یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

مروری بر روش‌های کنترل هدفمند علف‌های هرز

ولی رسولی‌شربیانی[۱]، رضا رسول‌زاده[۲] ابراهیم تقی نژاد[۳]

[۱] استادیار دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی vrasooli@uma.ac.ir

[۲]دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی Reza.Rasoulzadeh97@gmail.com

[۳] استادیار دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان e.taghinezhad@gmail.com

چکیده

علف‌های هرز گیاهانی هستند که در استفاده از نور و مواد معدنی با گیاه اصلی رقابت می‌کنند. برای کنترل این گیاهان از علف-کش‌های شیمیایی استفاده می‌شود که باعث آلودگی زمین و آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌گردد. علف‌های هرز در مزرعه به صورت یکنواخت رشد نمی‌کنند و اغلب به صورت توده‌ای و در قسمت‌های مختلف مزرعه پراکنده می‌شوند. با این‌حال علف‌کش‌ها به صورت یکنواخت در سطح مزرعه استفاده شده که در اینصورت مازاد مصرف ایجاد خواهد شد. برای تشخیص موقعیت علف‌های هرز دو روش کارآمدتر وجود دارد: استفاده از سیستم بینایی سنجی که با استفاده از پردازش تصویر موقعیت علف‌های هرز را مشخص می‌کند و استفاده از تکنولوژی GPS و DGPS که مختصات توده‌علف‌های هرز را مشخص خواهد کرد. داده‌های بدست آمده از این روش‌ها به سیستم کنترل سمپاشی ارسال شده و با استفاده از سیستم سمپاشی دقیق، کنترل علف‌های هرز صورت می‌گیرد. استفاده از این روش مقدار علف‌کش مصرفی را ۱۲ تا ۷۳درصد کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی: کنترل علف‌های‌هرز ، علف‌کش‌ها، سمپاشی

A Review of targeted methods for weed control

Vali Rasooli Sharabiani [1*]; Reza Rasoulzadeh [2]; Ebrahim Taghinezhad [3]

[1]Assistant Professor, College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

[2]Student of Agricultural Mechanization Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

[3]Assistant Professor, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

* Corresponding Author, Email: vrasooli@uma.ac.ir

ABSTRACT

Weeds are plants that compete with main plant in using of light and mineral substances. To control these weeds, chemical herbicides are used that cause pollution of the earth and surface water and underground water. Weeds do not grow uniformly in the field and are often distributed in mass and in different parts of the field; however, the herbicides are used uniformly at the field that cause the additional consumption. For determination of weed locations there are two more efficient methods: Using of machine vision system that determines the position of weeds by image processing and another one, using GPS and DGPS that specifies the coordinates of weeds. The obtained data from these methods are sent to the spray control system and weed control is carried out using of the precision spraying system. Using these methods decrease the value of herbicides in the range of 12-73%.

Keywords: Weed Control, Herbicides, Spraying

۱- ولی رسولی شربیانی، نشانی: اردبیل، خیابان دانشگاه، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی بیوسیستم تلفن: ۰۹۱۴۴۵۱۹۰۸۹، Email: vrasooli@uma.ac.ir

۱- مقدمه

فلسفه کشاورزی دقیق، استفاده از منابع موجود برای تولید محصول شامل، علف‌کش‌ها حشره‌کش‌ها و کودها متناسب با نیازهای محلی مزرعه و در پاسخ به تغییرات محصول، خاک و آفات است. علف‌های هرز در استفاده از نور، آب و مواد معدنی با گیاه اصلی رقابت می‌کنند و به عنوان یکی از عوامل اصلی کاهش میزان تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شوند. (Cardina and Doohan 2000).

مطالعات نشان می‌دهد که علف‌های هرز تأثیر بسزایی در کاهش عملکرد محصول اصلی دارند. (Monaco et al 1981) کنترل علف‌های هرز یک مسئله مهم در تولید محصولات کشاورزی است که با چالش‌هایی روبرو بوده و است؛ ازجمله اینکه علف‌کش‌ها به‌صورت منظم و یکنواخت در سطح مزرعه پخش می‌شوند درحالی‌که علف‌های هرز به‌صورت نامنظم، به‌صورت توده‌ای و در قسمت‌های مختلف مزرعه رشد می‌کنند (Thornton et al 1990; Mortensen et al 1995; Godwin and Miller 2003).

