



## Investigating the effect of shallow and saline groundwater on meeting water needs and its impact on the yield of *Moringa oleifera* tree in greenhouse and field environments

Zahra Goorani<sup>1</sup> , Houshang Ghamarnia<sup>2✉</sup> , Bahman Farhadi Bansouleh<sup>3</sup> , and Issa Arji<sup>4</sup>

1. Department of Water Science and Engineering. Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: [Z.goorani@razi.ac.ir](mailto:Z.goorani@razi.ac.ir)
2. Corresponding author, Department of Water Science and Engineering. Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: [hghamarnia@razi.ac.ir](mailto:hghamarnia@razi.ac.ir)
3. Department of Water Science and Engineering. Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: [bfarhadi2001@yahoo.com](mailto:bfarhadi2001@yahoo.com)
4. Department of Plant Production and Genetics of Science and Engineering. Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: [issaarji@gmail.com](mailto:issaarji@gmail.com)

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**  
Received 21 June 2025  
Received in revised form 04  
October 2025  
Accepted 21 December 2025  
Available online 21 March  
2026

**Keywords:**

groundwater,  
*Moringa oleifera*,  
semi-arid climate,  
saline,  
shallow.

### ABSTRACT

**Objective:** This study examined the impact of shallow saline groundwater on water supply and the yield of *Moringa oleifera* during the 1402–1403 growing seasons at Razi University.

**Method:** This research was conducted in a completely randomized factorial design with three replications. The treatments applied included groundwater with salinity levels of 1 (water of the study area), 2, 6, and 10 dSm<sup>-1</sup> at three water table depths of 0.6, 0.8, and 1.1 m.

**Results:** In both greenhouse and field conditions, groundwater contribution to plant water use increased as groundwater depth decreased at all salinity levels; the highest dry leaf, calcium, and iron yields were obtained at 1 dS m<sup>-1</sup> salinity and 0.6 m depth, while the lowest were at 10 dS m<sup>-1</sup> and 1.1 m, whereas nitrogen content showed the opposite trend.

**Conclusions:** The results indicate that the closer the groundwater is to the soil surface (shallow groundwater), the easier it is for plants to use this source, allowing them to meet a greater percentage of their water needs through groundwater. However, in none of the treatments was the plant's water requirement 100% met through groundwater. The results obtained in this study also indicate the significant effects of different groundwater depths and their quality on dry leaf yield, calcium, iron, and nitrogen in the greenhouse and research field environments.

**Cite this article:** Goorani, Z., Ghamarnia, H., Farhadi Bansouleh, F., & Arji, I. (2026). Investigating the effect of shallow and saline groundwater on meeting water needs and its impact on the yield of *Moringa oleifera* tree in greenhouse and field environments. *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 6 (1), 102-125. <https://doi.org/10.22126/atwe.2025.12347.1174>



© The Author(s)  
<https://doi.org/10.22126/atwe.2025.12347.1174>

Publisher: Razi University.

## **Introduction**

Rising global population and increasing water demand—especially in arid and semi-arid regions—have intensified pressure on limited freshwater resources, making the use of saline water in agriculture increasingly necessary. In Iran, agriculture is the largest water consumer, and excessive groundwater extraction has led to severe aquifer depletion and declining water quality. A significant portion of groundwater and surface water used in agriculture is saline, while large areas of cultivable land are affected by soil salinity. Combined with climate change, recurrent droughts, inefficient irrigation, and poor water management, these factors have deepened the country's water crisis.

Globally, freshwater scarcity is also escalating, with billions lacking access to safe water and many countries experiencing water stress. Given Iran's low annual rainfall and high evaporation rates, improving water productivity and adopting salt- and drought-tolerant crops are critical for sustainable agriculture and food security.

*Moringa oleifera* is a multipurpose, nutrient-rich plant whose leaves, flowers, pods, and seeds have food, medicinal, and oil-producing value. Due to its tolerance to harsh conditions and high nutritional content, it is considered a promising crop for water-limited and saline environments. Therefore, this study investigates the performance of *Moringa oleifera* under salinity stress caused by shallow saline groundwater, aiming to identify suitable management strategies to enhance yield and water-use efficiency under such conditions.

## **Method**

This research was designed and implemented as a completely randomized factorial experiment with three replications in order to ensure adequate precision, reduce experimental error, and allow for a robust statistical evaluation of treatment effects. The factorial arrangement enabled the simultaneous investigation of multiple factors and their possible interactions under controlled conditions. The experimental treatments consisted of two main factors: groundwater salinity and water table depth. Groundwater salinity was applied at four distinct levels: 1 dS m<sup>-1</sup>, 2 dS m<sup>-1</sup>, 6 dS m<sup>-1</sup>, and 10 dS m<sup>-1</sup>. The 1 dS m<sup>-1</sup> treatment represented the natural groundwater quality of the study area and served as the control condition. The higher salinity levels (2, 6, and 10 dS m<sup>-1</sup>) were selected to represent increasing degrees of salinity stress, ranging from slight to severe, in order to simulate conditions commonly encountered in arid and semi-arid regions where groundwater salinization poses a significant limitation to agricultural productivity. The second experimental factor was water table depth, which was maintained at three levels: 0.6 m, 0.8 m, and 1.1 m below the soil surface. These depths were selected to represent shallow, moderate, and relatively deep groundwater conditions, respectively. The variation in water table depth allowed for the assessment of capillary rise potential, salt accumulation in the root zone, and the overall influence of groundwater proximity on soil–plant–water interactions.

By combining the four salinity levels with the three water table depths in a full factorial arrangement, a total of 12 treatment combinations were established. Each treatment was replicated three times, resulting in 36 experimental units. The completely randomized allocation of treatments minimized systematic bias and ensured that any observed differences among treatments could be attributed to the experimental factors rather than environmental variability. This experimental design made it possible to evaluate not only the main effects of groundwater salinity and water table depth independently, but also their interaction effects. In particular, it enabled the investigation of whether the impact of salinity on the measured variables was

influenced by groundwater depth, and vice versa. Such an approach provides a comprehensive understanding of the combined effects of salinity stress and groundwater dynamics, which is essential for developing sustainable water and soil management strategies in salt-affected environments.

## Results

In greenhouse and field environments with shallow groundwater depth, the percentage of groundwater contribution to meeting plant water needs increased at all four salinity levels with decreasing groundwater depth, the results also showed that regarding to dry leaf yield in the greenhouse and research field environment, the lowest yield was related to treatments with salinity of  $10 \text{ dSm}^{-1}$  and groundwater depth of 1.1 m, and the highest yield was related to treatments with salinity of  $1 \text{ dSm}^{-1}$  and depth of 0.6 m. Results also showed that the nitrogen content in leaf extracts in the greenhouse and field environments was the lowest and highest values related to the salinity and depth treatments ( $1 \text{ dSm}^{-1}$ , 0.6 m) and ( $10 \text{ dSm}^{-1}$ , 1.1 m), respectively. In general, the results of the study showed that regarding to calcium and iron yield in the greenhouse and research field environments, the lowest and highest yield in leaf extract were related to salinity and depth ( $10 \text{ dSm}^{-1}$ , 1.1 m) and ( $1 \text{ dSm}^{-1}$ , 0.6 m), respectively.

## Conclusions

The results indicate that the closer the groundwater is to the soil surface (shallow groundwater), the easier it is for plants to use this source, allowing them to meet a greater percentage of their water needs through groundwater. However, in none of the treatments was the plant's water requirement 100% met through groundwater. The results obtained in this study also indicate the significant effects of different groundwater depths and their quality on dry leaf yield, calcium, iron, and nitrogen in the greenhouse and research field environments.

## Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

## Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

## Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

## Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

## Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



## بررسی تأثیر آب زیرزمینی کم عمق و شور در تأمین نیاز آبی و تأثیر بر محصول درخت مورینگا اولیفر (Moringa Oleifera) در محیط های گلخانه و مزرعه تحقیقاتی

زهرا گورانی<sup>۱</sup>، هوشنگ قمرنیا<sup>۲</sup>، بهمن فرهادی بانسوله<sup>۳</sup>، و عیسی ارجی<sup>۴</sup>

۱. گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [Z.goorani@razi.ac.ir](mailto:Z.goorani@razi.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [hghamarnia@razi.ac.ir](mailto:hghamarnia@razi.ac.ir)

۳. گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [bfarhadi2001@yahoo.com](mailto:bfarhadi2001@yahoo.com)

۴. گروه علوم و مهندسی باغبانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [issaarji@gmail.com](mailto:issaarji@gmail.com)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

**هدف:** در این مطالعه به بررسی اثر آب زیرزمینی کم عمق و شور در کمک به تأمین نیاز آبی گیاه مورینگا اولیفر و تأثیر آن بر محصول این گیاه در دو سال زراعی ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ با استفاده از میکرو لایسیمتر در محیط های گلخانه و مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی پرداخته شد.

**روش پژوهش:** این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل و در سه تکرار انجام شد که تیمارهای اعمال شده شامل آب زیرزمینی با سطوح شوری ۱ (آب منطقه مورد مطالعه)، ۲، ۶ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر در سه عمق سطح ایستابی ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۱ متر بود.

**یافته ها:** نتایج نشان داد که در محیط های گلخانه و مزرعه تیمارهای با عمق آب زیرزمینی کم، درصد مشارکت آب زیرزمینی در تأمین نیاز آبی گیاه در هر ۴ سطح شوری با کاهش عمق آب زیرزمینی، افزایش پیدا کرده است همچنین نتایج نشان داد که عملکرد برگ خشک در محیط های گلخانه و مزرعه تحقیقاتی، کمترین عملکرد برگ خشک مربوط به تیمارهای با شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر و عمق آب زیرزمینی ۱/۱ متر و بیشترین عملکرد مربوط به تیمارهایی با شوری ۱ دسی زیمنس بر متر و عمق ۰/۶ متر است، همچنین نتایج نشان داد که در محیط های گلخانه و مزرعه کمترین و بیشترین محتوی ازت در عصاره برگ ها به ترتیب مربوط به تیمار با شوری و عمق (۱ دسی زیمنس بر متر، ۰/۶ متر) و (۱۰ دسی زیمنس بر متر، ۱/۱ متر) بوده است. به طور کلی نتایج پژوهش نشان داد که در محیط های گلخانه و مزرعه تحقیقاتی کمترین و بیشترین میزان عملکرد کلسیم و آهن در عصاره برگ ها به ترتیب مربوط به شوری و عمق (۱۰ دسی زیمنس بر متر، ۱/۱ متر) و (۱ دسی زیمنس بر متر، ۰/۶ متر) بوده است.

**نتیجه گیری:** نتایج نشانگر آن است که هر چه آب زیرزمینی فاصله کمتری تا سطح خاک داشته باشد (آب زیرزمینی کم عمق) به علت آسان تر بودن استفاده از این منبع گیاه می تواند درصد بیشتری از نیاز آبی خود را از طریق آب زیرزمینی تأمین نماید. اما در هیچ کدام از تیمارها نیاز آبی گیاه صد درصد از طریق آب زیرزمینی تأمین نشده است. همچنین نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان دهنده معنی دار بودن اثرات عمق های مختلف آب زیرزمینی و کیفیت آن بر عملکرد برگ خشک، کلسیم، آهن و ازت در محیط گلخانه و مزرعه تحقیقاتی است.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

کلیدواژه ها:

آب زیرزمینی،

مورینگا اولیفر،

اقلیم نیمه خشک،

شور،

کم عمق.

**استناد:** گورانی، زهرا؛ قمرنیا، هوشنگ؛ فرهادی بانسوله، بهمن؛ و ارجی، عیسی. (۱۴۰۵). بررسی تأثیر آب زیرزمینی کم عمق و شور در تأمین نیاز آبی و تأثیر بر محصول درخت مورینگا اولیفر (Moringa Oleifera) در محیط های گلخانه و مزرعه تحقیقاتی. فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۶ (۱)، ۱۲۵-۱۰۲.

<https://doi.org/10.22126/atwe.2025.12347.1174>

© نویسندگان

شر: دانشگاه رازی.



### مقدمه

روند صعودی تقاضای آب به تبعیت از افزایش روزافزون جمعیت بشری در مناطقی از جهان که شدت نیاز به آب به دلیل شرایط اقلیمی حاکم بر آن، در حد بالایی است و با توجه به تقاضای زیادی که در مصرف آب وجود دارد و عدم تناسب این نیاز با میزان آب شیرین موجود، لزوم بررسی و استفاده از آب‌های شور در امر آبیاری در بخش کشاورزی را بیش از پیش آشکار می‌کند. به نظر می‌رسد در آینده‌ای نه چندان دور به سبب اعتبار و ارزشی که آب خصوصاً در بخش کشاورزی پیدا خواهد نمود (هم‌اکنون به دلیل نبود انگیزه اقتصادی در مصرف آب ارزش واقعی خود را نیافته است)، امکانات بیشتر و مدیریت‌های بهتری در نیل به هدف فوق معطوف شود. بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب است که بر اثر اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی، حجم کسری آبخوان‌های کشور در سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱، بیش از ۳۵۰ میلیارد مترمکعب برآورد شده است (زندپارسا و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۴). تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌ها حاکی از این واقعیت است که متأسفانه در اکثر دشت‌های ایران که کاربری کشاورزی دارند، برداشت بیش از حد و ظرفیت آبخوان از چاه‌ها، ضریب آسیب‌پذیری آبخوان و احتمال بروز مشکلات آبی را افزایش می‌دهد (فرمانی‌فرد و همکاران، ۱۴۰۱). وسعت و پراکنش خاک‌های شور در کشورمان بسیار گسترده است، از ۱۶۵ میلیون هکتار اراضی قابل کاشت ۲۴ میلیون هکتار آن را خاک‌های شور تشکیل می‌دهند (رحیمیان و غلامی، ۱۴۰۱). بنابراین از آن جا که منابع آبی باکیفیت مطلوب برای آبیاری محصولات در جهان کم است لذا، استفاده از آب‌های شور و کمی شور برای کشاورزی امری ضروری بوده و استفاده از ارقام مقاوم به شوری در حال حاضر یکی از مهمترین روش‌های موثر در بهره‌برداری از آب‌های شور است. مناطقی که تحت تاثیر شوری آب و خاک قرار دارند، به طور کامل و دقیق شناخته نشده‌اند، ولی آنچه مسلم است این مناطق از وسعت زیادی برخوردار می‌باشند. بررسی بر روی ۴۴/۵ میلیارد مترمکعب آب‌های زیرزمینی مورد استفاده در بخش کشاورزی نشان می‌دهد که از نظر حجمی حدود ۳۱٪ از این منابع (معادل ۱۳/۸ میلیارد مترمکعب) دارای شوری‌های بالای ۲ دسی‌زیمنس بر متر (با سطوح مختلف شوری) می‌باشند. از این بین حدود ۷/۵ میلیارد مترمکعب در کلاس شوری ۲-۴ دسی‌زیمنس بر متر، حدود ۴/۳ میلیارد مترمکعب در کلاس شوری ۴-۸ دسی‌زیمنس بر متر، حدود ۱/۳ میلیارد مترمکعب در کلاس شوری ۸-۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، حدود ۰/۴ میلیارد مترمکعب در کلاس شوری ۱۲-۱۶ دسی‌زیمنس و حدود ۰/۲ میلیارد مترمکعب در کلاس با شوری بالای ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به مصرف کشاورزی می‌رسد. در خصوص کلاس شوری در آب‌های سطحی بررسی‌ها نشان داده است که در حدود ۱۰/۷ میلیارد مترمکعب (معادل ۱۱٪ از کل جریانهای سطحی کشور) شوری بیشتر از ۲/۳ دسی‌زیمنس بر متر دارند (رحیمیان و غلامی، ۱۴۰۱). در خصوص دلایل شور شدن منابع آب زیرزمینی، عوامل طبیعی نظیر توپوگرافی، زمین شناسی و میزان تغذیه توسط بارش و در کنار آن‌ها، سوء مدیریت برداشت آب از سفره‌ها، از مهمترین عوامل هستند. در این خصوص می‌توان گفت که تقریباً تمام عوامل موثر در بروز بحران آب کشور، در افت کیفی آب‌های زیرزمینی دهه‌های اخیر کشور موثر بوده‌اند (رحیمیان و غلامی، ۱۴۰۱). با توجه به مباحث گفته شده در می‌یابیم که کشور خشک و نیمه‌خشک ایران به دلایلی نظیر برنامه‌های توسعه اقتصادی، کشاورزی ناکارآمد (راندمان پایین) تغییر اقلیم و خشکسالی‌های پیاپی و به‌تبع آن تغییر ویژگی‌های مکانی و زمانی بارش و محدود کردن منابع آب‌های تجدیدپذیر از طریق حفر چاه‌های غیر مجاز، با بحران شدید آب روبروست (کرباسی و همکاران، ۱۳۹۹؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۸). از طرفی بررسی‌ها نشانگر آن هستند که بیش از ۹۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر در کشور در بخش کشاورزی مصرف شده اما به دلیل راندمان پایین آبیاری، حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر در بخش کشاورزی هدر رفته و باعث کاهش بهره‌وری آب کشاورزی شده است (مغربی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰؛ فرامرزی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۹؛ میرزایی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۲۰).

