

مروری بر فناوری‌های نوین بوم‌سازگار در کشاورزی هوشمند^۱

یوسف عباسپور گیلانده و سید سعید محتسبی^{۲ و ۳}

چکیده

در دهه‌های اخیر، به کارگیری فناوری‌هایی مانند روباتیک، پهباد و داده‌های ماهواره‌ای، در همه فعالیت‌های زراعی مشاهده شده است. کشاورزی هوشمند با افزایش بهره‌وری نهادهای تولیدی محصول‌های زراعی به کشاورزان این امکان را می‌دهد تا به محصول بیشتری دست پیدا کنند و در عین حال از مصرف زیاد کود و دیگر مواد شیمیایی جلوگیری شود و به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرهای اقلیمی کمک شود. در این مقاله بررسی و آسیب‌شناسی و محدودیت‌های فناوری‌های نوین در کشاورزی هوشمند در جهان و ایران و ارائه راهکارهای استفاده از فناوری‌های نوین بوم‌سازگار در داخل کشور مورد توجه قرار گرفته است. به نظر می‌رسد مدیریت موضعی مواد غذایی در مزرعه‌های داخل کشور، با وجود کوچک بودن آن‌ها، پاسخ به نسبت خوبی را ارائه خواهد کرد. در واقع کشاورزی فرصتی عالی برای معرفی انواع روبات‌ها ارائه می‌کند. چین، ژاپن و استرالیا در زمینه تولید تراکتورهای خودکار با توانایی انجام کارهای مختلف در مزرعه کارهای مناسبی را انجام داده‌اند. استفاده از پهبادها در مزرعه‌های داخل کشور نشان داده است که این دستگاه‌ها می‌توانند بازده مصرف سم را حدود ۳۰٪ افزایش دهند. نوع دیگری از پهباد ملی که در داخل کشور طراحی و ساخته شده است، از نظر نوع موتورهای الکترونیک، نوع عملیات و خدمات، دوربین و حسگرها، نوع پرواز و نوع پایشی که انجام می‌دهد، برتری‌های فراوانی نسبت به مشابه خارجی خود دارد. انتظار می‌رود این فناوری‌ها در قالب کشاورزی هوشمند، سختی کار انسان در مزرعه را تا سطحی بسیار پایین‌تر از پیش، کاهش دهند.

کلمات کلیدی: بوم‌سازگار، پهباد، توزیع نهاده، روبات‌های کشاورزی، کشاورزی دقیق.

مقدمه

برداشت کلی در بین دانشمندان علوم کشاورزی، مزرعه‌داران و تا حدی سیاست‌گذاران کشاورزی این است که فناوری‌هایی مانند روباتیک، پهباد و داده‌های ماهواره‌ای در همه فعالیت‌های مزرعه با آماده‌سازی زمین، بذرپاشی، کوددهی، آبیاری و برداشت شروع می‌شوند و تا فراوری پس از برداشت محصول ادامه خواهند داشت. به عبارت دیگر، کشاورزی هوشمند به تقریب در هر گوشه از منطقه‌های زراعی گسترش خواهد یافت. کشاورزی هوشمند را می‌توان انقلابی در فعالیت‌های مزرعه‌ای دانست که از شروع به کار آن نوید کمک به انسان‌ها در راستای کاهش سختی کار و ساده کردن وظیفه‌های دشوار داده شد. این فناوری‌ها که در بهره‌وری محصول‌های زراعی به کار می‌روند، به کشاورزان

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۷

بخشی از مرحله دوم طرح «بررسی فناوری‌های نوین بوم‌سازگار در کشاورزی و منابع طبیعی» گروه علوم کشاورزی فرهنگستان علوم ج.ا. ایران.

۲- نویسنده مسئول، پست الکترونیک: mohtaseb@ut.ac.ir

۳- به ترتیب، استاد دانشگاه محقق اردبیلی (عضو مدعو فرهنگستان علوم ج.ا. ایران) و استاد دانشگاه تهران (عضو وابسته فرهنگستان علوم ج.ا. ایران).

این امکان را می‌دهند تا به محصول بیشتری دست پیدا کنند و همچنین از مصرف زیاد کود و سایر مواد شیمیایی جلوگیری شود و بدین ترتیب به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرهای اقلیمی کمک شود.

انسان به دلیل محدودیت‌های فیزیولوژیک، پیش از شروع کار، به پژوهش‌های مهندسی و طراحی و تولید روبات‌ها، پهباد و نرم افزارهای رایانه‌ای نیاز دارد که بتواند آن‌ها را برای انجام انواع کارهای مزرعه‌ای مناسب سازد. شاید لازم باشد این فرایند تا رسیدن به نتیجه نهایی خود و تا هنگامی ادامه یابد که نیرو و وقت انسان در مزرعه کمترین مقدار باشد. اکنون، این فناوری‌ها در قالب کشاورزی هوشمند، گزینه‌ای مناسب به نظر می‌رسند و انتظار می‌رود که سختی کار انسان در مزرعه را تا سطحی بسیار پایین‌تر از پیش، کاهش دهند و با وجود این، دقت بیشتری را در عملیات داشته باشند، در نهاده‌ها صرفه جویی کنند و به کشاورز امکان دستیابی به بهره‌وری بیشتر را بدهند.

نیاز به بهبود بهره‌وری محصول‌های زراعی همچنان دست نخورده باقی مانده و در آینده نیز به توجه بیشتر نیاز دارد. پیش بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ جمعیت کره زمین به ۹ میلیارد نفر برسد و تولید غلات باید به همین نسبت افزایش داشته باشد. پیش‌بینی‌ها نشانگر افزایش بیش از ۲۵ درصدی این نیاز در محصول به نسبت سطح فعلی است. با توجه به روش‌های کشاورزی پیش‌بینی‌شده، در حال حاضر، فناوری کشاورزی دقیق که شامل بررسی تغییرهای حاصلخیزی خاک و کاربرد متغیر کود و آب که با رشد محصول مطابقت دارد، به سرعت در بین کشاورزان سراسر جهان در حال رواج است (Stafford, 2005; Lowenberg-DeBoer, 2004; Van Henten *et al.*, 2009; Khosla, 2010; Krishna, 2012). روباتیک، پهباد و ماهواره‌ها از مهمترین موردهایی هستند که می‌توانند به پذیرش بهتر فنون دقیق کمک نمایند. به عبارت دیگر، فنون هوشمند می‌توانند به منظور گسترش سریع روش‌های کشاورزی دقیق و افزایش بهره‌وری و سود اقتصادی گزینه‌ای مناسب باشند. هدف از پژوهش حاضر بررسی و آسیب‌شناسی و محدودیت‌های فناوری‌های نوین بوم‌سازگار در کشاورزی هوشمند در جهان و ایران و ارائه راهکارهای بومی‌سازی فناوری‌های نوین بوم‌سازگار در داخل کشور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱- ابزارها، روش‌ها و فناوری‌های نوین بوم‌سازگار در کشاورزی هوشمند