توزیع نامنظم علف‌های هرز نشان می‌دهد که بعضی نقاط از مزرعه عاری از علف‌های هرز هستند. مارشال(1988) در بررسی تأثیر شدت نمونه‌گیری در تخمین جمعیت علف‌های هرز گزارش داد که از ۲۴,۴٪ تا ۷۹,۶٪ از نواحی بررسی‌شده عاری از علف هرز بوده و در برخی موارد جمعیت علف‌های هرز در بسیاری از نواحی مزرعه به‌اندازه‌ای نیست که اقدامی لازم شود یا به‌اصطلاح توجیه اقتصادی ندارد. (Cardina and Doohan 2000) در این صورت به‌کار بردن منظم و یکنواخت علف‌کش‌ها در مزرعه‌ای که علف‌های هرز به‌صورت یکنواخت پخش نشده است، باعث اعمال بیش‌ازحد علف‌کش‌ها در مناطقی که علف‌های هرز در آن کم‌اند یا بدون علف هرز هستند می‌شوند که باعث اثرات زیست‌محیطی مانند آلودگی خاک و آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. (Nordmeyer et al 1997)

استفاده از این علف‌کش‌ها در مناطق متعدد، باعث افزایش غلظت این مواد در آب‌های زیرزمینی و سطحی شده و باعث شده که غلظت آن از سطح فدرال بالاتر رود. (Mark and Ward 1993) پس استفاده از این علف‌کش‌ها فقط در نواحی آلوده به علف‌های هرز کارایی این علف‌کش‌ها را افزایش داده، مشکلات زیست‌محیطی حاصل از این مواد شیمیایی را کاهش و درآمد کشاورز را افزایش می‌دهد. کاربرد هدفمند علف‌کش‌ها در توده‌های علف هرز که به‌عنوان سمپاشی پراکنده شناخته می‌شود، پتانسیل کاهش استفاده از علف‌کش‌ها را دارد که هم مزیت‌های اقتصادی و هم زیست‌محیطی را به دنبال دارد. (Lutman et al 1998)

توسعه فناوری اطلاعات (IT)، سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) این امکان را می‌دهد که از علف‌کش‌ها به صورت بهینه استفاده شود. برای این منظور دو روش وجود دارد : روشی که بر پایه نقشه جغرافیایی است و روشی که بر پایه سنسور می‌باشد. در روش اول از نقشه الکترونیکی و سیستم GIS و GPS استفاده می‌شود و در روش دوم از سیستم‌های سنجش در لحظه که به صورت الکترونیکی و با استفاده از دوربین و سنسور علف‌های هرز را تشخصی می‌دهند. استفاده از این روش‌ها، نقش بسزایی در کاهش استفاده از علف‌کش‌ها دارد.

تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام شده است که با استفاده از سیستم بینایی سنجی و نقشه الکترونیکی، استفاده از مواد شیمیایی را کاهش دهند که باعث کاهش هزینه و آسیب‌های زیست محیطی شده است. سیستم‌های بینایی می‌توانند هم گیاهان (علف هرز یا گیاه اصلی) را تشخصی داده و فقط روی علف هرز، علف‌کش را اسپری کنند (Shearer and Jones 1991).

(Michio Kise and Qinzhang 2008) سیستم بینایی سنجی ۳بعدی برای هدایت اتوماتیک تراکتور در مزرعه توسعه دادند که توانایی تشخیص حجم و ارتفاع گیاهان در مزرعه را داشت. همچنین داوود محمدزمانی و همکاران (۲۰۰۹) توانستند با استفاده از GIS و به کارگیری سامانه سمپاشی میزان متغیر (VRA)، به طور متوسط ۱۳درصد در مصرف علف‌کش صرفه جویی کنند. جرارد و همکاران(۲۰۰۲) توانستند با استفاده از سیستم بینایی سنجی و GIS نقشه‌ای برای پراکندگی علف‌های هرز تهیه کردند که نقاط بحرانی جمعیت علف‌های هرز در مزرعه را مشخص می کرد. از این نوع نقشه و سیستم GIS و GPS نقشه مناطق نیاز به علف‌کش تهیه شده و در علف‌کش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. علف‌کش دو حال خاموش و روشن داشت که در نقاط علامت‌گذاری شده روی نقشه حالت روشن و در بقیه نقاط خاموش می‌شد (Carroll and Holden 2005).

