فصلنامه تحقیقات نوین در گیاه‌پزشکی
دانشگاه آزاد اسلامی شیراز
۱۴۰۰ - ۱۰ (۲) : ۱۲۳-۱۳۶

مروری بر مدل‌های مبتنی بر مکان خاص علف‌های هرز

(مقاله مروری)

رحمان خاکزاد*، رسول لقمانپور زرینی، یوسف رمضانی ابوخیلی، حیدر قاسمی زرین آبادی

آموزشکده کشاورزی ساری، دانشگاه فنی و حرفه ای، ساری، مازندران، ایران

(*) rahman.khakzad@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶

چکیده

مدیریت مکان خاص علف هرز یک استراتژی متغیر مدیریت علف هرز در درون یک مزرعه زراعی برای مطابقت با تغییر در مکان، تراکم و ترکیب جمعیت علف هرز است. این مفهوم براساس سه واقعیت استوار است: (۱) جمعیت‌های علف هرز غالبا به طور نامنظم در درون مزارع زراعی توزیع می‌شوند، (۲) حسگرها و سیستم عامل‌های جدید همراه با فناوری‌های فضایی (به عنوان مثال GPS، GIS) ابزارهای لازم برای شناسایی و نقشه‌برداری علف‌های هرز را فراهم کرده‌اند، (۳) سم‌پاش‌ها، ربات‌ها و کولتیواتورهای مکانیکی هوشمند جدید، امکان سازگاری دقیق مدیریت علف هرز را متناسب با شرایط موجود در هر مزرعه فراهم کرده‌اند. مدیریت مکان خاص علف هرز دارای پتانسیل واقعی برای ارائه تولید کشاورزی پربارتر و پایدارتر بر مبنای یک روش دقیق‌تر و پربازده از منابع است. این مقاله روش‌های مفهومی عمده و جزئیاتی را برای طراحی سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مدیریت مکان خاص علف هرز، پیشرفت‌های اخیر در استفاده از سیستم عامل‌ها و حسگرهای از راه دور و زمینی برای جمع‌آوری و پردازش اطلاعات و تجارب اولیه ترجمه این اطلاعات به محرک‌های کنترل شیمیایی و فیزیکی علف‌های هرز از طریق الگوریتم‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری بررسی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم‌های تصمیم‌گیری، جمعیت علف هرز، حسگرها، سم‌پاش‌های هوشمند، کشاورزی پایدار.

مقدمه

ظهور فناوری‌های فضایی [سیستم مکان‌یابی جهانی (GPS)[1]، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)[2]]، فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطاتی (ICT)[3]، حسگرهای جدید خاکی و گیاهی و ماشین‌های پیشرفته کشاورزی امکان سازگار کردن مدیریت خاکی و گیاهی متناسب با شرایط مختلف موجود در هر مزرعه را فراهم کرده است. این مفهوم کلی نام‌های مختلفی دریافت کرده است: کشاورزی دقیق، زراعت دقیق و کشاورزی هوشمند. مدیریت مکان خاص علف هرز (SSWM)[4] کاربرد این مفهوم در یک جنبه ویژه از تولید کشاورزی است: کنترل علف هرز. مدیریت مکان خاص علف هرز بر مبنای این واقعیت است که جمعیت‌های علف هرز معمولا به طور نامنظم در مزارع زراعی توزیع می‌شوند و این به معنای کاربرد اقدامات کنترل شیمیایی یا فیزیکی علف هرز فقط در مکان و زمانی که آنها واقعا مورد نیاز هستند، می‌باشد (Christensen *et al.*, 2009).

1- Global positioning system (GPS)
2- Geographic information system ographic (GIS)
3- Information and communications technologies (ICT)
4- Site-specific weed management (SSWM)

مدل‌های تصمیم‌گیری برای مدیریت علف‌های هرز را می‌توان به دو گروه مبتنی بر اثربخشی و مبتنی بر جمعیت تقسیم کرد. سیستم-های مبتنی بر اثربخشی به تصمیم گیرندگان در انتخاب محصولات و دزهای علف‌کش کمک می‌کنند. مدل‌های مبتنی بر جمعیت از طریق مدل‌های ساده و قطعی، زیست شناسی و بوم شناسی علف هرز را در بر می‌گیرند (به عنوان مثال مدل‌های آستانه‌ای که در آنها تراکم‌های گیاهی بالاتر از یک آستانه اقتصادی معین کنترل می‌شوند). سیستم‌های مبتنی بر اثربخشی شامل پایگاه‌های داده‌ای بزرگی با کارایی علف‌کش در محصولات مختلف، گونه‌های علف هرز، مراحل رشدی و غیره هستند که رتبه‌بندی و توصیه‌های موثرترین محصول و دز را بر ضد مخلوط علف‌های هرز امکان پذیر می‌سازند. در سیستم‌های مبتنی بر جمعیت، تخمین افت عملکرد یا تغییرات در بانک بذر خاک بدون کنترل علف هرز، نیاز برای کنترل علف هرز را مشخص می‌سازد و تعیین می‌کند که آیا کنترل علف هرز مقرون به صرفه خواهد بود.

اگرچه تعداد زیادی از سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS)[1] مدیریت علف‌های هرز در گذشته در کشورهای مختلف اروپایی (Rydahl *et al*., 2008; Parsons *et al*., 2009; Sønderskov *et al*., 2016) و در ایالات متحده آمریکا (Neeser *et al*., 2004) توسعه یافته‌اند، تمام آنها تغییر فضایی جمعیت‌های علف هرز را در درون یک مزرعه نادیده گرفته‌اند. این یک محدودیت جدی است. استفاده از برآوردهای میانگین تراکم مقیاس مزرعه‌ای در جمعیت‌های ناهگن فضایی علف هرز منجر به پیش‌بینی کمتر افت عملکرد در مکان‌هایی می‌شود که در آن تراکم علف هرز بالا است و پیش‌بینی بیش از حد در بخش‌هایی از مزرعه می‌شود که در آن تراکم علف هرز پایین است یا علف‌های هرزی وجود ندارند. در نتیجه کاربرد یکنواخت علف‌کش براساس آستانه‌های اقتصادی ثابت علف هرز احتمالا منجر به کاربرد کمتر در برخی بخش‌های مزرعه و کاربرد بیش از حد در بخش‌های دیگر می شود.

به منظور جلوگیری از این مشکلات لازم است اطلاعات مکان خاص در مورد ترکیب و تراکم گونه‌های علف هرز، معلومات درباره رقابت گیاه زراعی-علف هرز، اثر بر عملکرد و کیفیت گیاه زراعی و اثر بخشی‌های گونه-خاص از روش‌های کنترل احتمالی تلفیق شوند. اثر شرایط خاک، نحوه کشت گیاه زراعی و ماشین‌آلات نیز متغیرهایی هستند که تاثیر قابل توجهی بر رویش علف هرز، رقابت و تکثیر گونه‌های مختلف دارند و همچنین برای تصمیم‌گیری مهم هستند. ترکیب نامحدودی از متغیرهای بیولوژیکی و زراعی با دامنه اثربخشی تمام روش‌های کنترل احتمالی، نیازی برای SSWM-DSS ایجاد می‌کند که اهداف اقتصادی را بهینه ساخته و محدودیت-های محیطی را رفع کند.

