

Performance Assessment of *Moringa oleifera* Under Varying Salinity Regimes in Greenhouse Conditions

Zahra Goorani¹, Houshang Ghamarnia^{1*}, Bahman Farhadi Bansouleh¹, Issa Arji¹

¹Department of Water Science and Engineering. Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

² Department of Plant Production and Genetics of Science and Engineering. Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 12 April 2026

Revised 15 May 2026

Accepted 20 May 2026

Published online 23 September 2026

Keywords:

Moringa oleifera

Salinity

greenhouse

Calcium

ABSTRACT

Objective: Salinity of water and soil is one of the major constraints limiting agricultural production in many regions of our country. The scarcity of freshwater resources has increased interest in the use of saline water for irrigation in agriculture and urban green spaces. The objective of this study was to investigate the effects of saline water irrigation on the yield and characteristics of *Moringa oleifera* grown in micro-lysimeters under greenhouse conditions.

Methods: To evaluate the effects of salinity stress on leaf yield, calcium and nitrogen content, and morphological characteristics of *Moringa oleifera*, a greenhouse experiment was conducted at the Research Greenhouse of the Faculty of Agriculture, Razi University during 2023–2024. The experiment was carried out as a completely randomized design with three replications under six salinity levels: 1 (control), 2, 4, 6, 8, and 10 dS m⁻¹. Morphological traits measured included plant height, stem diameter, number of lateral branches, leaf dry weight, and total biomass dry weight.

Results: The results showed that salinity had a statistically significant effect at the 1% probability level on water use efficiency based on leaf yield, as well as leaf calcium and nitrogen content. Increasing salinity levels reduced leaf yield and calcium content. Statistical analysis also indicated significant correlations at the 5% probability level between nitrogen content and leaf yield, as well as between calcium and nitrogen content. Furthermore, significant differences at the 1% level were observed among salinity treatments for morphological traits, including plant height, stem diameter, number of lateral branches, leaf dry weight, and total biomass dry weight.

Conclusion: Based on the results of this study, saline water with salinity levels up to 4 dS m⁻¹ can be used for irrigation of *Moringa oleifera* without a significant reduction in leaf yield. Leaf yield, water use efficiency based on leaf yield, and calcium and nitrogen content in leaf extracts decreased significantly under saline irrigation. *Moringa oleifera* can tolerate irrigation water salinity up to 4 dS m⁻¹ and may therefore serve as a suitable management option in areas with poor-quality saline water resources for cultivation, economic development, and optimal water resource management. In addition, increasing irrigation water salinity reduced plant height, stem diameter, number of lateral branches, leaf dry weight, and total biomass dry weight.

*Corresponding author, Email: hghamarnia@razi.ac.ir

Cite this article: Goorani, Z., Ghamarnia, H., Farhadi Bansouleh, B., Arji, I (2026). Performance Assessment of *Moringa oleifera* Under Varying Salinity Regimes in Greenhouse Conditions. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 5(3), 110-126. <https://doi.org/10.22034/nawee.2026.565979.1186>



Introduction

Increasing soil and irrigation water salinity is one of the most important limiting factors affecting agricultural production in arid and semi-arid regions. Salinity disturbs water uptake, disrupts ionic balance, reduces plant growth, and ultimately decreases crop yield, thereby posing a serious threat to food security. In many regions, particularly in Iran, water and soil resources are affected by different degrees of salinity, which highlights the necessity of using salt-tolerant plant species. In this context, *Moringa oleifera*, as a tropical and subtropical plant with high nutritional, medicinal, and economic value, has attracted considerable research attention. Its leaves, seeds, flowers, and young branches have various nutritional, industrial, and medicinal applications. Therefore, evaluating the adaptability of this plant under saline conditions is of great importance. The present study was conducted to assess the response of *Moringa oleifera* to different irrigation water salinity levels and to investigate changes in its growth and physiological traits.

Materials and Methods

This study was carried out under greenhouse conditions at the Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University. The experiment was conducted as a completely randomized design with three replications. A total of 18 polyethylene lysimeters were used for plant cultivation. The lysimeters were filled with local soil and amended with well-decomposed animal manure and chemical fertilizers, including urea, triple superphosphate, and potassium sulfate. Before sowing, *Moringa oleifera* seeds were soaked in water for 72 hours. Salinity treatments were applied after seedling establishment, when the plants reached approximately 30 cm in height.

Irrigation water salinity treatments consisted of six levels: 1, 2, 4, 6, 8, and 10 dS m⁻¹, with 1 dS m⁻¹ considered as the control treatment. Saline water was prepared using a mixture of sodium chloride and calcium chloride at a 1:1 ratio. Irrigation was scheduled based on crop water requirement, using the pan evaporation method and crop coefficients.

The measured traits included leaf yield, calcium content in leaf extract, nitrogen percentage in leaf extract, plant height, stem diameter, number of lateral branches, leaf dry weight, total dry biomass, and water use efficiency. Calcium content was determined using the dry digestion method followed by measurement with an atomic absorption spectrophotometer, while nitrogen percentage was measured using the Kjeldahl method. Data were statistically analyzed using SAS software, and mean comparisons were performed using Duncan's multiple range test at the 1% probability level.

Results

The results showed that irrigation water salinity had a significant effect on the growth and yield of *Moringa oleifera*. The total crop water requirement during the growth period was estimated to be 1253.8 mm and 989.3 mm in the first and second years, respectively. Leaf yield was highest in the control treatment (1 dS m⁻¹) in both years. However, increasing salinity levels caused a significant reduction in leaf yield. The lowest leaf yield was observed at 6 dS m⁻¹, while at salinity levels of 8 and 10 dS m⁻¹, leaf production was practically stopped.

The reduction in yield under saline conditions can be attributed to the adverse effects of osmotic stress and impaired water absorption. Increasing salt concentration in the root zone reduces soil water potential and induces physiological drought in the plant. This condition may lead to stomatal closure, reduced photosynthetic activity, and limited biomass production. In addition, salinity can disturb ionic balance and reduce metabolic activity, particularly under high salt concentrations. Other measured traits, including vegetative growth, dry weight, plant height, stem diameter, and yield components, also showed a decreasing trend with increasing salinity. Overall, the findings indicate that *Moringa oleifera* can maintain growth to some extent under salinity stress; however, as salinity intensity increases, growth and yield decline markedly.

Conclusion

The findings of this study indicate that *Moringa oleifera* has limited tolerance to salinity. The plant was able to continue growing under low to moderate salinity levels, but at higher salinity levels, especially above 8 dS m^{-1} , vegetative growth and leaf production were severely reduced or completely inhibited. Therefore, *Moringa oleifera* may be considered a potential species for cultivation in areas with mild salinity, but its use under severe saline conditions requires careful irrigation management and possibly the selection or development of more salt-tolerant genotypes.

In general, this study highlights the importance of evaluating valuable and stress-tolerant plant species under conditions of limited water and soil quality. Due to its high nutritional and medicinal value and its relative ability to tolerate salinity, *Moringa oleifera* may be considered in agricultural development programs for arid and semi-arid regions. Nevertheless, the results emphasize that salinity beyond a certain threshold has severe negative effects on the growth and yield of this plant. Therefore, successful cultivation of *Moringa oleifera* in saline environments depends on proper management of irrigation water quality and improvement of growing conditions.



بررسی عملکرد مورینگا اولیفرآ تحت رژیم های مختلف شوری تحت شرایط گلخانه

زهرا گورانی^۱، هوشنگ قمرنیا^{۲*}، بهمن فرهادی بانسوله^۱، عیسی ارجی^۲

^۱ گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
^۲ گروه علوم و مهندسی باغبانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

هدف: یکی از مهمترین محدودیت های تولید در بخش کشاورزی در کشور ما شوری آب و خاک در مناطق مختلف کشور است. کمبود منابع آبی کشور سبب شده است تا استفاده از آبهای شور در بخش کشاورزی و فضای سبز به عنوان منبع آبیاری، یکی از اهداف اصلی در پژوهش ها در نظر گرفته شود. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر آبیاری با آب شور بر روی عملکرد و خصوصیات مورینگا اولیفرآ در شرایط کشت در میکرولاسیسمتر در محیط گلخانه است.

