

## Workshop evaluation of the control system for site specific management of row Crops Fertilization (case Study: sugar beet)

Morteza Sedaghat Hosseini<sup>1\*</sup>, Ahmad Sadeghi<sup>2</sup>, Mohammad Younesi Alamouti<sup>1</sup>

(Received: 22 Oct. 2024 ; Accepted: 5 Jan. 2024)

### How to cite this article:

Sedaghat Hosseini M, Sadeghi A and Younesi Alamouti M. Workshop evaluation of the control system for site specific management of row Crops Fertilization (case Study: sugar beet). Journal of Sugar Beet. 2024: (40)1. 93-108. (In Persian with English abstract). Doi: <https://doi.org/10.22092/JSB.2025.366935.1369>

### Extended Abstract

#### Introduction

Chemical fertilizers, with more than 40 thousand tons of annual consumption in the country's sugar beet fields (117000 hectares), have the largest share of energy consumption in the production of this product.. Since the characteristics of soil and plants (such as soil fertility, soil texture and production potential) are not the same throughout the field and there is spatial variability, therefore, the variability in the fertility of fields has made it possible to increase productivity by local management of crops. One of the main methods to accelerate the adoption of variable rate technologies, especially in developing countries, is to install control system on conventional machines (uniform rate) and convert them into variable rate type. Hence, in this study, the hydro-electric fertilizing control system was developed and installed on a traditional fertilizer applicator (uniform rate). Then, fertilizing error and the system delay time were evaluated in the workshop.

#### Materials and Methods

A control system was built and installed on a traditional fertilizer applicator. The components of this system include electronic control unit, positioning system, sensor of fertilizer distributor gate position, traveling speed sensor, double acting hydraulic cylinder, hydraulic flow control valve, hydraulic oil direction control valve, hydraulic oil hoses, oil pressure control valve, and the gates movement mechanism. It is necessary to evaluate the accuracy of the control system before investigating its overall accuracy in the field.

Fertilizing error and delay time are two main components in determining the accuracy of the control system. In order to evaluate the system in workshop under similar conditions to the field, a 220V single-phase gear box and electric motor unit (with the ability to continuously change the output speed) was replaced by the ground wheel of the machine. The equation of the fertilizing rate and the factors affecting it (traveling speed and gate opening) for the distance between the rows of the sugar beet fields (60 cm) was defined in the electronic control unit of the system.

In order to evaluate the accuracy of the system, effect of traveling speed (3.5, 5.75 and 8 km.h<sup>-1</sup>) and fertilizing rate (80, 100, 150, 200, 250 and 350 kg.ha<sup>-1</sup>) on the fertilizing error of the system was evaluated using spss software.

The total delay time was calculated from the sum of the mechanical delay time and fertilizer particles fall delay time.

The effect of the fertilizing rate (at intervals of 100, 150, 200 and 250 kg ha<sup>-1</sup>) and the machine traveling speed (at three levels of 3.5, 5.75 and 8 km h<sup>-1</sup>) in two cases of decreasing and increasing the fertilization rate changes was evaluated on total system delay time.

#### Results and Discussion

Results of variance analysis showed that the effect of fertilizing rate on fertilizing error was significant ( $p < 0.01$ ), however the effect of traveling speed was not significant, which indicates the proper performance of the control system in eliminating the effect of traveling speed on fertilizing accuracy.

1. Agricultural Machinery and Technical Department, Imam Khomeini Higher Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization(AREEO), Karaj, Iran.

\*Corresponding author: [morteza.s.hosseini@gmail.com](mailto:morteza.s.hosseini@gmail.com)

2. Agricultural Research, Education and Extension Organization(AREEO), Tehran, Iran.



The effect of the amount and direction (increasing or decreasing) of fertilizing rate change and their mutual effect on the total delay time of the machine was significant ( $p < 0.01$ ), while the effect of the traveling speed was not significant. The regression functions of the total delay time in the states of increasing and decreasing the fertilizing rate were determined according to the equations (1) and (2).

$$t = 0.0048 \times |\Delta X| + 0.388 \quad \text{Eq. (1)}$$

$$R^2 = 0.749$$

$$t = 0.0013 \times |\Delta X| + 0.321 \quad \text{Eq. (2)}$$

$$R^2 = 0.787$$

in which  $t$  is the machine total delay time (seconds) and  $\Delta X$  is the fertilizing rate ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Since the movement speeds of the double acting hydraulic cylinder (the gate actuator) in the opening and closing states were not equal, it caused two separate equations being calculated to determine the machine total delay time in fertilizing rate change modes (decreasing and increasing).

The machine total delay time was better (less) compared with the results of some other studies This indicates the appropriate delay (reaction) time of the system.

### Conclusion

The results of the experiments showed that the effect of fertilizing rate on the system error was significant ( $p < 0.01$ ) and the error increased at low fertilization rates. This was due to the construction and operation of the fluted wheel type fertilizer distributor device. The overall fertilizing error of the innovated control system was 8.01%. Reduction of the delay time of the system due to the hydraulic actuators application indicated the appropriate accuracy in the sugar beet and other row crops fields. In general, according to the results of the study, the following items are suggested:

- 1- In order to check the overall accuracy (such as the positioning system and fertilizer controlling system accuracies) of the variable rate fertilizer applicator and to adapt it to the field conditions, additional experiments are recommended.
- 2- In order to increase the accuracy of the system at low fertilizing rates, it is recommended to make improvements in the structure of the fluted wheel type of fertilizer distributor.
- 3- It is suggested to evaluate the effect of different positioning systems on the accuracy of variable rate fertilizing in row crops cultivation fields

### Keywords

Agricultural mechanization, Precision agriculture, site specific crops management, sugar beet fertilizing.

### References

- Alameen AA, Al-Gaadi KA, Tola E. Development and performance evaluation of a control system for variable rate granular fertilizer application. *Computer and Electronics in Agriculture*. 2019; 160: 31-39. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.011>
- Kim YJ, Kim HJ, Ryu KH, Rhee JY. Fertiliser application performance of a variable-rate pneumatic granular applicator for rice production. *Biosystem Engineering*. 2008; 100: 498-510. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.05.007>
- Mirzakhaninafchi H, Singh M, Dixit AK, Prakash A, Sharda S, Kaur J, Nafchi AM. Performance assessment of a sensor-based variable-rate real-time fertilizer applicator for rice crop. *Sustainability*. 2022;14, 11209. Doi: <https://doi.org/10.3390/su141811209>

## ارزیابی کارگاهی سامانه کنترلی مدیریت موضعی کوددهی محصولات ردیفی (مطالعه موردی: چغندرقد)†

سید مرتضی صداقت حسینی<sup>۱\*</sup>، احمد صادقی<sup>۲</sup>، محمد یونسی الموتی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/JSB.2025.366935.1369

س. م. صداقت حسینی، ا. صادقی و م. یونسی الموتی. ارزیابی کارگاهی سامانه کنترلی مدیریت موضعی کوددهی محصولات ردیفی (مطالعه موردی: چغندرقد). چغندرقد ۴۰(۱): ۹۳-۱۰۸

