# کاربرد مهندسی مکاترونیک در توسعه فناوری ماشین آلات کشاورزی صنعتی (چالش‌ها و راه‌کارها)

■ جلال کفاشان *+
■ نیکروز باقری [1]
اعضاء هیئت علمی تحقیقات مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۲۲ و تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲۹

**چکیده**

در عصر حاضر، ضرورت تامین امنیت غذایی از مهم‌ترین مسائل جهانی شناخته می شود. این موضوع در کشورهای در حال توسعه نیاز به دقت نظر، آگاهی و برنامه‌ریزی بیشتری دارد. لذا در تامین امنیت غذایی کشورهای در حال توسعه از جمله ایران راه‌کارها و شیوه‌های نوینی را باید در امر تولید و تامین مواد غذایی جستجو کرد. یکی از راه‌های افزایش عملکرد کمّی و کیفی محصول، کاهش ضایعات و تلفات و انجام به‌هنگام و صحیح عملیات مختلف(از خاک‌ورزی تا برداشت) استفاده از فناوری‌های نوین در کشاورزی دقیق و روزآمد از حوزه مهندسی مکاترونیک است. از همین رو، بهره‌گیری از این حوزه مهندسی می‌تواند به‌عنوان تغییر روشی نوین در راستای عبور از مکانیزاسیون متداول فعلی ایران(اکثرا مکانیکی) به پیشرفته محسوب شده و سبب ارتقاء روش تولید محصولات و تسریع در فرآیندهای مرسوم شود. اما پیش از هر چیز بایدها و نبایدها و شناخت صحیح از موضوع، لازمه ورود، استفاده و یا تداوم به‌کارگیری و توسعه روش‌های نوین و یا تغییر شیوه‌ها محسوب می‌شود. از این‌رو، این مقاله قصد دارد تا علاوه بر معرفی و شناخت این حوزه از فناوری نوین، به اهمیت، کاربرد و چالش‌های مرتبط با مهندسی مکاترونیک برای رسیدن به کشاورزی صنعتی پرداخته و راه‌کارهایی برای توسعه آن ارائه دهد.

**واژگان کلیدی:** سامانه‌های هوشمند، فن‌آوری‌های نوین،کشاورزی صنعتی، کشاورزی دقیق، مهندسی مکاترونیک، مکانیزاسیون.

* عهده دار مکاتبات
+ شماره نمابر: ۰۲۶-۳۲۷۰۶۲۷۷ و آدرس پست الکترونیکی: Memc@engineer.com
۱ شماره نمابر: ۰۲۶-۳۲۷۰۶۲۷۷ و آدرس پست الکترونیکی: N.bagheri@areo.ir

## ۱- مقدمه

ضروری‌ترین زنجیره مایحتاج تمدن‌ها در طول تاریخ جوامع بشری زنجیره تولید غذا بوده و روز به روز هم بر اهمیت و ضرورت تامین پایداری آن افزوده می‌شود؛ چنانکه امنیت غذایی یکی از موضوعات مهم جهانی در قرن ۲۱ ذکر شده است. طبق برآورد سازمان فائو(سازمان غذا و خواربار بین‌الملل[۲])، رشد جمعیت جهان و ارتقاء سطح استاندارد زندگی، باعث افزایش تقاضای جهانی برای محصولات کشاورزی به ۷۰ درصد تا سال ۲۰۵۰ میلادی خواهد شد[۷]. همچنین برآوردهای شورای اقتصادی و اجتماعی سازمان ملل نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۵۰ میلادی جمعیت ساکن شهری به رقمی بالغ بر ۶/۳ میلیارد نفر در جهان می‌رسد و این بدان معنا است که ۷۰ درصد جمعیت جهان طبق این برآورد در شهرها ساکن خواهند شد[۱۱]. از طرفی، بررسی‌های صورت گرفته گواه آن است که ۹۵ درصد توسعه شهری در کشورهای در حال توسعه رخ می‌دهد. این درحالی است که محدودیت منابع طبیعی، نهاده‌ها و مشکلات ناشی از زندگی جدید جوامع بشری از جمله تغییرات آب و هوایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، تلفات مواد غذایی و محصولات کشاورزی نیز مزید بر علت شده که باید مدنظر قرار گیرد. با این اوصاف، روش های مرسوم و سنتی جوابگوی نیازهای روز جوامع و تامین‌کننده امنیت غذایی آنها نبوده و راه‌کارها و شیوه‌های نوینی را در امر تولید باید جستجو نمود.

به عقیده محققین اگر چه مهم‌ترین مزیت کشاورزی سنتی(معیشتی) نسبت به کشاورزی صنعتی(پیشرفته) این است که در این نوع کشاورزی آسیب کمتری به محیط زیست و منابع طبیعی وارد می شود؛ ولی توسعه جمعیتی جوامع و افزایش تقاضا برای تامین غذا لزوم عبور از کشاورزی سنتی به کشاورزی صنعتی را بیش از پیش جهت تامین امنیت غذایی کشور شان به این امر معطوف کرده است. هدف از کشاورزی صنعتی استفاده از کشاورزی دانش‌محور و مبتنی بر مکانیزه و استفاده از فناوری‌های نوین و دانش مهندسی به‌منظور افزایش تولید محصولات و کاهش هزینه‌هاست. این شیوه از کشاورزی نوین دارای دامنه و ابعاد وسیعی بوده و مهم‌ترین خصوصیت آن فعالیت علمی و اصولی همگام با ترویج و آموزش کشاورزی است؛ به‌طوری‌که از ابعاد آن می‌توان به جنبه‌های اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی اشاره کرد. برای نمونه گسترش این نوع کشاورزی می‌تواند توسعه و افزایش جاذبه در روستاها(توسعه روستایی و فرهنگی)، رونق اقتصادی و اجتماعی جامعه روستایی از طریق کاهش سختی کار و ایجاد جاذبه شغلی و افزایش صنایع مرتبط جانبی و تکمیلی را به‌دنبال داشته باشد. به‌علاوه به‌کارگیری صحیح و اصولی از کشاورزی صنعتی نقش بسزایی در تامین و خودکفایی در زمینه محصولات کشاورزی، مواد غذایی و ایجاد اشتغال به‌همراه داشته باشد. به باور بسیاری از دانشمندان عوامل کلیدی مهم در تولیدات کشاورزی، آب، خاک و ماشین است. مسلما بدون به‌کارگیری ماشین و فناوری‌های نوین، دستیابی به کشاورزی پیشرفته ممکن نیست. هرچند فراتر از اینها مدیریت شرط اصلی به‌کارگیری صحیح و بهره‌وری از این منابع است.