نیازهای ساختاری SSWM-DSS به عنوان یک نقطه شروع منطقی، برای تعیین تصمیمات خاص (به عنوان مثال سم‌پاشی لکه‌ای) و حداقل مجموعه داده‌های فضایی و مکانی مورد نیاز برای تصمیمات آنها در دو مقیاس مکانی و فضایی (به عبارت دیگر ارائه داده‌های درست در زمان مناسب) است (Yost *et al*., 2019). انواع مختلفی از داده‌ها ممکن است برای تصمیمات زمان واقعی (سم‌پاشی آنلاین) نسبت به تولید نقشه‌های علف هرز (به عنوان مثال برای نقشه‌های دستوری مبتنی بر داده‌های تاریخی) مورد نیاز باشد. به علاوه تصمیمات و تعاریف حداقل داده‌ها برای هر مقیاس (به عنوان مثال گیاه منفرد، منطقه مدیریتی، مزرعه و کشتزار) متفاوت خواهد بود. این مقاله روش‌های مفهومی عمده و جزئیاتی را برای طراحی سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مدیریت مکان خاص علف هرز، پیشرفت‌های اخیر در استفاده از سیستم عامل‌ها و حسگرهای از راه دور و زمینی برای جمع‌آوری و پردازش اطلاعات و تجارب اولیه ترجمه این اطلاعات به محرک‌های کنترل شیمیایی و فیزیکی علف‌های هرز از طریق الگوریتم‌ها و مدل‌های تصمیم-گیری بررسی می‌کند.

1- Decision support systems (DSS)

روش های مفهومی برای طراحی SSWM-DSS

چندین DSS تجاری و مفهومی توسعه یافته‌اند تا در کشاورزی دقیق استفاده شوند (Yost *et al*., 2019). اگرچه آنها عمدتا بر روی روش‌های کوددهی نیتروژن و آبیاری متمرکز هستند، اما برخی از مفاهیم اساسی مورد استفاده در این سیستم‌ها می‌توانند در مدیریت علف‌های هرز به کار روند. بر طبق Yost *et al*. (2019)، مدل‌ها و DSS قابل استفاده برای تصمیمات مدیریتی تحت مزراعه‌ای باید شامل موارد زیر باشند:

۱- بهبود درک مکانیسم‌های زیربنایی. تحقیقات اساسی بر روی چگونگی تغییرات ورودی مقادیر افزایشی علف‌کش که نتایج را تحت تاثیر قرار می‌دهد، مورد نیاز است، زیرا پاسخ‌های افتراقی ممکن است دقیق باشند در حالی که نتایج مطلق ممکن نیست.

۲- هم‌افزایی و هماهنگی بیشتر بین مولد (تولیدکنندگان) داده‌ها [به عنوان مثال استفاده هم‌افزا از حسگرها (سنسورها) و مدل‌های تشخیصی محیطی برای پارامترسازی دقیق و مداوم].

۳- تلفیق بهتر ورودی و داده‌های کاربر نهایی. این (مورد) ممکن است شامل ترجمه داده‌های جمع آوری شده به پارامترها و تصمیمات مدیریتی از دیدگاه پرورش‌دهنده به منظور اتصال آنها به مشخصه‌شان و حلقه بازخوردی از کشاورز به مشاور برای کاربرد بهتر مدل‌ها به منظور اطمینان از تلفیق مشاهدات کشاورز باشد.

اولین الگوریتم تصمیم‌گیری به ویژه طراحی شده برای سم‌پاشی لکه‌ای (DAPS)[1] توسط Christensen *et al*. (2003) توسعه یافته بود. اجزای اصلی DAPS عبارتند از:

۱- یک مدل رقابت گیاه زراعی-علف هرز که افت عملکرد را به عنوان تابعی از گونه‌های علف هرز و تراکم‌های آنها تخمین می‌زند.

۲- مدلی که عملکرد و بازده خالص را به عنوان تابعی از دز علف‌کش و ترکیب و پاسخ‌های گونه‌های علف هرز تخمین می‌زند.

۳- الگوریتمی که از نظر اقتصادی دز بهینه علف‌کش یک مخلوط معین علف‌های هرز را پیدا می‌کند.

این مدل در ترکیب با یک سیستم حسگر مناسب برای شناسایی و طبقه‌بندی علف‌های هرز به کار می‌رود و همچنین با یک فناوری کاربردی بهبود یافته، مقادیر متغیر و مخلوط‌های علف‌کش را در زمان واقعی جایز می‌شمارد. نتایج یک آزمایش مزرعه‌ای پنج ساله طراحی شده برای ارزیابی این مدل تحت شرایط مزرعه‌ای نشان داد که بهینه‌سازی دز برای ترکیب و تراکم گونه‌های علف هرز محلی هر ساله کاربرد علف‌کش را ۴۵ تا ۶۷ درصد بدون کاهش عملکرد گیاه زراعی یا افزایش ترکم جمعیت علف هرز کاهش می‌دهد.

Gutjar & Gerhards (2010) مدل HPS-ONLINE[2] را توسعه دادند (یک مدل تصمیم‌گیری که برای کاربرد علف‌کش مکان خاص توسعه پیدا کرد). این مدل را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد:

۱- آگاهی قبل از کاربرد. اگرچه HPS-ONLINE امکان پیاده‌سازی جنبه‌های پویایی جمعیت را برای کنترل علف‌های هرز فراهم می کند، اما در این برنامه، کاربر مدل، خود قادر به انتخاب اهمیت این جنبه است. اگر کاربر قصد دارد از فواصل طولانی تناوب محصول یا فواصل ردیف باریک استفاده کند، ممکن است جنبه‌های پویایی جمعیت نادیده گرفته شوند. در مورد شرایط آب و هوایی، اگر کاربر در نظر بگیرد که شرایط برای کاربرد علف‌کش مطلوب است، HPS-ONLINE امکان کاهش کلی دز علف کش را فراهم می کند. این اجرای دانش و تجربه ماهرانه کاربران جزء با ارزشی از این سیستم است.

۲- آگاهی در طی کاربرد. این سیستم، پوشش علف هرز را در زمان کنترل علف هرز برای برآورد رقابت علف هرز استفاده می‌کند. این داده‌ها با استفاده از سیستم حسگر دو طیفی به طور خودکار به دست می‌آیند. گونه‌های گیاهی طبق ویژگیهای شکل خود با استفاده از طبقه‌بندی اتوماتیک در چهار گروه (گیاه زراعی و سه نوع علف هرز) طبقه‌بندی می‌شوند. براساس این اطلاعات، تصمیم کاربرد جداگانه‌ای برای هر گروه علف هرز گرفته می‌شود.

1- Decision algorithm patch spraying (DAPS)

2- Herbicide patch spraying-online (HPS-ONLINE)

Fernandez-Quintanilla *et al.* (2011) مشخصات اصلی را برای طراحی DSS مبتنی برا اطلاعات فضایی-مکانی بر روی آلودگی‌های علف‌های هرز پیشنهاد دادند. این پیشنهاد که برای استفاده توسط یک ناوگان از ربات‌های سم‌پاشی لکه‌ای طراحی شد، در پنج واحد ایجاد شده بود:

۱- بازرسی مزرعه‌ای. پایش جمعیت‌های علف هرز در زمان‌های مختلف فصل رشد با استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین (پهپاد).

۲- تصمیمات بلند مدت. هدف از این واحد برای بهینه‌سازی انتخاب تناوب‌های گیاه زراعی و علف‌کش بعلاوه سیستم خاک‌ورزی در طول یک تناوب است که توسط کاربر تعریف می‌شود و تلاش می‌کند تا بهترین استراتژی بلند مدت را پیدا کند. نقشه‌های تاریخی (بازمانده) ساخته شده با استفاده از داده‌های توزیع علف هرز به دست آمده در مرحله قبلی ممکن است یک عنصر عمده برای این فرایند فراهم کند. علاوه بر این دانش تجربی کشاورز که طی سال‌های طولانی کار در مزرعه به دست آمده است ممکن است یک منبع داده با ارزش باشد که باید مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

۳- تصمیمات سال جاری. این یک تصمیم پیچیده است که نیازمند تلفیق اطلاعات مربوط به زیست‌شناسی علف هرز، عملکردهای مورد انتظار گیاه زراعی و تلفات احتمالی عملکرد ناشی از علف‌های هرز مختلف، گزینه‌های علف‌کشی، زمان‌بندی و اثربخشی هر علف‌کش، تاثیر شرایط اقلیمی، سودآوری اقتصادی تیمار و خطرات مقاومت علف‌کش است. امروزه پرورش‌دهندگان و مشاوران کشاورزی می‌توانند تلفیق این عوامل پیچیده را با استفاده از DSS موجود مدیریت کنند (Parsons *et al.*, 2009; Sønderskov *et al.*, 2016).

