

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه کنترل خودکار عمق ادوات خاک‌ورزی

ایمان فلاحی کوشالی^۱، محمدحسین آق‌خانی^{۲*}، محمدرضا بیاتی^۳

۱. کارشناس ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد

۲، ۳. دانشیار و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۲/۳)

چکیده

دستگاه ساخته‌شده در این پژوهش، موقعیت مناسب ادوات خاک‌ورز را نسبت به سطح زمین در هر نقطه از زمین کشاورزی محاسبه می‌کند، سپس عملگر هیدرولیکی دستگاه وسیله کشاورزی را در موقعیت بهینه قرار می‌دهد. موقعیت بهینه ادوات با نرم‌افزار کنترل عمق نوشته‌شده برای دستگاه و با استفاده از داده‌های ورودی مانند عمق توسعه ریشه گیاه، نوع تراکتور و سرعت آن محاسبه می‌شود. دستگاه ساخته‌شده در عملیات خاک‌ورزی دقیق به وسیله زیرشکن آزمایش شد. میزان دقت دستگاه در اعمال عمق مد نظر در آزمایشگاه و زمین کشاورزی بررسی شد. فاکتورهای در نظر گرفته‌شده در آزمایشگاه، نوع تغییر عمق (افزایش یا کاهش)، و هفت مرحله تغییر عمق به اندازه ۵۰ میلی‌متر در بازه صفر تا ۳۵۰ میلی‌متر بود. در آزمون مزرعه‌ای علاوه بر دو فاکتور ذکر شده، فاکتور دنده حرکت نیز در نظر گرفته شد (دنده‌های ۱، ۲، ۳ و تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹). میزان خطای دستگاه در آزمایشگاه ۳/۳ درصد برای افزایش و ۳/۸۳ درصد برای کاهش عمق به دست آمد. میزان خطای به دست آمده در زمین کشاورزی برای افزایش ۴/۱۹ درصد در دنده یک، ۵/۱۹ درصد در دنده دو، و ۵/۷۸ درصد در دنده سه محاسبه شد. خطای دستگاه در اعمال عمق مورد نظر در حالت کاهش عمق مقادیر ۶/۸۴ درصد برای دنده یک، ۴/۶۷ درصد برای دنده دو، و ۶/۴۱ درصد برای دنده سه به دست آمد.

کلیدواژگان: حسگر، خاک‌ورزی دقیق، عملگر هیدرولیکی، نرم‌افزار کنترل عمق.

مقدمه

جمع‌آوری اطلاعات، پردازش آن‌ها، و تصمیم‌گیری بر مبنای نتایج به دست آمده در کشاورزی موجب پیدایش شیوه مدیریتی جدیدی به نام کشاورزی دقیق^۱ شده است. اطلاعات لازم در کشاورزی دقیق شامل بافت، رطوبت، مقاومت مکانیکی، چگالی و فشردگی خاک، شیب، پستی و بلندی زمین، مواد غذایی خاک، جهت و سرعت وزش باد در حین عملیات، میزان ارتفاع، و تراکم محصول و مانند اینهاست که این اطلاعات باید در نقاط گوناگون زمین کشاورزی مورد نظر جمع‌آوری شود.

روش‌های جدید کشاورزی دقیق بر این مبنای استوار است که خصوصیات متفاوت زمین کشاورزی و محصول که به آن‌ها اشاره شد، در نقاط گوناگون زمین فرق دارد، و انجام عملیات گوناگون کشاورزی مانند سمپاشی، کودپاشی، خاک‌ورزی، و سایر عملیات کشاورزی با شیوه یکسان و ثابت در تمام مزرعه اشتباه است، زیرا ممکن است میزان عملیات انجام‌شده در

نقطه‌ای بیش‌تر از مقدار لازم باشد، که در نتیجه موجب تخریب محیط زیست، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی، افزایش مصرف نهاده‌های کشاورزی (کود، بذر، سم، سوخت، انرژی، آب، و ...)، افزایش استهلاک ماشین‌ها، افزایش هزینه‌های تولید، کاهش میزان تولید، کاهش سود، و مانند اینها خواهد شد. ممکن است نرخ عملیات انجام‌شده در نقطه‌ای کم‌تر از میزان لازم باشد، که باز هم تأثیرات نامطلوب در کیفیت کار خواهد داشت. بنابراین اصول کشاورزی دقیق این‌گونه است که دست‌کاری در طبیعت در هر نقطه به مقدار نیاز آن منطقه انجام شود.