مواد و روش ها: به منظور مطالعه آثار تنش شوری بر عملکرد برگ و میزان محتوی کلسیم و پروتئین موجود در برگ درختچه مورینگا اولیفرآ و همچنین تاثیر بر مشخصات ظاهری گیاه شامل ارتفاع، قطر ساقه، تعداد شاخه های جانبی، وزن خشک برگ و وزن خشک کل زیست توده آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی به صورت طرح کاملاً تصادفی در ۶ سطح تنش شوری با سه تکرار در سالهای ۱۴۰۳-۱۴۰۲ اجرا شد.

نتایج: نتایج نشان داد که شوری در سطح احتمال یک درصد بر کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد برگ، کلسیم و ازت از نظر آماری تفاوت معنی داری ایجاد کرده است. همچنین نشان داد که افزایش شوری موجب کاهش عملکرد برگ و محتوای کلسیم گردید. نتایج آنالیز آماری نشان دهنده همبستگی معنی دار در سطح ۵ درصد بین صفات محتوای ازت با عملکرد برگ و محتوای کلسیم و ازت بود. همچنین مشخص شد در بین تیمارهای شوری اعمال شده در خصوصیات مورفولوژیکی اندازه گیری شده شامل ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه های فرعی، وزن خشک برگ و وزن کل زیست توده از نظر آماری تفاوت معنی داری در سطح یک درصد وجود دارد، نتایج نشان داد با افزایش شوری در تیمارها خصوصیات ذکر شده کاهش پیدا کرده اند. همچنین آنالیز آماری آستانه تحمل گیاه را آبیاری با آب شور ۴ دسی زیمنس بر متر نشان داد.

نتیجه گیری: با توجه به نتایج این پژوهش می توان از آبهای شور تا شوری ۴ دسی زیمنس بر متر، برای آبیاری این گیاه بدون کاهش عملکرد معنی دار در عملکرد برگ استفاده کرد. همچنین می توان عنوان کرد عملکرد برگ، کارایی مصرف آب با عملکرد برگ، محتوای کلسیم و ازت موجود در عصاره برگ ها در شرایط آبیاری با آب شور مناسب با شوری آب آبیاری کاهش معنی داری داشتند. گیاه مورینگا اولیفرآ می تواند در شوری آب آبیاری تا شوری ۴ دسی زیمنس را به خوبی تحمل نماید لذا می تواند به عنوان گزینه ای مدیریتی در مناطقی که دارای منابع آبی با کیفیت نامناسب و شور هستند به منظور کشت و ایجاد اشتغالزایی اقتصادی و مدیریت بهینه منابع آب استفاده کرد. همچنین نتایج نشان دادند که افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش ارتفاع، قطر، شاخه های جانبی، وزن خشک برگ و همچنین وزن خشک کل زیست توده می شود.

کلیدواژه ها:

مورینگا اولیفرآ

شوری

گلخانه

کلسیم

*نویسنده مسئول، Email: hghamarnia@razi.ac.ir

استناد: گورانی، ز؛ قمرنیا، ه؛ فرهادی بانسوله، ب؛ ارجی، ع (۱۴۰۵). بررسی عملکرد مورینگا اولیفرآ تحت رژیم های مختلف شوری تحت شرایط گلخانه. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست*، ۵ (۳)، ۱۱۰-۱۲۶. <https://doi.org/10.22034/nawee.2026.565979.1186>



مقدمه

مهمترین وظیفه ما در برابر نسل آینده تحویل بستر زیستی امن به آنهاست و در راس این موضوع امنیت غذایی است. برای رفع تقاضای روزافزون غذا و محصولات کشاورزی و به دلیل کمبود منابع آب شیرین، استفاده از آب‌هایی با کیفیت مرزی برای آبیاری یکی از اهداف و راهکارهای مدیریتی در این زمینه است. مشارکت بهره‌برداران کشاورزی در مدیریت پایدار آب یک ضرورت انکار ناپذیر است (سعدی و همکار، ۱۴۰۴) شوری خاک و آب سبب تخریب خاک و کاهش عملکرد محصول در مقایسه با خاک‌های غیرشور می‌شود (Hillel 2000 & Ghassemi, Jakeman et al, 1995) وسعت و پراکنش خاک‌های شور در کشورمان بسیار گسترده است. از ۱۶۵ میلیون هکتار اراضی قابل کاشت در حد ۲۴ میلیون هکتار آن را خاک‌های شور تشکیل می‌دهند. بنابراین از آن جا که منابع آبی با کیفیت 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 می‌باشد. بررسی بر روی ۴۴/۵ میلیارد متر مکعب آب‌های زیرزمینی مورد استفاده در بخش کشاورزی نشان می‌دهد که از نظر حجمی حدود ۳۱٪ از این منابع (معادل ۱۳/۸ میلیارد متر مکعب) دارای شوری‌های بالای ۲ دسی‌زیمنس بر متر (با سطوح مختلف شوری) می‌باشند. از این بین حدود ۷/۵ میلیارد متر مکعب در کلاس شوری ۲-۴ دسی‌زیمنس بر متر، حدود ۴/۳ میلیارد متر مکعب در کلاس شوری ۴-۸ دسی‌زیمنس بر متر، حدود ۱/۳ میلیارد متر مکعب در کلاس شوری ۸-۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، حدود ۰/۴ میلیارد متر مکعب در کلاس شوری ۱۲-۱۶ دسی‌زیمنس و حدود ۰/۲ میلیارد متر مکعب 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 متر مکعب (معادل ۱۱٪ از کل جریانهای سطحی کشور) شوری بیشتر از ۲/۳ دسی‌زیمنس بر متر دارند (رحیمیان و غلامی، ۱۴۰۱). برای مقابله کمبود آب، یکی از راهها، استفاده صحیح از آب‌های نامتعارف نظیر آب‌های شور، زه آب اراضی کشاورزی بالادست و نیز پساب‌های تصفیه‌شده فاضلاب است (ذاکری نیا و باقری، ۱۴۰۵). رابطه بین نسبت یون پتاسیم به یون سدیم و مقاومت به شوری در گیاهان به وسیله برخی پژوهشگران بررسی و معلوم شده است که افزایش نسبت این دو عنصر در بسیاری از گیاهان عامل تعیین کننده میزان عملکرد در شرایط تنش شوری بوده است (Cramer, Alberico et al, 1994, Weimberg, 1987, Katerji, Van Hoorn et al, 2003). بر اساس تعریف شانون و گریوی، شوری عبارت است از حضور بیش از اندازه نمک‌های قابل حل و عناصر معدنی در محلول آب و خاک که به تجمع نمک در ناحیه ریشه منجر شده و گیاه در جذب آب کافی از محلول خاک با اشکال روبه رو می‌شود (Shannon and Grieve, 1998) تنش شوری فقط بر یک مرحله رشدی گیاه تاثیر سو نگذاشته، بلکه با توجه به شدت تنش، نوع تنش، میزان مقاومت گیاه، مراحل مختلف رشدی و نوع بافت و اندام گیاهی (سیر تکاملی) متفاوت است (Maas and Hoffman, 1977). مورینگا یا گز روغنی یا درخت معجزه، خاص مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری است که تا کنون ۱۴ گونه از آن شناسایی شده است. مورینگا اولیفرای بومی هند شمالی است و معروف‌ترین گونه در بین همه گونه‌هاست. این گیاه تیره کوچکی از گیاهان گل‌دار جدا گلبرگ با برگ‌های شانه‌ای مضاعف، گل‌های دو جنسی خوشه محور به طول ۱۰ تا ۲۵ سانتی‌متر و میوه آن به صورت کپسول‌های دراز به طول ۲۰ تا ۵۰ سانتی‌متر که حالت سه‌وجهی دارند و نیام محتوی دانه‌هایی روغنی (روغنی با ۷۳ درصد اولئیک اسید و مناسب برای پخت و پز و روغنکاری) به اندازه مغز پسته هستند و گاهی تا ۱۵ بذر را در خود جای می‌دهند. این درخت به علت خواص دارویی، بهداشتی و غذایی، برگ، گل، دانه و چوب آن به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته و به درخت معجزه معروف است. برگ‌های این درختچه سرشار از مواد معدنی و ویتامین‌ها و پروتئین است همچنین به عنوان داروی کاهش قند، کاهش وزن، کاهش فشار خون و زیباسازی پوست و مو استفاده می‌شود. برگ، شاخه‌های جوان و تفاله میوه این گیاه دارای محتوی پروتئین بالایی است و می‌توان به عنوان علوفه مناسبی برای دام‌های سبک استفاده گردد (فرخ و همکاران، ۱۴۰۲).