۴- توزیع واحد و برنامه‌ریزی مسیر. هدف از این واحد برای برنامه‌ریزی مسیرهایی است که هر واحد رباتیک منفرد با در نظر گرفتن هندسه (ژئومتری) مزرعه، استراتژی عملیات و توزیع فضایی علف‌های هرز را دنبال می‌کند.

۵- تصمیمات آنلاین. اگرچه نقشه‌های دستوری ممکن است اطلاعات اساسی مربوط به مناطق زراعی که باید سم‌پاشی شوند را فراهم کنند، اما این اطلاعات نیاز دارند با آنهایی که در زمان سم‌پاشی با دوربین‌ها یا حسگرهایی به دست می‌آیند که وجود علف هرز را تشخیص داده و انواع علف‌های هرز مختلف را از هم تفکیک می‌کنند، در تضاد باشند. زمانی که لکه علف هرز شناسایی شده به عنوان یک هدف مناسب برای سم‌پاشی در نظر گرفته شود، یک کنترل کننده پاسخ سریع می‌تواند تخلیه علف‌کش‌های مختلف را در هر نازل منفرد تنظیم کند.

تصمیمات مشتق شده از DSS نباید به عنوان عملیات اجباری در نظر گرفته شود که توسط کشاورز انجام می شود بلکه به عنوان توصیه هایی در تصمیم نهایی و شخصی او در نظر گرفته شود. در هر صورت ارزیابی نتایج به دست آمده از کاربرد تصمیمات نهایی آنها مطلوب است. این ارزیابی باید معیارهای زراعی، اقتصادی و محیطی را در نظر بگیرد. به منظور انجام این کار، جمع‌آوری داده‌ها در مقیاس مزرعه (به عنوان مثال استفاده کامل علف‌کش، عملکرد کل و غیره) و در مقیاس تحت مزرعه (به عنوان مثال نقشه‌برداری عملکرد، نقشه‌برداری علف هرز در زمان برداشت و غیره) مورد نیاز است.

استفاده از تصاویر سنجش شده از راه دور برای ایجاد نقشه‌های دستوری

فناوری سنجش از راه دور می‌تواند اطلاعات فضایی و مکانی را بر روی وجود و عدم وجود علف‌های هرز در مقیاس مزرعه‌ای به عنوان داده‌های ورودی کلیدی برای تغذیه DSS فراهم کند. فاز اولیه شامل طبقه‌بندی تصاویر سنجش شده از راه دور به درون یک نقشه علف هرزی است که بوته‌های علف هرز یا لکه‌های علف هرز را نشان می‌دهد. قبل از استفاده گسترده از هواپیماهای بدون سرنشین، تصاویر از راه دور گرفته شده با هواپیماهای سرنشین‌دار یا سکوهای ماهواره‌ای مجاز به تشخیص لکه‌های بزرگ علف هرز (حداقل اندازه ۲ متر در ۱۰ متر) با وضوح پایین بودند. این واقعیت، اجرای بالقوه این فناوری را به بازرسی اواخر فصل مزارع زراعی با لکه‌های بزرگ علف هرز محدود کرد (Brown & Noble, 2005). مطالعات اولیه از تصاویر ارتفاع بالا برای تمایز علف‌های هرز

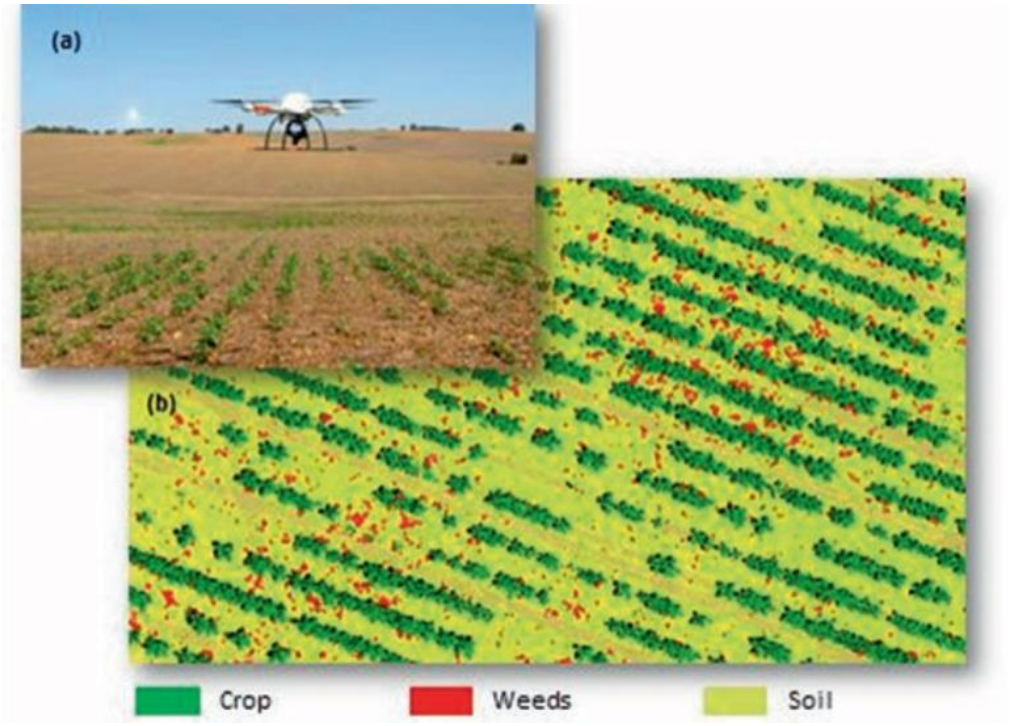
اواخر فصل در محصولات غلات و حبوبات، سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) استفاده کردند (Gómez-Candón *et al*., 2012a; De Castro *et al*., 2012, 2013; Gray *et al*., 2008; Peña-Barragán *et al*., 2007). با این حال اگرچه تیمارهای کنترل علف‌های هرز در اواخر مرحله (رشد) گیاه زراعی به طور کلی نامناسب یا بی اثر هستند، اما اگر لکه‌های علف‌های هرز در طول زمان از نظر فضایی پایدار باشند مانند یولاف وحشی زمستانه (*Avena sterilis* L.) (Barroso et al. 2004)، رازیانه دروغین (*Ridolfia segetum* (L.) Moris) (Peña-Barragán *et al*., 2007) و دم روباهی کشیده (*Alopecurus myosuroides* Huds.) (Lambert *et al*., 2017)، این نقشه‌های علف‌های هرز ممکن است برای کنترل علف‌های هرز در سال بعد مفید باشند. این نقشه‌های اواخر فصل ممکن است کاربردهای دیگری نیز داشته باشد، به عنوان مثال تهاجم‌های مربوط به علف هرز و عملکردهای گیاه زراعی (Gutiérrez *et al*., 2008; Peña-Barragán *et al*., 2010)، ارزیابی تاثیر یا کارایی تیمارهای کنترل علف هرز (Franco *et al*., 2017; Huang *et al*., 2018; Rasmussen *et al*., 2013) و مطالعه پویایی جمعیت علف هرز (Castillejo-González *et al*., 2019).