از سوی دیگر، امروزه گسترش زنجیره تولیدات به سمت و سویی در حرکت است که به‌صورت خواسته و یا ناخواسته و برخلاف گذشته لازم است تا از تخصص‌های مختلف در آنها استفاده شود. از طرفی، یکی از حوزه‌های جدید و بین رشته‌ای مهندسی مکاترونیک[۳] است و در سالیان اخیر پا به عرصه‌های کشاورزی هم گذاشته است. بدیهی است بهره‌مندی از مهندسی مکاترونیک در ماشین‌ها می‌تواند به‌عنوان تغییر روشی نوین در راستای عبور از مکانیزاسیون متداول در سطح ایران(عموماً مکانیکی) به پیشرفته بکار گرفته شود و در نهایت سبب ارتقا روش تولید و تسریع در فرآیندهای مرسوم شود. اما پیش از هر چیز بایدها و نبایدها و شناخت صحیح از موضوع، لازمه ورود، استفاده و یا تداوم به‌کارگیری و توسعه روش‌های نوین و یا تغییر شیوه‌ها محسوب می‌شود. از طرفی، فناوری به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین راهبردهای رقابتی برای کشورهای مختلف به رویکردی فرهنگی و انسانی برای موفقیت و درک بهتر در انتقال و مدیریت دانش نیاز دارد[۴ و ۵]. از همین رو، در این مقاله سعی شده تا ضمن معرفی و شناخت این حوزه جدید، به اهمیت، کاربرد و تأثیرات فناوری های نوین مرتبط با مهندسی مکاترونیک در راستای نیل به توسعه حوزه کشاورزی صنعتی پرداخته شود. پیامد پرداختن به این موضوع مهم می‌تواند کمک شایانی به مدیران و تصمیم‌سازان در جهت‌دهی صحیح برای تدوین برنامه‌های کلان و راهبردی باشد. بنابراین، اگر در این راستا سیاست‌گذاری‌ها و رویکردهای مناسب و هوشمندانه اتخاذ شود، می‌تواند پیشاپیش از چالش‌ها و موانع قابل پیش‌بینی به طرز شایسته‌ای عبور نموده و مدبرانه از آسیب‌های احتمالی جلوگیری

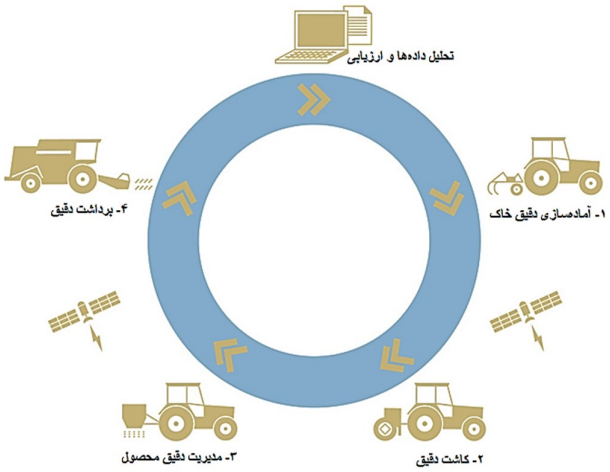
2 Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations (UN)
3 Mechatronics

کرد. به علاوه، این نوشتار برای مدیران سطوح اجرایی و کارشناسان مرتبط با موضوع نیز نقش مفید و مؤثری در به‌روزرسانی اطلاعات و تغییر نگرش ایفا خواهد نمود.

## ۲- کشاورزی دقیق[۴]

کشاورزی دقیق مفهومی در کشاورزی نوین و مبتنی بر وجود ناهمگونی در سطح مزرعه و یا باغ است. کشاورزی دقیق، بر پایه فناوری اطلاعات و در چارچوب اصول توسعه کشاورزی پایدار با جمع‌آوری و ذخیره‌سازی اطلاعات مکانی و پردازش داده‌ها، موجب کاربرد بهینه عوامل و نهاده‌های تولید با هدف افزایش بهره‌وری و کاهش مخاطرات زیست محیطی می‌شود. در ده سال گذشته، کشاورزی دقیق از علم به عمل رسیده و شاهد رشد بی‌سابقه آن در سراسر جهان هستیم؛ به‌طوری‌که ۷۰ تا ۸۰ درصد از تجهیزات و ماشین‌های کشاورزی جدید فروخته شده در کشورهای توسعه یافته و صنعتی به نوعی از اجزاء کشاورزی دقیق در آنها استفاده شده است. این موضوع مدیون مقرون به صرفه شدن سیستم‌های پایش[۵] و کنترل و ادغام سیستم‌های مدیریت داده است. کشاورزی دقیق در حال تبدیل شدن به سیستمی بیشتر یکپارچه[۶]، مقرون به صرفه و آسان‌تر برای کشاورزان به‌منظور نصب و استفاده است.

یکی از دلایل رشد کشاورزی دقیق در میان دانشمندان و کشاورزان، پیشرفت فناوری در زمینه‌های مختلف از جمله سیستم تعیین مختصات جغرافیایی یا جی پی اس[۷]، حسگرها، عکس‌های هوایی یا ماهواره‌ای(یا سنجش از راه دور) و تسهیلات مدیریت اطلاعات جغرافیایی است. بر این اساس، اطلاعات جمع‌آوری شده توسط فناوری‌های ذکر شده برای انجام محاسبات دقیق در مورد سطح ناهمگونی در مزرعه از جهت‌های مختلف از جمله مقدار مواد مغذی خاک، گسترش و پخش آفت‌ها، بیماری‌ها و علف‌های هرز در سطح مزرعه است. همچنین تصمیم‌گیری به‌هنگام فعالیت‌های مدیریتی و همچنین پیش‌بینی مقدار عملکرد مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. از مزیت‌های کشاورزی دقیق به کاهش مصرف کودهای شیمیایی به علت وجود نقشه‌های بیشینه و کمینه مواد مغذی خاک و کمک به کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف بیش از حد مواد شیمیایی و همچنین افزایش عملکرد در صورت عمل کردن به‌موقع و به میزان لازم در موارد مدیریتی می‌توان اشاره کرد. در شکل شماره ۱ کشاورزی دقیق برای مراحل چهارگانه رشد محصول آمده است.