مطالعه‌ای توسط Azeem و همکاران، (۲۰۲۳) به بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی-بیوشیمیایی و عملکرد آنتی‌اکسیدان مورینگا اولیفرای کشت شده تحت شرایط شوری آب با غلظت‌های ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl پرداختند. نتایج نشان داد که گیاه مورینگا اولیفرای در شوری ۵۰ میلی‌مولار با حفظ آبداری، نسبت‌های وزنی و الگوهای تخصیص زیست‌توده در اندام هوایی و ریشه با حداقل کاهش در زیست‌توده خشک را مدیریت کرد اما در شوری بالای ۱۰۰ میلی‌مولار به طور قابل توجهی تمام پارامترهای

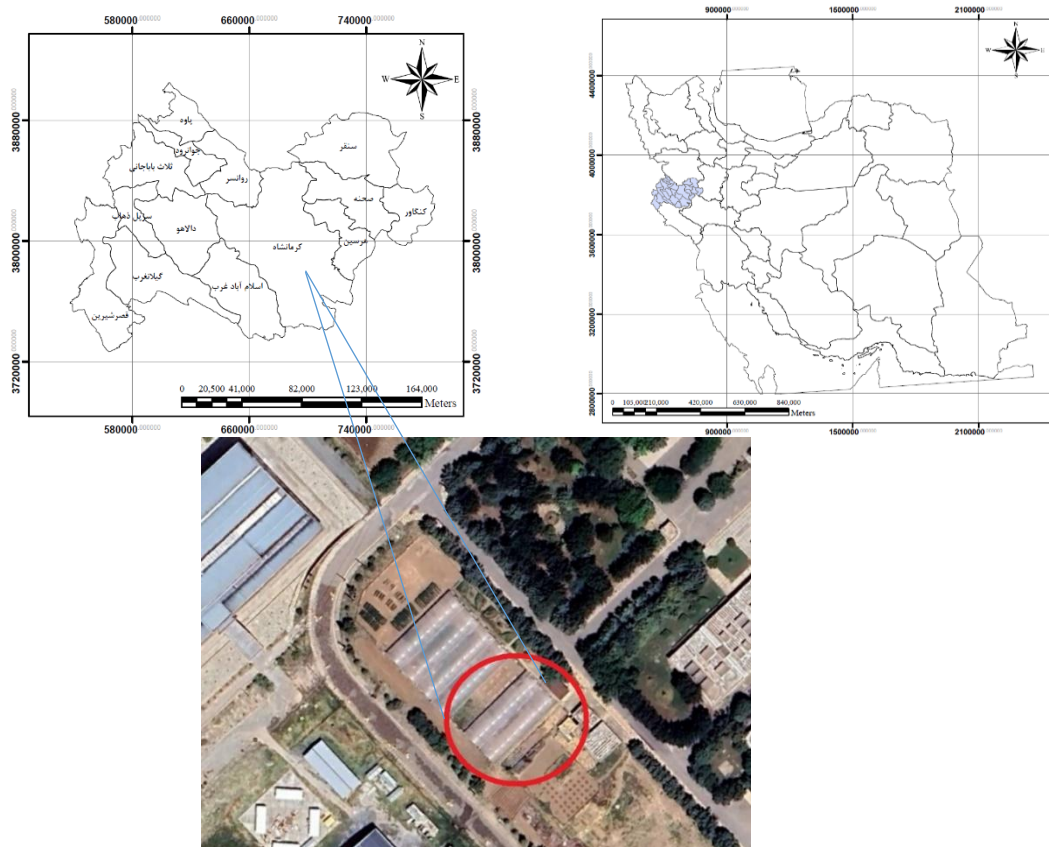
رشد را کاهش داد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری میزان سدیم و کلر در برگ بالا رفت اما برعکس میزان پتاسیم کاهش یافت. در پاسخ، مورینگا فعالیت تمام آنزیم های آنتی اکسیدانی و محتوای مولکولهای آنتی اکسیدانی از جمله اسید اسکوربیک، گلوکاتایون، فنل های کل و فلاونوئیدها را با ظرفیت بالای مهار رادیکال و کاهش قدرت، به طور چشمگیری افزایش داد. مطالعه ای توسط Bayomy و همکاران در سال ۲۰۲۳ بر روی واکنش درختان مورینگا اولیفرآ به شرایط تنش شوری در منطقه تبوک عربستان سعودی پرداختند. در این پژوهش تاثیر شوری و عصاره جلبک دریایی بر رشد و عملکرد مورینگا اولیفرآ بر ویژگی های رشد، برگ تازه و خشک، گل آذین، وزن غلاف و دانه انجام شد. حداکثر مقدار تمام صفات اندازه گیری شده در شوری ۱۸.۷۵ میلی مول بر لیتر از نمک NaCl و کمترین مقدار تمام صفات مربوط به ۷۰/۳۱ میلی مول در لیتر از نمک NaCl بود.

مطالعه ای توسط Akinyemi و همکاران در (۲۰۱۵) به بررسی جوانه زنی رشد و جذب یون گیاه مورینگا اولیفرآ تحت تنش شوری در نیجریه پرداختند. آزمایش طی دو مرحله انجام شد. مرحله نخست بررسی اثر شوری روی جوانه زنی با تیمارهای شاهد ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر انجام شد و نتایج نشان داد که دانه ها فقط در سطح شوری ۵ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر جوانه زدند و در سطوح شوری بالاتر (۱۵ و ۲۰ دسی زیمنس) جوانه زنی رخ نداد. نتایج نشان داد که گیاه مورینگا اولیفرآ قادر به جوانه زنی و رشد در مناطقی با شوری متوسط (تا ۱۰ دسی زیمنس بر متر) است.

مطالعه ای توسط Nouman و همکاران در (۲۰۱۲) به بررسی رش نهال، تغییرات فیزیولوژیکی و تغذیه ای مورینگا تحت سطوح مختلف شوری (۲، ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر) پرداخت و پارامترهای رشد، کلروفیل a و b، بتاکاروتن، مواد معدنی (سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، فسفر)، پروتئین خام، محتوای فنلی کل (TPC) و فعالیت آنتی اکسیدانی سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POD) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد نهال های مورینگا تا شوری ۸ دسی زیمنس بر متر با کاهش جزئی در زیست توده، کلروفیل a، پروتئین خام و محتوای مواد معدنی خود زنده ماندند و فعالیت آنتی اکسیدانی با افزایش شوری افزایش یافت. زیست توده گیاهی، محتوای کلروفیل a، فعالیت SOD و POD و محتوای مواد معدنی (پتاسیم، کلسیم و منیزیم) به طور قابل توجهی کاهش یافت، اما محتوای CAT، فنول های کل، بتاکاروتن و کلروفیل b، سدیم و فسفر تا ۱۲ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد به طور قابل توجهی افزایش یافت. نتایج نشان می دهد که مورینگا می تواند شرایط شوری متوسط را به دلیل سیستم آنتی اکسیدانی بهتر، فعال کردن آنزیم های دفاعی و هموستاز یونی بهتر تحمل کند.

مواد و روش ها

این طرح در محیط مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آب دانشکده پردیس کشاورزی دانشگاه رازی، در مختصات ۴۷ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۱۹/۸ متر از دریا، در دو سال متوالی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ انجام شد (شکل ۱).