وضوح تصاویر از راه دور (به عنوان مثال اندازه پیکسل) یک پارامتر کلیدی برای موفقیت شناسایی و نقشه‌برداری علف‌های هرز است. Hengl (2006) در نظر گرفت که اندازه پیکسل باید حداقل یک چهارم عنصر هدف باشد (در این مورد بوته یا لکه علف هرز). در حال حاضر هواپیماهای بدون سرنشین عموما تصاویر از راه دور چند سانتیمتری و در برخی موارد کمتر از یک میلیمتر ارائه می‌دهند. این ویژگی اجازه شناسایی علف هرز را در مراحل بسیار اولیه گیاه زراعی و علف‌های هرز می‌دهد و دوره بحرانی برای تیمارهای علف هرز را فراهم می‌کند (Pflanz *et al*., 2018; Torres-Sánchez *et al*., 2013). تحقیقات متعددی قابلیت تصاویر مبتنی بر هواپیماهای بدون سرنشین را برای شناسایی علف‌های هرز در ذرت (*Zea mays* L.) (Castaldi *et al*., 2017; Gao *et al*., 2018; Peña *et al*., 2013; Pérez-Ortiz et al. 2016)، آفتابگردان (López-Granados *et al*., 2016; Pérez-Ortiz *et al*., 2015, 2016)، جو (*Hordeum vulgare* L.) (Jurado-Expósito *et al*., 2019; Rasmussen *et al*., 2013)، گندم (*Triticum aestivum* L.) (Franco *et al*., 2017; Rasmussen *et al*., 2013)، تاکستان (Jiménez-Brenes *et al*., 2019) و برنج (*Oryza sativa* L.) (Huang *et al*., 2018) نشان داده‌اند. نقشه‌های علف هرز با وضوح بالا می‌توانند با ترکیب تکنیک‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشینی پیشرفته (De Castro *et al*., 2018; Gao *et al*., 2018; Pérez-Ortiz *et al*., 2016; Pflanz *et al*., 2018)، تجزیه و تحلیل تصویری مبتنی بر شیء (OBIA)[1] تولید کنند (شکل ۱). این روش‌ها معمولا اطلاعات فضایی و طیفی هر گیاه را که قبلا به عنوان اشیاء درون تصاویر (به بخش‌های مختلف) تقسیم شده‌اند، یکپارچه می‌کنند. الگوریتم‌های طبقه‌بندی معمولا در محصولات ردیفی موثرتر هستند، جایی که موقعیت علف‌های هرز نسبت به ردیف گیاه زراعی به طور کلی یک عامل سرنوشت‌ساز است (Louargant *et al*., 2018; Peña *et al*., 2013).

برای انجام SSWM ، مرحله بعدی شامل تبدیل نقشه های علف هرز به نقشه های دستوری است. این نقشه ها مجموعه ای از شبکه ها با مقادیر متناسب با آلودگی علف هرز (پوشش علف هرز یا تراکم علف هرز) هستند. نقشه های دستوری همچنین اطلاعات اضافی در مورد مزرعه زراعی و توسعه گیاه زراعی ارائه می-دهند. این اطلاعات برای طراحی و اجرای DSS مهم است. Peña *et al*. (2013) روش OBIA را براساس نقشه علف هرز مبتنی بر هواپیماهای بدون سرنشین توسعه دادند. این روش طبق مقیاس فضایی مشاهده مزرعه ای متشکل از سه سطح از اطلاعات است. سطح بالا، اطلاعات جهانی مزرعه ای گیاه زراعی شامل ابعاد مزرعه، تعداد ردیف های گیاه زراعی، جهت گیری ردیف گیاه زراعی، متوسط تفکیک ردیف گیاه زراعی و کل مناطق عاری از علف هرز و آلوده به علف هرز شامل مساحت کلی سه گروه مختلف از پوشش علف هرز (کم، متوسط و زیاد) را فراهم می کند. سطح متوسط، اطلاعات تفصیلی مربوط به هر ردیف گیاه زراعی شامل شماره شناسایی، طول، عرض، مختصات دو نقطه متقابل و تعداد و گروه های شبکه های آلوده به علف هرز هر ردیف را فراهم می کند. در نهایت سطح پایین، اطلاعات دقیق مربوط به هر واحد شبکه شامل

1- Object-based image analysis (OBIA)

شماره شناسایی، مختصات، ابعاد، موقعیت نسبی درون ردیف گیاه زراعی، فاصله تا شروع و انتهای ردیف گیاه زراعی، درصد پوشش علف هرز و گروه پوشش علف های هرز شبکه را فراهم می کند.

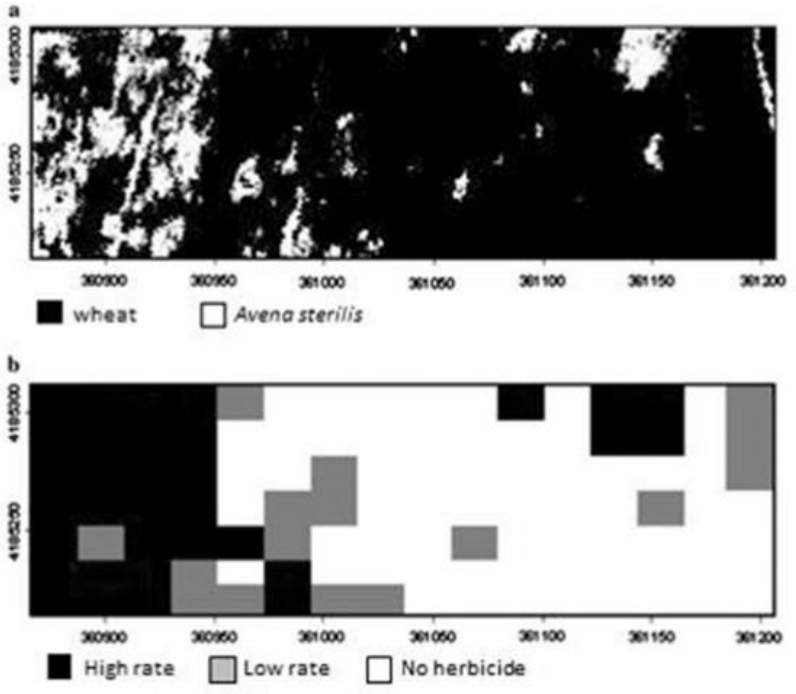


شکل ۱- (a) استفاده از هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) در حال پرواز در ارتفاع ۳۰ سانتیمتر بالای یک مزرعه آفتابگردان برای شناسایی آلودگی‌های علف‌های هرز، (b) تصویر طبقه‌بندی شده با کاربرد الگوریتم تجزیه و تحلیل تصویر مبتنی بر شیء آموزش دیده خودکار طبقه-بندی کننده تصادفی جنگل (RF-OBIA) (De Castro *et al*., 2018).

Figure 1. (a) Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) flying at 30 m altitude over a sunflower field to detect weed infestations. (b) Classified image by applying an auto-trained Random Forest classifier Object-Based Image Analysis (RF-OBIA) algorithm (De Castro *et al*., 2018).

برای توسعه یکDSS ، این مجموعه داده قادر به تخمین کل مساحتی می باشد که تیمار علف هرز نیاز دارد و بنابراین حجم علف-کش مورد نیاز قبل از کاربردش، بعلاوه مکان شبکه های آلوده به علف هرز، جهت گیری ردیف های گیاه زراعی و الگوی کلی مزرعه زراعی را محاسبه می کند که برای برنامه ریزی مسیرهای تیمار و بهینه سازی خط سیر تراکتور اساسی است (Gonzalez-de-Santos et al., 2016) . به طور کلی نقشه های دستوری طبق موقعیت هر شبکه و تصمیم گیری تیمار علف هرز (به عنوان مثال سم پاشی یا عدم سم پاشی) به دنبال یک استراتژی SSWM به سم پاش برای اجرای تیمار صادر می شوند. هدف نهایی کاهش مقدار علف کش در مقایسه با تیمار یکنواخت علف هرز است Castaldi et al. (2017). با کار بر روی محصول ذرت، نقشه های دستوری به ابعاد ۲×۲ متر را از تصاویر هواپیماهای بدون سرنشین طراحی کرده و صرفه جویی علف کش را بین ۱۴ تا ۳۹/۲ درصد برای سم پاشی لکه ای در مقایسه با کاربرد سراسری گزارش کردند. به هر حال صرفه جویی کلی علف کش بسته به سطح آلودگی علف هرز، معیارهای تعیین شده برای کاربرد علف کش و اندازه شبکه سم پاشی در نظر گرفته شده متفاوت خواهد بود. Gómez-Candón *et al*. (2012a, b) اثر این متغیرها در صرفه جویی علف کش را با استفاده از تصاویر هوایی برای نقشه برداری یولاف وحشی زمستانه در مزارع گندم ارزیابی کردند و گزارش کردند که صرفه جویی های علف کش از ۲۰ تا ۹۰ درصد به ترتیب برای آستانه های تیمار علف هرز صفر