**شکل ۱: چرخه کشاورزی دقیق در مراحل چهارگانه رشد محصول**

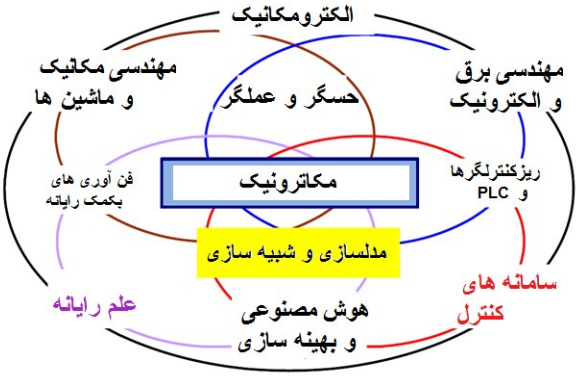
همچنانکه از شکل شماره ۱ مشخص است، در مراحل ذکرشده موضوع کنترل از راه دور و کامپیوتر جزء جدانشدنی این فناوری نوین است. هرچند کشاورزی دقیق را می‌توان مبتنی بر حسگر(به‌طور مستقل) به‌منظور هوشمندسازی و بدون نیاز به ارتباط برخط[۸] با ماهواره نیز پیاده‌سازی کرد. با این‌حال در هر یک از دو حالت ضرورت به‌کارگیری و بهره‌مندی از سامانه‌های مکاترونیکی بر متخصصین این فن پوشیده نیست. مسلما در ماشین‌ها و سامانه‌های کشاورزی صرفاً مکانیکی امکان هوشمند سازی و افزایش دقت برای پیاده سازی کشاورزی دقیق به‌سادگی و بدون بهره‌مندی از فناوری مکاترونیک امکان‌پذیر نیست. به‌علاوه، قابلیت برنامه‌ریزی، کنترل و انعطاف پذیری ماشین‌های مجهز به سامانه‌های هوشمند از دیگر مزایای به‌کارگیری این فناوری در مقابل سامانه‌های صرفا مکانیکی و الکترونیکی است. در عصر حاضر، این نوع هوشمندسازی در کشاورزی با بهره‌گیری از فناوری مکاترونیک و علوم مرتبط و با مدیریت صحیح می‌تواند سرآغاز تحولی عظیم در کشاورزی کشورهای درحال توسعه از جمله ایران شود.

## ۳- معرفی و شناخت مهندسی مکاترونیک

برای نخستین بار واژه مکاترونیک در سال ۱۹۶۹ میلادی توسط مهندسی ژاپنی از شرکت یاسکاوا الکتریک برای یکپارچه‌سازی زمینه‌های مکانیک و الکترونیک در کنترل

4 Precision Farming/ Precision Agriculture
5 Monitoring
6 Seamless
7 Global Positioning System (GPS)
8 On-line

موتورهای الکتریکی مطرح شد. این واژه برگرفته از ترکیب: قسمت اول مهندسی مکانیک و قسمت آخر مهندسی الکترونیک بود. در سال ۱۹۷۱ میلادی شرکت مذکور حقوق تجاری این واژه را برای خود انحصاری نمود. این عبارت به‌صورت گسترده در اروپا مورد استفاده قرار گرفت. اما این روند در آمریکا به شکل محدودتری رشد خود را نشان داد. علم و دانش مهندسی مکاترونیک در دهه هفتاد میلادی با بهره‌گیری از فناوری فرمان یار[۹] در تولیداتی مانند درب بازکن‌های برقی، ماشین‌های دادو ستد خودکار و دوربین‌های خودتنظیم[۱۰] بکار رفت. در سال ۱۹۸۲ میلادی شرکت ژاپنی مذکور تصمیم به صرف‌نظرکردن از حق انحصاری خود نمود و از آن به بعد از واژه مکاترونیک به صورتی روزافزون و فراگیر استفاده شد[۹]. با ظهور فناوری اطلاعات در دهه هشتاد میلادی، مهندسان مکاترونیک با به‌کارگیری ریزپردازنده در بهبود عملکرد سامانه‌های مکانیکی اقدام نمودند. با شروع این کار، ماشین‌های کنترل عددی رایانه‌ای[۱۱] و روبات‌هایی با حجم کمتر ساخته شدند. در پی آن کاربردهای مهندسی مکاترونیک در خودرو از جمله استفاده از کنترل الکترونیکی موتور و سامانه ترمز ضد قفل[۱۲] پدیدار شده و رشد فراوانی پیدا کرد. با ورود فناوری مخابراتی در دهه نود میلادی به این رشته، محصولاتی عرضه شد که امکان اتصال به شبکه‌ها را دارا بود. در نتیجه کارهایی مانند کنترل بازوهای روبات از راه دور میسر شد. در همین حال، از عملگرها[۱۳] و حسگرهای[۱۴] کوچکتر(در مقیاس میکرو) در محصولات مکاترونیکی استفاده شد. از جمله سامانه‌های میکروالکترومکانیکی[۱۵] مانند حسگرهای شتاب از نوع سیلیکونی برای فعال‌سازی کیسه‌های هوا[۱۶] در برخی از خودروها بکار رفت. در دو دهه اخیر نیز با افزایش هوشمندی در سامانه‌ها، به‌کارگیری فناوری نانو[۱۷] و بی‌سیم[۱۸]، ارتقاء کیفی عملکرد و کاهش ابعاد سامانه‌ها روند رو به رشدی به خود گرفته است. این حوزه از مهندسی از یک سو در مقیاس‌های بزرگ در سفینه‌ها و تجهیزات فضایی و از سوی دیگر در مقیاس‌های کوچکتر در حد نانو نیز در حال گسترش است. به بیان دیگر، مهندسی مکاترونیک، تجمیعی هم افزایانه از تخصص‌های مهندسی مکانیک، مهندسی نرم‌افزار و مهندسی برق(الکترونیک) و سایر رشته‌های مرتبط بوده و کاربری آن به رشته و یا حوزه خاصی محدود نمی شود. به‌طور خلاصه، امروزه مهندسی مکاترونیک به‌عنوان یک شاخه میان رشته‌ای از مهندسی با سرعت در حال توسعه است. در واقع، این واژه روز به روز مفهومی گسترده‌تر یافته و در مهندسی مکاترونیک فلسفه‌ای جدید برای طراحی و ساخت سیستم‌های مکانیکی تحت فرمان و کنترل به‌وجود آمده است. شکل شماره ۲ به صورت شماتیک تعریف این حوزه از مهندسی را در تعامل با سایر حوزه‌های مرتبط نشان می‌دهد. دانشمندان مکاترونیک را حل مسئله با فناوری بالا[۱۹] می‌دانند. از طرفی، سامانه‌های ساخت شده مبتنی بر دانش مهندسی مکاترونیک را سامانه‌های مکاترونیکی و فناوری بکار رفته در این نوع سامانه‌ها را فناوری مکاترونیکی می‌گویند.




**شکل ۲: شماتیک تعریف مکاترونیک[۹]**

9 Servo
10 Autofocus cameras
11 Computer Numerical Control (CNC) Machines
12 Anti-lock Braking System (ABS)
13 Actuators
14 Sensors
15 Micro Electro Mechanical Systems(MEMS)
16 Airbags
17 Nanotechnology
18 Wireless
19 High-tech

با بهره‌گیری از هوشمندسازی سامانه‌ها می‌توان روبات‌ها و سامانه‌هایی هوشمند ساخت که علاوه بر انجام کارها، قابلیت برنامه‌ریزی و آموزش و تصمیم‌سازی را نیز دارا است. با این روش می‌توان کارهای طاقت فرسا، مخاطره‌آمیز، زمانبر و یا تکراری را مدیریت و به سهولت راهبری کرد.

