

توسعه یک سامانه دقیق کنترل علف‌های هرز برای زمین‌های چمن به کمک بینایی ماشین

هادی اورک^۱ و سامان آبدانان مهدی‌زاده^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد؛ و استادیار دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۱۴

چکیده

استفاده بی‌رویه از علف‌کش‌ها به منظور از بین بردن علف‌های هرز در مزارع کشاورزی، زمین چمن، زمین‌های ورزشی و غیره سبب بروز نگرانی‌های اقتصادی محیط زیستی شده است. به منظور کاهش علف‌کش‌ها، بهترین راه ممکن دست چپین کردن آنهاست که بسیار پرهزینه و وقت‌گیر است. در این مقاله دو روش برای تشخیص علف‌هرز در چمن با استفاده از تکنولوژی بینایی ماشین ارائه شده است. با توجه به این موضوع که علف‌های هرز رنگ‌های متفاوتی دارند و به خوبی امکان تشخیص آنها از چمن وجود ندارد، از این فرض استفاده شد در مناطقی که علف‌های هرز وجود دارد، نسبت به مناطقی که چمن روییده است، تفاوتی در میزان لبه‌های تصویر اخذ شده وجود دارد. روش طبقه‌بندی بیز و ویژگی مورفولوژی برای تشخیص علف‌هرز در چمن به کار گرفته شد. میزان تشخیص درست علف‌هرز برای روش مورفولوژی ۸۹/۵۸ درصد و روش طبقه‌بندی بیز ۸۰/۴۲ درصد به دست آمد. از سامانه سمپاش هوشمند با سه نازل استفاده شد و میزان کاهش مصرف علف‌کش‌ها به بیش از ۷۰ درصد رسید. این مسئله تا حد زیادی از لحاظ اقتصادی و کاهش آلودگی‌های محیط زیست می‌تواند مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی

بینایی ماشین، سمپاش هوشمند، طبقه‌بندی بیز، علف هرز، مورفولوژی

مقدمه

سیستم‌های خودکار کنترل علف‌های هرز جایگزینی مناسب برای حل این مشکل شده‌اند. پژوهش‌های متعددی در زمینه کشاورزی دقیق در حوزه کاشت و برداشت محصولات، میزان مصرف کودهای شیمیایی و وجین کردن علف‌های هرز صورت پذیرفته است (Perez et al., 2000; Wiles, 2011; Montalvo et al., 2013). تاکنون سیستم‌های کنترل علف‌های هرز در مزارع کشت محصولات مختلف مانند کلم، هویج (Hemming & Rath., 2001)، گوجه‌فرنگی (Lee et al., 1996; Lee et al., 1999)، ذرت (Guerrero

علف‌های هرز اجزای مهم اکوسیستم هستند که به‌طور مستقیم با گیاه اصلی رقابت می‌کنند و کیفیت آن را در اکثر مواقع کاهش می‌دهند. هرچند کنترل علف‌های هرز باعث کاهش خسارات‌های کشاورزی می‌شود، اما بی‌توجهی و افراط در مصرف علف‌کش‌ها سبب ایجاد بیماری در انسان‌ها می‌گردد. به‌منظور کنترل علف‌های هرز، بهترین روش برای جلوگیری از این خسارات دست‌چپین کردن آنهاست که بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است. خوشبختانه با پیشرفت تکنولوژی بینایی ماشین،

زراعی، با وجود تأثیر نور خورشید، به‌میزان قابل قبولی بهبود دادند.

پژوهش‌هایی متعدد در طبقه‌بندی گیاهان با روش‌هایی مختلف مانند بردار پشتیبان (Faisal *et al.*, 2012)، مدل شکل فعال (Persson & Astrand, 2008)، و غیره صورت گرفته است. (Hernández-Hernández *et al.*, 2016) در پژوهشی به‌منظور جداسازی گیاه از پس زمینه (خاک) از ترکیب بهینه فضای‌های رنگی مختلف (HLS, HSV, I1I2I3, Lab, Luv, TSL, XYZ, YCrCb و YUV) استفاده کردند. بر اساس گزارش ارائه شده ترکیب خطی سه کانال رنگی Lab (a-b و L-a)، Luv (u-v) و I1I2I3 (I1-I3) با توجه به نوع تصویر به‌عنوان فضاهای رنگی بهینه انتخاب شدند.

لی و همکاران (Li *et al.*, 2009) در پژوهشی مشابه برای جداسازی گیاه از پس‌زمینه، مدلی بر اساس فضای رنگی HSI ارائه دادند. در پژوهشی دیگر ایشاک و همکاران (Ishak *et al.*, 2009) برای استخراج ویژگی‌های بافت و طبقه‌بندی علف‌های هرز از ترکیب موجک^۱ گابور و توزیع میدان در تحلیل تصاویر استفاده کردند. به‌دلیل تشابه رنگی بین چمن و علف هرز، تشخیص این دو بسیار دشوار است (Watchareeruetai *et al.*, 2006b). علاوه بر این، علف‌های هرز تقریباً در تمامی مناطقی که چمن کشت شده‌اند وجود دارند. با توجه به اینکه چمن در فصل‌های مختلف دچار تغییر رنگ‌های متنوعی (سبز، قهوه‌ای یا زرد) می‌شود، که ممکن است در تشخیص علف هرز مشکل ایجاد کند، پژوهش‌های ذکر شده تنها برای مدت زمانی خاص قادر به پاسخگویی هستند و با تغییر فصل، شرایط جوی، تغییر حالت دوربین، و شرایط نورپردازی امکان استفاده از آنها ممکن نیست. هدف از این پژوهش، ساخت سامانه هوشمند تشخیص علف هرز در مزارع چمن با استفاده از طبقه‌بندی بیز و ویژگی‌های مورفولوژی است.

(*et al.*, 2012) و غیره توسعه یافته و آزمایش شده‌اند. این سیستم‌ها معمولاً با گرفتن عکس از بالای محصول و استفاده از اطلاعات رنگی بین گیاه و پس‌زمینه، گیاه را از پس‌زمینه جدا می‌سازند، تصمیم مقتضی را بر اساس نیاز اخذ می‌کنند و با استخراج ویژگی از گیاهان موجود در تصویر، گیاه هدف از بقیه گیاهان موجود تشخیص داده می‌شود.