از آنجایی که مقابله با علف‌های هرز به صورت دستی کار بسیار دشواری است و استفاده از علف‌کش‌ها به صورت یکنواخت در سطح مزرعه معایب بسیاری همچون موارد ذکر شده دارد نیاز به یک روش کارآمد و مکانیزه برای کنترل این علف‌های هرز با حداکثر راندمان و حداقل مصرف مواد شیمیایی احساس می‌شود. هدف این مقاله، مروری بر روش‌های کارآمدتر در زمینه کنترل علف‌های هرز شامل تشخیص این گیاهان به صورت هوشمند و مقابله به صورت مکانیزه است.

۲- تشخیص علف‌های هرز ردیف‌های کشت با استفاده از پردازش تصویر

تصویر در فضای RGB گرفته شده و با استفاده از روش فیلتر کردن (Median, Mean, Average)، نویز تصویر حذف می‌شود. سپس با تبدیل تصویر به فضای رنگ HSV ارتقاء داده می‌شود. در ادامه، ارتقاء بیشتر با استفاد از الگوریتم Otsu انجام می‌شود و در نهایت از الگوریتم جداسازی برای تفکیک محصول از علف‌های هرز استفاده می‌شود.

۲-۱- گرفتن تصویر و پیش‌پردازش

ورودی تصویر که از دوربین نصب شده روی تراکتور گرفته می‌شود با استفاده از روش‌های فیلتر تصویر که ذکر شد، نویزهایی مانند روشنایی، خاک و... حذف شده و آماده ارتقاء می‌شود.

۲-۲- ارتقاء تصویر :

با اینکه رنگ گیاهان معمولاً سبز است، اما شرایط مختلف مانند، تغییرات آب و هوا، مواد مغذی، تغییر فصل و ... ممکن است باعث تغییر رنگ گیاه شوند؛ پس استفاده از ویژگی‌های رنگ گیاه برای تفکیک قابل اطمینان نخواهد بود. بنابراین اطلاعات رنگ نادیده گرفته شده و گیاهان مختلف با تصویر خاکستری از برگ شناسایی می‌شوند. در نتیجه فقط مؤلفه‌ی سبز برای هر پیکسل از تصویر رنگی محاسبه می‌شود. تکنیک جداسازی به صورت زیر خواهد بود :

- HSV : مخفف واریانس اشباع رنگ که یک تابع است تا تنها مؤلفه رنگ سبز را پس از تبدیل تمام تصویر RGB به HSV به دست‌آورد.
- الگوریتم Ostu : این روش از روش جستجوی جامع برای انتخاب یک آستانه استفاده می‌کند که واریانس بین کلاس را برای تقسیم بندی تصویر به حداکثر می‌رساند. عملکرد تابع خاکستری از روش Ostu استفاده می‌کند که آستانه را برای به حداقل رساندن واریانس داخل کلاس پیکسل‌های سیاه و سفید انتخاب می‌کند. تابع خالی خاکستری هر قسمت تخریب غیر صفر تصویر را نادیده می‌گیرد.
- تابع Imfill عمل پرکردن سیل را در پیکسل‌های پس زمینه تصویر باینری ورودی انجام می‌دهد که از نقاط مشخص شده شروع می‌شود. در اینجا حفره‌هایی را در تصویر باینری ورودی پر می‌شود چون از طریق لبه تصویر نمی‌توان با پرشدن در پس‌زمینه به آن دسترسی پیدا کرد.
- تابع Bwconncomp اجزای رنگ موجود در تصویر باینری را باز می‌کند که از یک اتصال پیش فرض ۸ برای دو بعد، ۲۶ برای سه بعد و یک تابع متفاوت برای ابعاد بالاتر استفاده می‌کند. پس از اعمال این توابع، ماتریس مولفه متصل ایجاد شده و تصویر به RGB تبدیل می‌شود.