## ۴- کاربردهای مهندسی مکاترونیک در کشاورزی صنعتی

امروزه سهم کامپیوتر، روش‌های کنترل از راه دور و کاربردهای آنها در زندگی بشری بر کسی پوشیده نیست. به‌علاوه در عصر حاضر، سهم سرمایه فکری[20] در تولید محصولات صنعتی که در واقع ارزش دانش فنی به حساب می‌آید، روزبه‌روز در حال افزایش است. این حقیقت را می‌توان از تغییر اندازه و وزن محصولات جدید صنعتی نسبت به گذشته به خوبی دریافت. این شاید گواهی بر ورود مهندسی مکاترونیک به عرصه تولید محصولات مختلف و ماشینی باشد. اما موضوع مهندسی مکاترونیک تقریبا یک دهه از عمر خود را در کشور سپری می‌کند و هنوز جایگاه و کاربردهای خود را آنچنان که شایسته است به جامعه معرفی نکرده است. از طرفی، نقش این نوع از مهندسی در کشاورزی دقیق و حتی خود کشاورزی دقیق برای بسیاری از کاربران این حوزه به روشنی بیان نشده است. با این‌حال، ضرورت شناخت و عرصه‌های کاربرد آن به‌ویژه در کشاورزی صنعتی حائز اهمیت است. ازاین‌رو، بیان کاربردها و شناخت آنها گامی در راستای ورود علمی و عالمانه به این مقوله است. به‌طورکلی این کاربردها در عرصه کشاورزی صنعتی را می‌توان به شرح ذیل تقسیم بندی نمود:

### ۴-۱- کاربرد مهندسی مکاترونیک در ماشین های کشاورزی خودگردان[21] پیشرفته

امروزه در اکثر ماشین‌های خودگردان(تراکتور، کمباین و...) پیشرفته به‌طور یقین حداقل یک سامانه ساخته شده به کمک مهندسی مکاترونیکی یافت می‌شود.

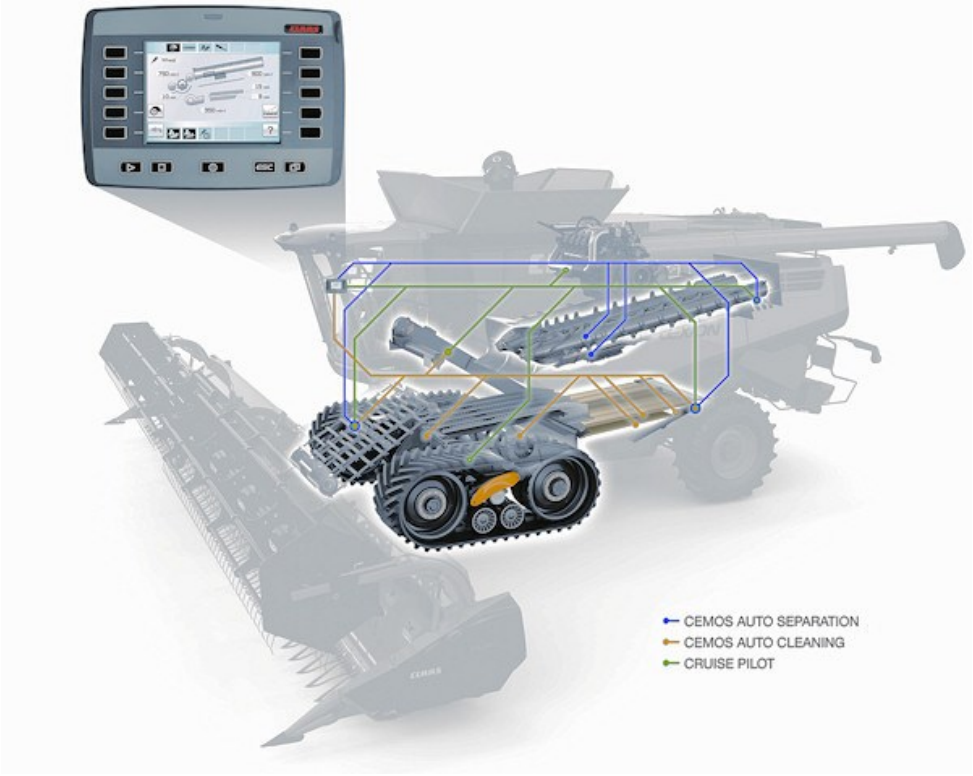
برای مثال در کمباین‌های جدید برداشت گندم، سامانه‌های سنجش[22] محصول، کنترل خودکار موتور[23]، تنظیمات خودکار، پایش[24]، راننده خودکار[25] و غیره دیده می شود. در شکل شماره نمونه‌های از حسگرها، ثبت داده‌ها، واحدهای کنترلی و پایشی در یک کمباین نشان داده شده است. در شکل شماره ۴ نیز نمونه‌ای از کاربرد مهندسی مکاترونیک در دو تراکتور مختلف برای کنترل موقعیت برای حرکت بین درختان(الف) و کنترل و هدایت خودکار(ب) برای حرکت بین محصولات ردیفی آمده است.

**شکل ۳: کاربرد مهندسی مکاترونیک در ماشین‌های خودگردان(حسگرهای بکار رفته در کمباین گندم در قسمت‌های مختلف به‌منظور پایش، سنجش، ثبت داده و کنترل فرآیند محصول برداشتی)[۱۰]**

20 Intellectual capital
21 Self-propelled agricultural machinery
22 Measurement systems
23 Engine control unit (ECU)
24 Monitoring
25 Autopilot

**شکل ۴: کاربرد مهندسی مکاترونیک در ماشین‌های خودگردان. الف) کنترل موقعیت برای حرکت بین درختان ب) کنترل و هدایت خودکار تراکتور برای محصول ردیفی[۸]**

نمونه دیگری از کاربرد مهندسی مکاترونیک در ساخت کمباین های جدید برای پایش وضعیت جداکننده ها و تمیزکننده‌ها و انجام تنظیمات سریع و به‌هنگام حین کار و رانندگی با سرعت ثابت و خودکار در شکل شماره ۵ نشان داده شده است. این سامانه‌ها سبب مدیریت و مهندسی بردا شت به کمک تنظیمات سریع و سامانمند موجب افزایش کیفیت برداشت محصول می‌شود.




