# مقایسه دقت دو روش کنترل موزع کودکار تیمار متغیر

سید مرتضی صداقت حسینی[۱*]، مرتضی الماسی[۲]، سعید مینایی [۳] و محمد رضا ابراهیم زاده[۴]

۱–مدرس گروه فنی و ماشین‌های کشاورزی، مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره)
morteza.s.hosseini@gmail.com
۲–استاد گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
۳–دانشیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۴–استادیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری

## چکیده

امروزه با استفاده از فناوری‌های نوین در کشاورزی، علاوه بر انجام سریعتر عملیات مکانیزه، مصرف نهاده‌ها متناسب با تغییر نیاز آنها در نقاط مختلف سطح مزرعه می‌شود. این موضوع باعث می‌شود تا علاوه بر کاهش هزینه و انرژی مصرفی، آلودگی‌های حاصل از مصرف بی‌رویه نهاده‌های کشاورزی نیز کاسته شود. کشاورزی دقیق از روش‌های نوین مدیریت مزارع است. فناوری تیمار متغیر یکی از بخش‌های مهم کشاورزی دقیق است. با اضافه کردن سامانه کنترلی در ماشین‌های رایج می‌توان آنها را به نوع تیمار متغیر تبدیل نمود. ماشین‌های کودکار با موزع نوع گردنده پره‌ای رایج‌ترین فناوری برای مصرف کودهای شیمیایی در مزارع محصولات ردیفی است. سرعت (زمان پاسخ) سامانه کنترلی عامل مهمی در تعیین دقت ماشین‌های نوع تیمار متغیر است. از این رو دقت دو نوع سامانه کنترل کودکار چهار ردیفه با موزع‌های نوع گردنده پره‌ای در مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره) ارزیابی کارگاهی شدند. سامانه اول با تغییر مقدار باز بودن دریچه موزع مقدار کودمصرفی کنترل می‌کند. در سامانه دوم همزمان دو عامل مقدار باز بودن دریچه و سرعت محور موزع، مقدار کود مصرفی کنترل می‌شود. دقت عملیات کوددهی برای فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و در دو حالت تغییر نزولی و صعودی اندازه‌گیری شد. داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار Design Expert و در قالب طرح فاکتوریل تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که در هر چهار مقدار تغییر نرخ کوددهی اختلاف معنی‌داری بین دقت دو نوع سامانه وجود دارد. تغییر نرخ کوددهی ۵۰ کیلوگرم در هکتار سامانه تک پارامتری و در نرخ های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سامانه دو پارامتری خطای کمتری دارد.

**واژه‌های کلیدی:** کشاورزی دقیق، کودکار نرخ متغیر، سامانه کنترلی

## مقدمه

محصولات کشاورزی همواره مهمترین منبع تامین مواد غذایی بشر بوده است. افزایش جمعیت و محدودبودن منابع تولید، باعث نیاز به افزایش بهره‌وری منابع تولید محصولات کشاورزی گردیده‌است. یکی از روش‌های نوین افزایش بهره‌وری استفاده از

کشاورزی دقیق می‌باشد. از بخش‌های مهم کشاورزی دقیق، تیمار متغیر نهاده‌ها (VRA[1]) است. کاربرد نهاده‌های کشاورزی به صورت تیمار متغیر علاوه بر افزایش درآمد باعث کاهش انرژی مصرفی و آلودگی‌های زیست محیطی حاصل از کاربرد بی رویه نهاده‌های کشاورزی نیز می‌گردد.

کودهای شیمیایی امروزه از پرمصرف‌ترین نهاده‌ها در بخش تولید محصولات زراعی می‌باشند. کودهای شیمیایی در تولید محصولات ردیفی اکثراً به صورت سرک و در مرحله داشت به وسیله کودکارها یا کودریزها در مزرعه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صورت گسترش و بومی شدن روش‌های کاربرد تیمار متغیر در این بخش می‌توان مقدار زیادی هزینه و انرژی در کشور صرفه-جویی نموده و افزون بر آن از آلودگی بخش‌های وسیع منابع آب، خاک و محصولات کشاورزی پیشگیری نمود. امروزه استفاده از نهاده‌های کشاورزی، به ویژه کودهای شیمیایی به یکی از مهم‌ترین عملیات زراعی تبدیل شده‌است. در سال ۱۳۸۸ بالغ بر ۲۹۲۰۸۷۳ تن کود شیمیایی در کشور توزیع گردیده که از این مقدار ۷۵ درصد تولید کارخانجات داخلی بوده و ۲۵ درصد بقیه با صرف ارز وارد کشور شده‌است (صداقت حسینی و همکاران، ۱۳۹۱). اکثر کودهای مصرفی بدون انجام مطالعات اولیه و آزمون‌های خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. حتی در صورتی که آزمون‌های خاک انجام شود، نمونه برای کل مزرعه یکسان در نظر گرفته شده و تغییرات درون مزارع لحاظ نمی‌گردند. این موضوع باعث ایجاد مشکلاتی در زمینه‌های زیست محیطی، انرژی و اقتصادی شده است.