### چکیده

کودهای شیمیایی با بیش از ۴۰ هزار تن مصرف سالیانه در مزارع چغندرقد کشور (سطح ۱۱۷ هزار هکتار) بیشترین سهم مصرف انرژی در تولید این محصول را دارند. مصرف آن‌ها در اکثر مواقع به صورت بی‌رویه و بدون مطالعه بوده که این موضوع سبب بروز مشکلاتی از قبیل افزایش آلودگی، افزایش هزینه و انرژی مصرفی و کاهش کمیت و کیفیت محصول می‌گردد. وجود تغییرپذیری در حاصلخیزی مزارع، امکان افزایش بهره‌وری با مدیریت موضعی محصولات را فراهم نموده است. یکی از روش‌های اقتصادی و کاربردی در تبدیل ماشین‌های کوددهی رایج (نوع نرخ یکنواخت) به انواع نرخ متغیر، ساختن و نصب کردن سامانه‌های کنترلی روی آن‌ها می‌باشد. قبل از ارزیابی دقت کلی ماشین نرخ متغیر در مزرعه، لازم است دقت سامانه کنترلی آن ارزیابی شود. خطای کوددهی و زمان تأخیر دو مؤلفه اصلی در تعیین دقت سامانه کنترلی می‌باشند. از این‌رو در این مطالعه، سامانه کنترلی ساخته شده و پس از نصب روی ماشین کودکار، دقت آن در کارگاه ارزیابی گردید. عامل کنترلی در این سامانه، موقعیت دریچه موزع بود. اثر تغییر نرخ کوددهی (در فواصل ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و در محدوده سرعت مناسب در مزرعه چغندرقد (در سه سطح ۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت) در دو حالت کاهش و افزایش نرخ کوددهی در زمان تأخیر سامانه بررسی شد. نتایج آزمون اثر معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) عوامل مقدار و جهت (کاهش یا افزایش) تغییر نرخ کوددهی و اثر متقابل آن‌ها در زمان تأخیر سامانه را نشان داد. همچنین اثر سرعت پیشروی دستگاه (در سه سطح ۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت) و نرخ کوددهی (در شش سطح ۸۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار در محدوده کاری کودکار) در مقدار خطای کوددهی سامانه ارزیابی شد. نتایج آزمون نشان داد که اثر نرخ کوددهی در خطای کوددهی معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود. متوسط خطای کلی سامانه کوددهی ۸/۰۱ درصد تعیین شد که این مقدار بیان‌گر دقت مناسب سامانه کنترلی برای نصب روی کودکارهای نرخ یکنواخت (رایج) و تبدیل آن‌ها به انواع نرخ متغیر در کوددهی محصولات ردیفی از جمله چغندرقد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی دقیق، مدیریت موضعی محصولات، کوددهی چغندرقد، مکانیزاسیون کشاورزی.

†- این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به شماره مصوب ۹۵۰۷۸۰-۰۰۷-۰۰۱-۹۷-۲ است.

۱. استادیار گروه فنی و ماشین‌های کشاورزی مرکز آموزش عالی امام خمینی(ره)، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

\*-نویسنده مسئول: [morteza.s.hosseini@gmail.com](mailto:morteza.s.hosseini@gmail.com)

۲. استادیار سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳. دانشیار گروه فنی و ماشین‌های کشاورزی مرکز آموزش عالی امام خمینی(ره)، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.



## مقدمه

سالیانه مقادیر زیادی از کودهای شیمیایی در کشاورزی مصرف می‌شود. در سال ۱۳۹۹ مجموع کودهای شیمیایی مصرفی در دنیا به بیش از ۱۹۵/۳۸ میلیون تن رسید که سهم ایران در آن سال ۱/۲ میلیون تن بود (Anonymous 2023). بخشی از این کودها در تولید محصولات ردیفی از قبیل چغندر قند، ذرت، آفتابگردان و غیره مصرف می‌شود. سطح زیر کشت چغندر قند کشور در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ بیش از ۱/۷۶ درصد از کل زمین‌های زراعی آبی کشور بود (Anonymous 2023). محصول تولیدی از این سطح کشت، باعث کسب رتبه دوازدهم کشور در میان تولیدکنندگان چغندر قند شد (Anonymous 2024). سهم کود شیمیایی در میان نهاده‌های تولید چغندر قند، قابل توجه بود تا جایی که بیشترین سهم انرژی مصرفی (۲۸ درصد) در تولید چغندر قند مربوط به آن شد. سالیانه بیش از ۴۰ هزار تن کود شیمیایی در ۱۱۷ هزار هکتار مزارع چغندر قند کشور مصرف می‌شود که بیش از نیمی از آن‌ها کود نیتروژن است (Younesi Alamouti et al. 2023). استفاده مناسب از کودهای شیمیایی تأثیر مستقیم در افزایش بهره‌وری تولید و بهبود صفات چغندر قند از قبیل درصد قند، درصد قند قابل استحصال، عملکرد قند سفید و خلوص شربت خام دارد (Basati et al. 2000).

عوامل متعددی در تعیین مقدار و نوع کودهای مصرفی در تولید چغندر قند مؤثر هستند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از درجه حاصلخیزی خاک، پتانسیل تولید، شرایط اقلیم و نیاز محصول (Majidi et al. 2014)؛ بنابراین قبل از توصیه مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن، لازم است مطالعات و بررسی‌های اولیه از جمله آزمون خاک انجام شود. با این وجود حتی در شرایط ایده‌آل، گیاه فقط حدود ۵۰ درصد کود نیتروژن را می‌تواند جذب و مصرف نماید (Sönmez et al. 2007). در حالی که در اکثر مواقع کودهای شیمیایی بدون آزمون خاک مصرف می‌شوند که این موضوع می‌تواند باعث ایجاد پیامدهایی از قبیل افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، افزایش هزینه و انرژی مصرفی، کاهش سود تولید و کاهش کمی و کیفی

محصول شود (Chattha et al. 2014). هرچند در مواقعی هم که آزمون خاک انجام می‌شود، نتایج به‌صورت متوسط و برای کل مزرعه و به‌صورت یکنواخت در نظر گرفته می‌شود. در حالی که ویژگی‌های خاک از قبیل حاصلخیزی خاک و بافت خاک و نیز پتانسیل تولید گیاه در کل مزرعه یکسان نبوده و تغییرپذیری مکانی وجود دارد، بنابراین به‌منظور کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری متناسب با پتانسیل بخش‌های مختلف مزرعه نیاز به استفاده از فناوری‌های نرخ‌متغیر است (Morgan and Ess 2003). کاربرد نرخ متغیر (برخلاف روش یکنواخت) مصرف نهاده‌ها متناسب با نیاز هر قسمت از مزرعه است. فناوری نرخ‌متغیر به دو نوع حسگر- مینا (فعل) و نقشه- مینا (غیر فعل) تقسیم می‌گردد. در روش حسگر- مینا، در حین عبور دستگاه از مزرعه ویژگی‌ها (از قبیل حاصلخیزی خاک) توسط حسگر، سنجیده می‌شوند در حالی که در روش نقشه- مینا، نیاز به استفاده از نقشه توصیه‌ای و گیرنده سامانه موقعیت‌یابی مکانی (GPS) می‌باشد (Ess et al. 2001).

مطالعات زیادی در کودکارهای نرخ‌متغیر (هم نقشه- مینا و هم حسگر- مینا) انجام شده است که اغلب آن‌ها در مورد کاربرد کود نیتروژن بوده‌اند (Pawase et al. 2023; Kempenaar et al. 2017; Bora 2008; Zaman et al. 2005). نتایج این مطالعات افزایش در بهره‌وری و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در محصولات مختلف حاصل از به‌کارگیری کودکار نرخ‌متغیر را تأیید نموده‌اند. نتایج در مورد برخی محصولات عبارت‌اند از: گندم و جو صرفه‌جویی ۱۲-۱۰ درصد در مصرف کود و افزایش ۴/۴-۲/۴ درصد در عملکرد محصول (Ehlert et al. 2004)، در ذرت، افزایش بهره‌وری و عملکرد محصول باعث افزایش سود بیش از ۳۷/۱۴ دلار در هکتار و کاهش هزینه‌ها (Kempenaar et al. 2017; Wang et al. 2004). در سیب‌زمینی، صرفه‌جویی در مصرف آفت‌کش‌ها و کود نیتروژن بیش از ۲۵ درصد (Kempenaar et al. 2017) در مرکبات صرفه‌جویی ۴۰-۴ درصد در مصرف کود اوره و معادل ۱۳۸-۵۵ دلار در سال (Bora 2008; Zaman et al. 2005; Sevier and Lee 2005) و در تولید گلابی

صداقت حسینی و همکاران (Sedaghat Hosseini et al. 2014). دو نوع سامانه کنترلی تک‌متغیره (فقط کنترل دریچه) و دو متغیره (هم کنترل دریچه و هم سرعت محور موزع) ساختند و آن‌ها را ارزیابی کردند. خطای کلی سامانه‌های تک‌متغیره و دو متغیره به ترتیب ۱۷/۶۹ و ۱۰/۳۵ درصد محاسبه گردید. با وجود اینکه سامانه دو متغیره باعث کاهش چشمگیر خطای کوددهی شد، به دلیل وجود پیچیدگی‌هایی در مکانیسم تغییر سرعت محور موزع، باعث محدودیت‌هایی در کاربرد آن گردید. نوع تک‌متغیره ساختمان ساده‌تری داشت، لیکن به دلیل کم بودن سرعت حرکت عملگر دریچه موزع‌ها، زمان تأخیر آن افزایش و در نتیجه دقت سامانه کاهش چشمگیری داشت. از این‌رو در این مطالعه به منظور افزایش دقت کوددهی، سامانه کنترلی تک‌متغیره (فقط کنترل موقعیت دریچه موزع) با عملگر جک هیدرولیکی تهیه شد و روی دستگاه کودکار نصب و خطای کوددهی و زمان تأخیر سامانه در کارگاه ارزیابی شدند.