1 . Zand-Parsa et al  
 2 . Maghrebi et al  
 3 . Faramarzi et al  
 4 . Mirzaei et al

عوامل مختلفی نظیر مدیریت ضعیف، تغییرات آب و هوایی، خشکسالی های پی در پی، رشد جمعیت، افزایش تقاضا و به تبع آن افزایش مصرف آب در دهه های اخیر، موجب کمبود شدید منابع آب شیرین در سراسر جهان گردیده است (صالحی<sup>۱</sup>، ۲۰۲۰). بر اساس گزارش یونسف و سازمان بهداشت جهانی، در سراسر جهان حدود ۲/۲ میلیارد نفر به آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارند (سازمان بهداشت جهانی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹؛ یونسف<sup>۳</sup>، ۲۰۱۹). هم اکنون بیش از ۴۳ کشور جهان سطوح مختلفی از تنش آبی را تجربه می کنند. سازمان ملل متحد هشدار داده است که اگر جهان به مصرف آب با نرخ فعلی ادامه دهد، تقریباً ۶ میلیارد نفر در جهان تا سال ۲۰۵۰ با کمبود آب مواجه خواهند شد (WWAP، ۲۰۱۵؛ فائو<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷؛ بورتی و رزا<sup>۵</sup>، ۲۰۱۹). کشور ما به دلیل کمبودن ریزش های با متوسط بارندگی ۲۲۱ میلی متر در سال (حدود یک سوم متوسط جهانی) و تبخیری معادل سه برابر متوسط جهانی در زمره کشورهای خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد و همچون سایر کشورهای جهان از این قاعده و بحران مستثنی نخواهد بود (مرزبان و همکاران، ۱۳۹۸؛ قمرنیا و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به نکات گفته شده در راستای تأمین امنیت غذایی این جمعیت در حال رشد، یافتن راهکارهایی برای غلبه بر کمبود آب در ایران بیش از پیش ضروری است و باید جز اولویت های مطالعاتی و پژوهشی محققین باشد (قمرنیا و همکاران، ۱۳۹۹). حال سؤال اینجاست برای مقابله با تنش آبی و کاهش مصرف آب چه باید کرد؟ چه راهکارهای مدیریتی کارآمد است؟ کشت چه نوع محصولاتی جهت بهره وری بیشتر آب (مصرف کمتر آب برای تولید مقدار مشخصی از محصول) پیشنهاد می شود؟ آیا می توان از آب هایی با کیفیت پایین تر یا اراضی شور و ماندابی استفاده کرد یا خیر؟

مویبگی اولیفر درختچه ای است با خواص فراوان، به طوری که از تمامی قسمت های گیاه برای مصارف گوناگون می توان استفاده نمود. از برگ های مویبگی اولیفر برای افزایش سوخت و ساز بدن و در نتیجه کاهش وزن بدن استفاده می شود؛ زیرا مویبگی انرژی بدن را بدون قند فراهم می کند. برگ های تازه، گل ها و میوه جوان آن همانند سبزی مصرف غذایی دارند. برگ های این درخت سرشار از ویتامین ها، مواد معدنی و پروتئین هاست. دانه های درخت مویبگی اولیفر سرشار از کلسیم و آهن است و فسفر آن پایین است.

با توجه به اینکه ایران با بحران و کمبود شدید آب روبروست، لذا باید ترویج و کشت گونه هایی از گیاهان با بهره وری مصرف آب بیشتر و مقاوم به شوری و خشکی بیشتر مورد توجه قرار گیرد؛ بنابراین در این پژوهش سعی شده تا ضمن معرفی درخت مویبگی اولیفر (*Moringa Oleifera*) به عنوان یک گیاه دارویی که علاوه بر مصرف دارویی دارای دانه های روغنی است و همچنین می توان به عنوان منبع غنی پروتئین از برگ و ساقه های جوان آن در علوفه استفاده کرد، به بررسی تأثیر آبیاری با آب های زیرزمینی کم عمق و شور بر عملکرد و پارامترهای گیاهی آن پرداخته شود؛ لذا هدف از این پژوهش بررسی عملکرد درخت مویبگی اولیفر در مقابل تنش های شوری ناشی از آب زیرزمینی کم عمق به منظور ارائه راهکار مناسب جهت کشت این محصول در راستای افزایش عملکرد محصول و بهره وری منابع آب موجود است.

### ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش

باتوجه به بررسی منابع تا کنون تحقیقی در این زمینه بر روی درخت مویبگی اولیفر انجام نشده است، اما در این قسمت به چند مورد از تحقیقاتی که بر روی سایر گیاهان انجام شده است اشاره شده است.

لیو و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه ای به بررسی میزان تأثیر آب زیرزمینی کم عمق (سطح ایستابی بین ۰/۸۵ تا ۲/۲۵ متر با هدایت الکتریکی ۳/۱۰ تا ۴/۶۹ دسی زیمنس بر متر) در تأمین نیاز آبی گیاه ذرت (دو مجموعه لایسیمتر کشت شده در حوضه رودخانه زرد<sup>۶</sup>) پرداختند. نتایج نشان داد که سطوح کم عمق آب زیرزمینی شور به آب آبیاری کمتری نیاز دارد (سهم مشارکت آب زیرزمینی در تأمین نیاز آبی ذرت از ۳۷٪ تا ۱۱٪ نیاز آبی گیاه) اما شوری تأثیرات زیادی بر رشد و عملکرد محصول دارد. هان و

- 1 . Salehi
- 2 . WHO
- 3 . UNICEF
- 4 . FAO
- 5 . Boretta & Rosa
- 6 . Liu et al
- 7 . Yellow River

همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به بررسی الگوی جذب آب شور توسط گیاهان غیرهالوفیت (به صورت موردی درختان ملخ یا اقلای سیاه با نام علمی (*Gleditsia triacanthos*)) پرداختند. نتایج نشان داد آب زیرزمینی عمق ۰-۲۰ سانتی متری، ۲۹/۴٪ و آب زیرزمینی عمق ۱۲۰-۱۸۰ سانتی متری ۲۴/۷٪ در تأمین نیاز آبی گیاه مشارکت داشته است. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که عوامل موثر در الگوی جذب آب، تعرق، پوشش گیاهی و شوری خاک است. همچنین نتایج نشان داد که تجمع املاح در لایه پایین خاک (۶۰-۱۲۰ سانتی متری) مانع از جذب آب توسط گیاه ملخ می‌شود. قمرنیا و جلیلی<sup>۲</sup> (۲۰۲۴) در پژوهشی به بررسی کمک آب زیرزمینی به تبخیر و تعرق و عملکرد محصول گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa L.*) پرداختند. تیمارهای مورد بررسی در این آزمایش شامل سه سطح ایستابی آب زیرزمینی کم عمق با اعماق ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۱ متر و سه سطح شوری ۱، ۲ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. نتایج نشان داد که درصد مشارکت آب زیرزمینی برای شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر در اعماق ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۱ متر در حدود ۴۵/۷۵، ۵۵/۰، ۶۷/۲۵ درصد، شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر در اعماق ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۱ متر به ترتیب در حدود ۴۱/۵، ۵۰/۰، ۶۰/۷۵ درصد و شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر در اعماق ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۱ متری به ترتیب در حدود، ۵۴/۲۵، ۴۳/۵۰، ۳۶/۰ درصد نیاز کلی گیاه بود. قمرنیا و همکاران<sup>۳</sup> (۱۳۹۹) در پژوهشی با هدف بررسی تأثیر کم آبیاری بر عملکرد محصول استویا، تیمارهای آبیاری شامل ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ (تیمار شاهد) درصد نیاز آبی گیاه را در نظر گرفته و آزمایش را در سه تکرار در محیط‌های مزرعه و گلخانه در دو سال متوالی انجام دادند و یافته‌های تحقیق نشان داد که آستانه تحمل استویا برای جلوگیری از کاهش عملکرد برگ و قند نسبت به کم آبیاری، در محیط مزرعه در دو سال کشت برای کاهش عملکرد برگ (۳/۳ و ۳/۱) و کاهش عملکرد قند (۱/۱۲ و ۰/۹۸) و در محیط گلخانه برای کاهش عملکرد برگ (۳/۲ و ۳/۱) و کاهش عملکرد قند (۰/۹۴) و (۰/۸۳) درصد کم آبیاری است. قمرنیا و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۱) با مطالعه ۳ سطح ایستابی ۶۰، ۸۰ و ۱۱۰ سانتی متری و شوری آب زیرزمینی ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر روی گیاه گلرنگ دریافتند که بیشترین و کمترین میزان مشارکت آب زیرزمینی برای تیمارهای مختلف تقریباً بین ۲/۷۲ تا ۶۹/۴۰ درصد از کل آب مورد استفاده در طول فصل رشد گیاه گلرنگ بود. بخش اعظم مشارکت آب زیرزمینی در تیمارهایی با سطوح عمیق‌تر آب زیرزمینی و آبیاری کامل به دست آمد. در تیمارها با اعماق ۶۰، ۸۰ و ۱۱۰ سانتی متری و بدون آبیاری سطحی کاهش قابل توجهی در میزان مشارکت آب زیرزمینی به میزان ۹، ۹ و ۷ درصدی در مقایسه با تیمارها همراه با آبیاری سطحی مشاهده شد.

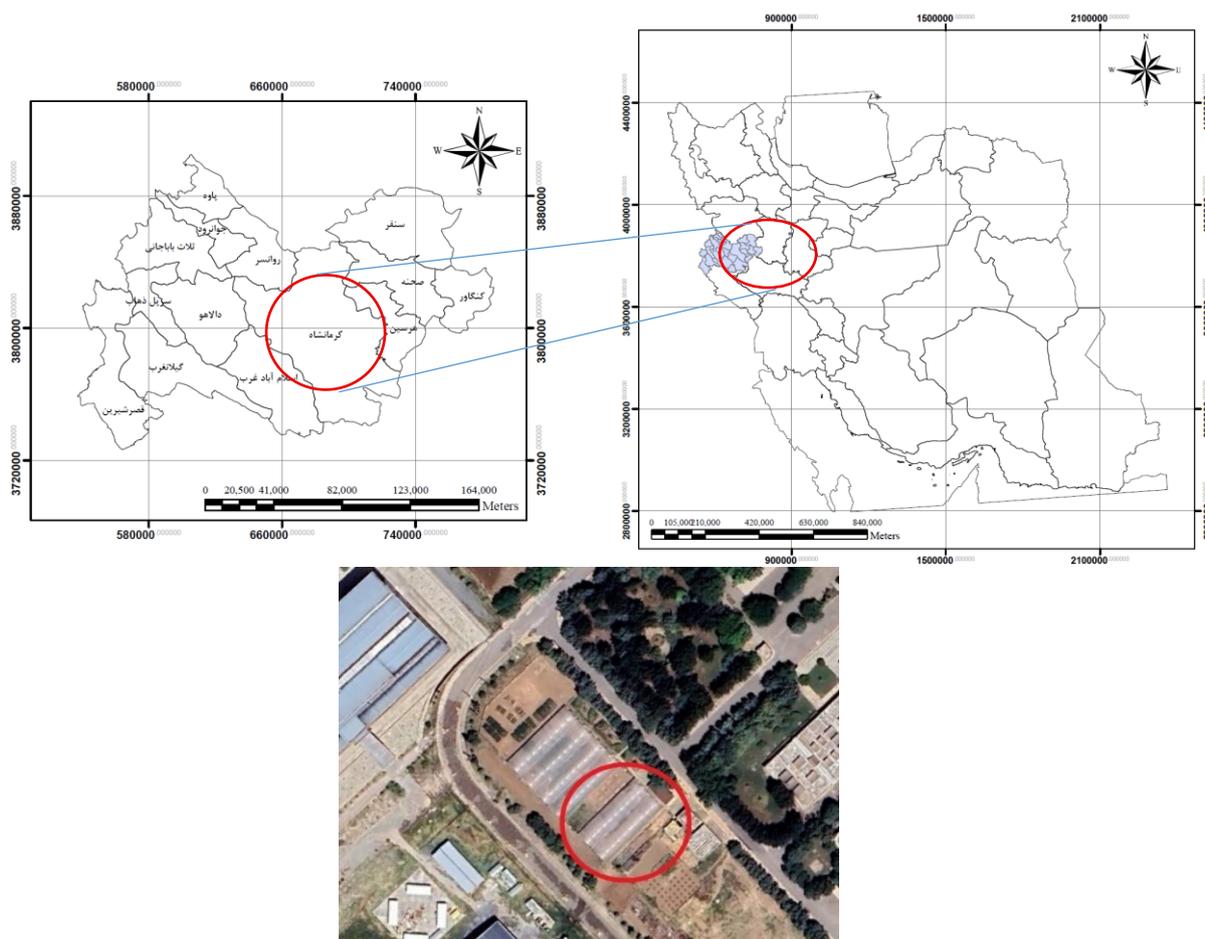
گوینگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر شوری بر بهره‌وری آب در محصول گندم تحت آبیاری تکمیلی با آب شور و آب‌های زیرزمینی کم عمق با شوری بالاتر پرداختند. در این پژوهش در مجموعه‌ای از لایسیمیترها، با سطح آب زیرزمینی کنترل شده با سطوح شوری ۲ تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر در عمق ۱/۰ متر در شرایطی که تبخیر بالا بود (بیش از ۵ میلیمتر در روز)، آبیاری تکمیلی با شوری در محدوده ۱ تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر اعمال شد. نتایج نشان داد که افزایش شوری باعث کاهش جذب آب کل توسط محصول می‌شود اما در اکثر تیمارها، گندم ۴۰ درصد آب مورد نیاز خود را از آب‌های زیرزمینی استخراج کرد.

## روش پژوهش

### ۱. مشخصات منطقه مورد پژوهش

این طرح در محیط گلخانه تحقیقاتی گروه مهندسی آب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، با مختصات ۴۷ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۱۹/۸ متر از سطح دریاهای آزاد، در دو سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ انجام شد. بر اساس طبقه بندی اقلیمی دمارتن شهرستان کرمانشاه دارای اقلیم نیمه خشک سرد می‌باشد. شکل شماره ۱ موقعیت انجام پژوهش در کشور، استان و دانشکده کشاورزی را نشان می‌دهد.

