Research Paper

Effect of water and Salinity Stress on Root Morphological Characteristics and Tomato Yield and Determination of Optimum Yield Point Using Response Surface Methodology (RSM)

Yaser Hoseini[1*]

[1]Associate Professor of Moghan College of Agriculture and Natural resources - University of Mohaghegh Ardabili - Ardabil – Iran, y_hoseini@uma.ac.ir (Corresponding Author)

10.22125/IWE.2023.168316

Received:
January 31, 2022
Accepted:
June 12, 2022
Available online:
18.April.2023

Keywords:
Moisture regimes, Yield, Root morphological characteristics.

Abstract

In order to model the effect of salinity stress on the yield of greenhouse tomato under moisture regimes conditions, an experiment was conducted in a completely randomized block design with three replications. Treatments included salinity stress at levels 1.5, 2.5, 4, 7 (dsm^{-1}). And amount of water stress at three levels of 50, 60 and 70% of field capacity. Using a response surface method, the results showed that the best yield model based on the variables of salinity stress and moisture level is the second degree model with a regression coefficient of 0.93., The highest yield, assuming the least available moisture and the highest salinity stress, was 117.9 (gr per plant) with a degree of desirability of 0.6, in 3 (dsm^{-1}) of salinity and 63.6% depletion of field capacity. Other root indices had an increasing trend, except for the main root length, with decrease available water and also in a specific moisture regime with increasing the amount of salinity. Also, a decreasing trend of yield in each of the moisture regimes treatments was observed with increasing the amount of salinity. Considering the nonlinear effect of changes in moisture regime and salinity greenhouse tomato yield, in order to achieve the best yield, salinity stress should be determined first for each plants.

1. Introduction

Limitation of water resources in order to provide the food needed for the population, has been caused to use of deficit irrigation practices and unconventional water use in arid and semi-arid regions as a result of these act is the accumulation of salt in the root zone of the plant and cause the accumulative effects of salinity and water stress on plants (Ahmad et al, 2019). The goal of this study is investigation on simulation of yield reduction functions of tomato under simultaneous salinity and water stress conditions with response surface model (RSM). Reduction function models in fact are mathematical models for determining the yield, when plants are under stress.

2. Materials and Methods

This study was conducted in greenhouse laboratory at University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran in this research, the effect of saline water on tomato yield under water stress conditions was investigated. The

***Corresponding Author:** Yaser Hoseini,
Address: Department of Agricultural Engineering and Technology, Moghan College of Agriculture and Natural resources - University of Mohaghegh Ardabili - Ardabil – Iran. **Email:** y_hoseini@uma.ac.ir,

applied treatments included salinity of irrigation water (in four levels: S_1=1.5 ds/m, S_2=2.5 ds/m, S_3=4 ds/m and, S_4=7ds/m) and water stress (in three levels, irrigation at 50, 60 and 70% field capacity, respectively, I_1, I_2, I_3). The experimental design used in this research was a completely randomized block design with three replications. On the other hand, in order to compare the plant yield under water stress and salinity conditions, Fisher test was performed on salinity and water stress treatments. In this experiment, tomatoes were cultivated in the pots with diameter and height of 26 and 27 centimeters, respectively. The moisture meter (Model: PMS-714) was also used to measure soil moisture and determine the irrigation time. The most important parameters included tomato yield and water use efficiency index mentioned in this research. It should be mentioned that analyses of the results were done by Minitab16 software.

3. Results

The results showed that by reducing the available moisture, all treatments were associated with a nonlinear trend of yield reduction (Assadian et al., 2020, Jahan and Amiri, 2018). Also, with increasing salinity stress, its negative effect on crop yield at different moisture levels was observed as a quadratic function which can be due to the interaction of these factors Optimized crop production and determine the exact ratio of salinity stress under moisture regime conditions. The results showed that using irrigation water with salinity 3 (dsm^{-1}) and stress of 63% of field capacity, greenhouse tomatoes can be produced with 18% reduction in yield compared to the optimal state, which in conditions of water shortage or relatively low quality. Water obtained the optimum point in terms of salinity (Ianne et al., 2016). Also, the performance function procedure based on moisture stress and salinity showed that the interaction and negative effect of salinity stress on the yield of greenhouse tomatoes with a decrease in available moisture is seen in high amounts of moisture stress and salinity stress; As the distance between the equal yield potential lines, increased with increasing salinity stress (Wang et al., 2019). In addition, the results showed that in general, the effect of salinity on root morphological parameters is more than the effect of water stress on root characteristics and in fact it can be said that salinity of irrigation water prevents positive changes in root parameters in order to supply water in case of water shortage. It is made into a greenhouse by the tomato plant.

4. Discussion and Conclusion

It should be noted that the use of moisture stress to increase water use efficiency, should be such that first determine the appropriate ratio for each plant. In this study, the optimal amount of salinity and moisture stress for maximum yield was applied under the programming of maximum salinity and moisture stress for tomatoes in loamy-clay soil. The adequacy accuracy of the model is estimated to be 32.3 which, considering that this number is more than 4, therefore indicates the high accuracy of the model. In addition, due to the fact that the difference between the predicted explanation coefficient and the modified explanation coefficient of the model is less than 0.2 and their values are close to 1, this index also indicates the proper performance of the model. The results showed that from the perspective of water stress, the negative impact of water stress starts from the range of 50%. This shows that moisture stress, in addition to reducing water consumption, can increase water use efficiency.

5. Six important references

1 .)Ahmad, M.A.F., Maher, J.T. and Ibrahim, M. M. 2019. Evaluation of different soilless media on growth, quality, and yield of cucumber (Cucumis sativus L.) grown under greenhouse conditions. 13(08):1388-1401.

2). Assadian, F., Niazi, A. and Ramezani, M. 2020. Response Surface Modeling and Optimization of Effective Parameters for Zn (II) Removal from Aqueous Solution Using Gracilaria Corticata. Journal of Chemical Health Risks.10 (31):213-224.

3). Jahan, M. and Amiri, M.B. 2018. Optimizing application rate of nitrogen, phosphorus and cattle manure in wheat production: An approach to determine optimum scenario using response-surface methodology. Journal of soil science and plant nutrition, 18(1): 13-26.

4). Ianne, G. S., Vieira, Reginaldo G., Nobre, Adaan S., Dias and Francisco, W., Pinheir. A. 2016. Cultivation of Cherry tomato under irrigation with saline water and nitrogen fortilization. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental: 55-61.

5). Mahmoodi-Eshkaftaki, M. and Rafiee, M.R., 2020. Optimization of irrigation management: A multi-objective approach based on crop yield, growth, evapotranspiration, water use efficiency and soil salinity, Journal of Cleaner Production, 252:221-232.

6). Wang. Yun, J., Shi, P., Li, Zh., Li, Peng., Xing, Y. 2019. Root Growth, Fruit Yield and Water Use Efficiency of Greenhouse Grown Tomato under Different Irrigation Regimes and Nitrogen Levels. Journal of Plant Growth Regulation 38(2): 400-415.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

تاثیر تنش رطوبتی و شوری بر خصوصیات مورفولوژیکی ریشه و عملکردگوجه فرنگی و تعیین نقطه بهینه عملکرد با استفاده از روش سطح پاسخ

یاسر حسینی[۱]

مقاله پژوهشی

تاریخ ارسال:۱۴۰۰/۱۱/۱۵
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۳/۲۲

چکیده

مدل‌سازی تاثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد گوجه فرنگی گلخانه‌ای در شرایط رژیم رطوبتی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای شوری شامل ۱/۵، ۲/۵، ۴، ۷ (دسی زیمنس بر متر) بود و رژیم‌های رطوبتی در سه سطح تخلیه رطوبتی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی منظور گردید. با استفاده از روش سطح پاسخ، نتایج نشان داد که بهترین مدل عملکرد براساس متغیرهای تنش شوری و میزان رطوبت، درجه دوم[۲] با ضریب تبیین ۰/۹۳ می‌باشد. بیش‌ترین عملکرد با فرض کمترین رطوبت در دسترس و بیشترین میزان شوری آب آبیاری، برابر ۱۱۷/۹(گرم بر بوته) با درجه مقبولیت[۳] ۰/۶، در شوری ۳ (دسی زیمنس بر متر) و۶۳/۹ (درصد) تخلیه رطوبتی به‌دست آمد. کاهش رطوبت در دسترس و همچنین در یک رژیم رطوبتی مشخص با افزایش میزان شوری خاک، به غیر از طول ریشه اصلی، سایر شاخص‌های ریشه از روند افزایشی برخوردار بودند. همچنین روند کاهشی عملکرد در هر یک از رژیم‌های رطوبتی، با افزایش میزان تنش شوری مشاهده گردید. بنابراین با توجه به تاثیر غیرخطی متغیرهای رژیم رطوبتی و میزان تنش شوری بر عملکرد گوجه فرنگی گلخانه‌ای، برای رسیدن به بهتیرن عملکرد، استفاده از روش سطح پاسخ می‌تواند حدود تنش‌های شوری و رطوبتی را تعیین نماید.

کلید واژه‌ها: رژیم رطوبتی، عملکرد، خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه

.

۱- دانشیار گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان- دانشگاه محقق اردبیلی- اردبیل- ایران.(نویسنده مسئول)
تلفن: ۰۹۱۶۳۰۶۹۱۹۹، ایمیل: y_hoseini@uma.ac.ir

