تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۱۸/ شماره ۶۸/سال ۱۳۹۶/ص ۳۰-۱۷

# استفاده از تکنیک ماشین بینایی برای تشخیص علف هرز در مزرعه سیب‌زمینی

**امیرحسین افکاری سیاح[*]، حمیدرضا محمددوست چمن‌آباد، منصور راسخ و مهسا سادات رضوی[**]**

[*] نگارنده مسئول: گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل. ایران.
تلفن: ۳۵۵۱۶۳۱۰(۰۴۵)، پیام‌نگار: ahafkari@gmail.com

[**] به‌ترتیب: دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم؛ دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات؛ دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم؛ و دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۳۱

## چکیده

**فناوری ماشین بینایی می‌تواند به‌عنوان سامانه‌ای برای تشخیص موقعیت توده‌های علف هرز در سطح مزرعه در حین حرکت ماشین، به‌منظور کاهش مصرف سموم شیمیایی استفاده شود. در این تحقیق، عوامل موثر بر دقت و کارایی سامانهٔ پردازش تصویر در تشخیص علف هرز از گیاه اصلی بر مبنای ویژگی‌های رنگی گیاه و نیز اثر سه عامل شرایط نوری محیط، مرحلهٔ رشد گیاه اصلی و نوع علف هرز بر میزان خطا در تشخیص گیاه اصلی (سیب‌زمینی) از پنج نوع علف هرز شلمبیگ، پیچک، گندم، کنگر وحشی و آتریپلکس بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بین نورپردازی آفتابی و تصویربرداری در سایه تفاوت معنی‌داری در میزان دقت تشخیص وجود ندارد. اما تأثیر دو عامل نوع علف هرز و مرحلهٔ رشد به‌طور قابل توجهی بر عملکرد سیستم تشخیص معنی‌دار است. بهترین زمان برای تصویربرداری، اولین مرحلهٔ رشد گیاه سیب‌زمینی است (اوایل تیرماه) و در بین پنج نوع علف هرز نیز می‌توان شلمبیگ را با دقت قابل قبولی صرفا بر اساس مدل رنگی RGB از گیاه اصلی متمایز کرد. در این روش، تعیین موقعیت مراکز ثقل توده‌های علف هرز به‌صورت دکارتی نسبت به صفحه تصویر با دقت بیشینه ۹۵ در صد بسته به شرایط مختلف تیماری امکان‌پذیر است.**

## واژه‌های کلیدی

**تشخیص، علف هرز، ماشین بینایی، مدل رنگی**

## مقدمه

در حال حاضر تقاضای زیادی برای کاهش مصرف علف‌کش در مزارع کشاورزی از طرف مصرف‌کننده، نهادهای دولتی و دوستداران محیط زیست وجود دارد در حالی‌که برای کنترل علف‌های هرز در مرحلهٔ داشت، استفاده از سموم شیمیایی در اغلب مزارع امری همچنان متداول است. انتظار می‌رود با توسعهٔ فناوری‌های نوین بتوان کنترل مؤثرتری بر پخش انواع علف‌کش و سموم شیمیایی داشت. علف‌های هرز عموما به‌صورت متمرکز و جدا از هم در سطح مزرعه گسترش می‌یابند. بنابراین، اگر به‌صورت کنترل شده فقط نقاط آلوده سمپاشی شوند میزان مصرف علف‌کش به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. کاهش مصرف سموم دفع آفات یکی از اهداف اصلی کشاورزی پایدار و کشاورزی سبز است که امروزه بیش از پیش بر آن تأکید می‌شود. در حالی‌که عملا نمی‌توان استفاده از روش‌های شیمیایی را به‌طور کامل نادیده گرفت. یکی از راهکارها، کمینه کردن مصرف سموم شیمیایی است. دستیابی به این هدف زمانی امکان‌پذیر است که بتوان موقعیت دقیق آفت یا علف هرز را در سطح خاک تعیین کرد تا بر اساس اطلاعات مربوط به موقعیت‌ها، امکان هدایت دستگاه سمپاش با هدف کنترل بر میزان پاشش فراهم شود. بر همین اساس تلاش‌های

گسترده‌ای برای توسعهٔ ماشین‌های سمپاش نقطه‌ای (غیر پیوسته) صورت گرفته است (Slaughter *et al.*, 2008). در این‌باره، استفاده از روش‌های تصویربرداری و به‌دنبال آن به‌کارگیری روش‌های پردازش تصویر در اغلب موارد به‌دلیل هزینهٔ کم و نیز بی‌نیاز بودن به حسگرهای پیشرفته بیش از پیش مورد توجه هستند. استفاده از تکنیک ماشین بینایی برای نظارت و تشخیص به‌صورت غیرتماسی، به ویژه در محیط‌های ناهمگن کشاورزی، مورد توجه است. امروزه از این تکنیک در کنترل کیفیت، تعیین شرایط خاک، تعیین شرایط گیاه و علف هرز، کشاورزی دقیق و نیز در تشخیص بلادرنگ استفاده می‌شود (Chen *et al.*, 2002).

باید گفت که دسته‌بندی و مقایسهٔ تحقیقات در زمینهٔ تشخیص خودکار علف هرز بسیار مشکل است و دلیل آن وجود گونه‌های متعدد علف هرز و گیاه اصلی و نیز روش‌های مختلف جمع‌آوری داده از سطح مزرعه است (Thorp & Tian, 2004). با این همه، می‌توان روش‌های پردازش تصویر را که در این مقوله به‌کار می‌روند به دو دسته تقسیم کرد (Burgos-Artizzu *et al.*, 2011): جداسازی گیاه از پس زمینه (خاک یا بقایای گیاهی) و تشخیص علف هرز از گیاه اصلی. در فرآیند جداسازی گیاه از پس‌زمینه (خاک)، معمولا فرض می‌شود که تمام پیکسل‌های متعلق به گیاه را می‌توان از طریق فیلترکردن تصویر در محدوده طیف IR یا از طریق ترکیبات مختلف مدل رنگی RGB استخراج کرد (Woebbecke *et al.*, 1995). روش‌های دیگر عمدتاً بر استفاده از مدل رنگی HSI همراه با روش‌های دسته‌بندی (Lee *et al.*, 1999) و نیز استفاده از مؤلفه‌های بافت (Bosch *et al.*, 2007) دلالت دارد. در عین حال، روش دیگر، استفادهٔ همزمان از یک دوربین معمولی و یک دوربین فروسرخ است (Gerhard & Christensen, 2003).