1. Han et al
2. Ghamarnia and Jalili
3. Ghamarnia et al
4. Gowing et al



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

## ۲. گلخانه و مزرعه تحقیقاتی و تشریح روش کار

جهت انجام آزمایش در محیط گلخانه و مزرعه تحقیقاتی، هر محیط از ۳۶ عدد لایسمتر پلی اتیلنی به قطر خارجی ۴۰۰ میلیمتر به ارتفاع ۱/۵ متر استفاده شد که با خاک همان منطقه که از الک ۲ میلیمتری گذرانده شده بود، پر شدند. برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. انتهای همه لایسمترها با رینگ و فلنچ کور کاملاً آب‌بندی شدند تا از خروج آب جلوگیری شود. یک لایه ۱۰ سانتی‌متری شن و ماسه کف لایسمترها ریخته شد پس از آماده سازی لایسمترها، خاک هر لایسمتر با کود حیوانی پوسیده به میزان پنج تن در هکتار، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره با خلوص ۴۷٪ (N)، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل با خلوص ۴۵٪ (P) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم با خلوص ۵۰٪ (K) مخلوط شد و لایسمترها به صورت دستی لایه لایه به ضخامت ۱۰ سانتی متر پر و متراکم شدند. بذره‌های مورینگا اولیفرآ تهیه شده از شرکت سبزویان به شماره ثبت ۱۹۹۷ با نام تجاری مزارع مورینگا به تعداد ۱۴۴ عدد (برای هر لایسمتر دو عدد که پس از سبز شدن، نهال مناسب و قوی‌تر نگه داشته و نهال دیگر حذف شد) و به مدت ۷۲ ساعت در آب معمولی قرار گرفتند و سپس در تاریخ ۱۴۰۲/۱/۷ داخل لایسمترهای گلخانه و تاریخ ۱۴۰۲/۲/۱ و ۱۴۰۳/۲/۱ در مزرعه تحقیقاتی کشت شدند. در محیط‌های گلخانه و مزرعه تحقیقاتی در تاریخ ۱۴۰۲/۳/۲۶ و ۱۴۰۳/۴/۸ مجدداً کود پاشی با ۷۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم با خلوص ۵۰٪ و اوره با خلوص ۴۷٪ به‌عنوان کود استارتر در اختیار گیاه قرار داده شد. هنگامی که ارتفاع درختان به ۳۰ سانتی‌متر رسید، تیمارهای مورد نظر اعمال شدند. لازم به ذکر است که کلیه تیمارها پس از جوانه زدن بذرها و رشد آنها تا ارتفاع تقریباً ۳۰ سانتی‌متری در محیط گلخانه و مزرعه تحقیقاتی به ترتیب حدود ۴۶ روز پس از کشت (۱۵ اردیبهشت) و ۴۸ روز پس از کشت (۱۷ خرداد) بذر

به صورت یکسان آبیاری شده و پس از آن آبیاری مطابق تیمارهای شوری مورد نظر اعمال گردید. این پژوهش شامل سه سطح آب زیرزمینی به اعماق ۰/۶، ۰/۸، ۱/۱ متر و در چهار سطح شوری و سه تکرار آب زیرزمینی ۱ (کیفیت آب موجود در منطقه) و ۲ و ۶ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر انجام شد. به منظور تهیه آب شور مورد استفاده در آزمایشات به نسبت ۱:۱ از نمک های NaCl و CaCl<sub>2</sub> (به جهت جلوگیری از دیسپرسه شدن خاک لایسیمتر استفاده شد) با خلوص ۸۰٪ استفاده شد و از بطری ماریوت سیفون برای ثابت نگه داشتن عمق آب زیرزمینی در لایسیمترها استفاده شد. در طول آزمایش میزان حجم آب کاهش یافته در بطری های ماریوت سیفون نشان دهنده میزان مشارکت آب زیرزمینی در کل آب مصرفی گیاه بوده است به این صورت که در پایان هر دوره میزان آبی که به بطری های ماریوت سیفون اضافه می شد و مجدداً پر می شدند توسط استوانه مدرج اندازه گیری و این عدد میزان حجم مشارکت آب زیرزمینی در تأمین نیاز آبی گیاه را نشان می داد. این پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار و به صورت فاکتوریل انجام گرفت.

به منظور به دست آوردن تبخیر - تعرق برای تعیین نیاز آبی گیاه مورینگا از داده های مربوط به تشتک تبخیر با ضریب تشتک ۰/۷ در محیط های گلخانه و مزرعه تحقیقاتی استفاده شد (آلن و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). متوسط ضرایب K<sub>c</sub> مورینگا اولیفر در مراحل ابتدایی، میانی و پایانی در این تحقیق برای دو سال انجام آزمایش به ترتیب ۰/۷۵، ۱/۷۵ و ۱/۷۳ در نظر گرفته شد (سانتوس و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷). به منظور تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SAS (V8) و آزمون دانکن در سطح ۱٪ استفاده گردید.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

| وزن مخصوص ظاهری | بافت خاک   | شن (%) | سیلت (%) | رس (%) | رطوبت اشباع (%) | نقطه پژمردگی (%) | ظرفیت زراعی (%) | هدایت آبی (mm/h) | فسفر قابل جذب (mg/kg) | پتاسیم قابل جذب (mg/kg) | کربن آلی (%) | کلسیم و منیزیم محلول (meq/l) | سدیم محلول (meq/l) | pH   | SAR  | EC (dS/m) |
|-----------------|------------|--------|----------|--------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------------|-------------------------|--------------|------------------------------|--------------------|------|------|-----------|
| ۱/۳۳            | Silty Loam | ۱۳/۶   | ۶۳/۸     | ۲۲/۶   | ۴۹/۷            | ۱۴/۴             | ۳۴/۱            | ۱۱/۲             | ۳۲/۰                  | ۲۹۲/۰                   | ۱/۰۵         | ۳/۲                          | ۰/۴۶               | ۷/۷۱ | ۰/۳۶ | ۰/۲۸۴     |

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی آب منطقه مورد مطالعه

| کربنات (meq/l) | بی کربنات (meq/l) | سولفات (meq/l) | منیزیم و کلسیم (meq/l) | سدیم (meq/l) | S.A.R | شوری آب (dS/m) | pH   | TDS (mg/lit) |
|----------------|-------------------|----------------|------------------------|--------------|-------|----------------|------|--------------|
| ۰/۲            | ۶/۱               | ۳/۴۶           | ۸/۸                    | ۰/۹۵         | ۰/۴۵  | ۰/۸۶۵          | ۷/۵۶ | C3-S1        |

به منظور محاسبه نیاز آبی، از روش تشتک تبخیر میزان تبخیر داخل گلخانه و مزرعه تحقیقاتی محاسبه شد و با استفاده از ضرایب گیاهی تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه محاسبه گردید. سپس با محاسبه نیاز آبی گیاه، مقدار بارش و میزان استفاده گیاه از آب زیرزمینی از طریق بطری ماریوت سیفون (از طریق اضافه کردن آب مصرف شده در دوره با ظرف مدرج محاسبه گردید)، در نهایت کمبود نیاز آبی گیاه به صورت سطحی و با کیفیت ۱ دسی زیمنس بر متر تأمین گردید (معادله ۱).

$$d_i = ET_c - R - d_m \quad (۱)$$

که در معادله ۱ داریم :

$$ET_c = \text{نیاز آبی گیاه}$$

$$R = \text{بارندگی مؤثر}$$

$$d_m = \text{عمق آب کم شده از بطری ماریوت سیفون}$$

در این پژوهش شاخص کارایی مصرف آب سطحی بر اساس عملکرد برگ از معادله (۲) محاسبه شد.

$$WUE \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{Y \left( \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right)}{V_w \left( \text{m}^3 \right)} \quad (2)$$

که در رابطه ۲ داریم:

$$WUE = \text{کارایی مصرف آب}$$

$$Y = \text{عملکرد محصول مورد نظر}$$

$$V_w = \text{کل حجم آب استفاده شده برای گیاه (شامل آب آبیاری، آب زیرزمینی استفاده شده، بارندگی موثر و ...)}$$

پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل میزان عملکرد برگ، محتوای کلسیم، آهن و ازت در برگ گیاه تحت تیمارهای مختلف است. برای اندازه‌گیری آهن و کلسیم موجود در نمونه‌های برگ به روش هضم خشک بعد از خاکسترشدن در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد در کوره الکتریکی و حل کردن خاکستر در مخلوط اسیدی (اسید کلریدریک + اسید نیتریک) عصاره‌گیری شدند، سپس مقدار آهن و کلسیم با استفاده از دستگاه طیف سنج جذب اتمی (ساخت کشور استرالیا مدل *AAS/Varain 220*) قرائت می‌شود (جونز، ۲۰۰۱). همچنین برای اندازه‌گیری محتوای ازت از روش هضم‌تر در این رابطه استفاده شد. ۰/۵ گرم نمونه خشک شده در آون و عبور داده شده از الک ۰/۵ میلی‌متری در بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد، ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ و ۱/۱ گرم مخلوط کاتالیزور (سولفات پتاسیم + سولفات مس + سلنیوم) به آن اضافه و تا زمان بی رنگ شدن بر روی هیتر قرار گرفت. سپس محتویات درون بالن، درون بالن ۵۰ میلی‌لیتری صاف و با آب مقطر به حجم مورد نظر رسانده شد. مقدار نیتروژن موجود در این عصاره با استفاده از دستگاه کلدل یا کجدال قرائت و با استفاده از فرمول مربوطه محتوای ازت نیز به دست آمد (*Baethgen and Alley, 1989*)

## یافته‌های پژوهش

### ۱. آب سطحی و آب زیرزمینی مصرف شده

در جدول ۳ مقادیر کل آب استفاده شده سطحی، زیرزمینی و درصد مشارکت آب زیرزمینی برای کلیه تیمارها به ترتیب در محیط گلخانه ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول ۳، کل آب استفاده شده برای همه تیمارها به ترتیب ۱۲۵۳/۸ در مدت ۳۵۴ روز کشت در سال ۱۴۰۲ و ۹۸۹/۳ برای ۱۷۷ روز طول دوره رشد در سال ۱۴۰۳ در محیط گلخانه است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد به طور میانگین در دو سال انجام پژوهش در محیط گلخانه کمترین میزان آب سطحی مصرف شده برابر ۳۰۳/۷ میلی‌متر متعلق به تیمار با شوری آب زیرزمینی ۱ دسی‌زیمنس بر متر و عمق آب زیرزمینی ۰/۶ متر و بیشترین مقدار آن برابر ۸۸۵/۷ میلی‌متر متعلق به تیمار با شوری آب زیرزمینی ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و عمق آب زیرزمینی ۱/۱ متر می‌باشد همچنین در خصوص آب زیرزمینی مصرف شده، درصد مشارکت آب زیرزمینی و مشارکت آب زیرزمینی بر حسب میلی‌متر بر روز کمترین مقدار برابر ۲۳۵/۹ میلی‌متر، ۳۰ درصد و ۱/۰۹ میلی‌متر در روز متعلق به تیمار با شوری آب زیرزمینی ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و عمق آب زیرزمینی ۱/۱ متر می‌باشد و بیشترین مقدار برابر ۸۱۷/۸ میلی‌متر، ۷۵ درصد و ۳/۶۹ میلی‌متر در روز متعلق به تیمار با شوری آب زیرزمینی ۱ دسی‌زیمنس بر متر و عمق آب زیرزمینی ۰/۶ متر می‌باشد. به طور کلی نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که در محیط گلخانه با افزایش عمق آب زیرزمینی مقدار مصرف آب سطحی توسط گیاه افزایش پیدا کرده است و این در شرایطی است که مقدار کل آب زیرزمینی مصرف شده و مشارکت آب زیرزمینی بر حسب درصد و میلی‌متر در روز کاهش یافته است. همچنین در محیط گلخانه با افزایش شوری آب زیرزمینی از ۱ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر مصرف آب زیرزمینی کاهش یافته و مصرف آب سطحی توسط گیاه افزایش یافته است.

جدول ۳. کل آب سطحی و زیرزمینی استفاده شده و درصد مشارکت آب زیرزمینی در محیط گلخانه ۱۴۰۲-۱۴۰۳

| سال  | شوری آب زیرزمینی<br>(دسی زیمنس بر متر) | عمق آب<br>زیرزمینی<br>(میلیمتر) | کل آب<br>مورد نیاز<br>(میلیمتر) | کل آب<br>سطحی<br>مورد استفاده<br>(میلیمتر) | کل آب<br>زیرزمینی<br>مورد استفاده<br>(میلیمتر) | مشارکت آب<br>زیرزمینی<br>(درصد) | بارندگی<br>(میلیمتر) | مشارکت آب<br>زیرزمینی<br>(میلی متر در روز) |
|------|--|---------------------------------|---------------------------------|--|--|---------------------------------|----------------------|--|
| ۱۴۰۲ | ۱                                      | ۰/۶                             | ۱۲۵۳/۸                          | ۳۷۵/۶۰                                     | ۸۷۸/۲  | ۷۰/۰۴                           | ۰/۰                  | ۳/۰۹                                       |
|      | ۱                                      | ۰/۸                             |                                 | ۵۹۸/۵۰                                     | ۶۵۵/۳۳   | ۵۲/۲۷                           |                      | ۲/۳۱                                       |
|      | ۱                                      | ۱/۱                             |                                 | ۸۲۲/۶۴                                     | ۴۳۳/۱۹   | ۳۴/۳۹                           |                      | ۱/۶۴                                       |
|      | ۲                                      | ۰/۶                             |                                 | ۴۴۳/۹۱                                     | ۸۰۹/۹۲   | ۶۴/۶۰                           |                      | ۲/۸۵                                       |
|      | ۲                                      | ۰/۸                             |                                 | ۶۳۷/۴۱                                     | ۶۱۶/۴۲   | ۴۹/۱۶                           |                      | ۲/۱۷                                       |
|      | ۲                                      | ۱/۱                             |                                 | ۸۴۷/۵۳                                     | ۴۰۶/۳۰   | ۳۲/۴۱                           |                      | ۱/۵۴                                       |
|      | ۶                                      | ۰/۶                             |                                 | ۴۷۵/۰۱                                     | ۷۷۸/۸۲   | ۶۲/۱۲                           |                      | ۲/۷۴                                       |
|      | ۶                                      | ۰/۸                             |                                 | ۶۷۵/۵۲                                     | ۵۷۸/۳۱   | ۴۶/۱۲                           |                      | ۲/۰۹                                       |
|      | ۶                                      | ۱/۱                             |                                 | ۸۸۵/۴۴                                     | ۳۶۸/۳۹   | ۲۹/۳۸                           |                      | ۱/۴۰                                       |
|      | ۱۰                                     | ۰/۶                             |                                 | ۵۰۳/۲۳                                     | ۷۵۰/۶۰   | ۵۹/۸۶                           |                      | ۲/۶۴                                       |
| ۱۰   | ۰/۸                                    | ۷۶۹/۴۳                          | ۴۸۴/۴۰                          | ۳۸/۶۳                                      | ۱/۷۵   |                                 |                      |  |
| ۱۰   | ۱/۱                                    | ۹۸۶/۳۰                          | ۲۶۷/۵۳                          | ۲۱/۳۴                                      | ۱/۰۲   |                                 |                      |  |
| ۱۴۰۳ | ۱                                      | ۰/۶                             | ۹۸۹/۳                           | ۲۳۱/۹۱                                     | ۷۵۷/۴۰   | ۸۰/۴۰                           | ۰/۰                  | ۴/۲۸                                       |
|      | ۱                                      | ۰/۸                             |                                 | ۳۶۷/۸۲                                     | ۶۲۱/۴۸   | ۶۳/۸۸                           |                      | ۳/۵۱                                       |
|      | ۱                                      | ۱/۱                             |                                 | ۶۱۵/۶۹                                     | ۳۷۳/۶۱   | ۳۷/۷۶                           |                      | ۲/۱۱                                       |
|      | ۲                                      | ۰/۶                             |                                 | ۳۰۷/۶۴                                     | ۶۸۱/۶۶   | ۷۱/۴۴                           |                      | ۳/۸۵                                       |
|      | ۲                                      | ۰/۸                             |                                 | ۴۷۴/۰۱                                     | ۵۱۵/۲۹   | ۵۲/۶۴                           |                      | ۲/۹۱                                       |
|      | ۲                                      | ۱/۱                             |                                 | ۶۸۵/۲۹                                     | ۳۰۴/۰۱   | ۳۰/۷۳                           |                      | ۱/۷۲                                       |
|      | ۶                                      | ۰/۶                             |                                 | ۲۳۵/۵۲                                     | ۶۵۳/۷۹   | ۶۷/۵۱                           |                      | ۳/۶۹                                       |
|      | ۶                                      | ۰/۸                             |                                 | ۵۳۹/۲۵                                     | ۴۵۰/۰۵   | ۴۶/۱۹                           |                      | ۲/۵۴                                       |
|      | ۶                                      | ۱/۱                             |                                 | ۶۹۰/۳۴                                     | ۲۹۸/۹۶   | ۳۰/۲۲                           |                      | ۱/۶۹                                       |
|      | ۱۰                                     | ۰/۶                             |                                 | ۴۳۷/۰۴                                     | ۵۶۲/۲۶   | ۵۶/۸۳                           |                      | ۳/۱۸                                       |
| ۱۰   | ۰/۸                                    | ۶۲۴/۹۹                          | ۳۶۴/۳۱                          | ۳۷/۰۹                                      | ۲/۰۶   |                                 |                      |  |
| ۱۰   | ۱/۱                                    | ۷۸۵/۰۹                          | ۲۰۴/۲۱                          | ۲۰/۶۴                                      | ۱/۱۵   |                                 |                      |  |

