

Research Paper

Using of Hydrus 2D Model for Proposing Suitable Irrigation Scheme and Simulating Soil Salinity (Case Study of Semnan Pistachio Orchards)

Arash Tafteh,^{1*} Mohammad Reza Emdad²

¹ *Department of on farm water management, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: arash_tafteh@yahoo.com.

²Department of Irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Iran.Email: emdadmr591@yahoo.com



10.22125/iwe.2024.446730.1795

Received:
February 29, 2024
Accepted:
August 12, 2024
Available online:
October 13, 2024

Keywords:
Irrigation scheduling,
Simulation, Soil salinity,
Water salinity.

Abstract

Due to the limitation of water resources (quantitatively and qualitatively) and the application of different irrigation managements in agricultural and orchards, it is necessary to apply proper irrigation management in order to prevent salt accumulation in the root zone and to achieve an acceptable performance in water management. There is no comprehensive information on irrigation management and irrigation water quality for pistachio orchards in the surface drip irrigation system in the main pistachio growing areas of Semnan (Damghan). Therefore, identifying different pistachio irrigation managements, makes it possible to use different irrigation scenarios and common models to provide suitable irrigation management to achieve acceptable yield and simulate soil salinity. In this regard, three pistachio orchards, which are the dominant representative of orchards in the region and irrigated with surface drip irrigation were selected. The irrigation management and changes in soil salinity in these orchards were investigated using the two-dimensional Hydrus model. The results showed that the amount of salinity was lower near the drippers and increased by moving away from them. Considering that the usual irrigation cycle of these orchards is in the range of 10 to 15 days and the irrigation timing is about 12 hours (average standard evapotranspiration and yield respectively 635 mm and 1.7 t/h), the scenario of irrigation cycle about 20 days and the irrigation time of 8 to 10 hours showed similar yield without any change in performance and reduced water consumption of about 30% compared to the usual conditions and is recommended. On average, the normalized root mean square error of soil salinity in the selected orchards was about 18%, the agreement index was 94%, and the efficiency of the model was 78%, which indicates the efficiency of the two-dimensional Hydrus model for simulation soil salinity, and therefore it can be accurately simulated soil salinity.

1. Introduction

Due to the lack of water resources (quantitatively and qualitatively) and application of different irrigation managements in agriculture and orchards, it is necessary to apply proper irrigation management to prevent the salt accumulation in the root zone. Pistachio trees are resistant to drought and can produce an average yield even with low amounts of water. The use of usual and practical models with the aim of simulating plant performance and soil salinity in order to determine the best irrigation scenario is great importance. On the other hand, the application of simulation models in water resources management helps the decision makers to determine the most appropriate irrigation scenario.

2. Materials and Methods

The irrigation interval of pistachio trees depends on factors such as soil texture, evapotranspiration, water and soil salinity, irrigation method, tree age and available water amount. Various irrigation methods are used for pistachio trees, the most important of which are surface irrigation, surface drip irrigation, subsurface drip irrigation, and bubbler irrigation. Given that there is no comprehensive information on irrigation management and quality of irrigation water for pistachio orchards in the drip irrigation method of main pistachio growing areas of Semnan (Damghan), identifying different pistachio irrigation managements provides this possibility by using different irrigation scenarios and valid and practical models, suitable irrigation management can be performed in order to increase yield and simulate soil salinity. Three orchards were selected from Damghan city of Semnan province (with a focus on pistachio orchards and surface drip irrigation systems) in order to investigate performance, irrigation management and soil salinity changes. In this regard, area of orchards, number and arrangement of drippers, irrigation scheduling and soil sampling performance for measuring salinity was done. Changes in soil salinity in root-zone development during the season at two times (May and August) in three depths (0-30, 30-60 and 60-90 cm) in each orchard were determined. By using two-dimensional Hydrus simulator model, soil salinity was simulated in different irrigation scenarios in selected orchards.

3. Results

The conventional irrigation management conditions of the orchard No 1 (11-day irrigation interval and 12-hour irrigation) were compared with the irrigation management scenario based on 20-day irrigation cycle and 8-hour irrigation time. In the usual orchard's conditions, pistachio yield was 1.8 t/h, while the yield of pistachio in the proposed scenario (irrigation cycle of 20 days and 8 hours of irrigation) does not differ from its amount in the usual conditions. By considering the irrigation cycle based on 20 day and the irrigation hours 8 hours, the yield remains unchanged and the water consumption decreases by about 30%. The usual conditions of orchard No 2 (15-day cycle and 12-hour irrigation time) were compared with 20-day irrigation cycle and 8-hour irrigation time. In the usual orchard's conditions, about 2.4 t/h of pistachios are produced, while in the proposed scenario, the amount of yield remains unchanged and the amount of water consumption decreased. In the normal conditions of orchard No 3, yield production is about 1 t/h, while in the proposed scenario (irrigation cycle of 20 days and 8 hours of irrigation), the amount of equal yield and water consumption is reduced compared to the normal conditions. The results of measured and simulated values of soil salinity showed that the average soil salinity (up to 90 cm) increases.

4. Discussion and Conclusion

Changes in soil salinity in the root zone development in selected orchards during the season at two times (the beginning and end of the season in May and August) and three depths (0-30, 30-60 and 60-90 cm) were investigated. Using the two-dimensional Hydrus simulator model, the values of evapotranspiration and soil salinity changes in conventional orchard conditions and in different irrigation scenarios (feasible and implementable) are simulated. The average standard evapotranspiration and yield were respectively 635 mm and 1.7 t/h. The scenario of 20 days irrigation cycle and 8 to 10 hours irrigation time without change in yield (average evapotranspiration 420 mm), reduced water consumption. The amount of salinity was lower near the dripper and increased by moving away from it. By considering that the dominant irrigation cycle of these orchards is in the range of 10 to 15 days and the duration of irrigation is about 12 hours, the scenario of the irrigation cycle as about 20 days with irrigation time about 8-10 hours is recommended (in order to achieve proper performance in selected orchards and reduce water consumption compared to normal conditions). On average, the normalized root mean square error of soil salinity in the selected orchards is about 18%, the agreement index is 94%, and the efficiency of the model is 78%; which shows the ability and efficiency of the model in simulating soil salinity and therefore soil salinity can be simulated with proper accuracy.

5. Six important references

1) Ardakani, M., 2015. Effect of salinity on germination and deployment of Pistachio vera var Kolehghouchi. *European Journal of Experimental Biology*, 2015, 5(4): 68-70.

2) Memmi, H., M.C. Gijón, J.F. Couceiro and D. Pérez-López. 2016. Water stress thresholds for regulated deficit irrigation in pistachio trees: Rootstock influence and effects on yield quality. *Agricultural Water Management*, 164,58-72.

3) Sedaghati, N. and H. Hokmabadi. 2015. Optimizing pistachio irrigation management using the relationship between echo-physiological characteristics & water stress. *Journal of Agricultural Science & Technology*, 17, 189-200.

4) Shamsi, S., Kamali A., and Hasheminejhad, Y. 2022. An approach to predict soil salinity changes in irrigated pistachio orchards. *Journal of Soil Science Society of Iran*, 1(1), 1-10.

5) Šimůnek, J., Van Genuchten, M.T and Šejna, M. 2012. The HYDRUS software package for simulating two and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Technical manual, version 1, 241.

6) Zareabyaneh H., Khorasaninejad S., Fotuhi K., & Rahemi M. 2018. Effect of irrigation with saline water on growth, yield and quality of pistachio trees (*Pistacia vera* L.). *Agricultural Water Management*, 202, 1-9.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to soil and water research institute (SWRI).