2 - Quadratic
3 -Desirability

مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین منابع مورد نیاز جامعه بشری است. موضوع چگونگی حفظ این منبع حیاتی و بهره‌برداری بهینه از آن، یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر است. با توجه به ارزش آب در کشاورزی و محدودیت این منبع مهم و حیاتی و وجود خشک-سالی‌های متناوب در کشور صرفه‌جویی در مصرف آب و استفاده بهینه از آب موجود امری ضروری به‌نظر می‌رسد. با توجه به افزایش جمعیت، نیاز به غذای بیش‌تر و محدودیت منابع آب، بشر را به سمت استفاده از آب‌های با کیفیت کم و اعمال مدیریت کم‌آبیاری سوق داده است (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵). علاوه بر این در بسیاری از نقاط خشک و نیمه‌خشک جهان که به شوری مبتلا هستند مشکل کم‌آبی نیز وجود دارد و اغلب گیاهان به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر هر دو تنش شوری و کم‌آبی قرار دارند. در ایران از کل ۱۶۵ میلیون هکتار سطح کشور، مساحتی در حدود ۳۳/۵ میلیون هکتار که معادل ۲۰ درصد کل می‌باشد تحت تأثیر شوری قرار دارد (فائو، ۲۰۰۰). استفاده از مدل سطح پاسخ جهت تعیین بهترین توابع پیش‌بینی عملکرد و تعیین نقاط بهینه عملکرد با توجه به محدودیت‌های موجود، کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. بابازاده و همکاران (۱۳۹۵) به‌منظور مدل‌سازی پاسخ گیاه ریحان به تنش توأمان آبی و شوری، آزمایشی را در گلخانه‌ای در جنوب شهر تهران انجام دادند. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان‌داد که در هیچ‌یک از مدل‌های ریاضی ارایه شده، ارتباطی بین پتانسیل ماتریک در رطوبت سهل‌الوصول و پتانسیل اسمزی[1] وجود ندارد. در این مقاله با اصلاح بخش نیاز تبخیری در مدل مفهومی همایی و همکاران، یک مدل ریاضی جدید برای بررسی واکنش گیاهان زراعی به تنش‌های هم‌زمان شوری و کم‌آبی ارایه شد. نتایج ارزیابی مدل نشان‌داد این مدل قادر است واکنش گیاه به تنش شوری، کم‌آبی و تنش هم‌زمان شوری و کم‌آبی را با دقت بسیار مناسب شبیه‌سازی نماید. سرائی‌تبریزی و همکاران (۱۳۹۵) جهت برآورد آستانه کاهش عملکرد ریحان، آزمایشی با ۱۳ سطح مختلف شوری شامل شوری‌های ۱/۲، ۱/۸، ۲، ۲/۲، ۲/۵، ۲/۸، ۳، ۳/۵، ۴، ۵، ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنز بر متر انجام دادند. در این آزمایش به‌منظور مدل‌سازی و بررسی واکنش گیاه ریحان به شوری، ارزیابی کارایی مدل‌های ریاضی موجود در برآورد عملکرد این گیاه و کمی کردن اثر شوری بر عملکرد محصول، از هفت مدل ریاضی استفاده شد. نتایج نشان داد آستانه کاهش عملکرد ریحان نسبت به شوری خاک، برابر ۲/۲۵ دسی‌زیمنز بر متر و شیب خط کاهش عملکرد، ۷/۲ درصد بر دسی‌زیمنز بر متر است. همچنین بر اساس نتایج این تحقیق مدل Van Genuchten and Hoffman (1984) دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌های عملکرد داشت. همچنین حسینی و همکاران (۱۳۹۴) طی مطالعه‌ای پنج تابع کاهش جذب آب ماکروسکوپی را با استفاده از داده‌های کشت گلدانی گیاه فلفل‌دلمه‌ای تحت شرایط تنش خشکی و شوری مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان‌داد که در سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنز بر متر واکنش گیاه به تنش هم‌زمان شوری و خشکی بیش‌تر جمع‌پذیر و در سطوح شوری ۴/۵ و ۶/۵ دسی‌زیمنز بر متر ضرب‌پذیر است. همچنین مدل ون‌گنوختن از بیش‌ترین تطابق در سطح شوری پایین برخوردار بود. فعالیان و همکاران (۱۳۹۴) برای بررسی اقتصادی اثر هم‌زمان تنش‌های شوری و خشکی بر رشد و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی رقم (Lycopersiconesculemtum Mill .cr. oriental) در استان مازندران درکشت بدون خاک گلخانه‌ای، آزمایشی با چهار سطح آبیاری (آبیاری به میزان ۱۲۵٪، ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبی گیاه) و شش سطح شوری آب آبیاری (۰/۱ به‌عنوان تیمار شاهد، ۱/۳، ۳، ۵، ۷ و ۹ دسی‌زیمنز بر متر) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام دادند. نتایج نشان داد که شوری محلول غذایی و تنش خشکی اثر کاهشی معنی‌دار بر عملکرد و

3- Osmotic Potential

شاخص‌های رشدی گیاه دارند به‌طوریکه بیشترین کارایی مصرف آب را برای تیمار S_1W_1 در حدود ۳۴/۶ کیلوگرم بر مترمکعب و کم‌ترین مقدار را برای تیمار S_0W_1 در حدود ۶/۴ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آوردند. Soltani and Soltani (2016) ، ترکیب بهینه میزان آب کاربردی و نیتروژن را برای کشت سیب‌زمینی با استفاده از روش سطح پاسخ مورد مطالعه قرار دادند، طرح مورد استفاده در روش سطح پاسخ، روش مرکب مرکزی بود و آزمایش در دشت دهگلان استان کردستان انجام شد. در این مطالعه میزان عملکرد غده و راندمان مصرف آب به عنوان متغیر پاسخ و مقدار کود نیتروژنه و عمق آبیاری به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند، نتایج افزایش عملکرد را در نتیجه افزایش کود و میزان نیتروژن نشان داد. Jahan and Amiri (2018)، تاثیر میزان کاربرد نیتروژن، فسفر و کود گاو را بر تولید گندم با استفاده از روش سطح پاسخ مطالعه کرده و در روش سطح پاسخ[1] (RSM) از طراحی مرکب مرکزی۲ (CCD) در طول فصل رشد استفاده نمودند. مقادیر کاربردی نیتروژن به صورت ۰ ، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم اوره بر هکتار بود و سطح مورد استفاده برای کود فسفر ۰ ، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار درنظر گرفته شد و برای کود حیوانی نیز مقادیر ۰ ، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار استفاده گردید. در این آزمایش، عملکرد دانه (S_Y) و عملکرد بیولوژیکی (B_Y) در زمان برداشت اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که افزایش میزان نیتروژن و فسفر تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود و تحت سناریوی اقتصادی، با استفاده از ۱۴۵/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن ، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۸/۴ تن کود گاوی در هکتار، سبب تولید ۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه شد. برای سناریوی زیست محیطی، با استفاده از ۲۱/۲ کیلوگرم در هکتار، بدون استفاده از فسفر و استفاده از ۱۶/۳ تن در هکتار کود، ۳۱۶۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه به دست آمد. نتایج تحقیق نشان داد که روش سطح پاسخ به خوبی می‌تواند تحت عنوان سناریوهای مختلف، نقاط بهینه عملکرد را شناسایی نماید. همچنین مطالعات چندی در رابطه با تاثیر کم آبیاری بر میزان عملکرد گوجه فرنگی گلخانه‌ای صورت گرفته است که اغلب مطالعات صورت گرفته کاهش عملکرد را نسبت به کم‌آبیاری و تنش‌آبی گزارش نموده‌اند. Ianne et.al (2016) به‌منظور بررسی تأثیر آبیاری با آب‌شور و کود نیتروژن بر روی گوجه‌فرنگی مینیاتوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام دادند. تیمارهای اعمال شده شامل پنج سطح شوری آب آبیاری (۰/۳، ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ دسی‌زیمنز بر متر) و چهار سطح کود نیتروژن (۶۰، ۱۰۰، ۱۴۰ و ۱۸۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک) بود. نتایج نشان‌داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار ماده خشک ریشه، سطح برگ و تعداد برگ‌ها می‌شود.

Mahmoodi-Eshkaftaki and Rafiee (2020) یک روش ابتکاری برای بهینه‌سازی نیاز آبی گیاه، رشد و پارامترهای عملکرد در کشاورزی با توجه به محدودیت‌های آب و کیفیت آب در دو محیط مختلف کشت انجام دادند و پارامترهای تبخیر و تعرق و رشد بادمجان در پایان فصول رشد در دو سال متوالی اندازه‌گیری شد. شرایط آبیاری مطلوب، یعنی فاصله آبیاری، شوری آب و محیط کشت (سه عامل) با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری شده محصول (دوازده پاسخ) تعیین شد و بهینه‌سازی با مدل‌سازی پارامترها، با استفاده از روش سطح پاسخ و تعیین هدف مطلوب براساس یک طرح مرکب مرکزی انجام شد. نتایج نشان داد که، فاصله آبیاری مطلوب، شوری آب و محیط کشت به‌ترتیب ۴/۵ روز، ۱/۴۷ (دسی زیمنس بر متر) و محیط فضای باز بود که منجر به عملکرد مطلوب محصول (۲۴۹۰/۷ گرم در بوته)، تبخیر و تعرق (۶۰۴/۷۶ میلی متر)، راندمان مصرف آب (۳/۳۲ گرم در گرم) و شوری خاک ۵/۲۷ (دسی زیمنس بر متر) گردید. در تحقیقی که توسط Pedrosa et.al (2021) انجام گرفت، بهترین نقطه استخراج عصاره برگ زیتون را تحت سه عامل زمان عصاره‌گیری، دما و حلال اتانول،

1 -Response Surface Methodology

2 -Central Composite Designs

با استفاده از روش سطح پاسخ مورد بررسی قرار دادند. این آزمایش در قالب طرح باکس-بنکن انجام شد، نتایج نشان داد که افزایش عملکرد عصاره‌گیری، با افزایش زمان و دما صورت گرفت و بالاترین بازده عصاره خشک در زمان ۱۲۰ دقیقه، ۲۵درجه سانتی‌گراد و ۸۷ درصد اتانول به‌دست آمد. در تحقیقی که توسط Yang et.al (2021) انجام شد، عملکرد گوجه‌فرنگی درشرایط مختلف تراکم بوته، کود نیتروژن و کود پتاس، با استفاده از روش سطح پاسخ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کود نیتروژن بیشترین تاثیر را برای عملکرد میوه دارد و پس از آن کود پتاس و تراکم بوته در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین عملکرد میوه یک روند سهموی با افزایش سطح کود یا تراکم بوته نشان داد و اثر متقابل معنی‌داری بین تراکم بوته و میزان کود مشاهده گردید. Dalvia et.al (1998) تولید گوجه با روش‌های آبیاری میکرو را با استفاده از روش سطح پاسخ مورد مطالعه قراردادند و برای ارزیابی اثر سطوح آبیاری از روش سطح پاسخ (RSM) استفاده نمودند. بدین ترتیب اثر سطوح کوددهی و سطوح آبیاری بر عملکرد گوجه فرنگی بررسی گردید و بهینه‌سازی برای ارزیابی حداکثر عملکرد و حداقل مقدار آبیاری انجام شد. تفسیر خطوط میزان عملکرد نشان داد که آبیاری قطره‌ای با سطح آبیاری ۷۹ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل و کوددهی به میزان ۹۶ درصد غلظت توصیه شده منجر به حداکثر عملکرد گوجه فرنگی می‌گردد. که دراین شرایط، صرفه‌جویی آب به میزان ۲۱ درصد و افزایش عملکرد تا ۲۷ درصد به‌دست می‌آید. بنابراین برای دستیابی به عملکرد بهتر در شرایط تنش رطوبتی و شوری، نیازمند استفاده از ابزاری است که بتواند چگونگی تاثیر این عوامل را بر تولید محصول به صورت ریاضی مدل نموده و توانایی بهینه‌یابی تابع عملکرد بر اساس فاکتورهای تاثیر گذار را داشته باشد، یکی از روش‌های مدرن برای تعیین مقادیر پارامترهای تاثیرگذار بر متغییر وابسته استفاده از روش سطح پاسخ است و در مطالعه انجام شده، اثر عوامل میزان درصد شوری و تنش رطوبتی، بر میزان عملکرد گوجه‌فرنگی، مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین خصوصیات فیزیکی ریشه نیز در شرایط مختلف تنش رطوبتی و درصدهای مختلف شوری مود بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های محل اجرای پژوهش

این پژوهش در شهرستان اردبیل و در محل گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. طول جغرافیائی محل قرارگیری گلخانه، '۴۸°۱۷ شرقی و عرض جغرافیای آن '۳۸°۱۲ شمالی و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۸۴ متر می‌باشد. خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده دز تحقیق در جدول (۱) نشان داده شده است همچنین، خاک مورد استفاده برای کاشت از زمین زراعی موجود در منطقه انتخاب گردید و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در آزمایشگاه، تعیین شد (جدول ۲).

