



The Effects of an Automated System for Climate Control on the Yield of Greenhouse Crops (Case Study on Rose)

Jafar Massah¹ | Hassan Tahmasebi² | Mahmoud Reza Roozban³ | Behzad Azadegan⁴

1. Corresponding Author, Department of Agrotechnology, Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: jmassah@ut.ac.ir
2. Department of Agrotechnology, Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: hassan.tahmasebi@gmail.com
3. Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: mroozban@ut.ac.ir
4. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: bazad@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: February 26, 2022

Received in revised form:

September 26, 2022

Accepted: October 08, 2022

Published online: April 16, 2023

Keywords:

Automation,
climate control,
cut-rose,
energy consumption efficiency,
greenhouse marketability.

ABSTRACT

The use of methods to reduce energy consumption in greenhouses such as reduced heat losses, and improved efficiency of heating, cooling, and irrigation systems can cut energy consumption for the production of any crop to several times. The present research has designed and built an automated system for climate control of a rose greenhouse. This system is consisted of control and measurement stations. The control unit, itself, is consisted of a human-machine interface (HMI) device; while the measurement station is formed of one humidity, one light, and eight temperature sensors. Climate conditions of the greenhouse is received by the measurement station, there to be sent to the control one. Also, energy consumption in both systems are calculated and analyzed, too. The present research compares the impacts of the built automated system for climate control of greenhouse on the qualitative and quantitative traits of three cut-roses cultivars including 'Angelina', 'Samurai', and 'Red One' with the control system. Quality index and shoot weight of the cut-roses are improved under the automated system than the control. But there no difference could be found in traits of flowering stem length and number, stem diameter, number of lateral and blind shoots, internodes length, and vase-life, between the crops of two systems compared. The results also indicate a reduction in energy consumption under the automated climate management system than the control, equal to 12%. In sum, considering that the use of climate control system has improved the efficiency of energy consumption without having a negative impact on the quantitative and qualitative characteristics of the crop, it is recommended.

Cite this article: Massah, J., Tahmasebi, H., Roozban, M. R., & Azadegan, B. (2023). The Effects of an Automated System for Climate Control on the Yield of Greenhouse Crops (Case Study on Rose). *Journal of Crops Improvement*, 25 (1), 269-278. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.339739.2687>





تأثیر سامانه اتوماسیون کنترل اقلیم بر عملکرد محصولات گلخانه‌ای (مطالعه موردی: گل رز)

جعفر مساح^۱ | حسن طهماسبی^۲ | محمودرضا روزبان^۳ | بهزاد آزادگان^۴

۱. نویسنده مسئول، گروه فنی کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: jmassah@ut.ac.ir

۲. گروه فنی کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: hassan.tahmasebi@gmail.com

۳. گروه باغبانی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: mroozban@ut.ac.ir

۴. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: bazad@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

کلیدواژه‌ها:

اتوماسیون،

بازارپسندی گلخانه،

رز شاخه‌بریده،

کارایی مصرف انرژی،

کنترل اقلیم.

استفاده از روش‌های کاهش مصرف انرژی در گلخانه‌ها از جمله کاهش تلفات حرارتی، بهبود بازده سیستم‌های گرمایشی، خنک‌کننده و آبیاری می‌تواند میزان مصرف انرژی برای تولید هر محصول را تا چندین برابر کاهش دهد. در این پژوهش، یک سیستم اتوماسیون کنترل اقلیم گلخانه، باهدف کاهش مصرف انرژی طراحی و ساخته شد. این سیستم از ایستگاه‌های فرمان و اندازه‌گیری تشکیل شده بود که ایستگاه فرمان شامل HMI و ایستگاه اندازه‌گیری شامل حس گر رطوبت، حس گر نور، و هشت حس گر حرارت بود. ایستگاه اندازه‌گیری، شرایط اقلیم گلخانه را دریافت می‌کرد و سپس آن‌ها را برای ایستگاه فرمان ارسال می‌کرد. در این پژوهش، تأثیر سامانه اتوماسیون کنترل اقلیم گلخانه طراحی شده، بر ویژگی‌های کمی و کیفی سه رقم گل رز شاخه‌بریده به نام‌های "انجلینا"، "سامورایی" و "رد وان"، با سامانه شاهد، مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین، مصرف انرژی در هر دو سامانه، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست‌آمده، شاخص کیفیت و وزن شاخساره در هر سه رقم مذکور، در محصولات تولیدشده تحت سامانه اتوماسیون نسبت به سامانه شاهد بهبود یافت. اما تفاوت معنی‌داری بین ویژگی‌های طول و تعداد ساقه گل‌دهنده، قطر ساقه، تعداد شاخساره‌های جانبی و کور، طول میان‌گره‌ها و عمر گلجایی محصولات دو سامانه مورد مقایسه، مشاهده نشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده کاهش میزان مصرف انرژی گلخانه تحت سامانه اتوماسیون کنترل اقلیم نسبت به سامانه شاهد به میزان ۱۲ درصد بود. در مجموع، با توجه به این‌که استفاده از سامانه کنترل اقلیم بدون این‌که تأثیر منفی روی خصوصیات کمی و کیفی محصول گذاشته باشد بازده مصرف انرژی را ارتقاء داده است قابل توصیه می‌باشد.