استفاده از مدل Hydrus 2D در ارائه برنامه مناسب آبیاری باغات و شبیه‌سازی شوری خاک

(مطالعه موردی باغات پسته سمنان)

آرش تافته*^۱، محمدرضا امداد^۲

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲

مقاله پژوهشی

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب (از نظر کمی و کیفی) و اعمال مدیریت‌های مختلف آبیاری در اراضی زراعی و باغی، ضروری است مدیریت آبیاری مناسبی اعمال شود تا ضمن جلوگیری از تجمع نمک در محدوده ریشه، بتوان عملکرد قابل قبولی را در راستای مدیریت مصرف بهینه آب بدست آورد. با عنایت به اینکه اطلاعات جامعی از مدیریت‌های آبیاری و کیفیت آب آبیاری باغات پسته در روش آبیاری تحت فشار قطره‌ای سطحی در مناطق عمده پسته‌کاری سمنان (شهرستان دامغان) موجود نیست، لذا شناسایی مدیریت‌های مختلف آبیاری پسته این امکان را فراهم می‌نماید تا با استفاده از سناریوهای مختلف آبیاری و مدل‌های متداول بتوان راهکارهای مدیریتی آبیاری را بمنظور افزایش عملکرد و نیز شبیه‌سازی شوری خاک ارائه نمود. در این ارتباط سه باغ پسته که نماینده غالب باغات منطقه بوده و با آبیاری قطره‌ای سطحی آبیاری شده، انتخاب و مدیریت آبیاری و تغییرات شوری خاک در این باغات با استفاده از مدل هایدروس دو بعدی بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان شوری در نزدیکی قطره‌چکان‌ها کمتر و با دور شدن از آن‌ها، افزایش یافت. نظر به اینکه دور آبیاری معمول این باغات در محدوده ۱۰ تا ۱۵ روز و مدت آبیاری نیز حدود ۱۲ ساعت می‌باشد (متوسط تبخیر و تعرق استاندارد و عملکرد به ترتیب ۶۳۵ میلی‌متر و ۱/۷ تن در هکتار)، سناریوی دور آبیاری ۲۰ روز و زمان آبیاری ۸ تا ۱۰ ساعت بدون تغییر در عملکرد و با کاهش مصرف آب حدود ۳۰ درصد نسبت به شرایط معمول قابل توصیه می‌باشد. بطور متوسط ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده شوری خاک در باغات منتخب حدود ۱۸ درصد، شاخص توافق ۹۴ درصد و کارایی مدل ۷۸ درصد تعیین شد که بیانگر کارایی مدل هایدروس دوبعدی در شبیه‌سازی شوری خاک بوده و لذا می‌توان با دقت مناسبی شوری خاک را شبیه‌سازی کرد.

واژه‌های کلیدی: شوری آب، شوری خاک، شبیه‌سازی، مدیریت آبیاری.

^۱ استادیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (نویسنده مسول)
ایمیل: arash_tafteh@yahoo.com

^۲ دانشیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
ایمیل: emdadmr591@yahoo.com

مقدمه

می‌شود که با توجه به مقدار کم آب در هر نوبت آبیاری، مقدار تبخیر نیز بیشتر گردد. پسته از جمله مهمترین محصولات کشاورزی و یکی از محصولات ارزآور کشور محسوب شده و به عنوان یک محصول راهبردی جایگاه خاصی را در بین تولیدات کشاورزی دارا می‌باشد (اسلامی و همکاران، ۱۴۰۱).

استفاده از مدل‌های کاربردی و متداول با هدف شبیه‌سازی عملکرد گیاه و شوری خاک و بمنظور تعیین بهترین سناریوی آبیاری (با توجه به توسعه اراضی شور و مشکل شوری آب و خاک) از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرف دیگر کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی به سیاست‌گذاران در زمینه مدیریت منابع آب کمک می‌کند تا با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی، مناسبترین سناریوی آبیاری را برای هر منطقه و با توجه به ملاحظات آب و خاک تعیین کنند. هایدروس مدل مناسبی بمنظور شبیه‌سازی جریان آب و انتقال املاح در خاک در روشهای مختلف آبیاری (خصوصاً در آبیاری قطره‌ای) است.

در این ارتباط شناسایی مدیریت‌های مختلف آبیاری پسته در آبیاری زیرسطحی این امکان را فراهم می‌نماید تا بتوان ضمن شبیه‌سازی شوری خاک، راهکارهای مدیریتی آبیاری را بمنظور افزایش بهره‌وری ارائه نمود.

پیشینه پژوهش

در تحقیقات مختلف، تبخیر و تعرق درخت پسته بین ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر در طول فصل گزارش شده که می‌تواند با روش آبیاری سطحی و یا قطره‌ای در اختیار گیاه قرار گیرد. اگر چه برخی تحقیقات تبخیر و تعرق درخت بارده پسته را حدود ۹۱۰ میلی‌متر در طول فصل گزارش کرده‌اند (Steduto et al., 2012). نتایج بررسی تاثیر تغییر سامانه آبیاری سطحی به آبیاری قطره‌ای بر درختان ۱۰ ساله بارور پسته (رقم احمد آقایی) در منطقه خشکه‌رود زرنده ساوه نشان داد که تغییر روش آبیاری درختان بارور پسته از روش سطحی به قطره‌ای امکان‌پذیر می‌باشد. کاهش عملکرد و شاخص‌های کیفی محصول در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به سطحی در سال اول مشاهده شد ولی در سال دوم، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت پسته در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش آبیاری سطحی

بر اساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱، سطح باغات بارور پسته استان سمنان حدود ۲۲۰۰۰ هکتار با متوسط عملکرد ۱/۶ تن در هکتار می‌باشد (آمارنامه کشاورزی ۱۴۰۱). با توجه به تنوع مدیریت‌های مختلف آبیاری تحت فشار در باغات و تغییرات عملکرد منتهی از آن و نیز عدم شناخت و اطلاع کافی از تغییرات شوری در پروفیل خاک، لزوم اطلاع از تغییرات عملکرد و نیز تجمع و توزیع نمک در مدیریت‌های مختلف آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین شناسایی باغات پسته‌کاری کشور که با روش‌های آبیاری تحت فشار قطره‌ای سطحی آبیاری می‌شوند حائز اهمیت بوده و ارزیابی این باغات در راستای ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب بمنظور مصرف مناسب آب و افزایش عملکرد ضروری می‌باشد.

پسته مقاوم به خشکی بوده و قادر است با مقادیر کم آب نیز محصول متوسطی تولید نماید. انتخاب دور آبیاری درختان پسته به عواملی نظیر بافت خاک، میزان تبخیر و تعرق، شوری آب و خاک، روش آبیاری، سن درخت و میزان آب در دسترس بستگی دارد. روشهای مختلفی در آبیاری برای درختان پسته مورد استفاده قرار می‌گیرند که مهم‌ترین آنها آبیاری سطحی (غرقابی)، آبیاری قطره‌ای سطحی، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری بابلر می‌باشند (صداقتی و حکم‌آبادی، ۱۳۸۸). غلبه سطح باغ‌های پسته تحت پوشش روش آبیاری سطحی (غرقابی) و پس از آن آبیاری تحت فشار قطره‌ای سطحی است (صداقتی و همکاران، ۱۳۹۱). آبیاری در زمان گلدهی (عموماً فروردین و اردیبهشت‌ماه) و زمان پرشدن مغز (تیر و مردادماه) از مهمترین مراحل حساس پسته به آب بوده و کمبود آب در این مراحل از تشکیل مغز و رسیدن میوه جلوگیری می‌کند. عمق آب آبیاری کمتر از حد مورد نیاز باعث ایجاد تنش خشکی در درختان پسته شده و تنش خشکی موجب خشکیدگی سرشاخه‌ها، ریزش و خشکیدگی برگ‌ها و نهایتاً خشک‌شدن درخت می‌گردد (Steduto et al., 2012). تحقیقات انجام‌شده توسط پژوهشکده پسته نشان داد که بطور کلی بهترین دور آبیاری برای درخت بارور پسته، بسته به نوع بافت خاک بین ۱۰ تا ۱۵ روز است (صداقتی و حکم‌آبادی، ۱۳۸۸). انتخاب دور آبیاری کوتاه موجب



بود. حجم آب آبیاری با توجه به دبی ورودی به هر تیمار و زمان قطع آبیاری بر اساس مدیریت اعمال شده باغدار در تیمارهای شاهد، مرزبند، کدول و نهرکن به ترتیب ۸۴۰۰، ۴۶۴۸، ۴۲۰۰ و ۳۰۸۰ مترمکعب در هکتار در طی سال زراعی بدست آمد. نتایج نشان داد که در تمامی تیمارها، بهره‌وری آب آبیاری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. میزان این افزایش در تیمارهای نهرکن، کدول و مرزبند نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۲۰، ۹۱ و ۶۲ درصد بود. در نهایت، تیمار نهرکن و سپس کدول با کاهش آب آبیاری به ترتیب به میزان ۶۳ و ۵۰ درصد و عدم معنی‌داری عملکرد نسبت به تیمار شاهد به‌عنوان بهترین تیمارهای آبیاری درختان پسته در باغ مورد نظر پیشنهاد شدند (Eslami et al., 2022).

نتایج بررسی آبیاری غرقابی درختان پسته با دور ۳۰، ۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ روز نشان داد که از نظر عملکرد کمی و کیفی، صفات رویشی و اکوفیزیولوژیکی بین تیمارهای ۳۰، ۸۰ و ۱۱۰ روزه تفاوت معنی‌داری وجود داشت. به عبارت دیگر با افزایش فواصل آبیاری و با در نظر گرفتن ظرفیت نگهداری آب در خاک، خاک‌ها قادر به تأمین رطوبت کافی برای انجام فعالیت‌های متابولیکی طبیعی نبودند. با این حال، در فواصل طولانی آبیاری، تفاوت زیادی بین تیمارها وجود نداشت، یعنی درخت پسته می‌توانست خود را با شرایط تنش محیطی طبیعی سازگار کند (Sedaaghati and Hokmabadi, 2015).