نتایج گزارش پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که نه تنها استفاده کمتر از مقدار مورد نیاز مزرعه و گیاه باعث کاهش عملکرد محصول می‌گردد بلکه استفاده بیش‌تر از آن نیز عملکرد محصول را کاهش خواهدداد (Sogaard and Kierkegaard, 2005). رسوب مازاد کودهای شیمیایی (به خصوص کودهای نیتراته) در لایه‌های خاک و نفوذ آن‌ها در منابع آبی، می توانند منشاء آلودگی در این منابع گردیده و در نهایت موجب بروز عوارض خطرناکی در مردم شوند. در صورتی‌که استفاده از کودهای شیمیایی به صورت بی‌رویه باشد، وارد آب‌های زیرزمینی شده و در نهایت از طریق محصولات کشاورزی وارد غذای انسان‌ها می‌شود. همچنین میزان مصرف و نوع کودهای شیمیایی در کشاورزی در صورتی‌که بیش از حد لازم باشد افزون بر ضرر اقتصادی که به جامعه وارد می‌کند، مواد غذایی مصرفی مصرف‌کنندگان را هم تحت تاثیر قرار می‌دهد. کاربرد مقدار متناسب با پتانسیل هر نقطه از مزرعه می‌تواند باعث کاهش آلودگی حاصل از موارد فوق‌الذکر گردد (لغوی، ۱۳۸۲).

برای بومی‌سازی و توسعه کشاورزی دقیق در کشور نیاز به فناوری‌های مورد استفاده در آن از جمله فناوری تیمار متغیر می-باشد. یکی از راه‌های تامین فناوری تیمار متغیر، افزودن یک کنترل‌گر به ماشین‌های کشاورزی مرسوم که بطور طبیعی برای کاربرد یکنواخت نهاده‌ها استفاده می‌شوند، می‌باشد (Jafari *et al.*, 2010). اکثر تحقیقات قبلی در مورد ماشینهای کودپاش انجام شده است تا کودکارها (Loghavi and Foruozanmehr, 2010). یکی از رایج‌ترین فناوری‌های تیمار متغیر، کاربرد کودهای شیمیایی بصورت تیمار متغیر می‌باشد. در محصولات ردیفی اکثرا استفاده از کودکارها یا کودریزها رایج‌تر از کودپاش‌ها می‌باشد. در اکثر

[1] Variable rate application

کودکارها و کودریزهای موجود در کشور از موزع نوع چرخ پره‌ای (با نام تجاری مینی–ماکس) استفاده می‌گردد. درصورتی‌که بتوان سامانه کنترل خروجی را برای اینگونه کودکارها تهیه نمود می‌توان گامی بزرگ در جهت بومی‌سازی و توسعه کشاورزی دقیق و کاربرد کود شیمیایی بصورت تیمار متغیر در کشور برداشت.

از طرف دیگر یکی از مهمترین عوامل در تعیین کیفیت عملکرد ماشین‌های تیمار متغیر، دقت کار آن‌ها می‌باشد. زمان تاخیر دستگاه۲ بطور مستقیم بر دقت آن تاثیر می‌گذارد. در صورتی‌که از دستگاه‌های با تاخیر زمانی کوچک استفاده شود، دقت دستگاه هنگام تغییر نرخ کوددهی افزایش می‌یابد. لذا در این تحقیق دو نوع سامانه کنترلی تک و دو پارامتری که قبلا برای استفاده در کودکارهای نرخ متغیر ساخته شده بود مورد ارزیابی قرار گرفتند.

## مواد و روش ها

### مشخصات روش های کنترل

در این تحقیق، دو نوع سامانه کنترل مقدار کوددهی بطور جداگانه بر یک دستگاه فاروئر–کودکار چهار ردیفه ساخت شرکت تراشکده نصب و ارزیابی شدند. دستگاه فاروئر–کودکار مورد استفاده دارای موزع های از نوع گردنده پره دار (با نام تجاری مینی–ماکس۳) بوده و امکان تغییر نرخ کوددهی در آن، هم با تغییر مقدار باز بودن دریچه بالای موزع و هم با تغییر سرعت محور موزع نسبت به سرعت چرخ زمین گرد، میسر بود.

### سامانه تک پارامتری

این سامانه از حسگرهای سرعت پیشروی و موقعیت دریچه موزع، عملگر حرکت دریچه موزع‌ها، مکانیزم حرکت دریچه‌ها و واحد کنترل الکترونیکی می‌باشد (شکل۱).