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جهت انجام آزمایش در محیط گلخانه، از ۱۸ عدد لایسمتر از جنس پلی اتیلن به قطر خارجی ۴۰۰ میلی‌متر و به ارتفاع ۱/۵ متر استفاده شد که با خاک همان منطقه که از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شده بود، پر شدند. 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 ۴۶٪ (N)، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل با خلوص ۴۶٪ (P) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم با خلوص ۵۲٪ (K) مخلوط شد و لایسمترها به صورت دستی لایه لایه و هر لایه به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر پر و متراکم شدند. بذره‌های مورینگا اولیفرای تهیه شده از شرکت سبزیرویان به شماره ثبت ۱۹۹۷ با نام تجاری مزارع مورینگا به تعداد ۳۶ 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 در گلخانه کشت شدند. در گلخانه در تاریخ‌های ۱۴۰۲/۳/۲۶ و ۱۴۰۳/۴/۸ مجدداً کود به مقدار ۷۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم با خلوص ۵۲٪ و اوره با خلوص ۴۶٪ در اختیار گیاه قرار داده شد. هنگامی که ارتفاع درختان به ۳۰ سانتی‌متر رسید، تیمارهای تنش شوری 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 در حدود ۴۶ روز پس از کشت (۱۵ اردیبهشت) بذر بصورت یکسان آبیاری شده و پس از آن آبیاری مطابق تیمارهای شوری مورد نظر تا پایان شهریور ۱۴۰۳ یعنی ۱۸ ماه پس از تاریخ کشت و رشد کامل نهال‌ها، اعمال گردید. این پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. در این پژوهش جهت بررسی تاثیر تنش شوری بر روی درختچه مورینگا اولیفرای ۶ سطح از تنش شوری در نظر گرفته شد. سطوح تنش شوری در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل آبیاری با آب با شوری‌های ۱ (شاهد)، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به اندازه ۱۰۰٪ نیاز آبی مورد نیاز گیاه در طول دوره رشد می‌باشد. به منظور تهیه آب شور مورد استفاده در آزمایش‌ها به نسبت ۱:۱ از نمک‌های NaCl و CaCl₂ (به جهت جلوگیری از دیسپرسه شدن خاک داخل لایسمترها) با خلوص ۸۰٪ استفاده شد. به منظور به دست آوردن تبخیر-تعرق برای تعیین نیاز آبی گیاه مورینگا ابتدا لازم بود تا تبخیر و

تعرق گیاه مرجع بدست آید. فلذا برای این منظور از داده‌های مربوط به تشتک تبخیر با ضریب تشتک ۰/۷ در محیط گلخانه استفاده شد (آلن و همکاران، ۲۰۰۵). متوسط ضرایب K_c مورینگا اولیفرآ 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، ۲۰۱۷). صفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل میزان عملکرد برگ، محتوای کلسیم و ازت در عصاره برگ گیاه، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های جانبی، وزن خشک برگ و وزن خشک کل بایومس تحت تیمارهای مختلف می‌باشد. برای اندازه‌گیری محتوای کلسیم موجود در نمونه‌های برگ به روش هضم خشک بعد از خاکستر شدن در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی و حل کردن خاکستر در مخلوط اسیدی (اسید کلریدریک + اسید نیتریک) عصاره‌گیری شدند، سپس مقدار کلسیم با استفاده از دستگاه طیف سنج جذب اتمی (ساخت کشور استرالیا مدل AAS /Varain 220) قرائت شد (جونز^۱، ۲۰۰۱). همچنین برای اندازه‌گیری محتوای درصد 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 + سلیوم) به آن اضافه و تا زمان بی رنگ شدن بر روی هیتر قرار گرفت. سپس محتویات درون بالن، در بالن ۵۰ میلی‌لیتری صاف و با آب مقطر به حجم مورد نظر رسانده شد. مقدار نیتروژن موجود در این عصاره با استفاده از دستگاه کلدال (کجدال) قرائت و با استفاده از فرمول مربوطه، محتوای ازت نیز به دست آمد (Baethgen and Alley, 1989). به منظور تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SAS (V8) و آزمون دانکن در سطح ۱٪ استفاده گردید. خاک گلخانه منطقه مورد مطالعه از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به شرح جدول (۱) ارائه گردیده است و همچنین متوسط آنالیز خصوصیات آبی که مورد استفاده گرفته است به شرح جدول (۲) می‌باشد. به منظور بررسی صفات ظاهری گیاه شامل ارتفاع گیاه، قطر ساقه و تعداد شاخه‌های جانبی، اندازه‌گیری پس از شروع آزمایش در طول دوره رشد به صورت ماهانه در پایان هر ماه انجام شد و نتایج به صورت میانگین سالانه ارائه شدند.

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/k (g)	پتاسیم قابل جذب mg/k (g)	کربن آلی (%)	کلسیم و منیزیم محل (meq/l ()	سدیم محل (meq/l ()	pH	SA R	EC (dS/m ()
۱/۳۳	Silty Loam	۱/۶ ۳	۶/۸ ۳	۲/۶ ۲	۴۹/۷	۱۴/۴	۳۴/۱	۱۱/۲	۳۲/۰	۲۹۲/۰	۱۰۵ ۱	۳/۲	۰/۴۶	۷/۱ ۷	۳۶ ۰	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

میانگین پارامترهای هواشناسی در بازه زمانی انجام پژوهش در محدوده انجام این پژوهش در جدول ۳ نشان داده شده است.

^۱ . Jones

جدول ۳ - میانگین پارامترهای هواشناسی در محدوده انجام پژوهش در طی مدت انجام پژوهش در گلخانه

سال	ماه	مجموع بارندگی	رطوبت نسبی حداقل (درصد)	رطوبت نسبی حداکثر (درصد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	حداقل دما (سانتیگراد)	حداکثر دما (سانتیگراد)
۱۴۰۲	فروردین	۷۴/۸	۴۱/۲۹	۸۳/۶۸	۳/۶۹	۴/۱۲	۱۸/۷۰
	اردیبهشت	۴۰/۴	۲۷/۱	۶۴/۰	۴/۰۹	۷/۳۰	۲۴/۴۹
	خرداد	۲/۳	۲۰/۱۹	۵۹/۵۲	۳/۶۳	۱۱/۷۶	۳۲/۰۷
	تیر	۰/۰	۱۱/۴۲	۳۵/۲۳	۳/۴۵	۱۵/۴۰	۳۷/۹۴
	مرداد	۰/۰	۱۷/۱۳	۲۹/۱۰	۴/۲۶	۱۹/۱۰	۳۹/۰۶
	شهریور	۰/۰	۱۱/۳۵	۳۵/۲۶	۳/۹۵	۱۳/۷۰	۳۵/۷۷
	مهر	۱۰/۷	۳۳/۵۱	۵۳/۹۰	۴/۰۸	۱۰/۶۸	۲۷/۸۱
	آبان	۲۴/۳	۳۹/۱۰	۸۱/۱۰	۳/۰۷	۵/۵۳	۲۰/۶۱
	آذر	۱۶/۰	۳۷/۳۳	۸۶/۰۳	۲/۱۴	۰/۱۳	۱۵/۶۰
	دی	۱۹/۸	۵۳/۴۰	۹۰/۳۳	۲/۹۳	۰/۶۲	۱۱/۸۰
	بهمن	۵۱/۴	۵۳/۸۷	۹۲/۹۰	۳/۶۱	-۰/۴۶	۱۱/۱۱
	اسفند	۷۰/۷	۴۳/۰۰	۸۶/۴۱	۴/۴۵	۰/۹۳	۱۳/۲۷
۱۴۰۳	فروردین	۵۵/۷	۳۴/۹۳	۸۴/۹۳	۳/۸۰	۳/۶	۲۰/۱۵
	اردیبهشت	۹۱/۷	۳۸/۸۳	۸۱/۲۴	۳/۹۷	۸/۶۰	۲۳/۴۴
	خرداد	۴/۶	۱۶/۸۴	۵۳/۷۷	۴/۶۵	۱۳/۱۲	۳۴/۱۲
	تیر	۰/۰	۱۲/۱۶	۳۶/۴۸	۳/۵۸	۱۶/۱۴	۳۸/۴۰
	مرداد	۰/۰	۱۲/۳۲	۳۷/۱۹	۳/۸۳	۱۷/۲۳	۳۹/۵۳
	شهریور	۰/۰	۱۱/۸۴	۴۰/۷۴	۳/۷۵	۱۴/۰۰	۳۶/۲۴

به منظور محاسبه نیاز آبی، از روش تشنگ تبخیر میزان تبخیر داخل گلخانه و مزرعه تحقیقاتی محاسبه شد و با استفاده از ضرایب گیاهی تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه محاسبه گردید. سپس با محاسبه نیاز آبی گیاه، مطابق تیمارهای پژوهش آبیاری انجام شد.