### مواد و روش‌ها

**مشخصات دستگاه آزمایشی:** در این مطالعه به منظور تبدیل دستگاه فاروئر-کودکار به نوع نرخ‌متغیر، یک عدد سامانه کنترلی دریچه موزع‌ها (با عملگر نوع هیدرولیکی) طراحی و ساخته شد و روی دستگاه کودکار نصب گردید. اجزاء این سامانه شامل واحد کنترل الکترونیکی، سامانه مکان‌یابی، حسگر موقعیت دریچه‌ها، حسگر سرعت پیشروی، جک هیدرولیکی دو طرفه، شیر کنترل جریان هیدرولیکی، شیر کنترل مسیر روغن هیدرولیک، شیلنگ‌های مسیر روغن هیدرولیک، شیر کنترل فشار روغن هیدرولیک و مکانیسم حرکت دریچه‌ها بود.

**مکانیسم عملگر جک دو طرفه هیدرولیکی:** یک عدد جک هیدرولیکی دو طرفه با کورس ۶۵ میلی‌متر به‌عنوان عملگر دریچه‌های موزع کود استفاده شد. محور این جک به‌صورت مفصلی به صفحه محرک دریچه‌ها متصل گردید. صفحه محرک دریچه‌ها روی دو عدد ریل و واگن (بلبرینگ خطی) حرکت رفت

کاهش مصرف نیتروژن معادل ۴۳ درصد مشاهده گردید (Vatsanidou et al. 2014). در اکثر نتایج، استفاده از روش کوددهی نرخ‌متغیر باعث صرفه‌جویی تا ۴۰ درصد مصرف کود نیتروژن گزارش شده است (Pawase et al. 2023).

علی‌رغم مزایایی که در کاربرد فناوری نرخ‌متغیر نهاده‌ها وجود دارد، در برخی از کشورها پیشرفت مناسبی در استفاده از آن مشاهده نمی‌گردد. یکی از محدودیت‌های اصلی در پذیرش کشاورزی دقیق (از جمله فناوری‌های نرخ‌متغیر) قیمت زیاد دستگاه‌ها و فناوری‌های مورد نیاز و یکی از راه‌های اصلی در تسریع پذیرش فناوری‌های نرخ‌متغیر به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، افزودن سامانه کنترلی روی ماشین‌های رایج (نرخ‌یکنواخت) و تبدیل کردن آن‌ها به ماشین‌های نوع نرخ‌متغیر است (Younesi Alamouti and Sedaghat Hosseini 2014). مطالعات زیادی در زمینه کودکار نرخ‌متغیر (کودگر انوله) انجام شده است در حالیکه فناوری (به‌ویژه موزع) مورد استفاده در اغلب آن‌ها، با ماشین‌های مورد استفاده در کشور متفاوت بوده و نتایج آنها در ایران کاربردی نیستند (Maleki et al. 2008a; Kim et al. 2008; Forouzanmehr and Loghavi 2012; Chandel et al. 2016; Alameen et al. 2019; Reyes et al. 2015).

اغلب کودکارها و کودریزهای موجود در کشور دارای موزع نوع چرخ پره‌ای (استوانه شیاردار) هستند. مطالعاتی که در زمینه‌ی تبدیل این نوع موزع به نوع قابل استفاده در سامانه‌های کنترلی نرخ‌متغیر انجام شده که یا با کنترل سرعت محور موزع یا با تغییر موقعیت دریچه این کار را انجام داده‌اند. روش کنترل سرعت در این نوع موزع می‌تواند باعث افزایش خطای کوددهی (غیریکنواختی نرخ کوددهی) به‌ویژه در سرعت‌های کم شود. صداقت حسینی و یونسی الموتی (Sedaghat Hosseini and Younesi Alamooti 2014) با تغییر دادن ساختمان این نوع موزع و نصب سامانه کنترلی روی آن، موزع قابل استفاده در کودکارهای تیمار (نرخ) متغیر تهیه نموده و دقت آن را ارزیابی کردند.

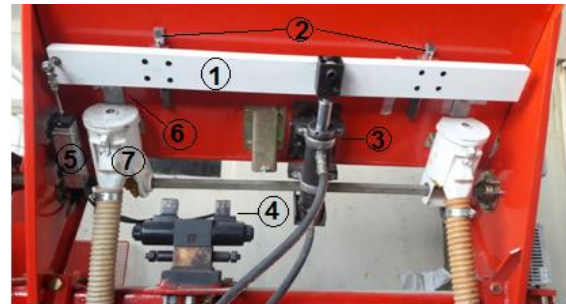
**حسگر سرعت پیشروی:** یک عدد حسگر القایی (مدل PR 40-12 ساخت شرکت Autonics) روبروی چرخ زنجیر متصل به محور محرک موزعها متصل گردید (شکل ۳). از آنجایی که حرکت محور محرک موزعها از چرخ زمین گرد تأمین می‌گردد، سرعت چرخش آن متناسب با سرعت چرخ زمین گرد و سرعت پیشروی دستگاه بود. به ازای عبور هر یک عدد دنده از جلوی حسگر، یک عدد پالس از حسگر به واحد کنترل ارسال شد. واحد کنترل، میانگین تعداد پالسها در واحد زمان (پنج ثانیه) را محاسبه نمود. بخش کالیبراسیون حسگر سرعت پیشروی در واحد کنترل قرار داشت. با تغییر شرایط مزرعه، امکان کالیبراسیون مجدد و تنظیم شدن دستگاه متناسب با مشخصات مزرعه جدید (از قبیل بافت خاک، مقدار بقایای گیاهی، پستی و بلندی و ...) وجود داشت



**شکل ۳** مجموعه حسگر سرعت پیشروی در دستگاه فاروئر-کودکار چهار ردیفه با سامانه کنترلی ابداعی، شامل ۱- حسگر ۲- چرخ زنجیر ۳- پایه حسگر  
**Fig. 3.** The machine traveling speed sensor unit in the four-row furrow-fertilizer applicator with the invented controlling system includes: 1- Sensor 2- Sprocket wheel 3- Sensor holder

**واحد کنترل الکترونیکی:** واحد کنترل الکترونیکی شامل یک دستگاه PLC (programmable logic controller) و مدل LOGO BM 12/24 RCE ساخت شرکت SIEMENS بود (شکل ۴). این واحد، اطلاعات را از حسگرهای مختلف گرفته و مقدار مناسب باز بودن دریاچه موزعها را متناسب با شرایط و نرخ کوددهی هدف، محاسبه کرد. واحد کنترل، متناسب با موقعیت هدف دریاچهها (مقدار محاسبه شده) به شیر الکتریکی واحد هیدرولیک، فرمان مناسب ارسال نمود.

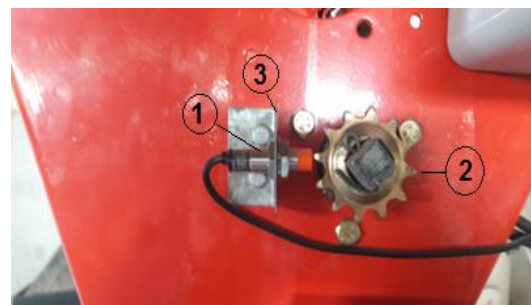
و برگشتی انجام داد. با باز و بسته شدن جک هیدرولیکی، صفحه محرک دریاچهها به سمت بالا و پایین حرکت کرده و موجب باز و بسته شدن هر دو دریاچه موزع روی مخزن گردید (شکل ۱).



