19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

اثر محرکهای رشد بر غلظت عناصر کم مصرف وتیور تحت تنش شوری

نگار مصلی نژاد[۱]، مهدی زارعی*[۲]، رضا قاسمی فسایی[۲]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت حاصلخیزی و زیست فناوری خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله negarmosallanejad93@gmail.com

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی اثر شوری خاک و تیمارهای اصلاح‌کننده شامل ایندول-۳-استیک اسید و باکتری *میکروکوکوس یونانسیس* بر غلظت عناصر کم‌مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) در اندام هوایی علف وتیور بود. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد که شوری خاک اثر منفی معنی‌داری بر غلظت عناصر کم‌مصرف داشت و با افزایش شوری، غلظت این عناصر کاهش یافت. تیمارهای اصلاح‌کننده به ویژه ترکیب ایندول-۳-استیک اسید و باکتری، اثرات منفی شوری را کاهش داد و بیشترین میزان غلظت عناصر کم‌مصرف در این تیمار مشاهده شد. این مطالعه نشان می‌دهد که کاربرد تنظیم‌کننده رشد و باکتری محرک رشد می‌تواند به عنوان راهکاری مؤثر و پایدار برای افزایش دسترسی عناصر غذایی در گیاهان تحت استرس شوری مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی :شوری، ایندول-۳-استیک اسید، باکتری محرک رشد، عناصر کم‌مصرف، علف وتیور

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و بهره‌وری گیاهان در بسیاری از مناطق جهان به شمار می‌رود. غلظت بالای نمک با ایجاد عدم تعادل یونی و تنش اسمزی، منجر به بروز آسیب‌هایی از جمله اختلال در فتوسنتز، کاهش رشد، و ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شود (Islam et al., 2024).در ایران نیز به دلیل شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، شوری خاک یکی از چالش‌های اساسی در پایداری تولید کشاورزی محسوب می‌گردد و بخش وسیعی از اراضی زراعی کشور به درجات مختلفی از این پدیده دچار هستند. این شرایط ضرورت بهره‌گیری از گیاهان مقاوم به شوری و روش‌های نوین مدیریت منابع را دوچندان می‌سازد(Moameni, 2011).

علف وتیور (*Vetiveria zizanioides*) گیاهی چندساله و متعلق به خانواده پواسه است که به دلیل سیستم ریشه‌ای عمیق و متراکم، توانایی بالایی در تحمل شرایط نامساعد محیطی از جمله شوری، خشکی و حتی آلودگی به فلزات سنگین دارد(Huang et al., 2004) .مطالعات مختلف نشان داده‌اند که این گیاه می‌تواند علاوه بر تثبیت خاک و کاهش فرسایش، در اصلاح و احیای اراضی تخریب‌شده و تصفیه پساب‌های صنعتی و کشاورزی نقش مؤثری ایفا نماید .(Dorafshan et al., 2023). همچنین مقاومت بالای این گیاه به شوری در مقایسه با بسیاری از گونه‌های زراعی نظیر جو و برموداگراس گزارش شده است کاربردهای متنوع وتیور در بخش کشاورزی و صنعتی، از جمله استفاده از اسانس ریشه در صنایع عطرسازی، اهمیت آن را دوچندان کرده است(Del Giudice et al., 2008).

در کنار استفاده از گیاهان مقاوم، بهره‌گیری از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نیز به‌عنوان ابزاری کارآمد برای بهبود سازگاری گیاهان در شرایط تنش مطرح شده است. اکسین‌ها به‌ویژه ایندول-۳-استیک اسید (IAA) با اثرگذاری بر توسعه ریشه، انبساط سلولی و افزایش زیست‌توده گیاهی، نقش کلیدی در پاسخ به تنش‌های محیطی ایفا می‌کنند (Simon & Petrášek, 2011).

علاوه بر این، میکروارگانیسم‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR) از طریق تولید هورمون‌های گیاهی، تثبیت نیتروژن، افزایش حلالیت عناصر غذایی و کاهش اثر تنش‌ها، می‌توانند هم‌افزایی مؤثری با گیاهان مقاوم ایجاد نمایند(Al-Turki et al., 2023).