در جدول ۴ مقادیر کل آب استفاده شده در مزرعه تحقیقاتی برای کلیه تیمارها برای دو سال ۱۴۰۲ (از اول اردیبهشت ماه تا پایان آبان ماه) و ۱۴۰۳ (از اول اردیبهشت ماه تا پایان شهریور ماه) آورده شده است. با توجه به نتایج جدول مذکور کل آب استفاده شده برای همه تیمارها در سال های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ به ترتیب ۶۱۱/۱ و ۴۳۲/۹ میلی متر در سال است. در مزرعه تحقیقاتی تیمارهای مربوط به شوری آب زیرزمینی ۱ و ۲ و ۶ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر کمترین و بیشترین آب سطحی مصرف شده به ترتیب متعلق به تیمارهایی با عمق ۱/۱ و ۰/۶ متر می باشد. نتایج جدول ۴ نشان می دهد به طور میانگین در دو سال انجام پژوهش در محیط مزرعه تحقیقاتی کمترین میزان آب سطحی مصرف شده برابر ۷۱/۰ میلی متر متعلق به تیمار با شوری آب زیرزمینی ۱ دسی زیمنس بر متر و عمق آب زیرزمینی ۰/۶ متر و بیشترین مقدار آن برابر ۳۰۲/۸ میلی متر متعلق به تیمار با شوری آب زیرزمینی ۱۰ دسی زیمنس بر متر و عمق آب زیرزمینی ۱/۱ متر می باشد همچنین در خصوص آب زیرزمینی مصرف شده، درصد مشارکت آب زیرزمینی و مشارکت آب زیرزمینی بر حسب میلی متر بر روز کمترین مقدار برابر ۷۸/۰۵ میلی متر، ۲۰ درصد و ۰/۴۱۵ میلی متر در روز متعلق به تیمار با شوری آب زیرزمینی ۱۰ دسی زیمنس بر متر و عمق آب زیرزمینی ۱/۱ متر می باشد و بیشترین مقدار برابر ۳۰۹/۸۵ میلی متر، ۸۳ درصد و ۱/۷۲ میلی متر در روز متعلق به تیمار با شوری آب زیرزمینی ۱ دسی زیمنس بر متر و عمق آب زیرزمینی ۰/۶ متر می باشد. به طور کلی نتایج جدول ۴ نشان می دهد که با افزایش عمق آب زیرزمینی مقدار مصرف آب سطحی توسط گیاه در محیط مزرعه تحقیقاتی افزایش پیدا کرده است و این در شرایطی است که مقدار کل آب زیرزمینی مصرف شده و

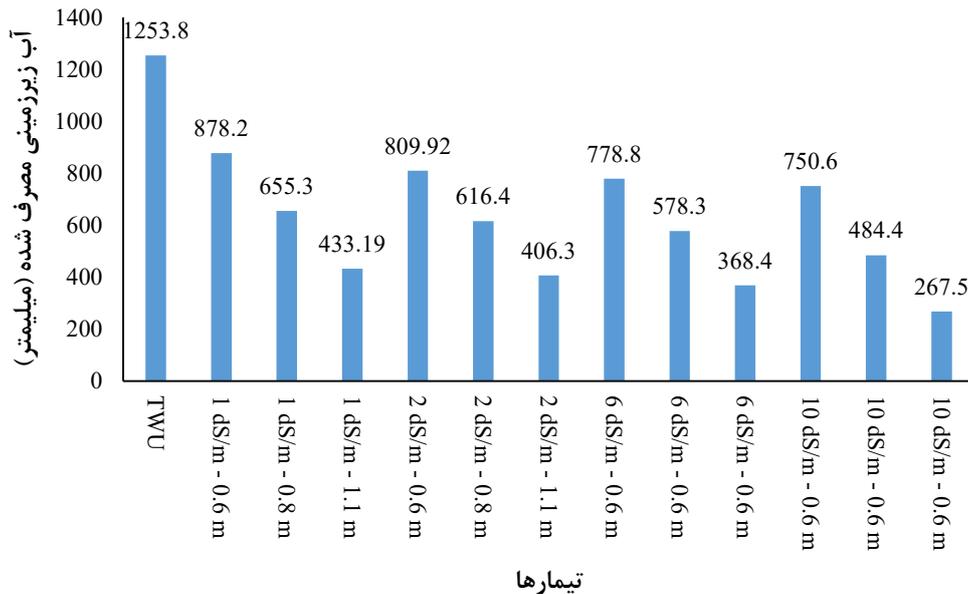
مشارکت آب زیرزمینی بر حسب درصد و میلی‌متر در روز کاهش یافته است. همچنین با افزایش شوری آب از ۱ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر مصرف آب زیرزمینی کاهش یافته و مصرف آب سطحی توسط گیاه افزایش یافته است.

جدول ۴. کل آب سطحی و زیرزمینی استفاده شده و درصد مشارکت آب زیرزمینی در محیط مزرعه تحقیقاتی ۱۴۰۲-۱۴۰۳

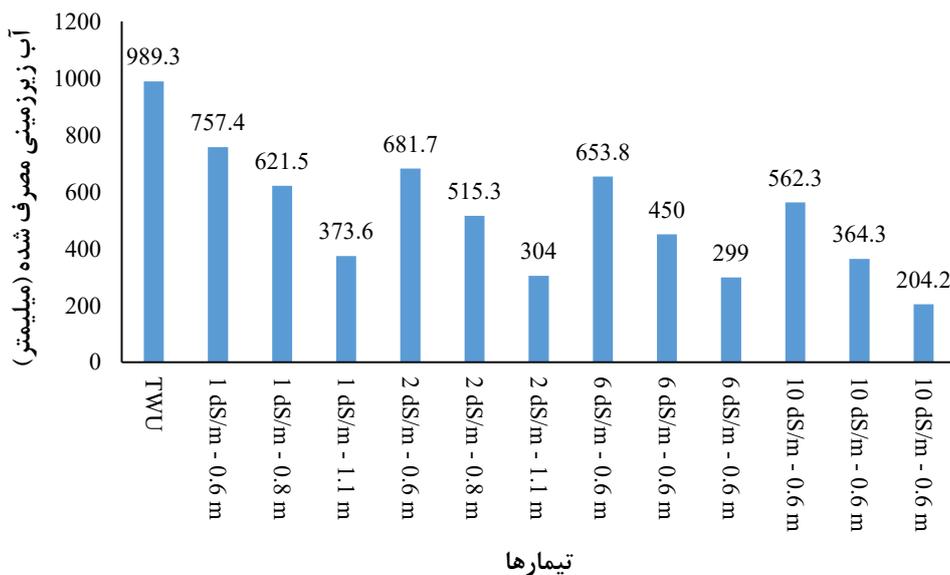
| سال  | شوری آب<br>زیرزمینی (دسی<br>زیمنس بر متر) | عمق آب<br>زیرزمینی<br>(میلیمتر) | کل آب<br>موردنیاز<br>(میلیمتر) | کل آب سطحی<br>مورداستفاده<br>(میلیمتر) | کل آب زیرزمینی<br>مورداستفاده<br>(میلیمتر) | مشارکت آب<br>زیرزمینی<br>(درصد) | بارندگی<br>(میلیمتر) | مشارکت آب<br>زیرزمینی<br>(میلی‌متر در روز) |
|------|---|---------------------------------|--------------------------------|--|--|---------------------------------|----------------------|--|
| ۱۴۰۲ | ۱   | ۰/۶                             | ۶۱۱/۱                          | ۱۰۸/۶                                  | ۳۵۰/۹                                      | ۷۶/۴                            | ۱۵۱۶                 | ۱/۵۳                                       |
|      | ۱   | ۰/۸                             |                                | ۱۴۳/۵                                  | ۳۱۶/۰                                      | ۶۸/۸                            |                      | ۱/۳۷                                       |
|      | ۱   | ۱/۱                             |                                | ۲۲۳/۵                                  | ۲۲۲/۰                                      | ۴۸/۳                            |                      | -/۹۷                                       |
|      | ۲   | ۰/۶                             |                                | ۱۶۱/۷                                  | ۲۹۷/۸                                      | ۶۴/۸                            |                      | ۱/۲۹                                       |
|      | ۲   | ۰/۸                             |                                | ۲۶۲/۷                                  | ۱۹۶/۸                                      | ۴۲/۸                            |                      | -/۱۸۶                                      |
|      | ۲   | ۱/۱                             |                                | ۳۰۳/۸                                  | ۱۵۵/۷                                      | ۳۳/۹                            |                      | -/۶۸                                       |
|      | ۶   | ۰/۶                             |                                | ۲۶۴/۷                                  | ۱۹۴/۸                                      | ۴۲/۴                            |                      | -/۱۸۵                                      |
|      | ۶   | ۰/۸                             |                                | ۳۰۶/۵                                  | ۱۵۳/۰                                      | ۳۳/۳                            |                      | -/۶۷                                       |
|      | ۶   | ۱/۱                             |                                | ۳۳۷/۹                                  | ۱۲۱/۶                                      | ۲۶/۵                            |                      | -/۵۳                                       |
|      | ۱۰  | ۰/۶                             |                                | ۳۱۳/۸                                  | ۱۴۵/۷                                      | ۳۱/۷                            |                      | -/۶۳                                       |
|      | ۱۰  | ۰/۸                             |                                | ۳۳۹/۱                                  | ۱۲۰/۴                                      | ۲۶/۲                            |                      | -/۵۲                                       |
| ۱۰   | ۱/۱                                       | ۳۵۹/۷                           | ۹۹/۸                           | ۲۱/۷                                   | -/۴۳                                       |                                 |                      |  |
| ۱۴۰۳ | ۱   | ۰/۶                             | ۴۳۲/۹                          | ۳۳/۴                                   | ۲۶۸/۸                                      | ۸۸/۹                            | ۱۳۰۷                 | ۱/۹۲                                       |
|      | ۱   | ۰/۸                             |                                | ۱۰۱/۵                                  | ۲۰۰/۷                                      | ۶۶/۴                            |                      | ۱/۴۳                                       |
|      | ۱   | ۱/۱                             |                                | ۱۹۸/۴                                  | ۱۰۲/۸                                      | ۳۴/۴                            |                      | -/۷۴                                       |
|      | ۲   | ۰/۶                             |                                | ۵۳/۶                                   | ۲۴۸/۶                                      | ۸۲/۳                            |                      | ۱/۷۸                                       |
|      | ۲   | ۰/۸                             |                                | ۱۳۲/۵                                  | ۱۶۹/۶                                      | ۵۶/۱                            |                      | ۱/۲۱                                       |
|      | ۲   | ۱/۱                             |                                | ۲۱۳/۴                                  | ۸۸/۷                                       | ۲۹/۴                            |                      | -/۶۳                                       |
|      | ۶   | ۰/۶                             |                                | ۱۰۸/۱                                  | ۱۹۴/۱                                      | ۶۴/۲                            |                      | ۱/۳۹                                       |
|      | ۶   | ۰/۸                             |                                | ۱۶۷/۹                                  | ۱۳۴/۳                                      | ۴۴/۴                            |                      | -/۹۶                                       |
|      | ۶   | ۱/۱                             |                                | ۲۳۴/۹                                  | ۶۷/۲                                       | ۲۲/۲                            |                      | -/۴۸                                       |
|      | ۱۰  | ۰/۶                             |                                | ۱۶۸/۲                                  | ۱۳۳/۹                                      | ۴۴/۳                            |                      | -/۹۶                                       |
|      | ۱۰  | ۰/۸                             |                                | ۱۸۳/۷                                  | ۱۱۸/۴                                      | ۳۹/۲                            |                      | -/۸۵                                       |
| ۱۰   | ۱/۱                                       | ۲۴۵/۹                           | ۵۶/۳                           | ۱۸/۶                                   | -/۴۰                                       |                                 |                      |  |

شکل‌های ۳ و ۴، تبخیر تعرق و کل آب زیرزمینی مصرف شده در طول دوره رشد را برای درخت مورینگا اولیفرای در محیط گلخانه به ترتیب در سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را نشان می‌دهد. همچنین شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهند در محیط گلخانه تیمار با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر در عمق‌های آب زیرزمینی ۰/۶، ۰/۸، از تاریخ ۱۹ اردیبهشت (۴۳ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده‌اند و تیمار با عمق آب زیرزمینی ۱/۱ متر از تاریخ ۹ خرداد ماه (۶۴ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نمودند. در تیمار با شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر در عمق‌های آب زیرزمینی ۰/۶، ۰/۸، از تاریخ ۱۹ اردیبهشت (۴۳ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده‌اند و تیمار با عمق آب زیرزمینی ۱/۱ متر از تاریخ ۹ خرداد ماه (۶۴ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نمودند. در تیمار با شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر با عمق آب زیرزمینی ۰/۶ متر از تاریخ ۱۹ اردیبهشت (۴۳ روز پس از کشت) و عمق آب زیرزمینی ۰/۸ متر در تاریخ ۲۶ اردیبهشت ماه (۵۰ روز پس از کشت) و عمق آب زیرزمینی ۱/۱ متر در تاریخ ۹ خرداد ماه (۶۴ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی کردند. در تیمار ۱/۱ متری آب

زیرزمینی به علت عمیق تر بودن سطح آب زیرزمینی شور گیاه دیرتر (۲۱ روز بعد از تیمار ۰/۶ متری) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده است. در تیمار با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر با عمق آب زیرزمینی ۰/۶ متر از تاریخ ۱۹ اردیبهشت (۴۳ روز پس از کشت) و ۰/۸ متری در تاریخ ۲۶ اردیبهشت ماه (۵۰ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده است و در تیمار ۱/۱ متری آب زیرزمینی به علت عمیق تر بودن سطح آب زیرزمینی شور گیاه دیرتر شروع به استفاده از آب زیرزمینی کرده است در تاریخ ۱۵ خرداد (۷۰ روز پس از کشت). همچنین شکل ۲ بیانگر این موضوع است که این است که مقدار استفاده گیاه از آب زیرزمینی که شوری بیشتری داشته کمتر بوده است و این موضوع نشان دهنده کم شدن کمک آب زیرزمینی به تبخیر و تعرق درخت مورینگا اولیفر در شوری‌های بالای ۲ دسی‌زیمنس بر متر است.

