

Extended Abstract

Research Paper

Evaluation of SALTMED Model in Estimating Water Consumption Efficiency of Greenhouse Cucumbers of Sawdust Mixing Treatments under Moisture Stress Conditions

Yaser Hoseini^{1*}

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

[10.22125/IWE.2023.381291.1699](https://doi.org/10.22125/IWE.2023.381291.1699)

Received:
May 1, 2023
Accepted:
August 19, 2023
Available online:
December 30, 2023

Keywords:
Moisture stress, Water consumption efficiency, SALTMED model, Greenhouse cucumber, Sawdust.

Abstract

Evaluation of simulation models of plant water absorption, it is important because these models can estimate the amount of water absorption by the roots in the conditions of moisture stress, and as a result, the yield of the product and the water consumption efficiency can be predicted using these models. Cucumber (*Cucumis sativus* L) is one of the most important greenhouse products in Iran and the world, which is very sensitive to soil moisture changes. In order to model the effect of mixing soil with sawdust on the yield of greenhouse cucumber under moisture stress conditions, an experiment was conducted in the form of a completely randomized block design with three replications. The treatments included no sawdust (S_0) and a combination of 5 (S_1), 10 (S_2), 20 (S_3) percent of sawdust, and the moisture stresses were considered at the level of no stress (I_1), 45 (I_2) and 65 (I_3) percent of field capacity depletion. Using the SALTMED model, the results showed that the water consumption efficiency results for the treatment I_1S_4 , I_1S_3 , I_1S_2 , I_1S_1 were estimated as 22, 13.6, 14.8 and 14.8 (kg m^{-3}), respectively, and the greenhouse results of these treatments were estimated as 25, 13.5, 15.2 and 15.3 (kg m^{-3}).

* Corresponding Author: Yaser Hoseini

Address: Moghan College of Agriculture and Natural resources - University of Mohaghegh Ardabili - Ardabil – Iran,

Email: y_hoseini@uma.ac.ir
Tel: 09163069199

1. Introduction

The use of models that estimate the performance of crops during the growth period is used as a tool for managing water resources (Cakir et al., 2017). Numerous models for plant growth indicators are presented, in these models the relationships between water-soil-plant are used for modeling (Kaya et al., 2015). Using these models requires evaluating them in real conditions and calibrating them in field conditions (Noshadi et al., 2020). Accurate crop forecasting using different models under salinity stress conditions can make optimal use of the country's water resources and increase water consumption. In this research, the ability of the SALTMED model to estimate the water consumption efficiency of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L) in a mixture of sawdust and soil, under moisture stress conditions was investigated.

2. Methodology

The experiment was conducted in the form of a completely randomized block design with 3 replications. The treatments included the control treatment without sawdust and the combination of 5, 10, 20, 40% sawdust, and the drought stress levels were 45%, 65% of the field capacity and the level without stress.

3. Results

The results showed that in the treatments exposed to water stress and in the I_2S_4 , I_2S_3 , I_2S_2 , I_2S_1 treatments, the water consumption efficiency calculated by the model was estimated as 32, 22, 29 and 28 (kgm^{-3}), respectively, and the greenhouse results of these treatments were equal to 29, 23, 19 and 22.5 (kgm^{-3}). The results showed that the prediction accuracy of the model in the treatment of 5(%) sawdust is more accurate than other treatments. In treatments I_3S_4 , I_3S_3 , I_3S_2 , I_3S_1 the water consumption efficiency was calculated by the model were equal to 32, 29, 15 and 23 (kg m^{-3}), respectively, and the greenhouse results of these treatments were 33, 23, 11.4 and 13 (kg m^{-3}), respectively. Evaluation of the model using root mean square error (RMSE), relative error percentage (ϵ), mean absolute error (MAE), Goodness of Fit (R^2), Efficient of Residual Mass (CRM) and Model Efficiency (EF) were calculated as 5, 20.7, 3.7, 0.64, -0.117, and -0.24, respectively. It showed that the SALTMED model can accurately estimate the water consumption efficiency of greenhouse cucumber under conditions of moisture stress and sawdust mixing. Also, the amount of underestimation or overestimation of the yield by the model was different depending on the percentage of sawdust mixing and the percentage of moisture discharge. So that the maximum agreement between the results of the model and the experiment was calculated in the mixing of 5%, with a difference of 1.2 (%). After that, the mixing ratios of 0, 20 and 10 (%) were set respectively. Therefore, it can be concluded that the SALTMED model can evaluate the water consumption efficiency of cucumber under the conditions of sawdust mixing and moisture stress with high accuracy.

4. Discussion and Conclusion

the results showed that the use of sawdust can increase the efficiency of water consumption. It should be noted that in all treatments, the decreasing trend of water consumption efficiency was observed in different treatments of sawdust up to low amounts of sawdust (10% of sawdust). And then by increasing the amount of sawdust, the trend of increasing water consumption efficiency was seen up to the treatment of 20 (%) of sawdust, the effect of the amount of sawdust on the efficiency of water consumption in treatment of 65 (%) of the yield capacity was clearly observed, so that the lowest efficiency of water consumption was calculated for treatment of 65 (%) depletion of field capacity and 5 (%) of sawdust, which was equal to 11.8 (kgm^{-3}) and the highest water consumption efficiency was obtained for the same treatment and 20 (%) of sawdust equal to 32 (kgm^{-3}). This shows that determining the exact amount of different additives, such as sawdust, even in the same moisture stress, has an important effect on the water consumption efficiency of agricultural products (Noshadi et al., 2009). The results showed that by using the appropriate ratio of sawdust and soil in the production of greenhouse products, in addition to increasing the yield of the product, it is possible to increase the efficiency of water consumption and optimize water consumption in water stress conditions (Abdelraouf et al, 2020., 2021)

5. The most important references

- 1) Abdelraouf, R. E., Ghanem, H. G., Bukhari, N.A., and M. El-Zaidy. 2020. Field and modeling study on manual and automatic irrigation scheduling under deficit irrigation of greenhouse cucumber. *Sustainability*, 12(23): 98-109.
- 2) Abdelraouf, R. E., El-Shawadfy, M. A., Dewedar, O. M., and M. Hozayn. 2021. Field and modelling study for deficit irrigation strategy on roots volume and water productivity of wheat. *Journal of Water and Land Development*, 49(4-6): 129-138.
- 3) . Cakir, R., Cebib, U.K., Altintasc, S. and Ozdemirba, A., 2017. Irrigation scheduling and water use efficiency of cucumber grown as aspring-summer cycle crop in solar greenhouse. *Agricultural Water Management*, 180, pp. 78–87.
- 4) Kaya, C.I., Yazar, A., and S. Metin Sezen. 2015. SALTMED model performance on simulation of soil moisture and crop yield for Quinoa irrigated using different irrigation systems, irrigation strategies and water qualities in Turkey. *Agriculture and Agricultural Science Journal*, 4:108-118.
- 5). Noshadi, M., Fahandej-Saadi, S. and A.R. Sepaskhah. 2020. Application of SALTMED and HYDRUS-1D models for simulations of soil water content and soil salinity in controlled groundwater depth. *Journal of Arid Land*, 12: 447-461.
- 6) 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), pp. 51–57.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

ارزیابی مدل SALTMED در برآورد بهره‌وری مصرف آب خیار گلخانه‌ای تیمارهای اختلاط خاک‌اره، تحت شرایط تنش‌رطوبتی

یاسر حسینی^۱

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸

مقاله پژوهشی

چکیده

خیار (*Cucumis sativus L*) یکی از مهمترین تولیدات گلخانه‌ای در ایران و جهان محسوب می‌شود که به تغییرات رطوبت خاک بسیار حساس است. به منظور مدل‌سازی بهره‌وری مصرف آب خیار گلخانه‌ای در شرایط رژیم رطوبتی در تیمارهای مختلف اختلاط خاک با خاک‌اره، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل تیمار بدون خاک‌اره (S_0) و ترکیب اختلاط ۵ (S_1)، ۱۰ (S_2) و ۲۰ (S_3) درصد خاک‌اره بود و تنش‌های رطوبتی در سطوح تخلیه رطوبتی، بدون تنش (I_1)، ۴۵ (I_2) و ۶۵ (I_3) درصد ظرفیت زراعی منظور گردید. نتایج نشان داد، با استفاده از مدل SALTMED، برای تیمارهای I_1S_1 ، I_1S_2 ، I_1S_3 ، I_1S_4 و I_2S_1 بهره‌وری مصرف آب، به ترتیب برابر ۲۲، ۱۴/۸، ۱۳/۶، ۱۴/۸ و $(kg\ m^{-3})$ بود و نتایج گلخانه‌ای این تیمارها برابر ۲۵، ۱۳/۵، ۱۵/۲ و $(kg\ m^{-3})$ برآورد گردید. همچنین در تیمارهای در معرض تنش‌رطوبتی و در تیمارهای I_2S_1 ، I_2S_2 ، I_2S_3 ، I_2S_4 بهره‌وری مصرف آب محاسبه شده توسط مدل، به ترتیب برابر ۳۲، ۲۲، ۲۹ و $(kg\ m^{-3})$ محاسبه گردید و نتایج گلخانه‌ای این تیمارها، برابر ۲۹، ۲۳، ۱۹ و $(kg\ m^{-3})$ بود، نتایج نشان داد که دقت پیش‌بینی مدل در تیمار ۵ (درصد) خاک‌اره، نسبت به سایر تیمارهای خاک‌اره از دقت بیش‌تری برخوردار است. در تیمارهای I_3S_1 و I_3S_2 ، I_3S_3 ، I_3S_4 نیز بهره‌وری مصرف آب محاسبه شده توسط مدل، به ترتیب برابر ۳۲، ۲۹، ۱۵ و $(kg\ m^{-3})$ برآورد گردید و نتایج گلخانه‌ای این تیمارها به ترتیب برابر ۳۳، ۲۳، ۱۱/۴ و $(kg\ m^{-3})$ بود. ارزیابی مدل با استفاده از آماره‌های ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد خطای نسبی (ϵ)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب باقیمانده جرم (CRM) و بهره‌وری مدل (EF) که مقادیر آنها به ترتیب برابر ۵، ۲۰/۷، ۳/۷، ۰/۶۴، -۰/۱۱۷، -۰/۲۴- محاسبه گردید، نتایج نشان داد مدل SALTMED می‌تواند مقدار بهره‌وری مصرف آب خیار گلخانه‌ای را در شرایط تنش‌رطوبتی و اختلاط خاک‌اره، با دقت مناسبی، برآورد نماید.