۱-۱- کشاورزی ماهواره‌ای (دقیق) - کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در ۴۰ تا ۵۰ سال گذشته در موضع‌های مختلف و به ویژه منابع طبیعی و کشاورزی در سطح جهانی رواج گسترده‌ای یافته‌اند. کشاورزی بر پایه هدایت توسط ماهواره‌ها، بویژه پایش‌های دوره‌ای و کنترل حرکت‌ها و عملکرد ماشین‌های زراعی با استفاده از مختصات سامانه موقعیت‌یاب ماهواره‌ای به سرعت در سطح جهان گسترش یافته است. کشاورزی ماهواره‌ای زمانی شکل گرفت که استفاده از مقیاس گسترده تصویرهای ماهواره‌ای، نقشه‌های رقومی رشد گیاه و الگوی مقدار محصول در دسترس قرار گرفتند. داده‌های ماهواره‌ای و نقشه‌های مقدار محصول به وسیله کمباین‌های مجهز به موقعیت‌یاب GPS^۱ اطلاعات اولیه مورد نیاز در مورد حاصلخیزی خاک و تغییر بهره‌وری محصول را به کشاورزان ارائه می‌دهند. پیشرفت حسگرهای خاک و توانایی نقشه برداری از تغییرهای pH خاک، درجه شوری، نیترات، رطوبت و مواد آلی خاک در حال حاضر انگیزه‌ای عالی برای کسانی است که در حال استفاده از کشاورزی دقیق ماهواره‌ای هستند. توسعه ابزارهای مزرعه‌ای بدون سرنشین و مجهز به موقعیت‌یاب GPS برای انجام کارهای مختلف از جمله خاک‌ورزی، وجین، مصرف مواد غذایی و برداشت محصول،

1. Global positioning system

اندیشه‌ای امیدوارکننده برای آینده ایجاد می‌کند. کشاورزی ماهواره‌ای با بهره‌گیری از پهبادپهباد و روبات‌ها می‌تواند بسیاری از فعالیت‌های مزرعه را تسریع کنند، دقت بیشتری به کشاورزان ارائه دهند، نهاده‌ها را ارزان کنند، حاصلخیزی خاک را تثبیت کرده و موجب یکنواختی بهره‌وری شوند.

۱-۲- روبات‌های کشاورزی - براساس تعریف، روبات‌های کشاورزی می‌توانند وسیله‌های خودکار یا نیمه خودکاری باشند که برای مرحله‌های مختلف تولید محصول‌های زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روبات‌های زراعی بیشتر در آماده‌سازی زمین، شیاربندی، کانال‌سازی، توزیع کودهای مایع، سم‌پاشی، آبیاری و از همه مهمتر در برداشت بذرها یا چیدن میوه‌ها به کار می‌روند. به این منظور، از روبات‌ها زمانی به صورت پی‌درپی استفاده می‌شود که کار سخت و یا سختی کار ضروری باشد (Vangioukas, 2013). روبات‌های زراعی به عنوان تلفیقی از دستگاه‌های مکانیکی با سامانه‌های الکتریکی و محاسبه‌گر تعریف می‌شوند. افزون بر این، یک روبات کشاورزی شامل سه مؤلفه اساسی است؛ الف - سامانه سنسجش ویژگی‌های فیزیکی و زیستی مزرعه، ب - مجموعه‌ای از ابزارهای تصمیم‌گیری مانند رایانه که داده‌های حسگرها را بر اساس برنامه‌ها پردازش می‌کنند و پ - بازوها، عملگرها یا ابزارهایی^۱ که در واقع دستورها را با دریافت پیام‌های الکترونیکی انجام می‌دهند (Harrel et al., 1988). برخی از سودمندی‌های استفاده از روبات‌های زراعی به شرح زیرند:

- ❖ در هر زمانی از سال زراعی بطور مؤثر وظیفه‌های مختلفی را با سرعت و دقت بیشتری انجام می‌دهند.
 - ❖ برای محیط زیست کمتر زیان‌بار هستند.
 - ❖ روبات‌ها می‌توانند شب و روز کار کنند. برای نمونه، روبات‌هایی که با پویشگر لیزری سه بعدی^۲ هدایت می‌شوند، می‌توانند حتی در طول شب نیز کار کنند. روبات‌ها می‌توانند برای سم‌پاشی در اولین هشدارهای رشد حشره‌ها، تأمین آب در شروع کمبود رطوبت خاک و برداشت محصول در زمان مناسب به کار روند (Simonite, 2009).
 - ❖ روبات‌ها در مکان‌هایی که برای انسان خطرناک است به کار می‌روند. در حال حاضر، روبات‌های نیمه خودکاری در موقعیت‌های حساس کشاورزی دارای مواد شیمیایی خطرناک و موارد مشابه دیگر مشغول به کارند (McIntosh, 2012).
- ۱-۳- هواپیماهای بدون سرنشین کشاورزی (پهبادها)** - پهباد تا سال ۲۰۰۰ میلادی با بال‌های ثابت ساخته می‌شدند. پهباد با بال‌های چرخنده، به عبارت دیگر بالگردهای بدون خلبان برای بررسی وضعیت منطقه و پرتاب موشک یا بمب ساخته شده‌اند. بالگردهای بدون سرنشین به طور مؤثر برای ردیابی، انتخاب تصویرهای نگاره‌ها از خاک و محصول و تهیه نقشه‌های رقومی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بالگرد بدون سرنشین RMAX یا ماها در مزرعه‌های برنج ژاپن به صورت پیوسته به کار می‌روند. در حال حاضر، بیش از ۵۰ کشور دارای فناوری پهباد تکامل‌یافته هستند و از آن‌ها برای ارزیابی‌های نظامی، سنسجش از راه دور، هواشناسی، بررسی منابع طبیعی، دیدبانی تجاری، دیدبانی داخلی پلیس، ترابری، اکتشاف نفت و گاز طبیعی، پژوهش‌های علمی و از همه مهمتر در تولید محصول‌های زراعی استفاده می‌کنند. پهباد در منطقه‌های اصلی کشاورزی آمریکای شمالی، اروپا و استرالیا و ماشین‌های مرتبط با فناوری به عنوان برجسته‌ترین پیشرفت در کشاورزی در دهه دوم سال میلادی ۲۰۰۰ در نظر گرفته می‌شوند (Wilson, 2014). استفاده از پهباد از جدیدترین روش‌های دیدبانی و مدیریت است و به نظر می‌رسد با سرعت بسیار زیادی گسترش می‌یابد و می‌تواند در کشاورزی جهانی بسیار سودمند باشند. براساس نظر برخی از کارشناسان کشاورزی، گسترش پهباد در مزرعه‌ها را می‌توان با فناوری‌های انقلابی سال‌های اخیر مانند: رایانه‌های شخصی و اینترنت مقایسه کرد (ASME, 2012; DeAngelis, 2014; Dronlife, 2014).