بررسی تفاوت عملکرد، حجم آب کاربردی و بهره‌وری آب پسته در استان‌های خراسان رضوی، سمنان، کرمان و یزد نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار حجم آب کاربردی و شاخص بهره‌وری آب در استان‌های منتخب بود، اما عملکردها به هم نزدیک و تفاوتی بین آنها مشاهده نشد. میانگین عملکرد، حجم آب کاربردی و بهره‌وری آب آبیاری به ترتیب ۱۷۶۴ کیلوگرم در هکتار، ۸۰۵۷ مترمکعب در هکتار و ۰/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد. همچنین گزارش شد که حجم آب کاربردی در غالب باغ‌های پسته کشور کمتر از نیاز خالص آبیاری بوده و متوسط عملکرد در مقایسه با سایر کشورها حدود ۵۰ درصد کمتر است (Mosavifazl et al., 2021).

نشان‌دهنده سازگاری درختان پسته نسبت به تغییر روش آبیاری بود. میانگین دو ساله عملکرد خشک در روش آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۷۳۹ و ۹۲۷ کیلوگرم در هکتار، میانگین آب مصرفی ۶۳۷۵ و ۴۱۱۰ مترمکعب در هکتار و میزان کارایی مصرف آب ۱۲۵ و ۱۹۰ گرم محصول خشک به‌ازای هر متر مکعب آب بدست آمد (Ghanji, khoramdel and keykhaei, 2016).

بررسی دوره‌های مختلف آبیاری بر توزیع رطوبت، شوری و عملکرد درختان پسته ۱۵ ساله در خاک سیلتی لوم و با روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری با آب شور (با شوری ۴/۲ دسی‌زیمنس بر متر) در شرایط اقلیم بیابانی سیرجان نشان داد که کاربرد بیشتر آب مصرفی باعث تجمع کمتر نمک در منطقه توسعه ریشه شد. عملکرد محصول نیز در تیمارهای آبیاری با دور ۳ و ۱۴ روز به ترتیب ۳/۳ و ۳/۷ کیلوگرم در هر درخت بود. دور آبیاری ۳ روز موجب کاهش ۴۰ درصدی پوکی و افزایش ۹۳ درصدی خندانی محصول گردید. حجم آب مصرفی در تیمار با دور ۳ و ۱۵ روز به ترتیب ۱۳۲۹ و ۶۹۲ میلیمتر بوده است. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری در عملکرد دو تیمار مشاهده نگردیده و عملکرد دو تیمار تقریباً یکسان بود (Seifi et al., 2014). نتایج بررسی سامانه آبیاری زیرسطحی در باغات پسته در کشکوئیه رفسنجان که شامل دو عمق کارگذاری ۵۰ و ۷۰ سانتی‌متر و سه سطح آب مصرفی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی با سه تکرار و در چهار سال بود، نشان داد که در اثر کاربرد آب آبیاری در تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی (به ترتیب به میزان ۲۰۵۰، ۳۰۶۵ و ۴۰۱۰ مترمکعب در هکتار در سال)، در هیچ یک از سال‌های انجام طرح اختلاف معنی‌داری در عملکرد درختان پسته مشاهده نشد (Naghavi, 2016).

در شهرستان سروستان طی سال زراعی ۹۷-۹۸ پژوهشی با هدف مقایسه حجم آب و بهره‌وری آب آبیاری در بسترهای مختلف توزیع آب در روش آبیاری سطحی در یک باغ پسته رقم احمدآقایی اجرا شد. تیمارها شامل: روش غرقابی رایج با عرض نوار ۶ متر (تیمار شاهد)، نهر ایجاد شده در دو طرف ردیف درختان (نهرکن)، کاهش عرض نوار از طریق مرز ایجاد شده در وسط ردیف درختان (مرزبند) و بستر سینه‌مرغی ایجاد شده در دو طرف ردیف درختان (کدول)

استفاده از آبهای شور و نامتعارف و صرفه‌جویی در مصرف آب اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. این منابع را با مدیریتهای ویژه و خاصی و با ملاحظات روابط آب، خاک و گیاه می‌توان مورد استفاده قرار داد. کوتاه کردن فاصله بین آبیاری‌ها، انتخاب رقم مناسب، آبشویی نمکها و انتخاب محل بذرکاری از جمله اقداماتی است که در استفاده از آبهای شور می‌تواند مؤثر واقع شود (علیزاده، ۱۳۶۸). اثر شوری در مورد بسیاری از گیاهان زمانی مشهود است که گیاه مدت نسبتاً طولانی در معرض نمک قرار گیرد. مقاومت گیاه در مقابل شوری بسته به این است که گیاه در چه مرحله‌ای از رشد در معرض شوری قرار گیرد. آب و هوا نیز به تحمل گیاه نسبت به شوری مؤثر است. در شرایط گرم و خشک، مقاومت گیاه نسبت به شوری کاهش می‌یابد. بطور کلی عوامل گیاهی، عوامل خاکی و شرایط آب و هوایی از جمله مواردی هستند که در تحمل گیاهان نسبت به شوری نقش دارند (علیزاده، ۱۳۶۸). پسته از جمله گیاهانی است که مقاومت نسبتاً زیادی به شوری آب و خاک دارد. حد آستانه شوری خاک برای کاهش محصول پسته (بسته به گونه‌ها) حدود ۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد (Steduto et al., 2012 ; Ardakani, 2015). مقاومت به شوری حد و حدودی دارد و متجاوز از آن درخت پسته، با افزایش شوری کاهش محصول داشته و در صورت افزایش شوری نهایتاً خشک می‌شود. درختان پسته می‌توانند در شوری آب آبیاری برابر با ۸ دسی‌زیمنس بر متر کاهش محصول نداشته باشند ولی بین شوری‌های ۸ تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کاهش میزان عملکرد محصول معنی‌دار می‌شود (Somayeh et al., 2022). حساس‌ترین دوره آبیاری گیاه، زمان گلدهی (فروردین‌ماه) و رشد مغز (تیرماه) است و مهم‌ترین آب برای خندان شدن مغزهای پسته آب شهریورماه یا آخرین آب قبل از رسیدن کامل محصول می‌باشد. اسلامی و نقوی گزارش کردند که استفاده از آبهای شور بالاتر از ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر جهت آبیاری درخت پسته در مناطق پسته‌کاری کرمان معمول است (اسلامی و نقوی ۱۳۸۹). سیفی و همکاران (۱۳۹۳) دوره‌های متفاوت آبیاری ۳ و ۱۲ روز را در باغات پسته بررسی و گزارش نمودند حجم آب مصرفی در این دو تیمار به ترتیب ۱۳۲۹ و ۶۹۲ میلی‌متر بوده است. دور آبیاری ۳ روز موجب کاهش ۴۰ درصدی

در پژوهشی به مدت ۵ سال بر درخت پسته، از آب آبیاری با هدایت الکتریکی حدود ۷ دسی‌زیمنس بر متر در روش آبیاری زیرسطحی استفاده و گزارش شد که استفاده از این آب محدودیت قابل‌توجهی در رشد و عملکرد پسته ایجاد نکرده است (Eslami and naghavi, 2010). ایجاد تنش در مرحله‌ای از رشد درخت پسته می‌تواند بدون کاهش عملکرد منجر به صرفه‌جویی آب آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک شود (Memmi et al., 2016).

در اعمال تیمارهای آبیاری شامل ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد آبیاری معمول منطقه در شهرستان انار استان کرمان گزارش شد که درصد خندانی، تعداد جوله‌های زایشی در هر درخت و عملکرد در تیمارهای ۱۲۰، ۱۰۰ و ۸۰ درصد آبیاری معمول از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند و با کاهش یا افزایش مقدار آبیاری معمول منطقه به اندازه ۲۰ درصد هیچ تأثیری در درصد خندانی و تعداد جوله‌های زایشی در هر درخت و نیز مقدار عملکرد پسته حاصل نشد. آبیاری با ۸۰ درصد مقدار معمول منطقه (۹۷۹ میلی‌متر در فصل رشد) به عنوان مناسب‌ترین تیمار کم‌آبیاری معرفی شد که می‌تواند کمترین تأثیر سوء را بر کمیت و کیفیت محصول پسته داشته باشد (Aliakbari and Zandparsa, 2017).