واژه‌های کلیدی: تنش‌رطوبتی، بهره‌وری مصرف آب، مدل SALTMED، خاک‌اره، خیار گلخانه‌ای.

مقدمه

با توجه به آنکه شرایط محیطی یکی از عوامل مهم در تعیین میزان عملکرد می‌باشد، لذا مدل‌های زیادی برای پیش‌بینی شرایط رشد محصول با در نظر گرفتن عوامل مختلف موثر بر رشد گیاه ارائه شده است، از جمله این مدل‌ها، مدل‌های یک‌بعدی (1975) Bresler و (1992) Vogel and Hopmans و همچنین مدل‌های جذب رطوبتی (1992) Cardon, and Letey می‌باشند که هر یک، جنبه‌ای از مسائل آب و خاک را بررسی نموده و مدل می‌نمایند. لذا ایجاد مدلی که هم بتواند انواع گیاهان زراعی را در نظر گرفته و هم جنبه‌های مختلف مدیریتی را در نظر بگیرد لازم به نظر می‌رسد. مدیریت مناسب و پایدار منابع آب و خاک، بستگی زیادی به توانایی پیش‌بینی اثرات تنش‌ها و شرایط مختلف بر روی گیاهان دارد. لذا استفاده از این مدل‌ها، مستلزم ارزیابی آن‌ها در شرایط واقعی و کالیبره کردن آن‌ها در شرایط مزرعه می‌باشد. کالیبره نبودن روابط موجود در این مدل‌ها با شرایط ایران سبب می‌شود که این مدل‌ها عملکرد محصولات را کم‌تر یا بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد نمایند. بنابراین، لازم است هر از این مدل‌ها در مناطق مختلف کشور قبل از آنکه به عنوان ابزار جهت مدیریت و تخصیص آب در هر منطقه قرارگیرد، مورد ارزیابی قرارگیرند. مدل SALT MED نمونه‌ای از مدل‌هایی است که پارامترهای مختلف موثر بر رشد و نمو محصول را در نظر گرفته و تاثیر آن را بر عملکرد محصول مدل می‌نماید. حسینی و همکاران (۱۳۸۵) عوامل مختلف از جمله شوری آب و نوع آبیاری را در برداشت محصول با استفاده از این مدل بررسی نمودند، در تحقیق ایشان مدل به خوبی افزایش محصول را در شرایط آبیاری قطره‌ای و همچنین کیفیت مناسب آب آبیاری نشان داد، همچنین نتایج نشان داد انتخاب صحیح نوع آبیاری در شرایط برابر از نظر مقدار شوری آب آبیاری، عملکردهای متفاوتی را خواهد داشت. همچنین مدل به خوبی کاهش محصول را با افزایش شوری آب آبیاری مدل نمود. (2012) Hirich با در نظر گرفتن شش رژیم رطوبتی برای ذرت و بررسی عملکرد این محصول و بررسی میزان رطوبت محیط ریشه در دوره رشد محصول مشاهده نمود که مقدار

رطوبت مشاهده شده در تمام فصل رشد بیش‌تر از رطوبت نشان داده شده توسط مدل SALT MED می‌باشد. در ارتباط با استفاده از افزودنی‌هایی مانند خاکاره، برای بهبود شرایط خاک نیز تحقیقاتی صورت گرفته است لیکن، استفاده از بقایای باغی در اصلاح خاک در ایران کمتر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. (De Vries et al (2012) بیان نمودند که بقایای باغی در خاک می‌تواند باعث ایجاد حالت بافوری در خاک شده و تنش‌های دمایی را در گیاه کاهش دهد و باعث افزایش فعالیت‌های بیولوژی و افزایش عملکرد گیاه شود. (2019) Osundare et al در تحقیق خود تاثیر مقادیر مختلف خاکاره را بر میزان عملکرد خیار گلخانه‌ای مورد بررسی قرار دادند، نتایج تحقیق ایشان نشان داد که پلات‌های حاوی ۵ کیلوگرم خاکاره در مساحت 4×4 (متر مربع) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد در واحد سطح می‌گردد. در تحقیقی که توسط (2015) Li and Yingzhong انجام شد، تیمارهای حاوی بقایای باغی باعث افزایش محتوای کربن خاک در طی دو سال گردید و افزایش قابل ملاحظه‌ای را از نظر محتوای کربن خاک نشان داد. در رابطه با تاثیر کم آبیاری و شوری بر میزان عملکرد محصولات نیز مطالعات چندی صورت گرفته است که اغلب مطالعات انجام‌شده، کاهش عملکرد خیار گلخانه‌ای را نسبت به کم‌آبیاری و تنش‌آبی گزارش نموده‌اند. حسینی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی مدل SALT MED جهت استفاده از آب‌های شور در آبیاری قطره‌ای به این نتیجه رسیدند که استفاده از آب شور جهت آبیاری نیاز به انتخاب گیاهان مقاوم به شوری و مدیریت درست آب دارد و همانطور که نتایج برنامه نشان داد انتخاب صحیح نوع گیاه در شرایط برابر از نظر خاک و نوع آبیاری، عملکردهای متفاوتی را دربر خواهد داشت. (2013) Alomran et al در مطالعه‌ای، تنش رطوبتی را به‌میزان ۴۰، ۶۰، ۸۰ درصد تبخیر و تعرق مورد نیاز گیاه بر خیار گلخانه‌ای اعمال نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش تنش رطوبتی، شوری خاک افزایش می‌یابد و بیش‌ترین نسبت تولید به‌ازای واحد آب مصرفی، در تیمار ۴۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه به‌دست می‌آید. همچنین (2009) Amer et al نشان دادند که عملکرد



توجه قرار گرفته است، لذا با توجه به اینکه امروزه از مواد افزودنی برای اصلاح خاکها بیش تر استفاده می شود، لذا، لزوم بررسی مدل های شبیه ساز عملکرد محصول در شرایط تغییرات بستر کشت، برای پیش بینی و مدیریت بهینه منابع آبی، لازم به نظر می رسد. لذا هدف از این تحقیق برآورد و ارزیابی مدل مذکور، در شرایط تنش رطوبتی و ماده افزودنی خاکاره، به منظور بررسی تغییرات ظرفیت نگه داری آب در خاک و تاثیر آن بر عملکرد گیاه می باشد.

مواد و روش ها

ویژگی های محل اجرای پژوهش

این تحقیق در شهرستان پارس آباد استان اردبیل در سال ۱۴۰۱ انجام شده است. خاک مورد استفاده برای کشت از زمین زراعی موجود در محوطه دانشکده کشاورزی مغان انتخاب گردید که برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول (۱) نشان داده شده است. بافت خاک منطقه جزء خاک های ریزبافت طبقه بندی می گردد. چگالی ظاهری خاک که در حدود $1/56 \text{ (g.cm}^{-3}\text{)}$ تعیین شد که در محدوده متوسط از نظر چگالی ظاهری خاک قرار دارد و در زمره خاک های رسی و لوم سیلتی شخم خورده می باشد. از نظر میزان درصد آهک خاک، خاک مورد آزمایش، جزو خاک های آهکی طبقه بندی نمی شود، زیرا درصد آهک آن کم تر از ۱۰ (درصد) می باشد. از نظر pH، خاک مورد آزمایش در محدوده قلیایی کم قرار گرفته و از نظر میزان فسفر خاک نیز میزان آن با توجه به مطالعات نوایی و همکاران (۱۳۷۷)، در شرایط متوسط قرار دارد. این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی مغان انجام گرفت. عامل اصلی شامل تنش های رطوبتی در دو سطح تخلیه ۶۵ و ۴۵ (درصد) ظرفیت زراعی و تیمار شاهد بدون اعمال تنش بود و فاکتور فرعی شامل سه سطح خاکاره، در سطوح ۲۰، ۱۰، ۵ درصد حجمی گلدان مورد آزمایش و تیمار شاهد بدون خاکاره بود. برای اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع تیمارهای مختلف خاکاره، جهت ورود به عنوان داده ورودی در مدل SALT MED از دستگاه اندازه گیری هدایت هیدرولیکی بار افتان استفاده شد و برای تعیین منحنی خصوصیات رطوبتی خاک، نمونه هایی از خاک