۲- آسیب‌شناسی و محدودیت‌های روش‌ها و فناوری‌های نوین بوم‌سازگار در جهان

۲-۱- کشاورزی ماهواره‌ای - کشاورزی ماهواره‌ای یکی از راهبردهایی است که برای رویارویی با چالش‌های تأمین امنیت غذایی و پایداری توسعه کشاورزی ارایه شده است. بدیهی است هرگونه برنامه‌ریزی برای اجرای کشاورزی ماهواره‌ای نیازمند ایجاد زمینه‌های فکری و افزایش آگاهی و دانش در کارشناسان و مسئولان می‌باشد. کشاورزی ماهواره‌ای با مدیریت نهاده‌های تولید، به کاهش هزینه‌های تولید، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، افزایش عملکرد، افزایش بهره‌وری، مدیریت و تصمیم‌سازی قوی‌تر بر پایه اطلاعات و توسعه پایدار کشاورزی می‌انجامد. بررسی‌های گذشته نشان داد با توجه به سودمندی‌های گفته شده، گسترش کشاورزی ماهواره‌ای یکی از پیش‌نیازهای اساسی برای جامعه‌ای است که خواهان دستیابی به توسعه پایدار است، اما نباید فراموش کرد که این سودمندی‌ها در صورتی حاصل می‌شوند که در راستای رفع چالش‌های پیش‌روی کشاورزی ماهواره‌ای گام برداشته شود.

(Swinton & Lowenberg-DeBoer (2004) در پژوهش خود در ارتباط با پذیرش جهانی فناوری کشاورزی ماهواره‌ای بیان کردند که نمونه‌برداری خاک و تغییرپذیری در خاک بیشترین مقدار پذیرش کشاورزی ماهواره‌ای را دارد. همچنین این پژوهشگران ۸ بررسی در ۴۶ منطقه برای ارزیابی سودمندی پخش کودها انجام دادند و نتایج مثبتی را گزارش دادند. ایشان در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که سرمایه‌گذاری بهینه در نهاده‌ها، استفاده بهینه از منابع طبیعی، کاهش آلودگی محیطی و کیفیت زیاد تولیدها از نتایج کشاورزی ماهواره‌ای می‌باشند.

(Mishra et al. (2013) پیش‌نیازهای کاربرد کشاورزی ماهواره‌ای در هندوستان را شامل ایجاد دوره‌های تحصیل چند رشته‌ای، تأسیس تعاونی‌های کشاورزی، تصویب قانون‌هایی از سوی دولت برای جلوگیری از استفاده بیش از حد از نهاده‌های کشاورزی، انتخاب منطقه‌های آزمایشی برای اجرای کشاورزی دقیق و اطلاع‌رسانی به کشاورزان در زمینه پیامدهای استفاده بیش از حد نهاده‌های کشاورزی دانسته‌اند.

بررسی چالش‌ها و فرصت‌ها پذیرش کشاورزی ماهواره‌ای در سطح وسیع در کشور استرالیا نشان داد که وسیله‌های کشاورزی ماهواره‌ای دارای توانایی ذخیره پول و سودآوری برای کشاورزان از راه افزایش بهره‌وری سامانه‌های کاشت مزرعه‌های پهناور هستند، اما عاملی که می‌تواند پذیرش این نظام را محدود سازد هزینه اولیه است که این موضوع به علت وجود فصل‌های خشک یا غیرقابل پیش‌بینی در دهه‌های گذشته در منطقه در حال بررسی است (Mondal & Tewari 2007).

به طور خلاصه برخی از محدودیت‌ها و چالش‌های پیش‌روی کشاورزی دقیق در جهان را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۱- اندک بودن سطح آگاهی، اطلاعات و مهارت‌های فنی کشاورزان، نبود اطلاعات کافی در زمینه‌های اقتصادی و زراعی مربوط به کشاورزی دقیق و نبود اعتماد به فناوری‌های کشاورزی دقیق. ۲- نامناسب بودن برنامه‌های آموزشی- مشاوره‌ای و عدم وجود آموزش‌های صحیح و مناسب به آموزشگران و سایر عامل‌های انسانی دست‌اندرکار. ۳- خطرپذیری کم کشاورزان و شرایط بد اقتصادی- اجتماعی. ۴- اندازه کوچک مزرعه‌ها. ۵- کمبود ماشین‌های برداشت محصول‌ها. ۶- هزینه زیاد نمونه‌برداری شبکه‌ای خاک. ۷- نبود درک سودمندی‌های حاصل از حسگرها. ۸- شمار کم شرکت‌های مشاوره.

۲-۲- روبات‌های کشاورزی - روبات‌ها نقش‌های برنامه‌ریزی شده توسط کشاورزان را انجام می‌دهند و کاربرد روبات‌ها، موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم می‌شود. کشاورزان با استفاده از سودمندی‌های روبات‌های مزرعه‌ای باید فنون دقیق را به کار گیرند، تصویربرداری کنند و داده‌های دیجیتالی را با نشان دادن تغییرهای حاصلخیزی خاک نشان دهند. روبات‌هایی با توانایی کاربرد نهاده‌های متغیر، مقدارهای دقیقی از مواد غذایی را وارد خاک می‌کنند. روبات‌هایی

که عملکردشان از سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری رایانه‌ای دستور می‌گیرد، انباشت غیرضروری مواد غذایی، آفت‌کش‌های کشاورزی و علف‌کش‌ها را کاهش می‌دهند. روبات‌ها به طور کلی می‌توانند کودها و دیگر مواد شیمیایی را بصورت دقیق بکار ببرند. بنابراین، احتمال زوال خاک، آبشویی و آلودگی آب‌های زیرزمینی را کاهش می‌دهند. با این حال، گزارش‌ها نشانگر این است که کشاورزان ممکن است تراکتورهای کوچک و روبات‌هایی را ترجیح دهند که سطح خاک را سست می‌کنند. روبات‌ها بطور کلی می‌توانند در سامانه‌های بدون خاک‌ورزی کشت را انجام دهند. چنین روبات‌هایی به طور خودکار میزان انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش می‌دهند. تخریب خاک و از بین رفتن کربن آلی خاک کاهش می‌یابد. به طور کلی، روباتیک تنها در صورت اتخاذ فنون دقیق مانند نمونه‌برداری از خاک، آزمایش مواد غذایی، نقشه‌برداری و تأمین مقدار متغیر نهاده بر اساس برنامه‌های دقیق رایانه‌ای، کارایی خواهد داشت. برخی از این جنبه‌های روباتیک مزرعه موجب کاهش تخریب خاک نیز می‌شوند. برخی از دشواری‌های پذیرش سریع روبات‌ها عبارتند از:

- ❖ حرکت آهسته در مزرعه یا گلخانه به دلیل کنترل دید کمتر.
 - ❖ شناسایی و چیدن میوه و بذرها رسیده به چندین الگوریتم نیاز دارد.
 - ❖ روبات‌های زراعی در حال حاضر پرهزینه هستند. البته، تولید انبوه و یارانه‌ها به پذیرش آن‌ها کمک می‌کنند.
 - ❖ روبات‌های زراعی ممکن است گاهی به تغییرهای جزئی یا شدید در شیوه کاشت محصول، تراکم آن، نژادگان^۱ ترجیحی و رویه‌های اتخاذ شده نیاز داشته باشند.
 - ❖ حسگرها و سامانه‌های کنترل دید زیر تأثیر نور خورشید و الگوی روشنایی عملکرد متفاوتی خواهند داشت.
 - ❖ محصول‌های کشاورزی با گوناگونی بیشتر در ریشه‌زایی، ارتفاع، تشکیل شاخه‌ها و سایبان، الگوی رسیدن خوشه‌ها و میوه‌ها یا دیگر محصول‌ها به راحتی توسط روبات‌ها چیده نمی‌شوند. اگر محصول در زمان‌های مختلف یک فصل برسند، روبات‌ها به طور پیوسته باید در مزرعه فعال باشند.
 - ❖ در حال حاضر، از روبات‌ها برای برداشت شماری از بذرها خوراکی و میوه‌ها استفاده می‌شود. روبات‌های مناسب برای دامنه گسترده‌ای از محصول‌های زراعی هنوز در دست تولید هستند.
- روباتیک در کشاورزی به عنوان یک مفهوم، در سال‌های ۱۹۳۲ تا ۲۰۰۰ پیشرفت محسوسی نداشته است (Szabo, 2013). با این حال، در سال‌های اخیر وضعیت تغییر کرده است. روباتیک در کشاورزی هم از نظر تولید آن توسط شرکت‌های مختلف و هم از نظر پذیرش در مزرعه‌های جهان به سرعت در حال توسعه است (Janmaat, 2014). شماری از این روبات‌های بسیار کوچک و کاربردی در مزرعه‌ها عملکرد بسیار مفیدی دارند. چند مورد دیگر پیچیده هستند. آن‌ها به آماده‌سازی دقیق تجهیزات، لوازم جانبی و برنامه‌های رایانه‌ای نیاز دارند. در گزارشی، سرعت تقاضا برای کاربرد روبات‌ها در کشاورزی بحث شده است (Wehrspann, 2014). این گزارش در مورد ورود پنج نوع مختلف روبات به مزرعه‌های آمریکای شمالی توسط شرکت‌های مختلفی از جمله جان دیر^۲، نیوهلند^۳ و مانند این‌ها است. با این حال، گزارش‌هایی وجود دارند که دلیل‌های تأخیر در پذیرش روباتیک در کشاورزی جهانی را، در مقایسه با جنبه‌های دیگری مانند صنعت، به صورت کامل بیان می‌کنند. در حال حاضر، تنها در بخش کوچکی از تولیدهای زراعی از روبات‌ها استفاده می‌شود. بسیاری از تلاش‌ها هنوز در مرحله طراحی اولیه یا در نمونه‌های اولیه هستند. آن‌ها هنوز تجاری‌سازی نشده‌اند. کشاورزان باید به دنبال روبات‌ها باشند و سود حاصل از به کارگیری آن‌ها در مزرعه را دریافت کنند.

۲-۳- هواپیماهای بدون سرنشین کشاورزی (پهبادهای) - تا چندی پیش، از پهبادهای تنها در زمینه‌های نظامی استفاده می‌کردند، اما امروزه کاربردهای فراوانی برای پهباد وجود دارد و از آن‌ها در کشاورزی نیز استفاده می‌کنند. جالب توجه است که شمار کشاورزانی که برای مزرعه‌های خود از پهباد کشاورزی استفاده می‌کنند در حال رشد سریعی است. در واقع استفاده از پهباد کشاورزی به کشاورزان اجازه می‌دهد تا با کمینه هزینه محصول‌های کشاورزی خود را زیر نظر بگیرند. با توجه به شرایط اقلیمی و رشد جمعیت ساکن در کره زمین، استفاده از محصول‌های کشاورزی افزایش پیدا می‌کند. با توجه به این شرایط انتظار می‌رود در آینده کشاورزان بیشتری از فناوری پهباد کشاورزی استفاده کنند و از این راه بازدهی کار خود را افزایش دهند. با توجه به این که استفاده از پهبادهایی مانند کوادکوپتر، هگزاکوپتر و اوکتاکوپتر در کشاورزی سودمندی‌های بسیاری دارند، اما دارای کاستی‌هایی نیز می‌باشند که از آن جمله می‌توان به مدت زمان و محدوده عملیاتی پرواز، وابستگی به شرایط جوی، هزینه برای خرید و مهارت برای استفاده اشاره نمود.

۳- راهکارهای بومی‌سازی فناوری‌های نوین در زمینه‌های کشاورزی و منابع طبیعی در ایران

۳-۱- کشاورزی ماهواره‌ای - یکی از دلایل رشد کشاورزی دقیق، پیشرفت فناوری‌های مختلف از جمله سیستم تعیین مختصات جغرافیایی یا موقعیت یاب GPS، حسگرها، سنجش از دور و تسهیلات مدیریت اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS) است. با توجه به راه‌اندازی شبکه مدیریت یکپارچه مالکیت‌ها (شمیم) توسط سازمان ثبت اسناد و املاک کشور، این سامانه می‌تواند در بسیاری از عملیات مهندسی و مطالعاتی و به ویژه کشاورزی ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گیرد. معماری سامانه شمیم شامل سه بخش شبکه ایستگاه‌های مرجع GNSS^۲، مرکز ارائه سرویس و پشتیبانی و بخش کاربران است. دقت تعیین موقعیت در (RTK)^۳ زیر شبکه وابسته به فاصله گیرنده متحرک^۴ از نزدیک‌ترین ایستگاه مرجع است. بر این اساس، دقت دست‌یافتنی با استفاده از سامانه شمیم در شرایط محیطی آسمان باز برابر با $\pm 1\text{cm}$ است. تراکم مناسب ایستگاه‌های یک شبکه GNSS از شرایط مهم در ارائه دقت مناسب برای تعیین موقعیت است. فاصله بین ایستگاه‌های مرجع یک شبکه GNSS بهینه، بیشتر در حدود ۷۰ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود. وجود این سامانه در کشور پتانسیل بسیار مناسبی را برای توسعه کشاورزی ماهواره‌ای در داخل کشور فراهم می‌کند.