با توجه به اهمیت مدیریت شوری خاک در کشاورزی ایران، استفاده همزمان از گیاهان مقاوم نظیر وتیور و فناوری‌های زیستی مانند تنظیم‌کننده‌های رشد و میکروارگانیسم‌های محرک رشد، رویکردی نوین و پایدار برای افزایش بهره‌وری و بهبود کیفیت اراضی شور به شمار می‌رود. هدف پژوهش حاضر بررسی نقش وتیور و عوامل زیستی در بهبود رشد گیاه تحت شرایط شوری و ارزیابی کارایی این راهبردها در کاهش اثرات منفی تنش شوری است.

مواد و روش‌ها

خاک مورد نیاز پژوهش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر خاک آهکی سری دانشکده کشاورزی شیراز (Fine, mixed, mesic, Typic Calcixerepts)در منطقه باجگاه فارس جمع‌آوری شد. نمونه‌ها پس از هواخشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری، با ماسه بادی به نسبت ۲:۱ مخلوط گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل pH ، هدایت الکتریکی(ECe) ، بافت، ماده آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم تبادلی و عناصر ریزمغذی (Fe, Mn, Cu, Zn) بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد

برای تهیه زادمایه باکتریایی، سویه محرک رشد *میکروکوکوس یونانسیس* (*Micrococcus yunnanensis*) از آزمایشگاه علوم خاک تهیه و در محیط نوترینت براث (NB) استریل‌شده کشت گردید. سوسپانسیون باکتری پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون در ۲۸ درجه سلسیوس و ۱۲۰ دور در دقیقه، با جمعیت تقریبی 10^7 CFU/ml آماده مصرف شد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل ۴×۴×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه انجام گرفت. تیمارها شامل چهار سطح شوری(۰، ۸، ۱۶ و ۲۴ دسی‌زیمنس بر متر از منبع NaCl) و چهار سطح اصلاح‌کننده (شاهد، ایندول-۳-استیک اسید، میکروکوکوس یونانسیس و ترکیب ایندول-۳-استیک اسید با میکروارگانیسم‌ها) بودند. در هر گلدان پلاستیکی حاوی ۴

کیلوگرم خاک، چهار بوته وتیور (Vetiveria zizanioides) کاشته شد. عناصر غذایی بر اساس نتایج آزمون خاک به میزان کافی به‌صورت محلول افزوده گردید. شوری طی چهار مرحله متوالی و محلول‌پاشی IAA دو بار با فاصله یک ماه اعمال شد.

پس از ۲۵ هفته، گیاهان برداشت و اندام هوایی شستشو، توزین و در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک شدند. نمونه‌ها پس از آسیاب برای آنالیز آماده شدند. غلظت عناصر کم مصرف با دستگاه اتمیک ابزوربشن تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS v.26 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ و صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد (جدول ۱) که افزایش شوری باعث کاهش معنی‌دار غلظت آهن در اندام هوایی وتیور شد. کاهش غلظت در سطوح شوری ۸، ۱۶ و ۲۴ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۱۸,۳۱٪، ۲۹,۷۱٪ و ۴۶,۵۰٪ نسبت به شاهد بود. کاربرد تیمارهای اصلاح‌کننده این روند کاهشی را تعدیل کرد، به‌طوری که در تیمار ایندول-۳-استیک اسید (IAA) غلظت آهن ۷,۵۷٪ و در تیمار توأم IAA و میکروکوکوس یونانسیس ۹,۱۳٪ نسبت به شاهد افزایش یافت. کاهش غلظت آهن تحت تنش شوری به‌ویژه به دلیل کاهش تحرک آهن در ریزوسفر و رقابت با سدیم پیش‌تر نیز گزارش شده است(Sackey et al., 2025).