از مزایای استفاده از کشاورزی دقیق می‌توان به کاهش خستگی راننده، بهبود عملکرد محصولات (Gan-Mor & Clark, 2001)، کاهش هزینه‌های تولید، به حداقل رساندن ضایعات آفت‌کش‌های مورد نیاز برای کنترل مؤثر علف‌های هرز (Burgos-Artizzu *et al.*, 2011)، و بهبود محیط زیست (Han *et al.*, 2004) اشاره کرد. هدف نهایی از مبارزه با علف‌های هرز، کاهش تراکم آنهاست و گام مهم و ضروری در کشاورزی دقیق این است که سم تنها روی علف‌هرز ریخته شود (Tellaiche *et al.*, 2011). مطالعات متعددی در زمینه تشخیص علف‌هرز در چمن وجود دارد که اساس تشخیص آنها شاخص‌های رنگی بوده است. (Kawamura *et al.*, 1993) در پژوهشی با استفاده از ویژگی‌های رنگی به تشخیص خوشه‌های چمن در فصل بهار پرداختند که به‌علت تفاوت‌های رنگی بین تیغه‌های چمن در فصل بهار، این روش به‌خوبی قابلیت تشخیص علف‌هرز در چمن را نداشت. (Mashita *et al.*, 1992) با توسعه روش مبتنی بر کانال قرمز به تشخیص علف‌هرز در مزارع چمن پرداختند. (Woebbecke *et al.*, 1995) با استفاده از شاخص‌های رنگی از جمله R-G و R+G جداسازی محصول گندم خشک را از خاک دنبال کرد. در پژوهشی، (Kazmi *et al.*, 2015) ویژگی‌های رنگی تصویرهای گرفته شده از محصولات کشاورزی را بررسی کردند و با مقایسه شاخص‌های رنگی، دقت تشخیص علف‌هرز را از محصول

مواد و روش‌ها

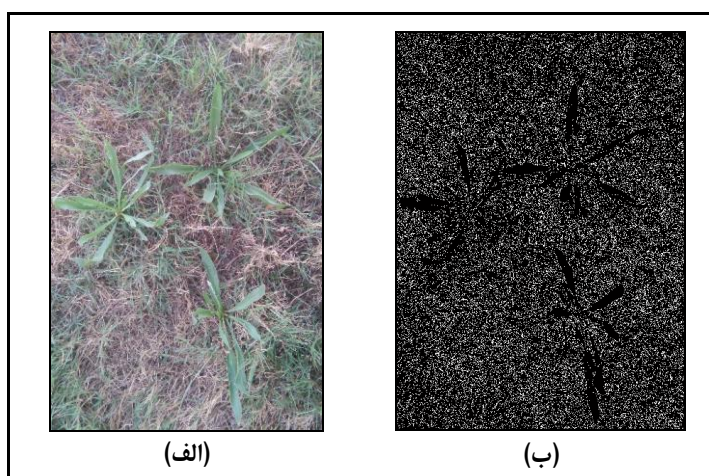
محل اجرای آزمایش

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی توانایی سامانهٔ هوشمند کنترل علف‌هرز در زمین چمن در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان واقع در ۳۶ کیلومتری شمال شرقی اهواز و در فصل بهار اجرا شد. علف هرز مورد بررسی در این پژوهش بارهنگ کاردی^۱ است که در زمین‌های چمن متداول است.

تصویربرداری و روش تشخیص علف‌هرز

به‌منظور اخذ تصاویر از یک وب‌کم لاجیتک (مدل C930e، ساخت کشور تایوان) با فناوری RightLight 2 کمپانی استفاده گردید. این فناوری تصویر را برای بهبود کیفیت دید در شرایط نور کم، به‌طور خودکار تنظیم می‌کند. این وب‌کم با میدان دید عریض ۹۰ درجه تصاویری با کیفیت Full HD 1080p در رزولوشن ۱۰۸۰ × ۱۹۲۰ پیکسل با سرعت ۳۰ فریم در ثانیه اخذ می‌کند. شکل الف-۱ نمونه‌ای از تصویرهای اخذ شده با این وب‌کم را نمایش می‌دهد. به‌منظور توسعهٔ سامانهٔ هوشمند، ۳۰ تصویر به‌صورت تصادفی از مناطق مختلف زمین چمن (۲۵ تصویر دارای علف‌هرز و ۵ تصویر بدون

علف‌هرز) اخذ گردید. برگ باریک و کوچک چمن ممکن است به رنگ سبز، قهوه‌ای یا زرد باشد که می‌تواند رنگ برخی از گونه‌های علف‌هرز یا حتی خاک نیز باشد. در نتیجه تمییز دادن بر اساس رنگ، روشی مناسب برای تشخیص چمن و علف‌هرز نبود و تغییر در حالات دوربین و در فاصله‌های عکس‌برداری (فاصله لنز دوربین تا زمین) ممکن بود شرایط نوری را تحت تأثیر قرار دهد و تشخیص علف‌هرز از چمن یا گیاهان از خاک را دچار مشکل کند. از این رو فاصلهٔ دوربین تا سطح زمین ثابت (۱۱۰ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. روش تشخیص علف هرز بر این فرض استوار بود که چمن، نسبت به علف هرز، دارای لبه‌های بیشتری است و در جایی که علف‌هرز روییده لبه کمتر و تصویر صاف‌تر است (شکل ب-۱). روش پیشنهادی می‌تواند جایگزین قدرتمندی برای روش تشخیص علف‌هرز با استفاده از شاخص‌های رنگی باشد. برای تعیین لبه در این پژوهش ابتدا تصویرهای رنگی گرفته شده به تصویرهای خاکستری تبدیل و پس از آن از روش تشخیص لبه سوپل استفاده شد (Gonzalez et al., 2004). علت استفاده از روش سوپل، مناسب بودن سرعت این روش در تشخیص لبه نسبت روش‌های دیگر (روش لاپلاس، گرادیان و غیره) است.



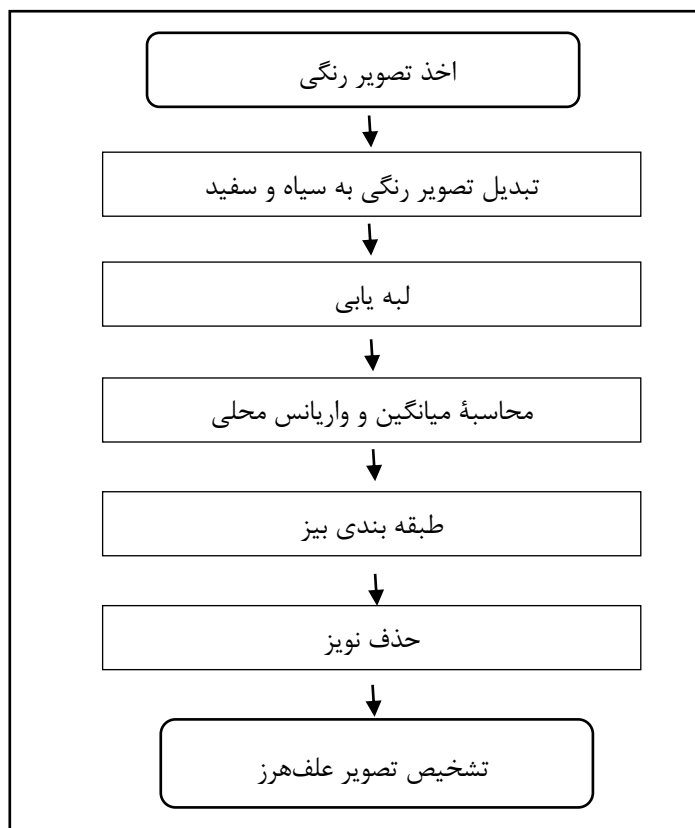
شکل ۱- الف) تصویری از نمونهٔ علف‌هرز در زمین چمن و ب) تصویر لبه