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

(۲)

$$WUE = \frac{Y}{V_w}$$

که در رابطه (۱) داریم:

WUE = کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

Y = عملکرد محصول مورد نظر بر حسب کیلوگرم بر هکتار

V_w = کل حجم آب استفاده شده برای گیاه بر حسب متر مکعب

در شکل ۳ نمایی از این پژوهش و مراحل مختلف رشد گیاه نشان داده شده است.



شکل ۳- اعمال تیمارهای آبیاری با آب شور بر روی مورینگا اولیفرآ در محیط گلخانه

نتایج و بحث

کل آب مورد نیاز در طول دوره رشد مورینگا اولیفرآ در محیط گلخانه برای همه تیمارها در سال اول و دوم کشت به ترتیب شامل ۱۲۵۳/۸ و ۹۸۹/۳ میلی متر بود. نتایج عملکرد برگ و محتوی کلسیم و درصد ازت موجود در عصاره برگ و کارایی مصرف آب (بر اساس عملکرد برگ)، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه های جانبی، وزن خشک برگ و وزن خشک کل برای سطوح مختلف شوری آب آبیاری (۱ (آب منطقه)، ۲، ۴، ۶، ۸، و ۱۰ دسی زیمنس بر متر) و آنالیز آماری بر اساس آزمون دانکن در جدول (۴) آمده است و در جدول شماره ۵ نتایج تجزیه واریانس نشان داده شده است. بطور کلی نتایج جداول مذکور نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار از نظر آماری در سطح یک درصد ($p \leq 0.01$) با استفاده از آزمون دانکن هستند.

عملکرد برگ: همانطور که نتایج جداول ۴ و ۵ نشان می دهند، شوری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد برگ تاثیر داشته و مطابق این جدول بیشترین عملکرد برگ در هر دو سال مربوط به تیمار آبیاری با آب ۱ دسی زیمنس بر متر و کمترین عملکرد برگ مربوط به شوری ۶ دسی زیمنس بر متر بوده است و تولید برگ در شوری ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر عملاً متوقف شده است. نتایج نشان می دهد که افزایش سطح شوری از ۱ دسی زیمنس بر متر به ۲، ۴ و ۶ دسی زیمنس بر متر به ترتیب سبب کاهش عملکرد برگ در سال اول و دوم به ترتیب حدوداً به میزان (۸/۴۷، ۱۹/۷۳، ۶۷/۹۱) و (۳۰/۲۴، ۳۹/۶۸، ۶۲/۹۶) درصد نسبت به تیمار ۱ دسی زیمنس بر متر (تیمار شاهد) شده است. (لازم به ذکر است که با توجه به عدم تولید برگ در شوری های بالاتر از ۶ دسی زیمنس بر متر در آنالیز آماری عملکرد برگ این تیمارها با عملکرد صفر مشارکت داده نشدند) هنگامی که گیاه در معرض شوری قرار می گیرد، بر اثر کاهش پتانسیل اسمزی دچار نوعی خشکی فیزیولوژیک شده و ریشه ها تحت این شرایط مقدار اسید آبسزیک را افزایش داده که این هورمون از طریق جریان ترقق به اندام های هوایی منتقل می شود. این هورمون در اندام های هوایی سبب کاهش هدایت روزنه ها و تبعیت از آن کاهش ترقق می شود (Zlatev & Yordanov, 2004). در نهایت، به دلیل کاهش انتشار CO_2 فتوسنتز، رشد و در نتیجه عملکرد دچار اختلال می شود (Ashraf, 2001).

عملکرد کلسیم: طبق نتایج ارائه شده در جدول ۴، بین تیمارها محتوای کلسیم در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار وجود دارد. نتایج نشان داده است که بیشترین عملکرد برای کلسیم در هر دو سال مربوط به تیمار آبیاری با شوری ۱ دسی زیمنس بر متر است و کمترین عملکرد مربوط به شوری ۶ دسی زیمنس بر متر است. همچنین با افزایش شوری آبیاری در سال اول و دوم به ترتیب باعث کاهش عملکرد کلسیم به میزان (۱۶/۶، ۳۳/۱، ۷۵/۴) و (۱۷/۱، ۳۲/۶، ۷۳/۶) درصد در شوری های ۲، ۴ و ۶ دسی زیمنس بر متر نسبت به ۱ دسی زیمنس بر متر (تیمار شاهد) شده است. در گیاهان با افزایش شوری میزان تجمع عناصر ریز مغذی مانند کلسیم، با افزایش تنش شوری کاهش می یابد (Nadeem et al, 2020). دلیل کاهش جذب عناصر در گیاهان را رقابت سدیم برای جایگزینی با عناصری مانند پتاسیم و کلسیم دانسته اند و همچنین کاهش توانایی ریشه

برای جذب آب موجب کاهش جذب عناصر در گیاه می‌گردد (Sabagh et al, 2021). در این پژوهش افزایش میزان کلسیم با افزایش شوری معنی‌دار بود.

عملکرد ازت: در خصوص نحوه عملکرد محتوای مشاهده می‌شود که با افزایش شوری به ۲، ۴ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر میزان محتوای درصد ازت نسبت به آبیاری با آب با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر (تیمار شاهد) (۲۲/۲۵، ۳۵/۲۸، ۴۸/۶۷) و (۲۸/۱۷، ۳۴/۸۹، ۴۸/۴۱) درصد کاهش داشته است. همچنین نتایج نشان دادند که در بین تیمارهای آزمایش تفاوت معنی‌داری از لحاظ میزان ازت برگ در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. کاهش مقدار ازت در برگ با افزایش شوری در آب آبیاری نتیجه هم‌زمان اختلال در جذب ریشه‌ای، رقابت یونی، مهار آنزیمی، کاهش فوسنتز و تنظیم مجدد متابولیسم ازت در پاسخ به تنش شوری است (Sabagh et al, 2021).

کارایی مصرف آب (بر اساس عملکرد برگ): بر اساس نتایج ارائه شده در جدول شماره ۴، شوری در سطح احتمال یک درصد بر کارایی مصرف آب (بر اساس عملکرد برگ) تاثیر معنی‌داری گذاشته است. بر اساس نتایج بدست آمده در جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین کارایی مصرف آب (بر اساس عملکرد برگ) مربوط به تیمار آبیاری با آب ۱ دسی‌زیمنس بر متر بوده است و کمترین مربوط به شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر است. افزایش سطح شوری از ۱ دسی‌زیمنس بر متر به ۶ دسی‌زیمنس بر متر در سال اول و دوم به ترتیب سبب کاهش کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد برگ به مقدار (۲۸، ۳۶، ۷۱) و (۱۶، ۴۱، ۶۳) درصد شده است.

نتایج این تحقیق برای تاثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری در سطح احتمال (۰/۰۱) $P <$ بر روی خصوصیات مورفولوژیکی گیاه نظیر ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های فرعی وزن خشک برگ و وزن کل زیست‌توده مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول ۴ اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری (۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) روی ارتفاع گیاه در سطح ۰/۱٪ از نظر آماری معنی‌دار است. نتایج دو ساله طرح در جدول ۴ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمارهای شوری ۱ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری می‌باشد که به ترتیب برابر با (۳۰۴/۶۷ و ۹۲/۳۳) سانتی‌متر است. با توجه به جدول (۴) اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری (۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) روی قطر ساقه مورینگا اولیفر در سطح ۰/۱٪ از نظر آماری اثر معنی‌داری داشت. به طور متوسط و در طی دو سال کشت مورینگا اولیفر بیشترین و کمترین قطر گیاه مربوط به تیمار ۱ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر شوری آب آبیاری بود که به ترتیب برابر (۲۹/۱۰ و ۱۵/۰۷) میلی‌متر بود. همچنین جدول (۴) نشان می‌دهد که اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری روی تعداد شاخه‌های فرعی از نظر آماری در سطح ۰/۱٪ معنی‌دار بوده است. با توجه به داده‌های دو ساله بیشترین و کمترین تعداد شاخه‌های فرعی مربوط به تیمارهای ۱ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری می‌باشد که به ترتیب برابر با (۱۵/۰۰ و ۲/۷۴) می‌باشد. لازم به ذکر است تیمارها با شوری ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر تولید برگ متوقف شد.