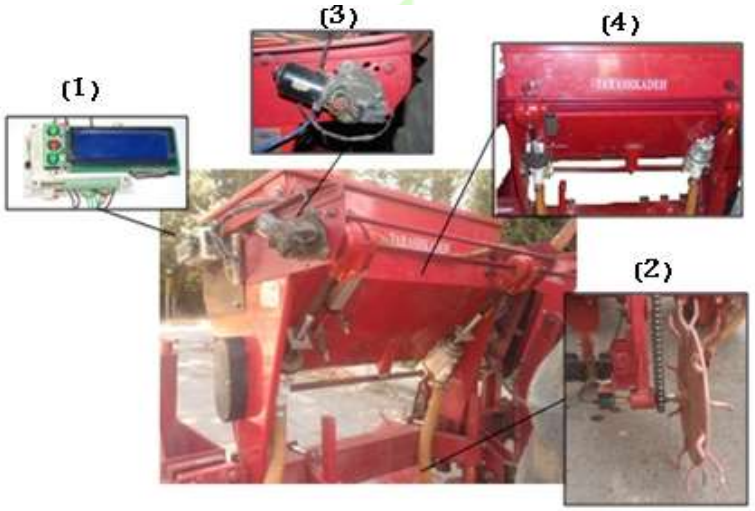
الف– حسگر سرعت پیشروی: این حسگر یک دستگاه انکودر دورانی بود که به محور چرخ زمین گرد دستگاه متصل گردیده بود (شکل۱ قسمت۱). با حرکت دستگاه در مزرعه و گردش چرخ زمین گرد، حسگر مذکور تعداد پالس‌های ارسالی را به واحد کنترل الکترونیکی ارسال می‌نمود. واحد کنترل الکترونیکی نیز تعداد پالس‌های ارسالی را به جابجایی دستگاه تبدیل نموده و از تقسیم کردن مقدار جابجایی در فاصله زمانی، سرعت پیشروی دستگاه محاسبه می‌شود.

ب–حسگر موقعیت دریچه موزع: یک عدد پتانسیومتر خطی با کورس ۱۰۰ میلیمتر به دریچه اولین موزع کودکار متصل گردید (شکل۱ قسمت۲). با حرکت کردن دریچه موقعیت آن بصورت تغییر ولتاژ خروجی از حسگر به واحد کنترل الکترونیکی ارسال می‌گردد.

[2] Delay time
[3] Mini-Max

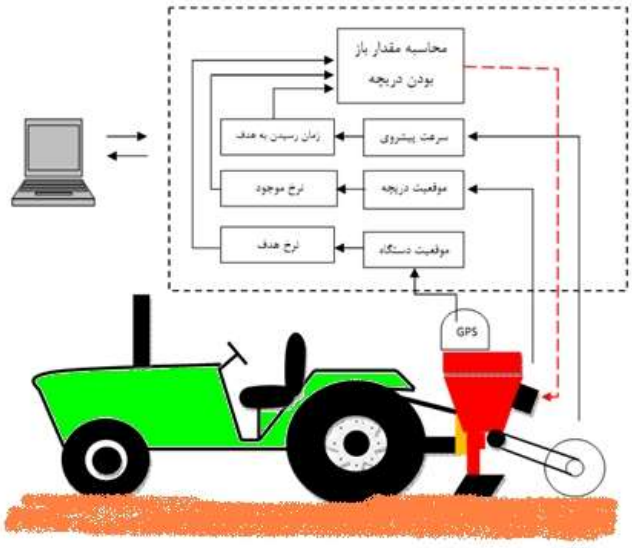
ج–عملگر دریچه موزع ها: از یک عدد الکتروموتور ۱۲ ولت به عنوان عملگر هر چهار دریچه استفاده گردید (شکل۱ قسمت۳). با چرخش الکتروموتور به سمت چپ یا راست، همزمان کلیه دریچه‌های موزع‌ها در وضعیت بسته یا باز شدن، حرکت می‌کنند.

د–مکانیزم حرکت دریچه‌ها: با استفاده از چهار عدد جعبه دنده و یک محور، نیروی دورانی الکتروموتور به هر چهار دریچه موزع انتقال می‌یابد (شکل۱ قسمت۴).