پس از جداسازی گیاه از پس‌زمینه (خاک)، تشخیص علف هرز از گیاه اصلی با روش‌های ماشین بینایی و مجموعه‌ای از اطلاعات رنگ، شکل، موقعیت، بافت، اندازه یا طیف منعکس شده امکان‌پذیر خواهد بود. استفاده از یکی یا ترکیبی از این مؤلفه‌ها بستگی دارد به نحوهٔ تصویربرداری، نوع گیاه اصلی و گونهٔ علف هرز. در برخی موارد صرفا از تفاوت در طیف انعکاسی مانند نور مرئی و طیف فروسرخ استفاده شده است (Gerhard & Christensen, 2003) و گاهی، مثلا در کشت کاهو، گیاه و علف هرز را به وضوح می‌توان از تفاوت در اندازه و موقعیت از یکدیگر تشخیص داد (Blasco *et al.*, 2002). به‌طور مشابه در کشت گیاهی مانند گل‌کلم به واسطه تفاوت در موقعیت گیاه و علف هرز و برخی ویژگی‌های شکلی، علف هرز از گیاه اصلی قابل تشخیص هست. در اغلب موارد، تشخیص علف هرز از گیاه اصلی، بخصوص در مراحل اولیهٔ رشد که تشابه بسیار زیادی بین علف هرز و گیاه اصلی از لحاظ بافت سطحی، رنگ و شکل وجود دارد، کار تشخیص را مشکل می‌کند. استفاده از روش‌های تصویربرداری در ارتفاع کم می‌تواند اطلاعات مفیدی در بارهٔ میزان و نوع علف هرز در اختیار ما قراردهد، اما باید در هنگام تحلیل تصویرها دقت لازم بشود به‌خصوص زمانی که گیاه اصلی و علف هرز دچار هم‌پوشانی می‌شوند (Storkey *et al.*, 2000).

پیرس و همکاران، (Pérez *et al.*, 2000) روش‌هایی برای تصویربرداری نزدیک از سطح گیاه و پردازش تصویرها گرفته شده به منظور شناسایی علف‌های هرز پهن‌برگ در غلات در شرایط واقعی مزرعه ارائه کردند. روش‌های پیشنهادی آنها از اطلاعات رنگی برای تمایز بین گیاه و پس‌زمینهٔ تصویر استفاده می‌کرد، درحالی که از روش‌های پردازش شکل برای جداسازی گیاه اصلی از علف هرز

استفاده کردند، برای اعتبارسنجی نتایج، از جداسازی توسط انسان استفاده کردند. نتایج بررسی‌های این محققان نشان می‌دهد هنگامی‌که سیستم طراحی شده در سطح مزرعه حرکت می‌کند، با پردازش تصویر می‌تواند سطح نسبی برگ علف هرز (نسبت سطح برگ علف هرز به سطح برگ کل علف هرز و محصول) را تخمین زند و از این داده‌ها برای جداسازی علف هرز از گیاه اصلی استفاده کند.

همینگ و راس (Hemming & Rath, 2001)، از روش‌های تجزیه و تحلیل تصویر دیجیتال برای ایجاد یک سیستم شناسایی علف هرز از محصول استفاده کردند. دو محصول (کلم و هویج) و تعدادی علف هرز که به‌صورت طبیعی بین محصولات وجود دارد برای ایجاد الگوریتم طبقه‌بندی به‌کار گرفته شدند. آزمایش‌ها در شرایط مزرعه‌ای اجرا شدند. تصویرها با استفاده از دستگاهی مجهز به شرایط نورپردازی کنترل‌شده تهیه شدند. تجزیه و تحلیل‌ها به‌صورت آفلاین دنبال شد. هشت خصوصیت ساختاری و سه خصوصیت رنگی برای هر نمونه استخراج شد تا فضایی از خصوصیات مشترک آنها ساخته شود. بر اساس مجموعه داده های هر دسته، تجزیه و تحلیل آماری صورت گرفت تا ویژگی‌هایی که برای تفاوت قائل شدن بین نمونه‌ها و علف هرز مناسب هستند تعیین شوند. تابع عضویتی براساس روش منطق فازی ایجاد و برای طبقه‌بندی استفاده شد. آزمایش‌ها نشان دادند که خصوصیات رنگی می‌توانند به افزایش دقت در طبقه‌بندی کمک کنند. براساس مرحلهٔ رشد، تراکم علف هرز و روش محاسبه، بین ۵۱ تا ۹۵ درصد گیاهان به درستی طبقه‌بندی شدند.

در ایران، جعفری و همکاران (Jafari *et al.*, 2006) از ویژگی‌های رنگی برای تشخیص علف هرز از گیاه اصلی چغندر استفاده کردند. مبنای کار این محققان استفاده از مؤلفه‌های رنگی علف هرز و گیاه اصلی بدون درنظر گرفتن ویژگی‌های هندسی گیاه بود. با این همه طبق گزارش ارائه شده، تشخیص صحیح از ۴۱/۷ تا ۸۱/۵ درصد، بسته به نوع علف هرز، متغیر بوده‌است. در تحقیقی دیگر، وصالی و کماری‌زاده (Vesali & Komarizadeh, 2010) نیز به بررسی امکان تشخیص علف‌های هرز سیب زمینی، صرفا بر اساس مؤلفه‌های رنگی، پرداختند. نتایج کار این پژوهشگران نشان می‌دهد که میزان طبقه‌بندی از ۵۴/۷۳ تا ۸۷ درصد متغیر است. با این همه، اثر دورهٔ رشد و نیز استفاده از سایه‌بان در هیچ یک از تحقیقات گفته شده در بالا مدنظر قرار نگرفته است. آنچه در این پژوهش به‌عنوان موضوع اصلی مدنظر خواهد بود، نحوهٔ تشخیص گیاه از پس‌زمینه (خاک) و نیز امکان تشخیص علف هرز از گیاه اصلی و تعیین مراکز تجمع آنها در اطراف گیاه اصلی تحت تاثیر سه عامل شرایط نوری محیط، دورهٔ رشد گیاه اصلی و نوع علف هرز است.

## مواد و روش‌ها

در مزرعهٔ تحقیقاتی بابلان شهرستان اردبیل، سیب زمینی به‌صورت کرت‌های ردیفی با فاصلهٔ ردیف ۴۵ سانتی‌متر کشت شد؛ در سه مرحلهٔ زمانی: هفتهٔ اول تیرماه (قبل از گل‌دهی)، هفتهٔ اول مردادماه و هفتهٔ اول شهریور (بعد از گل‌دهی) تصویربرداری انجام شد. علف‌های هرز موجود در مزرعه که از علف‌های هرز متداول منطقه نیز هستند عبارت‌اند از شلمبیگ، کنگر وحشی، آتریپلکس، پیچک و گندم (شکل ۱).

**شکل ۱- نمونه‌های تصویربرداری شده از علف‌های هرز در مزرعه مورد مطالعه**

برای تصویربرداری، از یک دوربین NIKON-D40 با بیشینه رزولوشن 6.24 مگاپیکسل، مجهز به حسگر CCD (15.6×23.7 میلی‌متر) و فاصلهٔ کانونی ۵۵-۱۸ میلی‌متر استفاده شد که در حالت دستی تنظیم شده بود. در تمام موارد، تصویرها با دوربین سوار شده بر سه‌پایه عمودی در فاصله‌ای یکسان (۱۵۰ سانتی‌متر) نسبت به سطح خاک، ثبت شدند. تمامی تصویرها از طریق Memory stick به یک لپ‌تاپ (Dell Inspiron 5520- Core.i5-2.5GHz- 64.0 bit-Ram: 4.00GB) منتقل و در فرمت غیرفشرده TIFF ذخیره و با کمک نرم‌افزار MATLAB پردازش و تحلیل شدند (Anon, 2008). با توجه به اهمیت نورپردازی و تأثیر چشمگیر آن بر تصویرهای گرفته شده، کلیهٔ تصویرها طی روزهای آفتابی در دو وضعیت با سایه‌بان و بدون سایه‌بان و در ساعتی معین از روز (۲ تا ۵ عصر) گرفته شدند که زاویهٔ تابش خورشید نسبت به زمین یکسان است. با ۱۰ تکرار، در مجموع ۳۰۰ تصویر از سطح مزرعه با ایجاد شرایط مختلف تیماری تهیه شد.