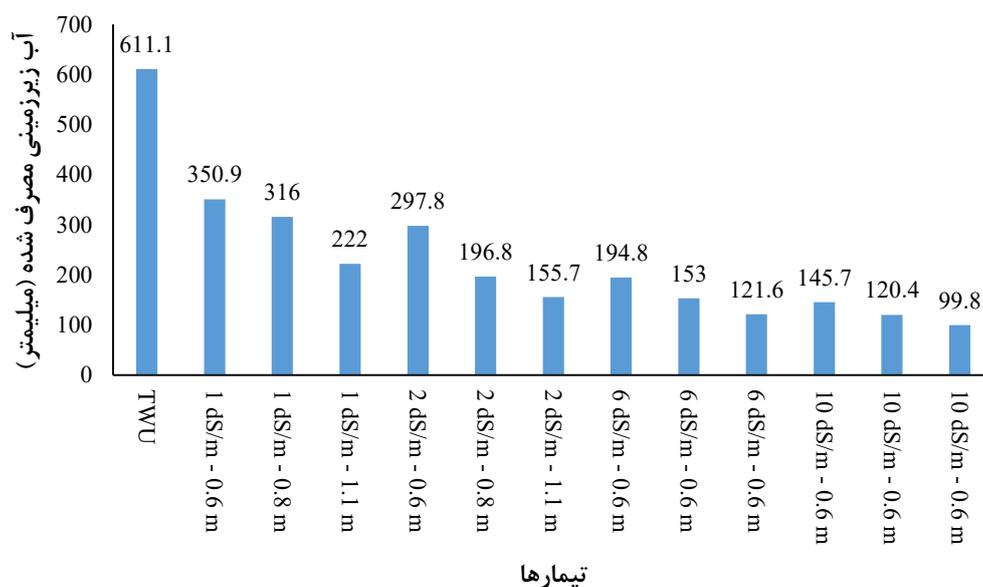


شکل ۳. کل نیاز آبی گیاه و آب زیرزمینی مصرف شده - سال ۱۴۰۲ در طول دوره رشد درخت مورینگا اولیفر در محیط گلخانه

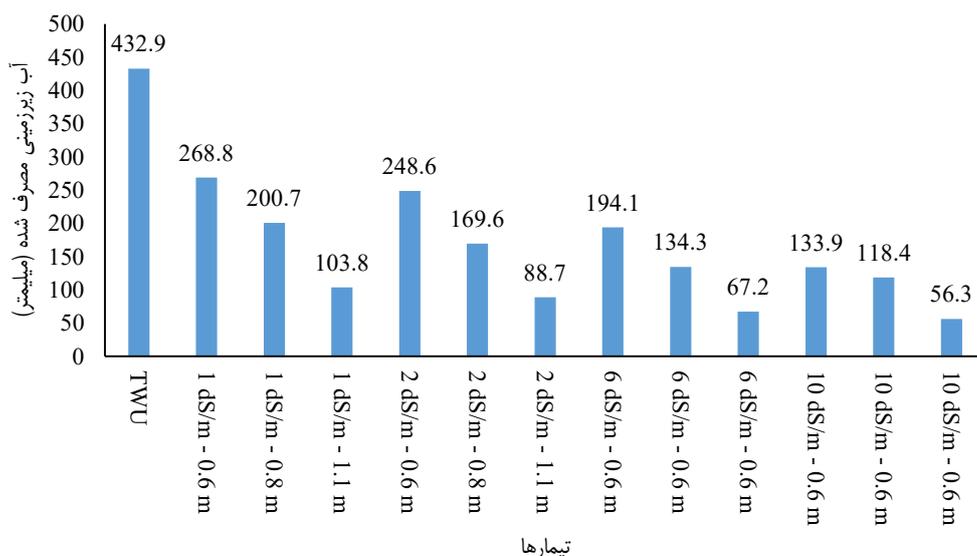


شکل ۴. کل نیاز آبی گیاه و آب زیرزمینی مصرف شده - سال ۱۴۰۳ در طول دوره رشد درخت مورینگا اولیفر در محیط گلخانه

شکل های ۵ و ۶، تبخیر تعرق و کل آب زیرزمینی مصرف شده در طول دوره رشد را برای درخت مورینگا اولیفرآ در محیط مزرعه تحقیقاتی نشان می دهد. همچنان که از شکل های مذکور نتیجه می گیریم در تیمار با شوری ۱ و ۲ دسی زیمنس بر متر در عمق های آب زیرزمینی ۰/۶، ۰/۸، ۰/۱۰ به ترتیب از تاریخ ۱۵ خرداد (۷۷ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نموده اند و تیمار با شوری ۶ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر و عمق آب زیرزمینی ۰/۶ و ۰/۸ متر از تاریخ ۱ خرداد ماه (۳۲ روز پس از کشت) و عمق ۱/۱ متر در تاریخ ۱۵ خرداد (۷۷ روز پس از کشت) شروع به استفاده از آب زیرزمینی نمودند. همچنین شکل های ۵ و ۶ بیانگر این موضوع است که این است که مقدار استفاده گیاه از آب زیرزمینی که شوری بیشتری داشته کمتر بوده است و این موضوع نشان دهنده کم شدن کمک آب زیرزمینی به تبخیر و تعرق درخت مورینگا اولیفرآ در شوری های بالای ۲ دسی زیمنس بر متر است.

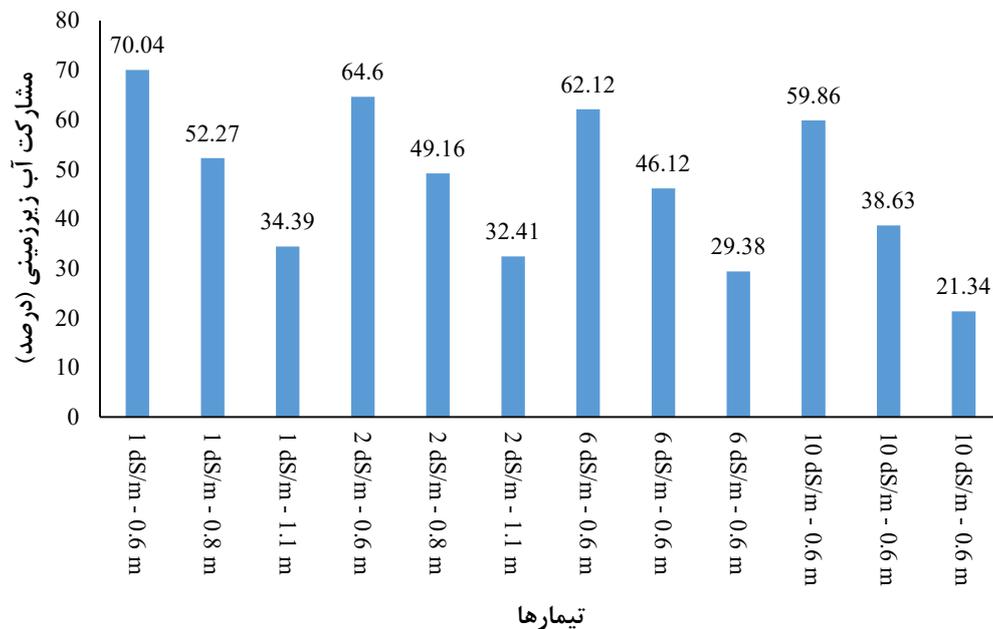


شکل ۵. کل نیاز آبی و آب زیرزمینی مصرف شده در طول دوره رشد درخت مورینگا اولیفرآ - سال ۱۴۰۲ در محیط مزرعه تحقیقاتی

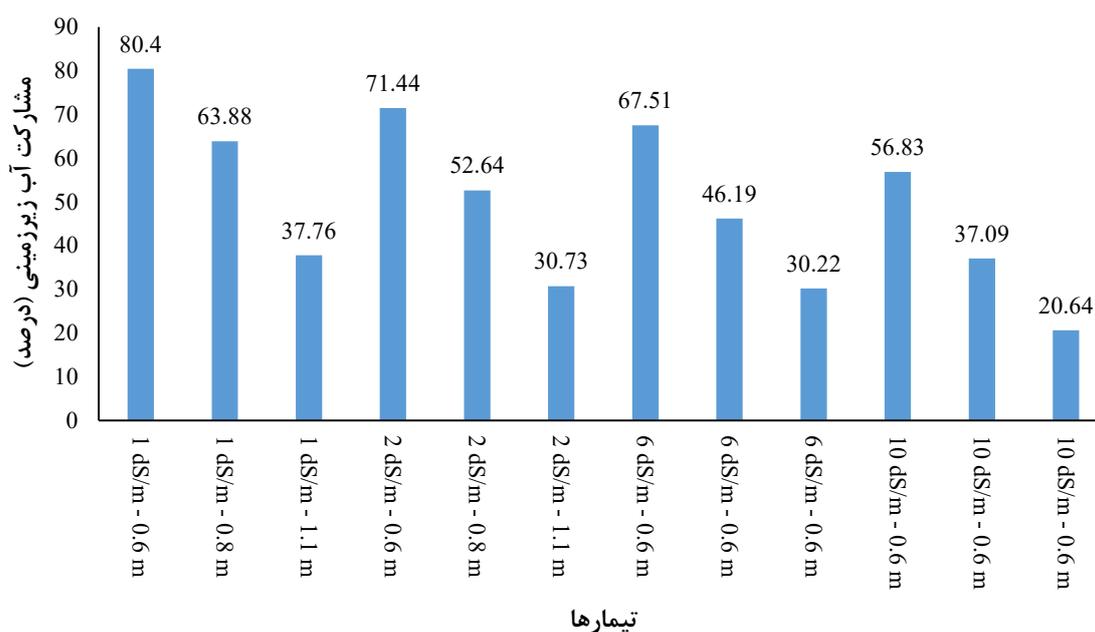


شکل ۶. کل نیاز آبی و آب زیرزمینی مصرف شده در طول دوره رشد درخت مورینگا اولیفرآ در محیط مزرعه تحقیقاتی - سال ۱۴۰۳. شکل های ۷ و ۸ درصد مشارکت آب زیرزمینی تیمارهای مختلف را در محیط گلخانه در دو سال پژوهش نشان می دهند. همچنانکه شکل های مذکور نشان می دهند، درصد مشارکت آب زیرزمینی در تیمارهای با عمق های ۰/۶ و ۰/۸ متر آب زیرزمینی

و برای شوری‌های ۱، ۲، ۶ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از تیمار با عمق آب زیرزمینی ۱.۱ متر می‌باشد. این امر احتمالاً به علت وجود فاصله بیشتر بین ریشه گیاه و عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی در تیمار ۱.۱ متر آب زیرزمینی نسبت به تیمارهای ۰/۶ و ۰/۸ متر آب زیرزمینی است. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود برای تیمار با آب زیرزمینی با کیفیت شوری‌های ۱، ۲، ۶ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در تیمارهای ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۱ متر، در هیچ روزی نیاز آبی گیاه به صورت صددرصد توسط آب زیرزمینی تأمین نشده است و گیاه همواره در طول دوره تحقیق نیاز داشته است تا مقداری از آب مورد نیاز خود را از طریق آبیاری سطحی تأمین کند. شکل ۷ مشارکت آب زیرزمینی در تیمارهای مختلف شوری و عمق‌های مختلف را بر حسب میلی‌متر بر روز نشان می‌دهد. با توجه به نمودار در تیمار ۰/۶ متر آب زیرزمینی برای شوری‌های ۱ و ۲ و ۶ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به بقیه عمق‌های متوسط مشارکت آب زیرزمینی بیشتر بوده است. این موضوع نشانگر آن است که هرچه آب زیرزمینی فاصله کمتری تا سطح خاک داشته باشد (آب زیرزمینی کم عمق) به علت آسان‌تر بودن استفاده از این منبع آب، گیاه قادر خواهد بود تا برای رفع نیازهای آبی خود بیشتر از آب زیرزمینی استفاده نماید. با توجه به نمودار هرچه شوری آب زیرزمینی کمتر باشد (آب زیرزمینی کم عمق از کیفیت بهتری برخوردار باشد) متوسط مشارکت آب زیرزمینی بیشتر بوده و گیاه برای بر طرف کردن نیازهای خود به مقدار کمتری از آب سطحی نیاز خواهد داشت.

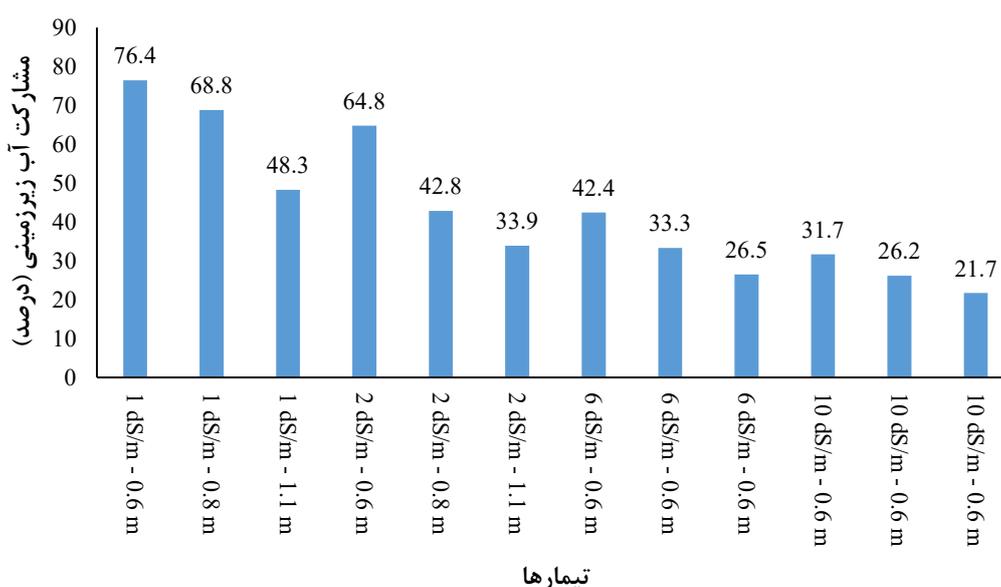


شکل ۷. درصد آب شور زیرزمینی مصرف شده - سال ۱۴۰۲ در طول دوره رشد درخت مورینگا اولیفرا در محیط گلخانه

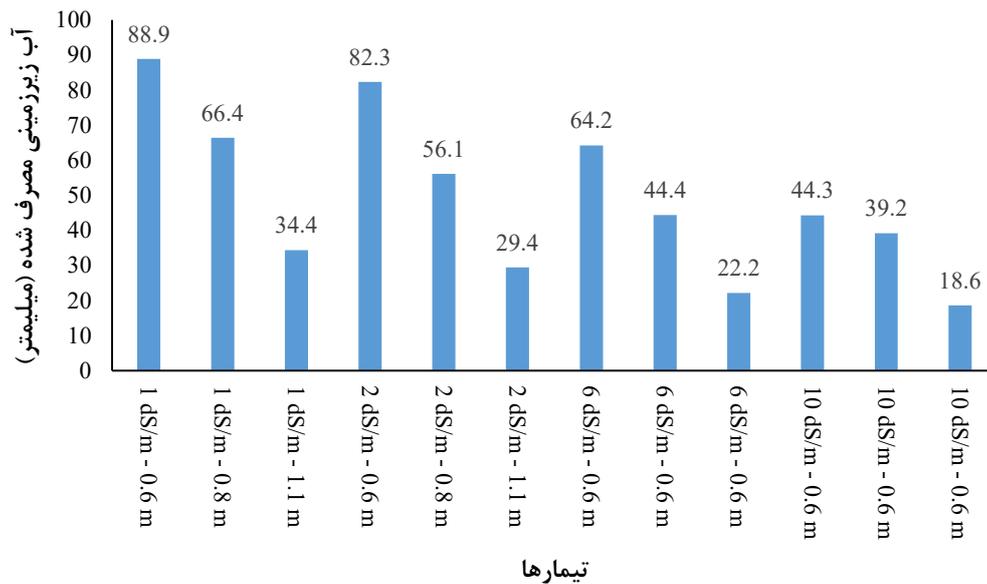


شکل ۸. درصد آب شور زیرزمینی مصرف شده - سال ۱۴۰۳ در طول دوره رشد درخت مورینگا اولیفرآ در محیط گلخانه

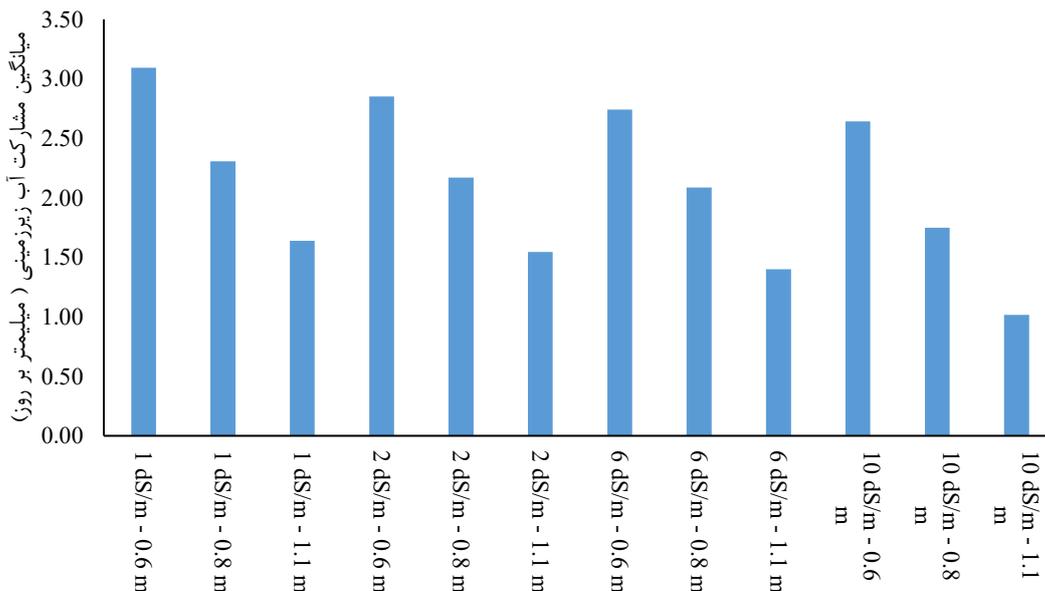
شکل های ۹ و ۱۰ درصد مشارکت آب زیرزمینی تیمارهای مختلف را در محیط مزرعه تحقیقاتی نشان می دهد. همچنان که شکل های مذکور نشان می دهند، در مزرعه تحقیقاتی درصد مشارکت آب زیرزمینی در تیمارهای با عمق های ۰/۶ و ۰/۸ متر آب زیرزمینی و برای شوری های ۱، ۲، ۶ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر بیشتر از تیمار با عمق آب زیرزمینی ۱/۱ متر می باشد. این امر احتمالاً به علت وجود فاصله بیشتر بین ریشه گیاه و عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی در تیمار ۱/۱ متر آب زیرزمینی نسبت به تیمارهای ۰/۶ و ۰/۸ متر آب زیرزمینی است. همان طور که در این نمودار مشاهده می شود برای تیمار با آب زیرزمینی با کیفیت شوری های ۱، ۲، ۶ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر در تیمارهای ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۱ متر در مزرعه تحقیقاتی، در هیچ روزی نیاز آبی گیاه به طور صددرصد توسط آب زیرزمینی تأمین نشده است و گیاه همواره در طول دوره تحقیق نیاز داشته است که مقداری از آب مورد نیاز خود را از طریق آبیاری سطحی تأمین کند.