**شکل۱.** اجزاء سامانه کنترلی تک پارامتری

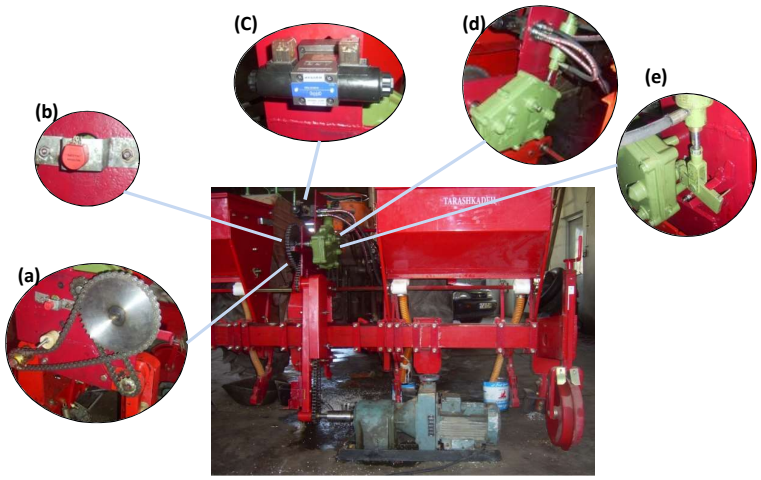
نحوه کار این سامانه به‌این صورت است که با حرکت کردن دستگاه در مزرعه، حسگر سرعت پیشروی، جابجایی طولی دستگاه را محاسبه می‌کند. با تعیین شدن موقعیت جدید دستگاه، واحد کنترل الکترونیکی مقدار کود مورد نیاز را مشخص کرده و متناسب با سرعت پیشروی دستگاه، مقدار باز بودن دریچه موزع را محاسبه کرده و به عملگر فرمان دوران در سمت مناسب را ارسال می نماید. موقعیت دریچه موزع توسط حسگر موربوطه به واحد کنترل الکترونیکی بطور مداوم در حال ارسال است. به محض رسیدن دریچه موزع به موقعیت مناسب، فرمان توقف حرکت عملگر ارسال می‌گردد.




**شکل ۲.** طرزکار سامانه کنترلی تک پارامتری

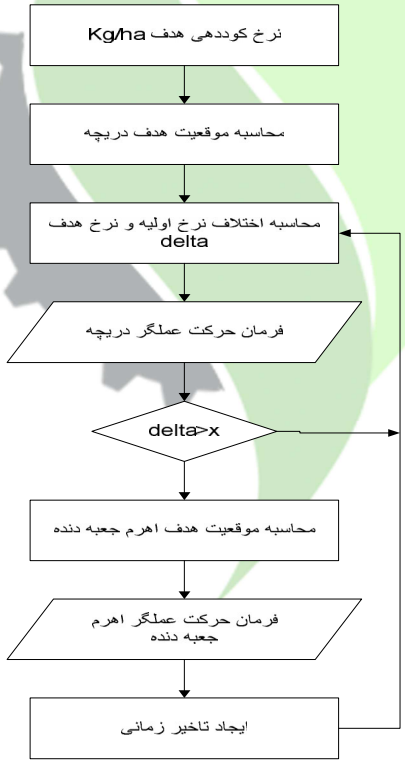
## سامانه دوپارامتری

سامانه مذکور علاوه بر اجزای مورد اشاره در سامانه تک پارامتری دارای مکانیزمی جهت کنترل سرعت محور موزع‌ها نیز است. مکانیزم مذکور شامل جعبه دنده، حسگر موقعیت اهرم جعبه دنده، عملگر اهرم جعبه دنده و واحد کنترل هیدرولیکی است (شکل۳).




**شکل ۳.** اجزاء مکانیزم تغییر سرعت محور موزع ها : (a) چرخ و زنجیر (b) حسگر موقعیت اهرم جعبه دنده (c) شیر کنترل جریان هیدرولیک (d) جعبه دنده و جک هیدرولیکی تغییر موقعیت اهرم جعبه دنده (e) اهرم جعبه دند

با تغییر طول جک هیدرولیکی، اهرم جعبه دنده دوران کرده و نسبت سرعت محور موزع‌ها به محور چرخزمین گرد (K) تغییر می‌کند. محدوده تغییر نسبت سرعت مذکور $0.25<K<1$ است. هنگام کار عادی سامانه (غیر از موقع تغییر نرخ کوددهی) اهرم جعبه دنده در موقعیت وسط ($K=0.5$) کورس حرکتی خود قرار دارد. واحد کنترل، موقعیت دریچه را بر اساس شرایط کاری (نرخ کوددهی، سرعت پیشروی و مقدار $K=0.5$) طبق رابطه تنظیم می نماید. موقع تغییر نرخ کوددهی، واحد کنترل موقعیت جدید دریچه را بر اساس وضعیت کاری اهرم جعبه دنده ($K=0.5$) طبق رابطه محاسبه نموده و فرمان حرکت در جهت مناسب را به عملگر دریچه موزع ها ارسال می نماید. همزمان با حرکت دریچه به سمت نقطه هدف، واحد کنترل، موقعیت مناسب اهرم جعبه دنده را بر اساس موقعیت لحظه ای دریچه موزع ها طبق رابطه محاسبه نموده و فرمان مناسب به شیر کنترل هیدرولیکی ارسال می گردد. در حین تغییر موقعیت دریچه، موقعیت اهرم جعبه دنده به وضعیت کاری ($K=0.5$) برگردانده می شود (شکل ۴). به عبارت دیگر هنگام رسیدن دریچه به نقطه هدف، اهرم جعبه دنده نیز به موقعیت کاری خود می رسد. از آنجایی که مکانیزم تغییر سرعت برای کاهش خطای نرخ کوددهی استفاده شده است، در مواردی که تغییر نرخ کوددهی کم می باشد (کمتر از مقدار x در شکل ۴) مورد نیاز نبوده و فقط در تغییرات نسبتا زیاد که دریچه تاخیر زمانی زیادی دارد تا به نقطه هدف برسد مورد نیاز می باشد.