با توجه به این که کشاورزی ماهواره‌ای تلاش می‌کند نوع و میزان نهاده‌ها را بر اساس نیازهای واقعی محصول‌هایی که در بخش‌های کوچک‌تر زمین قرار دارند، همساز نماید، اولین گامی که در توسعه و بومی‌سازی کشاورزی ماهواره‌ای در داخل کشور باید برداشته شود. بررسی تغییرپذیری متغیرهای مهم و موثر در عملکرد کمی و کیفی محصول درون زمین‌های زراعی می‌باشد.

هیچ مدیریتی بدون شناخت کافی از مسأله، ممکن نیست. همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد تغییر پذیری‌ها می‌توانند مکانی^۵ یا زمانی^۶ باشند که کاوش هر دو تغییرپذیری در کشاورزی ماهواره‌ای ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، بررسی‌های گسترده در زمینه تغییرپذیری درون زمین‌های زراعی در سراسر کشور ضروری است.

زمانی که تغییرهای مکانی پارامترهای موردسنجش بررسی شدند، تولیدکننده باید براساس دانش زراعی خود مدیریت دقیقی متناسب با آن اتخاذ کند. این مدیریت به اصطلاح مدیریت موضعی محصول^۷ نام دارد. البته، هرچه بُعد زمانی

1. Geographic information systems

2. Global navigation satellite system

3. Real-time kinematic

4. Rover

5. Spatial variability

6. Temporal variability

7. Site-specific crop management

تغییرپذیری در این شیوه مدیریتی غالب‌تر باشد، مشکل‌ها بیشتر است. برای نمونه، در مورد پتاسیم و فسفر، بعد زمانی تأثیر چندانی بر تغییرپذیری آن در مزرعه ندارد، در حالی که این مطلب در مورد کودهای نیتروژنی درست نیست.

برخی از ماشین‌هایی که در کشاورزی ماهواره‌ای به کار می‌روند، می‌توانند توسعه‌یافته و/یا تغییر یافته همان ماشین‌هایی باشند که در کشاورزی سنتی از آن‌ها استفاده می‌شد. از آن جمله می‌توان به ماشین‌های کاشت، ماشین‌های پخش کود و مانند این‌ها اشاره نمود که با جایگذاری یک موتور الکتریکی دورمتغیر و یک ریزکنترل‌گر در ماشین می‌توان ماشین‌های سنتی را خودکار کرد. استفاده از ماشین‌های جدید مبتنی بر اعمال مقدار متغیر نهاده‌ها در قسمت‌های مختلف مزرعه می‌باشد؛ بنابراین باید از نظر اقتصادی و فناوری در منطقه‌های مختلف کشور ارزیابی عملی شوند.

سه مؤلفه اقتصاد، محیط زیست و انتقال فناوری در این مرحله بیشترین اهمیت را دارند. مهم‌ترین واقعیتی را که باید در کشاورزی ماهواره‌ای قبول کرد این است که اطلاعات و داده‌ها در این نوع کشاورزی ارزش محسوب می‌شوند و نه فناوری. بنابراین، این داده‌ها به هر شیوه‌ای که به دست می‌آیند، در صورت داشتن دقت زیاد و خطای پذیرفتنی، با ارزش هستند و ورودی قابل اتکا برای مدیریت موضعی‌اند. نکته دیگر این است که حفظ محیط‌زیست همواره به عنوان عامل تأثیرگذار در به وجود آمدن کشاورزی دقیق مطرح بوده است. کاهش استفاده از مواد شیمیایی، سم‌ها، آفت‌کش‌ها، افزایش کارایی کودها و در نتیجه افزایش بازدهی نهاده‌ها و جلوگیری از فرسایش خاک از سودمندی‌های زیست‌محیطی این نوع کشاورزی به شمار می‌آیند.

به طور خلاصه برای بومی‌سازی و امکان‌سنجی اجرای کشاورزی ماهواره‌ای در کشور که هدف عمده آن تعیین خط مشی‌هایی جهت افزایش کارایی نهاده‌ها و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی می‌باشد، باید در عمل در سه مرحله انجام شود:

- ۱- کاوش و بررسی سطح تغییرپذیری در مزرعه‌های کشور.

- ۲- توسعه فونونی جهت اندازه‌گیری تغییرها در فصل رشد (مدیریت تغییرها).

- ۳- ترویج و انتقال اطلاعات به کشاورز و تولیدکننده.

یکی از دشواری‌هایی که در مزرعه‌های داخل کشور نسبت به مزرعه‌های کشورهای توسعه‌یافته‌ای مانند ایالت متحده آمریکا وجود دارد، اندازه و وسعت مزرعه‌ها می‌باشد که سودمندی‌های اقتصادی حاصل از این نوع سیستم کشاورزی را زیر تأثیر قرار می‌دهد. در آسیا به ویژه کشور ژاپن، مزرعه‌ها دارای ابعاد کوچکی هستند و بنابراین، تنها می‌توان از دستگاه‌های کوچک استفاده نمود. در راستای توسعه کشاورزی ماهواره‌ای در داخل کشور و بومی‌سازی فناوری‌های لازم، باید از تجربه این کشور و کشورهای دیگری مانند چین، هندوستان و فیلیپین استفاده کرد. به نظر می‌رسد مدیریت موضعی مواد مغذی^۱ در مزرعه‌های داخل کشور، با وجود کوچک بودن آن‌ها (که مشکل مزرعه‌های ایران می‌باشد)، پاسخ به نسبت خوبی را ارائه خواهد کرد (باقرپور و فروزانی، ۱۳۹۵).

- ۲-۳- **روبات‌های کشاورزی** - براساس گزارش‌هایی در مورد وضعیت روبات‌ها در کشاورزی قاره‌های مختلف، ابراز شده است که شاید در آینده نزدیک، روبات‌ها مزرعه‌ها را به ویژه در کشاورزی ایران زیر پوشش قرار خواهند داد (Pullinger, 2013). آن‌ها ممکن است وظیفه‌های متوالی داشته باشند و وظیفه‌هایی همچون بذرپاشی، آبیاری، کوددهی، سمپاشی، برداشت و مانند این‌ها را انجام دهند. به نظر می‌رسد تراکتورهای بدون سرنشین و روبات‌هایی که میوه را چیده و درجه‌بندی می‌کنند می‌توانند ظرف چند سال بسیار رواج یابند. گندم می‌تواند زیر پوشش روبات‌هایی باشد که می‌توانند کوددهی،

استفاده از کودهای زیستی و آبیاری را انجام دهند. در استرالیا، مزرعه‌های بزرگ را می‌توان با روبات‌هایی مدیریت کرد که می‌توانند پیوسته کار کنند. از آن‌جا که مزرعه‌های گندم استرالیا محصول‌های غذایی را هم برای مصرف خانگی و هم برای پاسخگویی به تقاضای صادرات تولید می‌کنند، سودمندی زیادی دارند (Packham, 2013; Roodt, 2013).