شوری آب به‌عنوان یکی از مشکلات اساسی در باغات پسته در مناطق خشک و شور مطرح است. شوری آب می‌تواند باعث کاهش رشد، عملکرد و نیز کاهش کیفیت محصول نهایی شود (Alizadeh et al., 2013)، صداقتی و محمدی (۱۳۸۷). با این حال، برخی تحقیقات نشان داده‌اند که اگر مدیریت آبیاری مناسبی برای پسته اعمال گردد، پسته می‌تواند در شرایط شور به‌خوبی رشد کند و عملکرد مناسبی داشته باشد (Bagheri et al., 2019 ; Gholami et al., 2015). استفاده از رقم‌های سازگار با شوری، کاربرد روشهای مناسب آبیاری و برنامه‌ریزی آبیاری، استفاده از مواد آلی مانند کودهای ارگانیک و کمپوست با بهبود ساختمان خاک از جمله راهکارهای مناسب در شرایط شور بوده که در راستای افزایش بهره‌وری و تولید پسته می‌تواند به‌کار گرفته شود (Zareabyaneh et al., 2018).

با توجه به شرایط بحرانی کمبود منابع آب مناسب در کشور و نیاز به تأمین غذای جمعیت در حال رشد کشور،



تمرکز بیشتر باغات پسته و سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی) انتخاب گردید (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت مکانی باغات مورد مطالعه

در این راستا اطلاعاتی شامل مساحت باغ، تعداد و آرایش قطره‌چکانها، نوبت و ساعات آبیاری و عملکرد پسته جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری از خاک بمنظور اندازه‌گیری تغییرات شوری خاک انجام شد. تغییرات شوری خاک در محدوده توسعه ریشه در باغات منتخب در طول فصل در دو نوبت (ابتدا و انتهای فصل در اردیبهشت و مردادماه) و در سه عمق (۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتیمتر) در هر باغ اندازه‌گیری شد. با استفاده از مدل شبیه‌ساز هایدروس دوبعدی، مقادیر تبخیر و تعرق به همراه تغییرات شوری خاک در شرایط معمول باغدار و در سناریوی متفاوت آبیاری (قابل اجرا) شبیه‌سازی شد و توصیه‌های لازم در راستای عملکرد مناسب و کاهش مصرف آب ارائه شد. داده‌های اقلیمی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دامغان (ارتفاع از سطح دریا ۱۱۵۵ متر) و از آمار سال‌های ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ بمنظور تعیین تبخیر و تعرق استاندارد درخت پسته (مدل پنمن‌مانتیث فائو) و از میانگین سه ساله آن‌ها بمنظور بکارگیری در مدل استفاده گردید. تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از مدل هایدروس برآورد شد. برخی اطلاعات مربوط به باغ و عملکرد پسته به همراه مدیریت آبیاری باغات منتخب به ترتیب در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است.

پوکی و افزایش ۹۳ درصدی خندانی محصول شده و کاهش شوری خاک از سطح تا عمق یک متری گزارش گردید. استفاده از مدل‌های کاربردی و معمول با هدف شبیه‌سازی عملکرد گیاه و شوری خاک و بمنظور تعیین بهترین سناریوی آبیاری می‌باشد. همچنین، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به سیاست‌گذاران در زمینه مدیریت منابع آب کمک می‌کند تا با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی، مناسبترین سناریوی آبیاری را برای هر منطقه و با توجه به ملاحظات آب و خاک تعیین کنند (Kafi et al., 2008). هایدروس مدلی کارا بمنظور شبیه‌سازی جریان آب و انتقال املاح در خاک در روشهای مختلف آبیاری (خصوصاً در آبیاری قطره‌ای) است. مدل هایدروس دوبعدی معادله ریچاردز را در شرایط اشباع و غیراشباع خاک و با در نظر گرفتن جذب آب توسط ریشه گیاهان حل می‌کند (Simunek et al, 2008; 2012).

با عنایت به اینکه اطلاعات جامعی از مدیریتهای آبیاری و عملکرد موجود باغات پسته در روش آبیاری قطره‌ای سطحی در مناطق عمده پسته‌کاری سمنان (دامغان) موجود نیست، لذا شناسایی مدیریتهای مختلف آبیاری پسته این امکان را فراهم می‌نماید تا بتوان ضمن شبیه‌سازی شوری خاک، راهکارهای مدیریتی آبیاری را بمنظور افزایش عملکرد و مصرف مناسبتر آب ارائه نمود. در این ارتباط وضعیت موجود مدیریت آبیاری و عملکرد برخی باغات پسته (نماینده غالب باغات منطقه) بررسی و با استفاده از مدل شبیه‌ساز هایدروس دوبعدی، سناریوی متفاوت مدیریتی آبیاری (قابل اجرا در شرایط باغدار) از نظر دور و عمق آب آبیاری تعریف و توصیه‌های مدیریتی مناسب (شامل برنامه آبیاری مناسب با تغییر دور و ساعت آبیاری) به همراه بررسی تغییرات شوری خاک در باغات منتخب ارائه شد.

روش شناسی پژوهش

تعداد سه باغ بمنظور بررسی عملکرد، مدیریت آبیاری و تغییرات شوری خاک از شهرستان دامغان استان سمنان (با

جدول (۱): برخی مشخصات باغهای منتخب پسته

مساحت باغ (هکتار)	فاصله بین ردیف درختان (متر)	فاصله درختان در ردیف (متر)	سن درختان بارده	متوسط عملکرد باغ (تن در هکتار)	باغ
۳۶	۶	۳	۲۵	۱/۸	۱
۳۷	۶	۲	۳۰	۲/۴	۲
۳۵	۶	۳	۱۱	۱/۰	۳

به طور کلی آرایش لوله های آبیاری قطره ای دوردیفه و با فواصل قطره چکان های ۱/۵ متر می باشد. دور آبیاری در محدوده ۱۰ تا ۱۵ روز و مدت زمان آبیاری ۱۲ ساعات در باغات مورد نظر است (جدول ۲).

همانگونه که از جدول ۱ ملاحظه می گردد فواصل درختان در باغها ۲ تا ۳ متر، فواصل ردیف درختان ۶ متر و محدوده عملکرد پسته باغات منتخب بین ۱ تا ۲/۴ تن در هکتار می باشد. آرایش لوله های آبیاری قطره ای سطحی در منطقه دو خطی، دبی قطره چکانها ۸ لیتر در ساعت و دور آبیاری درختان پسته در محدوده ۱۱ تا ۱۵ روز می باشد.

جدول (۲): برخی ویژگیهای روش آبیاری قطره ای سطحی به همراه مدیریت آبیاری در باغات منتخب

باغ	آرایش لوله های آبیاری	فواصل قطره چکانها (متر)	تعداد قطره چکان برای هر درخت	مدت آبیاری (ساعت)	دور آبیاری (روز)	دبی قطره چکان (لیتر بر ساعت)
۱	دو ردیفه	۱/۵	۴	۱۲	۱۱	۸
۲	دو ردیفه	۱/۵	۴	۱۲	۱۵	۸
۳	دو ردیفه	۱/۵	۴	۱۲	۱۴	۸

کیفی آب آبیاری باغات نشان می دهد که کیفیت آب آبیاری برای پسته مناسب و محدودیتی ایجاد نمی کند. از نظر طبقه بندی ویلکوکس کیفیت آب آبیاری از نظر شوری در باغات منتخب ۱، ۲ و ۳ به ترتیب در گروه C_4S_3 ، C_4S_3 ، C_4S_4 قرار می گیرند.