متناسب با شرایط گیاه اصلی، علف هرز و خاک از لحاظ مؤلفه‌های رنگی، موقعیت گیاه و علف هرز، شکل و ابعاد المان‌های داخل تصویر، برنامه‌هایی به‌صورت MFile نوشته و اجرا شد. با توجه به تحقیقات گذشته، سه دسته ویژگی رنگ، شکل و بافت از تصویر قابل استخراج است، اما در این تحقیق صرفا از ویژگی‌های رنگی بر اساس مدل RGB برای تفکیک گیاه از پس‌زمینه (خاک) و علف هرز از گیاه اصلی استفاده شد زیرا متفاوت از دیگر کاربردهای پردازش تصویر، مانند تشخیص دانه از کاه در تودهٔ دانه (Zayas *et al.*, 1989) یا تشخیص لک و زدگی روی میوه (Chen *et al.*, 2002)، برای تشخیص علف هرز از گیاه اصلی در کشت‌های کرت‌بندی شده که علف هرز در نقطه‌ای در اطراف گیاه اصلی (و نه فقط بین ردیف کاشت) پراکنده است، عملا امکان شناسایی اشیایی به‌صورت یکپارچه وجود ندارد. وجود ساقه و برگ به‌طور انبوه از گونه‌های مختلف در اطراف گیاه اصلی و بعضا همپوشانی آنها با یکدیگر، تجمع وسیعی از اشیای متعدد را نشان می‌دهد که استفاده از شاخص‌های اندازه و شکل را مشکل می‌سازد. به‌کارگیری این مؤلفه‌ها زمانی مؤثر است که تشخیص صرفا در داخل خطوط کشت یا بین دو گیاه اصلی باشد.

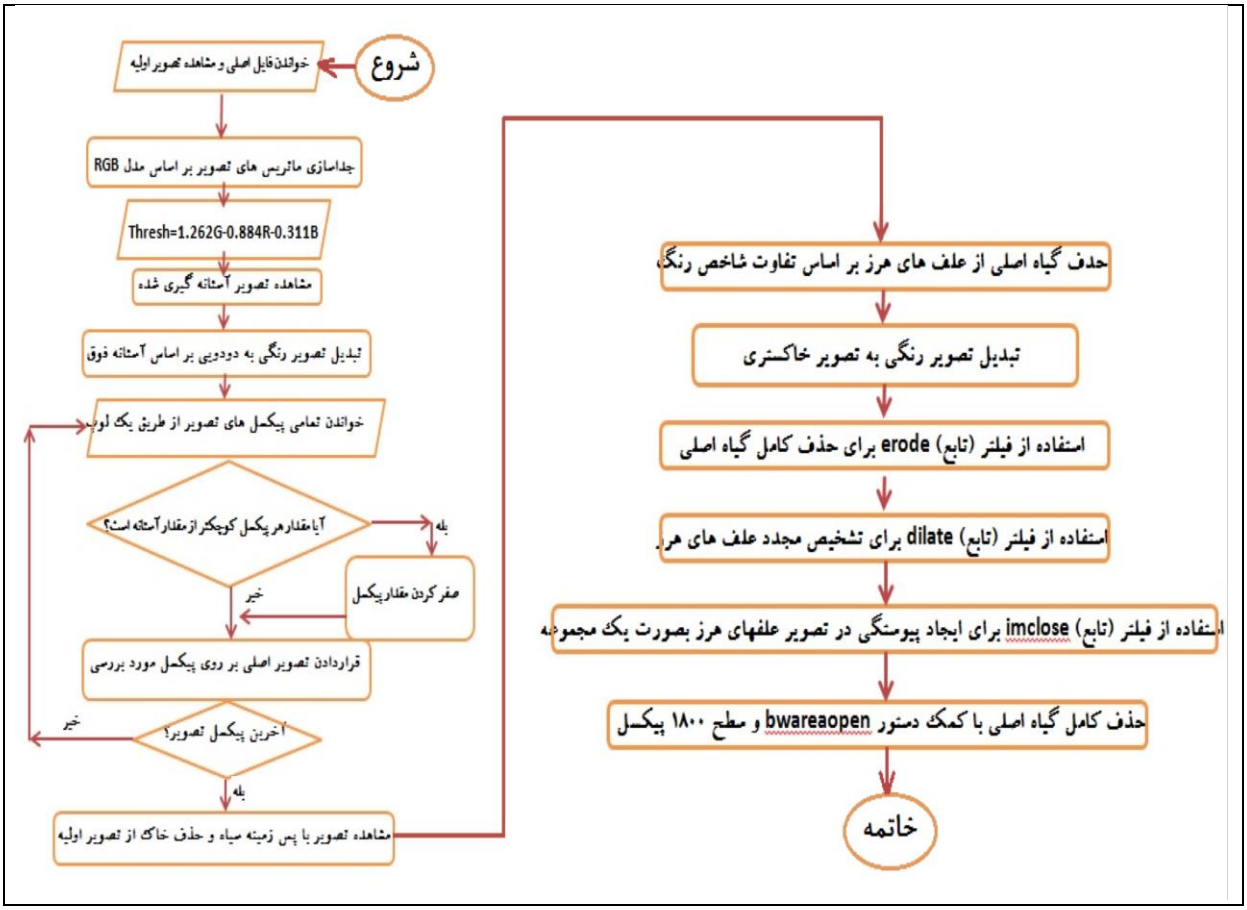
### جداسازی پس‌زمینه از تصویر اصلی

در مقایسه با تفکیک علف هرز از گیاه اصلی، تفکیک گیاه از پس زمینه (خاک) با سهولت و دقت بیشتری قابل اجراست و دلیل آن اختلاف قابل توجه خاک نسبت به گیاه در مؤلفه‌های رنگی قرمز و سبز است.

بـر اسـاس برخـی منـابع (Tellaeche *et al.*, 2008)، مـی‌تـوان از آسـتانه Thresh = 2G –R –B بـرای جداسـازی خـاک از گیـاه اسـتفاده کـرد. بـا ایـن همـه، در این پژوهش با سعی و خطا مقـادیر مختلفـی از ضـرایب R، G و B آزمـوده شـدند و مشـخص شـد کـه رابطـهٔ ۱ می‌تواند با دقت مناسبی تفکیک و جداسازی خاک از گیـاه را ممکن سازد (شکل۳).

$$311B/884R – 0/262G – 0/Thresh = 1 \quad (۱)$$

بـــرای ایـــن منظـــور از الگـــوریتم ارائـــه شـــده در شکل ۲ استفاده شد.