شاید روبات‌ها در انجام به‌هنگام کارها در مقیاس وسیع مناسب باشند، ولی در اندازه‌های کوچک تنها مایه زحمت هستند. در ژاپن، بهترین مفاهیم تولید محصول‌های زراعی به‌بهترین صورت توسط روبات‌ها انجام می‌شوند. کار روبات‌ها در مقایسه با کار انسان، دقیق‌تر است. با این حال، برنامه‌های رایانه‌ای که روبات‌ها را در مورد کوددهی، آبیاری و سمپاشی هدایت می‌کنند باید به دقت تنظیم شوند. در کشورهای اروپای شمالی مانند دانمارک و سوئد، افزون بر تولید محصول‌های زراعی، نگهداری گاوهای شیرده نیز با استفاده از روبات‌های خودکار انجام می‌شود (Hagele, 2014; Szabo, 2013). کاربران بیشتر بر این باورند که پذیرش روبات‌های زراعی به رفع سختی کار و سودمندی انسانی بستگی دارد. بیان شده است که کشاورزان، به ویژه در کشورهای توسعه یافته، نیاز به خودکارسازی بیشتر و به کارگیری وسیله‌های ترابری و ابزارهای خودکار مجهز به GPS در مزرعه‌ها را بسیار خوب تشخیص می‌دهند (Billingsley et al., 2008). در مورد محصول‌های زراعی، ابزارهایی با بینایی^۱ ماشینی و هدایت بر پایه GPS روی تراکتورها و سایر روبات‌ها نصب می‌شوند. جستجوی محصول با استفاده از نقشه‌های ماهواره‌ای و پهبادها متداول‌تر شده‌اند (Sani, 2012).

آخرین گزارش‌ها در مورد روباتیک زراعی نشانگر پذیرش روبات‌های خدمت‌رسان^۲ است. روبات خدمت‌رسان وسیله ترابری خودکار همه‌کاره است. این روبات‌ها سکوی و جایگاه مشترک دارند که وسیله‌های جانبی مختلفی را می‌توان روی آن نصب کرد. آن‌ها می‌توانند بذر پاشی، وجین کردن، کودپاشی زمین و همچنین می‌توانند زمین‌ها را آبیاری یا سم‌پاشی کنند. به نظر می‌رسد که این روبات‌ها ۳۳٪ از کل روبات‌های زراعی فروخته شده در کشورهای اروپایی را به خود اختصاص داده‌اند. به نظر می‌رسد روبات خدمت‌رسان بدون سرنشین، شغل کارگران را از آن‌ها می‌گیرد. پیدایش روبات‌های کوچک می‌تواند به ما امکان انجام طیف گسترده‌ای از فعالیت‌ها را با استفاده از آن‌ها دهد. روبات‌های هوشمند کوچک در واقع می‌توانند در زمان‌های مختلف و در مکان‌های مختلف کار کنند (Blackmore et al., 2005). این روبات‌های کوچک همچنین می‌توانند انرژی لازم برای اصلاح آسیب‌ها یا خطاهای ناشی از وسایل نقلیه بزرگ را کاهش دهند (Blackmore et al., 2005). در واقع کشاورزی فرصتی عالی برای معرفی انواع روبات‌ها ارائه می‌کند. گزارش‌ها نشان می‌دهند چین، ژاپن و استرالیا بر توسعه تراکتورهای خودکار که به راحتی بتوانند به دستگاه‌هایی با توانایی انجام کارهای مختلف متصل شوند پافشاری دارند (Bayer Crop Science, 2014; Makim, 2014).

۳-۳- هواپیماهای بدون سرنشین کشاورزی (پهبادها) - پهباد در سنجش از راه دور هوایی و تولید تصویرهای دیجیتالی مزرعه‌ها مفید هستند. آن‌ها یک سری سودمندی‌ها به کشاورزان ارائه می‌دهند و از این رو پذیرش زیادی دارند (Yan et al., 2009). پهباد در ایران ممکن است به دلیل تصویرهای تولید، به ویژه عکس‌های نزدیک از بالای محصول برای مزرعه‌ها و نمونه‌هایی که عملیات کشاورزی را توصیف می‌کنند بسیار مفید باشند. وضوح زیاد و ریزه‌کاری‌های مربوط به مرحله‌های رشد محصول، مقدار کلروفیل، NDVI^۳ و وضعیت آب (تصویرهای حرارتی IR) از جذابیت‌های خوبی برای کشاورزان در خرید دستگاه‌ها برخوردارند. از آن‌جا که پهباد به تدریج جایگزین دیده‌بانی محصول توسط نیروی انسانی می‌شوند، کشاورزان آن‌ها را ترجیح می‌دهند. نظارت بر محصول‌های زراعی از جمله مفیدترین وظیفه‌هایی

است که پهبادها در بسیاری از منطقه‌های زراعی انجام می‌دهند. پهباد در مزرعه‌های تخصصی غلات از جمله گندم، ذرت یا دیگر محصول‌های زراعی قابل استفاده هستند. آن‌ها برای ارزیابی محصول از نظر رشد سایه‌سار، سطح برگ، کلروفیل و وضعیت نیتروژن برگ ترجیح داده می‌شوند (Lumpkin, 2012; Raymond Hunt *et al.*, 2010; Torres-Sanchez *et al.*, 2014). پهباد همچنین می‌توانند برای توزیع کودها بر اساس داده‌های دیجیتالی که به رایانه‌های آن عرضه می‌شوند، به کار روند. در حال حاضر، چندین شرکت استارت آپ در داخل کشور وجود دارند که پهباد برای تصویر برداری با توانمندی‌های مختلف را برای همخوانی با ارزیابی محصول و افشانه‌هایی برای کاربرد متغیرنهاد تولید می‌کنند. در گزارش این شرکت‌ها آمده است که پهباد در منطقه‌های کشاورزی، سرمایه‌گذاری‌های فردی و فعالیت‌های مربوط به کشاورزی جهشی بزرگ داشته‌اند. استفاده از پهبادها در مزرعه‌های داخل کشور نشان داده است که این دستگاه‌ها می‌توانند بازده مصرف سم را حدود ۳۰٪ افزایش دهند. نوع دیگری از پهباد ملی که در داخل کشور طراحی و ساخته شده‌است، سودمندی‌های فراوانی از نظر نوع موتورهای الکترونیک، نوع عملیات و خدمات، دوربین و حسگرها، نوع پرواز و نوع پایشی که انجام می‌دهند نسبت به مشابه خارجی خود دارند. پهبادهای ساخت داخل از نظر هزینه ۵۰٪ کمتر از قیمت مشابه خارجی می‌باشد و شرکت‌های تولیدکننده ابتدا در زمینه خدمات کشاورزی با پهباد از جمله سم‌پاشی، محلول‌پاشی فعالیت داشته و در چند سال گذشته به تولید پهبادهای سم‌پاش و واکاوی که به طور کامل بومی است اقدام نموده و کارخانه تولید پهباد را تأسیس نموده‌اند.