واریانس لبه‌ها بیشتر از مقداری است که علف‌هرز وجود دارد. مطابق شکل ۲، بعد از اخذ تصاویرهای رنگی و تبدیل آنها به تصاویرهای خاکستری، از اپراتور سوپل به‌منظور تعیین لبه‌های تصویر استفاده شد. پس از آن میانگین و واریانس پیکسل مرکزی از پیکسل‌های موجود در یک پنجره مربعی $N*N$ (در این مطالعه $N=17$) محاسبه گردید. اندازه پنجره مربعی به روش سعی و خطا و نظارت فرد بر نتایج انتخاب شد. در این انتخاب، دو مسئله مد نظر قرار گرفت: اول بالا بودن دقت طبقه‌بندی بیز با حفظ جزئیات موجود در تصویر و دوم سرعت تشخیص با توجه به برخط بودن و محدودیت‌های عملیاتی سامانه هوشمند. میانگین و واریانس هر پنجره به‌عنوان ویژگی برای آموزش طبقه‌بندی بیز در نظر گرفته شدند. برای حذف نویز نیز از فیلترگذاری روی مساحت (۲۰۰ پیکسل) استفاده گردید.

در مجموع، دو روش بخش‌بندی بر اساس روش بیز و روش مبتنی بر مورفولوژی به منظور تشخیص علف‌هرز در زمین چمن استفاده گردید که در بخش‌های بعدی به تفصیل بررسی خواهد شد. یادآوری می‌شود کلیه مراحل پردازش تصاویرها و توسعه طبقه‌بندی در نرم‌افزار (The Mathworks Inc, Version 8.0) Matlab 2013a پیاده‌سازی گردیدند.

طبقه‌بندی بر اساس روش بیز

در این پژوهش، از روش طبقه‌بندی معروف بیز پیشنهاد شده در مطالعه تانگ و همکاران (Tang *et al.*, 2016) و رینویل و همکاران (De-Rainville *et al.*, 2014) برای تشخیص علف‌هرز استفاده شد. شکل ۲ فلوجارت این روش را نشان می‌دهد. جداسازی علف‌هرز از چمن با توجه به این فرض بود که در مناطق دارای چمن، میانگین و

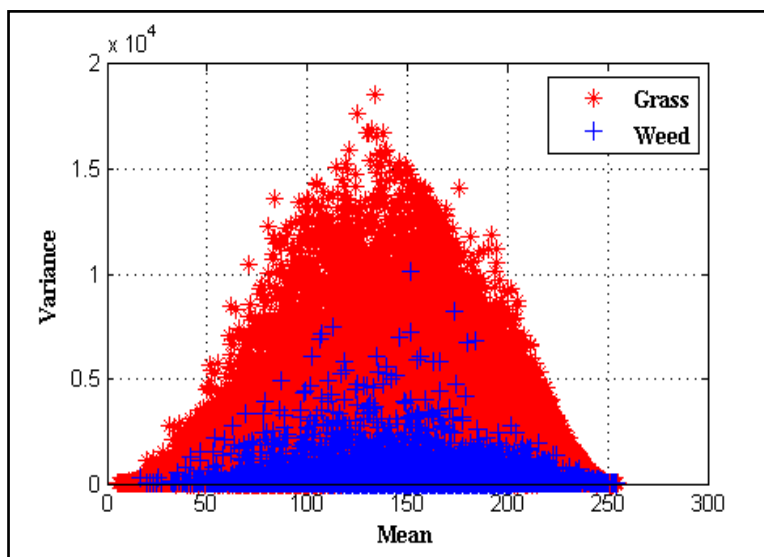


شکل ۲- فلوجارت روش طبقه‌بندی بیز

توسعه یک سامانه دقیق کنترل علف‌های هرز...

می‌دهد. در این شکل مشخص است که پیکسل‌های چمن با توجه به وجود لبه‌های بیشتر، نسبت به پیکسل‌های علف هرز موجود در تصاویر، واریانس بالاتری دارند.

شکل ۳ نمودار توزیع پیکسل‌های علف‌هرز و پیکسل‌های چمن (غیر علف‌هرز) به صورت جداگانه برای الگوریتم جست‌جو برای پنجره دو در دو را نمایش



شکل ۳- توزیع ویژگی‌ها، میانگین و واریانس محلی پیکسل‌های علف‌هرز و غیر از علف‌هرز

در مناطقی استفاده گردید که تشخیص به صورت تقریبی نادرست صورت می‌گرفت، مانند شکل ۴ (De-Rainville *t al.*, 2014).

پارامترهای طبقه‌بندی بیز (انحراف معیار و میانگین) با ترسیم تابع چگالی احتمال (pdf) و تخمین این پارامترها برآورد شدند. از این روش برای توزیع گاوسی