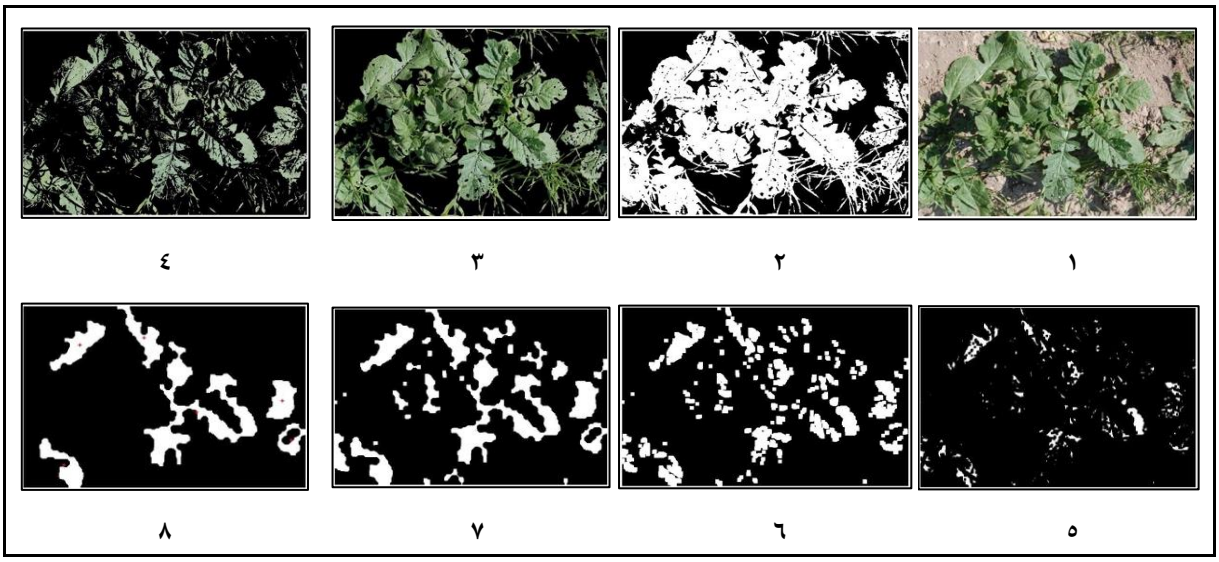

**شکل۲- الگوریتم جداسازی پس زمینه خاک از تصویر اصلی و سپس جداسازی گیاه اصلی از آن**

### جداسازی علف هرز از گیاه اصلی

پس از جداسازی خاک یا پس‌زمینه از تصویر اصـلی و تبدیل آن به پیکسل‌هـایی بـا مؤلفـهٔ صـفر (رنـگ سـیاه)، امکـان جداسـازی علـف هـرز از گیـاه اصـلی بـر مبنـای ویژگـی‌هـای رنگـی بـه‌دسـت آمـد. در مرحلـهٔ اول لازم بود تا میـزان هریـک از مؤلفـه‌هـای R، G و B بـه‌صـورت شـاخص میـانگین آمـاری در هـر یـک از شـرایط تیمـاری (نوع علف هرز × مرحلهٔ رشد × شرایط نورپردازی) تعیـین شود. بـرای ایـن منظـور بـه‌طـور تصـادفی نمونـه‌هـایی از تصویرهای بخـش‌هـای مختلـف گیـاه اصـلی و علـف هـرز جداسازی و مؤلفه‌های R، G و B به‌صورت مقادیر میانگین در آن مشخص شدند. بـا بررسـی دقیـق مقـادیر اسـتخراج

شده از مؤلفه‌های رنگی علف‌های هرز، از سه آستانه ۱۳۷، ۱۶۵ و ۱۱۶ به‌ترتیب برای مؤلفه‌های R، G و B به‌عنوان اولین عملیات فیلترینگ استفاده شد ( Gonzales & Woods, 1992). با اعمال آستانه فوق، بخشی قابل توجه از گیاه اصلی حذف گردید اما همچنان بخشی از آن در تصویر باقی ماند، ضمن اینکه به‌دلیل اشتراک علف هرز و گیاه اصلی در برخی مؤلفه‌های رنگی، بخش کمی از علف هرز نیز حذف شد. طبیعتاً، میزان اشتراک مؤلفه‌های رنگی بین علف هرز و گیاه اصلی در انواع مختلف علف هرز متفاوت بود.

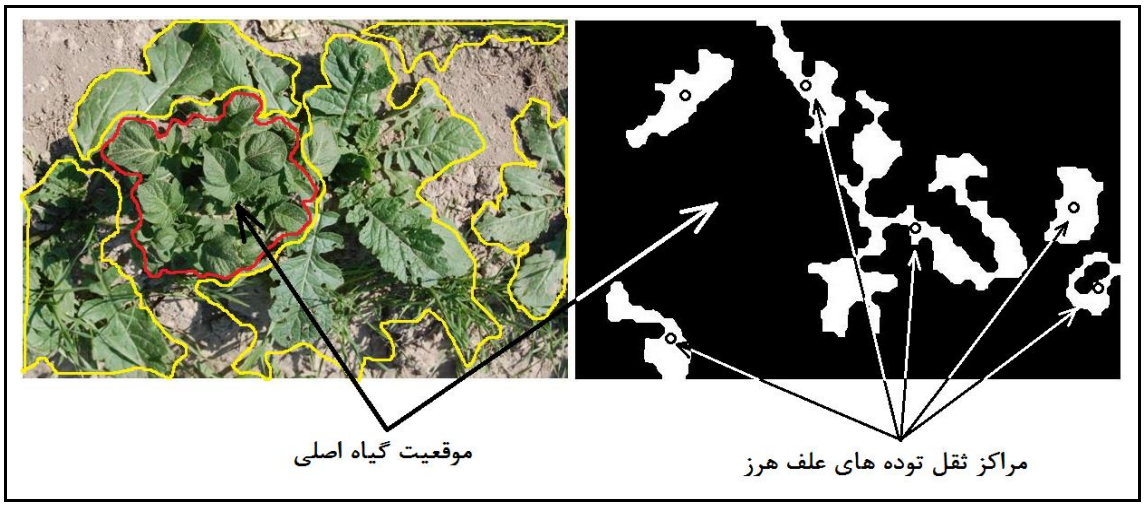
در مرحلهٔ بعد با استفاده از تابع *imerode* سعی در حذف نمونه‌های گیاه اصلی موجود در تصویر شد. برای تعیین موقعیت هر یک از توده‌های علف هرز لازم بود تا مجددا با کمک تابع *imdilate* مجموعه توده‌های مجزا از همِ علف هرز تجمیع شوند و امکان تشخیص مرکز ثقل آنها (به‌عنوان مراکز توده علف هرز) فراهم آید که بدین‌منظور از تابع *imclose* استفاده شد. همان‌گونه که از الگوریتم ارائه شده در شکل ۲ مشخص است، گیاه اصلی با کمک دستور *bwareaopen* و با حذف توده‌هایی با کمتر از ۱۸۰۰ پیکسل به‌طور کامل حذف شد. شکل ۳ نحوهٔ تشخیص موقعیت توده‌های علف هرز (شلمبیگ و گندم، در اولین مرحلهٔ رشد و بدون سایه بان) را در اطراف گیاه اصلی در هر مرحله نشان می‌دهد. در این شکل تصویرهای ۱، ۲ و ۳ مربوط به جداسازی پس‌زمینه (خاک) از تصویر اصلی است. تصویر ۴ با اعمال فیلتر رنگی و آستانه‌گیری به‌دست آمده است. تصویرهای ۵ و ۶ به‌ترتیب نتیجهٔ اِعمال دو تابع *imerode* و *imdilate* و تصویر ۷ از چسباندن تکه‌های متفرق تودهٔ گیاه حاصل شده است (Anon, 2008). تصویر ۸ موقعیت مراکز ثقل توده‌های علف هرز را نشان می‌دهد در حالی‌که گیاه اصلی به طور کامل از تصویر اولیه حذف شده است.