استناد: مساح، ج، طهماسبی، ح، روزبان، م. ر. و آزادگان، ب (۱۴۰۲). تأثیر سامانه اتوماسیون کنترل اقلیم بر عملکرد محصولات گلخانه‌ای (مطالعه موردی: گل رز). به‌زرعی کشاورزی، ۲۵ (۱)، ۲۶۹-۲۷۸. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.339739.2687>



۱. مقدمه

تولید محصولات کشاورزی، به عوامل مختلفی از جمله شرایط آب‌وهوایی، منابع آب و بهره‌برداری از منابع انرژی وابسته است (Maher et al., 2016). به‌طور کلی، سیستم‌های گلخانه‌ای برای محافظت از محصولات در برابر شرایط محیطی نامطلوب توسعه یافته‌اند (De Gelder et al., 2012) و مدیریت تولید در این سیستم‌ها، مستلزم تصمیم‌گیری سریع و مکرر در مقیاس‌های زمانی متعدد است.

آخرین پیشرفت‌های انجام‌شده در فناوری‌های تولید و بهره‌برداری از گلخانه‌ها بر بهره‌وری هزینه و انرژی متمرکز شده است (Magsumbol et al., 2018) که خود مستلزم توسعه راهبردهای کنترل عملیات، پارامترهای محیطی کلیدی، شبکه‌های سنجش و سیستم‌های نظارت، همراه با الگوریتم‌های مختلف کنترل در استفاده بهینه از سامانه‌های گرمایشی، سرمایشی و نوری است (Iddio et al., 2020). از این‌رو، توجه به منابع طبیعی محدود و اثرات سوء ناشی از عدم استفاده بهینه از منابع مختلف انرژی بر سلامتی انسان و محیط زیست، لزوم بررسی و بازنگری در الگوهای مصرف انرژی را در بخش کشاورزی حیاتی ساخته است (Hatirli et al., 2005). هدف تولیدکننده بخش کشاورزی تحت تأثیر شرایط محیطی، جغرافیایی و اقتصادی تعیین می‌شود. اگرچه ممکن است این هدف، تنها حداکثر سود نباشد، اما به هر حال تولیدکننده بخش کشاورزی در پی هدفی خاص اقدام به تولید می‌کند و دستیابی به آن هدف در بالاترین حد ممکن، همواره مطلوب است (Akbari & Sharif, 2008). با توجه به بحران انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی، تمام تلاش‌ها بر آن است که مصرف انرژی تا حد امکان کاهش یابد. اکثر کشورهای توسعه‌یافته و حتی در حال توسعه، انرژی وارده در واحد سطح برای تولید محصولات مختلف کشاورزی را بررسی و با محاسبه شاخص کارایی انرژی تلاش کرده‌اند سیستم کشاورزی خود را از نظر مصرف انرژی بهینه سازند (Nasirian, 2006). در این راستا، نتایج پژوهشی روی تأثیر پارامترهای طراحی گلخانه بر حفظ انرژی برای کنترل محیطی گلخانه نشان داد که در گلخانه‌های گل رز، ۹۰ درصد انرژی مصرفی مربوط به سوخت و پس از آن انرژی الکتریکی بود (Gupta, 2002).

دما، رطوبت نسبی، غلظت CO_2 و شدت نور، از جمله پارامترهای محیطی هستند که روی عملکرد و کیفیت محصولات گلخانه‌ای اثرات مهمی بر جای می‌گذارند (Taiz & Zeiger, 2006)، این پارامترها را می‌توان به‌صورت دینامیک با استفاده از الگوریتم‌های رایانه‌ای به‌منظور بهبود کارایی نهاده‌ها کنترل نمود و به‌واسطه آن با کمترین مصرف انرژی، عملکرد و کیفیت محصولات گلخانه‌ای را بهبود بخشید (Iddio et al., 2020). این پارامترها برای گل رز که از گل‌های مهم شاخه‌بریده دنیا محسوب می‌شود و رشد بهینه آن در دماهای پایین اتفاق می‌افتد (Shin et al., 2000) اهمیت دوچندانی پیدا می‌کند.