**شکل ۱** مکانیسم عملگر هیدرولیکی محرک دریاچه موزعها در دستگاه فاروئر-کودکار چهار ردیفه با سامانه کنترلی ابداعی، شامل: ۱- صفحه محرک دریاچهها ۲- ریلهای حرکت صفحه ۳- جک (عملگر) هیدرولیکی دوطرفه ۴- شیر هیدرولیک برقی ۵- حسگر موقعیت دریاچه ۶- دریاچه موزع ۷- موزع کود

**Fig. 1.** The mechanism of the hydraulic actuator driving the gates in the four-row furrow-fertilizer applicator with the invented controlling system: 1- the gate driver plate 2- plate movement rails 3- two-way hydraulic cylinder (actuator) 4- electric hydraulic valve 5- the gate position sensor 6- the gate of fertilizer distributor device 7- fertilizer distributor device

**حسگر موقعیت دریاچه:** یک عدد خطکش اهمی (پتانسیومتر خطی) پنج کیلو اهمی (مدل MR100 ساخت شرکت MARZAK) به عنوان حسگر موقعیت دریاچهها به صفحه محرک دریاچهها متصل گردید (شکل ۲). با حرکت خطی صفحه محرک، مقدار مقاومت حسگر تغییر کرده، در نتیجه ولتاژ خروجی متناسب با موقعیت دریاچهها تغییر کرد. واحد کنترل الکترونیکی، موقعیت دریاچه را با مقدار ولتاژ خروجی حسگر تعیین نمود.



**شکل ۲** محل قرارگیری حسگر موقعیت دریاچه و اجزا آن در دستگاه فاروئر-کودکار چهار ردیفه با سامانه کنترلی ابداعی، شامل: ۱- موزع ۲- حسگر ۳- دریاچه موزع

**Fig.2.** Components of the gate position sensor in the four-row furrow-fertilizer applicator with the invented controlling system: 1- Fertilizer distributor device 2- Sensor 3- The gate of fertilizer distributor device



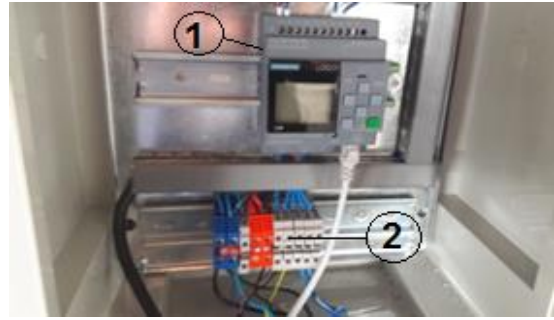
**سامانه مکان‌یابی:** این سامانه کنترلی، قابلیت کاربرد در کودکارهای نرخ‌متغیر هم حسگر-مبنا و هم نقشه-مبنا را دارد. در حالی که حسگرهای بلادرنگ برای اندازه‌گیری حاصلخیزی خاک با دقت مناسب در دسترس نمی‌باشند، در حال حاضر کاربرد این سامانه به صورت نقشه-مبنا توصیه می‌گردد. هرچند لازم است قبل از کاربرد به صورت نقشه-مبنا، ارزیابی‌های مزرعه‌ای با استفاده از سامانه مکان‌یابی با دقت مناسب انجام شوند. آنجایی که در آزمون‌های کارگاهی بدون استفاده از سامانه مکان‌یابی قابل انجام می‌باشد، لذا در این مطالعه فقط به منظور بررسی امکان اتصال سامانه مکان‌یابی به سامانه کنترلی، از یک دستگاه گیرنده GPS (مدل NEO-5Q ساخت شرکت U-blox AG کشور سوئیس) با خطای محتمل مستدیر (CEP) ۲/۵ متر (طبق کاتالوگ سازنده) استفاده گردید. این گیرنده شامل یک عدد ماژول و یک آنتن مغناطیسی بود (شکل ۶).



شکل ۶ ماژول گیرنده GPS در دستگاه فاروئر-کودکار چهار ردیفه با سامانه کنترلی ابداعی

**Fig. 6.** The GPS receiver module in the four-row furrower-fertilizer applicator with the invented controlling system

**طرز کار سامانه کنترل الکترونیکی:** پیش از شروع به کار دستگاه در مزرعه، ابتدا لازم است نقشه توصیه کودی و برخی مشخصات مزرعه از قبیل نام مزرعه، فاصله ردیف‌های کشت و نوع محصول، از طریق نمایشگر به حافظه سامانه وارد گردد. در حین حرکت دستگاه در مزرعه، مختصات آن از طریق سامانه مکان‌یابی برای نمایشگر ارسال می‌شود. نمایشگر مقدار کود مورد نیاز را از نقشه توصیه کودی برای مختصات مورد نظر پیدا نموده (معادل نیاز کودی نزدیک‌ترین مرکز سلول در نقشه توصیه کودی به مختصات لحظه‌ای دستگاه) و با توجه به سرعت



شکل ۴ محفظه (جعبه) اجزاء واحد کنترل الکترونیکی در دستگاه فاروئر-کودکار چهار ردیفه با سامانه کنترلی ابداعی، شامل ۱-PLC ۲- اتصالات (کانکتورها)

**Fig. 4.** The housing of the electronic control unit in the four-row furrower-fertilizer applicator with the invented controlling system includes: 1-PLC 2-Connectors

**نمایشگر:** یک دستگاه HMI (Human machine interface) نوع لمسی چهار اینچی (مدل DOP-B03E211 ساخت شرکت DELTA ELECTRONICS, IN) به عنوان نمایشگر سامانه کنترل مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۵). محل نصب این نمایشگر جلوی راننده و روی داشبورد تراکتور بود. امکان ورود برخی اطلاعات و تنظیم کردن بخشی از سامانه به وسیله‌ی این نمایشگر وجود داشت. گیرنده سامانه مکان‌یابی به وسیله یک عدد برد الکترونیکی به این نمایشگر متصل گردید. هنگام کار در مزرعه و قبل از شروع به کار دستگاه، نقشه توصیه کودی به نمایشگر انتقال داده می‌شود. ضمن جابجایی دستگاه در مزرعه، نزدیک‌ترین مرکز سلول شبکه‌بندی در نقشه، توسط نمایشگر محاسبه شده و مقدار کود مورد نیاز (برحسب کیلوگرم در هکتار) معادل آن سلول، تعیین شده و از طریق کابل Ethernet به واحد کنترل ارسال می‌گردد

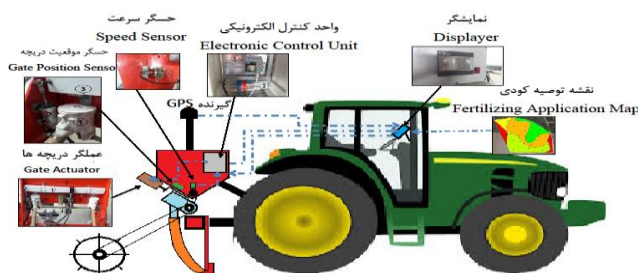


شکل ۵ نمایشگر در دستگاه فاروئر-کودکار چهار ردیفه با سامانه کنترلی ابداعی

**Fig. 5.** Displayer in the four-row furrower-fertilizer applicator with the invented controlling system

مناسب (باز یا بسته شدن جک هیدرولیکی) به شیر کنترل عملگر ارسال می‌گردد (شکل ۷).

پیشروی دستگاه مقدار باز بودن دریچه (متناظر با نرخ کوددهی هدف) را محاسبه می‌نماید. با توجه به موقعیت دریچه که از طریق حسگر مربوطه به واحد کنترل ارسال می‌گردد، فرمان



شکل ۷ شماتیک اجزا و طرز کار سامانه کنترل الکترونیکی در دستگاه فاروئر-کودکار چهار ردیفه با سامانه کنترلی ابداعی

Fig. 7. Schematic of the components and the working of the electronic control system in the four-row furrower-fertilizer applicator with the invented controlling system

از این الکتروموتور برای چرخاندن محور چرخ زمین‌گرد با سرعت دورانی مشابه هنگام حرکت دستگاه کودکار در مزرعه استفاده گردید. به‌منظور ایجاد محدوده سرعت کاری مشابه کار دستگاه در مزرعه، تغییر سرعت چرخش دستگاه از طریق یک دستگاه اینورتر (Inverter و مدل iE5 ساخت شرکت LS) فراهم گردید (شکل ۹). سرعت دورانی چرخ زمین‌گرد، طوری تنظیم می‌گردد تا مقدار سرعت خطی اندازه‌گیری‌شده توسط حسگر سرعت (پیشروی، به مقدار مناسب گردد (Sedaghat Hosseini and Yuonesi 2014).