برای تعیین منحنی مشخصه رطوبتی خاک، نمونه‌هایی دست خورده از خاک مورد نظر پس از قرارگیری در گلدان‌های مورد نظر و چند نوبت آبیاری، انتخاب و با استفاده از دستگاه صفحه فشاری، درصد رطوبت وزنی در فشارهای، ۳۳، ۳۰۰، ۵۰۰، ۸۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال تعیین گردید و منحنی مشخصه رطوبتی خاک بر اساس Mualem (1976) با استفاده از نرم افزار RETC رسم گردید (شکل ۱).

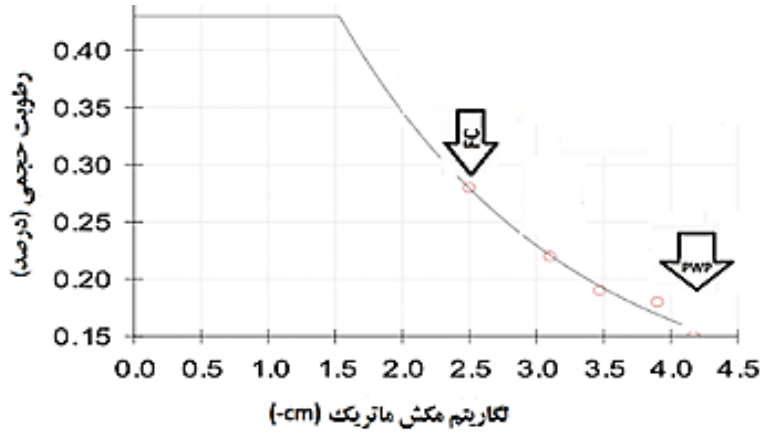
برای اعمال تیمارهای مختلف شوری از ترکیب کربنات کلسیم و کلرید سدیم به نسبت ۲:۱ استفاده شد نمک کربنات کلسیم برای جلوگیری از تأثیر منفی سدیم بر ساختمان خاک مورد استفاده قرار گرفت.

جدول (۱): پارامترهای شیمیایی آب مورد استفاده در تحقیق

کربنات ($meq\ l^{-1}$)	بی کربنات ($meq\ l^{-1}$)	کلسیم و منیزیم ($meq\ l^{-1}$)	سولفات (Ppm)	کلر ($meq\ l^{-1}$)	سدیم (Ppm)	پتاسیم (Ppm)	قابلیت هدایت الکتریکی ds/m	اسیدیته PH
۰/۰۲	۵/۳	۳/۲	۵۰	۰/۸	۹۸	۲	۰/۶	۶/۸

جدول (۲): نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

کربن آلی (درصد)	چگالی ظاهری ($gr\ cm^{-3}$)	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته گل اشباع (PH)	پتاسیم قابل جذب (Ppm)	رطوبت اشباع (درصد)	کلر ($meq\ l^{-1}$)	کلسیم و منیزیم ($meq\ l^{-1}$)	بی کربنات	بافت	ذرات خاک (درصد) شن	سیلت	رس
۳/۵	۱/۱۴	۲/۱۴	۷/۵	۱۲۶۰	۴۷	۱۴	۸/۸	۵	لوم رسی	۳۴	۳۶	۳۰



شکل(۱): منحنی مشخصه رطوبت حجمی خاک به همراه نقاط پتانسیلی PWP و FC

ویژگی‌های طرح آزمایشی

در این مطالعه برای ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی جذب آب در شرایط متغیر پتانسیل اسمزی و ماتریک، از طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در سه تکرار و در شرایط گلخانه‌ای بر روی گیاه گوجه‌فرنگی (Solanum lycopersicum) رقم (Pierre Saint) انجام گرفت. برای تهیه نشاء، ابتدا بذر گوجه‌فرنگی تهیه‌شده و در سینی‌های مخصوص، کاشته شدند. پس از سبز شدن بذرها و رسیدن ارتفاع نشاءها به ۲۱ سانتی‌متر، نشاءها به گلدان‌ها انتقال یافتند. برای انجام پژوهش از گلدان‌هایی با ارتفاع ۲۷ و قطر دهانه ۲۶ سانتی‌متر استفاده شد. بافت خاک رسی‌لومی و وزن خاک مورد استفاده در هر گلدان ۸/۵ کیلوگرم بود. تیمارهای اعمال شده شامل یک سطح غیر شور (۱/۵ دسی زیمنس بر متر (S_1)) و دو سطح شوری به ترتیب معادل ۴ (S_2) و ۷ (S_3) دسی‌زیمنس بر متر بود. تیمارهای شوری اعمال شده در این پژوهش با استفاده از اضافه نمودن نمک‌های کلرید سدیم و کلرید کلسیم با نسبت ۲ به ۱ و با روش سعی و خطا بدست آمدند. برای هر تیمار کم آبیاری یک گیاه پشتیبان[1] در نظر گرفته شد. همچنین برای هر تیمار یک گیاه شاهد که در شرایط بهینه (بدون شوری و رطوبت گنجایش مزرعه‌ای) آبیاری می‌گردید لحاظ شد. بعد از کاشت نشاها، گلدان‌ها به مدت ۲۰ روز با آب غیر شور آبیاری شدند و زمانی که ریشه گیاه در خاک تثبیت شد تیمارها اعمال شد. تیمارهای کم‌آبیاری با در نظر گرفتن سه سطح پتانسیل

1- Back up

ماتریک خاک (معادل ۵۰ (I_1)، ۶۰ (I_2) و ۷۰ (I_3) درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک) در طول دوره آبیاری اعمال گردید به‌طوری‌که با پایش روزانه رطوبت گلدان‌ها در زمان رسیدن رطوبت به تخلیه رطوبتی مورد نظر در هر تیمار، آبیاری به شکل دستی انجام می‌شد و در هر نوبت آبیاری در طول انجام آزمایشات حتی المقدور سعی گردید با اعمال جزء آبشوئی بالا (۲۰ درصد)، شوری محیط ریشه یکنواخت نگه‌داری گردد. در این پژوهش برای اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک از دستگاه رطوبت‌سنج الکتریکی لوترون[1] مدل PMS-714 استفاده شدکه وسیله مناسبی برای اندازه‌گیری رطوبت در عمق ریشه می‌باشد (Rahman et al. (2011)). همچنین مقدار رطوبت حجمی در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به‌ترتیب برابر ۲۸ و ۱۵درصد حجمی بود. برای به حداقل رساندن تبخیر از سطح خاک (چراکه هدف میزان جذب آب و تعرق بود) سطح خاک گلدان‌ها به ضخامت ۵ سانتی‌متر از شن پوشیده شد. در این آزمایش برای تعیین عملکرد و خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه، که شامل وزن‌تر و خشک ریشه، طول ریشه، حجم ریشه و قطر ریشه می‌باشد، به این‌صورت عمل شد که در طول اعمال دوره آبیاری، میزان محصول هر تیمار توزین شده و ثبت گردیدند و بعد از اتمام آزمایش، ریشه هر یک از تیمارها به‌صورت جداگانه برای تعیین طول، حجم، قطر و وزن‌تر آن‌ها از خاک خارج شدند. شایان ذکر است برای به‌دست آوردن حجم ریشه مقدار ۳۰۰ (سی‌سی) آب در استوانه مدرج یک لیتری ریخته و به‌وسیله آن حجم ریشه‌ها محاسبه گردید. همچنین برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه، ریشه‌ها را به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون قرارداده و بعد از خشک شدن توزین گردیدند.

برای انجام روش سطح پاسخ از روش داده‌های موجود[2] استفاده شد. در این روش، داده‌های آزمایش انجام شده با در نظر گرفتن حدود بیشینه و کمینه با کد سطح‌های (+۱) و (-۱) مشخص می‌شوند و در اختیار نرم‌افزار آماری قرار می‌گیرد. پس از انتخاب طرح، معادله مدل تعیین شده و ضرایب آن پیش‌بینی می‌شوند. مدل استفاده شده در روش سطح پاسخ عموماً، معادله مدل درجه دوم کامل یا فرم کاهیده آن است. مدل درجه دوم می‌تواند به صورت زیر بیان شود.

$$Y = C_{k.} + \sum_{i=1}^{k} C_{ki} x_i + \sum_{i=1}^{k} C_{kii} x_i^2 + \sum_{i<j=2}^{k} C_{kij} x_i x_j \qquad (1)$$

در اینجا β_0، β_j، β_{jj} و β_{ij} به‌ترتیب ضرایب ثابت، خطی، درجه دوم و اثر متقابل رگرسیون هستند. X_i و X_j متغیرهای مستقل کد شده هستند.

پس از آنکه ضرایب معادله محاسبه شدند، با حل معادله بالا، پاسخ پیش‌بینی می‌شود. سپس باید مطابقت مدل با داده‌های آزمایش مورد بررسی قرار گیرد. برای این کار روش‌های متعددی نظیر تحلیل باقیمانده، ریشه میانگین مربعات خطاهای پیش‌بینی شده و آزمون عدم تطابق وجود دارد. قابلیت پیش‌بینی کلی مدل توسط ضریب تبیین[3] (R^2) بیان می‌گردد و اهمیت آماری آن بوسیله آزمون آماری فیشر[4] (F-Value) مشخص می‌شود. اهمیت هر یک از ضرایب رگرسیون (مدل) نیز بر اساس آزمون T به‌دست می‌آید. البته باید توجه داشت که ضریب تبیین به تنهایی نمی‌تواند دقت مدل را توضیح دهد، زیرا این شاخص بیان کننده تغییرات حول میانگین پاسخ است. بنابراین از ضریب دیگری به نام ضریب تبیین اصلاح شده (R^2_{adj}) استفاده می‌شود(Montgomery and Myers, 1995). در محاسبه این ضریب، برخلاف R^2، به جای مجموع مربعات از میانگین مجموع مربعات استفاده می‌شود. نحوه محاسبه این دو ضریب در معادله‌های (۲) و (۳) ارائه شده است:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{residual}}{SS_{total}} \qquad (2)$$

1 -Lutron
2 -Historical Data
3 -Coefficient of determination
4- Fisher test

$$R^2_{adj}=1-\frac{SS_{residual}/DF_{residual}}{SS_{total}/(DF_{model}+DF_{residual})} \quad (۳)$$

در روابط بالا $SS_{residual}$ بیان‌گر مجموع مربعات باقیمانده، DF معرف درجه آزادی و SS_{total} معرف مجموع مربعات کل $(SS_{residual}+SS_{model})$ است.