به عبارت دیگر کشاورزی دقیق، نگرش مدیریتی جدید در مزارع کشاورزی است که مبنای تصمیم‌گیری در آن، داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری‌شده از زمین کشاورزی است (Hernández and Mulla, 2009).

این تفکر را که باید میزان عملیات کشاورزی، در هر نقطه براساس خصوصیات آن مکان تعیین و اعمال شود، مدیریت خاصه مکانی^۲ در کشاورزی می‌نامند.

* نویسنده مسئول: aghkhani@yahoo.com

مدیریت خاصه مکانی، ادوات کشاورزی را به سمت فناوری جدیدی به نام فناوری نرخ متغیر^۱ سوق داده است. ادواتی که مجهز به این نوع فناوری می‌باشند، می‌توان نرخ عملکرد آن‌ها را در نقاط گوناگون یک زمین کشاورزی تغییر داد. مثلاً سمپاش‌هایی که می‌توان میزان پاشش سم در آن‌ها را در شرایط گوناگون کم و یا زیاد کرد و یا زیرشکن‌هایی که عمق کار آن‌ها در حین انجام عملیات زیرشکنی تغییرپذیر است.

کشاورزی دقیق برای برخی از ادوات کشاورزی به صورت تغییر موقعیت نسبت به زمین (تغییر ارتفاع و یا عمق) تعریف می‌شود. مثلاً برای زیرشکن، با توجه به فشردگی خاک و موقعیت لایه سخت، باید عمق کاری زیرشکن در قسمت‌های گوناگون زمین کشاورزی، برحسب نیاز تغییر کند.

افزایش فشردگی خاک که موجب ایجاد لایه‌ای سخت درون خاک می‌شود، باعث کاهش تعداد و اندازه ریزش‌های خاک می‌شود، که نتیجه آن افزایش چگالی و مقاومت خاک است. لایه سخت خاک مانعی برای رسیدن آب، مواد مغذی، و هوا به ریشه گیاه است. این مسئله مانعی برای رشد مطلوب و مناسب گیاه است (Tafangenyasha et al., 2011). برای از بین بردن لایه سخت خاک از وسیله‌ای به نام زیرشکن^۲ (ریپر^۳) استفاده می‌شود. زیرشکن وسیله‌ای برای شخم زمین در عمق زیاد است. عمق زیرشکنی در مناطق گوناگون بین ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر انتخاب می‌شود.

در زمان حاضر در ایران، بدون بررسی‌های قبلی و به‌طور وسیع در عملیات تهیه زمین از گاوآهن برگردان‌دار استفاده می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این ادوات در بسیاری از موارد به ایجاد لایه متراکم و فشرده‌ای از خاک و یا به عبارت دقیق‌تر سخت‌لایه^۴ شخم می‌انجامند که اغلب برای شکستن این لایه، مشابه لایه سخت خاک نیاز به انجام شخم عمیق با زیرشکن است. (Javadi and Shahidzadeh, 2005). در تحقیقی که اخیراً منتشر شده است، عمق و ضخامت لایه سخت خاک در قسمت‌های گوناگون یک زمین کشاورزی بررسی شد. تعیین موقعیت و ضخامت لایه سخت در دو زمین کشاورزی گوناگون انجام شد. بر طبق نتایج به‌دست‌آمده در نقاط گوناگون هر دو زمین، اختلاف بسیار زیادی در عمق تشکیل و ضخامت لایه سخت خاک مشاهده شد. با توجه به اینکه عمق متداول