۲-۳- جداسازی تصویر

ابتدا تکنیک‌های فیلترینگ را اعمال می‌شود و دوباره تصویر به RGB تبدیل می‌شود تا مکمل تصویر را بدست آید. حالا bwareafilt2 که بزرگترین کوچک‌ترین تصویر، که پردازش شده را استخراج شده اعمال می‌شود. پس از تبدیل تصویر به فضای رنگی RGB. تصویر اصلی با تصویر پردازش شده مقایسه می‌شود و علف هرز شناسایی شده با استفاده از روش رسم خطوط نشان داده می‌شوند. در اینصورت علف‌های هرز از محصول جدا شده و می‌توانند با روش‌های مختلف کنترل شوند. (S.Pandey et al 2016)

۳- تهیه نقشه پراکندگی علف‌های هرز

۳-۱- تعیین شبکه مزرعه با استفاده از GPS

داوود محمدزمانی و همکاران (2009) زمینی به مساحت یک هکتار در جنوب غربی شهر قزوین را انتخاب کرده و سطح آن را با خاکورزی اولیه (سه خیش برگردان‌دار) و خاکورزی ثانویه (ماله) هموار کردند. قبل از شروع نقشه‌برداری چهار نقطه مرجع در سطح مزرعه توسط بلوک‌هایی به صورت کاملاً اختیاری مشخص شد. این بلوک‌ها در واقع محل استقرار دوربین‌های Total Station و گیرنده GPS بود، که از مختصات این چهار نقطه به منظور تعیین بردار انتقال در مرحله پردازش داده‌های گیرنده‌های GPS و تبدیل این مختصات محلی به جهانی استفاده شد.
با به کارگیری تجهیزات نقشه‌برداری، موقعیت چهار نقطه مشخص شده و نقطه B_4 ، نقطه مرجع قرار گرفت. این نقطه دارای مختصات (100, 1000, 1000) بوده و برحسب متر نسبت داده شد. مختصات سه نقطه بعدی نسبت به نقطه مرجع مشخص شده و با قرار داردن دوربین در نقاط مرجع و با استفاده از انعکاس‌دهنده‌ها موقعیت محلی مزرعه مشخص شد و با استقرار انعکاس‌دهنده‌ها در نقاط مختلف طراز را بدست آمد که برای مطالعه ارتباط بین تغییر سرعت پیشروی تراکتور با شیب مزرعه کاربرد داشت. با استفاده از نرم‌افزار land و داده‌های بدست آمده نقشه اولیه مزرعه به دست آمده و شبکه‌بندی شد.
نقاط بدست آمده از این روش، نقاط محلی مزرعه بود، اما به منظور استفاده در عملیات کشاورزی دقیق (سمپاشی، استفاده از علف‌کش‌ها،

کودپاشی و ...) باید به مختصات جهانی تبدیل می‌شد. به این منظور ۴ گیرنده GPS استاتیک با دقت ۵ میلی‌متر در چهار نقطه مرجع به کار برده شد.

داده‌ها به صورت خودکار ر حافظه GPS ثبت شده و پس از پردازش به صورت داده‌های موقعیت قابل رویت خواهد بود. داده‌های بدست آمده در قالب HCN بود که پس از تبدیل به قالب Rinex، با نرم‌افزار Compass پردازش شد. این نرم‌افزار داده‌ها را به صورت دو پنجره جدول اطلاعات ایستگاه و پنجره گرافیکی (شکل ۱) مشخص کرد و با به کارگیری نرم‌افزار Hc Loader به کامپیوتر منتقل شده و موقعیت ایستگاه‌ها به صورت نقشه مشخص شد.

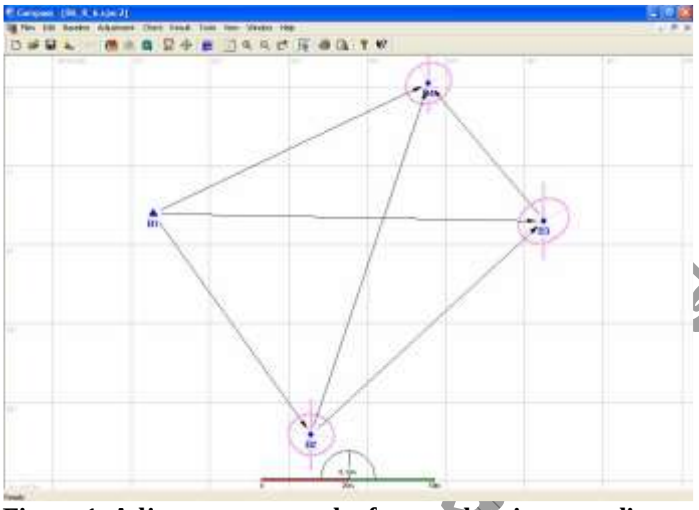

Figure 1. Adjustment network of network points coordinates

شکل ۱- شبکه سرشکنی مختصات نقاط شبکه.