**شکل ۴.** دیاگرام کاری سامانه کنترل دو پارامتری

## آزمون های کارگاهی

### واسنجی حسگر سرعت پیشروی

برای کالیبره کردن حسگر سرعت پیشروی، مسافت های طی شده به ازای ۱۰ دور گردش چرخ زمین گرد در سه سطح در محدوده مناسب سرعت پیشروی کودکار ۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت و با ۵ بار تکرار در مزرعه ذرت اندازه گیری شد. این آزمایش برای هر دو سامانه بطور جداگانه انجام شد. میانگین تعداد پالس های ارسال شده از حسگر برای پیمودن فاصله مذکور، محاسبه گردید. با تقسیم کردن میانگین فاصله پیموده شده به میانگین تعداد پالس ها، ضریب سرعت دستگاه محاسبه گردید که مقدار آن ۱/۷۴ سانتیمتر برای سامانه کنترل تک پارامتری و ۱/۷۹ سانتیمتر حرکت دستگاه با سامانه کنترل دو پارامتری به ازای هر پالس ارسالی توسط حسگر بودند

### شبیه سازی کارکرد کودکار

از آنجایی که لازم است برخی از مشخصات دستگاه از قبیل تاخیر زمانی آن دستگاه موقعی که ثابت است اندازه گیری شود و هم زمان نیاز به کارکردن دستگاه در شرایط واقعی می باشد، شرایط کاری واقعی دستگاه در کارگاه شبیه سازی شد. برای این منظور یک مجموعه جعبه دنده و الکتروموتور۲ کیلووات سه فاز با قابلیت تغییر سرعت خروجی به صورت پیوسته، جایگزین چرخ زمین گرد شد (شکل ۵). از این الکتروموتور برای چرخاندن محور چرخ زمین گرد با سرعت دورانی معادل زمان حرکت دستگاه در مزرعه استفاده گردید.

**شکل ۵.** شبیه سازی کارکرد دستگاه در مزرعه

## تعیین دقت سامانه‌های کنترلی

برای تعیین دقت سامانه‌های کنترلی، اختلاف بین نرخ کودکاری واقعی و هدف یک‌بار با کنترل دوپارامتری و یک بار با کنترل تک‌پارامتری اندازه‌گیری شد. از آنجایی‌که با افزایش مقدار فاصله تغییر در نرخ کودکاری، زمان مورد نیاز برای رسیدن سامانه کنترلی به نقطه هدف افزایش یافته و در این حالت دقت دستگاه کودکار تیمار متغیر، کاهش خواهدیافت. از این‌رو دقت سامانه برای تغییر نرخ کوددهی در چهار فاصله ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. فواصل طولی برای هر یک از مناطق ۲۰ متر مسافت پیموده شده توسط دستگاه کودکار تیمار متغیر در نظر گرفته‌شد. هر سری از نرخ‌های کودکاری هدف دارای یک مسیر صعودی (افزایشی) و یک مسیر نزولی (کاهشی)، مطابق جدول ۱ بود. اندازه‌گیری‌ها در سه سطح (۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت) و تمام آزمایش‌ها با سه تکرار انجام شدند.

**جدول ۱.** مشخصات مقادیر نرخ‌های کودکاری سامانه کنترل کودکار نرخ متغیر در فواصل مختلف تغییر نرخ کودکاری

| مقدار تغییر در نرخ کودکاری ($kg\ ha^{-1}$) | نرخ کودکاری ($kg\ ha^{-1}$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۵۰ | ۱۰۰ | ۱۵۰ | ۲۰۰ | ۲۵۰ | ۳۵۰ | ۴۵۰ |
| ۵۰ | * | * | * | * | * | | |
| ۱۰۰ | * | | * | | * | * | |
| ۱۵۰ | * | | | * | | * | |
| ۲۰۰ | * | | | | * | | * |

پس از واردکردن چهار سری فوق الذکر در حافظه سامانه کنترل کودکار تیمار متغیر و پس از تنظیمات اولیه، نمونه‌گیری‌ها انجام شد. برای این‌منظور قبل از روشن کردن الکتروموتور متصل به چرخ زمین‌گرد، ظرف نمونه‌گیری زیر آن قرار داده می‌شد. پس از روشن کردن الکتروموتور و رسیدن به انتهای فواصل ۲۰ متری، سریعاً ظروف نمونه‌گیری‌در زیر لوله سقوط، تعویض می‌گردید. پس از پایان حرکت دستگاه در یک مسیر، نمونه‌ها به ترتیب با ترازوی دیجیتال توزین شدند. مقادیر کود به‌دست آمده در هر ظرف نمونه‌گیری، مربوط به سطح ۲۰ در ۰/۷۵ متر مربع بود که به کیلوگرم در هکتار تبدیل شدند.