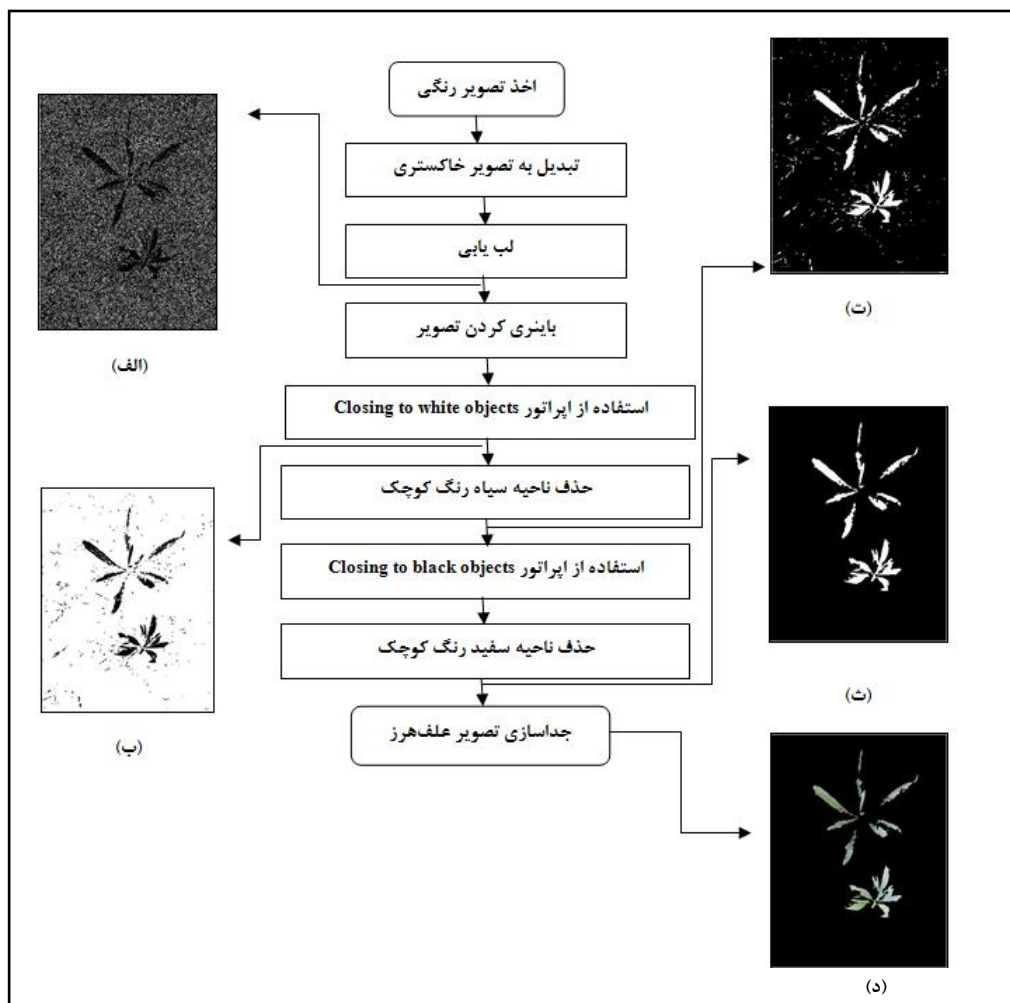
شکل ۴- تشخیص تصویر (قبل از حذف نویز) با استفاده از روش pdf برای مدل تخمین زده شده گاوسی

طبقه‌بندی بیز برای تشخیص علف‌هرز در چمن شود، مزیت این روش آن است که نیازی به آموزش ندارد. فلوچارت این روش در شکل ۵ نشان داده شده است. در

روش مبتنی بر مورفولوژی
این روش بر اساس تفاوت در ویژگی‌های علف‌هرز و چمن است. روش مورفولوژی می‌تواند جایگزین روش

است. با توجه به اینکه تشخیص علف‌هرز هدف این پژوهش است باید علف هرز سفید شود (شکل ت-۵). بعد از پیش‌پردازش و حذف نقاط سفید کوچک (شکل ث-۵)، علف هرز تشخیص داده شد و با ضرب در تصویر اصلی تنها علف هرز باقی ماند (شکل د-۵). روش مبتنی بر مورفولوژی ارائه شده در این پژوهش، اصلاح شده و توسعه یافته روش پیشنهادی واچارپروتای و همکاران (Watchareeruetai et al., 2006a) است.

شکل الف-۵ دیده می‌شود که پس از لبه‌یابی تصویر، تصویری باینری از روش آستانه‌گذاری سراسری حاصل آمده است؛ مقدار این آستانه در این پژوهش برابر با میانگین تمامی پیکسل‌ها در نظر گرفته شد؛ پس از آن، علف هرز و برخی از برگ‌های تیغه‌مانند چمن به رنگ سیاه درآمدند و چمن سفید شد (شکل الف-۵). برخی از برگ‌های تیغه‌ای مانند چمن ممکن است به علف هرز بچسبند که این مسئله در شکل ب-۵ نشان داده شده



شکل ۵- فلوجارت روش مورفولوژی

زمین چمن و عمود بر آن، ۳ عدد شیر برقی ۱۲ ولت (مدل E247، ساخت کشور چین) به‌منظور فعال‌سازی نازل و پاشش، کامپیوتر برای تحلیل تصاویر اخذ شده، ۱ پروژکتور ال‌ای‌دی ۵۶ وات به‌منظور تأمین نور مورد نیاز

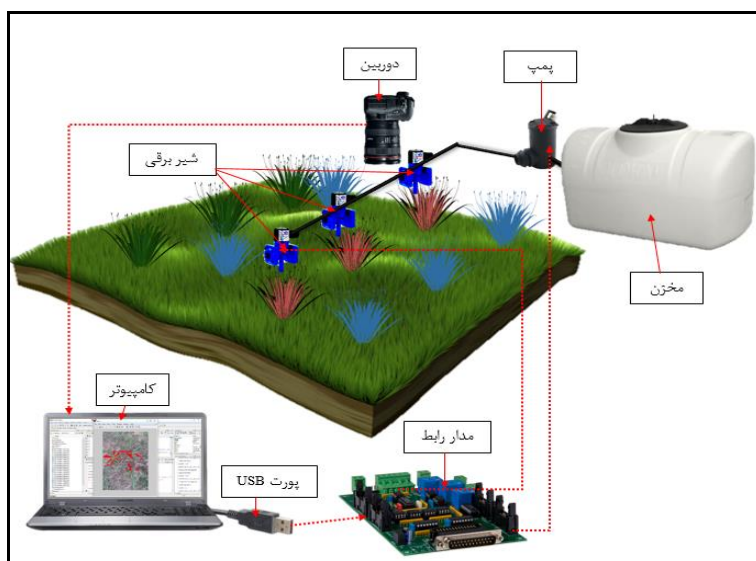
سامانه سمپاش هوشمند

سامانه سمپاش هوشمند مشتمل است بر: مخزن پلاستیکی به حجم ۲/۵ لیتر، وب‌کم (مدل C930e، ساخت کشور تایوان در فاصله ۱۱۰ سانتی‌متر نسبت به سطح

توسعه یک سامانه دقیق کنترل علف‌های هرز...

فشار مورد نیاز و مدار کنترلی برای فعال‌سازی شیرهای برقی. شکل ۶، شماتیک سامانه سمپاشی هوشمند را به منظور تشخیص علف هرز نمایش می‌دهد.

(برقرار کردن شرایط نوری یکنواخت و جلوگیری از ایجاد سایه) در فاصله ۱۳۰ سانتی‌متر از سطح زمین چمن، ۱ عدد پمپ ۲۴ ولت (SOFT WATER مدل DY 2500، ساخت کشور تایوان) برای تأمین



شکل ۶- شماتیک از سیستم هوشمند سمپاشی به منظور تشخیص علف‌هرز

این ناحیه پاشیده شود. شکل ۷ شماتیک ناحیه‌بندی تصویر و پاشش سم را با سامانه هوشمند نشان می‌دهد (پمپ در ناحیه‌های آبی خاموش است و در ناحیه‌های قرمز به محض تشخیص علف هرز فعال می‌شوند).