اگر متغیرهای مستقل بیش‌تری وارد شبیه‌ساز شوند، R^2 افزایش می‌یابد و یا ثابت می‌ماند. زیرا متغیر اضافه شده جدید، نقشی هر چند کم در تبیین متغیر پاسخ خواهد داشت. این ویژگی، R^2 را به عنوان معیاری جهت انتخاب شبیه‌ساز و متغیرهای آن، غیر معقول جلوه می‌دهد. به منظور اجتناب از این مسئله، تعدیلی روی ضریب تبیین صورت می‌گیرد به این طریق که، کاهش درجه آزادی بوجود آمده ناشی از افزایش متغیرهای اضافی، که در محاسبه ضریب تبیین لحاظ نمی‌شود، در نظر گرفته می‌شود. در این صورت با اضافه شدن یک متغیر مستقل جدید به شبیه‌ساز، اثر افزایش R^2 خنثی می‌شود. بنابراین در شبیه‌سازی، R^2 تعدیل شده می‌تولند به عنوان ابزار تصمیم‌گیری، جهت تعیین وجود یا عدم وجود متغیر مورد نظر، در شبیه‌ساز درنظر گرفته‌شود. اگر با اضافه شدن متغیر مستقل به شبیه‌ساز، R^2 تعدیل شده افزایش یابد، متغیر اضافه شده در شبیه‌ساز باقی می‌ماند و اگر R^2 تعدیل شده کاهش یابد، متغیر از شبیه‌ساز حذف می‌شود.

پس از تعیین مدل رگرسیونی مناسب، اهداف مختلف با توجه به محدودیت‌های عوامل موثر و متغیرهای مستقل تعیین گردیده و نقاط بهینه عملکردی مدل با توجه به محدودیت‌های اعمالی تعیین می‌شوند که هر یک از این نقاط، با توجه به میزان در دسترس بودن با درجات مقبولیت متفاوت نشان داده می‌شوند. درواقع میزان مقبولیت، یک تابع هدف است که از صفر تا یک متغیر است. به طور مثال اگر هدف بیشترین میزان عملکرد در شرایط کاهش میزان مصرف آب و کاهش تنش رطوبتی باشد، پس از بهینه‌سازی، با مقایسه نتایج تنش رطوبتی و میزان آب مصرفی، با کمینه مقدار آن‌ها در آزمایش، درجه مقبولیت تابع هدف مشخص می‌گردد. بهینه‌سازی عددی، نقطه‌ای را مشخص می‌کند که تابع مقبولیت را به حداکثر می‌رساند. ویژگی‌های یک هدف ممکن است با تنظیم اوزان متغیرهای مستقل یا اهمیت آن‌ها تغییر نماید. برای چندین پاسخ و عامل، همه اهداف در یک تابع مقبولیت ترکیب می‌شوند تا نقطه هدف با ارزش مقبولیت بسیار بالا به‌دست آید که در واقع در این شرایط درجه مقبولیت تابع هدف برابر یک خواهد بود

نتایج و بحث

اثر تنش‌های شوری و رطوبتی بر خصوصیات فیزیولوژی ریشه و عملکرد

در شکل (۲) شماتیک ریشه در تنش‌های شوری مختلف نشان داده شده است. پارامترهای برازش داده شده مدل Mualem (1976)، برای خاک مورد آزمایش در جدول(۳) نشان داده شده است. همچنین نتایج عملکرد و خصوصیات ریشه گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در جدول(۴) نشان داده شده است و در جدول(۵)، اثر توامان سطوح رژیم‌های رطوبتی در سطوح شوری مختلف بر روی صفات رویشی گوجه فرنگی گلخانه‌ای نشان داده شده است. بر اساس جدول (۵)، که مجموع اثر رژیم‌های رطوبتی و تیمارهای شوری را بر خصوصیات ریشه بررسی نموده است، می‌توان به این نتیجه رسید که، در رژیم‌های رطوبتی یکسان، به طور مشخصی با کاهش میزان شوری آب آبیاری به جز طول ریشه اصلی که روند کاهشی داشته است، در سایر پارامترهای ریشه از جمله وزن تر و خشک ریشه، قطر و حجم ریشه اصلی روند افزایشی داشته است. بنابراین با درنظر گرفتن میزان شوری به عنوان عامل تاثیرگذار و تجمیع نتایج تیمارهای رطوبتی، نتایج از نظر خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد، با تیمار ۱/۵ (دسی زیمنس بر متر) دارد. در جدول (۶)، تجمیع اثرات سطوح شوری در رژیم های رطوبتی مختلف روی صفات رویشی گوجه فرنگی گلخانه‌ای، نشان داده شده است. همانطور که در این جدول مشخص است، شاخص های طول ریشه اصلی و قطر ریشه اصلی با افزایش تنش رطوبتی کاهش معنی‌داری داشته است، به طوریکه اختلاف مقادیر تیمارهای ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درصد، از نظر طول ریشه اصلی و قطر ریشه اصلی بر اساس آزمون فیشر، در سطح پنج درصد معنی‌دار شده و در گروه‌های مختلف طبقه‌بندی شده‌اند. البته تحقیقات نشان داده است که برای جبران کمبود آب در گیاه، در تنش‌های رطوبتی، می‌بایست

پارامترهای جذب ریشه افزایش یابند، ولی به نظر می‌رسد همانطور که در جدول (۵) مشخص است، تاثیر تیمارهای شوری سبب شده است که رشد ریشه در تیمارهای تنش رطوبتی کاهش یابد و تاثیر توامان شوری و تنش آبی روند کاهشی را در این دو شاخص مهم جذب آب توسط ریشه سبب شده است. در تحقیقی که توسط Raphael et al. (2010) انجام شد، افزایش مقاومت نسبت به تنش رطوبتی در رابطه با تولید محصول، به افزایش پارامترهای مهم ریشه در جذب رطوبت از جمله طول، قطر و حجم ریشه پایه‌های پیوندی ارتباط داده شد البته همانطور که نتایج نشان می‌دهد، اثر متقابل شوری و خشکی، می‌تواند نتایج متفاوتی را داشته باشد. همان‌طور که در جداول (۵) و (۶) مشخص است، اعمال تیمارهای شوری، بر کلیه شاخص‌های عملکرد گوجه فرنگی تاثیر معنی‌داری داشته است که با تحقیقات همتیان و همکاران(۱۳۹۰) مطابقت دارد. وزن تر ریشه در تیمارهای مختلف شوری با اعمال رژیم‌های رطوبتی روند کاهشی داشته است، که با سایر تحقیقات انجام شده در این ضمینه مطابقت داشته است (قائمی و همکاران، ۱۳۸۸) زیرا در شرایط تنش، گیاه ماده خشک را در اندام‌های هوایی به کار می‌گیرد. از میان تیمارهای مختلف شوری، تیمار ۷ (دسی زیمنس بر متر) از وزن‌تر ریشه کم‌تری نسبت به سایر تیمارها برخوردار است و با تیمار ۴ (دسی زیمنس بر متر)، بر اساس آزمون فیشر در سطح اعتماد ۵ درصد، در یک گروه قرار می‌گیرد. پس از آن به‌ترتیب تیمارهای ۴ ، ۲/۵، ۱/۵ (دسی زیمنس بر متر) قرار دارند. همچنین کاهش حجم ریشه با افزایش میزان شوری آب آبیاری به وضوح در جدول(۵) مشاهده می‌گردد. به طوریکه بیشترین حجم ریشه مربوط به تیمار ۱/۵ (دسی زیمنس بر متر) بوده و پس از آن به ترتیب تیمارهای ۲/۵، ۴ و ۷ (دسی زیمنس بر متر) قرار می‌گیرند. در این رابطه تیمارهای ۱/۵ و ۲/۵ (دسی زیمنس بر متر) بر اساس آزمون فیشر در سطح اعتماد ۵ درصد، در یک گروه قرارگرفته و با تیمارهای ۴ و ۷ (دسی زیمنس بر متر) اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهند. متوسط حجم ریشه در تیمارهای ۱/۵ و ۲/۵ (دسی زیمنس بر متر)، تقریبا دو برابر متوسط تیمارهای ۴ و ۷ (دسی زیمنس بر متر) می‌باشد که این مسئله می‌تواند به سبب تاثیر تیمارهای شوری بر رشد ریشه در شرایط تنش باشد، مسئله‌ای که به وضوح در جدول(۶) مشخص است، همانطور که در این جدول مشخص است، کاهش حجم ریشه در تیمارهای تنش رطوبتی دیده می‌شود، البته این روند کاهشی به شدت تیمارهای شوری نشان داده شده در جدول (۵) نبوده و به مراتب شدت آن کاهش یافته است. به‌طوریکه کمترین حجم ریشه مربوط به تیمار ۶۰ درصد تنش رطوبتی بوده و تیمار ۷۰ درصد تنش رطوبتی دارای بیشترین حجم ریشه است. این مورد در رابطه با شاخص‌های وزن خشک و تر ریشه نیز قابل مشاهده است. این موضوع دلالت بر این دارد که کاهش این پارامترها در شرایط تنش در تیمارهای با شوری بالا، دیده می‌شود. متوسط این کاهش برای تیمارهای ۴ و ۷ (دسی زیمنس بر متر) ، نسب به تیمارهای ۱/۵ و ۲/۵ (دسی زیمنس بر متر) برای شاخص وزن خشک ریشه ۶۱درصد و برای وزن تر ریشه ۷۱ درصد می باشد. در تحقیقی که توسط پاکدل و همکاران (۱۳۹۰) انجام شد، تاثیر تنش بر خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه افزایشی بود، در حالی که تاثیر شوری بر خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه کاهشی بود. همان‌طور که Homaie et al. (2002) بیان داشته‌اند، با کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریک، انرژی آزاد آب در خاک و به تبع آن میزان جذب توسط گیاه کاهش می‌یابد. هنگامی‌که گیاه تحت تاثیر تنش شوری قرار می‌گیرد می‌تواند خود را تا حدی با املاح محلول سازگار کند و شرایط جذب آب بیش‌تر را فراهم کند. جدول(۶) نشان می‌دهد که با افزایش تنش رطوبتی به میزان ۷۰ درصد، قطر ریشه اصلی نسبت به تیمار ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی، تقریبا به میزان ۲۷ درصد افزایش می‌یابد و این نشان‌دهنده افزایش توانایی گیاه برای