زیرشکنی در منطقه آزمایش‌شده ۴۵ سانتی‌متر بود؛ مشخص شد که در یک زمین باید در ۷۵ درصد نقاط آن، عمق زیرشکنی کم‌تر از مقدار معمول باشد؛ و این مقدار برای زمین دیگر، ۶۷ درصد به دست آمد (Gorucu et al., 2011). در طی تحقیقی که طی ۴ سال در مزارع پنبه در دانشگاه آلاباما انجام شد، نیروی کششی لازم و سوخت مصرفی در عملیات زیرشکنی به دو صورت عمق ثابت و عمق متغیر مقایسه شد. آزمایش‌ها در زمین‌هایی انجام شد که لایه سخت آن‌ها در عمق‌های ۲۵، ۳۵، و ۴۵ سانتی‌متر قرار داشت. عملیات زیرشکنی عمق ثابت در عمق ۴۵ سانتی‌متر انجام شد. میزان مصرف سوخت در حالت زیرشکنی عمق متغیر در شرایطی که لایه سخت در عمق ۲۵ سانتی‌متری قرار داشت در مقایسه با زیرشکنی عمق ثابت مقدار ۴۳ درصد و در حالتی که لایه سخت خاک در عمق ۳۵ سانتی‌متری قرار داشت، ۲۷ درصد کاهش داشت. البته در شرایطی که لایه فشرده خاک در ۴۵ سانتی‌متری زمین قرار داشت، اختلاف شایان ملاحظه‌ای در میزان مصرف سوخت بین دو روش خاک‌ورزی دیده نشد. همچنین در بررسی میزان نیروی کششی لازم مشخص گردید که این نیرو در زیرشکنی دقیق در شرایطی که لایه سخت در عمق ۲۵ سانتی‌متری قرار دارد، مقدار ۵۹ درصد کاهش یافته است. این کاهش برای شرایطی که لایه سخت در عمق ۳۵ سانتی‌متری زمین قرار داشت برابر ۳۵ درصد بود. البته همانند میزان مصرف سوخت، در زمینی که لایه سخت خاک در عمق ۴۵ سانتی‌متری زمین قرار داشت بین دو روش زیرشکنی، تغییر شایان ذکری در مقدار نیروی کششی لازم مشاهده نشد (Raper et al., 2007).

هدف از انجام این پژوهش ساخت دستگاهی برای کنترل موقعیت انواع گوناگون ادوات خاک‌ورزی به‌گونه‌ای است که بتوان آن را روی اکثر تراکتورهای متداول نصب کرد و با دریافت اطلاعات لازم، عمق مناسب محاسبه، اعمال، و درنهایت کنترل لحظه‌ای بر عمق در حین اجرای عملیات انجام شود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به‌منظور قرارگیری ادوات خاک‌ورزی در عمق بهینه، دستگاهی که از سه بخش اصلی واحد اندازه‌گیری و تشخیص، واحد کنترل و فرمان، و واحد عملگر هیدرولیکی تشکیل شده، ساخته شده است.

واحد اندازه‌گیری دستگاه شامل حسگر تعیین عمق است که این حسگر از طریق مکانیزم حذف ارتعاش با شاسی افقی زیرشکن متصل به تراکتور در ارتباط است، در نتیجه سیگنال‌های

1. Variable Rate Technology (VRT)

2. Subsoiler

3. Ripper

4. Plow Pan

وارد شده، محاسبه عمق و يا ارتفاع بهينه، و ارسال فرمان به عملگر هيدروليک را بر عهده دارد. واحد کنترل شامل سه قسمت اصلي مدار الکترونيکی، پردازشگر مرکزی، و نرم افزار کنترل و فرمان است.

برد الکترونيکی رابط وظيفه برقراری ارتباط و تبادل اطلاعات بين حسگر اندازه گیری، پردازشگر مرکزی، و شیر هيدروليکی را بر عهده دارد. پردازشگر مرکزی در اين تحقيق کامپيوتر قابل حمل انتخاب شده است. کامپيوتر مذکور پورت سریال RS232 برای برقراری ارتباط با برد الکترونيکی دارد.

برای دریافت اطلاعات از راننده تراکتور دریافت داده های ارسالی از حسگر، محاسبات تعيين عمق و يا ارتفاع بهينه، کنترل، و فرمان سامانه هيدروليک دستگاه، نرم افزاری به زبان ويژوال بیسیک نوشته شده است.