غلظت روی نیز به‌شدت تحت تأثیر شوری قرار گرفت و در سطوح ۸، ۱۶ و ۲۴ دسی‌زیمنس به‌ترتیب ۲۸,۵۴٪، ۳۸,۶۴٪ و ۳۶,۹۸٪ نسبت به شاهد کاهش یافت. استفاده از IAA به میزان ۵,۰۴٪ و کاربرد توأم IAA و باکتری ۷,۰۴٪ افزایش غلظت روی را نسبت به شاهد موجب شد. گزارش‌ها نشان می‌دهد که شوری با تغییر pH و افزایش رسوب کربنات‌ها تحرک روی را کاهش می‌دهد .با این حال، حضور PGPR می‌تواند از طریق سنتز سیدروفورها و افزایش سطح تماس ریشه، جذب روی را بهبود بخشد(Zaib et al., 2023).

مس نیز تحت شرایط شوری کاهش معنی‌داری نشان داد، به‌گونه‌ای که در تیمارهای شوری ۸، ۱۶ و ۲۴ دسی‌زیمنس به ترتیب ۲۸,۶۳٪، ۲۹,۷۶٪ و ۴۸,۵۴٪ نسبت به شاهد کمتر شد. استفاده از اصلاح‌کننده‌ها سبب افزایش غلظت مس گردید، به‌ویژه در تیمار توأم (۱۰,۲۷٪). کاهش غلظت مس در شوری بالا می‌تواند ناشی از محدودیت دسترسی و کاهش فعالیت آنزیم‌های انتقال‌دهنده باشد. همچنین، باکتری PGPR از طریق تولید ترکیبات کلات‌کننده و تحریک رشد ریشه، دسترسی به مس را افزایش می‌دهند(Borah et al., 2023).

غلظت منگنز در اندام هوایی نیز به ترتیب ۳,۹۴٪، ۲۶,۱۴٪ و ۴۴,۴۱٪ در سطوح شوری ۸، ۱۶ و ۲۴ دسی‌زیمنس کاهش یافت. تیمارهای اصلاح‌کننده این کاهش را تعدیل کردند و بیشترین افزایش (۷,۳۹٪) در تیمار توأم مشاهده شد. کاهش غلظت منگنز در شوری بالا در سایر گیاهان نیز گزارش شده است .نقش میکروارگانیسم‌ها در افزایش منگنز گیاه به تولید اسیدهای آلی و کلات‌کننده مرتبط دانسته شده است(Ijaz et al., 2021).

نتایج نشان داد که اثر منفی شوری بر عناصر مختلف متفاوت است؛ بیشترین کاهش مربوط به آهن و مس در شوری بالا بود، در حالی‌که کاهش روی و منگنز در شدت‌های پایین‌تر نیز آشکار شد. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در نیاز تغذیه‌ای گیاه، تحرک عناصر در خاک و مسیرهای انتقال آنها در گیاه باشد.

از سوی دیگر، استفاده از تیمارهای اصلاح‌کننده IAA و میکروکوکوس یونانسیس به‌طور مداوم سبب افزایش غلظت همه عناصر شد. بیشترین تأثیر معمولاً در تیمار ترکیبی مشاهده گردید که نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی هورمون و باکتری است. این یافته‌ها همسو با گزارش‌های اخیر مبنی بر توانایی PGPR در بهبود جذب عناصر کم‌مصرف و افزایش کارایی تغذیه‌ای گیاهان تحت شوری است(Lata & Gond, 2019).

جدول ۱: اثر سطوح کلرید سدیم و تیمارهای تنظیم کننده رشد و باکتری بر غلظت آهن، روی، مس و منگنز اندام هوایی (میکروگرم در گرم)