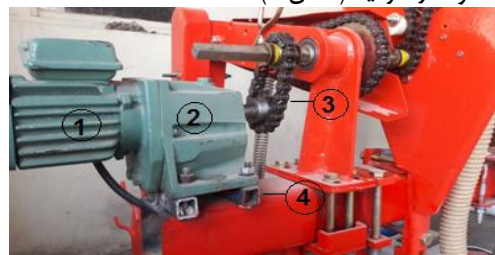


شکل ۹ تصویر اینورتر الکتروموتور محرک چرخ زمین‌گرد در ارزیابی

دستگاه فاروئر-کودکار چهار ردیفه با سامانه کنترلی ابداعی

Fig. 9. Inverter electric motor driving the ground mounted wheel in the four-row furrower-fertilizer applicator with the invented controlling system evaluation

شبیه‌سازی حرکت کودکار در کارگاه: دقت ماشین کودکار نرخ‌متغیر تابعی از دقت قسمت‌های مختلف از قبیل سامانه‌ی مکان‌یابی، حسگرها و عملگرها، نقشه توصیه کودی و سامانه‌ی کنترلی است. از این‌رو قبل از ارزیابی کلی دستگاه در مزرعه لازم است تا دقت سامانه کنترلی در کارگاه و شرایط کنترل‌شده ارزیابی گردد. دقت سامانه کنترلی به دو عامل خطای کوددهی سامانه و زمان تأخیر آن بستگی دارد. از آنجایی که به‌منظور ارزیابی کارگاهی سامانه لازم است در شرایط مشابه شرایط واقعی کار در مزرعه انجام شود، شرایط کاری واقعی دستگاه در کارگاه شبیه‌سازی شد. برای این منظور یک مجموعه جعبه‌دنده و الکتروموتور ۲۲۰ ولت تک فاز با توان ۰/۱۲ کیلووات و قابلیت تغییر سرعت خروجی به‌صورت پیوسته، جایگزین چرخ زمین‌گرد دستگاه کودکار گردید (شکل ۸).



شکل ۸ مجموعه الکتروموتور محرک چرخ زمین‌گرد در ارزیابی دستگاه فاروئر-کودکار چهار ردیفه با سامانه کنترلی ابداعی، شامل: ۱- الکتروموتور ۲- جعبه‌دنده ۳- چرخ‌زنجیر ۴- پایه الکتروموتور

Fig. 8. The set of electric motor driving the ground mounted wheel for the four-row furrower-fertilizer applicator with the invented controlling system evaluation includes: 1- Electric motor 2- Gear box 3- Sprocket wheel 4- Electric motor holder



محدوده سرعت پیشروی مناسب در مزرعه محصولات ردیفی (۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت) و نرخ کوددهی (در شش سطح ۸۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) و با سه تکرار اندازه‌گیری شد (Sedaghat Hosseini and Sadeghi 2020). با استفاده از رابطه (۱) مقدار خطای کوددهی سامانه محاسبه شد (Loghavi and Forouzanmehr 2010). اثر سرعت پیشروی و نرخ کوددهی در دقت کوددهی سامانه، با استفاده از نرم‌افزار SPSS به صورت آزمایش فاکتوریل و در پایه طرح کاملاً تصادفی ارزیابی شد.

$$e = [(F_a - F_t) / F_t] \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $e$ : مقدار خطای عملیات کوددهی (درصد)،

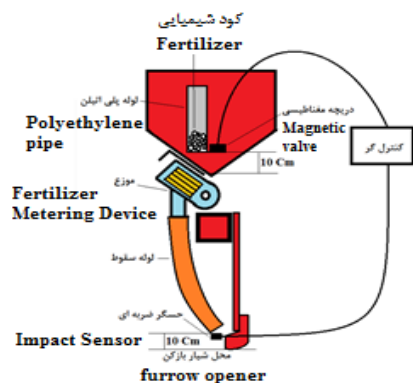
$F_a$ : مقدار کود مصرفی واقعی (اندازه‌گیری شده) ( $\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ),  $F_t$ : مقدار کود مصرفی هدف ( $\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) می‌باشند.

**تعیین زمان تأخیر دستگاه:** هنگام عبور دستگاه از یک ناحیه کوددهی به ناحیه دیگر، مدت‌زمانی طول می‌کشد تا نرخ کوددهی آن معادل ناحیه جدید (نرخ هدف) شود. مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا دستگاه کودکار از نرخ کوددهی اولیه به نرخ کوددهی هدف برسد را زمان تأخیر دستگاه گویند. این مقدار از آن جهت اهمیت دارد که هر چه کمتر باشد در مواقع تغییر نرخ کوددهی، دقت دستگاه بیشتر خواهد بود. زمان تأخیر دستگاه کودکار شامل دو بخش زمان تأخیر مکانیکی و زمان تأخیر ریزش ذرات کود می‌باشد.

**زمان تأخیر مکانیکی:** فاصله زمانی بین ارسال سیگنال از واحد کنترل الکترونیکی به عملگر دریچه موزع‌ها، موقع تغییر نرخ کوددهی تا لحظه رسیدن دریچه موزع به نقطه هدف (تأیید موقعیت مورد نظر توسط حسگر موقعیت دریچه موزع)، به‌عنوان زمان تأخیر مکانیکی اندازه‌گیری گردید (Maleki et al. 2008b). این فاصله زمانی برای مقادیر تغییر نرخ کوددهی (در چهار سطح ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و محدوده سرعت کاری (در سه سطح ۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت) و با سه بار تکرار اندازه‌گیری شد. آزمایش و تغییر نرخ کوددهی در دو مرحله انجام شد. یک مرحله نرخ کوددهی از کم به زیاد و مرحله بعدی از زیاد به کم تغییر داده شد.

**تعیین تابع مقدار کود مصرفی:** یکی از عواملی که در مقدار کود مصرفی در هکتار تأثیر دارد، فاصله ردیف‌های محصول است. از آنجایی که این دستگاه برای انواع محصولات ردیفی قابل استفاده و فاصله ردیف‌ها در محصولات مختلف و متناسب با شرایط مختلف ممکن است تغییر کند (به‌عنوان مثال برای چغندر قند ۶۰ سانتیمتر و ذرت ۷۵ سانتیمتر). از این رو تابع مقدار کود خروجی از موزع به صورت گرم در متر (بی‌تأثیر از فاصله ردیف‌های دستگاه) محاسبه گردید. هنگام استفاده از ماشین در مزرعه، واحد کنترل مطابق با فاصله ردیف‌های کشت، تابع را به کیلوگرم در هکتار محاسبه می‌نماید. در این مطالعه فاصله ردیف‌ها برای محصول چغندر قند ۶۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. به‌منظور کنترل دقیق نرخ کوددهی توسط سامانه، لازم است رابطه بین نرخ کوددهی و عوامل مؤثر بر آن (سرعت پیشروی و مقدار باز بودن دریچه موزع) اندازه‌گیری و محاسبه شود (Sedaghat Hosseini and Sadeghi 2020). از این رو مقدار خروجی از موزع در محدوده سرعت پیشروی مناسب دستگاه (در سه سطح ۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت) و در محدوده کورس حرکت دریچه موزع (در هفت سطح ۵، ۷/۵، ۱۰، ۳۲/۵، ۵۵، ۷۷/۵ و ۱۰۰ درصد) و با سه تکرار اندازه‌گیری شد. مقدار کود خارج‌شده از لوله سقوط شیار بازکن دستگاه به ازای ۲۰ دور چرخش چرخ محرک جمع‌آوری و توسط ترازوی دیجیتالی توزین گردید (Sedaghat Hosseini and Sadeghi 2020). سپس مقدار کود خروجی را به گرم بر متر تبدیل نموده و رابطه رگرسیونی بین نرخ کوددهی (گرم بر متر) و دو عامل سرعت پیشروی (کیلومتر در ساعت) و مقدار باز بودن دریچه موزع (درصد) با استفاده از نرم‌افزار SPSS تعیین شد.

