجموع
درصد	چغندر قند	۸۷/۳	۲۱/۷	۱۰۰
	علفهاي هرز	۹/۷	۹۰/۳	۱۰۰

۸۸/۵ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شده‌اند.

جدول ۸ - طبقه بندي چغندر قند در برابر كليه علفهاي هرز بجز پيچك صحرايي

		عضويت پيش‌بيني شده در گروه		
	گياه	چغندر قند	علفهاي هرز	مجموع
درصد	چغندر قند	۸۷/۳	۲۱/۷	۱۰۰
	علفهاي هرز	۹/۷	۹۰/۳	۱۰۰

۸۱/۸ درصد از موارد گروههاي اوليه درست طبقه بندي شده‌اند.



شكل٤- شماي بهبود يافته الگوريتم سايه (يا روشنايي)

شكل ۵ نتيجه نهايي استفاده از اين الگوريتم درجداسازي علفهاي هرز از چغندر قند را نشان مي دهد، در تصوير سمت چپ، چغندر قند و چهار نوع علف هرز شامل خرفه، عروسك پشت پرده، تاج خروس و دژگال و در سمت راست، نتيجه جداسازي بر اساس الگوريتم ارائه شده مشاهده مي‌شود.

الف

ب

شكل ۵- جداسازي علفهاي هرزالف) شكل اوليه ب) نتيجه جداسازي

قسمتهايي از حاشيه برگ چغندر قند كه در تصوير نهايي باقي مانده‌اند نرخ جداسازي نادرست چغندر قند را تشكيل مي دهند و قسمتهايي از علفهاي هرز، خصوصاً خرفه (گوشه سمت چپ پايين) كه حذف شده‌اند بيانگر نرخ جداسازي نادرست علفهاي هرز مي باشند.

در تصوير نهايي، نقاط سفيد رنگ نقاطي هستند كه توسط سمپاش نقطه پاش مي بايست مورد سمپاشي قرار گيرند. بر اساس دقت و ابعاد پاشش نازلهاي سمپاش اين تصوير به اجزاي كوچكتر شكسته خواهد شد كه هر نقطه سفيد معرف عدد ۱ و به معني پاشش و هر نقطه سياه به معني عدد صفر و به معني قطع پاشش سم مي باشد.

نتيجه گيري و پيشنهادها

در شرايط واقعي مزرعه كه همپوشاني برگها وجود دارد، از خصوصيات شكل نمي توان براي تشخيص چغندرقند از علف هرز استفاده كرد لذا در اين تحقيق از روش جداسازي رنگي استفاده شد.

نتايج اين تحقيق جهت استفاده در سمپاشهاي نقطه پاش با علفكشهاي انتخابي مجهز به سيستم كامل كنترل، قابل قبول مي‌نمايد. بدين ترتيب كه در ماتريس تصوير نهايي(شكل ۵ب)، نقاط سفيد رنگ كه بعنوان علف هرز مشخص شده‌اند در واقع عدد ۱ مي باشند و نقاط سياه رنگ كه هر چيزي غير از علف هرز هستند معرف عدد صفر مي باشند. با ارسال اين اعداد به محركها نظير سولونوئيد والوها مي توان بر روي موقعيت مورد نظر (علف هرز) پاشش نمود. ميزان رضايت از درصد موفقيت الگوريتم ارائه شده بستگي به نحوه كار دستگاه علفكش دارد. در صورتي كه از روشهاي مكانيكي جهت از بين بردن علفهاي هرز استفاده شود نرخ جداسازي نادرست مي بايست عدد بسيار كوچكي باشد. دراين صورت بهتر است جهت غني سازي الگوريتم از خصوصيات بافت نيز در جداسازي استفاده شود.اين تحقيق جهت رفع مساله شدت نورهاي متفاوت بر جداسازي رنگي ، الگوريتمهاي سايه و روشنايي معرفي شده اند كه بطور جداگانه در هر يك از اين شرايط، جداسازي را انجام ميدهند.

REFERENCES

1. Burks, T. F., S. A. Shearer & F. A. Payne. 2000. Classification of weed species using color texture features and discriminant analysis. Transaction of the ASAE. 43(2): 441-448
2. Brown, R. B., G. W. Anderson, B. Proud & J. P. Steckler. 1990. Herbicide application control using GIS weed maps. ASAE Paper No. 90-1061. St. Joseph, Mich.: ASAE.
3. El-Faki, M.S. and N.Zhang & D.E.Peterson, 2000. Factors Affecting Color-Based Weed Detection. Transaction of the ASAE.43(4):1001-1009
4. Franz, E., M. R. Gebhardt & K. B. Unklesbay. 1991. Shape description of completely visible and partially occluded leaves for identifying plants in digital images. Trans. ASAE 34(2):673-681.
5. Gonzalez, R. C. & R. E. Woods. 1992. Digital Image Processing. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Co.

6. Guyer, D. E., G. E. Miles, L. D. Gaultney & M. M. Schreiber. 1993. Application of machine vision to shape analysis in leaf and plant identification. Trans. ASAE 36(1): 163-171.
7. Haggar, R. J., C. J. Stent & S. Isaac. 1983. A prototype hand-held patch sprayer for killing weeds activated by spectral differences in crop/weed canopies. Journal of Agricultural Engineering Research 28:349-358.
8. Lea, S. 1997. Logistic regression and discriminant analysis. http:// www. ex. ac.uk/ ~SEGLea / multvar 2/ disclogi. html
9. Mathworks. 2002. MATLAB Image Processing Toolbox. User's Guide version 3.00. Natick, MA: The Mathworks, Inc.
10. Shearer, S. A. & P. T. Jones. 1991. Selective application of post emergence herbicides using photoelectric. Transaction of the ASAE 34(4): 1661-1666.
11. Shropshire, G. J. & C. Glas. 1992. Spectral band selection for color machine vision used for plant identification. In Proc. SPIE 1836, Optics in Agriculture and Forestry. Eds. J. A. Deshazer and G. E. Meyer, 220-230. Bellingham, Wash.: SPIE.
12. SPSS. 1999. SPSS for Windows. Ver 9.05. Chicago, Ill.: SPSS, Inc.
13. Tian, L., D. C. Slaughter & R. F. Norris. 1997. Outdoor field machine vision identification of tomato seedlings for automated weed control. Trans. ASAE 40(6):1761-1768.
14. Woebbeck, D. M., G. E. Meyer, K. Von Bargen & D. A. Mortensen. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue and lighting conditions. Trans. ASAE 38(1): 259-269.
15. Woebbeck, D. M., G. E. Meyer, K. Von Bargen & D.A. Mortensen. 1995. Shape features for identifying young weeds using image analysis. Trans. ASAE 38(1): 271-281.
16. Yang, C.C., S.O. Prasher, J.A. Landry, H.S. Ramaswamy & A. Ditommaso. 2000. Application of neural networks in image recognition and classification of crop and weeds. Canadian Agricultural Engineering 42(3): (147-152).