خيار گلخانه ای با افزایش تنش رطوبتی به صورت خطی کاهش می یابد. حسینی و مارالیان (۱۳۹۱) در پژوهشی به ارزیابی مدل SALT MED در برآورد میزان عملکرد محصول گندم در منطقه مغان پرداختند. ایشان عملکرد محصول را در شرایط بهینه با عملکرد برآورد شده توسط مدل مقایسه کردند. نتایج نشان داد که در مراحل اولیه رشد گیاه تا مرحله میانی مدل به خوبی دوره رشد گیاه را پیش بینی می نماید، ولی در مراحل پایانی رشد، میزان عملکرد پیش بینی شده در مدل، کمتر از مقدار واقعی برآورد می گردد، به طوریکه مدل میزان عملکرد محصول را بیست درصد کم تر از مقدار واقعی برآورد نمود. خالوندی و همکاران (۱۳۹۵) مدل SALT MED را در شبیه سازی عملکرد و توزیع رطوبت تحت کشت ذرت و با آبیاری با آب شور ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، در پیش بینی مقدار رطوبت خاک مدل در عمق ۶۰-۹۰ (سانتی متری)، بیش ترین دقت و در عمق ۱۲۰-۹۰ (سانتی متری) خاک، کمترین دقت را داشت. همچنین با افزایش شوری آب آبیاری دقت مدل در شبیه سازی رطوبت خاک افزایش یافت. کمالی و همکاران (۱۴۰۰) مدل SALT MED را در برآورد عملکرد گندم در شرایط تنش شوری و رطوبتی در منطقه بیرجند، مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل قادر است میزان عملکرد را با ضریب تبیین ۰/۹۹ برآورد نماید و علاوه بر آن تغییرات افقی و عمودی رطوبت و شوری خاک را با دقت بالایی مدل سازی نماید. Abdelraouf et al (2020) مدل SALT MED را در شرایط گلخانه و کشت خیار گلخانه ای مورد مطالعه قرار دادند، نتایج ایشان نشان داد که این مدل می تواند مقدار محصول، جذب نیتروژن، بهره وری آب و رطوبت خاک را با ضریب تبیین ۰/۸۸ تا ۰/۹۷ درصد برآورد نماید. در تحقیق دیگری (Abdelraouf et al (2021)، این مدل را در شبیه سازی محصول گندم در شرایط استفاده از آبیاری بارانی مورد ارزیابی قرار دادند و برای میزان محصول، راندمان کاربرد آب و رطوبت خاک، ضریب تبیین ۰/۹۲ تا ۰/۹۸ را برآورد نمودند که نشان دهنده دقت بالای این مدل در شبیه سازی بود. با توجه به مطالب بیان شده مشخص است که اکثر مدلسازی ها در شرایط تنش های رطوبتی یا شوری انجام شده و تغییرات بستر محصولات کمتر مورد

بوده و m و n پارامترهای تجربی معادله می‌باشد. با استفاده از منحنی رطوبتی خاک، رطوبت معادل دو سطح تنش‌های تخلیه رطوبتی شامل ۶۵ و ۴۵ درصد رطوبت در دسترس تعیین گردید. سپس از دستگاه رطوبت‌سنج TDR-100 جهت تعیین رطوبت روزانه و زمان آبیاری استفاده شد. رطوبت گلدان‌ها به‌صورت روزانه به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج اندازه‌گیری شد و این اندازه‌گیری‌ها تا زمانی که رطوبت حجمی باقی‌مانده در گلدان‌ها به اعداد مربوط به تنش‌های تخلیه رطوبتی ۴۵ و ۶۵ درصد رطوبت در دسترس برسد، ادامه می‌یافت و زمانی که دستگاه اعداد مربوط به این نقاط می‌رسید، آبیاری انجام می‌گرفت.

مورد نظر انتخاب و با استفاده از دستگاه صفحات فشاری، درصدهای رطوبت وزنی در فشارهای ۰/۳، -۵، -۱۰، -۱۵ (bar) تعیین گردید. سپس پارامترهای معادله منحنی مشخصه خاک مطابق مدل وان‌گنوختن - معلم (۱۹۸۷) برای درصدهای مختلف خاکاره تعیین شد (جدول (۲)). مدل وان‌گنوختن - معلم (۱۹۸۷) مطابق رابطه زیر می‌باشد.

$$\theta_h = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \times [1 + (\alpha h)^n]^{-m} \quad (1)$$

در این رابطه θ_s و θ_r به ترتیب مقادیر رطوبت اشباع و باقی‌مانده بر حسب $(\text{cm}^3.\text{cm}^{-3})$ ، مقدار مکش بر حسب (cm)، α معادل عکس پتانسیل در نقطه ورود هوا

جدول (۱): خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های منطقه مورد استفاده برای آزمایشات

فسفر (ppm)	ماسه (%)	رس (%)	سیلت (%)	چگالی حقیقی (g.cm ⁻³)	چگالی ظاهری (g.cm ⁻³)	هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (%)	pH	درصد آهک TNV%	بافت
8.43	70	20	10	2.25	1.56	1.1	1.05	7.76	7.64	لوم، رس، شنی

جدول (۲): پارامترهای منحنی رطوبتی خاک در درصدهای مختلف خاکاره

KS (cm.day ⁻¹)	m	n	α (cm ⁻¹)	θ_s (cm ³ .cm ⁻³)	θ_r (cm ³ .cm ⁻³)	تیمار خاکاره
31.4	0.22	1.48	0.05	0.51	0.18	صفر درصد خاکاره
21.78	0.26	1.35	0.028	0.7	0.19	پنج درصد خاکاره
21	0.22	1.3	0.02	0.71	0.2	ده درصد خاکاره
19	0.26	1.35	0.02	0.75	0.227	بیست درصد خاکاره

عملکرد محصول و آب است که در ادامه برخی از فرآیندها به طور مختصر توضیح داده می‌شود.

- تبخیر و تعرق

تبخیر و تعرق در مدل SALTMED از روش Pen-mon و براساس رابطه اصلاح شده FAO-56 محاسبه می‌شود

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \left[\frac{890}{(T + 273)} \right] U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (2)$$

توابع مربوط به مدل SALTMED

مدل مدیریتی SALTMED می‌تواند سیستم‌های مختلف آبیاری، خاک‌های گوناگون، طبقات خاک، گیاهان و درختان مختلف و استراتژی‌های متفاوت مدیریت آب، نیاز آبخشویی و کیفیت‌های مختلف آب آبیاری را مورد توجه قرار دهد. معادلات اساسی این مدل شامل فرآیندهای تبخیر و تعرق، برداشت آب توسط ریشه گیاه، انتقال آب و املاح در سیستم‌های مختلف آبیاری، زهکشی و رابطه بین

در این رابطه: $S_{max}(t)$ پتانسیل جذب ریشه در زمان t و $\lambda(z)$ نسبت توده ریشه وابسته به زمان، Z عمق عمودی به سمت پایین است. L بیشترین عمق ریشه دوانی، h پتانسیل ماتریک، π پتانسیل اسمزی، $\pi_{50}(t)$ میزان فشار اسمزی است در زمانی که $S_{max}(t)$ پنجاه درصد کاهش می‌یابد و $a(t)$ ثابت وزنی است که واکنش مختلف گیاه را در مقابل پتانسیل ماتریک و اسمزی مختلف محاسبه می‌کند، که برابر است با $h_{50}(t) / \pi_{50}(t)$ ، پتانسیل اسمزی در زمانی است که $S_{max}(t)$ پنجاه درصد کاهش می‌یابد. مقدار $S_{max}(t)$ (بیشترین جذب آب) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{max}(t) = ET_o * K_{cb} \quad (۶)$$

- تعیین بهره‌وری آب

برای محاسبه بهره‌وری آب از معادله پیشنهادی فائو (۳۳) استفاده شد (دورنبوت و کسام، ۱۹۷۹):

$$WP = \frac{Y}{ET} \times 100 \quad (۷)$$

که WP : بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب آب، Y : عملکرد بر حسب تن بر هکتار و ET : تبخیر و تعرق گیاه بر حسب میلی‌متر می‌باشد

- معیارهای ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل با استفاده از آماره‌های ریشه‌ی میانگین مربعات خطا ($RMSE^1$)، درصد خطای نسبی (ϵ^2)، میانگین خطای مطلق (MAE^3)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب باقیمانده جرم (CRM^5) و بهره‌وری مدل (EF^6) استفاده گردید. بهترین پیش‌بینی‌ها زمانی رخ می‌دهد که آماره‌های $RMSE$ ، ME ، ϵ و CRM به صفر و EF و R^2 به یک میل نمایند. روابط (۱۰) الی (۱۵) معادلات آماره‌های مذکور را نشان می‌دهند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - P_i)^2} \quad (۸)$$

که در آن ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)، R_n تابش خالص (MJm^2day^{-1})، G گرمای خالص بر حسب میانگین دمای روزانه در ارتفاع ۲ متری (Mg/M^2day)، T شیب فشار بخار اشباع ($KpaC^{-1}$)، Δ گاما ثابت سایکرومتری ($66 pa C^{-1}$)، e_s فشار بخار اشباع در دمای هوا (Kpa)، e_a فشار بخار غالب (Kpa)، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (ms^{-1}) است.