برای فعال‌سازی شیرهای برقی نازل‌ها در مرکز تصویر قرار داشتند و هر تصویر به ۹ ناحیه تقسیم گردید. علف‌های هرز موجود در وسط تصویر سبب می‌شود تا پمپ و شیر برقی مربوط به ناحیه تشخیص داده شده فعال شود و سم روی علف‌های هرز موجود در

خاموش	خاموش	خاموش
روشن	روشن	روشن
خاموش	خاموش	خاموش

شکل ۷- شماتیک ناحیه‌بندی تصویر و پاشش سم توسط سامانه هوشمند

میزان تشخیص درست علف هرز (CWDR) و میزان تشخیص نادرست (FWDR) طبق روابط پیشنهادی (Lee et al., 1999) محاسبه شدند (روابط ۱ و ۲).

ارزیابی روش‌های پیشنهادی در بخش‌بندی تصویر برای بررسی دقت و صحت بخش‌بندی در روش‌های پیشنهادی، تصویرهای علف هرز به صورت دستی مشخص و وارد الگوریتم کامپیوتری شدند.

$$CWDR = \frac{P_{CDW}}{P_{Weed}} \times 100 \quad (1)$$

نتایج و بحث

$$FWDR = \frac{P_{FDW}}{P_{Non-Weed}} \times 100 \quad (2)$$

اشکال ۸ و ۹ نمونه‌ای از تصویر قبل و بعد از حذف شدن چمن و نویزهای باقی‌مانده از چمن را با دو روش طبقه‌بندی بیز و روش مورفولوژی نشان می‌دهد. در شکل‌های الف-۸ و الف-۹ مشخص شده است که طبقه‌بندی بیز نسبت به روش مبتنی بر مورفولوژی نویز بیشتری دارد. اما بعد از حذف نویز (شکل‌های ب-۸ و ب-۹) روش بیز نسبت به روش مبتنی بر مورفولوژی بخش بیشتری از علف هرز را در چمن تشخیص می‌دهد که نشان از برتری این روش در تشخیص علف هرز نسبت به روش مبتنی بر مورفولوژی است (شکل پ-۸ و پ-۹). در پژوهشی، اونیانگو و مارچانت (Onyango & Marchant, 2003) از ویژگی‌های رنگی و مورفولوژی برای طبقه‌بندی پیکسل‌های علف هرز و محصول استفاده کردند. میزان طبقه‌بندی درست برای محصول و علف هرز در بهترین حالت به ترتیب ۹۶ و ۹۲ درصد و در بدترین حالت به ترتیب ۸۲ و ۶۸ درصد بود.

برگوس آرتیزو و همکاران (Burgos-Artizzu *et al.*, 2009) برای ارزیابی تراکم علف‌هرز مبتنی بر استدال تجربی به طبقه‌بندی پیکسل‌های علف هرز، محصول و خاک پرداختند که میزان ضریب همبستگی داده‌های طبقه‌بندی شده با داده‌های واقعی $R^2 = 0.8$ بود. تانگ و همکاران (Tang *et al.*, 2016) در پژوهشی دیگر برای تشخیص خطوط کشت از طبقه‌بندی بیز روی پیکسل‌های تصویر استفاده کردند که دقت تشخیص این روش در پژوهش ذکر شده ۹۲/۵ درصد بود. گوئررو و همکاران (Guerrero *et al.*, 2012) با قرار دادن ماسک روی کانال سبز به تشخیص ردیف با کمک روش بردار پشتیبان پرداختند و دقت تشخیص این روش را ۹۳/۱ درصد گزارش کردند.

که در آن،

P_{CDW} = تعداد پیکسل‌های علف‌هرز درست تشخیص داده شده؛ P_{Weed} = تعداد کل پیکسل‌های علف هرز؛ P_{FDW} = تعداد پیکسل‌هایی که اشتباها علف‌هرز تشخیص داده شده؛ و $P_{Non-Weed}$ = تعداد کل پیکسل‌های تصویر به غیر از علف‌هرز.

آزمایش سامانه هوشمند سمپاشی

برای سیستم شیمیایی، میزان علف هرز از بین رفته، میزان اسپری درست، میزان اسپری نادرست، و میزان کاهش مصرف علف‌کش از روابط ۳ تا ۵ محاسبه شد (Lee *et al.*, 1999).

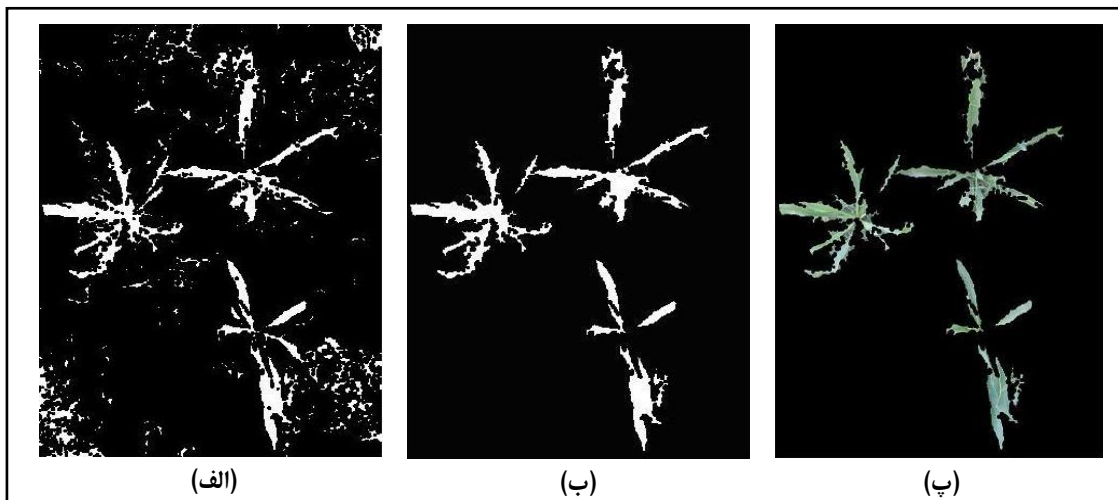
$$\text{Correct spray rate} = \frac{N_{CSPB}}{N_{SPB}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{False spray rate} = \frac{N_{FSPB}}{N_{SPB}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Herbicide reduction rate} = \left(1 - \frac{N_{SPB}}{N_B} \right) \times 100 \quad (5)$$