**شکل ۳- نحوهٔ تشخیص موقعیت علف هرز در اطراف گیاه اصلی**

برای تعیین دقیق موقعیت توده‌های علف هرز از تابع *centroid* (از مجموعه توابع *regionprops* ) و برای محاسبهٔ سطح پوشش گیاه اصلی در تصویر نهایی از نرم‌افزار ImageJ استفاده شد. ImageJ نرم‌افزار قدرتمند

تحلیل تصویر است که کاربردهای مختلف به‌ویژه در علوم بیولوژیک دارد. این برنامه قابل اجرا روی هر رایانه با جاوا ورژن ۱,۵ و بالاتر است. از قابلیت‌های این نرم‌افزار می‌توان به نمایش، ویرایش، تحلیل، پردازش، ذخیره‌سازی و ایجاد تصویرهای ۸، ۱۶ و ۳۲ بیتی اشاره کرد ضمن اینکه توانایی محاسبهٔ آماری مساحت و پیکسل‌های بخش‌هایی را دارد که کاربر از تصویر انتخاب می‌کند و همچنین از توابع استاندارد برای پردازش تصویر مانند تغییر کنتراست، برجسته‌سازی، هموارسازی، تشخیص زوایا و فیلتر میانه تصویرها پشتیبانی می‌کند. برای اینکه بتوان به توانایی نسبی این روش در تشخیص توده‌هایی از علف هرز پی برد که ممکن است به‌طور بسیار متراکم در اطراف گیاه اصلی قرار گرفته باشند، در شکل ۴ نتیجهٔ حاصل از تشخیص علف هرز و حذف گیاه اصلی برای مقایسه نشان داده شده است. نتیجهٔ تشخیص سیستم ماشین بینایی با تعیین مراکز ثقل توده‌های علف هرز با حذف گیاه اصلی در تصویر سمت راست دیده می‌شود.




**شکل ٤- نمونه‌ای از نحوهٔ تشخیص موقعیت توده‌های علف هرز (شلمبیگ و گندم) و حذف گیاه اصلی در اولین مرحلهٔ رشد و بدون سایه‌بان**

در واقع، مراکز ثقلی که موقعیت دکارتی آنها نسبت به گوشه‌ای از کادر تصویر مشخص شده است محل‌هایی هستند که عملا باید سمپاشی شوند، درحالی‌که از تعیین موقعیت گیاه اصلی به‌عنوان هدف سم‌پاشی اجتناب می‌گردد. بنابراین، زمانی سیستم دچار خطا می شود که بخشی از گیاه اصلی حذف نشده باشد و علف هرز تشخیص داده شود. این شرایط سبب خواهد شد تا گیاه اصلی سمپاشی شود. به‌همین دلیل در این تحقیق شاخص عملکرد سیستم درصدی از سطح گیاه اصلی است که به دلایل مختلف حذف نشده است و در بخش نتایج با عنوان "درصد پوشش گیاه اصلی" مشخص شده است. با نرم‌افزار Excel، داده‌ها و اطلاعات دسته‌بندی و نتایج به‌صورت گراف و نمودار ارائه شدند. این تحقیق بر مبنای یک آزمایش فاکتوریل در پایهٔ کاملا تصادفی اجرا شد. شرایط تیماری با ثبت ۳۰۰ تصویر از سطح مزرعه به‌صورت زیر است:

(تکرار)۱۰× (نوع علف هرز ) ۵ × (نوع نورپردازی = (تصویر رنگی) ۳۰۰
(مستقیم/پخش شده))۲ × (دوره رشد گیاه) ۳

تحلیل نتایج در ابتدا به‌طور عمده مشتمل بود بر تجزیهٔ واریانس با کمک نرم‌افزار SPSS برای مقایسهٔ روش‌های مختلف پردازش تصویر و نیز پارامترهای مختلف

مستخرج از تصویر در تمایز قائل شدن بین علف هرز و گیاه اصلی.

## نتایج و بحث

مشاهدات نشان می‌دهد که به‌دلیل تراکم علف هرز در اطراف گیاه اصلی تقریبا شناسایی موقعیت مراکز علف هرز در اطراف گیاه اصلی با چشم عملا غیرکاربردی است یا نیازمند دقت و نیروی انسانی زیادی خواهد بود. راندمان کار نیز حتی در این شرایط به‌دلیل سختی کار مطمئنا در طول روز یکسان نیست و با گذشت زمان کاهش می‌یابد. جدول ۱ میانگین درصد پوشش گیاه اصلی نسبت به سطح تصویربرداری شده (در هر کادر) را همراه با مؤلفه‌های آماری آن در شرایط مختلف تیماری نشان می‌دهد.

**جدول ۱- میانگین و مؤلفه‌های آماری درصد پوشش گیاه اصلی در تصویر نهایی**

| | | علف هرز گندم | | علف هرز پیچک | | علف هرز شلمبیگ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | سایه | آفتاب | سایه | آفتاب | سایه | آفتاب |
| مرحلهٔ اول رشد | Mean | ۴۲/۴ | ۸/۸۹ | ۱۳/۸۳ | ۱۴/۴۱ | nd | nd |
| | CV | ۱۲۵/۰۲ | ۷۲/۳۹ | ۹۵/۶۷ | ۶۴/۴۱ | nd | nd |
| | Min | ۰/۵۴ | ۱/۲۲ | ۱/۸۱ | ۲/۹۸ | nd | nd |
| | Max | ۱۷/۳۳ | ۱۹/۲۳ | ۴۱/۵۷ | ۳۲/۱ | nd | nd |
| مرحلهٔ دوم رشد | Mean | ۳۳/۰۹ | ۳۱/۴۶ | ۴۵/۶۸ | ۴۸/۲۳ | ۷۲/۴۸ | ۷۴/۸۸ |
| | CV | ۶۰/۹۱ | ۶۶/۳۵ | ۳۸/۸۹ | ۲۹/۴۳ | ۲۸/۱۱ | ۳۳/۴۵ |
| | Min | ۶/۱۸ | ۳/۷۲ | ۱۸/۴ | ۲۵/۹۲ | ۳۵/۸۶ | ۲۰/۲۹ |
| | Max | ۴۵/۵۱ | ۶/۸۳ | ۶۸/۳۱ | ۶۵/۴۶ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| مرحلهٔ سوم رشد | Mean | ۱۳/۴۳ | ۱۰/۲۴ | nd | nd | nd | nd |
| | CV | ۱۴۶/۲۴ | ۱۰۱/۰۶ | nd | nd | nd | nd |
| | Min | /.۴۹ | ۰/۲۲۲ | nd | nd | nd | nd |
| | Max | ۵۳/۳۹ | ۳۰/۷۲ | nd | nd | nd | nd |