- پارامترهای هدایت هیدرولیکی خاک

برای حل کردن معادلات انتقال آب و املاح نیاز به دو رابطه آب خاک به نام‌های روابط پتانسیل رطوبت یا آب خاک و پتانسیل هدایت هیدرولیکی آب خاک دارد. این روابط توسط ون گنوختن در سال ۱۹۸۰ به صورت زیر بیان شده است.

$$\theta(h) = \theta_r + \left[\frac{(\theta_s - \theta_r)}{(1 + |\alpha h|^n)^m} \right] \quad (۳)$$

$$K(h) = K_s K_r(h) = K_s Se^{0.5} [1 - (1 - Se^{1/m})^m]^2 \quad (۴)$$

که θ_s و θ_r : به ترتیب رطوبت باقیمانده و اشباع خاک، K_s و K_r به ترتیب هدایت هیدرولیکی اشباع و نسبی، α و n پارامترهای شکل (پارامترهای تجربی)، $m = 1 - 1/n$ و Se رطوبت حجمی اشباع موثر هستند.

- نسبت جذب رطوبت واقعی

مقدار جذب رطوبت واقعی توسط دانشمندان مختلفی برآورد گردیده است از جمله Simbnek and Suarez (1996)، همچنین تابع جذب رطوبتی که در مدل SALTMED استفاده شده است توسط کاردون و لتلی (۱۹۹۲) ارائه شده است که در رابطه (۵) ارائه گردیده است.

$$S(z, t)(d^{-1}) = \left[\frac{S_{max}(t)}{1 + \left(\frac{a(t)h + \pi}{\pi_{50}(t)} \right)^3} \right] \lambda(z, t) \quad (۵)$$

$$\lambda(z) = \begin{cases} 0 & z > L \\ 25/15L * (1 - z/L) & 0.2L < z \leq L \\ 5/3 L & z \leq 0.21 \end{cases}$$

۴۵ درصد، میزان عملکرد نسبت به رژیم رطوبتی ۶۵ (درصد) تفاوت معنی‌داری داشت و کاهش عملکرد در این تیمارها نسبت به تیمارهای ۱۰، ۲۰ (درصد) خاکاره بیش‌تر مشهود بود. این موضوع نشان می‌دهد که تاثیر مثبت خاکاره در جلوگیری از کاهش عملکرد محصول در تیمارهای با رطوبت در دسترس کم‌تر، موثرتر است. علاوه بر این تاثیر متفاوت میزان خاکاره در سطوح رطوبتی، نشان‌گر آنست که تعیین درصد بهینه خاکاره برای اختلاط با خاک بسیار مهم می‌باشد (Al-Debei et al, Raphael et al (2010)). در تحقیقی که توسط (2012) انجام شد، افزایش مقاومت نسبت به تنش رطوبتی در رابطه با تولید محصول، به افزایش پارامترهای جذب ریشه در جذب رطوبت ارتباط داده شده است. در اشکال (۱) تا (۳) نتایج پیش‌بینی عملکرد خیار گلخانه‌ای با استفاده از مدل SALTMED برای تیمارهای ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد خاکاره و بدون تنش رطوبتی نشان داده شده است، در شکل (۱) تغییرات رطوبت در عمق خاک، در انتهای دوره کشت نشان داده شده است و همچنین تغییرات شوری در عمق خاک، در انتهای دوره کشت تیمار صفر درصد خاکاره نشان داده شده است. بررسی پروفیل تغییرات افقی و عمودی رطوبت در انتهای دوره کشت، نشان می‌دهد که توزیع رطوبت در انتهای دوره رشد خیار گلخانه‌ای، تا عمق ۱۵ سانتی‌متری در حد ظرفیت زراعی بوده و پس از آن روند کاهشی دارد و رطوبت خاک تا عمق یک متری، کاهش می‌یابد. اما با در نظر گرفتن ابعاد گلدان‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌تر حجم خاک در اواخر دوره کشت در محدوده رطوبتی ظرفیت زراعی قرار می‌گیرد. همان‌طور که در شکل (۱) مشخص است، توزیع افقی رطوبت در خاک در این تیمار در راستای عرضی، به صورت یکنواخت انجام شده است. همان‌طور که در شکل (۱) مشخص است، توزیع املاح در عمق خاک روند یکنواختی داشته، به‌طوری که بیش‌ترین شوری به‌دست آمده برای عمق ۲۵ سانتی‌متری خاک می‌باشد و یک روند کاهشی از این نقطه در جهت بالا و پایین پروفیل خاک دیده می‌شود. مقدار حداکثر شوری خاک در این منطقه در محدوده ۳/۹ (دسی‌زیمنس بر متر) قرار می

$$\varepsilon = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_i - P_i}{Q_i} \right| \quad (9)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_i - P_i| \quad (10)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(Q_i - \bar{Q}) \right]^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (11)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (12)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i - \sum_{i=1}^N P_i}{\sum_{i=1}^N Q_i} \quad (13)$$

در روابط فوق، N: تعداد نمونه، P_i : مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، Q_i : مقادیر واقعی، \bar{P} : میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، \bar{Q} : میانگین مقادیر واقعی می‌باشد.

نتایج و بحث

همان‌طور که در جدول (۳) مشخص است، کاهش منطقی میزان عملکرد در تیمار شاهد بدون خاکاره با کاهش رطوبت در دسترس مشاهده می‌شود؛ به‌طوریکه با کاهش رطوبت در دسترس از صفر درصد ظرفیت زراعی به ۶۵ درصد ظرفیت زراعی در تیمار بدون خاکاره، میزان عملکرد تقریباً ۶۳ درصد کاهش یافت. میزان کاهش عملکرد محاسبه شده توسط مدل نیز در این تیمار معادل ۵۱ درصد می‌باشد، این درحالیست که در تیمارهای ۱۰ و ۲۰ (درصد) با کاهش رطوبت در دسترس، میزان کاهش عملکرد، ۴۰ و ۴۳ (درصد) می‌شود و در این تیمارها نیز میزان کاهش عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل به ترتیب برابر ۳۳ و ۴۲ (درصد) برآورد گردید. نتایج نشان می‌دهد در تیمارهای ۲۰ و ۵ (درصد) خاکاره، پیش‌بینی کاهش عملکرد مدل و گلخانه کم‌تر از ۳ (درصد) است که نشان‌دهنده دقت پیش‌بینی مدل در این تیمارها می‌باشد و با تحقیقات حسنی و همکاران (۱۳۹۴) و کایا و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد، در تحقیق ایشان نیز مدل SALTMED میزان عملکرد را در شرایط تنش، با دقت مناسبی برآورد نمود. در تیمارهای شاهد، در رژیم رطوبتی



این برآورد، برابر مقادیر به‌دست آمده از آزمایش گلخانه است که برابر $122 \text{ (Ton.ha}^{-1}\text{)}$ است، نزدیکی مقادیر عملکرد محاسباتی و اندازه‌گیری شده، در تیمارهای مواجه با تنش‌رطوبتی نیز دیده می‌شود، تحقیقات نشان داده است که خیار با داشتن ریشه‌های قوی و عمیق در مواجه با تنش‌رطوبتی، باعث توسعه بیش‌تر ریشه می‌گردد و می‌تواند آب و عناصر معدنی را با بهره‌وری بیش‌تری جذب نماید (آذرمی و همکاران، ۱۳۹۸، Assadian et al (2010)). در شکل (۳) تغییرات رطوبت و شوری در عمق خاک، در انتهای دوره کشت و در شکل (۶) نتایج پیش‌بینی عملکرد خیار گلخانه‌ای در طول دوره رشد، برای تیمار ۲۰ (درصد) خاک‌اره و تنش صفر (درصد) رطوبتی نشان داده شده است، همانطور که مشاهده می‌شود، در رابطه با توزیع رطوبت در انتهای دوره رشد خیار گلخانه‌ای در این تیمار، تا عمق ۹۵ سانتی‌متری خاک روند کاهش رطوبت دیده می‌شود، البته، میزان رطوبت تا عمق تقریباً ۳۰ سانتی‌متری، در محدوده ظرفیت زراعی است، و با افزایش عمق، کاهش رطوبت، روند سریع‌تری یافته و در اعماق بیش از ۴۰ سانتی‌متری خاک، رطوبت در محدوده نقطه پژمردگی قرار می‌گیرد. مطابق تحقیقات Noshadiet al (2020)، مدل SALTMED حرکت املاح را به خوبی مدل می‌نماید، لیکن نسبت به مدل HYDOUS1D در پیش‌بینی حرکت املاح در پروفیل خاک از دقت کم‌تری برخوردار است. میزان عملکرد این تیمار معادل $120 \text{ (تن بر هکتار)}$ به‌دست آمد که نزدیک به حالت بدون تنش این تیمار که $134 \text{ (تن بر هکتار)}$ است، محاسبه شده است.