این نرم افزار به نوعی رابط بين کاربر و دستگاه ساخته شده است، زیرا اطلاعات لازم را از کاربر دریافت می کند و در هر لحظه نتایج تمام محاسبات خود و موقعیت لحظه ای ادوات را به اطلاع کاربر می رساند.

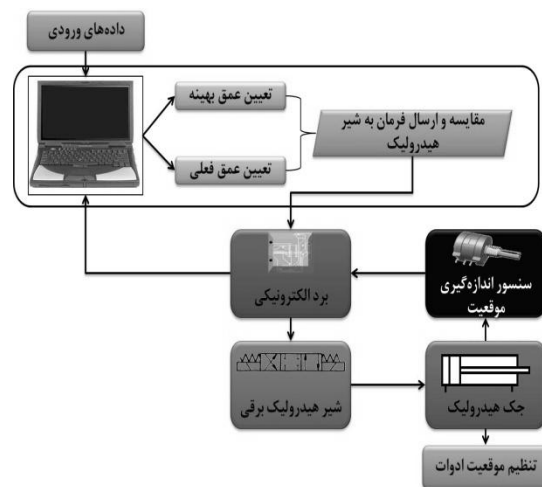
بخش عملگر دستگاه در واقع سامانه هيدروليک طراحی شده برای اعمال ارتفاع و يا عمق مورد نظر است. به گونه ای که با تغییر طول جک های هيدروليک (جک های دوطرفه)، عمق و يا ارتفاع ادوات کشاورزی نسبت به سطح زمین تغییر داده می شود. عملگر هيدروليکی دستگاه با دریافت فرمان از واحد کنترل، ادوات را در موقعیت مورد نظر قرار می دهد. ضمن اینکه سامانه اندازه گیری عملکرد این بخش از دستگاه را به طور پیوسته برای واحد کنترل ارسال می کند (شکل ۲).

برای ارزيابي دستگاه در آزمون های ایستا با یک آزمایش فاکتوریل 2×7 با طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار، اثر تغییر عمق زیرشکن (افزایش يا کاهش) و اثر هفت بازه متفاوت تغییر عمق بر میزان عدم قطعیت دستگاه در اعمال موقعیت مورد نظر بررسی شد. بدین صورت که برای حالت افزایش عمق، عمق زیرشکن نسبت به سطح مبنا از صفر تا ۳۵۰ میلی متر، در هفت مرحله و در هر مرحله ۵۰ میلی متر افزایش یافت؛ به همین صورت برای کاهش عمق در بازه های تغییر عمق به میزان ۵۰ میلی متر در محدوده ۳۵۰ تا صفر میلی متر، مقدار خطای دستگاه بررسی شد. شایان ذکر است که میانگین سرعت عملکرد دستگاه برای اعمال موقعیت مورد نظر ۲۲۷ میلی متر بر ثانیه برای افزایش عمق و ۲۷۷ میلی متر بر ثانیه برای کاهش عمق زیرشکن به دست آمد.

برای محاسبه میزان خطای دستگاه از رابطه ۱ استفاده شده است که در آن D_1 ، مقدار عمق مطلوب و D_2 ، مقدار عمق

ناشی از موقعیت ادوات را، از طریق مدار الکترونيکی واسط برای واحد کنترل و فرمان ارسال می کند.

واحد کنترل از سه بخش مدار الکترونيکی واسط، نرم افزار کامپيوتری رابط کاربر، و پردازشگر مرکزی تشکیل شده است. کاربر با نرم افزار، اطلاعات لازم را برای سامانه تعريف می کند که اين اطلاعات شامل عمق توسعه ریشه، نوع تراکتور، مشخصات ادوات متصل به آن، و سرعت تراکتور است. نرم افزار، عمق و يا ارتفاعی را که با توجه به نیازهای کاربر ادوات باید در آن قرار گیرد، محاسبه می کند. هم چنین سیگنال های موقعیت لحظه ای ادوات را از حسگر اندازه گیری فراخوانی و سپس عمق و يا ارتفاع لحظه ای ادوات را محاسبه می کند. در نهایت با مقایسه دو موقعیت محاسبه شده، فرمان های لازم را از طریق مدار الکترونيکی واسط برای سامانه هيدروليک ارسال خواهد کرد. سامانه عملگر هيدروليکی دستگاه وظيفه قراردادن ادوات در موقعیت مطلوب را بر عهده دارد. مدار هيدروليکی فرمان خود را از واحد کنترل دریافت می کند (شکل ۱).