مقابله با شـرایط تنش‌رطوبتی و انطباق گیاه با شـرایط تنش و جلوگیری از خسـارت ناشـی از آن اسـت. دلیل این موضـوع این اسـت که گوجه فرنگی با داشـتن ریشـه‌های قوی و عمیق در مواجه با تنش‌رطوبتی، می‌تواند ریشه را توسعه داده و آب و عناصر معدنی را با کارایی بیش‌تری جذب نماید (آذرمی و همکاران، ۱۳۹۸). تحقیقات نشان داده است که گیاه در شرایط خشکی ترجیح می دهد بیش‌تر مواد فتوسنتزی خود را به ریشه اختصاص دهد تا اینکه این مواد را در ساقه و اندام‌های هوایی ذخیره کند زیرا با این عمل توانایی ریشـه برای جذب مقدار بیش‌تری از آب موجود حفظ خواهد شد (Asseng et al, 1998). همچنین تعدادی از مطالعات انجام شده، نشان داده است که در اثر تنش آبی، مقدار ریشـه در واحد حجم خاک افزایش خواهد یافت (آذرمی و همکاران، ۱۳۹۸)، که در تحقیق انجام شده به دلیل افزایش تنش شوری روند تغییرات حجم و طول ریشـه با افزایش تنش افزایشـی نبود، به‌طوریکه بیش‌ترین طول ریشه مربوط به تیمار ۵۰ درصد بوده و پس از آن به ترتیب تیمارهای۶۰ و۷۰ درصـد قرار گرفتند. مطالعات مختلفی، افزایش طول ریشه را بر اثر تنش خشـکی و محـدودیـت آب گزارش نموده‌انـد (Assadian et al (2020), Asseng et al. (1998)). البته در تحقیق حاضر روند افزایش طول ریشه با کاهش رطوبت در دسترس مشاهده نشد. زیرا گوجه فرنگی با داشتن ریشه های قوی و عمیق، توسعه ریشه را افزایش داده و می‌توانند آب و عناصـر معدنی را با کارائی بیش‌تری جذب نمایند. (Hee et al, 1997). البته به طور مشخص افزایش طول ریشه با افزایش تنش شوری در تیمارهای تنش شـوری مشـاهده گردید، به‌طوریکه طول ریشـه اصـلی در تیمار ۷ (دسـی زیمنس بر متر) نسـبت به تیمار ۱/۵ (دسـی زیمنس بر متر) تقریبا ۲۰ درصـد افزایش نشان داد. در تحقیقی که توسط Raphael et al. (2010) انجام شـد، نتایج نشـان داد که افزایش مقاومت گیاه نسـبت بـه تنش رطوبتی بـا افزایش شـاخص‌هـای فیزیولوژیکی ریشـه از جمله طول، قطر و حجم ریشـه همراه اسـت که در واقع پاسـخ گیاه به شـرایط تنش رطوبتی اسـت. البته با مقایسـه شـاخص‌های ریشـه در تیمارهای مختلف شـوری در شـرایط رژیم رطوبتی یکسـان، اختلاف معنی‌داری دیده نشـد، محققان زیادی گزارش کرده‌اند که در شـرایط مختلف شـوری، عملکرد را در گیاهان به واسـطه افزایش جذب آب و عناصـر معدنی، تولید هورمون‌های درونی، مقاومت به شـوری و خشـکی بهبود می‌بخشـد (Ruizz et al, 1997)، علت عدم افزایش شاخص های ریشه در مواجه با شوری نیز می تواند تولید هورمون‌های درونی برای افزایش جذب بدون تغییر در ساختار فیزیولوژی آن باشد. در رابطه با میزان عملکرد محصـول، کـاهش منطقی میزان عملکرد در تیمارها با کاهش رطوبت در دسـترس مشـاهده گردید؛ به‌طوریکه با کاهش رطوبت در دسـترس از ۵۰ درصـد ظرفیت زراعی به ۷۰ درصد ظرفیت زراعی در تیمارهای شـوری مختلف مطابق جدول(۶)، تقریبا ۱۸ درصـد کاهش می‌یابد. این درحالیست که در تیمارهای مختلف تنش رطوبتی، مطابق جدول(۵) با افزایش تنش شـوری از ۱/۵ (دسی زیمنس بر متر) به ۲/۵ (دسی زیمنس بر متر)، میزان عملکرد محصول حدودا ۷۰ درصد کاهش می یابد که حساسیت بالای گوجه‌فرنگی را به شوری آب آبیاری در مقایسـه با کاهش رطوبت در دسـترس نشان می‌دهد. این کاهش در تیمارهای ۲/۵ و ۴ (دسی زیمنس بر متر)، بـه ترتیـب برابر ۲۱ و ۴۵ درصـد می‌باشـد. همانطور که نتایج نشـان می‌دهد، با کاهش تنش رطوبتی در شـوری‌های مختلف، کاهش عملکرد تا حدودی جبران شـده و میزان شـیب کاهش عملکرد کاهش می‌یابد. این موضـوع نشـان می‌دهد که تاثیر مثبت کـاهش تنش رطوبتی در جلوگیری از کـاهش عملکرد محصـول در تیمارهای با شـوری بالا کمتر موثر اسـت. علاوه بر این تاثیر متفاوت شـوری در سـطوح رطوبتی، نشان‌گر آن است که تعیین شوری تاثیرگذار بر عملکرد برای پیش بینی میزان محصول بسیار مهم بوده و این کار با استفاده از روش سطح پاسخ امکان‌پذیر می باشد.

نتـایج نشـان داد کـه، میـانگین مصـرف آب در گروه‌های ۴ و ۷ (دسـی زیمنس برمتر) با اسـتفاده از آزمون فیشـر در سـطح پنج درصـد، در یک گروه طبقه‌بندی شده و نسبت به گروه‌های ۱/۵ و ۲/۵ (دسی

زیمنس برمتر) دارای میانگین مصرف آب کمتری هستند، به‌طوریکه اختلاف مقادیر آب مصرفی این تیمارها با سایر تیمارها در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است. همچنین بررسی میزان آب مصرفی از نظر تیمارهای تخلیه رطوبتی، نشان داد که تیمارهای ۷۰ ، ۶۰ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی، در گروه‌های متفاوت گروه بندی شده و اختلاف آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد. Wang et al (2009., 2019) نیز افزایش بهره‌وری مصرف آب را با کاهش میزان آب کاربردی، گزارش نموده‌اند و نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کم‌آبیاری باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌گردد، این موضوع نشان می‌دهد که با استفاده از نسبت مناسب تنش شوری که بر عملکرد تاثیرگذار نباشد و همچنین تعیین حد بهینه کم آبیاری در تولید محصولات گلخانه‌ای علاوه بر بالا بردن تولید در واحد سطح می‌توان میزان بهره‌وری مصرف آب را افزایش داده و در شرایط محدودیت منابع آبی، مصرف آب را بهینه‌سازی نمود.

شکل (۲): ریشه گوجه فرنگی گلخانه‌ای در تیمارهای مختلف شوری در کمبود رطوبت در دسترس ۶۰ درصد ظرفیت زراعی

جدول(۳): پارامترهای منحنی رطوبتی خاک

k_s ($cm.day^{-1}$)	m	n	α (cm^{-1})	θ_s ($cm^3.cm^{-3}$)	θ_r ($cm^3.cm^{-3}$)
۳۱/۴	۰/۳۲	۱/۴۸	۰/۰۵	۰/۵	۰/۱

جدو(۴): میزان عملکرد و خصوصیات فیزیکی ریشه گوجه‌فرنگی در درصدهای مختلف تنش رطوبتی و شوری آب آبیاری

شوری آب آبیاری	درصد تنش رطوبتی	طول ریشه اصلی	متوسط عملکرد بر بوته	قطر ریشه اصلی	وزن تر ریشه	مقدار مصرف آب بر بوته	وزن خشک ریشه	حجم ریشه
($ds.m^{-1}$)	(٪)	(cm)	(gr)	(cm)	(gr)	(lit)	(gr)	(cm^3)
۷	۷۰	۳۵/۸	۲۳/۲۵	۱/۹۵	۷/۵	۴/۷	۲/۳	۷/۵
۴	۷۰	۳۵/۷	۷۰/۷	۱/۷	۸/۷	۴/۹	۲/۰۵	۶/۷
۲/۵	۷۰	۳۲/۷	۹۷/۵	۳/۰۵	۲۶/۷	۱۰/۶	۵/۸	۲۲/۲
۱/۵	۷۰	۳۲/۵	۱۲۳	۲/۷	۱۸/۷	۱۱/۹	۳/۴	۱۷/۲
۷	۶۰	۳۵/۷	۴۵	۱/۷۷	۶/۵	۵/۵	۱/۷	۵/۷
۴	۶۰	۳۸	۷۵	۱/۵	۵	۵/۵۷	۱/۵۷	۴/۷
۲/۵	۶۰	۳۰/۷	۱۰۸/۷	۲/۵۷	۲۴/۲۵	۱۲	۶/۴	۱۸
۱/۵	۶۰	۳۹/۸	۱۳۵	۲/۱۳	۱۹	۱۴/۱	۳/۹۲	۱۶/۲
۷	۵۰	۳۸/۴۵	۵۱/۲	۱/۵۲	۶/۵	۶/۸	۱/۸۲	۸/۷
۴	۵۰	۳۴/۷	۷۷	۱/۵۵	۶	۷/۲	۲/۳۷	۷/۵
۲/۵	۵۰	۴۱/۲۵	۱۱۲	۲/۱۱	۲۷/۵	۱۳/۵	۵/۹	۱۹/۷
۱/۵	۵۰	۳۴/۲۵	۱۴۵	۲/۲۴	۲۳/۲	۱۵/۴	۵/۳۷	۱۷

جدول(۵): تجمیع اثرات رژیم های رطوبتی در سطوح مختلف شوری، روی صفات رویشی گوجه فرنگی گلخانه‌ای

تیمار شوری (دسی زیمنس بر متر)	طول ریشه اصلی (cm)	عملکرد میوه (gr p.plant)	قطر ریشه اصلی(cm)	وزن تر ریشه(gr)	مقدار مصرف آب lit per) (plant	وزن خشک ریشه(gr)	حجم ریشه(cm^3)
۷	۳۶/۶^{a}	۳۹/۷^{a}	۱/۷۵^{a}	۶/۸۳^{a}	۵/۶۸^{a}	۱/۹۵^{a}	۷/۳۳^{a}
۴	۳۶/۱۷^{a}	۷۴/۲۵^{b}	۱/۶۱^{a}	۶/۵۸^{a}	۵/۹۲^{a}	۲^{a}	۶/۳۳^{a}
۲/۵	۳۴/۹۲^{a}	۱۰۵/۳^{c}	۲/۵۸^{b}	۲۶/۱۷^{b}	۱۲/۰۵^{b}	۶/۰۸^{b}	۲۰^{b}
۱/۵	۳۰/۵۴^{b}	۱۳۴/۳^{d}	۲/۳۷^{ab}	۲۰/۳^{b}	۱۳/۸^{b}	۴/۲۳^{ab}	۱۶/۸^{b}

† In each column, the averages that have letters in common are in the same group in terms of 5% probability in terms of Fisher test.