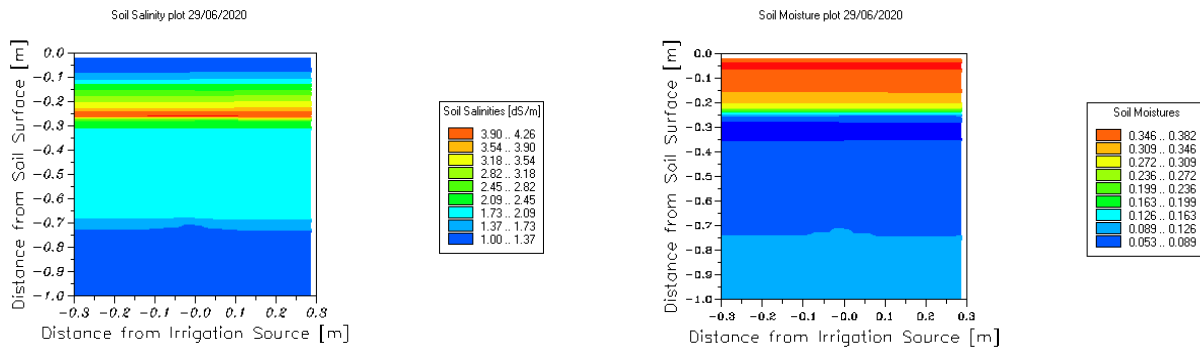
گیرد. که، در محدوده کاهش محصول قرار ندارد. با بررسی نسبت تبخیر و تعرق به تبخیر و تعرق پتانسیل در این تیمار در طول فصل رشد، برای تیمار صفر (درصد) خاک‌اره و بدون تنش‌رطوبتی، در کل دوره رشد گیاه، میزان جذب واقعی ریشه در اواخر مرحله میانی تا انتهای دوره رشد، کمی کم‌تر از میزان حداکثر پتانسیل جذب ریشه می‌باشد و این سبب شده است که میزان عملکرد این تیمار معادل $83 \text{ (Ton.ha}^{-1}\text{)}$ به‌دست آید. همچنین برای حلت بدون تنش این تیمار مقدار عملکرد برابر 86 (تن بر هکتار) محاسبه گردید (شکل ۴). برای تیمار ده (درصد) خاک‌اره و تنش صفر (درصد) رطوبتی، همانطور که در شکل (۲) مشخص است، تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک، روند کاهش رطوبت دیده می‌شود. لذا بیش‌تر حجم خاک در اواخر دوره کشت در محدوده رطوبتی ظرفیت زراعی قرار دارد. همچنین توزیع افقی رطوبت در خاک در این تیمار برای اعماق مختلف، به صورت یکنواخت انجام شده است. و توزیع املاح در عمق خاک روند یکنواختی داشته است، به‌طوری که بیش‌ترین شوری به‌دست آمده در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک دیده می‌شود. مقدار حداکثر شوری خاک در این منطقه در محدوده $13/5 \text{ (ds.m}^{-1}\text{)}$ قرار می‌گیرد، این می‌تواند به دلیل شستشوی املاح سطحی خاک و نفوذ آن به عمق خاک باشد. همچنین تغییرات عمقی غلظت املاح در تیمار ۱۰ (درصد) خاک‌اره و صفر (درصد) تنش‌رطوبتی، نسبت به تیمار بدون خاک‌اره کمتر می‌باشد، به‌طوری‌که تا عمق ۹۰ سانتی‌متری خاک، غلظت املاح در محدوده $0/7 \text{ (ds.m}^{-1}\text{)}$ قرار دارد که می‌تواند به‌دلیل اثر اختلاط خاک‌اره باشد. میزان عملکرد این تیمار معادل $122 \text{ (تن بر هکتار)}$ برآورد شده است (شکل ۵) که

جدول (۳): میزان تغییرات عملکرد واقعی و برآورد شده، توسط مدل در رژیم‌های رطوبتی و در صدهای مختلف خاک‌اره

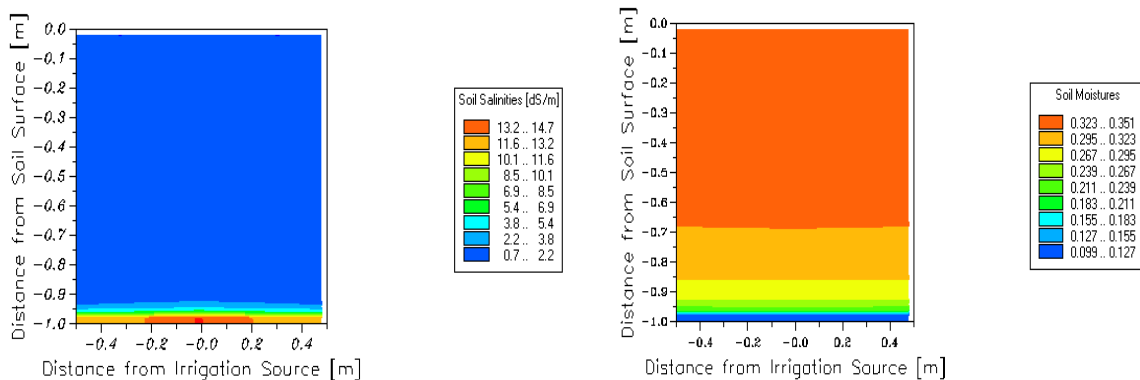
درصد خاک‌اره	رژیم رطوبتی	عملکرد گلخانه	عملکرد مدل	کاهش عملکرد گلخانه	کاهش عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل
(%)	(%)	(T.ha ⁻¹)	(T.ha ⁻¹)	(%)	(%)
20	65	76.8	70	-0.43	-0.42
10	65	73	82	-0.40	-0.33
5	65	38.4	35	-0.68	-0.70
0	65	32	41	-0.63	-0.51
20	45	83.2	76	-0.38	-0.37
10	45	73.6	65	-0.40	-0.47



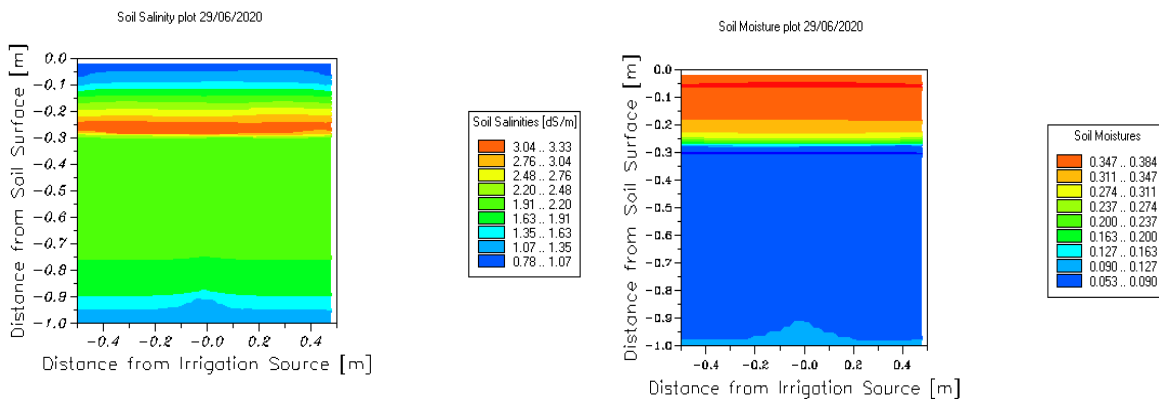
5	45	76.8	74	-0.35	-0.36
0	45	57.6	55	-0.33	-0.34
20	0	134	120	+0.56	+0.45
10	0	122	122	+0.42	+0.47
5	0	119	115	+0.38	+0.39
0	0	86	83	0.00	0.00



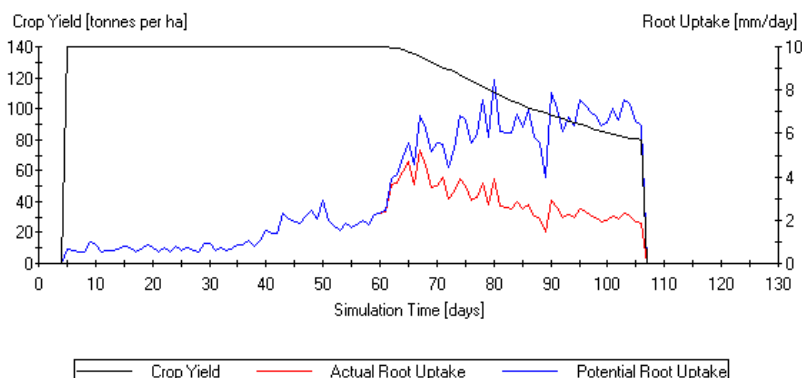
شکل (۱): تغییرات پروفیل رطوبتی خاک در تیمار صفر درصد خاکاره وبدون تنش رطوبتی در انتهای دوره کشت