داده‌های جدول (۴) نشان می‌دهد که اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری (۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) روی وزن خشک برگ از گیاه در سطح ۰/۱٪ معنی‌دار است. اندازه‌گیری‌ها در دو سال کشت نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین وزن برگ خشک مربوط به تیمارهای ۱ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری است که به ترتیب برابر (۱۱۴/۳ و ۳۸/۵) گرم است لازم به ذکر است که در شوری‌های ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر گیاه توانایی تولید برگ را از دست داد و این تیمارها فاقد برگ بودند. در خصوص وزن کل زیست‌توده نیز اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری (۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) در سطح ۰/۱٪ معنی‌دار است. اندازه‌گیری‌ها در دو سال کشت نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین وزن زیست‌توده مربوط به تیمارهای ۱ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری است که به ترتیب برابر (۶۸۰/۵۰ و ۶۶/۶۷) گرم است. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده تا کنون پژوهشی به سبک پژوهش حاضر صورت نپذیرفته است که بتوان نتایج بدست آمده از این قسمت را با آن مقایسه کرد.

جدول شماره ۴- جدول میانگین صفات مطالعه شده مورینگا اولیفرآ در مدت زمان انجام پژوهش و آنالیز آماری صفات (دانکن و $\alpha=0.01$)

سال	شوری آب (dS/m)	عملکرد برگ (Kg/ha)	کل نیاز آبی (mm)	کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد برگ (Kg/ha/mm)	وزن خشک کل زیست توده (g)	وزن خشک برگ (g)	تعداد شاخه های جانبی	قطر ساقه (mm)	ارتفاع گیاه (m)	محتوی ازت (%)	محتوی کلسیم (ppm)
۱۴ ۰۲	۱	۷۵۸/۰ a		۰/۶۰۵ a	*	۹۸/۶a	۱۵/۰۰a	۲۵/۱۹a	۲۰۴/۷ a	۴/۸۲۶ a	۷۶۲۶۸ a
	۲	a		۰/۵۵۳ ab	*	۸۱/۷ab	۱۳/۳۳a	۲۱/۲۵a	ab	۳/۷۵۲ab	۲۲۴۰۶ b
	۴	a	۱۲۵/۸	۰/۴۸۵ b	*	۶۲/۶ab	۹/۰۰b	۲۰/۰۸b	b	۳/۱۲۳ab	b
	۶	b		۰/۱۹۴b	*	۳۲/۴bc	۲/۰۰bc	۱۸/۴۱c	c	۲/۴۷۷b	c
	۸	۰/۰۰		۰/۰۰	*	۰/۰۰cd	۰/۰۰c	۱۶/۷۴c	d	۰/۰۰	۰/۰۰
	۱۰	۰/۰۰		۰/۰۰	*	۰/۰۰d	۰/۰۰c	۱۳/۹۶c	d	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۴ ۰۳	۱	a		۰/۹۵۱ a	۶۸۰/۵۰a	۱۳۰/۰a	۱۵/۰۰a	۳۳/۰۰a	a	۴/۳۹۴ a	a
	۲	a		۰/۶۶۳ ab	۴۷۹/۰۷ab	۱۰۴/۰a	۱۴/۰۲a	۲۰/۱۷b	ab	۳/۱۵۶	b
	۴	a	۹۸۹/۳	۰/۵۷۳ ab	۱۷۲/۰۳ab	۷۴/۳ab	۹/۸۵a	۳۲/۵۰b	bc	۲/۸۶۱	b
	۶	b		۰/۳۵۲ b	۱۰۲/۶۳ bc	۴۴/۷bc	۳/۴۸b	۱۳/۸۳b	cd	۲/۲۶۷ c	c
	۸	۰/۰۰		۰/۰۰	۹۰/۶۷ c	۰/۰۰c	۰/۰۰b	۱۸/۱۷b	d	۰/۰۰	۰/۰۰
	۱۰	۰/۰۰		۰/۰۰	۶۶/۶۷ c	۰/۰۰c	۰/۰۰b	۱۶/۱۷b	d	۰/۰۰	۰/۰۰

حروف مختلف نشان دهنده تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد با استفاده از آزمون دانکن

جدول شماره ۵- جدول تجزیه واریانس صفات مطالعه شده مورینگا اولیفرآ

منابع تغییر	عملکرد برگ (kg/ha)	محتوی کلسیم (ppm/ha)	محتوی ازت (%)	ارتفاع گیاه (m)	قطر ساقه (mm)	تعداد شاخه های جانبی	وزن خشک برگ (g)	کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد برگ (kg/ha/mm)
سال	۱۰۸۵۴/۱۶*	۹۵۸۳/۴۳**	۰/۵۴۲۷ ns	۱۱۷۸۷۷/۷۸**	۷۲/۷۶**	۲۲۰/۰۳**	۱۵۰۸/۰۳*	۰/۰۲۲۵۵**
تکرار	۹۵۸۸/۷۸*	۳۲۳۱/۱۴**	۰/۶۰۷۲ ns	۲۲۳۲/۶۹*	۴۲/۴۰**	۱۸/۱۱ ns	۲۵۰۲/۳۳ ns	۰/۰۰۶۱۷*
شوری (A)	۷۷۲۱۴/۵۲۰**	۱۱۴۸۳۳/۰۱**	۰/۰۶/۶۸ **	۵۱۷۹۱/۱۸**	۹۸۹/۷۰**	۷۳۶/۱۴**	۶۸۴۶۴/۸۷**	۰/۳۸۲۱۱**
سال A×	۱۲۰۵۶/۰۶**	۱۱۳۷/۵۹ ns	۰/۴۲۷۴ ns	۱۲۱۸۸/۱۸**	۳۱۲/۰۴**	۱۱۵/۴۷**	۱۱۴۵/۸۷ ns	۰/۰۱۰۱۵**
خطا	۵۳/۷۷	۲۲/۹۶	۴/۲۴	۲۶/۶۰	۲/۰۷	۳/۸۶	۲۲/۵۰	۰/۰۳۹۲
درصد ضریب تغییرات (CV)	۱۳/۴۰	۱۴/۴۶	۲۰/۵۴	۱۳/۹۷	۹/۹۸	۱۹/۷	۱۲/۹۸	۱۳/۰۲

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

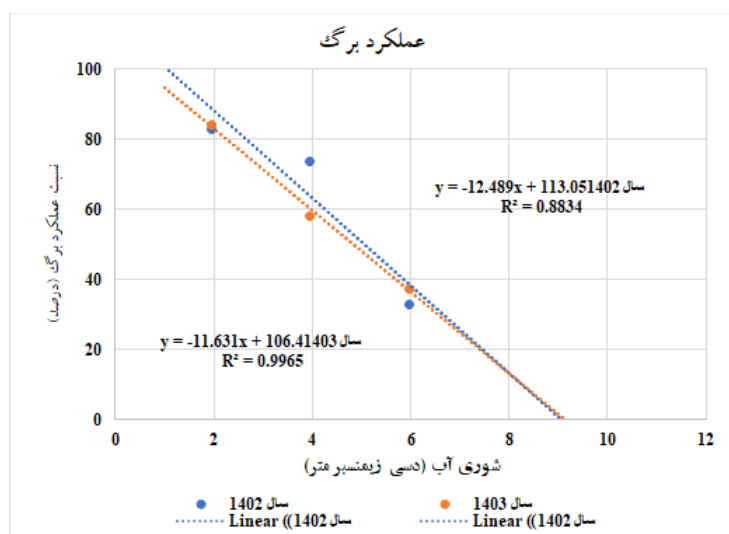
نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی بین عملکرد برگ، محتوی کلسیم، محتوی درصد ازت، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه های جانبی، وزن خشک برگ در عصاره برگ و کارایی مصرف آب براساس عملکرد برگ در جدول (۵) نشان داد، تاثیر شوری در سطح احتمال ۱ درصد بر تمام صفات مذکور معنی دار بود، همچنین نتایج نشان دادند که اثر متقابل شوری و سال در صفات عملکرد برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه های جانبی و کارایی مصرف آب براساس عملکرد برگ در سطح یک درصد معنی دار است. نتایج نشان داد که در مورینگا اولیفرآ با افزایش شوری میزان تجمع عناصر کلسیم و ازت کاهش یافته است. دلیل کاهش جذب عناصر در گیاهان را رقابت سدیم برای جایگزینی با کلسیم دانسته اند و ضمناً کاهش توانایی ریشه برای جذب آب موجب کاهش جذب عناصر می گردد (Sabagh, et Al, 2021)