و ۳۰ درصد پوشش علف هرز افزایش یافت (شکل ۲). این نویسندگان همچنین نشان دادند که اگر اندازه شبکه از ۶×۲۰ متر (به عنوان مثال برای کل سکوی سم پاش) به ۱/۵×۱/۲ متر (به عنوان مثال برای نازل های منفرد) کاهش یابد، کارایی تیمار (به اندازه) سه برابر افزایش می یابد. López-Granados *et al.* (2016) با استفاده از تصاویری از دو مزرعه آفتابگردان، تغییرپذیری نقشه های تیمار علف کش تولید شده از پهپاد را با استفاده از محدوده آستانه های علف هرز از صفر تا ۱۵ درصد مطالعه کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که سطح کل تیمار علف هرز از سطح حداکثر ۴۶ درصد در آستانه علف هرز صفر درصد به سطح حداقل ۳ درصد در آستانه علف هرز ۱۵ درصد کاهش یافت. این مطالعه همچنین اثر ارتفاع پرواز (به عنوان مثال وضوح فضایی تصویر) و نوع دوربین (به عنوان مثال RGB در برابر چند طیفی) در دقت نقشه های دستوری تحت تاثیر قرار گرفته توسط آستانه های مطالعه شده علف هرز را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که دوربین چند طیفی در تمام موارد از دوربین RGB بهتر بود و همچنین نتایج نشان داد که دقت مناسب (یعنی دقت سراسری بیشتر از ۸۵ درصد) از آستانه های علف هرز بالاتر ۲/۵ تا ۵ درصد به طور متوسط با هر دو دوربین به دست آمده بود. Huang *et al.* (2018) با استفاده از تصاویر مبتنی بر پهپاد در مزارع برنج برای تولید نقشه های دستوری، کمیت صرفه جویی های بالای علف کش را نیز بسته به آستانه تیمار مورد استفاده تعیین کردند که به ترتیب صرفه جویی هایی بین ۵۸ و ۷۱ درصد برای آستانه های پوشش علف هرز صفر تا ۲۵ درصد گزارش شد.



شکل ۲- استفاده از تصاویر هوایی برای طراحی کاربرد علف‌کش: (a) نمای تصویری NVDI از یک مزرعه گندم زمستانه آلوده به یولاف وحشی زمستانه (*Avena sterilis*). تصاویر اصلی RGB به دست آمده از هواپیمای در حال پرواز در ارتفاع ۱۵۰۰ متری. (b) نقشه دستوری علف‌کش با سه کلاس: مقادیر بالا هنگامی که پیکسل‌ها بیش از ۲۶ درصد آلوده شده‌اند، مقادیر پایین هنگامی که پیکسل‌ها ۱۱ تا ۲۶ درصد آلوده شده‌اند و بدون علف‌کش هنگامی که پیکسل‌ها کمتر از ۱۱ درصد آلوده شده‌اند (Gómez-Candón *et al.*, 2012a, b).

Figure 2. Using aerial images to design herbicide application: (a) NVDI image view of a winter wheat field infested with *Avena sterilis*. Original RGB images obtained from a plane flying at 1500 m altitude; (b) herbicide prescription map with three classes: high rates when >26% infested pixels, low rates when 11 to 26% infested pixels, and no herbicide when <11% infested pixels (Gómez-Candón *et al.*, 2012a, b).

استفاده از تصاویر سنجش زمینی برای تصمیم گیری آنلاین

کشاورزان به احتمال زیاد فناوری‌های تجسمی را که نیاز به کسب مهارت‌های اضافی ندارند (به عنوان مثال سم‌پاش‌های هوشمند آنلاین) نسبت به فناوری‌های فشرده اطلاعاتی که به مهارت‌های خاصی نیاز دارند (به عنوان مثال نقشه‌برداری علف هرز از تصاویر هوایی)، اتخاذ می‌کنند (Lutman & Miller, 2007; Griffin, 2016). داده‌های مورد نیاز برای تصمیم‌گیری آنلاین را می‌توان از انواع مختلف حسگرها یا دوربین‌ها به دست آورد.

ساده‌ترین دستگاه‌ها حسگرهای بازتاب طیفی هستند. این فناوری که در ابتدا توسط Felton & McCloy (1992) توسعه یافت، مبتنی بر این واقعیت است که منحنی طیفی گیاهان از بازتاب خاک تفاوت‌های قابل توجهی دارد. در نتیجه اگر این حسگرها در مناطق عاری از گیاه زراعی (به عنوان مثال بین ردیف‌ها، خطوط تراموا، زمین‌های آیش) قرار بگیرند، تصمیم‌گیری ساده است و می توان در عرض چند ثانیه گرفت: کلیه اشیاء سبز شناسایی شده علف‌های هرز هستند و باید سم‌پاشی شوند. این اصل در گذشته به طور گسترده برای سم‌پاشی لکه‌ای زمان واقعی علف‌کش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (Felton & Mccloy, 1992; Dammer & Wartenberg, 2007; Dammer, 2016). با این حال از آنجا که گیاهان زراعی و علف‌های هرز را نمی‌توان با این حسگرها تشخیص داد، این روش محدودیت‌های مهمی دارد.

بوته‌های علف هرز را می‌توان با استفاده از سه فرایند متوالی از سایر عناصر در تصویر (خاک، گیاه زراعی) تشخیص داد (Fernandez-Quintanilla *et al*., 2018):

۱- تقسیم‌بندی تصویر اصلی، تصویرهای به دست آمده با پیکسل‌های سفید نشان‌دهنده پوشش گیاه و پیکسل‌های سیاه که خاک را به تصویر می‌کشند.

۲- شناسایی مناطق مربوط به ردیف‌های گیاه زراعی، تعیین کمیت پوشش گیاه زراعی و حذف این پیکسل‌ها.