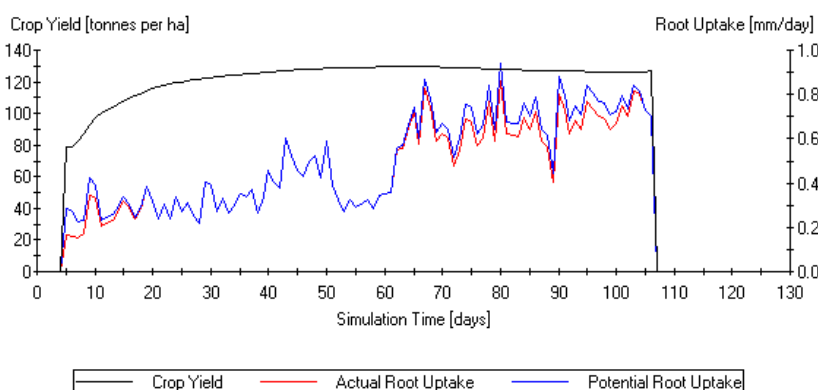
شکل (۲): تغییرات پروفیل رطوبتی خاک در تیمار ۱۰ درصد خاکاره و ۶۵ درصد تنش رطوبتی در انتهای دوره کشت



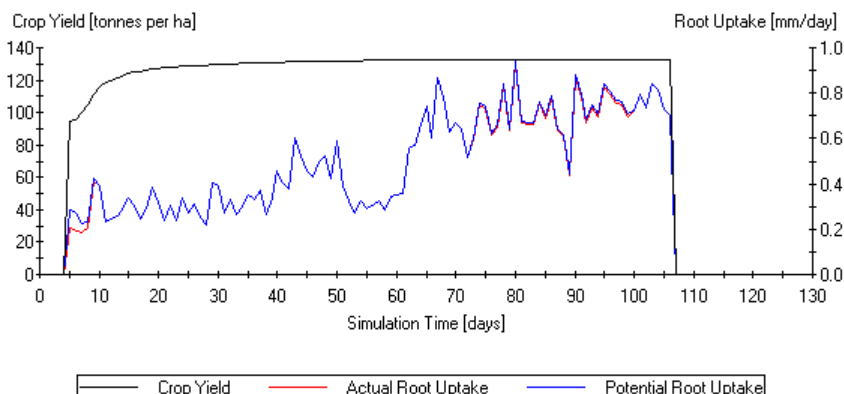
شکل (۳): تغییرات پروفیل رطوبتی خاک در تیمار ۲۰ درصد خاکاره وبدون تنش رطوبتی در انتهای دوره کشت



شکل (۴): میزان آبیاری در طول فصل کشت در تیمار صفر درصد خاکاره و بدون استرس



شکل (۵): میزان آبیاری در طول فصل کشت در تیمار ده درصد خاکاره و بدون استرس



شکل (۶): عملکرد محصول در دوره کشت در تیمار ۲۰ درصد خاکاره و بدون تنش رطوبتی

شد و حداکثر آن در تیمار ۲۰ درصد به مقدار ۳۳ (کیلوگرم بر مترمکعب) رسید در این حالت میزان بهره‌وری مصرف آب محاسبه شده توسط مدل SALTMED برابر ۳۲ (Kg.m^{-3}) محاسبه شده است که بسیار نزدیک به مقادیر آزمایشی می‌باشد. (Alomran et al (2013) نیز بیشترین بهره‌وری مصرف آب را در شرایط ۴۰ (درصد) تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه نمودند. هم‌چنین در تحقیق Rezaverdinezhad et al (2017) بهره‌وری مصرف آب

مقدار آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب تیمارها در جدول (۴) نشان داده شده است، همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است و در اشکال (۷) و (۸) نیز مشخص است. در تیمار ۲۰ درصد خاکاره، بیشترین بهره‌وری مصرف آب در کم‌ترین رطوبت در دسترس به دست آمده است که با نتایج Cakir et al (2017) مطابقت دارد. این موضوع در تیمارهای ۱۰، ۵ و شاهد نیز صادق می‌باشد و بهره‌وری مصرف آب با کاهش رطوبت در دسترس بیش‌تر

گوچه‌فرنگی در تیمارهای خاکاره در تنش‌های شوری یکسان مشاهده گردید. همچنین نتایج نشان داد که بهره‌وری مصرف آب در تیمارمختلف تنش‌رطوبتی با افزایش درصد خاکاره، افزایش می‌یابد. البته باید در نظر داشت که، در تیمار شاهد مربوط به مدل و گلخانه، همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است، روند افزایش میزان آب مصرفی در تیمارهای خاکاره تا ۱۰ (درصد) خاکاره دیده می‌شود که سبب کاهش کارایی مصرف آب این تیمارها، نسبت به تیمار شاهد شده است. آماره‌های ارزیابی مدل در جدول (۴) بیان شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، ارزیابی مدل با استفاده از آماره‌های ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد خطای نسبی (E)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب باقیمانده جرم (CRM) و بهره‌وری مدل (EF) که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر ۵، ۲۰/۷، ۳/۷، ۰/۶۴، ۰/۱۱۷، -۰/۲۴، -۰/۱۱۷ محاسبه گردید، نشان‌دهنده بهره‌وری بالای مدل در برآورد مقدار بهره‌وری مصرف آب خیارگلخانه ای، در شرایط تنش‌رطوبتی و اختلاط خاکاره است، دقت نتایج این تحقیق در مقایسه با تحقیق کمالی و همکاران (۱۴۰۰) از دقت کم‌تری برخوردار است که می‌تواند به دلیل تغییرات بستر کشت باشد. لیکن دقت نتایج حاصل از این تحقیق، از نتایج Abdelraouf et al (2020, 2021) که عملکرد خیارگلخانه‌ای را در گلخانه مدل‌سازی نمودند، بیش‌تر می‌باشد. در شکل (۹)، میزان بیش یا کم برآوردی عملکرد توسط مدل SALT MED نشان داده شده است، همانطور که رد این شکل مشخص است، در نسبت اختلاط ۲۰ (درصد) خاکاره، برآوردهای مدل SALT MED نسبت به آزمایش انجام شده به صورت کم‌برآوردی با متوسط ۸/۶ (درصد) می‌باشد که از نظر دقت مناسب می‌باشد، در نسبت اختلاط ۱۰ (درصد) خاکاره، بسته به میزان تنش رطوبتی، برآوردها می‌تواند به صورت بیش یا کم برآورد باشد، متوسط قدر مطلق اختلاف مقادیر برآوردی در این نسبت خاکاره برابر ۱۶ (درصد) به‌دست آمد، که نشان می‌دهد در این نسبت خاکاره، نتایج شبیه‌سازی توسط مدل SALT MED از دقت کم‌تری برخوردار است. در نسبت اختلاط ۵ (درصد) خاکاره، بیش‌ترین تطابق بین نتایج مدل و آزمایش به‌دست آمده است، به‌طوری‌که متوسط درصد اختلاف مقادیر بین شبیه‌سازی و آزمایش، برابر ۱/۲ (درصد) است. در صفر (درصد) خاکاره نیز، در تنش‌های کمتر از ۴۵ (درصد) تخلیه رطوبتی،

در شرایط تنش و در تیمار ۸۰ (درصد) تبخیر و تعرق پتانسیل ۳۱ (درصد) کم‌تر از تیمار شاهد و برابر ۳۶ (Kg.m^{-3}) به‌دست آمد که این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از خاکاره، می‌تواند بهره‌وری مصرف آب را افزایش دهد، این موضوع در تحقیق (Ahmad et al (2019) و Wang et al (2009) نیز دیده شد، نتایج تحقیق ایشان نشان‌داد که ترکیب توف و خاکاره هرکدام به نسبت ۵۰ درصد حجمی، رشد بیش‌تری را سبب می‌شود. همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است، میزان آب مصرفی در تیمار شاهد، به طور معنی‌داری بیش از تیمارهای تنش‌رطوبتی می‌باشد و نتایج مدل و آزمایش در همه تیمارها به یکدیگر نزدیک می‌باشند. در شکل (۸)، افزایش بهره‌وری مصرف آب با افزایش میزان خاکاره، در همه تیمارها دیده می‌شود. (Raphael et al (2010) نشان‌داد که، افزایش مقاومت خیار نسبت به تنش رطوبتی با افزایش شاخص‌های فیزیولوژیکی ریشه همراه است. لذا به نظر می‌رسد در تیمارهای خاکاره در شرایط رژیم رطوبتی یکسان، توانایی افزایش شاخص‌های فیزیولوژی رشد ریشه افزایش می‌یابد. همانطور که در شکل (۷) مشخص است، بررسی میزان آب مصرفی از نظر تیمارهای تخلیه رطوبتی، نشان می‌دهد که تیمارهای ۶۵ و ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی، نسبت به تیمار شاهد در یک گروه قرار می‌گیرند. همان‌طور که در شکل (۸) نشان داده شده است، به‌طور کلی، یک روند کاهش بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای مختلف خاکاره تا میزان ۱۰ (درصد) خاکاره دیده می‌شود و سپس افزایش بهره‌وری مصرف آب تا تیمار ۲۰ (درصد) خاکاره دیده می‌شود، به‌طوری‌که کم‌ترین بهره‌وری مصرف آب برای تیمار ۶۵ (درصد) ظرفیت زراعی و ۵ (درصد) خاکاره محاسبه شده است که برابر ۱۱/۸ (Kg.m^{-3}) است، همچنین همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شده است، افزایش رطوبت در دسترس با افزایش اختلاط خاکاره با خاک در تیمارها مشاهده می‌شود که این خود می‌تواند یکی از دلایل بالا بودن عملکرد در تیمارهای خاکاره در تنش‌رطوبتی یکسان باشد که در تحقیق رضانی مقدم و همکاران (۱۴۰۱) و همچنین فروتن و همکاران (۱۳۹۹)، نیز افزایش عملکرد

۸/۳ (درصد) محاسبه گردید که نشان‌دهنده دقت مناسب مدل در پیش‌بینی عملکرد است.