**ارزیابی دقت تابع کود مصرفی:** واحد کنترل سامانه برای محاسبه موقعیت دریچه و کنترل نرخ کوددهی از تابع رگرسیونی حاصل از آزمایش مرحله قبل، استفاده نمود. پس از وارد کردن تابع در برنامه واحد کنترل سامانه و تعیین فاصله ردیف‌ها ۶۰ سانتیمتر (برای محصول چغندر قند)، به‌منظور ارزیابی کارگاهی دقت آن، مقدار کود خروجی به ازای ۲۰ دور گردش چرخ زمین‌گرد (معادل ۳۴/۸ متر پیشروی دستگاه در مزرعه) و در



شکل ۱۰ محل قرارگیری دریچه مغناطیسی و حسگر ضربه‌ای در ارزیابی دستگاه فاروئر-کودکار چهار ردیفه با سامانه کنترلی ابداعی

**Fig. 10.** Positions of magnetic valve and impact sensor for the four-row furrower-fertilizer applicator with the invented controlling system evaluation

## نتایج و بحث

### تعیین تابع مقدار کود مصرفی

تابع رگرسیونی بین متغیرهای مستقل سرعت پیشروی و نرخ کوددهی و متغیر وابسته مقدار باز بودن دریچه موزع، تعیین شد (رابطه ۲).

رابطه ۲:

$$G = -8.739^{**} + (1.246^{**} \times V) + (2.762^{**} \times F)$$

$$\bar{R}^2 = 0.998$$

که در آن  $V$ : سرعت پیشروی دستگاه ( $\text{Km.h}^{-1}$ )،  $F$ : نرخ کوددهی ( $\text{gr.m}^{-1}$ ) و  $G$ : مقدار باز بودن دریچه موزع (درصد) هستند.

### ارزیابی دقت تابع کود مصرفی:

نتایج تجزیه واریانس میانگین‌های خطای کوددهی نشان داد که تأثیر نرخ کوددهی در خطای آن خیلی معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) بوده اما اثر سرعت پیشروی و اثر متقابل سرعت پیشروی و نرخ کوددهی معنی‌دار نبود (جدول ۱) که این موضوع بیانگر عملکرد مناسب سامانه در رفع تأثیر سرعت پیشروی در دقت نرخ کوددهی می‌باشد.

**زمان تأخیر سقوط ذرات کود:** بخش دیگر زمان تأخیر دستگاه، مربوط به زمان لازم برای عبور مقدار کود اندازه‌گیری شده از موزع و لوله سقوط تا رسیدن کف شیار حاصل از عبور شیار بازکن می‌باشد. برای اندازه‌گیری زمان سقوط ذرات کود، از یک لوله پلی‌اتیلن مجهز به یک دریچه مغناطیسی استفاده شد. لوله مذکور درون مخزن و ۱۰ سانتیمتر بالاتر از دریچه موزع و به‌طور عمودی نصب شد. در ابتدای هر آزمایش، مسیر عبور کود در دستگاه کودکار، کاملاً تخلیه می‌شد سپس درون لوله پلی‌اتیلن یک قاشق چایخوری کود ریخته شد. پس از باز کردن شیار بازکن دستگاه، یک عدد حسگر ضربه‌ای از نوع پیزوالکتریک، در فاصله ۱۰ سانتیمتری بالای محل قرار گرفتن کود در خاک (لبه زیرین شیار بازکن) قرار داده شد (شکل ۱۰). در هر بار آزمایش محور چرخ زمین‌گرد کودکار معادل سرعت‌های پیشروی (سه سطح ۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت) چرخانده شد. به‌منظور افزایش دقت، با ۵ بار تکرار زمان تأخیر سقوط کود از مخزن به داخل شیار، اندازه‌گیری گردید. میانگین‌های زمان تأخیر در سرعت‌های پیشروی مختلف (۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت) به‌صورت جداگانه محاسبه شد.

زمان تأخیر کل، از مجموع دو بخش ذکرشده (زمان تأخیر مکانیکی و زمان تأخیر سقوط ذرات کود) محاسبه شد. به‌عبارت‌دیگر میانگین‌های زمان تأخیر سقوط ذرات کود از موزع به شیار بازکن، در سرعت‌های پیشروی مختلف، به زمان تأخیرهای مکانیکی در سرعت‌های معادل (بخش ۴-۱) اضافه گردید. سپس اثر سرعت پیشروی (سه سطح ۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت)، مقدار تغییر نرخ کوددهی (در چهار سطح ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و جهت تغییر نرخ کوددهی (دو سطح: افزایشی و کاهششی) و با سه تکرار در زمان تأخیر کل سامانه، با استفاده از نرم‌افزار SPSS به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در پایه طرح کاملاً تصادفی ارزیابی گردید.

نهایتاً تابع رگرسیونی بین زمان تأخیر کل و عوامل مؤثر

بر آن، محاسبه شد

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس خطای کوددهی در دستگاه فاروئر-کودکار چهار ردیفه با سامانه کنترلی ابداعی

**Table 1.** Results of variance analysis of fertilizing error in the four-row furrower-fertilizer applicator with the invented controlling system

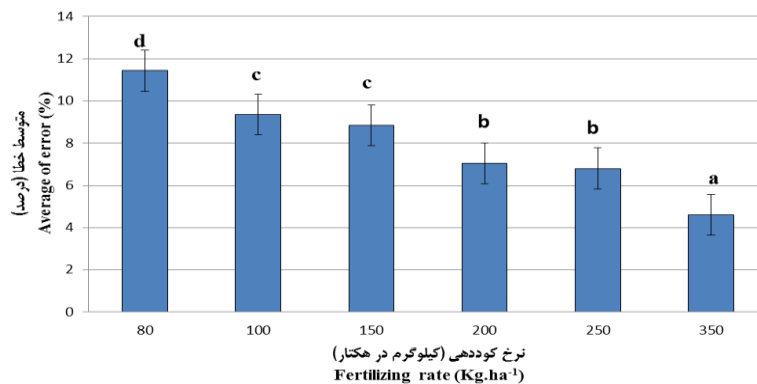
منابع خطا Sources of error	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square
سرعت پیشروی Traveling speed	2	0.580 <sup>ns</sup>
نرخ کوددهی Fertilizing rate	5	50.649**
سرعت × نرخ کوددهی Speed × Fertilizing rate	10	2.227 <sup>ns</sup>
خطا Error	36	

\*\* و ns به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح یک درصد و معنی دار نشدن اختلاف میانگین‌ها می‌باشد.

\*\* and ns indicate a significant difference ( $p < 0.01$ ) and non-significance difference, respectively.

۶/۸ و ۴/۶۱ درصد تعیین شد. خطای کلی سامانه ۸/۰۱ درصد حاصل شد که در مقایسه با نتایج سامانه دو پارامتری قبلی ۲/۳۳ درصد کاهش خطا (افزایش دقت) حاصل شده است (Sedaghat Hosseini et al. 2014).