آزمایشها در آزمایشگاه موسسه تحقیقات خاک و آب بر اساس استانداردهای تجزیه آب و خاک انجام پذیرفت. جدول ۳ برخی ویژگیهای کیفی آب آبیاری و جدول ۴ میانگین برخی ویژگیهای شیمیایی و فیزیکی خاک باغات منتخب (متوسط دو نوبت اندازه گیری در ابتدا و انتهای فصل در زیر و حدفاصل بین قطره چکانها در اواسط اردیبهشت و مردادماه) را به تفکیک ارائه می کند. نتایج

جدول (۳): برخی ویژگیهای کیفی آب آبیاری باغات منتخب

باغ	pH	HCO ₃ mg/l	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	SAR	EC dS/m
۱	۷/۸	۱۹۶	۱۷۷	۵۰	۵۰	۲۵	۲/۵
۲	۷/۹	۱۷۰	۱۷۳	۶۹	۴۴	۲۳	۴/۹
۳	۷/۵	۲۶۵	۱۴۸	۹۴	۵۲	۱۷	۲/۵

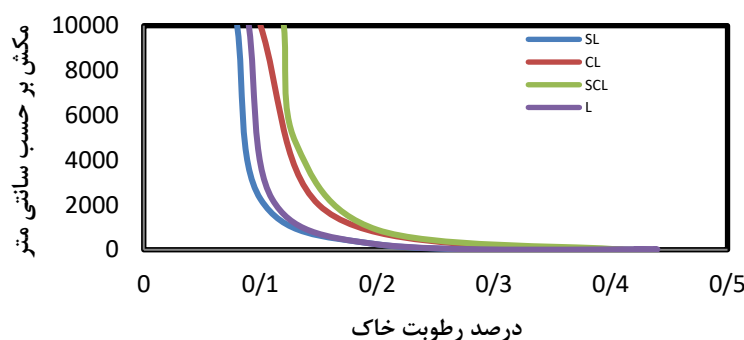
جدول (۴): برخی ویژگیهای شیمیایی و فیزیکی خاک باغات منتخب

رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی درصد	رطوبت وزنی ظرفیت زراعی درصد	شوری نوبت ۲ دسی زیمنس بر متر	شوری نوبت ۱ دسی زیمنس بر متر	بافت خاک	رس درصد	سیلت درصد	شن درصد	اسیدیته	عمق سانتی متر	باغ		
۱۱/۲	۲۵/۸	۳/۱	۴/۲	رسی لومی	۲۳	۵۱	۲۶	۷/۹	۳۰-۰	زیر قطره چکان		
		۴/۲	۵/۲	رسی لومی	۱۵	۴۱	۴۴	۸/۰	۶۰-۳۰			
		۳/۷	۴/۴	سیلتی لوم	۲۳	۵۱	۲۶	۸/۱	۹۰-۶۰	باغ ۱		
		۵/۳	۵/۰	رسی لومی	۳۱	۴۱	۲۸	۸/۱	۳۰-۰			
		۴/۴	۳/۶	رسی لومی	۲۳	۳۷	۴۰	۸/۲	۶۰-۳۰	بین قطره چکان		
		۳/۴	۳/۱	سیلتی لوم	۲۹	۴۵	۲۶	۷/۹	۹۰-۶۰			
		۷/۶	۷/۷	رسی لومی	۳۰	۳۴	۳۶	۷/۹	۳۰-۰	زیر قطره چکان		
		۸/۱	۸/۸	سیلتی رسی لومی	۳۰	۳۵	۳۵	۷/۵	۶۰-۳۰			
		۱۲/۸	۲۸/۱	۹/۸	۱۰/۵	سیلتی رسی لومی	۳۵	۳۸	۲۷	۷/۶	۹۰-۶۰	باغ ۲
				۸/۴	۹/۴	رسی لومی	۳۱	۳۷	۳۲	۷/۸	۳۰-۰	
۹/۸	۱۰/۰			سیلتی رسی لومی	۲۸	۳۵	۳۷	۷/۶	۶۰-۳۰	بین قطره چکان		
۱۲/۴	۱۳/۶			سیلتی رسی لومی	۳۰	۳۲	۳۸	۷/۸	۹۰-۶۰			
۱۰/۷	۱۲/۳			لوم	۴۳	۲۷	۳۰	۷/۸	۳۰-۰	زیر قطره چکان		
۱۱/۷	۱۳/۴			رسی لومی	۳۳	۳۹	۲۸	۷/۵	۶۰-۳۰			
۹/۵	۲۰/۴	۱۲/۴	۱۴/۸	رسی لومی	۹	۴۵	۴۶	۷/۵	۹۰-۶۰	باغ ۳		
		۱۱/۸	۱۲/۵	لوم	۳۹	۳۹	۲۲	۸/۲	۳۰-۰			
		۱۲/۵	۱۳/۲	رسی لومی	۳۹	۴۱	۲۰	۸/۰	۶۰-۳۰	بین قطره چکان		
		۱۳/۸	۱۵/۷	رسی لومی	۷۱	۱۷	۱۲	۷/۵	۹۰-۶۰			

EC₁ و EC₂ به ترتیب شوری خاک در دو مقطع ابتدا و انتهای دوره

داده‌های اندازه گیری شده بافت خاک و شبکه عصبی مدل هایدروس تعیین شد (جدول ۵). برای شرایط هیدرولیکی جریان از توابع ترکیبی معلم- وانگنوختن بدون اعمال شرط پسماند رطوبت، مدل انتقال املاح از روش کرانک نیکلسون و برای مدل جذب ریشه از روش فلدس استفاده شد. منحنی مشخصه بافت خاک‌های منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است (Šimůnek et al. 2012).

واسنجی مدل با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده فیزیکی خاک در سه باغ منتخب انجام و نتایج با مقادیر شوری خاک مقایسه و ارزیابی گردید. از داده‌های اندازه‌گیری شده نوبت اول برای واسنجی و از داده‌های نوبت دوم برای صحت‌سنجی مدل استفاده گردید. برخی پارامترهای هیدرولیکی موردنیاز برای حل معادله ریچاردز طبق توابع ترکیبی معلم- وانگنوختن و با استفاده از



شکل (۲): منحنی مشخصه بافت‌های خاک مورد مطالعه

جدول (۵): برخی ویژگی‌های فیزیکی و مقادیر پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی خاک

n	α 1/cm	رطوبت اشباع cm^3/cm^3	رطوبت باقی مانده cm^3/cm^3	هدایت هیدرولیکی اشباع cm/day	چگالی ظاهری g/cm^3	بافت خاک
۱/۶۵	۰/۰۳۶	۰/۴۱	۰/۰۷۸	۷۰	۱/۴۴	لومی
۱/۵۱	۰/۰۱۹	۰/۴۳	۰/۰۹۵	۳۵	۱/۴	لومی رسی
۱/۶۱	۰/۰۲۰	۰/۴۲	۰/۰۶۷	۵۵	۱/۴	سیلتی لوم
۱/۵۰	۰/۰۱۰	۰/۴۳	۰/۰۸۹	۵۰	۱/۳۵	سیلتی رسی لومی

Bd: جرم مخصوص ظاهری خاک، K_s : هدایت هیدرولیکی اشباع و α , θ_r , θ_s و n پارامترهای معادله وانگنوتن

تمرکز غالب ریشه‌ها در عمق پنجاه سانتی‌متری تعریف شد تا نزدیک‌ترین حالت به شرایط واقعی هر باغ ایجاد گردد. همچنین اطلاعات مدیریت آبیاری و شرایط مختلف بافتی در لایه‌های مختلف خاک به تفکیک هر باغ در مدل تعریف شد. شبکه‌بندی با فواصل ۵ سانتی‌متر و تعداد ۵۸۸ گره در شبکه‌بندی برای مدل تعریف شد. سطح خاک بعنوان شرایط مرزی اتمسفری و عمق یکصد سانتی‌متری (حداکثر عمق ریشه) بعنوان شرایط مرزی زهکشی آزاد به مدل معرفی شد. مرزهای عمودی بدون جریان در نظر گرفته شد.

مناسب آبیاری در خصوص تغییر دور و ساعت آبیاری بمنظور حصول به عملکرد مناسب و صرفه‌جویی در مصرف آب، سناریوی متفاوت آبیاری و قابل اجرا (نزدیک به شرایط معمول باغدار) در باغ در نظر گرفته شد. نتایج موارد شبیه سازی شده از نظر تبخیر و تعرق و عملکرد تیمارها با مقادیر مشابه آن در شرایط معمول باغدار مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت و سپس سناریوی مناسب و قابل اجرا در باغ ارائه شد. همچنین مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری با نتایج شبیه‌سازی شده آن با مدل هایدروس در شرایط

همچنین بمنظور استفاده و کاربرد مدل هایدروس، از شکل هندسی که عرض آن معادل نصف فواصل قطره‌چکان‌ها (بصورت متقارن) و عمق آن معادل حداکثر عمق ریشه درختان پسته (یک متر) در نظر گرفته شده، برای شبیه‌سازی استفاده گردید. از دبی قطره‌چکان، ساعت آبیاری و شعاع خیس شده به منظور تعیین شدت جریان قطره‌چکان (flux) در مدیریت معمول باغدار و سناریوهای پیشنهادی استفاده شد. توزیع افقی الگوی جذب آب توسط ریشه در این مدل بر اساس حداکثر عمق ریشه یکصد سانتی‌متر و با

یافته‌های پژوهش و بحث

نتایج باغ ۱

باغ پسته موردنظر با مساحت ۳۶ هکتار، درختان بارده ۲۵ ساله، متوسط عملکرد ۱/۸ تن در هکتار با آبیاری قطره‌ای سطحی و ۴ قطره‌چکان ۸ لیتر در ساعت (فواصل قطره‌چکانها ۱/۵ متر) و به مدت ۱۲ ساعت آبیاری می‌شود. محدوده شوری خاک بین ۳ تا ۵ و متوسط شوری آب آبیاری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. بمنظور ارائه برنامه