جدول(۶): تجمیع اثرات سطوح شوری در رژیم های رطوبتی مختلف، روی صفات رویشی گوجه فرنگی گلخانه‌ای

تیمار رطوبتی (٪)	طول ریشه اصلی (cm)	عملکرد میوه (gr p.plant)	قطر ریشه اصلی(cm)	وزن تر ریشه(gr)	مقدار مصرف آب (lit per plant)	وزن خشک ریشه(gr)	حجم ریشه(cm^3)
۷۰	۳۴/۲۲^{a}	۷۸/۶۳^{a}	۲/۳۷^{b}	۱۵/۴^{b}	۸/۰۷^{a}	۳/۴۱^{a}	۱۳/۴^{b}
۶۰	۳۶/۰۹^{b}	۹۰/۸^{b}	۲^{ab}	۱۳/۶^{a}	۹/۵۹^{ab}	۳/۴۱^{a}	۱۱/۱۹^{a}
۵۰	۳۷/۱۸^{b}	۹۵/۷۵^{b}	۱/۸۶^{a}	۱۵/۸^{b}	۱۰/۷^{b}	۳/۸^{a}	۱۳/۲^{b}

† In each column, the averages that have letters in common are in the same group in terms of 5% probability in terms of Fisher test.

مدل سازی عملکرد و تعیین نقطه بهینه عملکرد مدل در شرایط تنش رطوبتی و خشکی

برای مدلسازی عملکرد بر اساس فاکتورهای شوری و تنش رطوبتی، در این پژوهش، روش سطح پاسخ مطابق طرح داده‌های موجود۱ برای بررسی داده‌های عملکرد استفاده شد و بوسیله مجموع مربعات مانده پیش‌بینی مدل، دقت مدل ارزیابی گردید. بدین منظور ضرایب مدل بدون وجود نقطه اول و حضور دیگر نقاط محاسبه شده، سپس مدل انتخابی برای برآورد نقطه اول و محاسبه مانده آن مورد استفاده قرار گرفت. این

1 - Historical Data

روش برای تمام نقاط انجام شد و سپس جمع مربعات ملنده تمام نقاط محاسبه گردید و در نهایت مدل با مجموع مربعات ملنده کمتر نسبت به سایر مدل‌ها انتخاب گردید. با مقایسه مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی شده، از میان مدل‌های مختلف، مدل درجه اول[1] با پیشنهاد نرم‌افزار با در نظر گرفتن شاخص‌های آماری مطلوب و مختلف مد نظر نرم‌افزار از جمله داشتن ریشه میانگین مربعات خطای کمتر، ضرایب تبیین تنظیم شده و پیش‌بینی بالاتر و همچنین مجموع مربعات مانده پیش‌بینی مدل۲ کمتر نسبت به سایر مدل‌ها، برای پیش‌بینی عملکرد انتخاب گردید. سپس با استفاده از روش گام به گام و اعمال آن بر مدل انتخابی، مدل ساده‌تر و دارای تعداد جملات کم‌تر (درجه آزادی) با ضریب تبیین ۰/۹۳ به‌دست آمد. (جدول(۶): **تجمیع اثرات سطوح شوری در رژیم های رطوبتی مختلف، روی صفات رویشی گوجه فرنگی گلخانه‌ای**

طول ریشه اصلی (cm)	عملکرد میوه gr) (p.plant	قطر ریشه اصلی(cm)	وزن تر ریشه(gr)	مقدار مصرف آب lit) per (plant	وزن خشک ریشه(gr)	حجم ریشه(cm^3)
۳۴/۲۲^{a}	۷۸/۶۳^{a}	۲/۳۷^{b}	۱۵/۴^{b}	۸/۰۷^{a}	۳/۴۱^{a}	۱۳/۴^{b}
۳۶/۰۹^{b}	۹۰/۸^{b}	۲^{ab}	۱۳/۶^{a}	۹/۵۹^{ab}	۳/۴۱^{a}	۱۱/۱۹^{a}
۳۷/۱۸^{b}	۹۵/۷۵^{b}	۱/۸۶^{a}	۱۵/۸^{b}	۱۰/۷^{b}	۳/۸^{a}	۱۳/۲^{b}

† In each column, the averages that have letters in common are in the same group in terms of 5% probability in terms of Fisher test.

.((۷

با بهره‌گیری از نتایج طرح داده‌های موجود، و تجزیه رگرسیون این داده‌ها، آنالیز واریانس مدل استخراج شده عملکرد گوجه فرنگی گلخانه‌ای با توجه به متغیرهای تنش شوری (**A**)، رژیم رطوبتی (**B**)، بر حسب مقادیر کد شده در جدول ۸) بیان شده است. همانطور که جدول نشان می‌دهد، تاثیر هر یک از فاکتورهای سطوح رطوبت در دسترس و تنش شوری بر میزان عملکرد معنی‌دار می‌باشند و همچنین فاکتور توان دوم میزان تنش شوری نیز به طور معنی‌داری بر نتایج مدل تاثیرگذار می‌باشد، که این موضوع با نتایج تحقیقات Rezaverdinezhad et al. (2017) مطابقت دارد. از میان فاکتورهای موثر تنش شوری و رژیم رطوبتی، همانطور که در جدول(۸) مشخص است، تاثیر تنش شوری بر عملکرد گوجه فرنگی گلخانه‌ای بیش از رژیم رطوبتی می‌باشد که با تحقیقات آذرمی و همکاران (۱۳۹۸) همخوانی دارد.

در جدول(۹)، شاخص‌های آماری مدل نشان داده شده است. همانطور که در جدول مشخص است، میزان کفایت دقت مدل برابر۳۲/۳ برآورد گردیده است که با توجه به اینکه این عدد بیش از رقم چهار می‌باشد، نشان‌دهنده دقت مناسب مدل است. علاوه بر این، با توجه به آن‌که مقدار اختلاف ضریب تبیین پیش‌بینی شده با ضریب تبیین اصلاح شده کمتر از ۰/۲ می‌باشد و مقادیر آن‌ها به یک نزدیک می‌باشد، این شاخص نیز نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل می‌باشد. نمودارهای مربوط به کفایت مدل نیز عملکرد خوب مدل را نشان می‌دهند. در جدول (۱۰)، ضرایب مدل پیشنهادی عملکرد، بر اساس فاکتورهای رطوبت در دسترس و رژیم رطوبتی نشان داده شده است. شکل(۳) تاثیر هر یک از فاکتورهای موثر را به صورت مجزا بر عملکرد گوجه فرنگی گلخانه‌ای نشان می‌دهد، همانطور که در شکل مشخص است، تاثیر میزان رطوبت در دسترس و تنش شوری، بر میزان عملکرد به صورت غیرخطی بوده و به صورت تابع درجه دو می‌باشد که نیازمند تعیین حد بهینه برای رسیدن به بهترین عملکرد است. همانطور که در این شکل مشخص است، تاثیر منفی تنش رطوبتی از محدوده ۵۰ درصد شروع می‌شود. این موضوع در در تحقیق Rezaverdinezhad et al. (2017) نیز مشاهده گردید در این تحقیق، بهره‌وری مصرف آب در تیمار ۸۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل، ۳۱ درصد کمتر از تیمار شاهد و برابر ۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد، که این موضوع نشان می‌دهد

1 - Linear

2 - Predicted Residual Sum of Squares for the model

که تنش رطوبتی، می‌تواند در کنار کاهش مصـرف آب، بهره‌وری مصـرف آب را افزایش دهـد کـه بـا نتـایج Ahmad et al. (2019) نیز مطـابقـت می‌نمـایـد. در شـکـل(۴) کـه در واقع خروجی نرم‌افزار (Version 12.0, Stat-Ease, Minneapolis, MN 55413) Design Expert می‌باشـد، خطوط هم‌میزان عملکرد بر اساس فاکتورهای تنش شوری و سطوح رژیم رطوبتی نشـان داده شـده اسـت، همانطور که در شـکل (۴) مشـخص اسـت، تاثیر متقابل و منفی تنش شـوری بر میزان عملکرد گوجـه فرنگی گلخـانـه‌ای بـا کـاهش رطوبت در دسـترس در مقادیر بالای تنش رطوبتی و تنش شـوری دیده می‌شـود؛ به‌طوریکه فاصـله خطوط هم‌میزان از یکدیگر بـا افزایش تنش شـوری، افزایش می‌یابد. با بررسـی خطوط هم‌میزان مربوط به عملکرد ۵۰ (گرم بر بوته)، مشـخص می‌شـود که می‌توان در سطح رطوبتی ۷۰ درصد تنش، با تنش شوری ۵ (دسی زیمنس بر متر)، عملکرد برابری با شرایط سطح رطوبتی ۵۰ درصد تنش و تنش شوری ۷ (دسی زیمنس بر متر) به‌دسـت آورد البته باید درنظر داشـت که به طور قطع میزان کمتر تنش شـوری برای رسـیدن به عملکرد یکسـان، از اولویت بیشـتری برخوردار می باشـد. مورد دیگر، شـیب یکسـان خطوط هم‌میزان و فاصـله کم‌تر آن‌ها در مقادیر پایین تنش شـوری اسـت که نشـان‌گر کاهش تاثیر تنش شـوری بر عملکرد گوجه فرنگی برای تنش‌های کمتر از ۳ (دسـی زیمنس بر متر) می‌باشـد به‌طوریکه تاثیر تنش رطوبتی برای شـوری آب آبیاری کمتر از ۳ (دسی زیمنس بر متر) نسبت به شوری های بیش‌تر از ۵ (دسـی زیمنس بر متر) بسـیار کمتر می‌باشـد. شـکل(۵) نمودار یک به یک نتایج حاصـل از مدل را نشـان می‌دهد، همانطور که در شـکل دیده می‌شـود، مدل به خوبی مقدار عملکرد را بر اسـاس فاکتورهای موثر پیش‌بینی نموده است.