نوع عنصر	سطوح کلرید سدیم (دسی‌زیمنس بر متر)	شاهد (بدون اصلاح کننده)	تنظیم کننده رشد (ایندول-۳- استیک اسید)	باکتری (*میکروکوکوس یونانسیس*)	تنظیم کننده رشد+ باکتری
آهن	۰	۹۸۹d*	۱۰۷۳c	۱۱۵۴b	۱۲۷۹a
	۸	۸۰۵f	۸۹۱e	۹۶۴d	۱۰۸۷c
	۱۶	۴۴۶i	۵۴۵h	۵۳۷h	۶۵۱g
	۲۴	۲۰۷k	۲۴۴k	۳۰۶j	۴۷۷i
روی	۰	۵۲۴gh	۵۸۲fg	۶۱۲ef	۶۹۰cd
	۸	۶۸۳d	۷۴۹c	۸۱۱b	۹۱۵a
	۱۶	۵۷۱fg	۶۴۶de	۶۹۱cd	۸۲۶b
	۲۴	۴۲۹i	۴۸۴hi	۶۱۹ef	۹۰۶a
مس	۰	۳۵/۴۶a	۳۶/۱۸a	۳۵/۸۳a	۳۶/۵۶a
	۸	۳۰/۱۱c	۳۰/۸۲c	۳۲/۲۰b	۳۶/۷۰a
	۱۶	۲۴/۸۳d	۲۵/۳۲d	۲۴/۹۱d	۲۶/۰۹d
	۲۴	۱۷/۴۵f	۱۸/۶۲f	۱۸/۴۹f	۱۹/۵۸e
منگنز	۰	۵۴/۰۶de	۵۶/۱۰c	۵۷/۴۰b	۵۸/۵۶a
	۸	۵۳/۵۳e	۵۳/۹۳e	۵۴/۶۰de	۵۵/۱۶cd
	۱۶	۳۹/۶۳i	۴۱/۰۶h	۴۲/۶۰g	۴۳/۷۳f
	۲۴	۳۰/۱۸l	۳۰/۶۸kl	۳۱/۷۶k	۳۳/۰۶j

* اعدادی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که شوری خاک ناشی از کلرید سدیم تأثیر منفی و معنی‌داری بر غلظت و جذب عناصر کم‌مصرف شامل آهن ، روی ، مس و منگنز در اندام هوایی گیاه وتیور دارد. افزایش شوری باعث کاهش قابل توجه این عناصر شد که می‌تواند ناشی از محدود شدن دسترسی گیاه به عناصر، رقابت یونی و اختلال در تعادل یونی ریزوسفر باشد. کاهش غلظت و جذب عناصر کم‌مصرف تحت تنش شوری می‌تواند رشد، عملکرد فتوسنتزی و به تبع آن عملکرد کلی گیاه را محدود کند

استفاده از تیمارهای اصلاح‌کننده شامل ایندول-۳-استیک اسید و باکتری *Micrococcus yunnanensis* توانست اثرات منفی شوری را کاهش داده و غلظت و جذب عناصر کم‌مصرف را به طور معنی‌داری افزایش دهد. تیمارهای توام(IAA + باکتری) بیشترین اثر هم‌افزا را ایجاد کردند که احتمالاً ناشی از تحریک رشد سیستم ریشه‌ای، افزایش فعالیت میکروبی ریزوسفر و بهبود تحرک عناصر معدنی در خاک است.

علاوه بر این، استفاده از ایندول-۳-استیک اسید منجر به افزایش انبساط سلولی و رشد ریشه شد و توانایی گیاه در جذب عناصر کم‌مصرف را بهبود بخشید .کاربرد باکتری‌های محرک رشد نیز باعث افزایش تولید اسیدهای آلی، فرآیندهای کلات‌سازی و تثبیت نیتروژن گردید که نقش مهمی در افزایش دسترسی عناصر کم‌مصرف ایفا می‌کند

بررسی مقایسه‌ای بین عناصر نشان داد که بیشترین غلظت و جذب عناصر کم‌مصرف در شرایط بدون تنش شوری و تیمار توأم IAAو باکتری مشاهده شد، که نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی بین تنظیم‌کننده رشد و میکروارگانیسم‌های محرک رشد است. این یافته‌ها با مطالعات پیشین بر روی گیاهان مقاوم به شوری مانند کلزا، فلفل و برنج همخوانی دارد و نشان می‌دهد که استفاده هم‌زمان از تنظیم‌کننده‌های رشد و باکتری‌های محرک رشد می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر و پایدار برای بهبود تغذیه عناصر کم‌مصرف و افزایش تحمل گیاه در شرایط استرس شوری مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع

Al-Turki, A., Murali, M., Omar, A. F., Rehan, M., & Sayyed, R. (2023). Recent advances in PGPR-mediated resilience toward interactive effects of drought and salt stress in plants. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1214845 .