nd: عدم تفکیک‌پذیری

با توجه به اهداف تحقیق، نزدیک بودن مقادیر ذکر شده در جدول ۱ به صفر نشان‌دهندهٔ دقت بیشتر سیستم پردازش تصویر است و برعکس هرچه میانگین‌ها که به درصد بیان می‌شوند به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشند ناتوانی سیستم را در حذف گیاه اصلی می‌رساند. در تصویرهای حاوی دو علف هرز کنگر وحشی و آتریپلکس، دقت جداسازی به‌دلیل تشابه رنگی آنها با گیاه سیب‌زمینی کم بود و از این‌رو نتایج به‌دست آمده از آنها در جدول اعمال نشد. همچنین در بین سه علف هرز شلمبیگ، پیچک و گندم، علف هرز گندم در هر سه دورهٔ رشد به‌طور قابل توجهی متفاوت از سیب‌زمینی بود و بیشترین دقت در جداسازی را می‌توان در دورهٔ اول رشد با خطایی کمتر از ۱ تا ۱۷ درصد با میانگین ۴ درصد مشاهده کرد. در عین حال، در تمام تیمارها سطح پراکندگی بالاست، که دلیل آن را می‌توان با ماهیت بسیار متغیر شرایط نورپردازی و پراکندگی طبیعی در رنگ ظاهری گیاه اصلی و علف هرز مرتبط دانست.

### تأثیر مرحلهٔ رشد گیاه اصلی

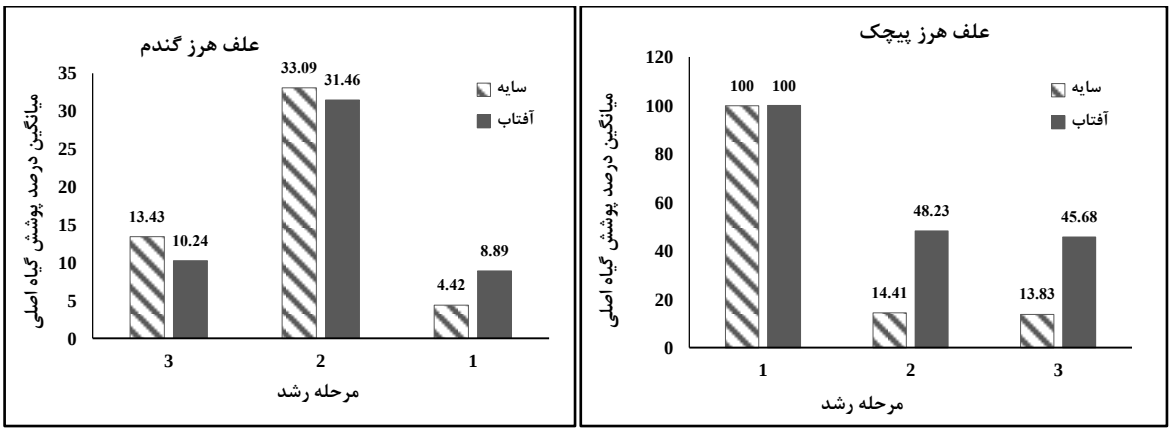
از شکل ۵ و جدول ۲ مشاهده می‌شود که به‌طور میانگین در سه علف هرز گندم، شلمبیگ و پیچک، مرحلهٔ رشد تأثیر کاملا معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) بر درصد تشخیص گیاه اصلی دارد به‌طوری که

در مراحل اول و آخر دورهٔ رشد گیاه اصلی کمترین میزان خطای تشخیص (پوشش حدود ۱۰ درصد گیاه اصلی) مشاهده می‌شود. دو دلیل برای این تفاوت معنی‌دار متصور است. دلیل اول تشابه رنگی در دورهٔ دوم رشد بین رنگ دانه‌های گیاه اصلی و علف هرز است که البته در دورهٔ اول رشد هم تا حدی وجود دارد. اما به نظر می‌رسد که دلیل عمده هم‌پوشانی بسیار بالای گیاه اصلی و علف هرز در دورهٔ دوم رشد است که منجر به درهم رفتن و تماس دو گیاه و ایجاد سایه روی یکدیگر شده است. در مقایسهٔ دو مرحله اول و سوم رشد، با اینکه به‌طور میانگین در تمام انواع علف هرز و دو روش نورپردازی اختلاف معنی‌دار مشاهده نمی شود عملا به‌صورت موردی در تیمارهای مختلف مشخص می‌شود که در دورهٔ اول رشد دقت تشخیص گیاه سیب‌زمینی از علف هرز بیشتر است.

**شکل ۵- میانگین درصد پوشش گیاه اصلی در سه مرحله رشد**

به همین ترتیب می‌توان نحوهٔ تأثیر مراحل رشد گیاه اصلی و شرایط نور محیطی را بر میزان خطای تشخیص سیستم پردازش تصویر در شکل ۶ مشاهده کرد. با توجه به این شکل، اولین مرحلهٔ رشد عملا بهترین زمان برای تشخیص علف هرز است.

نتایج به‌دست آمده از تجزیهٔ واریانس به‌منظور مقایسهٔ میانگین عوامل اصلی نشان می‌دهد که اثر اصلی و اثر متقابل دو عامل مرحلهٔ رشد و نوع علف هرز به‌طور معنی‌داری بر میزان تشخیص گیاه اصلی مؤثرند (جدول ۲).