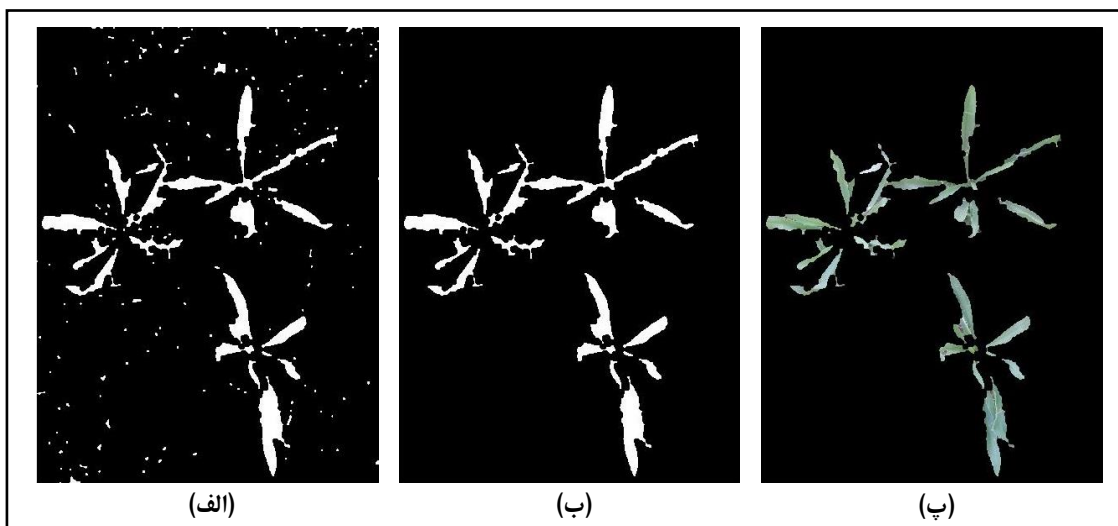
که در آن،

N_{CSPB} = تعداد بلوک‌های علف هرز اسپری شده؛ N_{FSPB} = تعداد بلوک‌های اسپری شده بدون علف هرز؛ N_{SPB} = تعداد بلوک‌های اسپری شده؛ و N_B = تعداد کل بلوک‌ها. در ارزیابی و آزمایش الگوریتم و سامانه سمپاش از روش پیشنهادی لی و همکاران (Lee *et al.*, 1999) استفاده شد.



شکل ۸ - نتیجه تشخیص

(الف) قبل از حذف نویز، (ب) بعد از حذف نویز و (پ) علف هرز جدا شده به روش بیز

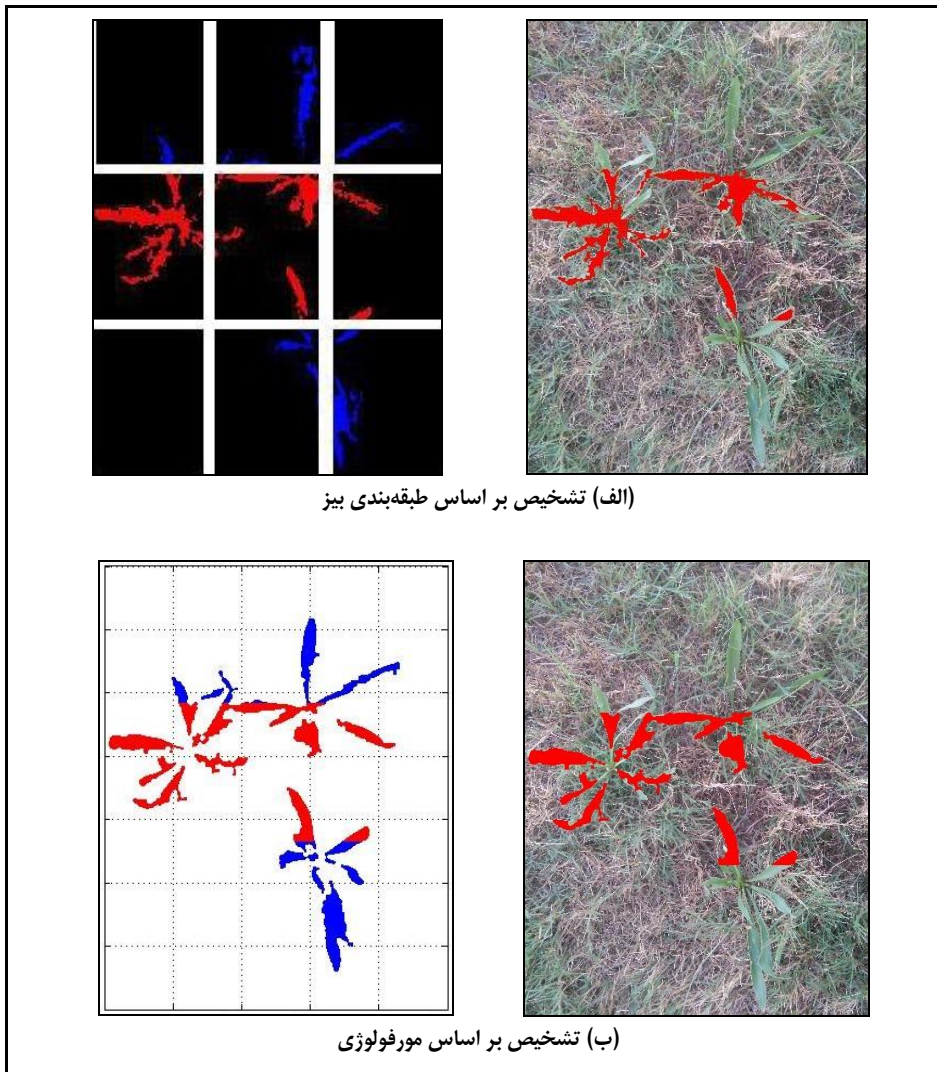


شکل ۹ - نتیجه تشخیص

(الف) قبل از حذف نویز، (ب) بعد از حذف نویز و (پ) علف هرز جدا شده به روش مبتنی بر مورفولوژی

صورت می پذیرد. بر اساس خروجی دو روش علفهای بخش بندی بیز و مورفولوژی در تشخیص سم نمایش می دهد. پیش تر گفته شده که در این سامانه به محض تشخیص علف هرز در بخش میانی تصویر، پاشش صورت می پذیرد. بر اساس خروجی دو روش علفهای بخش بندی بیز و مورفولوژی در تشخیص سم نمایش می دهد. پیش تر گفته شده که در این سامانه به محض تشخیص علف هرز در بخش میانی تصویر، پاشش

صورت می پذیرد. بر اساس خروجی دو روش علفهای بخش بندی بیز و مورفولوژی در تشخیص سم نمایش می دهد. پیش تر گفته شده که در این سامانه به محض تشخیص علف هرز در بخش میانی تصویر، پاشش



شکل ۱۰- الف) و ب) مثالی از نتایج اسپری علف‌کش (رنگ قرمز نشانگر ناحیه سمپاشی شده و رنگ آبی نشانگر دو وضعیت)

برای ارزیابی کارایی روش‌های پیشنهادی، دو آزمایش اجرا شد. اولین آزمایش، بررسی صحت و دقت روش‌های پیشنهادی را به منظور بخش‌بندی از لحاظ محاسباتی (تئوری) بیان می‌کند. دومین آزمایش بهترین روش را به منظور توسعه علمی و عملی سمپاش هوشمند به کار می‌گیرد. در جدول ۱، نتایج ذکر شده آورده شده است. در این جدول، BO بیانگر روش طبقه‌بندی بیز و MO بیانگر روش مورفولوژی است.