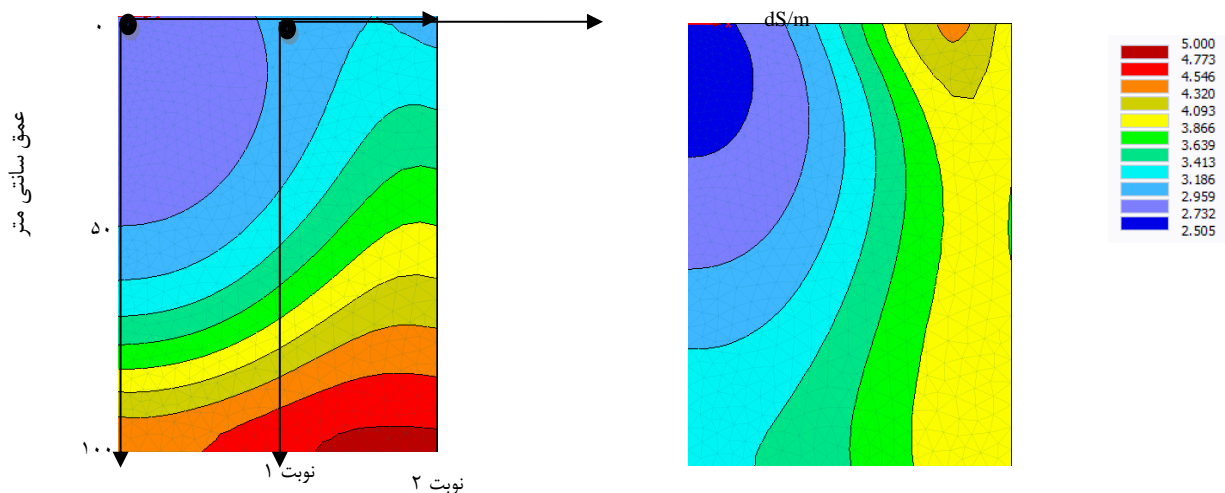


روز و ۸ ساعت آبیاری) با مقدار آن در شرایط باغدار تفاوتی نمی‌کند. با افزایش دور آبیاری به ۲۰ روز و کاهش ساعت آبیاری به ۸ ساعت، عملکرد بدون تغییر و مصرف آب در حدود ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین با در نظرگیری عملکرد و حجم آب مصرفی، سناریوی دور آبیاری ۲۰ روز با زمان آبیاری ۸ ساعت قابل توصیه می‌باشد. شکل ۳ تغییرات شوری خاک شبیه‌سازی شده باغ ۱ در شرایط معمول باغدار در فواصل قطره‌چکانها و در عمق یک متر را ارائه می‌کند.

جدول (۶): نتایج مقادیر تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل در سناریوی پیشنهادی

عمق خیس شدگی خاک	عملکرد قابل دستیابی	عملکرد واقعی	تبخیر تعرق پتانسیل	تبخیر تعرق واقعی	باغ ۱
سانتی متر	۱۰۰۰ کیلو گرم در هکتار	۱۰۰۰ کیلو گرم در هکتار	مترمکعب در هکتار	مترمکعب در هکتار	مدیریت معمول
۷۲	۱/۸	۱/۸	۶۳۵۵	۶۳۲۷	سناریوی پیشنهادی
۵۰	۱/۸	۱/۸	۶۳۵۵	۶۰۳۶	

ET_p و ET_a به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل، Y_p و Y_a به ترتیب عملکرد واقعی و پتانسیل، Z عمق خاک خیس شده در هر آبیاری



شکل (۳): تغییرات شوری خاک شبیه‌سازی شده در دو نوبت از فصل رشد پسته با مدل هایدروس دو بعدی

زیر و بین قطره‌چکان‌ها بترتیب ۳ و ۳/۹ دسی‌زیمنس بر متر و با فاصله از قطره‌چکان شوری افزایش می‌یابد.

نتایج مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده شوری خاک با مدل هایدروس در جدول ۷ ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد که میانگین شوری خاک (تا ۹۰ سانتی‌متری) در

جدول (۷): نتایج مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده شوری

خاک در سه عمق مختلف

عمق (سانتی متر)	شوری نوبت اول		شوری نوبت دوم		دسی زیمنس بر متر
	شوری نوبت اول	شوری نوبت دوم	شوری نوبت اول	شوری نوبت دوم	
زیر	۲/۸	۲/۷	۴/۲	۳/۱	۳۰-۰
قطره-	۳/۰	۲/۹	۵/۲	۴/۲	۶۰-۳۰
چکان	۳/۹	۳/۳	۴/۲	۳/۷	۹۰-۶۰
بین	۳/۳	۱/۴	۵/۰	۵/۳	۳۰-۰
قطره-	۳/۸	۳/۹	۳/۶	۴/۴	۶۰-۳۰
چکان	۳/۴	۳/۹	۳/۱	۸/۴	۹۰-۶۰

نتایج باغ ۲

باغ پسته موردنظر با مساحت ۳۷ هکتار و درختان بارده ۳۰ ساله، متوسط عملکرد ۲/۴ تن در هکتار با آبیاری قطره‌ای سطحی و ۴ قطره‌چکان ۸ لیتر در ساعت (فواصل قطره‌چکان‌ها ۱/۵ متر) و به مدت ۱۲ ساعت آبیاری می‌شود. متوسط شوری خاک حدود ۸ تا ۱۲ و متوسط شوری آب آبیاری ۴/۹ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. جدول ۸ مقادیر تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل شبیه‌سازی شده در شرایط معمول باغدار و سناریوی پیشنهادی در باغ ۲ را ارائه می‌کند. سناریوی معرفی شده به مدل شامل ۲ سناریو بصورت، شرایط معمول مدیریت آبیاری باغدار (دور ۱۵ روز و زمان آبیاری ۱۲ ساعت) و دور آبیاری ۲۰ روز و آبیاری به مدت ۸ ساعت می‌باشد.

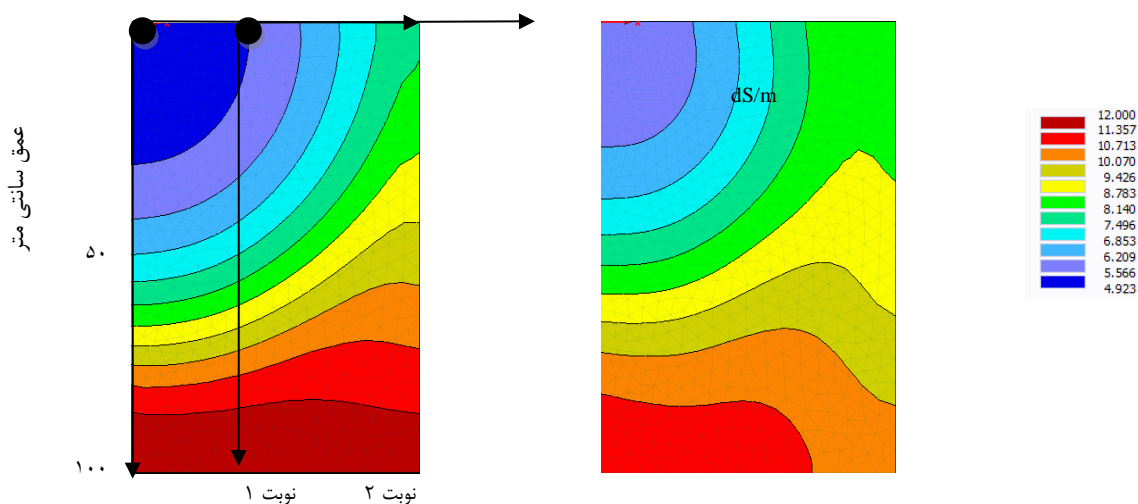
جدول (۸): نتایج مقادیر تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل در سناریوی پیشنهادی

باغ ۲	تبخیر تعرق واقعی	تبخیر تعرق پتانسیل	عملکرد واقعی	عملکرد قابل دستیابی	عمق خیس شدگی خاک (سانتی متر)
مدیریت معمول	۶۳۴۵	۶۳۵۵	۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار	۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷۰
سناریوی پیشنهادی	۶۱۳۲	۶۳۵۵	۲/۳	۲/۴	۵۶

ET_p و ET_a به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل، Y_p و Y_a به ترتیب عملکرد واقعی و پتانسیل، Z عمق خاک خیس شده در هر آبیاری

آبیاری حدود ۸ ساعت با کاهش مصرف آب قابل توصیه می‌باشد. شکل ۴ تغییرات شوری خاک باغ ۲ را در شرایط معمول باغدار در فواصل قطره‌چکان‌ها و در عمق یک متر نشان می‌دهد. نتایج مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده شوری خاک در جدول ۹ ارائه شده است.