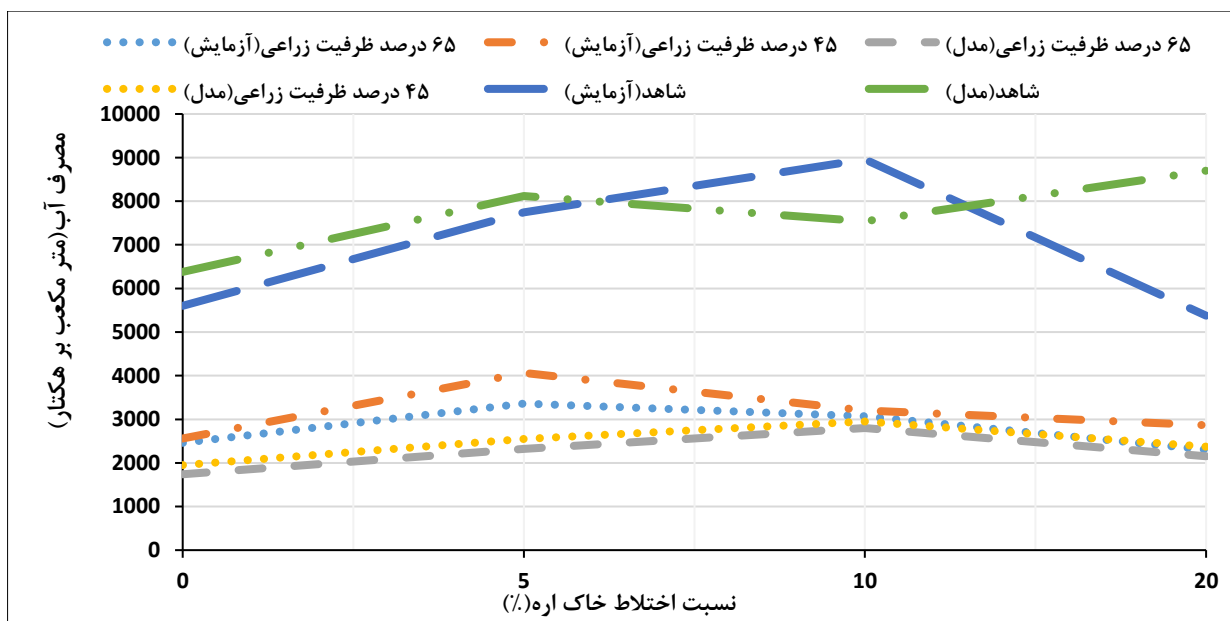
مدل دارای بیش‌برآورد بوده و در تنش ۶۵(درصد) تخلیه رطوبتی، مدل کم برآورد نشان داده است. در این نسبت اختلاط، متوسط درصد اختلاف مقادیر بین شبیه‌سازی و آزمایش، برابر

جدول (۴): آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب تیمارها در دوره کشت

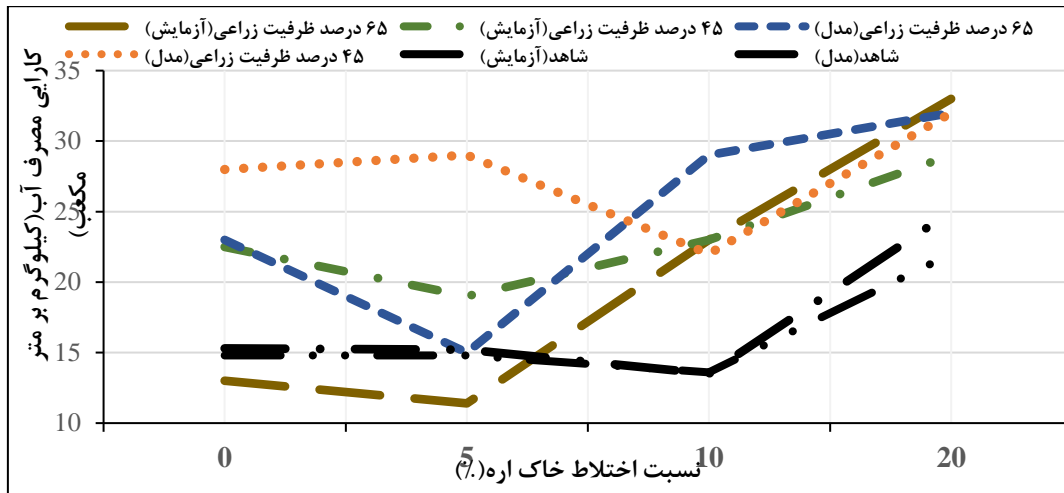
تیمار	درصد خاکاره	کاهش رطوبت به میزان ۶۵ درصد آب در دسترس (آزمایش)	کاهش رطوبت به میزان ۶۵ درصد آب در دسترس (مدل)	کاهش رطوبت به میزان ۴۵ درصد آب در دسترس (آزمایش)	کاهش رطوبت به میزان ۴۵ درصد آب در دسترس (مدل)	شاهد (مدل)	شاهد (آزمایش)
بهره‌وری	20	33	32	29	32	25	22
مصرف آب	10	23	29	23	22	13.5	13.6
آب شاهد	5	11.4	15	19	29	15.2	14.8
(kg m ⁻³)	شاهد	23	23	28	28	14.8	14.8
	13	13	22.5	22.5	22.5	15.3	15.3

جدول (۵): شاخص‌های عملکردی مدل

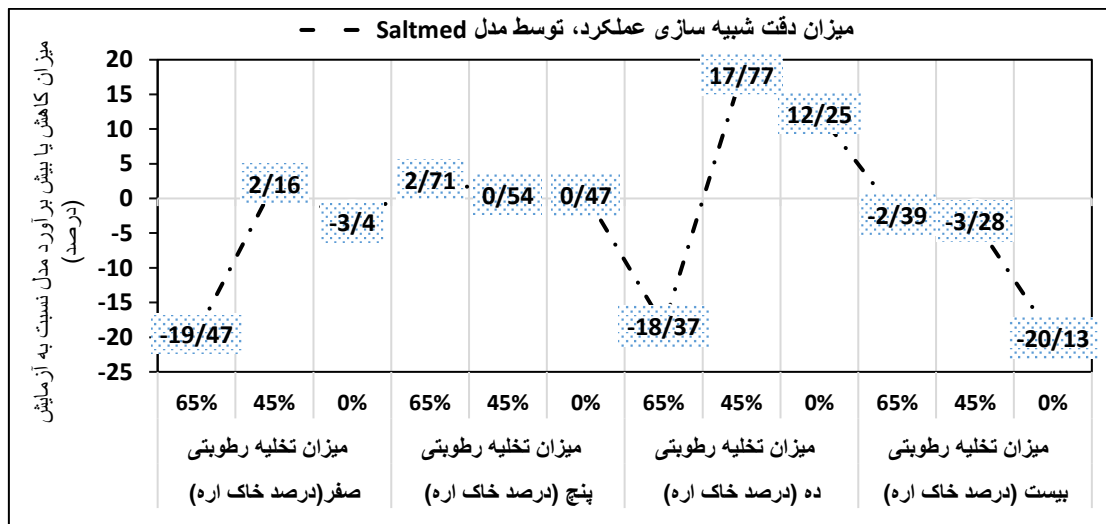
R ₂	ε%	MAE (%)	RMSE (%)	CRM	EF
0.64	20.7	3.7	5	-0.117	-0.24