جدول (۷): شاخص‌های آماری مدل‌های مختلف تابع عملکرد

شماره	مدل چند جمله ای	ضریب تبیین	ضریب تبیین اصلاح شده	احتمال خطا	مدل انتخابی
۱	خطی	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۰۰۱	✔
۲	درجه ساده	۰/۶۲	۰/۶۸	۰/۰۱۲	
۳	درجه دوم	۰/۴۱	۰/۵۷	۰/۳۹	
۴	مربعی	-۰/۰۱۶	۰/۵۶	۰/۰۳	

جدول (۸): آنالیز واریانس مدل عملکرد بر اساس فاکتورهای سطوح تنش و درصد شوری

پارامتر	درجه آزادی	مجموع مربعات خطا	میانگین مربعات خطا	مقدار F	احتمال خطا
**مدل	۵	۱۵۵۲۹	۳۱۰۵	۱۲۹/۶	<۰/۰۰۰۱
A	۱	۱۵۴۵	۱۵۴۵	۶۴/۵	۰/۰۰۰۲
B	۱	۱۰/۶	۱۰/۶	۰/۴۴	۰/۵۲
AB	۱	۲۰/۵۵	۲۰/۵۵	۰/۸۵	۰/۳۸
A^2	۱	۶۴۴	۶۴۴	۲۶/۹	۰/۰۰۲
B^2	۱	۳۶/۲	۳۶/۲	۱/۵	۰/۲۶

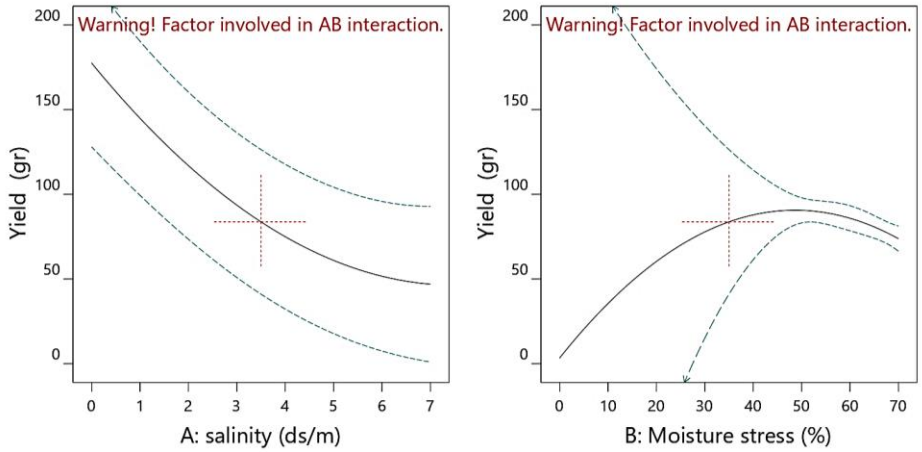
جدول (۹):شاخص های آماری مدل عملکرد بر اساس فاکتورهای سطوح تنش و درصد شوری

پارامتر	انحراف معیار	ضریب تعیین	ضریب تبیین اصلاح شده	ضریب تبیین	میانگین	کفایت دقت	ضریب تغییرات

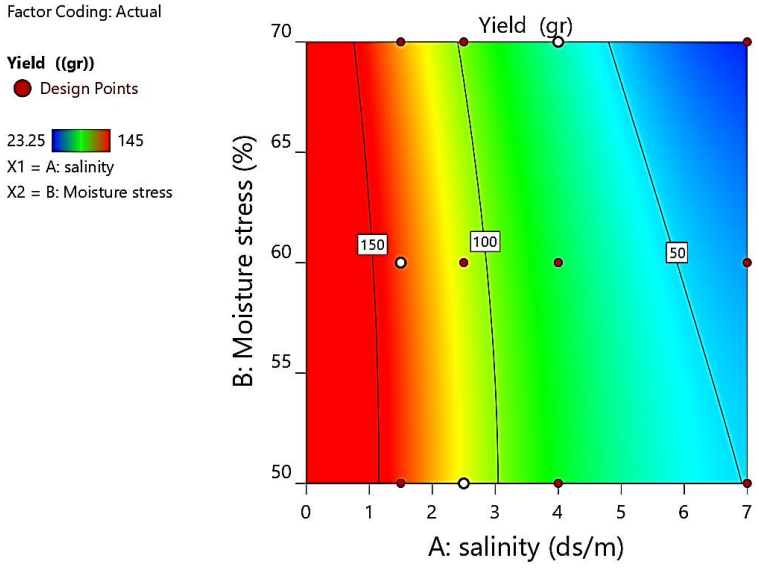
			پیشبینی شده				
عملکرد	۴/۸	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۳	۸۸/۴	۳۲/۳	۵/۵

جدول (۱۰): ضرایب مدل پیشنهادی عملکرد بر اساس فاکتورهای سطح تنش و درصد شوری

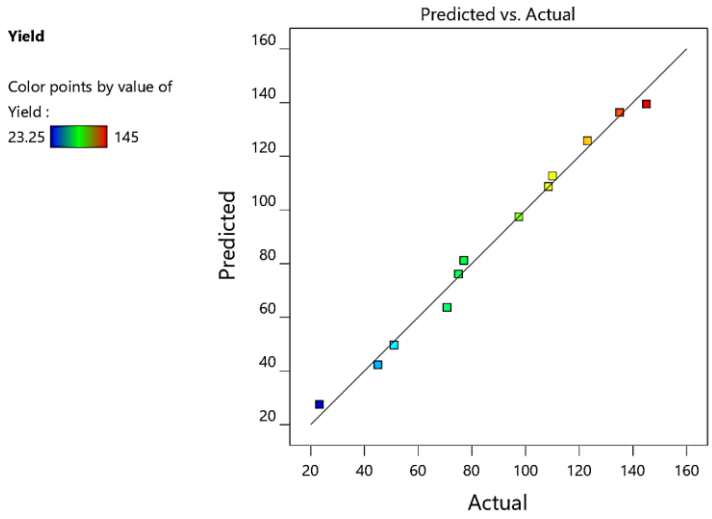
پارامتر	ضریب
عدد ثابت	۸۷/۶
A	-۳۲/۲
B	۳/۸۵
AB	-۰/۰۷
A^2	۲/۳۲
B^2	-۰/۰۳۶



شکل(۳): تاثیر هر یک از فاکتورهای موثر به صورت مجزا بر عملکرد گوجه‌فرنگی



شکل(۴): خطوط تراز عملکرد بر اساس فاکتورهای شوری و سطوح تنش

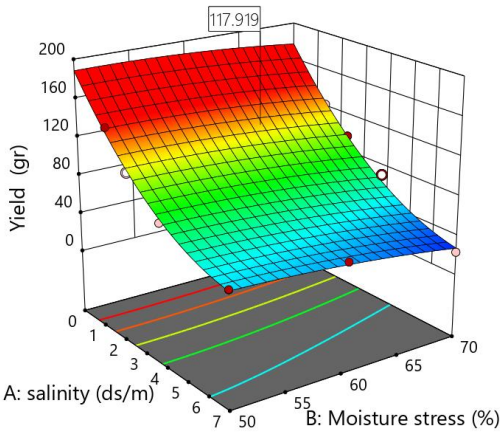


شکل(۵): نمودار یک به یک نتایج پیشبینی شده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده

پس از یافتن مدل‌های رگرسیونی برای یافتن نقطه بهینه عملکرد گوجه فرنگی گلخانه‌ای در بخش بهینه‌سازی نرم افزار Design expert برای تعیین نقطه بهینه عملکرد در شرایط تنش شوری و رطوبتی، مقدار حداکثر عملکرد به عنوان توابع هدف به نرم‌افزار معرفی گردید. شرایط به‌گونه‌ای درنظر گرفته شد که بیش‌ترین عملکرد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در شرایطی محاسبه شود که فرض بیشینه نمودن مقدار تنش شوری و کمینه نمودن رطوبت در دسترس، لحاظ شده و همچنین سایر پارامترهای موثر بر عملکرد از جمله قطر ریشه اصلی، طول ریشه اصلی، وزن خشک ریشه و وزن تر ریشه و حجم ریشه در محدوده مقادیر به‌دست آمده باشند. بنابراین با درنظر گرفتن فرضیات فوق یک هدف با درجه مقبولیت ۰/۶ به‌دست آمد. این هدف عملکرد ۱۱۷/۹ (گرم بر بوته) را در میزان شوری ۳ (دسی زیمنس برمتر) و میزان تخلیه رطوبت در دسترس ۶۳/۹ درصد نشان داد.. سایر مشخصات نقطه هدف مطابق جدول (۱۱) بوده و نقطه مذکور در شکل (۶) که تابع سه بعدی عملکرد بر اساس شاخص‌های درصد شوری و رژیم رطوبتی را نشان می‌دهد، مشخص شده است. در این حالت با وجود کاهش رطوبت در دسترس به میزان ۶۳/۹ درصد و میزان شوری ۳ (دسی زیمنس بر متر)، میزان کاهش عملکرد به میزان ۱۸ درصد نسبت به تیمار ۵۰ درصد تنش رطوبتی در شوری ۱/۵ (دسی زیمنس بر متر) شده است که نسبت به کاهش کمیت و کیفیت آب مورد استفاده در مناطق کم آب می تولند کارایی مصرف آب را افزایش دهد. شکل (۶) مختصات فضایی هدف مطلوب به‌دست آمده تحت برنامه‌ریزی مذکور را نشان می‌دهد.

جدول (۱۱): مشخصات نقطه بهینه عملکرد محصول در شرایط تنش رطوبتی و شوری

شماره	شوری (dsm^{-1})	درصد تنش رطوبتی (%)	عملکرد (gr)	قطر ریشه اصلی (cm)	وزن تر ریشه (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	حجم ریشه (cm^3)	مقدار مصرف آب (lit)	طول ریشه اصلی (cm)
۱	۳	۶۳/۹	۱۱۷/۹	۲/۳	۱۴/۴	۵/۱۱	۱۶	۷/۷۹	۳۵/۱۵