**شکل ٦- درصد پوشش گیاه اصلی در سه مرحله رشد در جداسازی از علف هرز گندم و علف هرز پیچک**

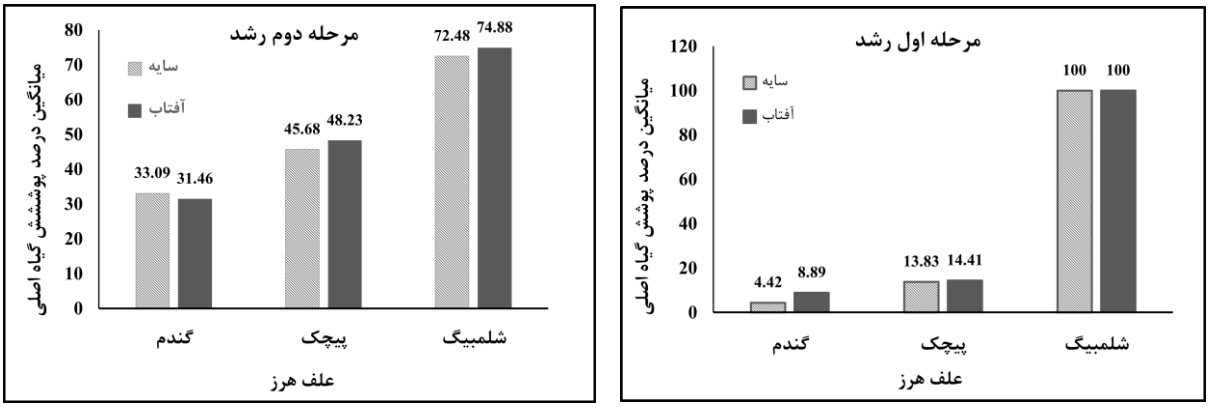
**جدول ۲- آنالیز واریانس در مقایسهٔ میانگین دقت تشخیص تحت تاثیر سه عامل مرحلهٔ رشد، نوع علف هرز و شرایط نوردهی**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | مجموع مربعات |
|---|---|---|---|
| نورپردازی | ۱ | ۱۳۶/۶۶ | ۱۳۶/۶۶۳ |
| نوع علف هرز | ۲ | ۵۶۳۲۱/۰۴۵** | ۱۱۲۶۴۲/۰۸۹ |
| نورپردازی × علف هرز | ۲ | ۱۲/۴۰۲ | ۲۴/۸۰۴ |
| مرحله رشد | ۲ | ۸۷۷۰/۸۷۱** | ۱۷۵۴۱/۷۴۳ |
| نورپردازی × مرحله رشد | ۲ | ۱۱۹/۰۵۶ | ۲۳۸/۱۱۱ |
| علف هرز × مرحله رشد | ۴ | ۸۸۹۲/۸۳۸** | ۳۵۵۷۱/۳۵۱ |
| اثر متقابل سه گانه | ۴ | ۲۵/۰۱۴ | ۱۰۰/۰۵۴ |
| خطا | ۱۰۸ | ۱۸۱/۱۰۴ | ۱۹۵۵۹/۲۱۲ |
| **مجموع** | ۱۲۵ | | ۱۸۵۸۱۴/۰۲۸ |

** در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد، اختلاف معنی‌دار ندارند.

### تأثیر نوع علف هرز

بر اساس شکل ۷، نحوهٔ تاثیر سه علف هرز شلمبیگ، پیچک و گندم در مراحل مختلف رشد بر میزان تشخیص سیستم پردازش تصویر کاملا بارز است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تشخیص دو علف هرز پیچک و گندم با دقت قابل قبولی براساس مؤلفه‌های رنگی در اولین مرحلهٔ رشد گیاه سیب‌زمینی (اوایل تیرماه) امکان‌پذیر است اما برای سه علف هرز شلمبیگ، کنگر وحشی و آتریپلکس نتایج موفقی به دست نیامده است. به نظر می رسد که بدون تلفیق اطلاعات رنگی با مؤلفه‌های شکلی و احتمالا بافتی، نمی‌توان موقعیت آنها را، حداقل در شرایط تیماری مورد نظر، به‌طور موثر تعیین کرد.

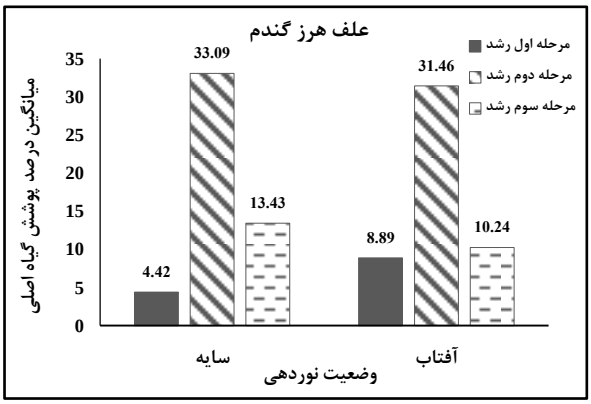


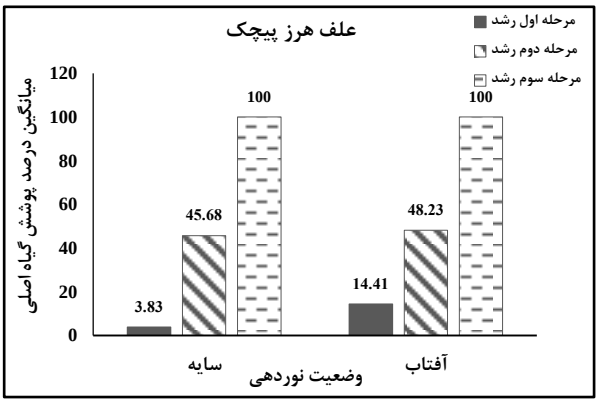

**شکل ۷- درصد پوشش گیاه اصلی در مجاورت انواع سه‌گانه علف هرز در مراحل اول و دوم رشد گیاه سیب‌زمینی**

### تأثیر شرایط نورپردازی

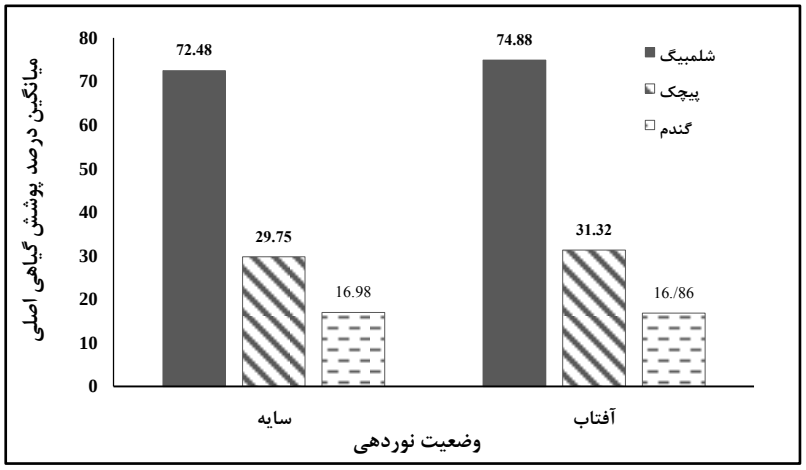
شکل ۸ نحوهٔ تاثیر شرایط نورپردازی را بر درصد تشخیص گیاه اصلی در دو نوع علف هرز پیچک و گندم نشان می‌دهد. برعکس آنچه انتظار می‌رفت، تفاوت در دو وضعیت مختلف نورپردازی، تاثیر معنی‌داری بر درصد تشخیص سامانهٔ ماشین بینایی برای تعیین موقعیت توده‌های علف هرز در اطراف گیاه اصلی ندارد. شکل ۹ نیز بر اساس میانگین تمامی داده‌ها در هر سه نوع علف هرز رسم شده است که از مشاهدهٔ این نمودار نیز مشخص می‌شود که اختلاف معنی‌داری

از تأثیر این عامل در میزان دقت سیستم به‌وجود نمی‌آید. در واقع، در هر دو حالت تابش مستقیم آفتاب و قرارگیری در وضعیت سایه، شدت نور به حدی است که مؤلفه‌های رنگی سطح برگ‌ها را به‌طور تقریبا یکنواخت و یکسان در تصویرها دیجیتال مشخص می‌سازند.