داده‌های بدست آمده در سامانه مختصات بیضوی WGS84 پردازش شده و مختصات طول و عرض ژئودتیک و ارتفاع ژئودتیک چهار نقطه بدست آمد.

به منظور تعیین شبکه از نقاط بدست آمده از روش سرشکنی[1] استفاده شد، که مختصات یکی از نقاط برداشته شده توسط GPS و اختلاف مختصات این نقطه با سایر نقاط معلوم و مختصات سایر نقاط مجهول فرض شد. نرم‌افزار پردازش داده‌های GPS، با روش کمترین مربعات[2] که به مشاهدات افزونه[3] (مشاهداتی بیش از آنچه برای تعیین مجهولات نیاز است) نیاز دارد بهترین مختصات مربوط به سایر نقاط را در اختیار قرار داد (Ebne-Jalal 2007). در نهایت به منظور تبدیل مختصات محلی به مختصات جهانی (UTM)، مختصات UTM مربوط به چهار ایستگاه در نرم-افزار Land وارد شده و مختصات کل شبکه بدست آمد.

۲-۳- تعیین نقاط توده علف‌های هرز

پس از ایجاد نقشه مزرعه مختصات توده علف‌های هرز با استفاده از GPS روی نقشه مشخص می‌شود. در روشی که م.لغوی و ب.بهزادی مکوندی اراده دادند، از سیستم موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی (DGPS) برای تعیین موقعیت دقیق توده علف‌های هرز استفاده شد. در این روش از دو گیرنده DGPS (ثابت و متغیر) استفاده شد. دو گیرنده در گوشه‌های زمین در ارتفاع ۱۸۵سانتی‌متری نصب شد تا ایستگاه‌های اولیه مشخص شوند، سپس گیرنده متغیر به محل‌هایی که توده علف هرز در آن وجود داشت منتقل شد تا مختصات آنها ثبت شوند. دقت مختصات ثبت شده با دستکاری به ۳میلی‌متر با ضریب اطمینان ۹۵درصد رسید. در نهایت داده‌ها مانند روشی که در بخش قبلی گفته‌شد به کامپیوتر منتقل شده و با استفاده از فرمت رستر نقشه مختصات توده علف‌های هرز با دقت بالا ایجاد شد. در فرمت رستر، نقشه به قطعاتی تقسیم می‌شود که اغلب به صورت مربع هستند. در این طرح هر مربع دو حالت (داده) می‌گیرد (۰ و ۱) که ۰ برای مربع‌های بدون علف‌هرز و ۱ برای مربع‌هایی که علف‌هرز دارند استفاده می‌شود. در این نمونه آزمایشی اندازه هر مربع ۵۰*۵۰ سانتی‌متر بود.