شکل ۱. دیاگرام عملکرد دستگاه

در واحد اندازه گیری برای تعیین موقعیت قرارگیری ادوات متصل به تراکتور نسبت به زمین، از تغییر ولتاژ در یک مدار الکترونيکی به وسیله پتانسیومتر ولومی فلزی ۱۰ کیلو اهم استفاده شده است. تغییر عمق وسیله کشاورزی موجب چرخش پتانسیومتر می شود در نتیجه مقدار ولتاژ در مدار مذکور تغییر می کند. البته این تغییر به صورت یک عدد بين ۰ تا ۱۰۲۴ در برنامه مشخص می شود. این عدد V_{hi} برنامه کامپيوتری می نویسد که به صورت عمق و يا ارتفاع نسبت به زمین محاسبه و نشان داده می شود.

واحد کنترل دستگاه وظيفه دریافت سیگنال های حسگر اندازه گیری موقعیت، دریافت اطلاعات از کاربر، پردازش داده های

مقابل این دو فاکتور بر خطای اعمال موقعیت مطلوب در آزمایشگاه معنی دار نیست.

شکل ۳ بیانگر رابطه بین عمق موردنظر و عمق اعمال شده در شرایط آزمایشگاهی است. اعداد عمق اعمال شده، میانگین عددهای به دست آمده در سه تکرار است.



شکل ۲. دستگاه در حین آزمون مزرعه‌ای

اعمال شده، و E، مقدار خطای اعمال عمق برحسب درصد است.

$$E = \left| \frac{D_2 - D_1}{D_1} \right| \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

برای ارزیابی دستگاه در زمین کشاورزی، در آزمایش فاکتوریل ۷×۳×۲ میزان خطای دستگاه با طرح کاملاً تصادفی تحت شرایط افزایش یا کاهش عمق شخم متشکل از سه دنده تراکتور (دنده‌های ۲، ۱ و ۳) و هفت مرحله تغییر عمق ۵۰ میلی‌متری در بازه صفر تا ۳۵۰ میلی‌متر بررسی شد و سپس مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام گرفت.

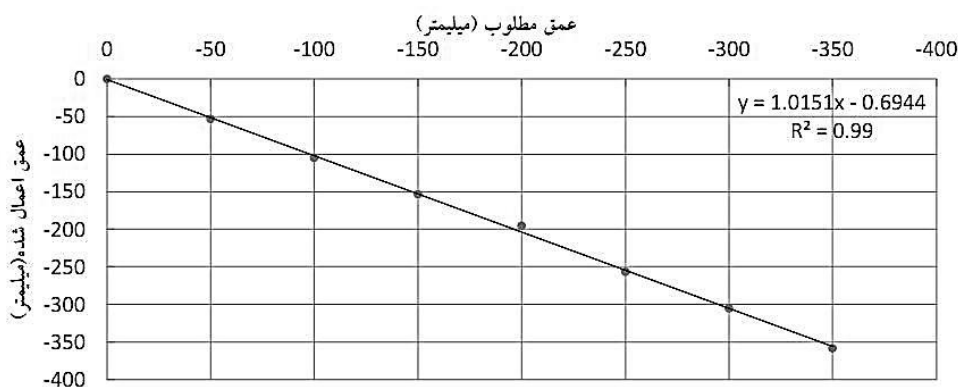
نتایج و بحث

در آزمون‌های ایستا میزان خطای دستگاه برای حالت افزایش عمق ۳/۳ درصد و برای حالت کاهش عمق ۳/۸۳ درصد به دست آمد. جدول ۱ بیانگر تجزیه واریانس تیمارها و آزمون F بین سطوح فاکتورهای آزمون خطای در شرایط آزمایشگاهی است. با توجه به جدول ۱ اثر نوع تغییر عمق، مرحله تغییر عمق، و اثر