سپس تاثیر فاکتورهای سرعت پیشروی، جهت تغییر (صعودی و نزولی)، نرخ کودکاری و نحوه کنترل (تک پارامتری و دو پارامتری) به خطای عملیات کودکاری (درصد) با استفاده از رابطه ۱ برای چهار فاصله تغییر نرخ کودکاری (۵۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) در قالب طرح فاکتوریل ارزیابی شدند.

$$a_C = \left| \frac{F_a - F_t}{F_t} \right| \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، ac: خطای سامانه (درصد)؛ Fa: نرخ کوددهی واقعی (کیلوگرم در هکتار)؛ Ft: نرخ کوددهی هدف (کیلوگرم در هکتار)

## نتایج و بحث

در حالت تغییر نرخ کوددهی به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار، استفاده از سامانه کنترل دوپارامتری، نرخ کوددهی و جهت تغییر نرخ کوددهی، اثر معنی‌داری در سطح یک‌درصد بر میانگین خطای کوددهی مشاهده‌شده ولی سرعت پیشروی اثر معنی‌داری بر خطا نشان نداد (جدول ۲).

**جدول ۲.** نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی، نرخ کوددهی، نوع سامانه کنترلی و جهت تغییر نرخ کوددهی (صعودی و نزولی) بر میانگین خطای عملیات کوددهی (درصد) برای تغییر نرخ ۵۰ کیلوگرم در هکتار

| منابع تغییرات | df | مجموع مربعات | میانگین مربعات |
|---|---|---|---|
| سرعت پیشروی | ۲ | ٤٦/١١ | ۲۳/۰۵ |
| نرخ کوددهی | ۳ | ٥٦ /۳۸ | ۱۸۷/۷۹** |
| نوع سامانه | ۱ | ۳۲٤/۰۰ | ۳۲٤/۰۰** |
| کنترلی | ۱ | ۸۰۲/۷۷ | ۸۰۲/۷۷** |
| جهت تغییر خطا | ۹٦ | ۲٥۹٥/۲٥ | |

متغیرهایی که میانگین مربعات آن ها با علامت ** مشخص شده اند نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح یک درصد می باشند.

در حالت تغییر نرخ کوددهی به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، اثر هر چهار فاکتور بر خطای عملیات کوددهی در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول۳).

**جدول ۳.** نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی، نرخ کوددهی، بهینه ساز و جهت تغییر نرخ کوددهی (صعودی و نزولی) بر میانگین خطای عملیات کوددهی (درصد) برای تغییر نرخ ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار

| منابع تغییرات | df | مجموع مربعات | میانگین مربعات |
|---|---|---|---|
| سرعت پیشروی | ۲ | ۳۸۱۷/۳٥ | ۱۹۰۸/٦۷** |
| نرخ کوددهی | ۲ | ٤۰٥۷/۲۱ | ۲۰۲۸/٦** |
| نوع سامانه | ۱ | ٥٥۹٤/۸۸ | ٥٥۹٤/۸۸** |
| کنترلی | ۱ | ۸۳٤٤/۷٥ | ۸۳٤٤/۷٥** |
| جهت تغییر خطا | ۷۲ | ٦۷۰/٥۱ | |

متغیرهایی که میانگین مربعات آن ها با علامت ** مشخص شده اند نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح یک درصد می باشند.

در حالت تغییر نرخ کوددهی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، اثر نرخ کوددهی، نوع سامانه کنترلی و جهت تغییر نرخ کوددهی (صعودی و نزولی) بر خطای کوددهی در سطح یک درصد و اثر سرعت پیشروی در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

**جدول ۴.** نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی، نرخ کوددهی، بهینه ساز و جهت تغییر نرخ کوددهی (صعودی و نزولی) بر میانگین خطای عملیات کوددهی (درصد) برای تغییر نرخ ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار

| منابع تغییرات | df | مجموع مربعات | میانگین مربعات |
|---|---|---|---|
| سرعت پیشروی | ۲ | ۲۳۰/۳۳ | ۱۱۵/۱۶* |
| نرخ کوددهی | ۱ | ۶۷۶/۳ | ۶۷۶/۳** |
| نوع سامانه | ۱ | ۱۴۵۲/۰۰ | ۱۴۵۲/۰۰** |
| کنترلی | ۱ | ۳۳۳۴/۷۲ | ۳۳۳۴/۷۲** |
| جهت تغییر خطا | ۴۸ | ۱۶۲۶/۰۷ | |

متغیرهایی که میانگین مربعات آن ها با علامت ** و * مشخص شده اند نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح به ترتیب یک و پنج درصد می باشند.

در تغییر نرخ کوددهی به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، اثر هر چهار عامل بر خطای عملیات کوددهی در سطح یک درصد معنی‌دار شد(جدول ۵).