**شکل ۵: کاربرد مهندسی مکاترونیک در ماشین‌های خودگردان انطباق نرم‌افزاری حسگرها در کمباین برای مدیریت برداشت)[۱۳]**

### ۴-۲- کاربرد مهندسی مکاترونیک در سامانه‌های خاک ورزی[۲۶]

یکی دیگر از کاربردهای مهندسی مکاترونیک بهره‌گیری در کنترل عمق ادوات خاک‌ورزی و یا انطباق عامل خاک‌ورز با شرایط متفاوت خاک از جمله ناهمواری و سختی است. برای مثال، یکی از شرکت‌های سازنده ادوات خاک‌ورزی برای کنترل و تطبیق عمق تیغه‌های خاک‌ورز به‌صورت مستقل[۲۷] با شرایط زمین از سامانه‌ای با دانش مهندسی مکاترونیکی استفاده نموده که در شکل شماره ۶ آمده است. توضیح اینکه در ماشین نشان داده شده، سامانه کنترل هر عامل خاک‌ورز(تیغه و پایه) متناسب با پستی و بلندی و سختی خاک به صورت مجزا براساس میزان فشار حس شده توسط حسگرها عمل نموده و تیغه را به کمک عملگرها در محدوده تعریف شده تثبیت و یا تغییر وضعیت می‌دهد. این سامانه برای دستگاه‌هایی با عرض کار زیاد و شرایط خاک غیریکنواخت کاربرد دارد. برای نمونه، کاهش عمق کار خاک‌ورز از ۲۰ سانتیمتر به ۱۵ سانتیمتر می‌تواند کشش مورد نیاز را برای هر عامل خاک‌ورز تا ۵۰ در صد کاهش داده و سبب صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی و هزینه‌ها شود.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاربرد مهندسی مکاترونیک در عرصه ماشین‌های خاک‌ورزی به‌دلیل نوع و ماهیت کار بسیار محدود بوده و تاکنون بیشتر به سامانه‌های کنترل عمق خلاصه شده است. با این حال، در حوزه‌های تحقیقاتی از این دانش مهندسی و فناوری‌های مرتبط برای سنجش کمّی و کیفی پارامترهای خاک نیز می‌توان بهره جست.

**شکل ۶: کاربرد مهندسی مکاترونیک در خاک‌ورز با کنترل خودکار عمق تیغه به‌صورت مستقل برای تطبیق سریع با شرایط زمین[۱۵]**

### ۴-۳- کاربرد مهندسی مکاترونیک در سامانه‌های کاشت[۲۸]

از دیگر کاربردهای مهندسی مکاترونیک، استفاده در مهندسی و سامانه‌های کاشت محصولات و نشاءکاری است. ماشین‌های کاشت یکی از زمینه‌های موفق و بسیار محسوس در حوزه ماشین‌های کشاورزی است که الگوی کاشت را به روشی مهندسی و دقیق می‌تواند اجرا نماید. اما روش‌های مکانیکی برای همه موارد کاشت از جمله نشاءکاری ممکن است بدون آسیب نباشد. در این زمینه سامانه‌هایی مبتنی بر دانش مهندسی مکاترونیکی بدون شک به دلیل دقت و حساسیت بیشتر می‌تواند موفقیت بیشتری داشته باشد. در شکل شماره ۷، نمونه‌ای از به‌کارگیری سامانه‌های مکاترونیکی در ماشین کاشت خودکار نشاء آمده است[۱۷]. این دستگاه علاوه بر حمل نشاءها، کار کاشت آنها را متناسب با عمق و عرض کار تعریف شده به‌صورت دقیق انجام می‌دهد.

26 Tillage systems
27 Independent Leg System (ILS)
28 Planting systems

**شکل ۷: کاربرد مهندسی مکاترونیک در کاشت خودکار نشاء[۱۷]**

## ۴-۴- کاربرد مهندسی مکاترونیک در سامانه‌های داشت محصولات[۲۹]

به‌کارگیری سامانه‌های مکاترونیکی در سامانه‌ها و یا ماشین‌های داشت می‌تواند از ارزشمندترین نوع کاربرد آنها باشد. زیرا در صورت استفاده صحیح می‌تواند علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و نهاده‌ها به کاهش آلودگی‌های زیست محیطی نیز منجر شود. یکی از این موارد استفاده در کنترل خودکار علف‌هرز برای مزارع بسیار بزرگ و وسیع است. با این سامانه از هدر رفت سموم در محل‌های غیر ضروری و از دوباره‌کاری یا همپوشانی سمپاشی جلوگیری می شود. نمونه‌ای از به‌کارگیری سامانه‌های مکاترونیکی در ماشین کنترل خودکار علف هرز برای کشاورزی در مقیاس بزرگ در شکل شماره ۸، نشان داده شده است. با این روش دقیق انجام عملیات سمپاشی افزایش می‌یابد. مسلما استفاده از سامانه‌های مکاترونیکی به‌ویژه هوشمندسازی به عملیات سمپاشی خلاصه نمی‌شود و این سامانه‌ها در دیگر ماشین‌های عملیات مهندسی داشت می‌تواند بکار گرفته شود.

**شکل ۸: کاربرد مهندسی مکاترونیک در کنترل خودکار علف هرز برای کشاورزی در مقیاس بزرگ[۱۴]**

29 Plant protection systems

### ۴-۵- کاربرد مهندسی مکاترونیک در سامانه های برداشت[۳۰]

مهندسی برداشت حوزه مهمی از مهندسی زنجیره تولید محصولات کشاورزی را شامل می‌شود. این حوزه برداشت مهندسی انواع و اقسام محصولات زراعی، باغی و گلخانه‌ای را دربرمی‌گیرد. بدیهی است برداشت ماشینی پتانسیل بالقوه‌ای برای آسیب‌رسانی به محصول دارد. از این‌رو،دقت در طراحی و ساخت این‌گونه ماشین‌ها حائز اهمیت ویژه‌ای است. از طرفی، برداشت به‌هنگام محصولات حساس به ضربه و فشار، یکی از عوامل بسیار مهم محسوب شده و می‌تواند منجر به تلفات و کاهش درآمد شود. به‌علاوه در ماشین‌های صرفا مکانیکی لزوم مهارت راننده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مجموع این عوامل و نوع شرایط کاری لزوم بهره‌گیری از فناوری‌های نوین از جمله مکاترونیک را ضروری می‌نماید. برای نمونه برداشت محصول توت‌فرنگی با ماشین‌های برداشت صرفا مکانیکی امکان‌پذیر نیست. اما با بهره‌گیری از فناوری تشخیص اپتیکی[۳۱] و تلفیق با مکاترونیک می‌توان به انجام موفق چنین کار حساسی دست یافت(شکل شماره ۹).