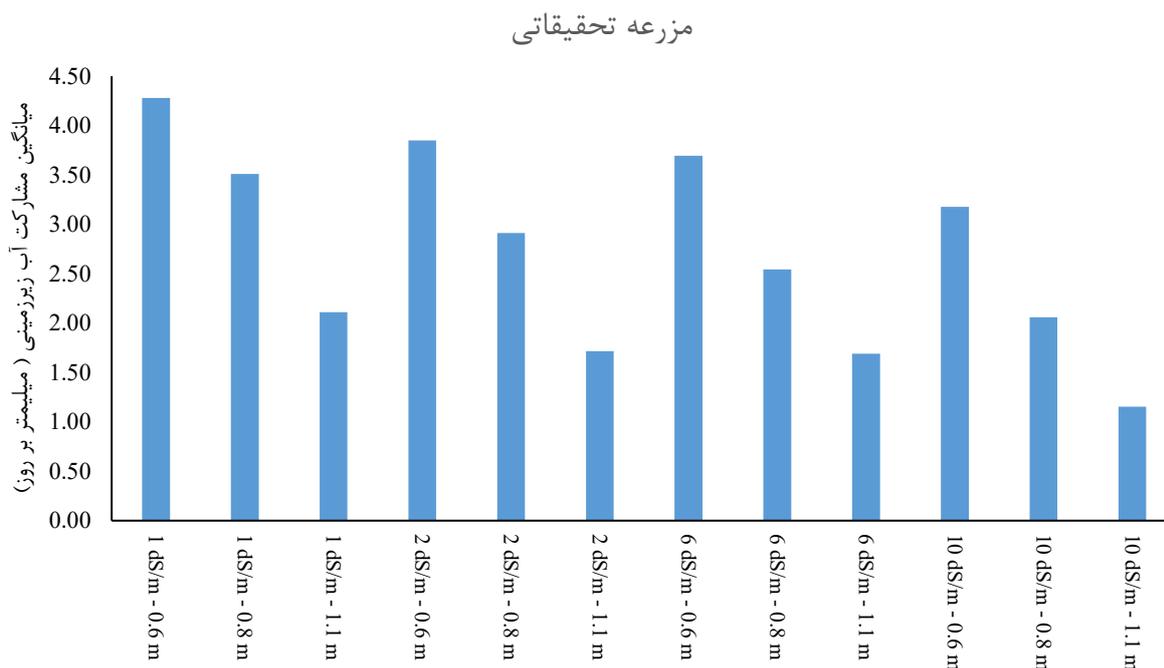
شکل ۹. درصد آب شور زیرزمینی مصرف شده - سال ۱۴۰۲ در طول دوره رشد درخت مورینگا اولیفرآ در محیط مزرعه تحقیقاتی



شکل ۱۰. درصد آب شور زیرزمینی مصرف شده - سال ۱۴۰۳ در طول دوره رشد درخت مورینگ اولیفر در محیط مزرعه تحقیقاتی شکل‌های ۱۱ و ۱۲ میانگین مشارکت آب زیرزمینی در تیمارهای مختلف شوری و عمق‌های مختلف را بر حسب میلی‌متر بر روز به ترتیب در محیط‌های گلخانه و مزرعه تحقیقاتی نشان می‌دهد. با توجه به نمودار در تیمار ۰/۶ متر آب زیرزمینی برای شوری‌های ۱ و ۲ و ۶ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به بقیه عمق‌های متوسط مشارکت آب زیرزمینی بیشتر بوده است و این موضوع نشانگر آن است که هرچه آب زیرزمینی فاصله کمتری تا سطح خاک داشته باشد (آب زیرزمینی کم‌عمق) به علت آسان‌تر بودن استفاده از این منبع آب، گیاه قادر خواهد بود تا برای رفع نیازهای آبی خود بیشتر از آب زیرزمینی استفاده نماید. با توجه به نمودار هرچه شوری آب زیرزمینی کمتر باشد (آب زیرزمینی کم‌عمق از کیفیت بهتری برخوردار باشد) متوسط مشارکت آب زیرزمینی بیشتر بوده و گیاه برای بر طرف کردن نیازهای خود به مقدار کمتری از آب سطحی نیاز خواهد داشت.



شکل ۱۱. میانگین مشارکت آب زیرزمینی بر حسب میلی‌متر بر روز در دو سال پژوهش ۱۴۰۳-۱۴۰۴ در محیط گلخانه



شکل ۱۲. میانگین مشارکت آب زیرزمینی بر حسب میلی‌متر بر روز در دو سال پژوهش ۱۴۰۳-۱۴۰۴ در محیط مزرعه تحقیقاتی

## ۲. آنالیز آماری مشارکت آب زیرزمینی

در جداول ۵ و ۶ خلاصه آنالیز واریانس انجام شده برای کل آب زیرزمینی مصرف شده و مشارکت آب زیرزمینی بر حسب درصد و میلی‌متر بر روز به ترتیب در محیط گلخانه و مزرعه تحقیقاتی آورده شده است که نتایج نشانگر معنی‌دار بودن مشارکت آب زیرزمینی در محیط گلخانه و مزرعه تحقیقاتی در عمق‌های مختلف در سطح ۰/۰۱ می‌باشد.

جدول ۵. خلاصه آماری سطوح معنی‌داری آنالیز واریانس برای مشارکت آب زیرزمینی در محیط گلخانه

| منبع تغییرات        | درجه آزادی | آب زیرزمینی مورد استفاده (میلی متر) | مشارکت آب زیرزمینی (%) | مشارکت آب زیرزمینی (میلی‌متر بر روز) |
|---------------------|------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| سال                 | ۱          | ۱۹۱۴۷۷.۳۵**                         | ۵۴۶.۱۵**               | ۷.۹۲۶**                              |
| تکرار               | ۴          | ۱۱۹۸.۴۷ ns                          | ۳۵۲.۵۴**               | ۰.۰۳۲ ns                             |
| A فاکتور (عمق)      | ۲          | ۹۷۱۲۹۵.۰۱**                         | ۹۲۱۶۶۸**               | ۱۹۶۲۳**                              |
| B فاکتور (شوری)     | ۳          | ۱۰۱۹۲۷۶.۰**                         | ۸۸۶.۵۷**               | ۲.۲۸۲**                              |
| A سال *             | ۲          | ۷۰۹۱.۲۶ *                           | ۱۲۸.۲۸ *               | ۰.۴۵۵**                              |
| B سال *             | ۳          | ۲۳۰۹.۳۸ ns                          | ۸۶.۲۱ ns               | ۰.۲۹۹ **                             |
| AB                  | ۶          | ۱۵۸۴.۶۰ ns                          | ۴۲.۶۷ ns               | ۰.۰۳۹ ns                             |
| A * B سال           | ۶          | ۱۲۹۵.۵۲ ns                          | ۵۰.۵۸ ns               | ۰.۰۳۱ ns                             |
| خطا                 | ۴۴         | ۱۹۴۹.۲۳                             | ۵۲.۰۷                  | ۰.۰۳۲                                |
| ضریب تغییرات (درصد) | *          | ۲۴.۷                                | ۷.۲۲                   | ۰.۰۳۵                                |

ns و \*\* و \*\*\* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار

جدول ۶. خلاصه آماری سطوح معنی داری آنالیز واریانس برای مشارکت آب زیرزمینی در محیط مزرعه تحقیقاتی

| منبع تغییرات        | درجه آزادی | آب زیرزمینی مورد استفاده (میلی متر) | مشارکت آب زیرزمینی (%) | مشارکت آب زیرزمینی (میلی متر بر روز) |
|---------------------|------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| سال                 | ۱          | ۴۳۳۱۶.۰۵**                          | ۷۱.۳۶۱*                | ۰.۷۴۰۱**                             |
| تکرار               | ۴          | ۲۱۶۶.۵۱*                            | ۹۶۶۸۹**                | ۰.۰۸۸۴**                             |
| A فاکتور (عمق)      | ۲          | ۷۹۵۰۶.۰۵**                          | ۳۲۶۲.۴۴۵**             | ۲.۸۲۰۷**                             |
| B فاکتور (شوری)     | ۳          | ۵۹۱۱۲.۳۳**                          | ۲۰۵۲.۰۱۸**             | ۱.۶۵۵۰**                             |
| A سال *             | ۲          | ۲۱۷۱.۷۲*                            | ۳۳۹.۰۶۳**              | ۰.۴۳۳۸**                             |
| B سال *             | ۳          | ۶۹۸۷.۵۷**                           | ۸۱.۶۵۸*                | ۰.۰۳۵۹ ns                            |
| AB                  | ۶          | ۳۱۸۰.۸۸**                           | ۱۱۸.۸۵۹**              | ۰.۰۹۷۸**                             |
| A * B سال           | ۶          | ۲۹۴.۵۲ ns                           | ۹.۷۹۳ ns               | ۰.۰۰۹۰ ns                            |
| خطا                 | ۴۴         | ۶۰۴.۸۳                              | ۲۱.۳۸                  | ۰.۰۱۷۹۶                              |
| ضریب تغییرات (درصد) | *          | ۱۴.۲۰                               | ۱۳.۸۶                  | ۱۳.۹۴                                |

ns و \*\* و \* وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی دار

### ۳. بررسی عملکرد برگ خشک و محتوای کلسیم، آهن و ازت

در جدول ۷ نتایج عملکرد برگ، کلسیم، آهن و ازت در برگها در محیط گلخانه، برای عمق‌های مختلف آب زیرزمینی و سطوح شوری ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشانگر آن است که در محیط گلخانه کمترین و بیشترین عملکرد برگ خشک با ۲۹۳/۲ و ۱۸۰/۶ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۴۰۲ و ۳۳۷/۸ و ۲۶۳/۵ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۴۰۳ مربوط به تیمارهای ۱/۱ متر با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و ۰/۶ متر با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمده است. همچنین کمترین و بیشترین عملکرد کلسیم و آهن عبارتست از ۶۶/۴۵ و ۰/۴۵۸۸ ppm در سال ۱۴۰۲ و ۲۱۹/۸۸ و ۰/۷۸۶۷ ppm در سال ۱۴۰۳ مربوط به تیمار ۱/۱ متر در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۳۹/۵۵ و ۰/۸۴۳۷ ppm و ۳۳۵/۹۲ و ۱/۸۲۱۸ ppm در تیمار ۰/۶ متر و شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر می باشد و در خصوص محتوای ازت مربوط به پروتئین کمترین و بیشترین مقدار ۰/۱ درصد در سال ۱۴۰۲ و ۱/۱۳ درصد در سال ۱۴۰۳ مربوط به تیمار ۰/۶ متر و شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر و ۳/۶۰ درصد در سال ۱۴۰۲ و ۳/۶۸ درصد در سال ۱۴۰۳ مربوط به تیمار ۱/۱ متر و شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر است.

جدول ۷. تأثیر عمق و سطوح مختلف شوری آب زیرزمینی بر عملکرد و کارایی مصرف آب در مورینگا اولیفر در محیط گلخانه

| سال     | شوری<br>(دسی‌زیمنس بر متر) و عمق (متر)<br>آب زیرزمینی | عملکرد برگ<br>(کیلوگرم بر هکتار) | کلسیم<br>ppm | آهن<br>ppm | ازت<br>ppm | کارایی مصرف آب بر اساس<br>عملکرد برگ (کیلوگرم بر مترمکعب) |
|---------|---|----------------------------------|--------------|------------|------------|---|
| ۱۴۰۲    | ۱, ۰/۶  | ۲۳۹/۲                            | ۲۳۹/۵۵       | ۰/۸۴       | ۰/۱۰       | ۰/۲۴  |
|         | ۱, ۰/۸  | ۲۶۵/۸                            | ۱۸۶/۲۱       | ۰/۷۳       | ۰/۰۸       | ۰/۲۷  |
|         | ۱, ۱/۱  | ۲۵۴/۷                            | ۱۶۳/۷۴       | ۰/۸۰       | ۰/۱۰       | ۰/۲۶  |
|         | ۲, ۰/۶  | ۲۲۵/۴                            | ۱۱۷/۵۸       | ۰/۷۶       | ۰/۳۹       | ۰/۲۳  |
|         | ۲, ۰/۸  | ۲۱۸/۶                            | ۱۱۷/۱۵       | ۰/۶۷       | ۰/۵۷       | ۰/۲۲  |
|         | ۲, ۱/۱  | ۲۱۱/۵                            | ۸۹/۴۰        | ۰/۷۰       | ۰/۲۸       | ۰/۲۱  |
|         | ۶, ۰/۶  | ۲۱۷/۳                            | ۸۶/۰۵        | ۰/۵۷       | ۰/۴۲       | ۰/۲۲  |
|         | ۶, ۰/۸  | ۲۱۳/۸                            | ۷۳/۵۸        | ۰/۶۴       | ۰/۶۸       | ۰/۲۲  |
|         | ۶, ۱/۱  | ۲۰۴/۶                            | ۸۹/۵۹        | ۰/۴۵       | ۱/۰۸       | ۰/۲۱  |
|         | ۱۰, ۰/۶   | ۲۰۸/۶                            | ۶۳/۹۴        | ۰/۳۴       | ۱/۰۵       | ۰/۲۱  |
|         | ۱۰, ۰/۸   | ۲۱۰/۱                            | ۶۳/۰۵        | ۰/۳۳       | ۲/۲۶       | ۰/۲۱  |
| ۱۰, ۱/۱ | ۱۸۰/۶   | ۶۶/۴۵                            | ۰/۴۶         | ۳/۶۰       | ۰/۱۸       |   |
| ۱۴۰۳    | ۱, ۰/۶  | ۳۳۷/۸۳                           | ۳۳۵/۹۲       | ۱/۸۲       | ۰/۱۳       | ۰/۳۴  |
|         | ۱, ۰/۸  | ۳۰۸/۶۶                           | ۳۱۵/۲۰       | ۱/۹۱       | ۰/۱۰       | ۰/۳۱  |
|         | ۱, ۱/۱  | ۲۹۲/۴۵                           | ۳۰۸/۲۱       | ۱/۷۷       | ۰/۱۵       | ۰/۳۰  |
|         | ۲, ۰/۶  | ۳۱۵/۲۸                           | ۲۹۲/۶۵       | ۱/۲۴       | ۰/۳۸       | ۰/۳۲  |
|         | ۲, ۰/۸  | ۲۶۷/۰۴                           | ۲۹۶/۰۲       | ۱/۳۵       | ۰/۶۲       | ۰/۲۷  |
|         | ۲, ۱/۱  | ۲۱۶/۷۱                           | ۲۶۳/۸۹       | ۱/۲۱       | ۰/۳۵       | ۰/۲۶  |
|         | ۶, ۰/۶  | ۲۹۶/۳۹                           | ۲۶۷/۳۹       | ۰/۹۷       | ۰/۴۴       | ۰/۳۰  |
|         | ۶, ۰/۸  | ۲۶۴/۴۵                           | ۲۶۱/۰۶       | ۰/۹۷       | ۰/۷۲       | ۰/۲۷  |
|         | ۶, ۱/۱  | ۲۵۵/۲۶                           | ۲۵۵/۳۴       | ۱/۳۲       | ۱/۰۵       | ۰/۲۶  |
|         | ۱۰, ۰/۶   | ۲۶۱/۸۲                           | ۲۳۶/۵۲       | ۰/۸۸       | ۲/۱۵       | ۰/۲۶  |
|         | ۱۰, ۰/۸   | ۲۶۰/۵۱                           | ۲۰۱/۸۳       | ۰/۷۹       | ۲/۳۶       | ۰/۲۶  |
| ۱۰, ۱/۱ | ۲۳۶/۵۴  | ۲۱۹/۸۸                           | ۰/۷۷         | ۳/۶۸       | ۰/۲۴       |   |