نتایج آزمون دانکن مشخص نمود که افزایش نرخ کوددهی، باعث کاهش خطای کوددهی می‌شد (شکل ۱۱). خطای کوددهی سامانه در نرخ‌های ۸۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ۱۱/۴۳، ۹/۳۵، ۸/۸۴، ۷/۰۵،

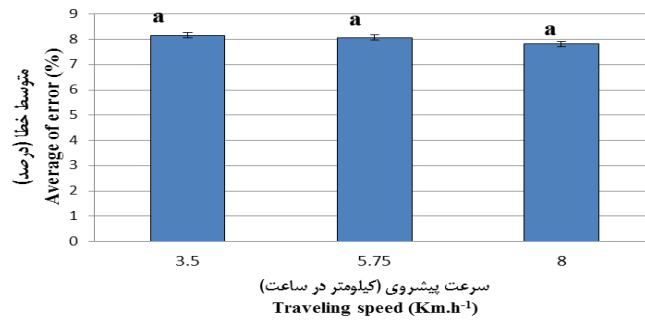


شکل ۱۱ نتایج آزمون دانکن اثر نرخ کوددهی در خطای سامانه کنترلی ابداعی فاروئر-کودکار چهار ردیفه (درصد)

**Fig. 11.** The results of Duncan's test for the effect of fertilizing rate on the four-row furrower-fertilizer applicator with the invented controlling system error (%)

نرخ‌های کم کوددهی، مقادیر کمتری بوده و با داشتن اختلاف برابر باعث محاسبه درصد خطای بزرگ‌تر در این موارد می‌شد. نتایج آزمون دانکن نشان داد که با افزایش سرعت پیشروی، خطای سامانه کاهش می‌یابد اما اختلاف خطای سامانه در سرعت‌های مختلف معنی دار نشد (شکل ۱۲). خطای سامانه در سرعت‌های پیشروی ۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت به ترتیب ۸/۱۶، ۸/۰۶ و ۷/۸۱ درصد حاصل شد.

علت اصلی کاهش دقت در نرخ‌های کم کوددهی (کمتر از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) می‌تواند مربوط به طراحی موزع باشد. از آنجایی که در مقادیر کم کوددهی، اندازه باز بودن دریچه، کمتر از قطر برخی ذرات کود می‌باشد، در این موارد خروجی موزع نامنظم (با خطای زیاد) می‌شد. علت دوم این موضوع ممکن است مربوط به نحوه محاسبه خطا (رابطه ۱) باشد که مخرج کسر در



شکل ۱۲ نتایج آزمون دانکن اثر سرعت پیشروی در خطای کوددهی سامانه کنترلی ابداعی فاروئر-کودکار چهارردیفه (درصد)

**Fig.12.** The results of Duncan's test for the effect of traveling speed on the fertilizing error of the four-row furrower-fertilizer applicator with the invented controlling system (%)

هلیسی) از این منظر، متفاوت بود (Kim *et al.* 2008; (Forozanmehr and Loghavi 2012).

**تعیین زمان تأخیر دستگاه:** نتایج تجزیه واریانس زمان تأخیر دستگاه نشان داد که اثر مقدار و جهت (افزایشی یا کاهش) تغییر مقدار نرخ کوددهی و اثر متقابل آنها در زمان تأخیر کل دستگاه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲) درحالی که اثر سرعت پیشروی معنی دار نشد.

**جدول ۲** نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی، مقدار و جهت (افزایشی یا کاهش) تغییر نرخ کوددهی بر میانگین زمان تأخیر (ثانیه) سامانه کنترلی ابداعی فاروئر-کودکار چهارردیفه

**Table 2.** The results of the variance analysis of the effect of traveling speed, amount and direction (increasing or decreasing) of the fertilizing rate change on the system delay time (seconds) for the four-row furrower-fertilizer applicator with the invented controlling system

منابع خطا Sources of error	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square
سرعت پیشروی Traveling speed	2	0.011 <sup>ns</sup>
جهت تغییر نرخ کوددهی (کاهش یا افزایش) direction (increasing or decreasing) of the fertilizing rate change	1	7.57**
مقدار تغییر نرخ کوددهی Fertilizing rate change	3	0.77**
سرعت پیشروی × جهت تغییر Speed × rate change direction	2	0.006 <sup>ns</sup>
سرعت پیشروی × مقدار تغییر نرخ کوددهی Speed × Fertilizing rate change	6	0.003 <sup>ns</sup>
جهت × مقدار تغییر نرخ کوددهی Direction × Fertilizing rate change	3	0.295**
سرعت پیشروی × جهت × مقدار تغییر نرخ کوددهی Speed × Direction × Fertilizing rate change	6	0.008 <sup>ns</sup>
خطا Error	48	

\*\* و ns به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح یک درصد و معنی دار نشدن اختلاف میانگینها می باشد.

\*\* and ns indicate a significant difference ( $p < 0.01$ ) and non-significance difference, respectively.

آنها  $t$  زمان تأخیر کل دستگاه (ثانیه) و  $\Delta X$  مقدار نرخ کوددهی (کیلوگرم در هکتار) است.

این موضوع که افزایش سرعت پیشروی باعث کاهش خطای کوددهی می گردد ممکن است به دلیل ماهیت موزع های نوع چرخ پره دار، یعنی کاهش یکنواختی خروجی کود از موزع در سرعت دورانی کم آن باشد. از این رو این نتایج، مشابه سامانه ارائه شده توسط کیم و همکاران بوده هرچند با نتایج مطالعه فروزان مهر و لغوی به دلیل استفاده از موزع نوع دیگر (نوع

تابع های رگرسیونی زمان تأخیر کل در حالت های افزایش و کاهش نرخ کوددهی به ترتیب رابطه های ۲ و ۳ تعیین شدند که در

$$t = 0.0048 \times |\Delta X| + 0.388$$

رابطه (۲)

$$R^2 = 0.749$$

$$t = 0.0013 \times |\Delta X| + 0.321$$

رابطه (۳)

$$R^2 = 0.787$$

ارزیابی‌ها نشان دادند که اثر نرخ کوددهی در خطای سامانه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و مقدار خطا در نرخ‌های کوددهی کم، افزایش می‌یافت این موضوع به دلیل ساختمان و عملکرد موزع نوع چرخ پره‌ای (استوانه‌شیاردار) بود. سامانه کنترلی ابداعی با حذف تأثیر سرعت پیشروی دستگاه در خطای کوددهی باعث کاهش مقدار خطای کلی کوددهی در حد قابل قبول (۸/۰۱) درصد گردید.

همچنین کاهش زمان تأخیر سامانه به دلیل استفاده از عملگر هیدرولیکی، بیانگر دقت مناسب در نتایج ارزیابی‌های کارگاهی در محدوده کاری مزارع چغندر قند و محصولات ردیفی دیگر بودند.

### پیشنهادها

به‌طور کلی با توجه به نتایج مطالعه، موارد ذیل پیشنهاد می‌گردند:

۱- توصیه می‌گردد آزمون‌های مزرعه‌ای تکمیلی به‌منظور بررسی دقت کلی دستگاه کودکار نرخ متغیر (از قبیل سامانه مکان‌یابی) و تطبیق آن با شرایط مزرعه انجام شوند.

۲- توصیه می‌شود به‌منظور افزایش دقت سامانه در نرخ‌های کوددهی کم، در ساختمان موزع نوع چرخ پره‌ای (استوانه‌شیاردار) اصلاحاتی ایجاد گردد.

۳- پیشنهاد می‌گردد اثر سامانه‌های مکان‌یابی مختلف در دقت کودکار نرخ متغیر در مزارع محصولات ردیفی ارزیابی گردد.

### تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

از آنجایی که سرعت حرکت جک دوطرفه (عملگر درپچه‌ها) در حالت‌های باز و بسته شدن باهم برابر نبود، باعث شد تا دو رابطه‌ی مجزا برای تعیین زمان تأخیر کل دستگاه در دو حالت تغییر نرخ کوددهی (کاهش و افزایش) محاسبه گردد. در مقایسه با سامانه کنترلی دو پارامتری مطالعه قبلی، زمان تأخیر این سامانه برای ۵۰ کیلوگرم افزایش و کاهش نرخ کوددهی، به ترتیب ۵۶/۴۵ و ۶۷/۹۶ درصد کاهش یافت (Sedaghat et al. 2014). در مقایسه با نتایج برخی از مطالعات دیگر، زمان پاسخ این سامانه بهتر می‌باشد (Maleki et al. 2008b; Kim et al. 2008; Alameen et al. 2019; Mirzakhaniafchi et al. 2022; Tola et al. 2008). که این موضوع بیانگر زمان تأخیر (عکس‌العمل) مناسب سامانه می‌باشد.