سابقه توسعه گلخانه‌های اتوماتیک به سال‌های اول ۱۹۷۰ میلادی برمی‌گردد، اما امروزه با توسعه ابزارهای دقیق، کاربرد این نوع گلخانه‌ها کاملاً تجاری شده، و در سطوح مختلف عرضه می‌شوند. تأمین دمای موردنیاز هر گلخانه، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد گیاهان گلخانه‌ای و نیز کاستن از هزینه‌های جاری آن گلخانه است. Sun (1992) در مورد سیستم‌های کنترل‌کننده شرایط محیطی گلخانه، تحقیقاتی را انجام داد. او از یک سیستم مبتنی بر میکروکنترلر برای کنترل و پایش دمای هوا، دمای خاک و نور درون گلخانه استفاده کرد. سخت‌افزار آن سیستم از تعدادی حس‌گر، مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال، خروجی‌های کنترلی و نمایشگر تشکیل شده بود. Lipov (1992) یک سیستم کنترل کامپیوتری هوشمند را برای کنترل شرایط محیطی گلخانه طراحی و پارامترهایی نظیر دما، نور، رطوبت و هم‌چنین میزان مواد تغذیه‌ای محلول در آب آبیاری را اندازه‌گیری و کنترل کرد.

Nadafzadeh *et al.* (2017) سامانه کنترل هوشمند تعیین آب موردنیاز گیاهان گلخانه‌ای با کمک بینایی ماشین را طراحی و توسعه دادند. در این پژوهش نشان داده شد که سامانه خودکار آبیاری طراحی شده، قادر است تا با بررسی پارامترهای رنگی و مورفولوژیک گیاه، میزان پژمردگی را اندازه‌گیری و براساس آن، نیاز آبی گیاه را تشخیص و درنهایت در راستای بهبود وضعیت گیاه اقدام نماید. در این مطالعه گیاه گلخانه‌ای حُسن‌یوسف برای انجام آزمایش انتخاب شد. مطابق آنالیز آماری صورت‌گرفته مشخص شد که میان پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در دوره پژمردگی در مقایسه با حالت شادابی گیاه، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد. سامانه کنترل هوشمند تشخیص نیاز آبی گیاه را به‌ترتیب با صحت، حساسیت، تشخیص و دقت ۹۷، ۹۴، ۹۶ و ۹۵ درصد انجام داد. این مسئله نشان از توانایی سامانه پیشنهادشده به‌منظور اندازه‌گیری و سنجش پژمردگی گیاه و کنترل میزان آب موردنیاز آن را داشت.

در مطالعه‌ای دیگر، زارعی و عزیززی یک سامانه کنترل مرکزی و پایش کامپیوتری برای گلخانه‌ها را توسعه دادند. چندین حس‌گر، یک کنترل‌کننده مرکزی، چندین عمل‌کننده و یک سیستم جمع‌آوری و ثبت داده، اجزای اصلی این سیستم بودند. عمل‌کننده‌ها نیز از سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی، مه‌پاش، تهویه و روشنایی گلخانه‌ای بوده و حس‌گرها شامل دما، رطوبت، گازکربنیک، اکسیژن و نور در داخل و خارج گلخانه تشکیل شده بودند. با دریافت و ارسال اطلاعات محیطی توسط حس‌گرها، کنترل‌کننده مرکزی شرایط محیطی داخل گلخانه را در محدوده از قبل تعریف‌شده نگه می‌داشتند. این دستگاه از قابلیت هماهنگ‌سازی براساس نیاز و سفارش کاربر را برخوردار بود. دستگاه کنترل مرکزی گلخانه، پس از طراحی و ساخت، در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان نصب و در فصل تابستان ۱۳۹۰ ارزیابی شد. کنترل دمای گلخانه در محدوده دمایی ۲۲-۲۹ درجه سانتی‌گراد، کنترل رطوبت نسبی محیط در محدوده ۳۵-۵۵ درصد، به‌کار انداختن روشنایی تکمیلی گلخانه در شدت نور کم‌تر از ۸۰۰ لوکس و تهویه گلخانه در غلظت بیش‌تر از ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر گازکربنیک با موفقیت توسط دستگاه ساخته‌شده انجام شد (Zarei & Azizi, 2014).

هدف از پژوهش حاضر، طراحی و ساخت سیستم اتوماسیون کنترل اقلیم گلخانه‌ای بود که سه پارامتر دما، رطوبت و شدت نور گلخانه را اندازه‌گیری، کنترل و پایش می‌کرد. همچنین در این پژوهش تأثیر این سیستم بر ویژگی‌های کمی و کیفی سه رقم گل رز و مصرف انرژی گلخانه، موردارزیابی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