در شرایط باغدار حدود ۲/۴ تن در هکتار پسته تولید می‌گردد در حالیکه در سناریوی پیشنهادی (دور آبیاری ۲۰ روز و ۸ ساعت آبیاری) مقدار عملکرد بدون تغییر و حجم آب مصرفی کاهش می‌یابد. بنابراین با در نظرگیری عملکرد و آب مصرفی، سناریوی دور آبیاری حدود ۲۰ روز و مدت



شکل (۴): تغییرات شوری خاک شبیه‌سازی شده در دو نوبت از فصل رشد پسته با مدل هایدروس دوبعدی

جدول (۹): نتایج مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده شوری خاک

شوری نوبت دوم	شوری نوبت اول	شوری نوبت دوم	شوری نوبت اول	عمق (سانتیمتر)	
اندازه‌گیری		شبیه‌سازی			
دسی‌زیمنس بر متر					
۷/۶	۷/۷	۵/۹	۵/۲	۳۰-۰	
۸/۲	۸/۱	۷/۵	۶/۵	۶۰-۳۰	زیر قطره‌چکان
۹/۸	۱۰/۶	۱۰/۳	۹/۸	۹۰-۶۰	
۸/۴	۹/۴	۸/۷	۷/۶	۳۰-۰	
۹/۸	۱۰/۰	۹/۱	۹/۲	۶۰-۳۰	بین قطره‌چکان
۱۲/۴	۱۳/۶	۱۰/۰	۱۱/۰	۹۰-۶۰	

همانگونه که نتایج جدول نشان می‌دهد مقادیر شوری خاک که با مدل هایدروس دوبعدی شبیه‌سازی شده‌اند با مقادیر اندازه‌گیری شده آن همخوانی دارد.

قطره‌چکانها (۱/۵ متر) و به مدت ۱۲ ساعت آبیاری می‌شود. متوسط شوری خاک حدود ۱۰ تا ۱۳ و متوسط شوری آب آبیاری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. جدول ۱۰ نتایج مقادیر تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل شبیه‌سازی شده در شرایط معمول باغدار و سناریوی پیشنهادی در باغ ۳ را ارائه می‌کند. سناریوی معرفی شده به مدل شامل ۲ سناریو بصورت، شرایط معمول مدیریت آبیاری باغدار (دور ۱۴ روزه و زمان آبیاری ۱۲ ساعت) و دور آبیاری ۲۰ روز و آبیاری به مدت ۸ ساعت بود.

نتایج باغ ۳

باغ پسته موردنظر با مساحت ۳۵ هکتار و درختان بارده ۱۱ ساله، متوسط عملکرد ۱ تن در هکتار با آبیاری قطره‌ای سطحی و ۴ قطره‌چکان ۸ لیتر در ساعت (فواصل

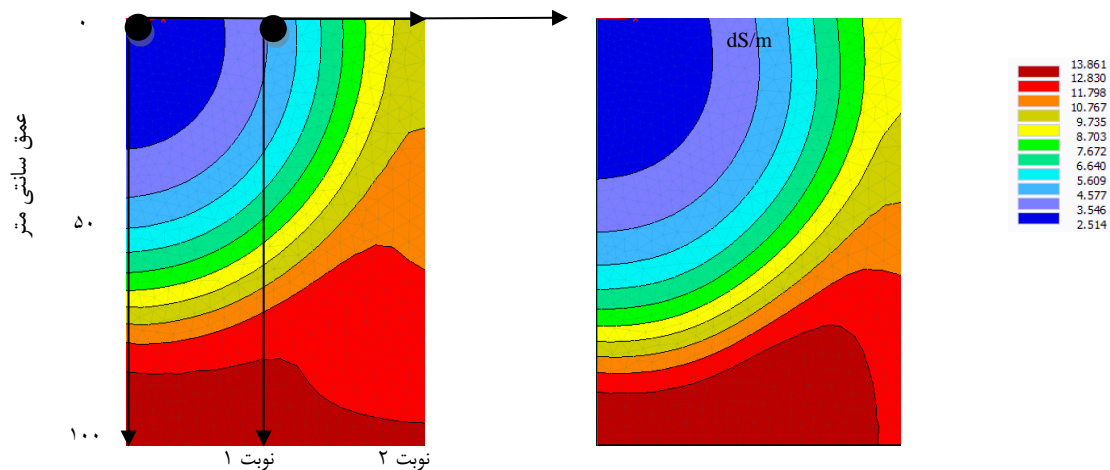
جدول (۱۰): نتایج مقادیر تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل در سناریوی پیشنهادی

عمق خیس شدگی خاک	عمکرد قابل دستیابی	عمکرد واقعی	تبخیر تعرق پتانسیل	تبخیر تعرق واقعی	باغ ۳
سانتی متر	۱۰۰۰ کیلو گرم در هکتار	۱۰۰۰ کیلو گرم در هکتار	مترمکعب در هکتار	مترمکعب در هکتار	
۹۲	۱	۱	۶۳۵۵	۶۳۴۶	مدیریت معمول
۶۵	۱	۰/۹	۶۳۵۵	۵۷۲۱	سناریوی پیشنهادی

ET_a و ET_p به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل، Y_a و Y_p به ترتیب عملکرد واقعی و پتانسیل، Z عمق خاک خیس شده در هر آبیاری

مدت آبیاری بمدت ۸ ساعت، قابل توصیه می‌باشد. شکل ۵ تغییرات شوری خاک باغ ۳ را در شرایط معمول باغدار در فواصل قطره‌چکانها و در عمق یک متر نشان می‌دهد. همچنین جدول ۱۱ نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده شوری خاک باغ ۳ را نشان می‌دهد.

همانگونه که ملاحظه می‌گردد در شرایط باغدار حدود ۱ تن در هکتار پسته تولید شده در حالیکه در سناریوی پیشنهادی (دور آبیاری ۲۰ روز و ۸ ساعت آبیاری)، مقدار عملکرد مشابه و مصرف آب نسبت به شرایط معمول باغدار کاهش می‌یابد. با در نظر گیری عملکرد و حجم آب مصرفی، سناریوی افزایش دور آبیاری به ۲۰ روز و کاهش



شکل (۵): تغییرات شوری خاک در دو نوبت از فصل رشد پسته با مدل هایدروس دوبعدی

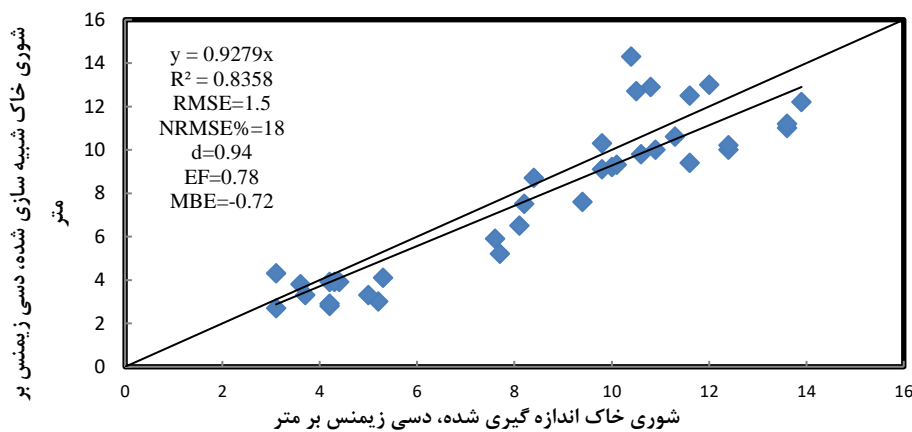
جدول (۱۱): نتایج مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده شوری خاک

شوری نوبت دوم	شوری نوبت اول	شوری نوبت دوم	شوری نوبت اول	عمق (سانتیمتر)	
دسی زیمنس بر متر					
۱۰/۸	۱۲/۰	۱۲/۹	۱۳/۰	۳۰-۰	
۱۰/۴	۱۱/۶	۱۴/۳	۱۵/۴	۶۰-۳۰	زیر قطره‌چکان
۱۲/۴	۱۳/۹	۱۰/۲	۱۲/۲	۹۰-۶۰	
۱۰/۱	۱۰/۹	۹/۳	۱۰/۰	۳۰-۰	
۱۱/۳	۱۳/۶	۱۰/۶	۱۱/۲	۶۰-۳۰	بین قطره‌چکان
۱۰/۵	۱۱/۶	۱۲/۷	۱۲/۵	۹۰-۶۰	



شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده شوری خاک را در سه عمق مختلف و در تمامی باغات ارایه می‌کند. مقادیر شوری خاک که با مدل هایدروس دوبعدی شبیه‌سازی شده‌اند با مقادیر اندازه‌گیری شده آن همخوانی داشته و نشانگر کارایی این مدل در شبیه‌سازی شوری خاک می‌باشد که نتایج مشابهی نیز توسط (Mirzaei and Nazemi 2011) ارائه شده است.