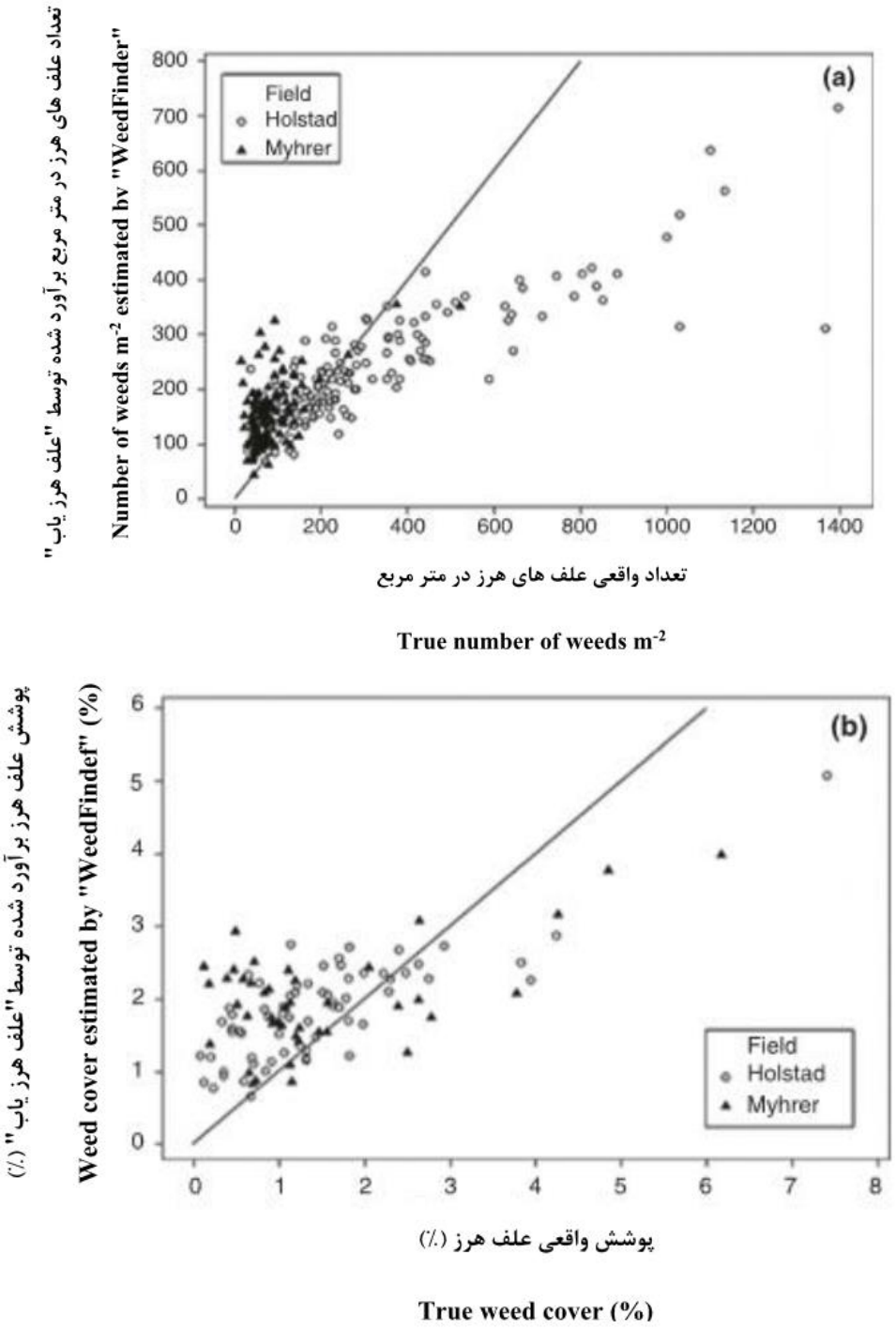
۳- برآورد پوشش علف هرز پس از بهبود تصویر با فیلتر کردن صدا (نویز) و خطاهای مراحل قبلی.

اکنون پرکاربردترین تکنیک برای تشخیص گیاه زراعی-علف هرز براساس تصویربرداری با حسگرهای حساس در محدوده نور مرئی (Peteinatos *et al*., 2014) است. دوربین‌های نسبتا کم هزینه و با کارکرد آسان RGB می‌توانند تصاویری با وضوح فضایی مناسب به دست آورند تا اجازه شناسایی گونه‌های گیاهی را براساس موقعیت، شکل، رنگ و ویژگی‌های بافت آنها بدهند. استفاده از تصاویر فراطیفی گران قیمت ممکن است منجر به پیشرفت‌های چشمگیری در این روند شود. با تلفیق این تصاویر با روش یادگیری ماشینی می‌توان به سطوح تشخیص بالایی برای شناخت گیاه زراعی در برابر علف هرز دست یافت (Zhang & Slaughter, 2011; Zhang *et al*., 2012a).

به منظور تشخیص گونه‌های گیاهی منفرد می‌توان با استفاده از اثرات طیفی آنها یا ویژگی‌های خاص شکل آنها، مجموعه داده‌های تصویری برای تمام گونه‌های مورد علاقه ایجاد کرد (Gerhards & Oebel, 2006; Weis & Gerhards, 2007; López-Granados *et al*., 2008). Berge *et al*. (2008) از یک الگوریتم شیءگرا ("علف هرز یاب") برای تشخیص خودکار (اتوماتیک) علف‌های هرز پهن برگ در غلات استفاده کردند. نتایج به دست آمده در دو مزرعه آزمایشی نشان داد که برآوردها توسط برنامه و مقادیر واقعی مربوط به تراکم کل علف‌های هرز پهن برگ همبستگی مثبت داشتند، اما از رابطه ۱:۱ پراکندگی و اختلاف وجود داشت (شکل ۳).

اخیرا مدل‌سازی سه بعدی برای خصوصیت ریخت‌شناسی بوته‌های علف هرز پیشنهاد شده است (Andújar *et al*., 2018). این تکنیک‌ها می‌توانند بر مبنای تصاویر مرئی (Arvidsson *et al*., 2011)، نور ساختار یافته (Nguyen *et al*., 2015)، طیف سنجی (Gutierrez *et al*., 2016) و تصاویر حرارتی (Ludovisi *et al*., 2017) و غیره باشند.

به منظور انجام SSWM علاوه بر سیستم سنجش علف هرز، لازم است یک DSS مدیریت علف هرز اجرا گردد و یک دستگاه دقیق کنترل علف هرز مانند بوم سم‌پاش دارای اجزاء یا نازل‌های بوم مستقل یا یک محرک دقیق حذف علف هرز داشت (Christensen *et al*., 2009; Fennimore *et al*., 2016).



شکل ۳- مقادیر واقعی در برابر مقادیر برآورد شده "علف هرز یاب" از (a) کل ترکم علف‌های هرز پهن برگ و (b) کل پوشش علف‌های هرز پهن برگ در دو مزرعه گندم (Berge *et al*., 2008).

Figure 3. True values versus "WeedFinder" estimated values of (a) total broad-leaved weed density and (b) total broad-leaved weed cover in two wheat fields (Myhrer and Holstad) (Berge *et al*., 2008).

طبق یک رویکرد نسبتا ساده، هنگامی که برآورد کل پوشش علف هرز در یک منطقه معین بیشتر از آستانه‌های تجربی تعیین شده باشد، محرک کنترل علف هرز چه شیمیایی و چه فیزیکی، به طور خودکار آغاز خواهد شد. با این حال و با توجه به زمان پردازش نسبتا طولانی تمام این فرایندها، این روش دارای برخی محدودیت‌هایی است که برای تحریک آنلاین استفاده می‌شود. علاوه بر این برخی جنبه‌ها مانند همپوشانی برگ یا کمی‌سازی زیست توده گیاه هنوز به تحقیقات بیشتری نیاز دارند.

قدرتمندترین روش که قادر به تشخیص قوی و خودکار گونه‌های گیاهی در مزرعه می‌باشد براساس تصویربرداری فراطیفی است. این اصل در محصولات مختلف باغی برای کنترل خودکار علف‌های هرز مورد استفاده قرار گرفته است (Zhang *et al*., 2012b; Fennimore *et al*., 2016). برای ترجمه نقشه‌های علف هرز به نقشه‌های کنترل سم پاشی، طبقه‌بندی شیء غالب (علف هرز، گیاه زراعی، خاک) در هر منطقه از تصویر فراطیفی، تصمیم سم‌پاشی برای آن منطقه را تعیین می‌کند.

در حال حاضر استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی جایگزین برخی از تحولات دهه گذشته شده است. مفهوم جامعی است و بسیاری از فرایندهای یادگیری ماشینی می‌توانند ابزارهای جدیدی را برای شناسایی آنلاین علف هرز از طریق پردازش تصویر فراهم کنند (Liakos *et al*., 2018; Yu *et al*., 2019). این الگوریتم‌های تجزیه و تحلیل سریع را می‌توان در رابطه با سم‌پاش‌های هوشمند به خصوص برای کاربرد مکان علف‌کش‌ها با دقت مورد استفاده قرار داد. ابتکارات متنوع تجاری با استفاده از سخت افزار، نرم افزار و هوش مصنوعی پیشرو، در حال حاضر تجهیزاتی را به وجود آورده‌اند که قادر به شناسایی علف‌های هرز و تصمیم‌گیری در مورد اقدام و عمل فوری هستند. Blue River Technology، یک شرکت نوپا (استارت آپ)، دید رایانه‌ای و یادگیری ماشینی را برای شناسایی گونه‌های گیاهی-هم گیاهان زراعی و هم علف های هرز-بادقت بالا مورد استفاده قرار داد و سپس الگوریتم‌های هوش مصنوعی را برای تصمیمات سم‌پاشی بر روی لکه ایجاد کرد (Liakos *et al*., 2018).