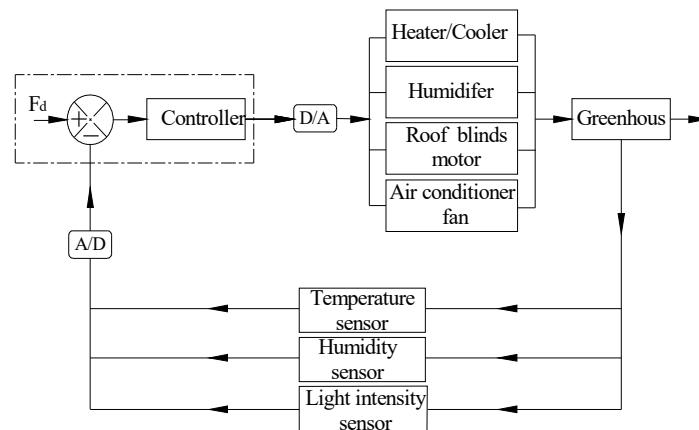
برای ایجاد یک سیستم نظارتی و کنترلی قابل برنامه‌ریزی و انعطاف‌پذیر، الگوریتم‌های کنترلی در دستگاه HMI^۱ یا پردازنده مرکزی (PACS7070, Fararopaya, Iran) پیاده‌سازی شد. در این سیستم کنترل، برای کنترل هر متغیری نظیر دما، رطوبت و شدت نور، ابتدا متغیر مربوط شناسایی و اندازه‌گیری و سپس نتیجه به کنترل‌کننده انتخابی اعمال می‌شد. کنترل‌کننده، میزان تغییرات موردنیاز در سیستم را محاسبه و دستور لازم را برای تغییر وضعیت عمل‌کننده‌های گلخانه صادر می‌کرد تا مقدار متغیر موردنظر به حد معین‌شده تغییر یابد. بنابراین حس‌گرها، دستگاه پردازنده مرکزی (HMI) و همچنین عمل‌کننده‌ها اجزای اصلی سخت‌افزاری چنین سیستم‌های کنترلی را تشکیل می‌دادند. مراحل این بخش از پژوهش شامل نصب حس‌گرها، ارتباطدهی سخت‌افزارها با تابلو برق، پیاده‌سازی ایستگاه فرمان به‌منظور نظارت بر سیستم و همچنین اجرای الگوریتم‌های کنترلی بود.

۱.۲. طراحی تجهیزات کنترل شرایط محیطی

تجهیزات کنترلی موردنیاز برای کنترل دما، رطوبت، پرده‌های سقفی، مطابق با ابعاد گلخانه و استانداردهای موجود، در گلخانه تعبیه شده بود. برای خنک‌کنندگی و افزایش رطوبت نسبی درون گلخانه از سیستم مه‌پاش استفاده شد. در حالت خنک‌کنندگی برای کاهش دما، سیستم مه‌پاش همزمان با فرایند تهویه، فعال می‌شد. اما در حالت افزایش رطوبت، تهویه، متوقف و تنها فرایند مه‌پاش فعال می‌شد. در این شرایط، با فعال‌شدن سیستم مه‌پاش، رطوبت محیط درون گلخانه افزایش پیدا می‌کرد.

۱.۱.۲. کنترل‌کننده مرکزی

یکی از جنبه‌های مهم این پژوهش، استفاده از یک دستگاه پردازنده مرکزی بود. مزیت این دستگاه، دقت کارکرد، سادگی و در عین حال پیشرفته‌بودن آن بود که در سامانه‌های اتوماسیون صنعتی نیز استفاده می‌شود. حس‌گرهای مورد استفاده در این سامانه از دقت و حساسیت بالایی برخوردار بودند. ساخت و طراحی مدار کنترل این سامانه بر مبنای کنترل حلقه بسته پیاده‌سازی شد، که نمودار روندنمای^۱ آن در شکل (۱) نشان داده شده است. سیستم کنترل حلقه بسته امکان افزایش دقت سیستم و تولید خروجی‌های دلخواه را فراهم می‌کند. همه اطلاعات از خروجی فرایند به کنترل‌کننده برگردانده می‌شد تا کنترل‌کننده مرکزی، اتفاقات به‌وجودآمده در سیستم را تشخیص و فرمان‌های مناسب را صادر کند.



شکل ۱. نمودار روند نمای سامانه کنترل اقلیم

۲.۱.۲. ایستگاه اندازه‌گیری

ایستگاه اندازه‌گیری سامانه اتوماسیون اقلیم شامل هشت عدد حس‌گر دما (DVP04TC-S, Delta, USA) با دقت ± 1 سانتی‌گراد، یک حس‌گر رطوبت (SHT21, Sensirion, Australia) با دقت ± 5 درصد و یک حس‌گر شدت نور (TEPT5700, Vishay, Lithuania) با دقت ± 5 درصد بود که در شکل (۲) نشان داده شده است. این ایستگاه که در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین نصب شده بود، امکان ثبت دما در هشت نقطه از سالن را به سیستم می‌داد و اطلاعات مربوط به دما را توسط کابل RS485 به دستگاه پردازنده مرکزی منتقل می‌کرد. همچنین امکان تشخیص رطوبت و

شدت نور در هر نقطه از سالن را فراهم می‌کرد. سیگنال‌های مربوط به حس‌گر رطوبت و شدت نور توسط کابل ۴×۰/۲۵ به واحد پردازنده مرکزی انتقال داده می‌شد.