در جدول ۸ نتایج عملکرد برگ، کلسیم، آهن و ازت در برگها در محیط مزرعه تحقیقاتی، برای عمق‌های مختلف آب زیرزمینی و سطوح شوری ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشانگر آن است که بیشترین و کمترین عملکرد با ۶۷۵/۰ و ۳۲۹/۰ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۴۰۲ و ۶۶۲/۷ و ۳۴۹/۳ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۴۰۳ مربوط به تیمارهای ۰/۶ متر با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر و ۱/۱ متر با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در محیط مزرعه تحقیقاتی به دست آمده است. کمترین و بیشترین عملکرد کلسیم و آهن عبارتست از ۷۶/۳۳ و ۰/۴۷۹۵ ppm در سال ۱۴۰۲ و ۷۶/۳۳ و ۰/۴۷۱۶ ppm در سال ۱۴۰۳ مربوط به تیمار ۱/۱ متر در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و ۶۳۷/۶۷ و ۱/۶۲۵۴ ppm و ۶۳۷/۶۷ و ۱/۶۲۵۴ ppm در تیمار ۰/۶ متر و شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر در محیط مزرعه تحقیقاتی می‌باشد. در خصوص محتوای ازت در محیط مزرعه تحقیقاتی کمترین و بیشترین مقدار ۰/۱ درصد در سال ۱۴۰۲ و ۱/۱۳ درصد در سال ۱۴۰۳ مربوط به تیمار ۰/۶ متر و شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر و ۳/۶۰ درصد در سال ۱۴۰۲ و ۳/۶۸ درصد در سال ۱۴۰۳ مربوط به تیمار ۱/۱ متر و شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر است.

جدول ۸. تاثیر عمق و سطوح مختلف شوری آب زیرزمینی بر عملکرد و کارایی مصرف آب در مورینگا اولیفر در محیط مزرعه

| سال     | شوری<br>(دسی‌زیمنس بر متر) و عمق (متر) آب<br>زیرزمینی | عملکرد برگ<br>(کیلوگرم بر هکتار) | کلسیم<br>ppm | آهن<br>ppm | ازت<br>ppm | کارایی مصرف آب بر اساس<br>عملکرد برگ (کیلوگرم بر<br>مترمکعب) |
|---------|---|----------------------------------|--------------|------------|------------|--|
| ۱۴۰۲    | ۱, ۰/۶  | ۶۷۵                              | ۶۷۵          | ۱/۶۲       | ۰/۱۵       | ۱/۱۰   |
|         | ۱, ۰/۸  | ۶۴۲                              | ۶۴۲          | ۱/۲۹       | ۰/۱۸       | ۱/۰۵   |
|         | ۱, ۱/۱  | ۵۱۸                              | ۵۱۸          | ۰/۹۵       | ۰/۲۰       | ۰/۸۵   |
|         | ۲, ۰/۶  | ۶۳۸                              | ۵۷۱          | ۱/۲۵       | ۰/۵۷       | ۱/۰۴   |
|         | ۲, ۰/۸  | ۵۶۴                              | ۴۵۲          | ۱/۰۶       | ۰/۷۸       | ۰/۹۲   |
|         | ۲, ۱/۱  | ۴۷۷                              | ۴۱۳          | ۰/۹۲       | ۱/۳۴       | ۰/۷۸   |
|         | ۶, ۰/۶  | ۳۴۰                              | ۲۳۲          | ۰/۸۹       | ۰/۸۱       | ۰/۷۲   |
|         | ۶, ۰/۸  | ۳۸۸                              | ۱۷۵          | ۰/۷۴       | ۱/۱۵       | ۰/۶۳   |
|         | ۶, ۱/۱  | ۳۵۶                              | ۹۶           | ۰/۶۸       | ۲/۱۸       | ۰/۵۸   |
|         | ۱۰, ۰/۶   | ۳۶۶                              | ۲۵۶          | ۰/۷۱       | ۲/۰۹       | ۰/۶۰   |
|         | ۱۰, ۰/۸   | ۳۵۵                              | ۱۴۸          | ۰/۶۲       | ۲/۵۱       | ۰/۵۸   |
| ۱۰, ۱/۱ | ۳۲۹   | ۷۶                               | ۰/۴۸         | ۶/۸۹       | ۰/۵۴       |  |
| ۱۴۰۳    | ۱, ۰/۶  | ۶۶۳                              | ۶۳۸          | ۱/۵۸       | ۰/۲۱       | ۱/۵۳   |
|         | ۱, ۰/۸  | ۶۲۳                              | ۵۴۹          | ۱/۳۴       | ۰/۲۵       | ۱/۴۴   |
|         | ۱, ۱/۱  | ۵۷۶                              | ۴۸۵          | ۰/۹۸       | ۰/۲۹       | ۱/۳۳   |
|         | ۲, ۰/۶  | ۶۴۲                              | ۳۳۲          | ۱/۳۰       | ۰/۸۱       | ۱/۴۸   |
|         | ۲, ۰/۸  | ۵۸۸                              | ۳۰۲          | ۱/۱۰       | ۱/۱۵       | ۱/۳۶   |
|         | ۲, ۱/۱  | ۵۳۰                              | ۲۷۷          | ۰/۹۴       | ۰/۶۹       | ۱/۲۲   |
|         | ۶, ۰/۶  | ۴۷۲                              | ۲۳۲          | ۰/۹۶       | ۰/۸۵       | ۱/۰۹   |
|         | ۶, ۰/۸  | ۳۷۸                              | ۱۷۵          | ۰/۷۸       | ۱/۱۲       | ۰/۸۷   |
|         | ۶, ۱/۱  | ۳۵۰                              | ۹۷           | ۰/۷۰       | ۲/۰۸       | ۰/۸۱   |
|         | ۱۰, ۰/۶   | ۴۰۳                              | ۲۵۶          | ۰/۷۰       | ۳/۸۷       | ۰/۹۳   |
|         | ۱۰, ۰/۸   | ۳۵۷                              | ۱۴۷          | ۰/۶۱       | ۴/۲۱       | ۰/۸۲   |
| ۱۰, ۱/۱ | ۳۴۹   | ۷۶                               | ۰/۴۷         | ۶/۹۹       | ۰/۸۱       |  |

#### ۴. آنالیز آماری عملکرد برگ خشک و محتوی کلسیم، آهن و ازت

آنالیز واریانس بر اساس عملکرد برگ، کلسیم، آهن و ازت و کارایی مصرف آب زیرزمینی در محیط گلخانه انجام شد که نتایج آن در جدول ۹ برای محیط گلخانه و جدول ۱۰ برای محیط مزرعه تحقیقاتی ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان دهنده معنی دار بودن اثرات عمق‌های مختلف آب زیرزمینی و کیفیت آنها بر عملکرد برگ خشک، کلسیم، آهن و ازت در محیط گلخانه و مزرعه تحقیقاتی است.

جدول ۹. آنالیز واریانس برای عملکرد برگ، کلسیم، آهن و ازت در محیط گلخانه

| منبع تغییرات        | درجه آزادی | عملکرد برگ (کیلوگرم بر هکتار) | کلسیم ppm   | آهن ppm   | ازت %     | کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد برگ |
|---------------------|------------|-------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------------------------------|
| سال                 | ۱          | ۶۲۶۲۵/۵۵**                    | ۴۴۸۰۳۵/۲۴** | ۷/۴۲۸۶**  | ۰/۲۸۲۵**  | ۰/۲۰۴۹**                          |
| تکرار               | ۴          | ۱۵۳۲/۷۰ ns                    | ۲۲۱۷/۴۶*    | ۰/۰۴۲۰ ns | ۰/۱۵۲۶**  | ۰/۰۰۱۳ ns                         |
| (A) فاکتور عمق      | ۲          | ۳۹۲۹/۰۲ ns                    | ۴۸۶۰/۴۹**   | ۰/۱۶۶۳ *  | ۲/۸۹۷۵**  | ۰/۰۰۳۶**                          |
| (B) فاکتور شوری     | ۳          | ۱۰۳۱۲/۷۹**                    | ۴۳۳۴۳/۲۴**  | ۱/۶۴۶۹**  | ۲۰/۸۵۹۶** | ۰/۰۰۸۵**                          |
| A سال *             | ۲          | ۲۰۲۹/۶۷ ns                    | ۴۰/۷۷ ns    | ۰/۰۱۱۲ ns | ۰/۱۸۶۹**  | ۰/۰۰۲۱ ns                         |
| B سال *             | ۳          | ۷۵/۸۵ ns                      | ۳۰۷۵/۰۹*    | ۰/۳۳۴۱**  | ۰/۱۸۰۹**  | ۰/۰۰۰۲ ns                         |
| AB                  | ۶          | ۳۲۱/۲۱ ns                     | ۶۶۹/۴۸ ns   | ۰/۰۱۰۹ ns | ۱/۳۸۸۰**  | ۰/۰۰۰۲ ns                         |
| A سال * B           | ۶          | ۳۰۷/۳۰ ns                     | ۲۷۷/۶۷ ns   | ۰/۰۰۶۷ ns | ۰/۱۳۵۰**  | ۰/۰۰۰۲ ns                         |
| خطا                 | ۴۳         | ۱۳۳۱/۲۲                       | ۹۱۰/۹۸      | ۰/۰۵۹۱    | ۰/۰۳۵۵    | ۰/۰۰۱۱                            |
| ضریب تغییرات (درصد) | *          | ۱۴/۵۷                         | ۱۵/۷۲       | ۱۶/۶۰     | ۱۹/۸۶     | ۱۴/۹۳                             |

\*\*\*، \*\* و \* وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی دار

جدول ۱۰. آنالیز واریانس برای عملکرد برگ، کلسیم، آهن و ازت در محیط مزرعه تحقیقاتی

| منبع تغییرات        | درجه آزادی | عملکرد برگ (کیلوگرم بر هکتار) | کلسیم ppm   | آهن ppm   | ازت %     | کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد برگ |
|---------------------|------------|-------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------------------------------|
| سال                 | ۱          | ۴۱۲۵/۳۴*                      | ۴۲۵۳۴/۷۲**  | ۰/۰۰۶۸*   | ۱/۶۹۸۹**  | ۰/۳۴۸۴**                          |
| ار تکرار            | ۴          | ۳۴۹۲/۰۵*                      | ۲۷۵۶/۸۸ ns  | ۰/۱۴۷۰ *  | ۰/۲۱۳۸**  | ۰/۰۰۲۹*                           |
| (A) فاکتور عمق      | ۲          | ۶۲۰۱۸/۰۵**                    | ۱۳۲۳۹۸/۵۱** | ۰/۷۹۳۳**  | ۱۳/۶۳۳۷** | ۰/۰۴۹۷**                          |
| (B) فاکتور شوری     | ۳          | ۲۸۹۵۲۰/۹۰**                   | ۶۸۴۷۳۱/۸۱** | ۱/۷۲۵۵**  | ۶۲/۵۵۵۲** | ۰/۲۳۶۹**                          |
| A سال *             | ۲          | ۱۳۵۶/۰۵ ns                    | ۲۱۰۴/۰۱ ns  | ۰/۰۰۰۷ ns | ۰/۹۰۰۰**  | ۰/۰۰۱۰ ns                         |
| B سال *             | ۳          | ۴۵۹/۷۱ ns                     | ۳۲۱۷۲/۲۴**  | ۰/۰۰۲۸ ns | ۱/۵۷۹۶**  | ۰/۰۰۳۹**                          |
| AB                  | ۶          | ۳۱۲۳/۵۵ *                     | ۲۰۳۶/۴۹ ns  | ۰/۰۵۶۷ ns | ۵/۹۷۵۸**  | ۰/۰۰۲۳ *                          |
| A سال * B           | ۶          | ۱۱۲۰/۳۷ ns                    | ۹۸۲/۸۱ ns   | ۰/۰۰۱۵ ns | ۰/۳۰۶۱**  | ۰/۰۰۰۷ ns                         |
| خطا                 | ۴۳         | ۱۰۵۸/۷۲                       | ۱۳۳۴/۸۲     | ۰/۰۵۲۴    | ۰/۰۵۴۸    | ۰/۰۰۰۸                            |
| ضریب تغییرات (درصد) | *          | ۶/۶۸                          | ۱۱/۳۶       | ۱۰/۰۲     | ۱۳/۵۷     | ۶/۷۲                              |

\*\*\*، \*\* و \* وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی دار

### بحث

خشکسالی و کم آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش های مختلف به آب، مشکل خشکسالی در سال های آینده حادث تر نیز خواهد شد و در چنین شرایطی یکی از راهکارهای موثر و عملی استفاده بهینه و صرفه جویی در مصرف آب است. مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی که بخش عمده ای از مصارف آب در ایران و جهان را نیز شامل می شود، می تواند بسیار راه گشا و موثر باشد (ذوالفقاران، ۲۰۲۲). بررسی ها نشانگر آن است که تا کنون در زمینه تأثیر آب زیرزمینی کم عمق با کیفیت های مختلف و در شرایط آبیاری کامل سطحی بر کمک به تبخیر و تعرق در طول دوره رشد مورینگا اولیفرا در مناطق خشک و نیمه خشک تحقیقی انجام نشده تا بتوان با نتایج این پژوهش مقایسه نمود اما در رابطه با بعضی از سایر گیاهان