**شکل ۸- درصد پوشش گیاه اصلی در دو وضعیت نوردهی و مراحل مختلف رشد در مجاورت علف هرز گندم و پیچک**




**شکل ۹- درصد پوشش گیاه اصلی در مراحل مختلف رشد و در دو وضعیت نوردهی**

## نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که می‌توان از سامانهٔ ماشین بینایی و تکنیک پردازش تصویر برای تشخیص برخی از علف‌های هرز و تعیین موقعیت توده‌های آنها، بر اساس مختصات دکارتی، از صفحهٔ تصویر استفاده کرد. اما میزان دقت در تشخیص به‌طور معنی‌داری به دو عامل نوع علف هرز و مرحلهٔ رسیدگی بستگی دارد و از این لحاظ تفاوت معنی‌داری بین دو وضعیت نورپردازی، زیر نور مستقیم خورشید و زیر سایه‌بان، وجود ندارد. اگر از مؤلفه‌های رنگی صرفا برای تشخیص گیاه اصلی از علف هرز استفاده شود، نوع علف هرز اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار بر دقت سامانه است، به‌طوری‌که در برخی از انواع علف هرز مانند کنگر وحشی و آتریپلکس به‌دلیل شباهت رنگی بسیار بالای آنها با برگ‌های سیب زمینی، اساساً امکان

تشخیص وجود ندارد. همچنین در مراحل رشد، تغییرات رنگ گیاه اصلی، به‌ویژه تغییرات رنگ علف‌های هرز، عاملی موثر در میزان تشخیص است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، اولین مرحلهٔ رشد مناسب‌ترین زمان برای تشخیص علف هرز گندم از گیاه سیب‌زمینی با بالاترین میزان دقت در حدود ۹۵ درصد در شرایط زیر سایه‌بان و اولین مرحلهٔ است. همچنین، در تشخیص گیاه سیب‌زمینی از علف هرز پیچک نیز دقت تشخیص در دورهٔ اول و دوم رشد به‌ترتیب معادل ۸۵/۹ و ۵۳ درصد به‌دست آمده است. برای جداسازی پس زمینه (خاک) از پوشش گیاهی، از مدل بهبود یافته Thresh = 2G –R –B استفاده شد که دقت قابل قبولی دارد.

## مراجع


Anon, 2008. Image processing toolbox 6. User's Guide. The MathWorks, Inc.

Blasco, J., Aleixos, N., Roger, J. M., Rabatel, G. and Moltó, E. 2002. Automation and emerging technologies: robotic weed control using machine vision. Biosys. Eng. 83, 149-157.

Bosch, A., Munoz, X. and Freixenet, J. 2007. Segmentation and description of natural outdoor scenes. Image Vision Comput. 25, 727-740.

Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., Guijarro, M. and Pajares, G. 2011. Real-time image processing for crop/weed discrimination in maze fields. Comput. Electron. Agr. 75, 337-346.

Chen, Y. R., Chao, K. and Kim, M. S. 2002. Machine vision technology for agricultural applications. Comput. Electron. Agr. 36, 173-191.

Gerhard, R. and Christensen, S. 2003. Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugar beet, winter wheat and winter barley. Weed Res. 43, 385-392.

Gonzales, R. C. and Woods, R. E. 1992. Digital Image Processing. Reading, Mass. Addison-Wesley Publishing Co. New York, NY.

Hemming, J. and Rath, T. 2001. Precision agriculture: computer-vision-based weed identification under field conditions using controlled lighting, J. Agric. Eng. Res. 78(3): 233-243.

Jafari, A., Eghbali-Jahromi, H., Mohtasebi, S. S. and Omid, M. 2006. Color segmentation for classifying weeds from sugar beet using machine vision. Iranian J. Infor. Sci. Manage. 4(1): 1-12.

Lee, W., Slaughter, D. and Giles, D. 1999. Robotic weed control system for tomatoes using machine vision and precision chemical application. Precis. Agric. 1, 95-113.

Pérez, A. J., López, F., Benlloch, J. V. and Christensen, S. 2000. Color and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. Comput. Electron. Agr. 25(3): 197-212.

Slaughter, D. C., Giles, D. K. and Downey, D. 2008. Autonomous robotic weed control systems: a review. Comput. Electron. Agr. 61(1): 63-78.

Storkey, J., Cussans, J. W. and Lutman, P. J. W. 2000. Visual assessment of weed ground cover to predict yield loss. Is this a practical alternative to the me asurement of leaf area? 11th International Conference on Weed Biology. Dijon, France.

Tellaeche, A., BurgosArtizzu, X. P., Pajares, G., Ribeiro, A. and Fernández-Quintanilla, C. 2008. A new vision-based approach to differential spraying in precision agriculture. Comput. Electron. Agr. 60(2): 144-155.

Thorp, K. and Tian, L. 2004. A review on remote sensing of weeds in agriculture. Precis. Agric. 5, 477-508.

Vesali, S. and Komarizadeh, M. H. 2010. Designing a vision algorithm for weeds sprayer robot in potato's fields. Proceedings of the 6th International Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Tehran University. Karaj, Iran. (in Persian).

Woebbecke, D. M., Meyer, G. M., Von Bargen, K. and Mortensen, A. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue and lighting conditions. T-ASAE. 389(1): 259-269.

Zayas, I., Pomeranz, Y. and Lai, F. S. 1989. Discrimination of wheat and non-wheat components in grain samples by image analysis. Cereal Chem. 66(3): 233-237.

*Agricultural Mechanization and Systems Research /Vol.18/No.68/2017/P:17-30*

# Application of Machine-Vision Technique for Identification of Weeds in Potato Fields

**A. H. Afkari-Sayyah*, H. R. Mohammaddoost-Chamanabad, M. Rasekh and M. Razavi**

* Corresponding Author: Associate Professor, Faculty of Aricultural Sciences, Department of Biosystems Engineering, University of Mohaghegh-Ardabili, Ardabil, Iran. Email: ahafkari@gmail.com
Received: 10 March 2016, Accepted: 21 August 2016

In order to reduce amount of pesticides used, machine vision technique can be applied to identify the location of weeds around main crop in a field as the machine moves. The purpose of present investigation was to determine the accuracy of image processing method in identification of weeds in standing potato crop, according to color features. Research was conducted in research field of University of Mohaghegh-Ardabili, and three factors namely: environmental light condition (direct sunlight and shadow), type of weed (Shalambig, Pichack and Wheat) and stage of crop growth, were investigated. Results showed that there are no significant differences between two types of environmental light conditions. However, the main and interactive effects of two factors of type of weeds and level of crop growth were significant on identification performance of system. According to the results obtained, the first stage of crop growth is the best time for the visual tests (middle of the June) and among the three types of popular weed in the region, it is possible to identify the wheat from potato leaves with a reasonable accuracy according to RGB color model. Finally it can be concluded that by application of machine vision technique, it is possible to determine the location of weeds around the main crop by maximum accuracy of 95% dependent to different condition of treatments.

**Keywords:** Color Model, Identification, Machine Vision, Potato, Weed