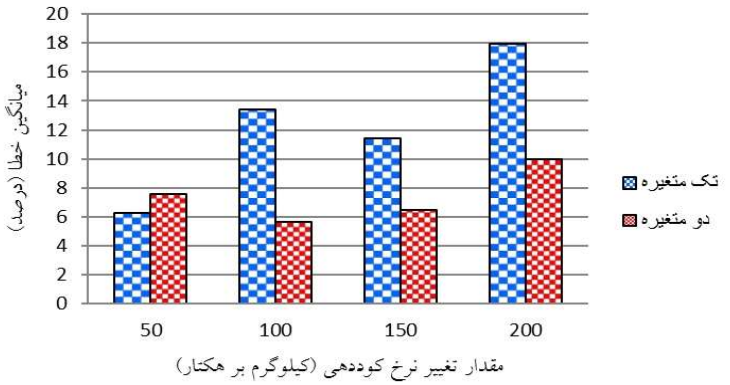
**جدول ۵.** نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی، نرخ کوددهی، بهینه ساز و جهت تغییر نرخ کوددهی (صعودی و نزولی) بر میانگین خطای عملیات کوددهی (درصد) برای تغییر نرخ ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار

| منابع تغییرات | df | مجموع مربعات | میانگین مربعات |
|---|---|---|---|
| سرعت پیشروی | ۲ | ۲۷۵۷/۶۷ | ۱۳۷۸/۸۴** |
| نرخ کوددهی | ۱ | ۴۷۰/۲۲ | ۴۷۰/۲۲** |
| نوع سامانه | ۱ | ۴۶۲۹/۳۵ | ۴۶۲۹/۳۵** |
| کنترلی | ۱ | ۸۶۵۳/۴۳ | ۸۶۵۳/۴۳** |
| جهت تغییر خطا | ۴۸ | ۴۹۴/۸۱ | |

متغیرهایی که میانگین مربعات آن ها با علامت ** مشخص شده اند نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح یک درصد می باشند.

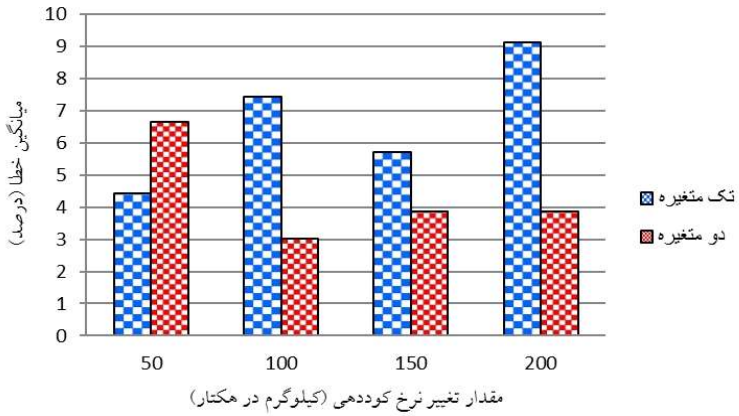
در کلیه آزمون‌های انجام شده برای هر چهار مقدار تغییر نرخ کوددهی اثر فاکتور نوع سامانه کنترلی، در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

مقایسه میانگین خطای کوددهی در سامانه‌های کنترل دو پارامتری (بهینه شده) و تک پارامتری، مبین این مسئله می‌باشد که فقط در تغییر نرخ کوددهی به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار، استفاده از سامانه کنترل دو پارامتری باعث افزایش خطای کوددهی شده اما در هر سه سطح تغییر دیگر (۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) باعث کاهش خطا گردیده‌است (شکل ۶).



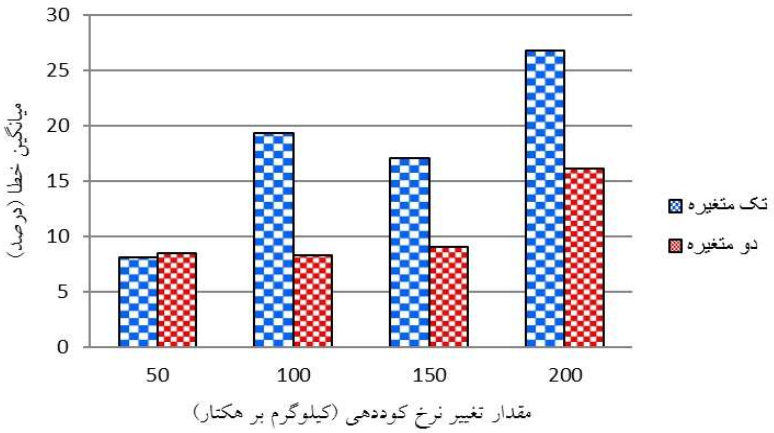

**شکل ۶.** مقایسه میانگین خطای (درصد) دو نوع سامانه کنترلی در چهار مقدار تغییر نرخ کوددهی

خطای عملیات کوددهی در حالت تغییر صعودی نرخ کوددهی در سامانه کنترلی دو پارامتری، ابتدا کاهش یافته و سپس در فواصل تغییر نرخ کوددهی ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار مقدار آن تقریبا ثابت باقی مانده‌است (شکل ۷). اختلاف بین خطای دو نوع سامانه کنترلی در تغییر نرخ کوددهی ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشتر از دو سطح دیگر می‌باشد که نشان دهنده تاثیر بیشتر سامانه کنترل دوپارامتری است. افزایش خطای کوددهی در تغییر صعودی نرخ کوددهی به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار به دلیل استفاده از سامانه دوپارامتری، بیشتر از حالت تغییر نزولی نرخ کوددهی می‌باشد. این موضوع نشان‌دهنده اثر منفی‌تر سامانه دوپارامتری در حالت تغییر صعودی ۵۰ کیلوگرم در هکتار، نسبت به نزولی است.