شکل ۲. ایستگاه اندازه‌گیری نصب‌شده در گلخانه

۳.۱.۲. ایستگاه پردازش اطلاعات

دستگاه پردازنده مرکزی اطلاعات، یکی از اجزای تشکیل‌دهنده ایستگاه پردازش و فرمان می‌باشد. علت استفاده از این دستگاه، دارا بودن امکاناتی از جمله خاصیت Sample Rate، قابلیت اتصال آسان به کامپیوتر و راحت بودن برنامه‌نویسی آن می‌باشد. این ایستگاه، به‌منظور سهولت دسترسی به مدار قدرت، در کنار تابلو برق گلخانه نصب شد (شکل ۳).

دستگاه موردنظر به مدت دو دوره متوالی تولید گل (۳۷ و ۴۱ روزه) در گلخانه‌ای مجهز به سیستم هیدروپونیک در شهرستان مرودشت واقع در ۳۰ کیلومتری شهرستان شیراز، نصب شد. کشت گلخانه موردنظر، گل رز شاخه‌بریده ارقام تجاری "آنجلینا"، "سامورایی" و "رد وان" بود.

گلخانه دارای دو سالن یکسان به مساحت کل ۱۶۰۰ مترمربع در مجاور یکدیگر بود. هر سالن دارای پنج فن با قطر ۱۲۰ سانتی‌متر، سیستم مه‌پاش (در ارتفاع ۳۸۰ سانتی‌متر از سطح زمین)، و سیستم پد (دارای سطح آبیگری به ارتفاع ۲/۱۵ سانتی‌متر و طول ۲۵ متر) بود. دبی پمپ آبرسان جهت مرطوب کردن پوشال‌ها ۵ lit/s بود. آبیاری به‌وسیله پمپ سانتریفوژ در صبح و عصر به مدت ۲ ساعت انجام می‌گرفت. بستر کشت رزها، مخلوط Cocopeat و Perlite بود. فاصله طولی پایه گل روی نوار کشت ۳۰-۲۵ سانتی‌متر، و فاصله عرضی آن‌ها ۷۰-۵۰ سانتی‌متر بود.



شکل ۳. ایستگاه فرمان نصب‌شده در گلخانه

۲.۲. صفات کمی و کیفی مورد ارزیابی

صفات کمی و کیفی تعریف شده برای مقایسه گل‌های رز شامل طول ساقه گل‌دهنده، تعداد ساقه گل‌دهنده در هر بوته، تعداد شاخساره جانبی^۱، تعداد ساقه کور (ساقه‌هایی که فاقد گل بودند)، شاخص کیفیت گل (نسبت وزن گل تازه شاخه‌بریده^۲ به طول آن، وزن تازه شاخه گل‌دهنده (شامل گلبرگ‌ها، ساقه گل‌دهنده و برگ‌ها)، سطح برگ ساقه گل‌دهنده، تعداد گره^۳ ساقه گل‌دهنده، طول میان‌گره^۴، عمر گلجایی^۵ و قطر ساقه گل‌دهنده بودند (Nazari et al., 2009). در هر سالن گلخانه، هر ردیف کشت به یک رقم گل رز اختصاص داده شده بود. از هر ردیف کشت، ۱۰ بوته گل به‌صورت تصادفی شد گردید و مرحله اول داده‌برداری در اوایل مردادماه ۱۳۹۸ انجام شد.

۳.۲. نحوه ارزیابی صفات

صفات کمی نظیر قطر ساقه به‌وسیله کولیس با دقت ۰/۰۲ میلی‌متر و طول شاخه گل‌رز به‌وسیله متر با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. وزن شاخه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک گرم اندازه‌گیری شد. جهت تعیین مساحت سطح برگ‌های گل رز از کاغذهای شطرنجی میلی‌متری استفاده شد. برای محاسبه عمر گلجایی گل‌ها پس از برداشت از نظر ارتفاع همسان شدند و درون ظرف‌های آب نگهداری شدند. دمای محیط 20 ± 3 درجه سانتی‌گراد و رطوبت محیط 65 ± 5 درصد بود و هر روز گل‌ها با چشم غیرمسلح مورد ارزیابی قرار می‌گرفتند. شروع پژمردگی گلبرگ‌ها به‌عنوان شاخص پیری و تعداد روز تا پژمردگی گلبرگ‌ها به‌عنوان عمر گلجایی گل در نظر گرفته شد (Nazari et al., 2009).

همان‌طور که اشاره شد گلخانه هیدروپونیک مورد نظر از دو سالن مجاور هم تشکیل شده بود. سالن‌های کشت‌شده از لحاظ وسعت، تعداد فن‌ها، سیستم پرده سایه‌بان و سیستم رطوبت‌ساز، کاملاً یکسان بودند. سامانه اتوماسیون اقلیم تنها در یکی از سالن‌های کشت‌شده، نصب شده بود و سیستم‌های رطوبت‌ساز، فن و پد، و پرده‌های سایه‌بان را کنترل می‌کرد. سالن شاهد به‌صورت دستی و با استفاده از نیروی انسانی مجرب کنترل می‌شد.