شکل (۷): نمودار میزان آب مصرفی در تیمارهای مختلف خاک‌اره



شکل (۸): نمودار میزان آب مصرفی در رژیم های مختلف آبیاری



شکل (۹): میزان کم یا بیش برآوردی مدل در تیمارهای مختلف

نتیجه گیری

میزان خاکاره بر بهره‌وری مصرف آب در تیمار ۶۵ (درصد) ظرفیت زراعی به وضوح مشاهده گردید به‌طوری‌که کمترین بهره‌وری مصرف آب برای تیمار ۶۵ (درصد) ظرفیت زراعی و ۵ (درصد) خاکاره محاسبه شد که برابر $11/8 \text{ (Kg.m}^{-3}\text{)}$ بود و بیشترین بهره‌وری مصرف آب نیز برای همین تیمار و 20 (درصد) خاکاره معادل $32 \text{ (Kg.m}^{-3}\text{)}$ به‌دست آمد، این موضوع نشان می‌دهد تعیین مقدار دقیق افزودنی‌های مختلف، مثل خاکاره حتی در تنش‌رطوبتی یکسان، تاثیر مهمی بر میزان بهره‌وری مصرف آب محصولات کشاورزی دارد. نتایج نشان داد که با استفاده از نسبت ترکیب مناسب خاکاره با خاک، در تولید محصولات گلخانه‌ای، علاوه بر بالا بردن عملکرد محصول می‌توان

برای بررسی دقت مدل‌سازی نرم افزار SALT MED پیش‌بینی بهره‌وری مصرف آب خیار گلخانه‌ای در شرایط اختلاط خاکاره و تنش‌رطوبتی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. نتایج نشان داد که مدل، در کلیه تیمارهای تنش‌رطوبتی و درصد خاکاره، به خوبی مقدار بهره‌وری مصرف آب را نزدیک به مقادیر حاصل از گلخانه نشان برآورد مینماید. همچنین نتایج نشان داد، استفاده از خاکاره، می‌تواند بهره‌وری مصرف آب را افزایش دهد، لازم به ذکر است، در کلیه تیمارها، روند کاهش بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای مختلف خاکاره تا مقادیر کم خاکاره (میزان ۱۰ درصد خاکاره) مشاهده گردید و سپس با افزایش میزان خاکاره، روند افزایش بهره‌وری مصرف آب تا تیمار ۲۰ (درصد) خاکاره دیده شد، تاثیر



میزان بهره‌وری مصرف آب را افزایش داده و در شرایط کم‌آبی،
مصرف آب را بهینه نمود. این مقاله با حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه محقق
اردبیلی تهیه شده است و از ایشان تشکر و قدردانی می‌گردد.

سپاسگزاری

منابع

- آذر می، 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، شماره ۱۰، دوره ۱، ص ۴۷-۵۸.
- حسن لی، م.، افراسیاب، پ. و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل‌های Aqua Crop و SALTMED در تخمین عملکرد محصول ذرت و شوری خاک. تحقیقات آب و خاک ایران. شماره ۴۶، دوره ۳، ص ۴۷۸-۴۹۸.
- حسینی، ی. ۱۳۸۵. تأثیر همزمان نوع خاک و روش آبیاری و شوری آب در میزان برداشت محصول با استفاده از مدل SALTMED - دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی - دانشگاه شهید چمران اهواز.
- حسینی، ی. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر شوری آب در میزان برداشت محصول در آبیاری قطره ای با استفاده از مدل SALTMED سومین همایش مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی - دانشگاه شهید چمران - اهواز.
- حسینی، ی.، و مارالیان، ح. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل SALTMED در برآورد میزان عملکرد محصول گندم در منطقه مغان. اولین کنگره ملی کشاورزی ارگانیک. ص ۲۴۰-۲۴۹.
- خالوندی، ن.، سلطانی محمدی، ا. و برومند نسب، س. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی رطوبت خاک و عملکرد ذرت در شرایط آبیاری با آب شور با مدل SALTMED. علوم و مهندسی آبیاری. شماره ۴۰، دوره ۱، ص ۲۳۱-۲۴۶.
- رمضانی مقدم، ج.، اعتمادی‌نیا، م.، حسینی، ی.، رسول‌زاده، ع.، رئوف، م. ۱۴۰۱. اثر اختلاط خاک اره با خاک سبک روی برخی خصوصیات گوجه فرنگی، سومین کنفرانس بین المللی و ششمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست. اردبیل. ایران.
- فروتن، م.، رمضانی مقدم، ج.، حسینی، ی. و رسول‌زاده، ع. ۱۳۹۹. اثر اختلاط خاک‌اره با خاک بر خصوصیات ریشه گوجه‌فرنگی تحت تنش آبی، اولین کنفرانس مهندسی و فن آوری، تبریز. ایران.
- کمالی، ح.، ر.، عبداللهی پور، م. و نحوی نیا، م. ج. ۱۴۰۰. ارزیابی مدل SALTMED در تخمین محصول گندم در شرایط کم آبیاری و شوری در مناطق خشک (مطالعه موردی: بیرجند). مدیریت آب و آبیاری. شماره ۱۱، دوره ۴، ص ۸۱۵-۸۲۷.
- نوابی، ف. ۱۳۷۷. تعیین نقطه بحرانی فسفر و پتاسیم برای محصول پنبه. وزارت جهاد کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب.
- Abdelraouf, R. E., Ghanem, H. G., Bukhari, N.A., and M. El-Zaidy. 2020. Field and modeling study on manual and automatic irrigation scheduling under deficit irrigation of greenhouse cucumber. Sustainability, 12(23): 98-109.
- Abdelraouf, R. E., El-Shawadfy, M. A., Dewedar, O. M., and M. Hozayn. 2021. Field and modelling study for deficit irrigation strategy on roots volume and water productivity of wheat. Journal of Water and Land Development, 49(4-6): 129-138.
- 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), pp. 1388-1401.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and M. Smith. 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, 56, e156.
- Al-Debei, H.S., Makhadmeh, I., Abu-Al Ruz, I., Al-Abdallat, A.M., Ayad, J.Y. and N. Al Amin. 2012. Influence of different rootstocks on growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under the impact of soil-borne pathogens in Jordan. J. Food, Agric. Environ. 10 (2): 343-349.



- Alomran, A.M., Louki, I.I., Aly, A.A. and M.E. Nadeem. 2013. Impact of deficit irrigation on soil salinity and cucumber yield under greenhouse condition in an arid environment. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15: 1247-1259.
- Amer, K.H., Sally, A. and L.H. Jerry. 2009. Effect of deficit irrigation and fertilization on cucumber, *Journal of Agrobiology*, 101:1556–1564.
- Assadian, F., Niazi, A. and M. Ramayana. 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.
- Bresler, E. 1975. Two-dimensional transport of solute during nonsteady infiltration for a trickle source. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39: 604–613.
- Cakir, R., Cebib, U.K., Altintasc, S. and Ozdemirba, A., 2017. Irrigation scheduling and water use efficiency of cucumber grown as aspring-summer cycle crop in solar greenhouse. *Agricultural Water Management*, 180, pp. 78–87.
- Cardon, E.G. and J. Letey. 1992. Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 5: 1876–1880.
- De Vries, F.T., Liiri, M.E., Bjørnlund, L., Bowker, M.A., Christensen, S., Setala, H.M. and R.D. Bardgett. 2012. Land use alters the resistance and resilience of soil food webs to drought. *Nature Climate Change*, 2: 276–280.
- Hirich, A. 2012. The SALTMED model calibration and validation using field data from Morocco. *J. Mater. Environ. Sci.* 3 (2): 342-359.
- Kaya, C.I., Yazar, A., and S. Metin Sezen. 2015. SALTMED model performance on simulation of soil moisture and crop yield for Quinoa irrigated using different irrigation systems, irrigation strategies and water qualities in Turkey. *Agriculture and Agricultural Science Journal*, 4:108-118.
- Li, Zh and Yingzhong, Xi .2015. Improving desertified soil properties by incorporating and mulching tree branch in Ningxia province- *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(10): 174-181.
- Noshadi, M., Fahandej-Saadi, S. and A.R. Sepaskhah. 2020. Application of SALTMED and HYDRUS-1D models for simulations of soil water content and soil salinity in controlled groundwater depth. *Journal of Arid Land*, 12: 447-461.
- Osundare, O.T., Badmus, A.A. and O.A. Olatubosun. 2019. Effects of organic weed control methods on weed density, phenotypic traits and yield attribute of cucumber (*Cucumis Sativus*). *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 9(10):105-110.
- Raphael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A. and G. Colla. 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia Horticulture*, 127:172–179.
- Rezaverdinezhad, V., Shabaniyan, 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), pp. 27-40.
- Simbnek, J., Suarez, D. L. and M. Sejna. 1996. The UiXSATCHEA4 software package for aimulating the one-dimensional variably saturated water flow, heat transport, carbon dioxide production and transport and multicomponent solute transport with Major Ion Equilibrium and Kinetic Chemistry. *Research Report*. 141. U. S. Salinity Laboratory.



Van Genuchten, M.Th. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Research Report, U. S. Salinity Lab. Riverside CA.

Van Genuchten, M.Th. 1980. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil society of America journal.44(5): 892-898.

Vogel, T. and J.W. Hopmans. 1992. Two –Dimensional analysis of furrow infiltration. J. Irrigation Drainage Eng.118: 791-806.

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), pp. 51–57.