[1]Adjustment
[2]Least Squares Method
[3]Redundant Observations

۴- سیستم کنترل سمپاش

نمونه اولیه سیستم اسپری دقیق توسط لی و همکارانش (۱۹۹۹)، برای استفاده در سیستم‌های کنترل علف‌های هرز رباتیک به منظور اسپری علف‌کش‌ها روی علف‌های هرز شناسایی شده توسط سیستم بینایی سنجی، ساخته‌شد. سیستم اسپری دقیق شامل یک آرایه خطی از هشت پمپ اسپری مستقل بود (شکل ۷) که هر پورت اسپری مسئول اسپری علف‌کش‌ها در یک گروه متشکل از سلول‌هایی به اندازه ۰,۶۳ سانتی‌متر در ۱,۲۵ سانتی‌متر از نقشه تولید شده توسط سیستم بینایی ماشین بودکه در مجموع هشت پمپ اسپری یک پهنای ۱۰,۱۶ سانتی‌متر را در عرض ردیف کشت پوشش می‌داد. هر پورت اسپری شامل پنج لوله داخلی (فولاد ضد زنگ W۳۰۴ با قطر داخلی ۰,۲۷میلی‌متر) و هر لوله با فاصله ۲,۵ میلی‌متر در طول ردیف کشت از هم قرار گرفته‌اند. ارتفاع پمپ‌های اسپری تقریبا ۱۵ سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک است. یک دریچه الکترومغناطیسی از طریق میکروکنترلر ، براساس سیستم بینایی‌سنجی، نقشه علف‌های هرز و odometry فعال می‌شود که مایع را به پورت‌های اسپری تحویل می‌دهد. برای هر یک از سلول‌های نقشه که حاوی برگ علف‌های هرز است، شیرها به مدت ۱۰ میلی ثانیه پالس شده و در هر بار پمپ اسپری یک جریان جریان ۰,۹۸ لیتر در دقیقه به وجود می‌آورد. سمپاش می‌تواند به طور همزمان تا ۸ نقطه در طول ردیف‌کشت را در ۱۰ میلی ثانیه سمپاشی کند. با توجه احتمال خطای اندازه‌گیری ربات، یک منطقه بافر برای گیاه زراعی سلول در اطراف مرز گیاهان زراعی در نقشه (سانتی‌متر در ۱,۲۵ سانتی‌متر) اسپری گذاشته شد تا از سمپاشی ناخواسته بر روی محصول و جبران بعضی اشتباهات محصول کاسته شود. لام و همکاران (۲۰۰۲) از این سیستم اعمال شیمیایی دقیق نمونه اولیه در آزمون یک سیستم کنترل علف‌های هرز رباتیک برای پنبه استفاده کردند. آزمایشات مزرعه منجر به ۱۱٪ علف‌های هرز سمپاشی نشده و ۲۱٪ از گیاهان پنبه که اشتباهاً اسپری شدند. عملکرد سیستم بعد از اسپری بر روی علف‌های هرز با استفاده از مخلوط مایع رنگ آبی قابل مشاهده است (شکل ۳).

Figure 2. Field test of robotic weed control system equipped with a precision micro-sprayer showing blue dye selectively applied to nutsedge (Cyperus spp.) weeds in a cotton field (Lamm et al., 2002).

شکل ۲- تست میدانی سیستم کنترل علف‌های هرز رباتیک تجهیز شده با میکرو-سمپاش دقیق که به صورت انتخابی روی علف‌های هرز در یک مزرعه کتان اعمال شده است. (لام و همکاران۲۰۰۲)

۵- نتیجه‌گیری

مطالعات انجام‌شده نشان داده که علف‌های هرز در همه نقاط مزرعه رشد نمی‌کنند، (Thornton et al 1990; Mortensen et al 1995;Godwin and Miller 2003; Loghavi, M., and B. Behzadi Mackvandi 2008) استفاده از سمپاشی نقطه‌ای یا توده‌ای نشان‌داده است که می‌توان به مقدار قابل توجهی مصرف علف‌کش‌ها را کاهش داد که به نوبه خود باعث کاهش چشمگیر آلودگی زیست‌محیطی و صرفه‌جویی در هزینه خواهد بود. داوود محمد زمانی و همکاران توانستند با به کارگیری این روش ۱۳درصد در مصرف علف‌کش‌ها صرفه‌جویی کنند. م.لغوی و ب.بهزادی مکوندی (2008) توانستند با استفاده از سمپاشی توده‌ای با ۱۲درصد کاهش در کنترل علف‌های هرز ۶۹,۵درصد در مصرف علف‌کش‌ها صرفه‌جویی کنند. نوردمییر و همکاران (1997) با استفاده از سمپاشی توده‌ای ۴۰درصد صرفه‌جویی در مصرف علف‌کش‌ها را گزارش دادند. آرنس (1994) با استفاده از دستگاه نوری برای تشخیص علف‌های هرز ۷۳درصد کاهش مصرف علف‌کش‌ها را گزارش کردند. بیلر و همکاران (1997) با استفاده از سمپاشی هدفمند توانستند بین ۳۰تا۷۰درصد با بهره‌وری ۱۰۰درصد، در مصرف علف‌کش صرفه‌جویی کنند. نهایتاً استفاده از این روش برای کاهش مصرف علف‌کش‌های شیمیایی نگرانی آلوده شدن زمین، آب‌های سطحی و زیرزمینی و خطرات این مواد برای سلامتی انسان را کاهش می‌دهد.

۶- منابع

Ahrens, W., 1994. Relative costs of weed-activated versus conventional sprayer in Northern Great Plains Fallow. Weed Technol. 8, 50–57.