مقایسه صفات در دو سالن گلخانه در قالب یک آزمایش فاکتوریل (شامل دو فاکتور؛ فاکتور اول شامل دو سطح، و فاکتور دوم شامل سه سطح بودند) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد. همچنین، پس از اندازه‌گیری مقادیر شاخص‌های کمی و کیفی گل‌های رز شاخه‌بریده، معنی‌داری تغییرات صفات مورد ارزیابی در سالن تحت سامانه اتوماسیون اقلیم و شاهد روی هر سه رقم گل رز در نرم‌افزار SPSS (نسخه 16.0) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۴.۲. ارزیابی میزان مصرف انرژی

میزان مصرف انرژی در گلخانه‌ها، یکی از پارامترهایی مهم و تعیین‌کننده در تولیدات گلخانه‌ای محسوب می‌شود. بنابراین دستگاه مورد نظر از جنبه صرفه‌جویی در مصرف انرژی برق مورد ارزیابی قرار گرفت. در بازه زمانی ۱۵ روز به‌صورت کاملاً تصادفی، بین گلخانه شاهد و گلخانه‌ای که سامانه اتوماسیون اقلیم در آن نصب شده بود میزان مصرف انرژی برق بررسی شد. مدت زمان روشن ماندن فن‌ها و الکتروموتور سیستم رطوبت‌ساز در هر دو گلخانه (گلخانه شاهد و گلخانه‌ای که سامانه در آن

1. Bottom Break
2. Fresh Weight
3. Blindness Shoot
4. Internodes
5. Vase Life

نصب شده بود) ثبت و اختلاف ساعت کاری آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس با توجه به مدت زمان روشن‌بودن عمل‌گرها (فن‌ها و الکتروموتور سیستم رطوبت‌ساز) در هر دو گلخانه، نسبت به محاسبه مقدار مصرف انرژی برق اقدام شد. جهت ارزیابی کارایی سامانه اتوماسیون اقلیم، صفات طول ساقه گل‌دهنده، قطر ساقه گل‌دهنده، تعداد ساقه گل‌دهنده، تعداد گره در ساقه گل‌دهنده، طول میانگره، وزن تازه شاخه گل‌دهنده، شاخص کیفیت گل، سطح برگ ساقه گل‌دهنده و عمر گلجایی در گلخانه تحت سامانه اتوماسیون اقلیم و گلخانه شاهد مورد مقایسه قرار گرفت و قابلیت سامانه در کنترل محیط و ارتقاء محصول از لحاظ کمی و کیفی در دو دوره برداشت متوالی ۳۷ و ۴۱ روزه مورد ارزیابی قرار گرفت. در طول دو دوره آزمایش که مردادماه ۱۳۹۸ بود، میانگین دمای روز و شب، به ترتیب ۲۶ و ۱۹ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی روز و شب به ترتیب ۵۰ و ۶۸ درصد و شدت نور $3/8 \times 10^3$ لوکس بود.

۳. نتایج و بحث

نتایج آزمایش، حاکی از عملکرد مطلوب سامانه کنترل اقلیم در گلخانه داشت، به طوری که در طول آزمایش در بخش‌های مختلف گلخانه، دما و رطوبت به‌طور یکنواخت حفظ شد. به‌علت نیاز گیاه به نور خورشید برای انجام عمل فتوسنتز، نور تمام محیط گلخانه توسط این سامانه کنترل شد. از آنجایی که گیاهان سالن تحت سامانه کنترل اقلیم، تحت شرایط محیطی بهینه رشد کرده بودند، برگ‌های آن‌ها سالم و شادابی مناسبی را داشتند. همچنین در کنار فن‌ها در گلخانه شاهد، گل‌ها از شادابی خوبی برخوردار بودند.

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در برداشت‌های اول و دوم، به ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است. در جدول تجزیه واریانس، فاکتور A، سامانه گلخانه (کنترل اقلیم و شاهد)، و فاکتور B رقم رز (ردوان، سامورایی و آنجلینا) و AB اثر متقابل دو فاکتور می‌باشد.

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی گل رز "آنجلینا"، "سامورایی" و "ردوان" در برداشت اول