Borah, P., Gogoi, N., Asad, S. A ,.Rabha, A. J., & Farooq, M. (2023). An insight into plant growth-promoting rhizobacteria-mediated mitigation of stresses in plant. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*(5), 3229-3256 .

Del Giudice, L., Massardo, D. R., Pontieri, P., Bertea, C. M., Mombello, D., Carata, E., Tredici, S. M., Talà, A., Mucciarelli, M., & Groudeva, V. I. (2008). The microbial community of Vetiver root and its involvement into essential oil biogenesis. *Environmental Microbiology*, *10*(10), 2824-2841 .

Dorafshan, M. M., Abedi-Koupai, J., Eslamian, S., & Amiri, M. J. (2023). Vetiver grass (Chrysopogon zizanoides L.): A hyper-accumulator crop for bioremediation of unconventional water. *Sustainability*, *15*(4), 3529 .

Huang, X.-D., El-Alawi, Y., Penrose, D. M., Glick, B. R., & Greenberg, B. M. (2004). Responses of three grass species to creosote during phytoremediation. *Environmental Pollution*, *130*(3), 453-463 .

Ijaz, A., Mumtaz, M. Z., Wang, X., Ahmad, M., Saqib, M., Maqbool, H., Zaheer, A., Wang, W., & Mustafa, A. (2021). Insights into manganese solubilizing Bacillus spp. for improving plant growth and manganese uptake in maize. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 719504 .

Islam, M., Islam, M., Hasan, M., Hafeez, A., Chowdhury, M., Pramanik, M., Iqbal, M., Erman, M., Barutcular, C., & Konuşkan, Ö. (2024). Salinity stress in maize: consequences, tolerance mechanisms, and management strategies. *OBM Genetics*, *8* .(۲)

Lata, R., & Gond, S. K. (2019). Plant growth-promoting microbes for abiotic stress tolerance in plants. In *Role of plant growth promoting microorganisms in sustainable agriculture and nanotechnology* (pp. 89-105). Elsevier .

Moameni, A. (2011). Geographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran. *Iranian Journal of Soil Research*, *24*(3), 203-215 .

Sackey, O. K ,.Feng, N., Mohammed, Y. Z., Dzou, C. F., Zheng, D., Zhao, L., & Shen, X. (2025). A comprehensive review on rice responses and tolerance to salt stress. *Frontiers in Plant Science*, *16*, 1561280 .

Simon, S., & Petrášek,J(2011) Why plants need more than one type of auxin. *Plant Science*, *180*(3), 454-460)

Zaib, S., Zubair, A., Abbas, S., Hussain, J., Ahmad, I., & Shakeel, S. N. (2023). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Reduce Adverse Effects of Salinity and Drought Stresses by Regulating Nutritional Profile of Barley. *Applied and Environmental Soil Science*, *2023*(1), 7261784 .

The Impact of Growth Simulants on Micronutrient Concentration in Vetiver under Salt Stress

Negar Mosallanejad[1], Mehdi Zarei*[2], Reza Ghasemi-Fasaei[2]

1- Ph.D. Student, Department of Soil Science, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz
2- Professor, Department of Soil Science, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz
Corresponding Author Email: negarmosallanejad93@gmail.com

Abstract

The present study aimed to investigate the effects of soil salinity and growth-promoting treatments, including indole-3-acetic acid (IAA) and *Micrococcus yunnanensis* bacteria, on the concentration of micronutrients (iron, zinc, copper, and manganese) in the aerial parts of Vetiver grass. The experiments were conducted in a factorial arrangement based on a completely randomized design with three replications under greenhouse conditions. The results indicated that soil salinity significantly decreased the concentration of micronutrients, with higher salinity levels leading to greater reductions. Growth-promoting treatments, especially the combination of IAA and bacterial inoculation, mitigated the negative effects of salinity and resulted in the highest micronutrient concentration and uptake. This study suggests that the application of growth regulators and plant growth-promoting bacteria can serve as an effective and sustainable strategy to enhance nutrient availability in plants exposed to salinity stress.

Keywords: Salinity, Indole-3-acetic acid, Plant growth-promoting bacteria, Micronutrients, Vetiver grass