نتیجه گیری

مدیریت مکان خاص علف‌های هرز شامل طیف گسترده‌ای از روش‌ها برای کسب و تجزیه و تحلیل اطلاعات است. براساس مطالب ذکر شده، محدودیت‌های اصلی برای SSWM عملیاتی را می‌توان در چهار نکته خلاصه کرد: (۱) الزامات آموزشی کاربران نهایی برای یادگیری پیشرفت‌های جدید فناوری و عدم سازگاری بین ماشین‌آلات فعلی و جدید و بین ماشین‌آلات از تولیدکنندگان مختلف، (۲) هزینه بالای فناوری، (۳) استفاده از تصاویر سنجش از دور که آلودگی‌های مقیاس وسیع را برای ایجاد نقشه‌های به موقع (زودرس یا دیررس) و دقیق علف‌های هرز، پوشش می‌دهد و (۴) استفاده از ربات‌هایی که معمولا باید تحت طیف گسترده‌ای از محیط‌های متغیر کار کنند.

راه حل‌های ممکن برای این محدودیت‌ها ممکن است شامل موارد زیر باشند: (۱) توسعه و اجرای استانداردهای یکنواخت و ارزان‌تر که ممکن است در صورت افزایش رقابت بین شرکت‌ها رخ دهند، (۲) ارائه خدمات مشاوره‌ای که پشتیبانی فنی، دانش زراعی و دوره‌های آموزشی خاص را فراهم می‌کند، (۳) تحقیقات بیشتر در مورد پهپاد و تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا و (۴) توانمندسازی نمونه‌های اولیه (پیش نمونه) جدید یا بهبود نمونه‌های اولیه فعلی وجین رباتیک در درون محصولات تجاری.

در نتیجه این نقاط عطف مهم می‌توانند به یک حسگر دقیق و کم هزینه برای شناسایی یا نقشه‌برداری علف‌های هرز در یک خودرو رباتیک خودمختار و ایمن منجر شوند. این خودرو قابلیت‌های تصمیم‌گیری قدرتمندی دارد و به نازل‌های سم‌پاشی جداگانه برای SSWM و استفاده از تصاویر ماهواره یا پهپاد با وضوح بالا مجهز می‌شود که در آن می‌توان یک الگوریتم با کارایی بالا را در تجزیه و تحلیل تصویر برای نقشه‌برداری دقیق علف هرز و گیاه زراعی گنجانید.

منابع

Andújar, D., Calle, M. & Fernández-Quintanilla, C. 2018. Three-dimensional modeling of weed plants using low-cost photogrammetry. *Sensors*, 18: 1077.

Arvidsson, S., Perez-Rodriguez, P. & Mueller-Roeber, B. 2011. A growth phenotyping pipeline for Arabidopsis thaliana integrating image analysis and rosette area modeling for robust quantification of genotype effects. *New Phytologist*, 191: 895–907.

Barroso, J., Fernàndez-Quintanilla, C. & Ruiz, D. 2004. Spatial stability of Avena sterilis ssp. ludoviciana populations under annual applications of low rates of imazamethabenz. Weed Research, 44: 178–186.

Berge, T., Aastveit, A. & Fykse, H. 2008. Evaluation of an algorithm for automatic detection of broad-leaved weeds in spring cereals. Precision Agriculture, 9: 391–405.

Brown, R. B. & Noble, S. D. 2005. Site-specific weed management: sensing requirements-what do we need to see? *Weed Science*, 53: 252–258.

Castaldi, P. F. & Pascucci, S. 2017. Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize. *Precision Agriculture*, 18: 76–94.

Castillejo-González, I. L., De Castro, A. I. & Jurado-Expósito, M. 2019. Assessment of the persistence of Avena sterilis l. patches in wheat fields for site-specific sustainable management. Agronomy, 9: 30.

Christensen, S., Heisel, T. & Walter, A. M. 2003. A decision algorithm for patch spraying. *Weed Research*, 43:276–284

Christensen, S., Sogaard, H. T. & Kudsk, P. 2009. Site-specific weed control technologies. *Weed Research*, 49:233–24

De Castro, A. I., Jurado-Expósito, M. & Peña-Barragán, J. M. 2012. Airborne multi-spectral imagery for mapping cruciferous weeds in cereal and legume crops. *Precision Agriculture*, 13: 302–321.

De Castro, A. I., López Granados, F. & Gómez-Candón, D. 2013. *In-season site-specific control of cruciferous weeds at broad-scale using quickbird imagery*. in: 9th European Conference on Precision Agriculture (9th ECPA). Lleida, Spain, Universidad de Lleida.

De Castro, A. I., Torres-Sánchez, J. & Peña, J. M. 2018. An automatic random forest-OBIA algorithm for early weed mapping between and within crop rows using UAV imagery. *Remote Sensing*, 10: 285.

Dammer, K. H. 2016. Real-time variable-rate herbicide application for weed control in carrots. Weed Research, 56:237–246.

Dammer, K. H. & Wartenberg, G. 2007. Sensor-based weed detection and application of variable herbicide rates in real time. *Crop Protection*, 26: 270–277.

Felton, W. L. & Mccloy, K. R. 1992. Spot spraying. *Agricultural Engineering*, 73: 9–12.

Fennimore, S. A., Slaughter, D. C. & Siemens, M. C. 2016. Technology for automation of weed control in speciality crops. *Weed Technology*, 30: 823–837.

Fernandez-Quintanilla, C., Dorado, J. & San Martin, C. 2011. A five-step approach for planning a robotic site-specific weed management program for winter wheat. In: Gonzalez-de-Santos P, Rabatel G (eds) RHEA-2011. Robotics and associated high-technologies and equipment for agriculture, Montpellier, pp 3–12.

Fernandez-Quintanilla, C., Dorado, J. & Andujar, D. 2018. Is the current state of the art of weed monitoring suitable for site-specific weed management in arable crops? *Weed Research*, 58: 259–272.

Franco, C., Pedersen, S. M. & Papaharalampos, H. 2017. The value of precision for image-based decision support in weed management. *Precision Agriculture*, 18: 366–382.

Gao, J., Liao, W. & Nuyttens, D. 2018. Fusion of pixel and object-based features for weed mapping using unmanned aerial vehicle imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 67: 43–53.

Gerhards, R. & Oebel, H. 2006. Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. *Weed Research*, 46: 185–193.

Gómez-Candón, D., López-Granados, F. & Caballero-Novella, J. 2012a. Sectioning remote imagery for characterization of *Avena sterilis* infestations. Part A: Weed abundance. *Precision Agriculture*, 13: 322–336.

Gómez-Candón, D., López-Granados, F. & Caballero-Novella, J. 2012b. Sectioning remote imagery for characterization of *Avena sterilis* infestations. Part B: Efficiency and economics of control. *Precision Agriculture*, 13: 337–350.

Gonzalez-de-Santos, P., Ribeiro, A. & Fernandez-Quintanilla, C. 2016. Fleets of robots for environmentally-safe pest control in agriculture. *Precision Agriculture*, 17: 1–41.

Gray, C. J., Shaw, D. R. & Gerard, D. 2008. Utility of multispectral imagery for soybean and weed species differentiation. *Weed Technology*, 22: 713–718.

Griffin, T. W. 2016. *Adoption of precision agricultural technology in Kansas. Kansas State University*. Department of Agricultural Economics Extension. Publication. KFMA Research Article KSU-AgEcon-TG-2016.

Gutiérrez, P. A., López-Granados, F. & Peña-Barragán, J. M. 2008. Mapping sunflower yield as affected by *Ridolfia segetum* patches and elevation by applying evolutionary product unit neural networks to remote sensed data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 60: 122–132.

Gutiérrez, S., Tardaguila, J., Fernández-Novales, J. & Diago, M. P. 2016. Data Mining and NIR Spectroscopy in Viticulture: Applications for Plant Phenotyping under Field Conditions. Sensors, 16: 236.