شکل(۶): مختصات نقطه بهینه بر سطح سه بعدی پاسخ مدل

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد با کاهش رطوبت در دسترس کلیه تیمارها با روند غیرخطی کاهش عملکرد همراه شدند، همچنین با افزایش تنش شوری تاثیر منفی آن بر عملکرد محصول در سطوح مختلف رطوبتی به صورت تابع درجه دو مشاهده گردید که می‌تولند با توجه به تاثیر متقابل این عوامل بر تولید محصول بهینه‌سازی شده و نسبت دقیق تنش شوری در شرایط رژیم رطوبتی مشخص گردد. بنابراین در این رابطه باید به این موضوع توجه داشت که استفاده از تنش رطوبتی برای افزایش کارایی مصرف آب، باید به گونه‌ای باشد که ابتدا نسبت مناسب آن برای هر گیاه تعیین شود. در این تحقیق مقدار بهینه شوری و تنش رطوبتی برای به دست آوردن بیشترین عملکرد، تحت برنامه‌ریزی بیشترین میزان تنش شوری و خشکی برای گوجه فرنگی در خاک لوم-رسی اعمال شد. میزان کفایت دقت مدل برابر۳۲/۳ برآورد گردیده است که با توجه به اینکه این عدد بیش از عدد چهار می‌باشد، لذا نشان‌دهنده دقت بالای مدل است. علاوه بر این، با توجه به آن‌که مقدار اختلاف ضریب تبیین پیش‌بینی شده با ضریب تبیین اصلاح شده مدل، کمتر از ۰/۲ است و مقادیر آن‌ها به یک نزدیک می‌باشد، این شاخص نیز نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل است. نتایج نشان داد از منظر تنش رطوبتی، تاثیر منفی تنش رطوبتی از محدوده ۵۰ درصد شروع می‌شود. که این موضوع نشان می‌دهد که تنش رطوبتی، می‌تواند در کنار کاهش مصرف آب، بهره‌وری مصرف آب را افزایش دهد. نتایج نشان داد که می‌توان با استفاده از آب آبیاری با شوری ۳ (دسی زیمنس بر متر) و تنش ۶۳ درصد ظرفیت زراعی، گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای را با ۱۸ درصد کاهش محصول نسبت به حالت بهینه تولید نمود که در شرایط کمبود آب و یا کیفیت نسبتا پایین آب از نظر شوری، نقطه بهینه‌ای را به‌دست آورد. همچنین رویه ی تابع عملکرد بر اساس تنش رطوبتی و شوری نشان داد که، تاثیر متقابل و منفی تنش شوری بر میزان عملکرد گوجه فرنگی گلخانه‌ای با کاهش رطوبت در دسترس در مقادیر بالای تنش رطوبتی و تنش شوری دیده می‌شود؛ به‌طوریکه فاصله خطوط هم‌میزان از یکدیگر با افزایش تنش شوری، افزایش یافت. علاوه بر این، نتایج نشان داد که به‌طور کلی تاثیر شوری بر پارامترهای مورفولیژیکی ریشه بیش از تاثیر تنش رطوبتی بر خصوصیات ریشه بوده و در واقع می‌توان گفت که شوری آب آبیاری مانع تغییرات مثبت شاخص‌های ریشه در راستای تامین آب مورد نیاز در شرایط کمبود آب، توسط گیاه گوجه فرنگی گلخانه‌ای می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شده است و از ایشان تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

آذرمی، ر. ترابی گیگلو، م. و حسینی، ی. ۱۳۹۸. تأثیر پایه های کدو و تنش آبی بر خصوصیات رشد و عملکرد گوجه فرنگی گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت های گلخانه ای, ۱۰(۱): ۴۷-۵۸.

بابازاده، ح. علیزاده، ح.ع. و سرائی‌تبریزی، م. ۱۳۹۵. توسعه مدل مفهومی تعدیل شده پاسخ گیاهان به تنش توأمان خشکی و شوری (مطالعه موردی گیاه ریحان)، تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۷(۲): ۲۹۲-۲۸۱.

پاکدل، پ. تهرانی‌فر، ع. نعمتی، س. ح. لکزیان، ا. و خرازی، س. م.۱۳۹۰. اثر چهار نوع خاکپوش چیپس چوب، کمپوست زباله شهری، خاک اره و سنگریزه در سه ضخامت مختلف بر رشد درخت چنار، نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۳):۲۹۶-۳۰۳.

قائمی، م. بخش کلارستاقی، ک. و نبوی کلات، سو. ۱۳۸۸. مقایسه چند بستر کاشت در خواص کمی گوجه فرنگی گلخانه ای رقم نگین در روش آبکشت. یافته های نوین کشاورزی, ۴(۱۴): ۱۵۷-۱۶۶.

حسینی، ی. بابازاده، ح. و خاکپورعربلو، ب.۱۳۹۴. ارزیابی توابع کاهش جذب آب گیاه فلفل در شرایط تنش هم‌زمان خشکی و شوری، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۹(۴): ۵۲۲-۵۰۹.

سپاسخواه، ع. توکلی، ع. و موسوی، س. ف. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم آبیاری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صفحه ۲۸۸.

سرائی‌تبریزی، م. بابازاده، ح. همایی، م. کاوه، ف. و پارسی‌نژاد، م. ۱۳۹۵. تعیین حد آستانه کاهش عملکرد ریحان و ارزیابی مدل‌های جذب آب تحت شرایط تنش شوری، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۰(۱): ۴۰-۳۰.

فعالیان، ا. انصاری، ح. کافی، م. علیزاده، ا. و مقدسی، م. ۱۳۹۴. اثر تنش‌های هم‌زمان شوری و خشکی بر عملکرد گوجه‌فرنگی در کشت بدون خاک، نشریه پژوهش آب در کشاورزی،۲۹(۴): ۴۶۳-۴۴۷.

همتیان دهکردی، م. و محمدی قهساره، ا. ۱۳۹۰. اثر نوع بستر کشت بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی در گوجه فرنگی گلخانه‌ای. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران. تبریز.

Ahmad, M.A.F., Maher, J.T. and Ibrahim, M. M. 2019. Evaluation of different soilless media on growth, quality, and yield of cucumber (Cucumis sativus L.) grown under greenhouse conditions. 13(08):1388-1401.

Assadian, F., Niazi, A. and Ramezani, M. 2020. Response Surface Modeling and Optimization of Effective Parameters for Zn(II) Removal from Aqueous Solution Using Gracilaria Corticata. Journal of Chemical Health Risks.10(31):213-224.

Asseng, A., Ritchia, J.T. and Smuchker, A.J.M. 1998. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. Plant Soil. 201: 265-273.

Dalvia, V.B., Tiwarib, K.N., Pawadea, M.N., and Phirkea, P.S. 1998. Response surface analysis of tomato production under micro irrigation. Agricultural Water Management, 41: 11-19.

Hee-Don, C., S.J. Youn and Y.J. Choi. 1997. Effect of rootstocks on yield, quality and components of tomato fruits. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38:603-607.

Homaee, M., Dirksen, C., and R.A. Feddes. 2002. Simulation of root water uptake. I. Non uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. Agricultural Water Management. 57: 89-109.

Jahan, M. and Amiri, M.B. 2018. Optimizing application rate of nitrogen, phosphorus and cattle manure in wheat production: An approach to determine optimum scenario using response-surface methodology. Journal of soil science and plant nutrition, 18(1): 13-26.

Ianne, G. S., Vieira, Reginaldo G., Nobre, Adaan S., Dias and Francisco, W., Pinheir. A. 2016. Cultivation of Cherry tomato under irrigation with saline water and nitrogen fortilization. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental :55-61.

Mahmoodi-Eshkaftaki, M. and Rafiee, M.R., 2020. Optimization of irrigation management: A multi-objective approach based on crop yield, growth, evapotranspiration, water use efficiency and soil salinity, Journal of Cleaner Production, 252:221-232.

Montgomery, D.C. and Myers, R.H. 1995. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments, Raymond H. Meyers and Douglas C. Montgomery, A Wiley-Inter Science Publications.856 p.

Mualem, Y. 1976. A new model predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Res. 12:513–522

Pedrosa, M.C., Lima, L., Heleno, S., Carocho, M., Ferreira, I.C.F.R., Barros, L. 2021. Optimization through Response Surface Methodology of Dynamic Maceration of Olive (Olea europaea L.) Leaves. Biol. Life Sci. Forum 6: 71-82.

Rahman, M. A., Smith, J. G., Stringer, P., and Ennos, A. R. 2011. Effect of rooting conditions on the growth and cooling ability of Pyrus calleryana. Urban Forestry & Urban Greening. 10. 185-192.

Raphael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A. and Colla, G. 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. Scientia Horticulturae, 127:172–179.

Rezaverdinezhad, V., Shabanian, M., Besharat, S. and Hasani, A. 2017. Determination of crop water requirement, crop coefficient and water use efficiency of greenhouse-grown cucumber and tomato (Case study: Urmia region). Journal of Science & Technolgy Greenhouse Culture, 8(3):27-40.

Ruiz, J.M., A. Belakbir, A. Lopez-Cantarero and L. Romero. 1997. Leaf-macronutrient content and yield in grafted melon plants: A model to evaluate the influence of rootstock genotype. Sci. Hort. 71:227–234.

Soltani, M. and Soltani, J. 2016. Determination of Optimal Combination of Applied Water and Nitrogen for Potato Yield Using Response Surface Methodology (RSM). Biosc.Biotech.Res.Comm. 9(1): 46-54

Van Genuchten, M.Th. and Hoffman, G. J. 1984. Analysis of crop salt tolerance date. P. 258-271. In I. Shainberg and J. shalhevet (ed.) Soil salinity under irrigation process and management. Ecol. Stud. 51.Springer-Verlag, New York.

Wang, Z., Liu, Z., Zhang, Z. and Liu, X. 2009. Subsurface drip irrigation scheduling for cucumber (Cucumis sativus L.) grown in solar greenhouse based on 20cm standard pan evaporation in Northeast China. Scientia Horticulture, 123 (1): 51–57.

Wang., Yun, J., Shi, P., Li, Zh., Li, Peng., Xing, Y. 2019. Root Growth, Fruit Yield and Water Use Efficiency of Greenhouse Grown Tomato Under Different Irrigation Regimes and Nitrogen Levels. Journal of Plant Growth Regulation 38(2): 400-415.

Effect of water and Salinity Stress on Root Morphological Characteristics and Tomato Yield and Determination of Optimum Yield Point Using Response Surface Methodology (RSM)

Yaser Hoseini[1]

Abstract

In order to model the effect of salinity stress on the yield of greenhouse tomato under moisture regimes conditions, an experiment was conducted in a completely randomized block design with three replications. Treatments included salinity stress at levels 1.5, 2.5, 4, 7 (dsm-1). and amount of water stress at three levels of 50, 60 and 70% of field capacity. Using a response surface method, the results showed that the best yield model based on the variables of salinity stress and moisture level is the second degree model with a regression coefficient of 0.93., The highest yield, assuming the least available moisture and the highest salinity stress, was 117.9 (gr per plant) with a degree of desirability of 0.6, in 3 (dsm-1) of salinity and 63.6% depletion of field capacity. Other root indices had an increasing trend, except for the main root length, with decrease available water and also in a specific moisture regime with increasing the amount of salinity. Also, a decreasing trend of yield in each of the moisture regimes treatments was observed with increasing the amount of salinity. Considering the nonlinear effect of changes in moisture regime and salinity greenhouse tomato yield, in order to achieve the best yield, salinity stress should be determined first for each plants.

Key words: Moisture regimes, Yield, Root morphological characteristics.

1 -Associate Professor of Moghan College of Agriculture and Natural resources - University of Mohaghegh Ardabili - Ardabil – Iran.y_hoseini@uma.ac.ir