**شکل ۷.** مقایسه میانگین خطای (درصد) دو نوع سامانه کنترلی در چهار مقدار تغییر صعودی نرخ کوددهی

خطای عملیات کوددهی در سامانه کنترلی دو پارامتری، با افزایش مقدار تغییر نزولی نرخ کوددهی کمی افزایش می‌یابد، اما اختلاف خطای دو نوع سامانه کنترلی، به‌تدریج افزایش (شکل ۸). این موضوع حاکی از آن دارد که با افزایش تغییر نرخ کوددهی، تاثیر سامانه کنترلی دوپارامتری، افزایش یافته‌است.




**شکل ۸.** مقایسه میانگین خطای (درصد) دو نوع سامانه کنترلی در چهار مقدار تغییر نزولی نرخ کوددهی

بطور کلی با توجه به نتایج بدست آمده در این قسمت می‌توان اذعان داشت که سامانه کنترل دوپارامتری، در تغییرهای نرخ کوددهی بیشتر از ۵۰ کیلوگرم در هکتار تاثیر مثبت بیشتری در کاهش خطای کوددهی داشته در حالی‌که در مقادیر تغییر کم نرخ کوددهی، به دلیل فاصله کمی که دریچه موزع می‌پیماید، نیاز به استفاده از سامانه کنترل دوپارامتری نمی باشد.

## نتیجه گیری

اختلاف خطای عملیات کوددهی بین دو سامانه برای هر چهار نرخ تغییر کوددهی در سطح یک درصد معنی دار می باشد. خطای کوددهی در نرخ ۵۰ کیلوگرم در هکتار برای سامانه کنترلی تک پارامتری کمتر است در حالی‌که در تغییر نرخ های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار خطای سامانه کنترلی دو پارامتری کمتر است.

## منابع

۱- صداقت حسینی، م.، م. الماسی، س. مینایی، و م. ر. ابراهیم زاده. ۱۳۹۱. طراحی، ساخت و ارزیابی کولتیواتور-کودکار نرخ متغیر نقشه مبنا. هفتمین کنگره متی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون کشاورزی. دانشگاه شیراز.

۲- لغوی، م. ۱۳۸۲. راهنمای کشاورزی دقیق برای متخصصین کشاورزی. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی.

3- Jafari, M., A. Hemmat, and M. Sadeghi. 2010. Development and performance assessment of a DC electric variable-rate cotroller for use on grain drills. Computers and Electronics in Agriculture. 56-65.

4- Loghavi, M. and E. Forouzanmehr. 2010. Design, Development and Field Evaluation of a Map-Based Variable Rate Granular Application Control System. ASABE Meeting Presentation .

5- Sogaard, H., and P. Kierkegaard. (2005). Yield reduction resulting from uneven fertilizer distribution. Transactions of the ASAE , 1749-1752.

# Accuracy comparison between two types of control of variable rate fertilizer applicator

Morteza Sedaghat Hosseini[1*] Morteza Almassi[2] Saeid Minaei[3] Mohhamad Reza Ebrahimzadeh[4]

1- Lecturer, Department of Technical and Farm machinery, Imam Khomeini Higher Education Center
2- Professor, Department of Agricultural Mechanization, Azad University Science and Research Branch
3- Associate Professor, Department of Farm machinery, Tarbiat Modares University
4- Assistant Professor, Department of Agricultural Mechanization, Azad University Shahr-e-Rey Branch

**Abstract**

Today agricultural mechanized activities are not only fast but also economical due to use of new technology. One of the new methods of farm management is precision agriculture. Traditional farm machineries can be transformed to variable rate type with electronic control system. The technology that is used on the most of fertilizer applicator on Iranian row crop farms has fluted wheel type of fertilizer metering device. Accuracy of two types of control systems that have been developed for fertilizer applicator, were analyzed. The first system controls gate opening of metering device but the second system controls gate opening and rotational speed of metering device axel immediately. Error of fertilizing was calculated to fertilizing rate change by 50, 100, 150 and 200 kg/ha intervals. Results show that different between two types of control systems is very meaningful under 1 percent level. Accuracies of fertilizing in rates changes of 100, 150 and 200 kg/ha in two parameters control system are more than the other one, and one parameter control system have more accuracy in 50 kg/ha fertilizing rate change.

**Keywords:** precision farming, Variable rate application, Control system