نتیجه‌گیری

- ۱- کشاورزی ماهواره‌ای به همراه استفاده از پهباد و روبات‌ها می‌توانند بسیاری از فعالیت‌های مزرعه‌ای را سرعت بخشند، دقت بیشتری به کشاورزان ارائه دهند، کاربرد نهاده‌ها را اقتصادی سازند، حاصلخیزی خاک را تثبیت کرده و موجب یکنواختی بهره‌وری شوند.
- ۲- با توجه به این که کشاورزی ماهواره‌ای تلاش می‌کند نوع و مقدار نهاده‌ها را بر اساس نیازهای واقعی محصول‌ها که در بخش‌های کوچک‌تر زمین قرار دارند، همخوان سازد، اولین گامی که در توسعه و بومی‌سازی کشاورزی ماهواره‌ای باید برداشته شود بررسی تغییرپذیری متغیرهای مهم و موثر در میزان کمی و کیفی محصول درون زمین‌های زراعی می‌باشد.
- ۳- گسترش کشاورزی ماهواره‌ای یکی از پیش‌نیازهای اساسی برای جامعه‌ای است که خواهان دستیابی به توسعه پایدار است، اما نباید فراموش کرد که این سودمندی‌ها در صورتی حاصل می‌شوند که در راستای رفع چالش‌های پیش روی کشاورزی ماهواره‌ای گام برداشته شود.
- ۴- در راستای توسعه کشاورزی ماهواره‌ای در داخل کشور و بومی‌سازی فناوری‌های لازم، باید از تجربه کشورهایمانند چین، هندوستان و فیلیپین استفاده کرد. به نظر می‌رسد مدیریت موضعی تغذیه در مزرعه‌های داخل کشور، با وجود کوچک بودن مزرعه‌ها که مشکل مزرعه‌های ایران می‌باشند، پاسخ به نسبت خوبی را ارائه خواهد کرد.
- ۵- به دلیل مصرف بیشتر آب در کشاورزی و کمبودهای زیاد در این بخش و همچنین کاهش منابع آبی کشور، لازم است استفاده از روش‌هایی مانند فناوری آبیاری متغیر و با بهره‌گیری از شبکه‌های حسگر بیسیم در مدیریت بهتر آب آبیاری توجه شود.
- ۶- روبات‌ها بطور کلی می‌توانند در سامانه‌های بدون خاک‌ورزی عملیات کاشت را انجام دهند. چنین روبات‌هایی به طور خودکار میزان انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش می‌دهند. تخریب خاک و از بین رفتن کربن آلی خاک کاهش می‌یابد. به طور کلی، روباتیک تنها در صورت اتخاذ فنون دقیق مانند نمونه‌برداری از خاک، آزمایش مواد غذایی، نقشه‌برداری و تأمین مقدار متغیر بر اساس برنامه‌های دقیق رایانه‌ای، کارایی خواهد داشت.

- ۷- در حال حاضر، تنها در بخش کوچکی از تولیدهای زراعی از روبات‌ها استفاده می‌شود. بسیاری از تلاش‌ها هنوز در مرحله طراحی اولیه یا در حد نمونه‌های اولیه هستند. آن‌ها هنوز تجاری‌سازی نشده‌اند. کشاورزان باید به دنبال روبات‌ها باشند و سود حاصل از به کارگیری آن‌ها را دریافت دارند.
- ۸- در واقع کشاورزی فرصتی عالی برای معرفی انواع روبات‌ها ارائه می‌کند. گزارش‌ها نشان می‌دهند چین، ژاپن و استرالیا بر توسعه تراکتورهای خودکار با ارائه تسهیلاتی برای اتصال دستگاه‌هایی با توانایی انجام کارهای مختلف پافشاری دارند (Bayer Crop Science, 2014; Makim, 2014).
- ۹- استفاده از پهباد از جدیدترین روش‌های نظارت و مدیریت است و به نظر می‌رسد با سرعت بسیار زیادی گسترش می‌یابد. پهباد همواره می‌توانند در کشاورزی جهانی بسیار مفید باشند.
- ۱۰- استفاده از پهبادها در مزرعه‌های داخل کشور نشان داده است که این دستگاه‌ها می‌توانند بازده مصرف سم را حدود ۳۰٪ افزایش دهند. نوع دیگری از پهباد ملی که در داخل کشور طراحی شده‌است، سودمندی‌های فراوانی به خاطر نوع موتورهای الکترونیک، نوع عملیات و خدمات، دوربین و حسگرها، نوع پرواز و نوع پایشی که انجام می‌دهند نسبت به مشابه خارجی خود دارند. پهبادهای ساخت داخل از نظر هزینه، ۵۰٪ کمتر از مشابه خارجی می‌باشند.
- ۱۱- ورود نکردن کشاورز به زمین‌های زراعی و باغی، عدم لهیدگی و از بین رفتن محصول‌ها بر اثر ورود تراکتور، پوشش یکنواخت سم به تمام بخش‌های مزرعه، کاهش مصرف آب و سم و ورود نکردن نیروی انسانی در مرحله‌های سم‌پاشی از سودمندی‌های بهره‌مندی از پهبادها در عرصه کشاورزی می‌باشند.

منابع

- باقرپور، حسین و فروزانی، بهنام، ۱۳۹۵، چالش‌ها و چشم‌اندازهای کشاورزی دقیق در ایران، دهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران، مشهد، <https://civilica.com/doc/563669>
- Anonymous (2014). Bayer Crop Science. Ripe for Robots: Automated Agricultural Helpers. <http://www.cropscience.bayer.com/en/magazine/Ripe-for-Robots.aspx>, pp. 1-3 (July 4th, 2014).
- ASME. 2012. Unmanned Aerial Vehicles Soar High. American Society of Mechanical Engineers. <https://asme.org/engineering-topics/articles/robotics/unmanned-aerialvehicles-soar-high.htm>, pp. 1-3 (March 20th, 2014).
- Billingsley, J., Visala, J., Arto, M., Dunn, M. (2008). Robotics in Agriculture and Forestry. Springer Verlag Inc., Heidelberg, Germany, pp. 1065-1077.
- Blackmore, B. S., Stout, W., Wang, M., Runov, B. (2005). Robotic Agriculture-the future of agricultural mechanization? In: Proceedings of 5th European Conference on precision Agriculture. Stafford, J. (Ed.). The Netherlands, Wageningen Academic Publishers., pp. 621-628.
- DeAngelis, S. (2014). High Tech Agriculture. <http://www.enterresolutions.com/author/bradd.htm>, pp. 1-12 (August 3rd, 2014).
- Hagele, M. (2014). Robot milking Systems for Cattle. In: Service Robots in Agriculture-Automatica 2014. Sensors. <http://www.sensorsmag.com/electronics-computer/news/automatic-2014-service-robots-agriculture-13136.hhn>, pp. 1-4 (March 214, 2014).
- Harrel, R. C., Slaughter, D. C., Adsit, P. D. (1988). Robotics in Agriculture In: International Encyclopedia of Robotics Applications and Automation. Dorf (Ed.). John Wiley and Sons Inc., New York, pp. 1378-1387.
- Janmaat, B. (2014). Agribotics: Robotics if forever changing traditional food production. <http://www.datafox.co/blog/agribotics-robotics-is-forever-changing-traditional-food-production/>, pp. 1-4 (July 14th, 2014).
- Khosla, R. (2010). Precision Agriculture: Challenges and Opportunities in Flat World. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia, pp. 1-4.