جدول ۱. تجزیه واریانس فاکتورها بر خطای اعمال موقعیت مورد نظر در آزمایشگاه

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییر
۰/۵۰ ^{ns}	۱۰/۴۶	۱۳	۱۳۵/۹۷	تیمار
۰/۱۴ ^{ns}	۲/۹۸	۱	۲/۹۸	نوع تغییر عمق
۰۰ ^{ns}	۲۱/۱۰	۶	۱۲۶/۶۰	مرحله تغییر عمق
۰/۰۵ ^{ns}	۱/۰۶	۶	۶/۳۹	اثر متقابل دو فاکتور
	۲۱/۰۴	۲۸	۵۸۹/۱۰	اشتباه
		۴۱	۷۲۵/۱	کل

^{ns} اثر معنی دار وجود ندارد.



شکل ۳. نمودار عمق مطلوب-عمق اعمال شده در آزمایشگاه

در جدول ۳ نتایج مقایسه میانگین‌های فاکتور مرحله تغییر عمق نشان داده شده است. با توجه به جدول می‌توان گفت که در سطح ۵ درصد بین میانگین‌های مراحل یک و دو و سه و شش اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. هم‌چنین میانگین‌های میزان خطای دستگاه در ۵۰ میلی‌متر چهارم، پنجم، ششم معنی‌دار نیست. در حالی‌که این اختلاف بین مرحله دوم با مراحل پنجم و ششم معنی‌دار است. به‌طور کلی می‌توان گفت که خطای دستگاه در عمق‌های بالاتر بیشتر است. به عبارت دیگر در تیمارهای بیش‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر خطای دستگاه بالاتر از سایر تیمارهاست.

در زمین کشاورزی مقدار خطای دستگاه در شرایط افزایش عمق زیرشکنی ۴/۱۹ درصد در دنده یک، ۵/۱۹ درصد در دنده دو، و ۵/۷۸ درصد در دنده سه بود. مقادیر به‌دست‌آمده برای میزان خطای دستگاه در شرایط کاهش عمق زیرشکنی در دنده‌های یک، دو، و سه به ترتیب ۶/۸۴، ۴/۶۷، و ۶/۴۱ درصد است.

در جدول ۲ نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمون مقدار خطای در زمین کشاورزی نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که فقط اثر فاکتور مرحله تغییر عمق معنی‌دار است. فاکتورهای دنده و افزایش یا کاهش عمق بر خطای اعمال عمق تأثیر معنی‌دار ندارند. اثر متقابل تمام فاکتورها نیز بدون معنی شده است.

جدول ۲. تجزیه واریانس فاکتورها بر خطای اعمال موقعیت موردنظر در زمین کشاورزی

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
تیمار	۱۲۰۵/۶۷	۴۱	۲۹/۴۱	۱/۶۸*
نوع تغییر عمق	۲۶/۶۹	۱	۲۶/۶۰	۱/۵۱ ^{ns}
دنده	۲۸/۵۳	۲	۱۴/۲۷	۰/۸۱ ^{ns}
مرحله تغییر عمق	۳۸۷/۱۸	۶	۶۴/۵۳	۳/۶۶*
اثر متقابل نوع و دنده	۵۴/۲۴	۲	۲۷/۱۲	۱/۵۴ ^{ns}
اثر متقابل نوع و مرحله	۱۰۹/۴۱	۶	۱۸/۲۴	۱/۰۳ ^{ns}
اثر متقابل دنده و مرحله	۲۶۱/۹۲	۱۲	۲۱/۸۳	۱/۲۴ ^{ns}
اثر متقابل هر سه فاکتور	۳۳۶/۶۹	۱۲	۲۸/۱۴	۱/۶۰ ^{ns}
اشتباه	۱۴۸۰/۱۲	۸۴	۱۷/۶۲	
کل	۲۶۵۸/۸	۱۲۵	۲۱/۴۹	

^{ns} اثر معنی‌دار وجود ندارد.