در عین حال که سرعت پیشروی دستگاه در زمان تأخیر آن بی‌تأثیر است، اما به دلیل آنکه دستگاه در سرعت‌های بیشتر در مقایسه با سرعت‌های کمتر، در زمان تأخیر مشابه، سطح بیشتری از مزرعه را پوشش می‌دهد، بنابراین در مرحله تغییر نرخ کوددهی در مزرعه، دقت سامانه کاهش می‌یابد بنابراین مشابه نتایج مطالعات دیگر، عوامل مؤثر در عملکرد این سامانه کنترلی، سرعت پیشروی، زمان تأخیر و نرخ کوددهی می‌باشند (Pawase et al. 2023). از این‌رو هنگام ارزیابی دقت دستگاه در مزرعه، باید عوامل مذکور در نظر گرفته شوند.

### نتیجه‌گیری

سامانه کنترل الکترونیکی ساخته شد و روی یک دستگاه فاروئر-کودکار چهار ردیفه نصب گردید و مقدار دقت سامانه کنترلی و زمان تأخیر آن مورد ارزیابی کارگاهی قرار گرفت. نتایج



**سپاسگزاری**

بدین وسیله از کلیه همکاران محترم مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره) و مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی که در فراهم

نمودن امکانات اجرای پروژه تحقیقاتی مساعدت نمودند صمیمانه تشکر می‌شود. همچنین از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در حمایت‌های مالی پروژه تحقیقاتی قدردانی می‌شود.

## References

## مراجع

- Alameen AA, Al-Gaadi KA, Tola E. Development and performance evaluation of a control system for variable rate granular fertilizer application. *Computer and Electronics in Agriculture*. 2019; 160: 31-39. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.011>
- Anonymous. FAO. Top 20 Countries Production of Sugar beet 2022. [https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity). Date accessed 2024/04/06.
- Anonymous. Statista.com. Global consumption of agricultural fertilizer from 1965 to 2021, by nutrient. <https://www.statista.com/statistics/438967/fertilizer-consumption-globally-by-nutrient/> [Sep 20, 2023].
- Basati J, Sadeghi M, Jalilian A. Optimum time of nitrogen application on two sugar beet varieties in Kermanshah. *Journal of Sugar Beet*. 2000; 15(1): 56-71. (In Persian with English abstract). Doi: <https://doi.org/10.22092/jsb.2000.109552>.
- Bora GC. Economics of variable rate nitrogen application in Florida citrus grove. *Tree and Forestry Science and Biotechnology*. 2008; 3: 164-168.
- Chandel NS, Mehta CR, Tewari VK, Nare B. Digital map-based site-specific granular fertilizer application system. *Curent Science*. 2016; 111: 1208-1213. Doi: <https://doi.org/10.18520/cs/v111/i7/1208-1213>
- Chattha HS, Zaman QU, Chang YK, Read S, Schumann AW, Brewster GR, Farooque AA. Variable rate spreader for real-time spot-application of granular fertilizer in wild blueberry. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014; 100: 70-78. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.10.012>
- Ehlert D, Schmerler J, Voelker U. Variable rate nitrogen fertilisation of winter wheat based on a crop density sensor. *Precision Agriculture*. 2004; 5: 263-273. Doi: <https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000032765.29172.ec>
- Ess DR, Morgan MT, Parsons SD. Implementing site specific management: map-versus sensor-based variable rate application. Pub. No SSM-2-W, Site-specific management center, Purdue university west Lafayette. 2001;1-9.
- Forouzanmehr E, Loghavi M. Design, development and field evaluation of a map-based variable rate granular fertilizer application control system. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2012; 14(4): 255-261.
- Kempenaar C, Been T, Booij T, Evert FV, Michielsen JM, Kocks C. Advances in variable rate technology application in potato in the Netherlands. *Potato Research*. 2017; 60: 295-305. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11540-018-9357-4>
- Kim YJ, Kim HJ, Ryu KH, Rhee JY. Fertiliser application performance of a variable-rate pneumatic granular applicator for rice production. *Biosystem Engineering*. 2008; 100: 498-510. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.05.007>
- Majidi M, Moafpourian G, Gaderi J, Noshad H, Daryashenas A, Galebi S, Tehrani M. Guidelines for integrated management of soil fertility and sugar beet nutrition. Soil and Water Research Institute. 2014. (In Persian).
- Maleki MR, Mouazen AM, De Ketelaere B, Ramon H, De Baerdemaeker J. On-the-go variable-rate phosphorus fertilisation based on a visible and near-infrared soil sensor. *Biosystems Engineering*. 2008a; 99: 35-46. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.09.007>
- Maleki MR, Ramon H, De Baerdemaeker J, Mouazen AM. A study on the time response of a soil sensor-based variable rate granular fertiliser applicator. *Biosystems Engineering*. 2008b; 100: 160-166. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.03.007>
- Mirzakhani-fachi H, Singh M, Dixit AK, Prakash A, Sharda S, Kaur J, Nafchi AM. Performance assessment of a sensor-based variable-rate real-time fertilizer applicator for rice crop. *Sustainability*. 2022;14, 11209. Doi: <https://doi.org/10.3390/su141811209>.
- Morgan M, Ess D. The precision farming guide for agriculturists, Deere and Company, Moline, Illinois 61265. 2003.
- Pawase PP, Nalawade SM, Bhanage GB, Walunj AA, Kadam PB, Durgude AG, Patil MG. Variable rate fertilizer application technology for nutrient management: A review. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2003; 16(4): 11-19. Doi: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20231604.7671>

- Reyes, JF, Wilson Ea, Daniel Ca, Rodrigo O. Field testing of an automatic control system for variable rate fertilizer application. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015; 113: 260–265. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.03.003>
- Sedaghat Hosseini M, Almassi M, Minaei S, Ebrahimzadeh MR. Accuracy of two types of fertilizer rate control systems in a variable rate fertilizer applicator. *Advances in Environmental Biology*. 2014; 306-314.
- Sedaghat Hosseini M, Sadeghi A. Improving the accuracy of the four-row variable rate fertilizer applicator device by reducing its response time. Final report of research. Agricultural research, education and extension organization (AREEO). 2020. Report No.: 57037 (In Persian, English abstract)
- Sedaghat Hosseini M, Younesi Alamooti, M. Design, Fabrication and Evaluation of a Continuous Controllable Metering Device for a Fertilizer Applicator. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2014; 15 (1):11-24. (In Persian, English abstract). Doi: <https://doi.org/10.22092/aridse.2014.102058>
- Sevier BJ, Lee WS. Precision farming adoption in Florida citrus: A grower case study. 2005; ASAE Paper No. 051054., ASAE, St.Joseph, MI. 12p.
- Sönmez I, KaplanM, Sönmez S. An investigation of seasonal changes in nitrate contents of soils and irrigation waters in greenhouse located in Antalya-Demre region. *Asian Journal of Chemistry*. 2007; 19: 5639-5646.
- Tola E, Kataoka T, Burce M, Okamoto H, Hata S. Granular fertilizer application rate control system with integrated output volume measurement. *Biosystems Engineering*. 2008; 101: 411-416. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.019>
- Vatsanidou A, Fountas S, Nanos G, Gemtos T. Variable rate application of nitrogen fertilizer in a commercial pear orchard. *From Fork to Farm: the International Journal of the American Farm School of Thessaloniki*. 2014; 1: 1-8.
- Wang D, Prato T, Qiu Z, Kitchen NR, Sudduth KA. Economic and environmental evaluation of variable rate nitrogen and lime application for claypan Soil Fields. *Precision Agriculture*. 2003; 4: 35–52. Doi: <https://doi.org/10.1023/A:1021858921307>
- Younesi Alamouti M, Sedaghat Hosseini M. Response time of a direct injection type variable-rate sprayer. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2014; 16(3): 70-76.
- Younesi Alamouti M, Vahedi A, Sedaghat Hosseini M. Energy productivity and greenhouse gases emission in sugar beet production in Qazvin province and determination of efficient and non-efficient units using data envelopment analysis. *Sugar beet journal*. 2023; 39(2). (In Persian with English abstract). Doi: <https://doi.org/10.22092/jsb.2024.365412.1356>
- Zaman QU, Schumann AW, miller WM. Variable rate nitrogen application in Florida citrus based on ultrasonically-sensed tree size. *Applied Engineering in Agriculture*. 2005; 21: 331-335. Doi: <https://doi.org/10.13031/2013.18448>