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		عمر گلجایی	سطح برگ	شاخص کیفیت	وزن شاخه	تعداد ساقه گل‌دهنده	تعداد ساقه کور	طول میانگره	تعداد گره	تعداد شاخساره جانبی	قطر ساقه	طول ساقه
بلوک	۲	۱/۳۱ns	۱۴۰۴۳ns	-/۰۲ns	۵/۳۴ns	-/۱۶۸ns	-/۰۱ns	۷/۱ns	-/۲۶ns	-/۰۹ns	-/۰۲ns	۱۰/۵ns
فاکتور A	۱	-/۰۲ns	۸۸۰۶۰ns	-/۱۲**	۱۱/۲۰ns	-/۰۵۵ns	-/۰۱۴ns	۲۴ns	۷/۴ns	-/۱۴ns	-/۰۵ns	۱۰۷ns
فاکتور B	۲	۱/۱۲ns	۱۹۸۹۰ns	-/۰۴ns	۶/۷۵ns	-/۲۴ns	-/۰۹۳ns	۱۷ns	۰/۷۹ns	-/۰۸ns	-/۰۷ns	۳/۱۶ns
A*B	۲	-/۰۲ns	۲۹۰۸۶ns	-/۰۲ns	۸/۸ns	-/۱۳ns	-/۰۲۳ns	۱۲ns	-/۳۵ns	-/۰۳ns	-/۰۳ns	۵/۰۵ns
خطای آزمایشی	۱۰	۰/۵۶	۱/۲	۳/۷	۰/۰۱	۰/۰۱۷	۰/۵	۱۵/۸	۲۷/۳۷	۱/۹۵	۰/۰۶	۰/۷۷
ضریب تغییرات (%)	-	۱۵/۶۱	۷/۶۵	۲/۷۳	۱۱/۵۱	۵۴	۲۷/۱۱	۵/۶	۲۷/۶۸	۶/۳۶	۱۰/۶۷	۵/۰۹

فاکتور A: (سامانه اتوماسیون کنترل اقلیم/ شاهد)، فاکتور B: (ارقام رز)

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی گل رز "آنجلینا"، "سامورایی" و "ردوان" در برداشت دوم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		عمر گلجایی	سطح برگ	شاخص کیفیت	وزن شاخه	تعداد ساقه گل‌دهنده	تعداد ساقه کور	طول میانگره	تعداد گره	تعداد شاخساره جانبی	قطر ساقه	طول ساقه
بلوک	۲	-/۰۲ns	۲۲۹۹۷۹*	-/۰۲ns	۵/۰۱ns	-/۰۳۷ns	-/۱۶۸ns	۰/۳۷ns	۱/۰۷ns	-/۰۷ns	-/۰۳ns	۴/۵ns
فاکتور A	۱	-/۷۴۵ns	۳۷۲۶ns	-/۱**	۱۱/۳۶**	-/۰۴ns	-/۰۴ns	۲/۴ns	۵/۲۵ns	-/۰۱ns	-/۰۳ns	۰/۱۸ns
فاکتور B	۲	-/۲۴۳ns	۴۰۹۱ns	-/۰۱ns	۸/۰۷ns	-/۰۳۷ns	-/۰۰۷ns	-/۱ns	-/۲۰۱ns	-/۰۴ns	-/۰۴ns	۳/۵ns
A*B	۲	۰/۵۴ns	۴۸۱۵۱ns	-/۰۸ns	۵/۵ns	-/۰۳۵ns	-/۰۰۴ns	-/۲ns	-/۳۴ns	-/۰۶ns	-/۰۴ns	۱۸/۷۲ns
خطای آزمایشی	۱۰	۰/۴	۳۶۴۴۹	-/۰۰۴	۸/۵۵	-/۱۲	۰/۱	۰/۵۳	۰/۶	۰/۲۵	۰/۰۸۶	۳۱/۷۶
ضریب تغییرات (%)	-	۷	۷/۵	۶	۲/۷	۱۲/۱۱	۴۱/۲۵	۸/۸	۵/۸	۲۸/۶	۳/۷	۵/۲

فاکتور A: (سامانه اتوماسیون کنترل اقلیم/ شاهد)، فاکتور B: (ارقام رز)

همان‌طور که اشاره شد آزمون تعیین میزان مصرف انرژی توسط سامانه اتوماسیون اقلیم به مدت ۱۵ روز انجام شد و با توجه به مدت زمان روشن ماندن عمل‌گرهایی که در گلخانه استفاده شد، میزان مصرف انرژی محاسبه شد. در مدت زمان آزمایش، الکتروموتور سیستم رطوبت‌ساز گلخانه شاهد به مدت ۱۳ ساعت و فن‌های سیستم خنک‌کننده گلخانه شاهد به مدت ۳۵ ساعت بیش‌تر از گلخانه تحت سامانه اتوماسیون اقلیم روشن بود. علت اصلی مصرف بیش از حد انتظار انرژی، فقدان یک سیستم کنترل حرارت-رطوبت مناسب و خطای انسانی بود. میزان مصرف انرژی در سالن تحت سامانه اتوماسیون اقلیم نسبت به سالن شاهد، ۱۲ درصد صرفه‌جویی شد. پس از اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی، معنی‌داری تغییرات انرژی به‌ازای سالن تحت سامانه اتوماسیون اقلیم و سالن شاهد در نرم‌افزار SPSS 16.0 مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). در جدول تجزیه واریانس موردنظر پارامتر A سامانه گلخانه (کنترل اقلیم و شاهد) بود. براساس میزان تفاوت روشن بودن عملگرهای سیستم رطوبت‌ساز، و سیستم فن و پد گلخانه تحت سامانه اتوماسیون و گلخانه شاهد، به‌طور میانگین میزان ۲۲۵ کیلووات ساعت انرژی در ۲۴ ساعت شبانه‌روز در گلخانه تحت سامانه اتوماسیون اقلیم صرفه‌جویی شد. با توجه به قیمت برق میان باری در سال ۱۳۹۸ در بخش کشاورزی که برای هر کیلووات ساعت ۵۳/۴ تومان بود، این سامانه روزانه حدود ۱۲۰۰۰ تومان و ماهانه ۳۶۰۰۰۰ تومان صرفه‌جویی می‌کرد (Anonymous, 2019). ضمناً آن‌که با وجود کاهش مصرف انرژی در گلخانه مجهز به سامانه کنترل اقلیم، شاخص کیفیت و وزن گل‌های شاخه‌بریده که صفات کیفی مهمی در تولید گل‌های شاخه‌بریده محسوب می‌شوند، در هر سه رقم گل مورد آزمایش، در مقایسه با سامانه شاهد بهبود یافت. همچنین در ویژگی‌های طول و تعداد ساقه گل‌دهنده، قطر ساقه، تعداد شاخساره‌های جانبی و کور، طول میان‌گره‌ها و عمر گلجایی تفاوت معنی‌داری در بین دو سامانه وجود نداشت.