- Krishna, K R. (2012). Precision Farming: Soil Fertility and Productivity Aspects. Apple Academic Press Inc., Waretown, New Jersey, USA, pp. 189.
- Lowenberg De-Boer, J. (2004). Precision Farming in Europe. http://www.agriculture.purdue.edu/rsmc/news/june03_precisionAgEurope.htm, pp. 1–3 (April 3rd, 2014).
- Lumpkin, T. (2012). CGIAR Research Programs on Wheat and Maize: Addressing global Hunger. International Centre for Maize and Wheat (CIMMYT), Mexico. DG's Report, pp. 1–8.
- Makim, R. (2014). Tractor the future with Robotics. Precision Farming Dealer <http://www.precisionfarmingdealer.com/content/tractor-future-robotics>, pp. 1-3 (January 196,2015).
- McIntosh, P. (2012). Agricultural Robotics: Here come the robots. Maximum Yield. com. <http://www.mazimumyield.com/index.php/features/articles/item/13-agricul-tural-robotics-here-comes-the-agribots>, pp. 1-4 (July 66,2014).
- Mishra, A., Sundaramoorthi, K., Chidambara, R. P., & Balaji, D. (2003). Operationalization of precision farming in India. In *6th Annual International Conference and Exhibition*.
- Mondal, P. & Tewari, VK. (2007). Present status of precision agriculture. *A Review in Agricultural Resource*, 2 (1): 1-10.
- Packham, C. (2013). Robots to drones, Australia eyes high-tech fann help to grow food. DIY Drones: The Leading Community for personal UAVS. <http://www.reuters.com/article/2013/05/26/us-australia-fann-robot-ots-idUSBRE94POM20130526>, pp. 1-3 (May 23rd, 2014).
- Pullinger S. (2013). In the Future, robots will tend the crops on Norfolk farms. EDP24 http://www.edp24.co.uk/business/farmingnews/in_the_future_robots_will_tend_the_crops_on_norfolk_s_farms_1_315519_4, pp. 1–3 (June 4th, 2014).
- Roodt, D. (2013). Oz farmers study robot workers. Praag.org/?p=4642., pp. 1–4 (June 20th, 2014).
- Sani, B. (2012). The Role of Robotics at the future of Modern Farming. Proceedings of International Conference on Control, Robotics and Cybernetics (ICCRC2012) 43: 244–248.
- Simonite, T. (2009). Robot farmhands prepare to invade the countryside. New Scientist <http://www.newscientist.com/article/dn17224-robot-farmhands-prepare-toinvade-the-countryside.html#U5AecvmSxyU>, pp. 1–3 (June 5th, 2014).
- Stafford, J. V. (2005). Precision Agriculture '05 PRECISION AGRICULTURE '05. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. pp. 1005.
- Swinton, S. M., & Lowenberg-Deboer, J. (2001, June). Global adoption of precision agriculture technologies: Who, when and why. In *Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture* (Vol. 2, pp. 557-562).
- Szabo, J. (2013). Autonomy in Agriculture. A Nuffield (UK) Farming Scholarship Trust Report. Nuffield Trust, United Kingdom, pp. 1–32.
- Torres-Sanchez, J., Pefia, J. M., De Castro, A. I., Lopez-Granados, F. (2014). Multispectral mapping of the vegetation fraction in Early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics and Agriculture* 103: 104–113.
- Van Henten, E. J., Gense, D. and Lockhorst, C. (2009). Precision Agriculture 2009. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands, pp. 992.
- Vangioukas, S. G. (2013). Robotics for Specialty crops: Past, Present and Prospects. Department of Biological and Agricultural Engineering, University of California, Davis, California, USA, pp. 1–5.
- Wehrspann, J. (2014). Five robots coming to a field near you this year. Farm Industry News <http://www.farmindustrynews.com/farm-equipment/5-robots-coming-fieldnear-you-year.Htm>, pp. 1–3 (March 15th, 2014).
- Wilson, K. (2014). Farmers gear towards robots. Farm Weekly. <http://farmweekly.com.au/news/agriculture/machinery/general-news/farmers-gear-towardsrobots/2683809.aspx>, pp. 1–5 (March 11th, 2014).
- Yan, L., Gou, Z. and Duan, Y. (2009). A UAV remote sensing system: Design and tests. *Geospatial Technology for Earth Observation*. DOI 10.1007/978-1-4419-0050-0_2, pp. 27–33 (January 12th, 2015).

Review of New Adaptive Ecosystem Technologies in Smart Agriculture

Abbaspour-Gilandeh, Y. and Mohtasebi, S. S.^{1,2}

In recent decades, the deployment of technologies such as robotics, unmanned aerial vehicles, and satellite operations has become increasingly evident in all farming activities. The revolution known as smart agriculture, employed to enhance the efficiency of agricultural products, allows farmers to achieve higher yields while minimizing the use of fertilizers and other chemicals, thereby contributing to a reduction in greenhouse gas emissions and mitigating climate change. This paper investigates and analyzes the challenges and constraints of eco-friendly innovative technologies in the field of smart agriculture globally and in Iran. It also proposes indigenous solutions for the localization of eco-friendly innovative technologies within the country. The localized management of nutrients in domestic farms, despite their small size, is expected to provide relatively positive outcomes. Agriculture presents an excellent opportunity for the introduction of various types of robots. Countries such as China, Japan, and Australia have made significant strides in the development of automated tractors capable of performing various tasks on the farm. The use of drones in domestic farms has demonstrated an increase of approximately 30% in pesticide consumption efficiency. A national type of drone developed within the country has significant advantages over its foreign counterparts in terms of electronic engines, operational types and services, cameras and sensors, flight types, and monitoring functions. It is anticipated that the mentioned technologies, as part of smart agriculture, will significantly reduce the human labor intensity in farms to a much lower level than before.

Key words: Precision agriculture, Agricultural robots, Drones, Input distribution, Adaptive ecosystem.

1. Corresponding author, Email: mohtaseb@ut.ac.ir

2. Professor of University of Mohaghegh Ardabili (Invited Member of I.R. Academy of Sciences) and Professor of University of Tehran (Associate Member of I.R. Academy of Sciences), respectively.