**شکل ۹: کاربرد مکاترونیک در برداشت خودکارتوت فرنگی به روش تشخیص اپتیکی محصول[۱۲]**

### ۴-۶- کاربرد مهندسی مکاترونیک در سنجش های کشاورزی[۳۲]

اهمیت اندازه‌گیری، پایش و سنجش برخط[۳۳] و غیر برخط[۳۴] برای تولید محصولات مختلف به‌ویژه در کشاورزی صنعتی به دلیل ویژگی‌ها و شرایط کاری در محیط آزاد بر متخصصان امر پوشیده‌ای نیست. در این میان، حسگرها، مکان یاب‌ها[۳۵] و دوربین‌های مختلف در محدوده طیفی متفاوت (اعم از قابل دید و غیر قابل دید) از جمله ابزاری است که برای اندازه‌گیری‌های کمّی و کیفی در کشاورزی صنعتی و پیشرفته می‌تواند به‌عنوان ظرفیتی نهفته مورد ا ستفاده قرار گیرد. اما با بهره‌گیری از آنها به کمک سامانه‌های هوشمند و یا تحت کنترل می‌توان وسایل و ما شین‌هایی ساخت که به‌عنوان ربات یا ما شین کنترلی به انجام

30 Harvest systems
31 Optical
32 Agricultural measurements
33 Online
34 Offline
35 Global Positioning System (GPS)

عملیات مختلف اندازه‌گیری، نمونه‌گیری، پایش و یا سنجش در سطح مزرعه، باغ و یا فضاهای باز یا بسته اقدام نماید، تا از مشکلات شرایط کاری و سختی اندازه‌گیری‌ها و نمونه‌برداری‌ها کاسته شود. در شکل شماره ۱۰ دو نمونه ربات با قابلیت پرواز آمده است.

**شکل ۱۰: کاربرد مکاترونیک در ربات‌های هوایی که می‌توان در اندازه‌گیری‌ها، پایش و سنجش برخی پارامترهای گیاهی، محصولی و تحقیقات میدانی بکار گرفته شود[۱۶]**

از مزایای استفاده از سامانه‌های مکاترونیکی در اندازه‌گیری‌ها: کاهش خطای دید[۳۶](چالش مغز) و سختی کار، افزایش دقت و سرعت انجام کار، کنترل دقیق، کارکرد آسان با دستگاه، دسترسی به مناطق دور از دسترس یا دور از دید است.

## ۵- چالش‌های مکاترونیک و سامانه‌های هوشمند در کشاورزی

همانگونه که تعیین نقاط قوت و ضعف با درنظرگرفتن شرایط زمانی و فرصت‌های پیشرو مهم است؛ شناخت چالش‌ها در اتخاذ راهبردهای مناسب و متناسب با جامعه نیز در به‌کارگیری هر فناوری نوین ضروری است. با توجه به رویکرد صنعتی نمودن فرآیند تولید محصولات کشاورزی متناسب با افزایش تقاضای بازار مصرفی، صادراتی نمودن محصولات و به‌منظور افزایش بهره‌وری، آگاهی از چالش‌های پیش‌رو در سامانه‌های صنعتی و نوین به‌ویژه در زمینه سامانه‌های مکاترونیکی بسیار حائز اهمیت به‌نظر می‌رسد. هر چند مزایای بسیاری برای وجود و یا استفاده از اینگونه سامانه می‌توان ذکر نمود. اما در امور مهندسی و تولید هر محصول، هرگونه غفلت از چالش‌هایی که ممکن است در استفاده از یک فناوری و یا سامانه جدید به‌ویژه در شرایطی که هزینهٔ سنگین در پی داشته باشد و یا با زندگی انسان‌ها سروکار داشته باشد، شایسته و قابل قبول نیست. اگرچه در چالش‌های عنوان‌شده زیر بیشتر به کلیات چالش‌های سامانه‌های مکاترونیک در حالت کلان پرداخته شده است؛ اما لازم است مطالعه موردی مسائل مرتبط با هر موضوع متناسب با فرهنگ و سطح فناوری کشاورزی منطقه، بحث ترویج و آموزش، محدودیت‌های زمین، هزینه تمام شده، استانداردهای موردنیاز به‌طور اختصاصی مورد بررسی قرار گیرد. زیرا برای هر ماشین، منطقه، شرایط اجتماعی و فرهنگی منطقه این چالش‌ها وزن متفاوتی خواهد داشت. با این‌حال، برای ورود به این موضوع شناخت همین کلیات و آگاهی به کارشناسان و مدیران این امر از ضروریات اولیه است. مواردی که در استفاده از ماشین‌های کشاورزی فعلی با آن مواجه هستیم به دلیل سطح آگاهی و آموزش کشاورزان و در برخی موارد توان خرید ماشین‌آلات و دانش فنی است. بدیهی است به‌دلیل سطح بالاتر فناوری و قیمت بیشتر در سیستم‌های جدید مکاترونیکی این مسئله بیشتر خود را نشان خواهد داد. بنابراین، نیاز به مطالعه و بررسی بیشتر دارد. در همین راستا، مهم‌ترین چالش‌های پیش روی سامانه‌های مکاترونیکی را می‌توان به شرح ذیل بیان نمود:

### ۵-۱- قابلیت اطمینان[۳۷] در سامانه‌های مکاترونیکی و هوشمند

در حقیقت، یک ماشین یا سامانه را با چندین میکروکنترلر، موتور الکتریکی، حسگرهای متنوع، سیم‌کشی[۳۸] و صدها خط کد نرم‌افزاری علی‌رغم وجود اجزای مکانیکی و قطعات مختلف به سختی می‌توان صرفاً یک سامانه مکانیکی فرض کرد. بنابراین، در سامانه‌های مکاترونیکی معمولا به دلیل وجود تعدد و تنوع اجزای غیرمکانیکی مسئله قابلیت اطمینان بیشتر نمود پیدا کرده و

36 Visual illusion
37 Reliability
38 Wiring

بسیار حائز اهمیت است. لذا معمولا قابلیت اطمینان در آنها علی‌رغم همه مزایا موضوعی چالش برانگیز است. موضوع بیشتر زمانی خود را نشان می‌دهد که کارکرد غیرقابل پیش‌بینی اینگونه سامانه‌ها به خسارت جبران‌ناپذیری منجر شود؛ برای مثال، وقتی موضوع مرگ و زندگی کاربر[39] در میان باشد، اگر برحسب اتفاق، مثلاًدر یک سامانه فرمان مکاترونیکی در ست عمل نکند، ممکن است خسارت جبران‌ناپذیری بوجود آید. این در حالی است که قابلیت اطمینان در سامانه‌های مکانیکی نسبت به سامانه‌های مکاترونیکی بالاتر به‌نظر می‌رسد. همچنین قابلیت اطمینان برای یک سامانه برابر حاصل‌ضرب قابلیت اطمینان تک تک زیرسامانه‌هاست و از آنجا که معمولا سامانه‌های مکاترونیکی نسبت به سامانه‌های مکانیکی متشکل از اجزا و زیر سامانه‌های بیشتری است، این مسئله سبب می‌شود تا قابلیت اطمینان کل سامانه کمتر شود[۲].

برطرف نمودن این ایراد و جلوگیری از پیآمد های ناگوار احتمالی در موارد مهمی که جان انسان در میان است، حائز اهمیت فوق العاده بوده و نیاز به پیش‌بینی و طراحی مناسب دارد. برای این منظور و در موارد خاص و شدنی، یک سامانه مکانیکی به‌طور موازی با سامانه مکاترونیکی طراحی می شود تا در صورت از کار افتادن سامانه مکاترونیکی، سریعا سامانه مکانیکی جایگزین شده و از پیشامد خسارت‌های احتمالی جلوگیری نماید.