جدول ۳. تجزیه واریانس مصرف انرژی

میانگن مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر
RH	F&P		
۵/۳۹**	۳۱/۶۸**	۱	فاکتور A
۰/۱۴	۱/۴۶	۲۸	اشتباه آزمایشی
۱۱/۰۵	۷/۴۸		ضریب تغییرات (%)

۴. تشکر و قدردانی

بدینوسیله از مدیریت محترم گلخانه همایون شهرستان مرودشت استان فارس به‌خاطر تخصیص دو واحد فعال گلخانه برای اجرای این پروژه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

- Akbari, M., & Sharif, P. (2008). Effect of greenhouse design parameters on conservation of energy for greenhouse environmental control. *Energy*, 27(8), 777-794.
- Anonymous. (2019). Electricity tariffs and their general conditions, from <https://tbtb.ir/uploads/1398.pdf>. (In persian)
- De Gelder, A., Dieleman, J.A., Bot, G.P.A., & Marcelis, L.F.M. (2012). An overview of climate and crop yield in closed greenhouses. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 87(3), 193-202.

- Gupta, M., & Chandra, P. (2002). Effect of greenhouse design parameters on conservation of energy for greenhouse environmental control. *Energy*, 27(8), 777-794.
- Hatirli, S., & Laghrouche, M. (2005). Monitoring a greenhouse using a microcontroller-based meteorological data-acquisition system. *Renewable energy*, 24(1), 19-30.
- Iddio, E., Wang, L., Thomas, Y., McMorro, G., & Denzer, A. (2020). Energy efficient operation and modeling for greenhouses: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109480.
- Lipove, A. (1992). Intellectual real time control system for technological process in the greenhouse. *Traktory-i-Sel Skokhozyaistvennyye-Mashiny: Russia*, No. 10-12, 12-16.
- Magsumbol, J.A.V., Baldovino, R.G., Valenzuela, I.C., Sybingco, E., & Dadios, E.P. (2018). An automated temperature control system: A fuzzy logic approach. In 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, *Environment and Management (HNICEM)* (pp. 1-6). IEEE
- Maher, A., Kamel, E., Enrico, F., Atif, I., & Abdelkader, M. (2016). An intelligent system for the climate control and energy savings in agricultural greenhouses. *Energy Efficiency*, 9(6), 1241-1255.
- Nadafzadeh, M., Abdanan, S., & Asodar, M. (2017). Design and Development of an Intelligent Control System for Determination of Required Water needed by Plant in Greenhouse Using Machine Vision, *Biosystems Engineering*, ISSN: 2008-4803, 48 (2), 285-297. (In Persian)
- Nasirian, M. (2006). Greenhouse management. *Marz danesh Press. Iran*. (In Persian)
- Nazari, F., Khosh, M., & Salehi, H. (2009). Growth and flower quality of four Rosa hybrida. Cultivars in response to propagation by stenting or cutting in soilless culture. *Scientia Horticulturae*, 119(3), 302-305.
- Shin, H.K., Lieth, J.H., & Kim, S.H. (2000). Effects of temperature on leaf area and flower size in rose. In *III International Symposium on Rose Research and Cultivation* 547. 2000 May 21 (pp. 185-191).
- Sun, T. (1992). Influence of the heating method on greenhouse microclimate and energy consumption. *Biosystems Engineering*, 91(4), 487-499.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). Plant Physiology (3rd edition). *Sinauer Associates, Inc.* 690p.
- Zarei, Gh., & Azizi, A. (2014) Design, construction and evaluation of a central device for controlling the environmental conditions of the greenhouse, *Relationship between soil and plants*, ISSN: 2783-5014, 24, 47- 61. (In Persian)