جدول ۱- مقایسه دقت روش بخش‌بندی بیز و مبتنی بر مورفولوژی

روش	درصد تشخیص درست علف‌هرز (CWDR)	درصد تشخیص نادرست علف هرز (FWDR)
مورفولوژی (MO)	۸۹/۵۸	۰/۲۷
طبقه‌بندی بیز (BO)	۸۰/۴۲	۰/۲۵

از لحاظ زمانی، روش MO نیاز به زمان بیشتری دارد، دلیل آن می‌تواند تکرار عملیات حذف نقاط کوچک باشد که در روش BO یک بار انجام می‌گیرد و به زمان محاسباتی کمتری نیاز دارد. در پژوهشی برای جداسازی علف‌هرز از مزارع ذرت، ابتدا تصاویری از ردیف محصول اخذ گردید و پس از آن با استخراج رنگ سبز از تصاویر، علف‌هرز از ردیف‌های محصول با دقت تشخیص ۹۳/۱ درصد جداسازی شد (Guerrero et al., 2012). در تحقیقی برگوس‌آرتیزو و همکاران (Burgos-Artizzu et al., 2010) از بینایی مصنوعی برای تشخیص علف‌هرز با استفاده از تصویرهای اخذ شده در شرایط محیطی استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داده است که خطاها با توجه به شرایط نوری متغیر، رطوبت، مراحل رشد، و پوشش گیاهی قابل توجه و ضریب همبستگی در بدترین حالت ۸۴ و در بهترین حالت ۹۶ درصد است.

در جدول ۱ (آزمایش اول) مشاهده می‌شود که تشخیص درست علف‌هرز در روش MO بیشتر است تا در روش BO. واچارپروتای و همکاران (Watchareeruetai et al., 2006b) در فصل بهار با استفاده از ویژگی‌های رنگی به تشخیص علف‌هرز در چمن پرداختند و میزان تشخیص درست علف‌هرز را در روش‌های MO و BO به ترتیب برابر ۶۳/۸۲ و ۸۰/۸۵ درصد گزارش دادند. واچارپروتای و همکاران (Watchareeruetai et al., 2006a) در پژوهشی دیگر با استفاده از لبه‌های تصویر به تشخیص علف‌هرز در چمن پرداختند که میزان تشخیص صحیح علف‌هرز را برای روش MO و BO در فصل بهار به ترتیب ۸۹/۸۳ و ۸۲/۶۰ درصد و در فصل پاییز به ترتیب ۹۱/۱۱ و ۷۷/۷۰ درصد به‌دست آوردند. با این حال، میزان تشخیص نادرست علف‌هرز در روش MO بیشتر بود.

جدول ۲- عملکرد دو روش در سمپاشی (۶۰ علف‌هرز و ۶۳۹ بلوک)

روش	تعداد سمپاشی شده	تعداد علف‌های هرز	درصد سمپاشی	بلوک‌های اسپری شده	تعداد	تعداد بلوک‌های اسپری شده صحیح	تعداد بلوک‌های اسپری شده نادرست	درصد اسپری درست	درصد اسپری نادرست	درصد کاهش مصرف علف‌کش
مورفولوژی (MO)	۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۸۶	۱۶۵	۲۱	۸۸/۷۱	۱۱/۲۹	۷۰/۸۹	
طبقه‌بندی بیز (BO)	۵۸	۹۶/۶۷	۱۶۶	۱۵۱	۱۵	۹۰/۹۶	۹/۰۴	۷۴/۰۲		

در جدول ۲ (آزمایش سمپاش) نشان داده شده است که میزان سمپاشی علف‌هرز در دو روش یکی ۱۰۰ و دیگری ۹۶/۷۶ درصد است و مصرف علف‌کش‌ها به ترتیب ۷۰/۸۹ و ۷۴/۰۲ درصد نسبت به روش سمپاشی یکنواخت کاهش یافته است. واچارپروتای و همکاران (Watchareeruetai et al., 2006a, b) میزان از بین بردن علف‌هرز در دو روش (MO و BO) را به ترتیب ۷۲/۸۰ و

۶۳/۸۰ درصد و کاهش مصرف علف‌کش‌ها را ۱۰-۶ درصد گزارش دادند. در روش MO علف‌های هرزی که به تیغه‌های چمن شبیه بودند علت اصلی خطا بودند؛ در حالی که در روش BO علف‌های هرز کوچک نیز تشخیص داده شدند که به دنبال آن تشخیص نادرست تیغه‌های چمن به‌عنوان علف‌هرز و نیز افزایش میزان پاشش علف‌کش‌ها را به همراه داشت.

نتیجه‌گیری

درصد کاهش مصرف علف‌کش ۷۰/۹۸ و ۷۴/۰۲ اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مشخص گردید که پیاده‌سازی این دو روش به‌طور مؤثر سبب کاهش مصرف علف‌کش (بیش از ۷۰ درصد) می‌شود که حاکی از امکان استفاده از روش ارائه شده به‌صورت سیستم سمپاش هوشمند چمن است. با اینکه روش MO از لحاظ عددی دقت بالاتری در تشخیص دارد اما از لحاظ آماری تفاوت چندانی با روش بیز ندارد علاوه بر این روش بیز در سرعت تشخیص و همچنین کاهش مصرف سم عملکرد بهتری داشت، لذا به‌منظور به‌کارگیری در سامانه دقیق کنترل علف‌های هرز روش بیز توصیه می‌شود.

در این مقاله دو روش پیشنهادی (طبقه‌بندی بیز و مورفولوژی) برای تشخیص علف‌هرز در چمن ارائه شد. روش مورفولوژی علاوه بر ساده بودن، برخلاف روش طبقه‌بندی بیز، نیازی به داده‌های اولیه برای آموزش ندارد؛ اما در عمل روش طبقه‌بندی بیز نسبت به روش مورفولوژی در انجام محاسبه سرعت بیشتری دارد. میزان تشخیص درست علف‌هرز برای روش مورفولوژی و بیز به‌ترتیب ۸۹/۵۸ و ۸۰/۴۲ درصد به‌دست آمد. در ضمن، در روش مورفولوژی و بیز درصد پاشش درست ۷ به‌ترتیب ۸۸/۱ و ۹۰/۹۶، درصد پاشش نادرست ۱۱/۲۹ و ۹/۰۴ و

قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان قدردانی می‌نمایند.