برای بدست آوردن آستانه تحمل مورینگا اولیفرآ به شوری آب آبیاری (با شوری های ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر) ابتدا عملکرد برگ را در تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش نسبت به تیمار شاهد (تیماری با شوری آب آبیاری ۱ دسی زیمنس بر متر) اندازه گیری و محاسبه نمودیم. نتایج این مقایسات در جدول (۶) ارائه شده است. با توجه به جدول (۶) و

داده‌های حاصل از دو سال تحقیق کمترین و بیشترین درصد کاهش عملکرد برگ نسبت به تیمار شاهد (۸۰/۶۴ و ۳۴/۵۶) می‌باشد که متعلق به تیمارهایی با شوری آب آبیاری ۲ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر است. با توجه به این نتایج، هرچه شوری آب آبیاری افزایش پیدا کند عملکرد برگ نسبت به تیمار شاهد کاهش بیشتری دارد. با توجه به نتایج نمودار شکل (۳) و جدول (۶) می‌توان نتیجه گرفت که حد آستانه تحمل گیاه مورینگا اولیفرا ۴ دسی‌زیمنس بر متر است.

جدول ۶- درصد عملکرد برگ نسبت به تیمار شاهد (شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر)

سال	شوری آب آبیاری (dS/m)	عملکرد برگ (Kg/ha)	درصد عملکرد برگ نسبت به تیمار شاهد (%)
۱۴۰۲	۱	۷۵۸/۰	۱۰۰/۰۰
	۲	۶۹۳/۸۰	۹۱/۵۳
	۴	۶۰۸/۴۸	۸۰/۲۷
	۶	۲۴۳/۲۲	۳۲/۰۹
	۸	۰/۰۰	۰۰/۰۰
	۱۰	۰/۰۰	۰۰/۰۰
۱۴۰۳	۱	۹۴۰/۳۳	۱۰۰/۰۰
	۲	۶۵۵/۹۷	۶۹/۷۶
	۴	۵۶۷/۲۰	۶۰/۳۲
	۶	۳۴۸/۳۳	۳۷/۰۴
	۸	۰/۰۰	۰۰/۰۰
	۱۰	۰/۰۰	۰۰/۰۰



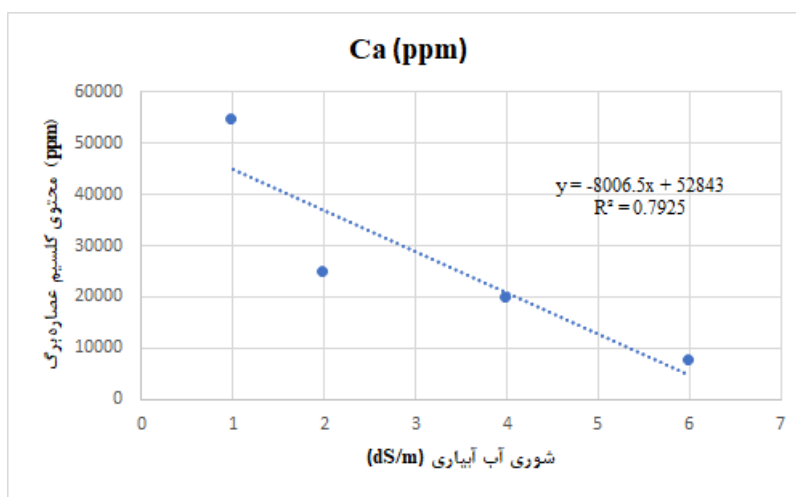
شکل ۳- بررسی کاهش عملکرد برگ مورینگا اولیفرا تحت رژیم‌های مختلف شوری آب در شرایط گلخانه

شکل ۳ تغییرات عملکرد برگ مورینگا اولیفرا را تحت سطوح مختلف شوری آب آبیاری در شرایط گلخانه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش شوری آب آبیاری از ۱ به ۲، ۴ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد برگ روند کاهشی مشخصی را در هر دو سال آزمایش نشان داده است. بیشترین عملکرد برگ مربوط به تیمار شاهد (1 dS/m) بوده و با افزایش شوری، کاهش عملکرد به‌صورت تدریجی اما معنی‌دار تشدید شده است. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش عملکرد نسبت به شاهد محدود بوده، اما در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر افت عملکرد شدید مشاهده می‌شود. همچنین در سطوح شوری ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، تولید برگ عملاً متوقف شده است. این الگوی کاهشی بیانگر حساسیت عملکرد برگ مورینگا اولیفرا به افزایش شوری آب آبیاری و وجود آستانه تحمل حدود ۴ دسی‌زیمنس بر متر برای این گیاه است.

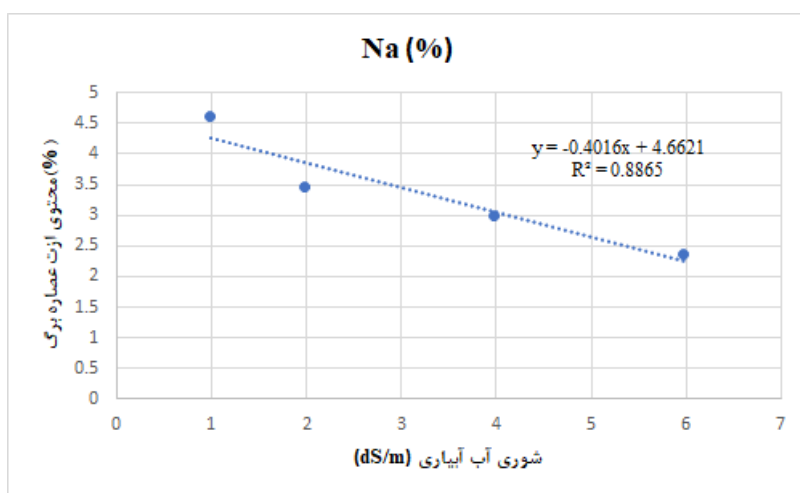
جدول ۷- بررسی همبستگی بین صفات عملکرد برگ، کلسیم و ازت

Variables	Y (kg)	Ca (ppm)	N (%)
Y (kg)	-		
Ca (ppm)	0.919	-	
N (%)	0.951	0.991	-
<i>Values in bold are different from 0 with a significance level alpha=0.05</i>			
p-values (Pearson):			
Variables	Y (kg)	Ca (ppm)	N (%)
Y (kg)	-		
Ca (ppm)	0.081	-	
N (%)	0.049	0.009	-
Coefficients of determination (Pearson):			
Variables	Y (kg)	Ca (ppm)	N (%)
Y (kg)	-		
Ca (ppm)	0.844	-	
N (%)	0.904	0.982	-

شکل ۴ نتایج ماتریس همبستگی پیرسون را نشان می‌دهد، نتایج نشان داد که بین عملکرد (Y) و غلظت کلسیم (Ca) همبستگی مثبت و بسیار قوی وجود دارد ($r = 0.919$)، با این حال این رابطه از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نبود ($p=0.081$). در مقابل، همبستگی بین عملکرد (Y) و درصد نیتروژن (N) بسیار قوی و از نظر آماری معنی‌دار بود ($r = 0.951$ ، $p=0.049$)، که بیانگر نقش مؤثر نیتروژن در تغییرات عملکرد می‌باشد. همچنین، رابطه بین کلسیم و نیتروژن بسیار قوی و معنی‌دار گزارش شد ($r = 0.991$ ، $p=0.009$)، که نشان‌دهنده هم‌وابستگی بالای این دو متغیر است. ضرایب تعیین (R^2) نشان دادند که حدود ۹۰/۴٪ از تغییرات عملکرد توسط نیتروژن و ۸۴/۴٪ توسط کلسیم تبیین می‌شود، در حالی که ۹۸/۲٪ از تغییرات کلسیم توسط نیتروژن قابل توضیح است. این نتایج بیانگر سهم بالای نیتروژن و کلسیم در تبیین تغییرات عملکرد و ارتباط ساختاری قوی بین عناصر غذایی مورد بررسی است.