**۵-۲- آموزش، تخصص و دستورالعمل برای استفاده از سامانه‌های مکاترونیکی**

گسترش فراگیر سامانه‌های مکاترونیکی نیاز روزافزون به آموزش تخصصی و وجود دستورالعمل لازم برای هر سامانه را به‌خوبی مشخص می‌کند. بدیهی است بدون وجود نیروی ماهر و متخصص در زمینه مکاترونیک، هر سامانه مکاترونیکی در زنجیره تولید پس از مدتی می‌تواند به مشکلی جدی برای تولید آن محصولات تبدیل شود. از سوی دیگر، ناآشنایی و دانش اندک متخصصان حوزه‌های مختلف علوم و مهندسان کشاورزی و حوزه‌های وابسته به آن نسبت به این فناوری‌ها و سامانه‌های نوین و هوشمند می‌تواند به‌عنوان چالشی برای پیشروی توسعه آن باشد. ازهمین‌رو، لزوم آموزش و تربیت افرادی با تجربه در زمینه‌های گوناگون از جمله آشنایی و شناخت، عیب‌یابی و تعمیر سامانه‌های مکاترونیکی ضروری می‌نماید.

**۵-۳- مدیریت بهره‌برداری و تعمیرات و نگهداری در سامانه‌های مکاترونیکی**

یکی از عوامل افزایش بازدهی دارایی برای هر ماشین و یا سامانه مکاترونیکی، مدیریت بهره‌برداری و تعمیرات و نگهداری صحیح آن است که می‌تواند به افزایش بهره‌وری منجر شود. استفاده موفقیت‌آمیز نیازمند مدیریت مطلوب نگهداری و تعمیرات ماشین‌های کشاورزی است. بنابراین هرچه نگهداری و تعمیرات مؤثرتر باشد، می‌تواند تأثیر مطلوب و دوگانه‌ای در افزایش میزان بازده دارایی داشته باشد؛ از جمله سبب افزایش بهره‌وری از تجهیزات و در نتیجه باعث افزایش درآمد شود. همچنین سبب کاهش نیاز به سرمایه جدید و به عبارتی، کاهش ارزش دارایی شده و زمینه افزایش بازگشت دارایی را فراهم می‌سازد[۱]. البته این موضوع تنها مختص سامانه های مکاترونیکی نیست. اما درخصوص این سامانه‌ها تدابیر خاص نیاز است. به‌عنوان نمونه یک سامانه مکانیکی ممکن است به دما و رطوبت و شرایط کاری سخت حساس نباشد. اما این موضوع برای سامانه‌های مکاترونیکی متفاوت است. زیرا در زیر سامانه‌های آنها مواد حساس‌تری بکار رفته است.

**۵-۴- واردات بدون تدبیر و آینده‌نگری در سامانه‌های مکاترونیکی**

نقش تدبیر و آینده‌نگری در خرید هر ماشین و یا محصول جدید و به‌ویژه در واردات از کشورهای دیگر بر کسی پوشیده نیست. ولی آنچه مسلم است، یکی دیگر از چالش‌های پیشرو و مرتبط با سامانه‌های مکاترونیکی در ایران، واردات دستگاه‌ها و ماشین‌هایی از این دست است. درصورت عدم ضابطه‌مندی و توجه به خدمات پس از فروش تولیدات خارجی و عدم اطمینان از وجود نیروی ماهر برای این خدمات در داخل و یا وجود خدمات بدون نظارت می‌تواند در آینده مشکل‌ساز شود. شاید این موضوع ریشه در تعدد واردکنندگان و عدم تمرکز در ورود اینگونه ماشین‌ها داشته باشد. از سوی دیگر، در این خصوص مباحث فرصت‌های شغلی جدید و کاهش شغل‌های مرسوم نیز متناسب با شرایط هر منطقه از نظر نیروی انسانی نیازمند بررسی و دقت نظر بیشتری است.

بنابراین و بدون تردید برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری هماهنگ در سطح کلان، تدابیر اجرایی و نظارت پیوسته می‌تواند در موفقیت هرچه بیشتر و ساماندهی این خدمات از الزامات واردات مدبرانه محسوب شود.

**۵-۵- راهکارهای توسعه‌ای برای سامانه‌های مکاترونیکی**

39 Operator

**در کشاورزی**

در سطح بین‌المللی، اگرچه در زمینه مکاترونیک و ماشین‌های کشاورزی و کاربردهای آنها سامانه‌ها و ادواتی ساخته و یا پژوهش شده است، اما تحقیقات و به‌کارگیری و یا توسعه آنها حتی در سطح بین‌المللی نیز در رفع نیازهای روزافزون و جدید همچنان راه زیادی برای پیمودن دارد. این در حالی است که در ایران تنها گام‌هایی بسیار اولیه برداشته شده و بسیاری نیز از وجود و یا شناخت توانمندی های چنین فناوری هایی حتی در سطح کارشناسان به دلایل مختلف بی‌بهره‌اند. در این میان و در راستای راهکارهای تو سعه‌ای و بهره‌برداری به موارد زیر به صورت اجمالی می‌توان اشاره نمود:

- آموزش و شناخت اولین گام موثر در را ستای افزایش آگاهی از فناوری های نوین در حوزه مکاترونیک است. این امر علاوه بر استفاده از دوره‌ها و کلاس‌ها می‌تواند به شیوه‌های نوشتاری و غیر نوشتاری اعم از ارائه فیلم، پویانمایی، داده‌نما و پوسترهای آموزشی محقق شود.
- انتخاب، به کارگیری و توسعه مناسب فناوری های نوین مکاترونیکی در ما شین‌های زنجیره تولید محصولات کشاورزی با تاکید بر بومی‌سازی برای افزایش ارزش افزوده، بهره‌وری، صادراتی نمودن و بازار پسندی [۳]؛
- تعمیق پژوهش های کاربردی مبتنی بر نیاز و افزایش بهره‌وری در به‌روز سانی بخش تولید محصولات کشاورزی با بهره‌گیری از مکاترونیک می‌توان از این گونه فناوری‌های نوین به‌طور مؤثر بهره جست؛
- هرگونه توسعه، انتخاب و یا ورود سامانه‌های مکاترونیکی به حوزه کشاورزی نیازمند دقت و توجه به شرایط کاربران از لحاظ اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی به‌صورت جامع و همچنین مطالعات موردی و منطقه‌ای است؛
- در طراحی و ساخت سامانه‌های مبتنی بر فناوری‌های نوین مکاترونیکی که با انسان نیز در ارتباط است، همواره رعایت ایمنی، مسائل زیست محیطی و به‌کارگیری سامانه پشتیبان ضروری است.

مسلما علاوه بر رعایت موارد بالا، درنظرگرفتن چالش‌ها و یافتن راه‌های برون رفت از آنها نیز به‌طور جدی توصیه می‌شود.