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های مرحله تغییر عمق برای بررسی میزان خطای اعمال عمق

تیمار	میانگین (میلی متر)
۵۰ میلی‌متر اول	۷ ^{cb}
۵۰ میلی‌متر دوم	۸/۲۸ ^c
۵۰ میلی‌متر سوم	۷/۲۶ ^{cb}
۵۰ میلی‌متر چهارم	۴/۷۷ ^{ab}
۵۰ میلی‌متر پنجم	۴/۳۶ ^{ab}
۵۰ میلی‌متر ششم	۵/۳۲ ^{abc}
۵۰ میلی‌متر هفتم	۲/۶۹ ^a

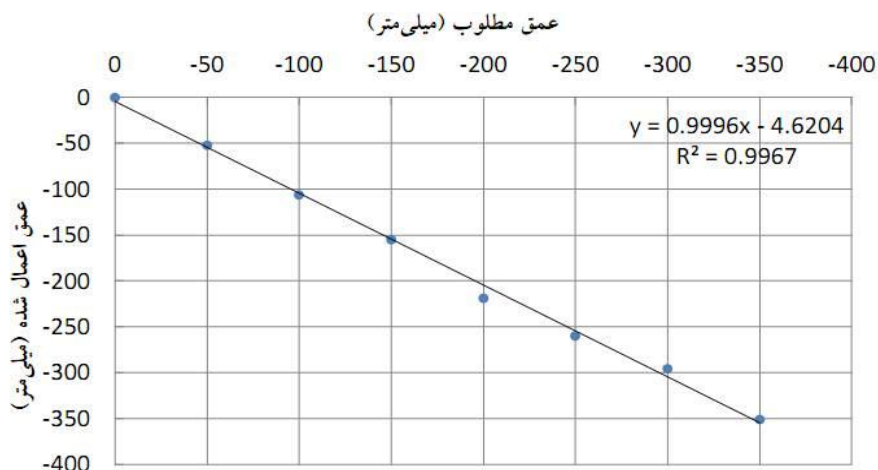
بین میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار وجود ندارد.

در نهایت با توجه به عمق مطلوب محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار کنترل و فرمان، عملیات زیرشکنی عمق متغیر انجام شد. شکل ۶ پروفیل طولی عمق مطلوب و عمق اعمالی را برای دنده یک نشان می‌دهد.

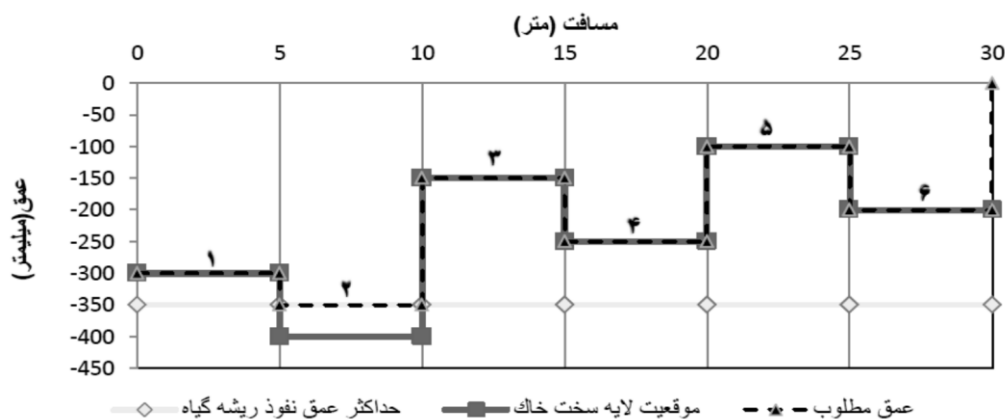
در شکل ۴ رابطه بین عمق اعمال‌شده و عمق مطلوب در آزمون مزرعه نشان داده شده است. در آزمایش دیگری در زمین کشاورزی، پروفیل طولی عمق مطلوب برای زیرشکنی با توجه به حداکثر عمق توسعه ریشه گیاه مفروض و عمق تشکیل لایه سخت خاک با نرم‌افزار دستگاه به‌صورت شکل ۵ محاسبه شد.