شکل ۴- بررسی رابطه بین شوری آب آبیاری و محتوی کلسیم عصاره برگ



شکل ۵- بررسی رابطه بین شوری آب آبیاری و محتوای درصد ازت عصاره برگ

نتیجه گیری

همچنین نتایج نشان دادند که افزایش شوری در نتایج این پژوهش نشان داد که شوری آب آبیاری اثر معنی داری ($p \leq 0.01$) بر عملکرد برگ، کارایی مصرف آب، محتوای کلسیم و ازت برگ و صفات مورفولوژیکی مورینگا اولیفرا دارد. با افزایش شوری، عملکرد برگ و کارایی مصرف آب به طور محسوسی کاهش یافت و در شوری های ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر تولید برگ عملاً متوقف شد. همچنین محتوای کلسیم و ازت برگ با افزایش شوری کاهش معنی دار نشان داد که بیانگر اختلال در جذب عناصر غذایی تحت تنش شوری است. صفات رشدی شامل ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه های جانبی، وزن خشک برگ و وزن خشک کل زیست توده نیز به طور پیوسته با افزایش شوری کاهش یافتند. نتایج همبستگی نشان داد بین عملکرد برگ و محتوای ازت و کلسیم رابطه مثبت و معنی داری وجود دارد. بر اساس تحلیل آستانه تحمل، مورینگا اولیفرا قادر است شوری آب آبیاری تا ۴ دسی زیمنس بر متر را بدون کاهش معنی دار در عملکرد برگ تحمل کند. بنابراین این گیاه می تواند به عنوان گزینه ای مناسب برای کشت در مناطق دارای منابع آب شور و نیمه شور مورد استفاده قرار گیرد. آب آبیاری باعث کاهش ارتفاع، قطر، شاخه های جانبی، وزن خشک برگ و همچنین وزن خشک کل زیست توده می شود. لازم به یادآوری می باشد که در استفاده از آب شور به عنوان منبع آبیاری نیاز است تمهیدات لازم (مانند آبیاری ثقلی سنگین با آب غیرشور چند نوبت در سال) جهت جلوگیری از افزایش شوری خاک و به هم خوردن خصوصیات فیزیک خاک مانند نفوذپذیری به عمل آید زیرا آبیاری با آب شور باعث کاهش شدید در نفوذپذیری می شود.

منابع

- رحیمیان، م.، غلامی، ح. (۱۴۰۲). تحلیلی بر وضعیت شوری منابع آب در حال استفاده بخش کشاورزی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۹(۳)، ۱۱۶-۱۰۷.
- سعدی، ح.، توکلی، ف. (۱۴۰۴). راهبردها و سناریوهای کاربردی مشارکت بهره برداران در مدیریت پایدار منابع آب با تأکید بر روش های ترویجی در حوضه آبخیز جیرفت. رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست، 4(1), 106-128. doi: 10.22034/nawee.2025.490288.1119
- علیرضا، ف.، فرخ، ه.، آقازادگان، پ.، میرمعزی، س. م.، آقازادگان، ح.، آیشن، ... و فرخ، م. ر. (۱۴۰۲). گیاه دارویی مورینگا (گز روغنی). بزرگر، ۴۴(1188)، ۴۴-۴۷.
- ذاکری نیا، م.، باقری، ک. (۱۴۰۵). امکان سنجی تاثیر کودآبیاری قطره ای سطحی و زیر سطحی با پساب بر عملکرد کلزا. رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست، 5(1), 128-141. doi: 10.22034/nawee.2025.495667.1125

- Akinyemi, T., Sakpere, A., 2015. Effect of light regime and water stress on germination and seedling growth of *Moringa oleifera* Lam. *FUTA Journal of Research in Sciences*, 2, pp.369–377.
- Alireza, F., Farrokh, H., Aghazadegan, P., Mirmoezi, M.V., Aghazadegan, H., Aghazadegan, A. Farrokh, M.R., 2023. Moringa (oil tree) medicinal plant. *Barzegar*, 44(1188), pp.44–47. (in Persian)
- Ashraf, M., 2001. Relationships between growth and gas exchange characteristics in some salt tolerant amphidiploids Brassica species in relation to their diploidparents. *Environmental and Experimental Botany*, 45, pp.155-163.
- Azeem, M., Pirjan, K., Qasim, M., Mahmood, A., Javed, T., Muhammad, H., Rahimi, M., 2023. Salinity stress improves antioxidant potential by modulating physio-biochemical responses in *Moringa oleifera* Lam. *Scientific Reports*, 13(1), pp. 28-95.
- 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
- Ghassemi, F., Jakeman, A.J., Nix, H.A., 1995. *Salinisation of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies*.
- Hillel, D., 2000. *Salinity management for sustainable irrigation*. The World Bank.
- Jones, J. B., 2001. *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. CRC press.
- Katerji, N., Van Hoorn, J., Hamdy, A., Mastroianni, M., 2003. Salinity effect on crop development and yield: Analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural Water Management*, 62(1), pp.37–66.
- Maas, E.V., Hoffman, G.J., 1977. Crop salt tolerance—current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 103(2), pp.115–134.
- Nadeem, M., Tariq, M.N., Amjad, M., Sajjad, M., Akram, M., Imran, M., Shariati, M.A., Gondal, T.A., Kenijz, N., Kulikov, D., 2020. Salinity-induced changes in the nutritional quality of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *AGRIVITA, Journal of Agriculture Science*. (42), 1-12.
- Nouman, W., M.T., Siddiqui, S.M.A., Basra, R.A., Khan, T., Gull, M.E., Olson H, Munir., 2012. Response of *Moringa oleifera* to saline conditions. *Int. J. Agric. Biol.*, 14, 757–762
- Rahimian, M., Gholami, H., 2023. An analysis of the salinity status of water resources used in the agricultural sector. *Water and Sustainable Development Journal*, 9(3), pp.107–116. (In Persian)
- Sabagh, A.E., Islam, M.S., Skalicky, M., Raza, M.A., Singh, K., Hossain, M.A., Hossain, A., Mahboob, W., Iqbal, M., Ratnasekera, D., 2021. Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: adaptation and management strategies. *Frontier of Agronomy*. (3), 661932.
- Saadi, H., & Ali-Tavakkoli, F., 2025. Practical strategies and scenarios for stakeholder participation in sustainable water resources management with an emphasis on extension approaches in the Jiroft watershed. *Novel Approaches in Water Engineering and Environment*, 4(1), pp. 106–128. <https://doi.org/10.22034/nawee.2025.490288.1119>. (in Persian)
- Shannon, M., Grieve, C., 1998. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78(1–4), pp.5–38.
- Weimberg, R., 1987. Solute adjustments in leaves of two species of wheat at two different stages of growth in response to salinity. *Physiologia Plantarum*, 70(3), pp.381–388.
- Zakari-Nia, M., & Abdollahi, S., 2023. Simulation of the effect of irrigation with saline–sodic water on soil permeability changes using the Philip and Kostakov infiltration models. *Novel Approaches in Water Engineering and Environment*, 2(1), pp. 1–10. <https://doi.org/10.22034/nawee.2023.346062.1003>. (in Persian)
- Zakari-Nia, M., Bagheri, K., 2025. The effect of surface and subsurface drip fertigation with wastewater on canola yield. *Novel Approaches in Water Engineering and Environment*, 5(1), pp. 128–141. <https://doi.org/10.22034/nawee.2025.495667.1125>. (in Persian)

Zlatev, Z.S., Yordanov, I.T., 2004. Effect of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Plant physiology*, 30 (3-4), pp.3-18.