مراجع

- Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., Guijarro, M. and Pajares, G. 2011. Real-time image processing for crop-weed discrimination in maize fields. *Comput. Electron. Agric.* 75(2): 337-346.
- Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., Tellaeche, A., Pajares, G. and Fernández-Quintanilla, C. 2009. Improving weed pressure assessment using digital images from an experience-based reasoning approach. *Comput. Electron. Agric.* 65, 176-185.
- Burgose-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., Pajares, G., Tellaeche, A. and Fernandez-Quintanilla, C. 2010. Analysis of natural images processing for the extraction of agricultural elements. *Image Vision Comput.* 28, 138-149.
- De Rainville, F. M., Durand, A., Fortin, F. A., Tanguy, K., Maldague, X., Panneton, B. and Simard, M. J. 2014. Bayesian classification and unsupervised learning for isolating weeds in row crops. *Pattern Anal. Appl.* 17(2): 401-414.
- Faisal, A., Hawlader, A. A. M., Bari, A. S. M., Emam, H. and Paul, K. 2012. Classification of crops and weeds from digital images: A support vector machine approach. *Crop Prot.* 40, 98-104.
- Gan-Mor, S. and Clark, R. L. 2001. DGPS-based automatic guidance-implementation and economical analysis. *Trans. ASAE.* 1, 11-92.
- Gonzalez, R. C., Wood, R. E. and Eddins, S. L. 2004. *Digital Image Processing using Matlab.* Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Guerrero, J. M., Pajares G., Montalvo, M., Romo, J. and Guijarro, M. 2012. Support vector machines for crop/weeds identification in maize fields. *Expert Syst. Appl.* 39, 11149-11155.
- Han, S., Zhang, Q., Ni, B. and Reid, J. F. 2004. A guidance directrix approach to vision-based vehicle guidance systems. *Comput. Electron. Agric.* 43(3): 179-195.

- Hemming, J. and Rath, T. 2001. Computer-vision-based weed identification under field conditions using controlled lighting. *J. Agr. Eng. Res.* 78(3): 233-243.
- Hernández-Hernández, J. L., García-Mateos, G., González-Esquivá, J. M. and Escarabajal-Henarejos, D. 2016. Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture. *Comput. Electron. Agric.* 122, 124-132.
- Ishak, A. J., Hussain, A. and Mustafa, M. M. 2009. Weed image classification using Gabor wavelet and gradient field distribution. *Comput. Electron. Agric.* 66(1): 53-61.
- Kawamura, K., Mashita, T., Miwa, Y. and Ito, A. 1993. Developing of weeding robot (2): Development of weed detecting sensors on green area of golf course. *Proceeding of JSPE.* (in Japanese)
- Kazmi, W., Garcia-Ruiz, F. J., Nielsen, J., Rasmussen, J. and Andersen, H. J. 2015. Detecting creeping thistle in sugar beet fields using vegetation indices. *Comput. Electron. Agric.* 112, 10-19.
- Lee, W. S., Slaughter, D. C. and Giles, D. K. 1996. Development of a machine vision system for weed control using precision chemical application. *Proceeding of ICAME-96.* 3, 802-811.
- Lee, W. S., Slaughter, D. C. and Giles, D. K. 1999. Robotic weed control system for tomatoes. *Precis. Agric.* 1, 95-113.
- Li, D. M., Wang, Y. Z. and Du, B. 2009. Research on segmentation methods of weed and soil background under hsi color mode. *Second International Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining.* Jan. 23-25.
- Mashita, T., Miwa, Y. and Ito, A. 1992. Developing of weeding robot (1): Manufacture of weed discrimination system on golf course. *Proceeding of JSPE.* (in Japanese)
- Montalvo, M., Guerrero, J. M., Romeo, J., Emmi, L., Guijarro, M. and Pajares, G. 2013. Automatic expert system for weeds-crops identification in images from maize fields. *Expert Syst. Appl.* 40(1): 75-82.
- Onyango, C. M. and Marchant, J. A. 2003. Segmentation of row crop plants from weeds using colour and morphology. *Comput. Electron. Agric.* 39: 141-155.
- Perez, A. J., Lopez, F., Benlloch, J. V. and Christensen, S. 2000. Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. *Comput. Electron. Agric.* 25(3): 197-212.
- Persson, M. and Astrand, B. 2008. Classification of crops and weeds extracted by active shape models. *Biosyst. Eng.* 100, 484-497.
- Tang, J. L., Chen, X. Q., Miao, M. R. and Wang, D. 2016. Weed detection using image processing under different illumination for site-specific areas spraying. *Comput. Electron. Agric.* 122, 103-111.
- Tellaèche, A., Pajares, G., Burgos-Artizzu, X. P. and Ribeiro, A. 2011. A computer vision approach for weeds identification through support vector machines. *Appl. Soft Comput.* 11, 908-915.
- Watchareeruetai, U., Takeuchi, Y., Matsumoto, T., Kudo, H. and Ohnishi, N. 2006a. Computer vision based methods for detecting weeds in lawns. *Mach. Vision Appl.* 17(5): 287-296.
- Watchareeruetai, U., Takeuchi, Y., Matsumoto, T., Kudo, H. and Ohnishi, N. 2006b. Computer vision based methods for detecting weeds in Lawns. *IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems.* 7-9 June. Bangkok, Thailand.
- Wiles, L. J. 2011. Software to quantify and map vegetative cover in fallow fields for weed management decisions. *Comput. Electron. Agric.* 78(1): 106-115.
- Woebbecke, D. M., Meyer, G. E., VonBargen, K. and Mortensen, D. A. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Trans. ASAE.* 38(1): 259-269.



Development of a Precision Weed Control System for Lawns using Machine Vision

H. Orak and S. Abdanan-Mehdizadeh*

* Corresponding Author: Assistant Professor of Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Ramin University of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan, Ahvaz, Iran.
Email: saman.abdanan@gamil.com

Received: 24 July 2016, Accepted: 5 July 2017

A large amount of herbicide is being used for controlling weeds in agricultural, lawns, sport fields on yearly basis. This causes environmental pollution and economic concerns. To reduce the use of herbicides, hand labor may be the best way of removing weeds. It is, however, costly and time consuming. In this paper, two methods of distinguishing weeds from lawns using computer vision techniques are proposed. Due to the fact that the weeds have different colors and identification of them from grass is not possible; therefore, an algorithm was developed based on the assumption that the grass area should contain more edges while the weed area is smoother than the grass area. For identification of weed/grass two methods were used, namely: Bayesian Classifier (BO) and morphology (MO). Results indicated that correct weed identification rates for MO and BO methods were 89.58% and 80.42% respectively. Furthermore, from results obtained it can be concluded that herbicide usage was reduced more than 70%, which from economical point of view as well as reduction of environmental pollution is of great importance.

Key Words: Bayes Classifier, Intelligent Sprayer, Machine Vision, Morphology, Weed