Gutjar, C. & Gerhards, R. 2010. *Decision rules for site-specific weed management*. In: Oerke EC et al (eds) Precision crop protection—the challenge and use of heterogeneity. Springer Science+Business Media, Berlin, pp 223–239.

Hengl, T. 2006. Finding the right pixel size. *Computers and Geosciences*, 32: 1283–1298.

Huang, H., Deng, J. & Lan, Y. 2018. Accurate weed mapping and prescription map generation based on fully convolutional networks using UAV imagery. *Sensors*, 18: 3299.

Jiménez-Brenes, F. M., López-Granados, F. & Torres-Sánchez, J. 2019. Automatic UAV-based detection of Cynodon dactylon for site-specific vineyard management. PLOS ONE, 14:e0218132.

Jurado-Expósito, M., De Castro, A. I., Torres-Sánchez, J., Jiménez-Brenes, F. M. & López-Granados, F. 2019. *Papaver rhoeas* L. mapping with cokriging using UAV imagery. *Precision Agriculture*, 20: 1045–1067.

Lambert, J. P. T., Hicks, H. L. & Childs, D. Z. 2017. Evaluating the potential of unmanned aerial systems for mapping weeds at field scales: a case study with *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research*, 58: 35–45.

Liakos, K., Busato, P. & Moshou, D. 2018. Machine learning in agriculture: a review. *Sensors*, 18: 2674.

López-Granados, F., Peña-Barragan, J. M. & Jurado-Exposito, M. 2008. Multispectral classification of grass weeds and wheat (*Triticum durum*) using linear and nonparametric functional discriminant analysis and neural networks. *Weed Research*, 48: 28–37.

López-Granados, F., Torres-Sánchez, J. & Serrano-Pérez, A. 2016. Early season weed mapping in sunflower using UAV technology: variability of herbicide treatment maps against weed thresh- olds. Precision Agriculture, 17: 183–199.

Louargant, M., Jones, G. & Faroux, R. 2018. Unsupervised classification algorithm for early weed detection in row-crops by combining spatial and spectral information. Remote Sensing, 10: 761.

Ludovisi, R., Tauro, F. & Salvati, R. 2017. UAV-based thermal imaging for high-throughput field phenotyping of black poplar response to drought. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1681.

Lutman, P. J. W. & Miller, P. C. H. 2007. Spatially variable herbicide application technology; opportunities for herbicide minimisation and protection of beneficial weeds. Research Review No. 62, Home-Grown Cereals Authority (HGCA), UK.

Neeser, C., Dille, J. A. & Krishnan, G. 2004. WeedSOFT®: a weed management decision support system. *Weed Science*, 52: 115–122.

Nguyen, T., Slaughter, D. & Max, N. 2015. Structured Light-Based 3D Reconstruction System for Plants. *Sensors* (*Basel, Switzerland*), 15: 18587–612.

Parsons, D. J., Benjamin, L. & Clarke, J. 2009 Weed manager—a model-based decision support system for weed management in arable crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65: 155–167.
Peña, J. M., Torres-Sánchez, J. & De Castro, A. I. 2013. Weed mapping in early-season maize fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. PLOS ONE, 8:e77151.
Peña-Barragán, J. M., López-Granados, F. & Jurado-Expósito, M. 2007. Mapping *Ridolfia segetum* patches in sunflower crop using remote sensing. *Weed Research*, 47:164–172.
Peña-Barragán, J. M., López-Granados, F. & Jurado-Expósito, M. 2010. Sunflower yield related to multi-temporal aerial photography, land elevation and weed infestation. *Precision Agriculture*, 11: 568–585.
Pérez-Ortiz, M., Peña, J. M. & Gutiérrez, P. A. 2015. A semi-supervised system for weed mapping in sunflower crops using unmanned aerial vehicles and a crop row detection method. *Applied Soft Computing*, 37: 533–544.
Pérez-Ortiz, M., Peña, J. M. & Gutiérrez, P. A. 2016. Selecting patterns and features for between-and within- crop-row weed mapping using UAV-imagery. Expert Systems with Applications, 47: 85–94.
Peteinatos, G., Weis, M. & Andujar, D. 2014. Potential use of ground-based sensor technologies for weed detection. *Pest Management Science*, 70: 190–199.
Pflanz, M., Nordmeyer, H. & Schirrmann, M. 2018. Weed mapping with UAS imagery and a bag of visual words based image classifier. *Remote Sensing*, 10: 1530.
Rasmussen, J., Nielsen, J. & Garcia-Ruiz, F. 2013. Potential uses of small unmanned aircraft systems UAS in weed research. *Weed Research*, 53: 242–248.
Rydahl, P., Berti, A. & Munier-Jolain, N. 2008. 24-Decision support systems (DSS) for weed control in Europe–state-of-the-art and identification of ‘best parts’ for unification on a European level. https://www.researchgate.net/publication/228431432_O_24.
Sønderskov, M., Rydahl, P. & Bøjer, O. M. 2016. Crop protection online-weeds: a case study for agricultural decision support systems. In: Papathanasiou J, Ploskas N, Linden I (eds) Real-world decision support systems. *Integrated Series in Information Systems, Springer International, Berlin*, 37: 303–320.
Torres-Sánchez, J., López-Granados, F. & De Castro, A. I. 2013. Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle (UAV) for early site specific weed management. *PLOS ONE*, 8:e58210.
Weis, M. & Gerhards, R. 2007. Feature extraction for the identification of weed species in digital images for the purpose of site-specific weed control. In: Stafford JV (ed) Precision agriculture. Wageningen Academic, Wageningen, pp 537–545.
Yost, M. A., Sudduth, K. A. & Walthall, C. L. 2019. Public-private collaboration toward research, education and innovation opportunities in precision agriculture. Precision Agriculture, 20: 4–18.
Yu, J., Sharpe, S. M. & Schumann, A. W. 2019. Deep learning for image-based weed detection in turfgrass. *European Journal of Agronomy*, 104: 78–84.
Zhang, Y. & Slaughter, D. C. 2011. Hyperspectral species mapping for automatic weed control in tomato under thermal environmental stress. *Computers and Electronics in Agriculture*, 77: 95–104.
Zhang, Y., Slaughter, D. C. & Staab, E. S. 2012a. Robust hyperspectral vision-based classification for multi-season weed mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 69: 65–73.
Zhang, Y., Staab, E. S. & Slaughter, D. C. 2012b. Automated weed control in organic row crops using hyperspectral species identification and thermal micro-dosing. *Crop Protection*, 41: 96–105.

Journal of Novel Researches on Plant Protection
(Islamic Azad University, Shiraz Branch)
2021 – **10** (**2**): 123-136

An overview of site-specific based models of weeds

(Review Article)

Rahman Khakzad *, Rasoul Loghmanpour Zarini, Yosef Ramezani Abokheyli, Heydar Ghasemi Zarin Abadi

Department of Agronomy, Agriculture College of Sari, Technical Vocational University, Sari, Mazandaran, Iran
(*) rahman.khakzad@yahoo.com

Abstract

Site-specific weed management (SSWM) is a strategy of varying weed management within a crop field to match the variation in location, density and composition of the weed population. This concept is based on three facts: 1) weed populations are often irregularly distributed within crop fields, 2) new sensors and platforms together with geospatial technologies (e.g., GPS, GIS) have provided the tools required to detect and map weeds, and 3) new smart sprayers, robots and mechanical cultivators have provided the possibility of careful tailoring of weed management to fit the different conditions found in each field. Site-specific weed management has a real potential to deliver a more productive and sustainable agricultural production based on a more precise and resource-efficient approach. This paper reviews the major conceptual approaches and specifications for the design of site-specific weed management decision support systems (SSWM-DSS), recent advances in the use of remote and ground platforms and sensors for information gathering and processing, and initial experiences translating this information into chemical and physical weed control actuations through decision algorithms and models.

Keywords: Decision algorithms, sensors, smart sprayers, sustainable agricultural, weed population.