بود. البته در حالتی که از انکودر ۱۰۰۰ پالسی استفاده کردند، میزان خطای به ۱/۲ درصد رسید که در مقایسه با این پژوهش کمتر است (Gahari et al., 2010). به هر حال می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به نزدیک بودن مقدار خطای به دست آمده در این دو تحقیق و نیز اختلاف قیمت زیاد پتانسیومتر و انکودر ۱۰۰۰ پالسی، استفاده از پتانسیومتر برای اندازه‌گیری عمق کار منطقی‌تر است.

بیشتر تحقیقات گذشته برای انجام عملیات خاک‌ورزی دقیق در زمینه میزان مصرف سوخت، توان لازم، بازده عملکرد محصول، و گسترش ریشه گیاه در راستای عمودی بودند ولی در این پژوهش به میزان خطای دستگاه در اعمال موقعیت متغیر زیرشکن نیز پرداخته شد. میزان خطای این تحقیق در آزمایشگاه (۲/۹ درصد) در مقایسه با خطا در تحقیقی برای حالتی که از انکودر ۱۰۰ پالسی استفاده کردند، ۵/۶ درصد کمتر



شکل ۴. رابطه بین عمق اعمال شده و عمق مطلوب در زمین کشاورزی



شکل ۵. عمق مطلوب محاسبه شده توسط نرم افزار



شکل ۶. پروفیل طولی عمق مطلوب و عمق اعمالی برای دنده یک

نتیجه گیری

اعمال موقعیت مطلوب در شرایط آزمایشگاهی و زمین کشاورزی آزمایش شد. آزمایش‌های مذکور برای دو حالت افزایش و کاهش عمق در بازه ۵۰ میلی‌متری و در هفت مرحله تغییر عمق و در سه دنده تراکتور به‌طور جداگانه انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که، میزان خطای دستگاه در آزمایشگاه، مستقل از اثر تمامی فاکتورهاست. اما در آزمون‌های زمین کشاورزی در بررسی خطا مشخص شد که دنده حرکت و نیز نوع تغییر عمق تأثیر معنی‌دار بر دقت عمق اعمالی ندارند، اما تأثیر مرحله تغییر عمق بر دقت معنی‌دار است.

دستگاه الکتروهیدرولیکی طراحی و ساخته شده در این تحقیق با دریافت اطلاعات لازم کشاورزی دقیق، مثل عمق لایه سخت خاک در مکان‌های گوناگون زمین کشاورزی برحسب نیاز، موقعیت وسیله کشاورزی را نسبت به سطح زمین تغییر می‌دهد. از مزایای دستگاه ساخته شده می‌توان به قابل نصب بودن روی انواع تراکتورهای متداول در ایران، عدم تغییر در ساختار و عملکرد مکانیزم اتصال سه نقطه، و سامانه هیدرولیک تراکتور اشاره کرد. در بحث ارزیابی دستگاه میزان خطای دستگاه در

REFERENCES

- Javadi, A., Shahidzadeh, M.(2005). The effect of combined moldboard plow to break plow pan. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6 (24), 95-110.(In Farsi).
- Gahari, M., Hemmat, A., Afzal, A.(2010). Design, construction and evaluation of a tillage tool with variable depth equipped with GPS. *Biosystems Engineering of Iran*, 41(1),1-9. (In Farsi).
- Hernández.J.A., Mulla.D.J. Homepage University of Minnesota. Introduction to Precision Agriculture. <http://www.soils.umn.edu/academics/classes/soil4111/>, Visited: 2009/08/05
- Tafangenyasha, C., Mthembu, A.T., Chikoore, H., Ndimande, N., Xulu, S., and Gcwensa, N. (2011). The effects of soil density on the vegetation of the Umfolozi catchment in South Africa. *Journal of Soil Science and Environmental Management* 2 (1), 14-24.
- Gorucu, S., Khalilian.A., Han.Y.j., and Dodd.,R.,B .(2011). Variable depth tillage based on geo-referenced soil compaction data in coastal plain. *International Journal of Applied Science and Technology*, 2(1), 22-32.
- Raper, R. L., Reeves, D.W., Shaw, J.N., Vansanten, E., and Mask, P.L. (2007). Benefits of site-specific subsoiling for cotton production in Coastal Plain soils. *Soil and Tillage Research*, 96, 174-181.