دارویی تحقیقاتی صورت پذیرفته است. طبق نتایج به دست آمده، مشخص شد که در محیط گلخانه و مزرعه تحقیقاتی آب زیرزمینی با کیفیت شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر در کمک به تبخیر و تعرق گیاه مورینگا نقش بسزایی داشته به طوری که برای عمق‌های ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۱ متر درصد مشارکت آب زیرزمینی تقریباً می‌تواند بخش عمده‌ای از نیازهای آبی گیاه را تأمین نماید. ضمناً نتایج نشان داد در محیط گلخانه در حدود (۷۵/۲۲، ۵۸/۰۷، ۳۶/۷۰) و (۶۸/۰۱، ۵۰/۸۹، ۳۱/۵۶) و (۶۴/۸۱، ۴۶/۱۵، ۲۹/۸۰) و (۵۸/۳۴، ۳۷/۸۶، ۲۰/۹۹) و در محیط مزرعه تحقیقاتی در حدود (۸۲/۶۵، ۶۷/۵۹، ۴۱/۳۳) و (۷۳/۵۳، ۴۹/۴۸، ۳۱/۶۲) و (۵۳/۳۱، ۳۸/۸۶، ۲۴/۳۵) و (۳۸/۰۱، ۳۲/۶۹، ۲۰/۱۷) درصد از نیاز آبی گیاه بود. در کل نتایج این تحقیق نشانگر این موضوع است که استفاده از آب زیرزمینی کم‌عمق با شوری کمتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر برای گیاه مورینگا می‌تواند به صورت قابل توجهی نیاز آبی گیاه را بر طرف نموده و به تبخیر و تعرق گیاه کمک کند، همچنین دور و عمق آبیاری مورد نیاز نیز کاهش یابد. ضمناً با استفاده گیاه از آب زیرزمینی کم‌عمق می‌توان به مقدار زیادی در استفاده از آب سطحی صرفه جویی نموده و از این آب سطحی در توسعه بیشتری از اراضی استفاده کرد. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد در محیط گلخانه میانگین کارایی مصرف آب در تولید برگ خشک به ترتیب برای شوری‌های ۱، ۲، ۶ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در عمق‌های ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۱ متر به ترتیب در حدود (۰/۸۶۶، ۰/۷۷۴، ۰/۶۶۰) و (۰/۷۷۶، ۰/۶۴۱، ۰/۵۷۰) و (۰/۷۲۵، ۰/۶۱۵، ۰/۵۴۵) و (۰/۶۳۹، ۰/۵۷۸، ۰/۴۷۹) و در محیط مزرعه تحقیقاتی در حدود (۰/۶۰۴، ۰/۵۷۱، ۰/۴۹۷) و (۰/۵۷۸، ۰/۵۲۲، ۰/۴۱۴) و (۰/۳۴۵، ۰/۳۱۹، ۰/۳۴۹) و (۰/۳۲۲، ۰/۳۰۷) به دست آمد که نشانگر این موضوع است که در هر دو محیط گلخانه و مزرعه تحقیقاتی با افزایش عمق و شوری آب زیرزمینی کارایی مصرف آب در تولید برگ خشک کاهش یافته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در محیط گلخانه و مزرعه تحقیقاتی هرچه عمق و شوری آب زیرزمینی افزایش پیدا کند به علت آسان نبودن دسترسی ریشه‌های گیاه به آب زیرزمینی با عمق بیشتر و تأثیر منفی بر رشد اجزای گیاه مورینگا، سبب کاهش درصد مشارکت آب زیرزمینی و افزایش احساس نیاز به انجام آبیاری سطحی برای رفع نیازهای آبی گیاه می‌شود. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که در هر دو محیط گلخانه و مزرعه تحقیقاتی با افزایش عمق آب زیرزمینی و شوری، عملکرد برگ خشک، کلسیم و آهن کاهش می‌یابد اما محتوای نیتروژن موجود در برگ علی‌الرغم کاهش عملکرد برگها افزایش پیدا می‌کند همچنین نتایج نشان داد که کارایی مصرف آب در تولید محصول برگ خشک نیز با افزایش عمق و شوری آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند. تا کنون پژوهشی بر روی گیاه مورینگا اولیفر در خصوص استفاده از آب زیرزمینی شور و کم‌عمق انجام نگرفته تا بتوان آنها را مقایسه کرد، اما نتایج پژوهش مشابه بر روی درخت افاقای سیاه (لی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۴)، ذرت (لیو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۲)، گیاه دارویی سیاه‌دانه (قمرنیا و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۴)، گیاه گلرنگ (قمرنیا و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱) و گیاه رزماری (قمرنیا و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۲) در استفاده از آب زیرزمینی کم‌عمق و شور به‌عنوان منبع تأمین بخشی از نیاز آبی گیاهان مورد مطالعه نتایج مشابهی را ارائه کرده است و نشان دادند که آبهای کم‌عمق با شوری کمتر سهم بیشتری در تأمین نیاز آبی گیاهان را داشته‌اند.

لازم به ذکر است که نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در مدیریت آبیاری کشت مورینگا اولیفر در مناطق گرم و خشک با پتانسیل آب زیرزمینی با کیفیت و اعماق متنوع، جهت صرفه‌جویی در مصرف منابع آب سطحی استفاده شود لذا با این روش اراضی بیشتری قابلیت کشت داشته و همچنین تولید محصول و امکان ایجاد اشتغال بیشتری برای کشاورزان فراهم خواهد بود. لازم به ذکر است که به صورت کلی استفاده از آب شور منجر به شور شدن خاک می‌شود و لازم است با آبیاری از انباشت نمک جلوگیری شود.

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان ابراز داشت که در صورت وجود آب زیرزمینی در عمق کم، می‌توان از ۳۰٪ تا ۷۵٪ در محیط گلخانه و ۲۰٪ تا ۸۳٪ در محیط مزرعه، از نیاز آبی مورینگا اولیفر را تأمین کرد و به جای انجام آبیاری سطحی با صرف

1. li et al

2. liu et al

3. Ghamarnia et al

منابع آب شیرین محدود و انرژی از آب زیرزمینی رایگان استفاده کرد. همچنین با توجه به عملکرد گیاه و محتوای عناصر مفید این گیاه در تیمارهای مختلف پیشنهاد می‌گردد در مناطق خشک و نیمه‌خشک که دارای محدودیت منابع آب شیرین هستند و از طرفی از نعمت آب زیرزمینی کم‌عمق در عمق ۰/۶ تا ۱/۱ متر بهره‌مند هستند کشت گردد.

لازم به ذکر است که نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در مدیریت آبیاری کشت مورینگا اولیفا در مناطق گرم و خشک با پتانسیل آب زیرزمینی باکیفیت و اعماق متنوع، جهت صرفه جویی در مصرف منابع آب سطحی استفاده شود لذا با این روش اراضی بیشتری قابلیت کشت داشته و همچنین تولید محصول و امکان ایجاد اشتغال بیشتری برای کشاورزان فراهم خواهد بود. لازم به ذکر است که به‌صورت کلی استفاده از آب شور منجر به شور شدن خاک می‌شود و لازم است با آبسویی از انباشت نمک جلوگیری شود.

به‌صورت کلی از نتایج پژوهش می‌توان موارد زیر را نتیجه گرفت :

۱. به طور کلی شوری آب زیرزمینی باعث کاهش مصرف گیاه از آن می‌گردد. هرچه شوری بیشتر شود کاهش مصرف بیشتر می‌گردد. همچنین افزایش عمق سطح ایستابی نیز باعث کاهش مصرف آب زیرزمینی گشته است.
۲. به طور کلی شوری آب زیرزمینی باعث کاهش عملکرد برگ و کارایی مصرف آب در گیاه شده است. هر چه شوری بیشتر شود، کاهش عملکرد و کارایی مصرف آب نیز بیشتر می‌گردد. همچنین افزایش عمق سطح ایستابی باعث کاهش عملکرد برگ و کارایی مصرف آب در گیاه شده است.
۳. به طور کلی شوری آب زیرزمینی باعث کاهش عملکرد برگ و محتوی کلسیم، آهن و ازت در گیاه شده است. هرچه شوری بیشتر شود این کاهش نیز بیشتر می‌شود. همچنین افزایش عمق سطح ایستابی باعث کاهش عملکرد برگ و کارایی مصرف آب بر اساس تولید برگ و نیز کاهش محتوی کلسیم و آهن موجود در عصاره برگ می‌گردد. اما در خصوص محتوی ازت (پروتئین) موجود در برگ افزایش عمق سطح ایستابی باعث افزایش این پارامتر شده است

## ملاحظات اخلاقی

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها است.

### مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور برابر در شکل‌گیری ایده مقاله و نگارش نسخه اولیه و نسخه‌های بعدی آن مشارکت داشته‌اند

### تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله، تعارض منافع وجود ندارد.

### حامی مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مهندسی آب و خاک در قالب پژوهانه رساله دانشجویی نویسنده اول انجام شده است.

### سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به خاطر حمایت مالی در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.

## منابع

- رحیمیان، محمدحسن، و غلامی، حسن. (۱۴۰۱). تحلیلی بر وضعیت شوری منابع آب در حال استفاده بخش کشاورزی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۹(۳)، ۱۱۶-۱۰۷. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i3.2204.1135>
- ذوالفقاران، اردلان. (۱۴۰۱). تعیین آب کاربردی و بهره‌وری مصرف آب در مزارع زعفران استان خراسان رضوی. نشریه فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۲(۱)، ۵۱-۳۸. <https://doi.org/10.22126/atwe.2022.7535.1015>
- قمرنیا، هوشنگ، جلیلی، زهرا، و رضوانی، سید وحیدالدین. (۱۳۹۹). بررسی سطوح مختلف کم آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه استویا (*Stevia rebaudiana Bertoni*) در محیط‌های گلخانه و مزرعه. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱(۱۲)، ۳۱۲۵-۳۱۱۵. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.308735.668716>
- قمرنیا، هوشنگ، امیری، سجاد، و نیکو کیش، مهتاب. (۱۴۰۱). بررسی امکان استفاده گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis.L*) از آب زیرزمینی کم‌عمق با کیفیت‌های مختلف. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۶(۳)، ۲۹۸-۲۸۷. <https://doi.org/10.22092/jwra.2022.358650.924>
- کرباسی، علیرضا، محتشمی، تکتم، علیزاده، امین، و مقیمی، زهرا. (۱۳۹۹). بررسی عوامل موثر بر اضافه برداشت کشاورزان از منابع آب زیرزمینی در دشت زاوه- تربت حیدریه. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۳۴(۴)، ۶۱۴-۶۰۳. <https://doi.org/10.22092/jwra.2021.123502>
- مرزبان، حسین، صدرایی جواهری، احمد، زیبایی، منصور، ناظم السادات، سید محمد جعفر، و کریمی، لیلا. (۱۳۹۸). بررسی وضعیت منابع و مصارف آب در ایران و راهکارهای بهبود وضعیت. مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۴)، ۳۲-۱۶. <https://doi.org/10.22093/wwj.2018.126649.2663>
- فرمانی‌فرد، میلاد، نجفی بیامه، مهدی، محمدی، فرزانه، و محسنی‌پور، فتح‌الله. (۱۴۰۱). برآورد و بررسی تداخل حریمی چاه‌های بهره‌برداری جهت شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان (مطالعه موردی: آبخوان سنجایی کرمانشاه). نشریه فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۲(۱)، ۱۰۲-۸۵. <https://doi.org/10.22126/atwe.2022.7582.1016>
- نیازمند، رویا، مقدم‌نیا، آرمان، طهماسبی، پیمان، نیک‌مهر، سامان، و معروف‌پور، عیسی. (۱۴۰۲). بهره‌وری مصرف آب و انرژی محصول سیب‌زمینی در سامانه‌های آبیاری بارانی (مطالعه موردی: دشت دهگلان استان کردستان). نشریه فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۳(۴)، ۱۳۷-۱۱۶. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10298.1106>

## References

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Smith, M., Raes, D., & Wright, J. L. (2005). FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Irrigation and drainage engineering*, 131(1), 2-13. [https://water.nv.gov/mapping/et/Docs/Annex\\_1.pdf](https://water.nv.gov/mapping/et/Docs/Annex_1.pdf)
- Baethgen, W.E., & Alley, M.M. (1989). A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 20, 961-969. <https://doi.org/10.1080/00103628909368129>
- Boretti, A. & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the world water development report. *NPJ Clean Water*, 2(1), 15. <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>
- Connor, R. (2015). The United Nations world water development report water for a sustainable world, *UNESCO publications*, Paris, France. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>
- Faramarzi, M., Yang, H., Schulin, R., & Abbaspour, K. C. (2010). Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production. *Agricultural water management*, 97(11), 1861-1875. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.002>
- Farmani Fard, M., Najafi Biameh, M., Mohammadi, F., & Mohsenipour, F. (2012). Estimation and investigation of the boundary interference of exploitation wells to identify vulnerable aquifer areas (Case study: Sanjabi Aquifer, Kermanshah). *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(1), 85-102. (In Persian) <https://doi.org/10.22126/atwe.2022.7582.1016>
- Ghamarnia, H., Golamian, M., Sepehri, S. & Arji, I. (2011). Shallow groundwater use by Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in a semi-arid region. *Irrigation science*, 29, 147-156.
- Ghamarnia, H., & Jalili, Z. (2014). Shallow saline groundwater use by Black cumin (*Nigella sativa* L.) in the presence of surface water in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, 132, 89-100. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.308735.668716>
- Ghamarnia, H., Jalili, Z., & Rezvani, S. V. (2021). Investigation of different levels of deficit irrigation on the yield and water use efficiency of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) in greenhouse and field environments. *Soil and Water Research*, 51(12), 3115-3125. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/jwra.2022.358650.924>
- Gowing, J., Rose, D. & Ghamarnia., H. (2009). The effect of salinity on water productivity of wheat under deficit irrigation above shallow groundwater. *Agricultural water management*, 96(3), 517-524. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.09.024>
- Jones, J. B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis, CRC Publications, Boca Raton, Florida. <https://doi.org/10.1201/9781420025293>
- Karimi, V., Karami, E. & Keshavarz, M. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 1-15. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61794-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61794-5)
- Karbasi, A., Mohtashami, T., Alizadeh, A., & Moghimi, Z. (2021). Investigation of factors affecting farmers' over-withdrawal of groundwater resources in the Zaveh-Torbat Heydariyeh Plain. *Water Research in Agriculture*, 34(4), 603-614. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/jwra.2021.123502>
- Li, H., Lan, Z., Chen, H., & Huang, J. J. (2024). How do non-halophyte locust trees thrive in temperate coastal regions: A study of salinity and multiple environmental factors on water uptake patterns. *Hydrological Processes*, 38(3), e15122. [https://doi.org/10.1002/hyp.15122?urlappend=%3Futm\\_source%3Dresearchgate.net%26utm\\_medium%3Daricle](https://doi.org/10.1002/hyp.15122?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Daricle)

- Liu, M., Paredes, P., Shi, H., Ramos, T. B., Dou, X., Dai, L. & Pereira, L. S. (2022). Impacts of a shallow saline water table on maize evapotranspiration and groundwater contribution using static water table lysimeters and the dual Kc water balance model SIMDualKc. *Agricultural Water Management*, 273, 107887. <https://ideas.repec.org/a/eee/agiwat/v273y2022ics0378377422004346.html>
- Maghrebi, M., Noori, R., Bhattarai, R., Mundher Yaseen, Z., Tang, Q., Al-Ansari, N., Danandeh Mehr, A., Karbassi, A., Omidvar, . J. & Farnoush, H. (2020). Iran's agriculture in the anthropocene. *Earth's Future*, 8(9), e2020EF001547. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020EF001547>
- Marzban, H., Sadraei Javaheri, A., Zebai, M., Jafar Nazim Al-Sadat, S. M. & Karimi, L. (2019). Surveying the Status of Water Resources and Consumption in Iran and Strategies for Improving the Situation. *Water and Wastewater*, 30(4), 16-32. (In Persian) <https://doi.org/10.22093/wwj.2018.126649.2663>
- Mirzaei, A., Saghafian, B., Mirchi, A., & Madani, K. (2019). The groundwater–energy–food nexus in Iran's agricultural sector: implications for water security. *Water*, 11(9), 1835. <https://doi.org/10.3390/w11091835>
- Organization, W. H. (2019). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities, World Health Organization Publications, Geneva, Switzerland. <https://www.who.int/publications/m/item/progress-on-household-drinking-water--sanitation-and-hygiene-2000-2024--special-focus-on-inequalities>
- Niazmand, R., Moghadamnia, A., Tahmasebi, P., Nikmehr, S., & Maroufpoor, I. (2024). Water and energy consumption efficiency of potato crop in sprinkler irrigation systems (Case study: Dehgolan plain, Kurdistan province). *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(4), 116-137. (In Persian) <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10298.1106>
- Salehi, M. (2022). Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environment International*, 158, 106936. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106936>
- Rahimian, M. H., & Gholami, H. (2023). An Analysis of the Salinity Status of Water Resources in Use by the Agricultural Sector. *Water and Sustainable Development*, 9(3), 107-116. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i3.2204.1135>
- Santos, C. S. d., Montenegro, A. A. d. A., Santos, M. A., & Pedrosa, E. M. (2017). Evapotranspiration and crop coefficients of Moringa oleifera under semi-arid conditions in Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21, 840-845. <https://scite.ai/reports/evapotranspiration-and-crop-coefficients-of-dvL9M6M>
- Zad-Parsa, Sh., Sepaskhah, A. R., & Didari, S. (2024). Gradual Reduction of Agricultural Water Withdrawal an Effective Step in Adapting to Water Scarcity in Iran. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 9(1), 19-34. <https://doi.org/10.22047/srjasnr.2024.403085.1073>
- Water, U. (2007). Coping with water scarcity: challenge of the twenty-first century. Prepared for World Water Day. Fao Publications, Rome, Italy. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/aq444e>
- Zolfagharan, A. (2022). Determination of Applied Water and Water Use Efficiency in Saffron Farms in Khorasan Razavi Province. *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(1), 38-51. (In Persian) <https://doi.org/10.22126/atwe.2022.7535.1015>