## ۶- نتیجه‌گیری

بررسی‌ها نشان می‌دهد برای حفظ ثبات، پویایی و پیشرفت، تغییر و تحول سازنده در امر توسعه صنعت کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است. همین نیاز به تحول پیشرو نیز خود متناسب با زمان و مکان در حال تغییر است. از سوی دیگر، اگر چه ورود فناوری‌های نوین به رشد و پیشرفت جوامع کمک می‌کند، ولی این ورود و گسترش کورکورانه و بدون شناخت از نیاز جامعه و توانمندی‌های سامانه‌های مکاترونیکی در ماشین‌ها و سامانه‌های کشاورزی، مزایا و چالش‌های آنها می‌تواند به معضلی جدید برای جامعه و مدیران مبدل شود. ازاین‌رو، شناخت و بررسی کاربرد سامانه‌های مکاترونیکی در کشاورزی سبب می‌شود تا با شناخت بهتر به استفاده و یا ورود این فناوری‌های نوین نگریسته شود. در این نوشتار کاربردهای مختلف سامانه‌های مکاترونیکی در امر تولید محصولات کشاورزی و توسعه کشاورزی صنعتی در این حوزه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین چالش‌ها و راهکارهای توسعه‌ای نیز بیان شد.

در مجموع مشخص شد: استفاده از ویژگی‌ها و توانمندی‌های فناوری و سامانه‌های مکاترونیکی در ماشین‌ها و سامانه‌های کشاورزی می‌تواند به انجام به‌موقع عملیات مختلف کشاورزی(از خاک‌ورزی تا برداشت)، مدیریت بهتر، افزایش بهره‌وری و تولید پایدار، افزایش یکنواختی و کنترل بهتر تولید محصولات کشاورزی به‌خصوص برای سطوح وسیع زیرکشت منجر شود. همچنین استفاده از این توانمندی‌های مهندسی مکاترونیک به‌همراه آموزش در به‌کارگیری برای تولید در مقیاس صنعتی و توسعه کشاورزی صنعتی و مکانیزاسیون امری گریزناپذیر است. با این حال از چالش ها و مسائل جانبی ناشی از به کارگیری سامانه‌های مکاترونیکی در تولید محصولات کشاورزی نباید غفلت نمود. بنابراین، درک مطالب فوق کمک بسیار شایانی در نگرش بهتر به افق‌های جدید برای دستیابی به کشاورزی صنعتی، توسعه پایدار و افزایش بهره‌وری را فراهم می‌آورد. لازم به ذکر است که نقش سامانه‌های مکاترونیکی در ابعاد کلان(سطح زیرکشت وسیع و یا کارگاه های مرتبط با صنایع جانبی و تکمیلی بزرگ کشاورزی) و سطوح خرده مالکی(اعم از سطح زیرکشت کم و یا کارگاه های مرتبط کوچک و متوسط) بسیار متفاوت بوده و نیازمند دقت نظر و بررسی‌های خاص خود است. بنابراین، این موضوع برای هر کاربردی به تحلیل اقتصادی مختص به خود نیاز دارد. به‌علاوه، این مسئله از یک منطقه به منطقه دیگر نیز متفاوت خواهد بود. برای مثال، در کشت گلخانه‌ای سطح حداقلی کمتر از نیم هکتار است. حال آنکه برای محصولات زراعی و یا باغی و حتی از محصولی به یک محصول دیگر، این سطح و یا وسعت کار بسیار متفاوت است و قابل مقایسه نیست.

نکته آخر اینکه، هر فعالیتی بدون تحقیقات، قطعیت موفقیت خود را کاهش می‌دهد.

## فهرست منابع


[۱] ابزری، مهدی؛ نیلی‌پور طباطبایی، اکبر؛ **"چالش‌های مدیریت نگهداری و تعمیرات در هزاره سوم"**، سومین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، تهران، انجمن نگهداری و تعمیرات، سالن اجلاس سران، تهران، ۱۳۸۴.

[۲] غفاری، قاسم؛ **"خودروها چگونه هوشمند می شوند؟"**، دانشمند شماره ۵۷۲، ص ۶۲، ۱۳۹۰.

[۳] گازر، حمیدرضا؛ کفاشان، جلال؛ **کتاب دهه دوم تلاش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی: سامانه‌های پس از برداشت**، ناشر مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ۱۳۹۴.

[۴] مرندی، وحید؛ **" سازوکارهای انتقال فناوری: ویژگی‌ها، اثرات و الگوها"**، دوفصلنامه علمی- ترویجی توسعه تکنولوژی صنعتی، شماره ۲۵، صص ۷۴-۶۰، بهار و تابستان ۱۳۹۴.

[۵] ارمغان، نگار؛ **"مواجهه تحلیلی با چالش‌های شکست در اجرای پروژه‌های مدیریت دانش در ایران"**، دوفصلنامه علمی- ترویجی توسعه تکنولوژی صنعتی، شماره ۲۷، صص ۳۸-۲۷، بهار و تابستان ۱۳۹۵.

[6] De Silva, Clarence W.; Khoshnoud, Farbod; Li, Maoqing; Halgamuge, Saman K.; *Mechatronics Fundamentals and Applications*, CRC Press Book, Taylor & Francis Group, U.S, 2016.

[7] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); http://www.fao.org/, access, 2015.

[8] Rovira Más, Francisco; Zhang, Qin; Hansen, Alan C.; *Mechatronics and Intelligent Systems for Off-road Vehicles*, Springer London Dordrecht Heidelberg New York. ISBN 978-1-84996-468-5, 2010.

[9] Milecki ,Andrzej; *45 Years of Mechatronics – History and Future, Progress in Automation, Robotics and Measuring Techniques Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer International Publishing Switzerland. 127-136, 2015.

[10] Plant, R.; Pettygrove, G.; Reinert, W.; "*Precision agriculture can increase profits and limit environmental impacts*", Cal Ag.; Vol. 54, Issue 4, pp. 66-71, DOI: 10.3733/ca.v054n04p66, 2000.

[11] United Nations; *World Population Prospects: The 2015 Revision Key Findings and Advance Tables*, Department of Economic and Social Affairs Population Division, United Nations, New York, 2015.

[12] Bolda, Mark; "*Robotic Strawberry Harvester on the Move, Strawberries and Cane berries*", Division of Agriculture and Natural Resources, University of California.

[13] Wehrspann, Jodie; *Smart combine at work*, Farm Industry News, 2012.

[14] Precision Agriculture, Autonomous Robots for Large-Scale Agriculture, http://precisionagricultu.re/autonomous-robots-for-large-scale-agriculture/, access 2016.

[15] https://www.fginsight.com/vip/vip/time-for-change-developing-and-adapting-tillage-equipment-creates-more-control-5467, access 2016.

[16] http://www.slideshare.net/Bilal_11kb/introduction-to-mechatronics-60666773

[17] http://www.transplantsystems.com.au/index.php/field-transplanters/automatic-planting-machines, access 2016.