مقادیر شوری خاک که با مدل هایدروس دوبعدی شبیه‌سازی شده‌اند با مقادیر اندازه‌گیری شده آن همخوانی مناسبی دارد. میانگین ریشه مربعات خطای نرمال شده شوری خاک حدود ۱۸ درصد بوده و ملاحظه می‌گردد که این مدل توانایی و کارایی مناسبی در شبیه‌سازی شوری خاک باغات مورد نظر داشته که با نتایج گزارش شده توسط phogat et al., (2012) و Selim et al., (2013) منطبق بوده و می‌توان با دقت مناسبی شوری خاک را شبیه‌سازی نمود. شکل ۶ بطور تجمیعی نتایج مقادیر



شکل (۶): تغییرات شوری خاک شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با خط یک به یک

در باغات منتخب با کاهش مصرف آب ۳۰ درصد نسبت به شرایط معمول قابل توصیه می‌باشد. بطور متوسط ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده شوری خاک در باغات منتخب حدود ۱۸ درصد، شاخص توافق ۹۴ درصد و کارایی مدل ۷۸ درصد تعیین شده است؛ که بیانگر توانایی و کارایی مدل در شبیه‌سازی شوری خاک بوده و لذا می‌توان با دقت مناسبی شوری خاک را شبیه‌سازی کرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نظر به اینکه بافت خاک غالب باغات مورد نظر لومرسی و لومرسی-سیلتی بوده و نیز دور آبیاری این باغات در محدوده ۱۰ تا ۱۵ روز و مدت زمان آبیاری نیز حدود ۱۲ ساعت می‌باشد، سناریوی دور آبیاری حدود ۲۰ روز با زمان آبیاری ۸ ساعت بمنظور رسیدن به عملکرد قابل دستیابی

منابع

- آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱ (جلد سوم، محصولات باغبانی و گلخانه‌ای). مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی.
- اسلامی، ا.، م. شاکر و ا. جوکار. ۱۴۰۱. تاثیر مدیریت آبیاری در شرایط باغدار بر بهره‌وری آب آبیاری درختان پسته. نشریه مدیریت آب در کشاورزی دوره ۱۰.



- اکبری، ا. و ش. زند پارسا. ۱۳۹۶. تاثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر رشد و عملکرد درخت پسته در شهرستان انار استان کرمان. علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰(۳)، ۱۳۶-۱۲۳.
- سیفی، ا.، س. م. میرلطیفی، ح. دهقانی سانج و م. ترابی. ۱۳۹۳. تاثیر دور آبیاری بر توزیع رطوبت و شوری در باغ‌های پسته تحت شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (مطالعه موردی: شهرستان سیرجان استان کرمان). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۴(۸)، ۷۸۶-۷۹۹.
- صداقتی، ن. و ح. حکم آبادی. ۱۳۸۸. مطالعه ارتباط خصوصیات اکوفیزیولوژیکی درختان پسته با تنش آبی جهت اعمال مدیریت بهینه آبیاری. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات پسته کشور، رفسنجان. ۴۰ صفحه.
- صداقتی، ن. و ا. محمدی محمدآبادی. ۱۳۸۷. شوری و علائم شناسایی آن در باغ‌های پسته. نشریه فنی- ترویجی شماره ۵۸ مؤسسه تحقیقات پسته کشور، ۲۴ صفحه.
- صداقتی، ن.، حسینی فرد، س. ج. و محمدی محمدآبادی، ا. ۱۳۹۱. مقایسه اثرات دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر رشد و عملکرد درختان بارور پسته. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶(۳)، ۵۷۵-۵۸۵.
- علیزاده، ا. ۱۳۶۸. کیفیت آب در آبیاری (ترجمه). انتشارات آستان قدس رضوی. ۹۳ صفحه.
- گنجی خرم‌دل، ن. و ف. کیخایی. ۱۳۹۵. مقایسه تغییرات رشد و عملکرد محصول درختان بارور پسته در گذار از آبیاری سطحی به آبیاری قطره‌ای در ساوه. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰(۱)، ۴۹-۳۹.
- موسوی فضل، س. ج.، م. ح. رحیمیان، ن. کوهی، ح. ریاحی، م. کرامتی، ف. عباسی و ج. باغانی. ۱۳۹۹. ارزیابی حجم آب کاربردی و بهره‌وری آب در کانون‌های اصلی تولید پسته کشور (استان‌های کرمان، خراسان رضوی، یزد و سمنان). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۶(۱۴)، ۲۲۴۴-۲۲۵۶.
- نقوی، ه. ۱۳۹۵. بررسی تاثیر عمق کارگزاری و میزان آب آبیاری به روش قطره‌ای زیرسطحی بر عملکرد و غلظت عناصر ماکرو در برگ در درختان پسته. مجله مهندسی آبیاری و آب. ۷(۲۶)، ۱۵۸-۱۴۲.

Alizadeh, A., M. Kafi, T. Taghavi and A. H. Khoshgoftarmanesh. 2013. Effects of salinity on growth, water status and ion distribution in almond rootstock GF-677. *Journal of Plant Nutrition*, 36(7), 1086-1098.

Ardakani, M. 2015. Effect of salinity on germination and deployment of Pistachio vera var Kaleghouchi. *European Journal of Experimental Biology*, 2015, 5(4), 68-70.

Bagheri, R., S. Khorasaninejad, G. Fathi and A. Gholizadeh. 2019. Effect of irrigation with saline water on growth, yield and quality of pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 246, 138-143.

Eslami, A. and H. Naghavi. 2012. Study in the possibility of using brackish water in the subsurface drip irrigation system in the Pistachio orchard fertilizer channel. 90/538 (In Persia).

Gholami, M., S. Khorasaninejad and K. Fotuhi. 2015. Effects of irrigation with saline water on yield and quality of pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars. *Agricultural Water Management*, 148, 194-200.

Kafi, M., Rashed M. H. Mohassel and A. Koocheki. 2008. Pistachio (*Pistacia vera* L.) production under saline conditions. In, Kafi M., Rashed Mohassel M. H., Koocheki A., and Mollafilabi A. (Eds.), *Advances in Pistachio Production and Utilization*, 281-296.

Mirzaie, A., and A. Nazemi. 2011. The simulation of salts movement in soil using HYDRUS-2D model. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 1(3), 59-70.

Memmi, H., M.C. Gijón, J.F. Couceiro and D. Pérez-López. 2016. Water stress thresholds for regulated deficit irrigation in pistachio trees: Rootstock influence and effects on yield quality. *Agricultural Water Management*, 164, 58-72.



Phogat, V., Mahadevan, M., Skewes, M and Cox, J.W. 2012. Modelling soil water and salt dynamics under pulsed and continuous surface drip irrigation of almond and implications of system design. *Irrigation Science*. 30, 315-333.

Sedaghati, N. and H. Hokmabadi. 2015. Optimizing pistachio irrigation management using the relationship between echo-physiological characteristics & water stress. *Journal of Agricultural Science & Technology*, 17, 189-200.

Selim, T., Berndtsson, R and Persson, M. 2013. Simulation of soil water and salinity distribution under surface drip irrigation. *Irrigation and Drainage*. 62, 352-362.

Šimůnek, J., M.T. Van Genuchten and M. Šejna. 2008. Development and applications of the HYDRUS and STANMOD software packages and related codes. *Vadose Zone Journal*. 7, 587-600.

Šimůnek, J., M.T. Van Genuchten and M. Šejna. 2012. The HYDRUS software package for simulating two and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. *Technical manual*, version 1, 241.

Shamsi, S., A. Kamali and Y. Hasheminejad. 2022. An approach to predict soil salinity changes in irrigated pistachio orchards. *Journal of Soil Science Society of Iran*, 1(1), 1-10.

Steduto, Pasquale. T. C. Hsiao, E. Fereres and D. Raes. 2012. *FAO Irrigation and Drainage*, No: 66.

Zareabyaneh, H., S. Khorasaninejad, K. Fotuhi and M. Rahemi. 2018. Effect of irrigation with saline water on growth, yield and quality of pistachio trees (*Pistacia vera* L.). *Agricultural Water Management*, 202, 1-9.