Biller, R.H., Hollestein, A., Sommer, C., 1997. Precision application of herbicides by use of optoelectronic sensor. In: Stafford, J.V. (Ed.), Precision Agriculture 97, 2. Silsoe Research Institute, UK, pp. 451–458 (February, 38–41).

Carroll, J.P., Holden, N.M., (2005). A method to quantify weed distribution for relating to patch spraying system. Trans. ASAE 48 (1), 27–35.

Gerhards, R., Sokefeld, M., Nabout, A., Therburg, R.D., Kuhbauch, W., (2002). Online weed control digital image analysis. Zeitschrift fur Pflanzen Krankheiten and Pflanzenschutz 18, 421–427 (special issue). (English)

Godwin, R. J., & Miller, P. C. H. (2003). A review of the technologies for mapping within-field variability. Biosystems engineering, 84(4), 393-407.

Kise, M., Zhang, Q., & Más, F. R. (2005). A stereovision-based crop row detection method for tractor-automated guidance. Biosystems engineering, 90(4), 357-367.

Lamm, R.D., Slaughter, D.C., Giles, D.K., 2002. Precision weed control system for cotton. Trans. ASAE 45 (1), 231–238.

Lee, W.S., Slaughter, D.C., Giles, D.K., 1999. Robotic weed control system for tomatoes. Precis. Agric. 1, 95–113.

Loghavi, M., & Mackvandi, B. B. (2008). Development of a target oriented weed control system. Computers and electronics in agriculture, 63(2), 112-118.

Lutman, P.J.W., Rew, L.J., Cussans, G.W., Miller, P.C., Paice, M.E.R., Stafford, J.E., (1998). Development of a "patch spraying" system to control weeds in winter wheat. Report no. 158. London, U.K. Home Grown Cereals Authority Project.

Marks, R.S., Ward, J.R., (1993). Nutrients and pesticide threats to water quality. In: Robert, P.C., Rust, R.H., Larson,W.E., Madison (Eds.), Proceedings of the Soil Specific Crop Management Workshop. ASA-CSSA-SSSA, WI, pp. 293–299.

Marshall, E. J. P. (1988). Field-scale estimates of grass weed populations in arable land. Weed Research, 28(3), 191-198.

Mohammad, Z. D., Minaei, S., Alimardani, R., Almassi, M., & SHAFIKHANY, H. (2009). Generating a digital management map using GPS for herbicide application by VRA spraying. (Persian)

Monaco, T. J., Grayson, A. S., & Sanders, D. C. (1981). Influence of four weed species on the growth, yield, and quality of direct-seeded tomatoes (Lycopersicon esculentum). Weed Science, 29(4), 394-397.

Mortensen, D. A., Johnson, G. A., Wyse, D. Y., & Martin, A. R. (1995, January). Managing spatially variable weed populations. In Site-specific management for agricultural systems (No. sitespecificman, pp. 397-415). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.

Nordmeyer, H., Hausler, A., Niemann, P., (1997). Patchy weed control as an approach in precision farming. In: Stafford, J.V. (Ed.), Precision Agriculture 97, vol. 1. Silsoe Research Institute, UK, pp. 307–314.

Shearer, S.A., Jones, P.T., (1991). Selective application of post-emergence herbicides using photoelectrics. Trans. ASAE 34 (4), 1661–1666.

Pandey, S., Jain, R., Sayeed, M. A., & Shashikala, G. (2016). Detection of Weeds in a Crop Row Using Image Processing. Imperial Journal of Interdisciplinary Research, 2(8).

Thornton, P. K., Fawcett, R. H., Dent, J. B., & Perkins, T. J. (1990). Spatial weed distribution and economic thresholds for weed control. Crop Protection, 9(5), 337-342.

Cardina, J., Doohan, D.J., (2000). Weed biology and precision farming. In: Site-Specific Management Guidelines, SSMG-25, Purdue University, Indiana, USA.

Ebne-Jalal, R. (2007). GPS Satellite Surveying. Shahid Chamran University Press. Ahvaz. Iran. (Persian)

Herms, C., Doohan, D., & Cardina, J. (2000). The impact of agronomic practices on the weed seed bank. In Third International Weed Science Congress, Foz do Iguassu (Brazil).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران