مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان

دورهٔ ۱۴، شمارهٔ ۲ (پیاپی ۴۷)، تابستان ۱۴۰۴، صفحه ۴۵ـ۵۶

مقاله پژوهشی

نقش اکولوژیکی شورگز در پویایی ویژگی‌های خاک مناطق فراخشک خوزستان

بنفشه یثربی،[۱*] ابوالفضل آزادی،[۲] محمد متینی‌زاده،[۳] سید موسی صادقی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷**

چکیده

حضور گونه‌های درختچه‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند نقش مهمی در بهبود کیفیت خاک و پایداری بوم‌سازگان ایفا نماید. در این پژوهش، به‌منظور بررسی اثر درختچه شورگز (*Tamarix sp.*) بر ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیک خاک، نمونه‌برداری از دو تیمار پای تاج شورگز و شاهد در منطقهٔ شادگان استان خوزستان انجام شد (هر تیمار با ۵ تکرار). برخی ویژگی‌های شیمیایی (شوری، سدیم، پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و کربن آلی) و شاخص‌های بیولوژیک (تنفس پایه، تنفس برانگیخته، بایومس میکروبی کربن و پتانسیل نیتریفیکاسیون) اندازه‌گیری و داده‌ها با آزمون‌های آماری دونمونه‌ای تحلیل شدند. نتایج نشان داد که کربن آلی در خاک پای شورگز به‌طور معناداری بیشتر از شاهد بود (۰/۴۵٪ در برابر ۰/۲۸٪؛ $\Delta=0.17$؛ 95% CI: 0.02–0.32؛ $p<0.05$) و این اختلاف پس از تصحیح معناداری به روش‌های بونفرونی و FDR نیز پایدار ماند. همچنین بایومس میکروبی کربن و پتانسیل نیتریفیکاسیون در پای شورگز به‌ترتیب حدود ۲۵٪ و ۳۰٪ بیشتر از شاهد برآورد شدند ($p<0.05$) و این نتایج نیز بعد از تصحیح چندگانه، معنادار باقی ماندند. درمقابل، برای شاخص تنفس برانگیخته و غلظت عناصر سدیم و کلر، اگرچه اندازهٔ اثر، متوسط تا بزرگ بود، اختلاف‌ها پس از اعمال تصحیح چندگانه، معنادار نشدند. به‌طور کلی، این نتایج نشان داد که تاج‌پوشش شورگز ازطریق افزایش مادهٔ آلی و ارتقای فعالیت‌های میکروبی، کیفیت زیستی خاک را بهبود می‌دهد. پایایی معناداری برخی شاخص‌ها حتی پس از تصحیح چندگانه، اهمیت بوم‌شناختی شورگز را به‌عنوان گونه‌ای بومی و سازگار در مدیریت سرزمین‌های شور و خشک خوزستان تأیید می‌کند؛ هرچند برای شاخص‌های غیرمعنادار نیاز به تحقیقات تکمیلی وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: شورگز، خاک‌های شور، اکوسیستم فراخشک، ویژگی‌های شیمیایی خاک، بیومس میکروبی، نیتریفیکاسیون، خوزستان.

---

۱. استادیار بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، ایران. b.yasrebi@areeo.ac.ir

۲. استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، ایران.

۳. دانشیار بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، ایران.

۴. استادیار بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، ایران.

DOI: 10.22052/deej.2025.257289.1115

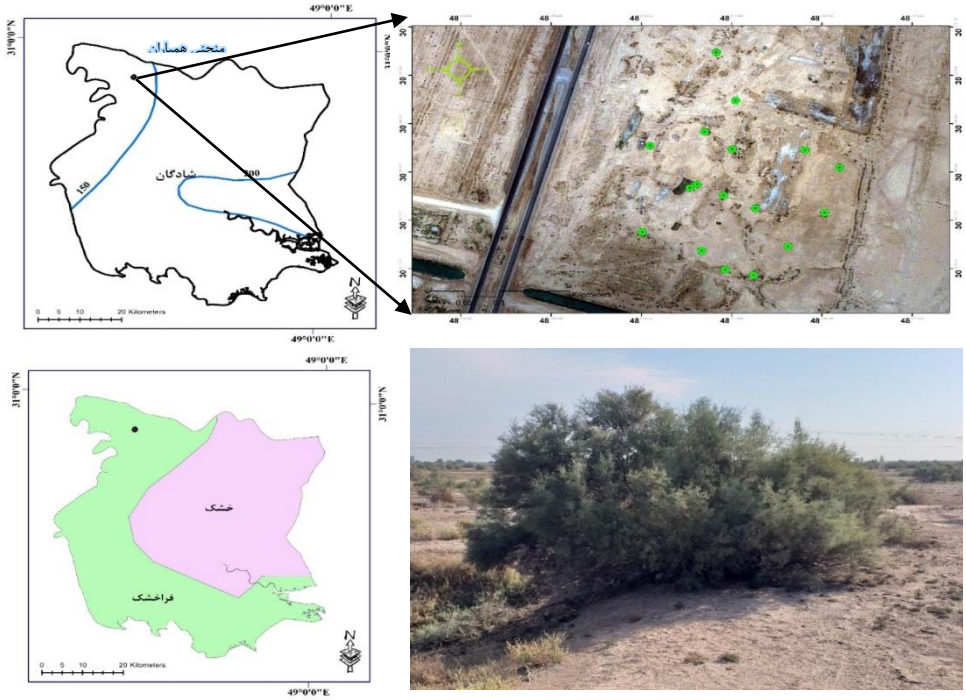
مقدمه

درختچه‌های شورگز (*Tamarix* spp.) ازجمله گونه‌های مقاوم به شوری و خشکی هستند که در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، ازجمله ایران گسترش یافته‌اند. این گیاهان به‌دلیل داشتن ویژگی‌های مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی خاص، نظیر توانایی ترشح نمک ازطریق غدد برگی، تجمع بقایای گیاهی با محتوای نمکی بالا، ریشه‌دوانی عمیق تأثیر بسزایی بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک دارند (لادنبرگر[1] و همکاران، ۲۰۰۶؛ عرفانی‌فرد و خسروی، ۲۰۱۹a؛ بازگیر و همکاران، ۲۰۱۹). ازاین‌رو، شورگزها بخشی از اکوسیستم‌های بومی برخی مناطق به شمار می‌روند و درحالی‌که در برخی مناطق دیگر به‌عنوان گونه‌های مهاجم شناخته می‌شوند. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که حضور شورگز می‌تواند موجب ایجاد جزایر حاصلخیز[2] در زیر تاج گیاه شود؛ به‌گونه‌ای که میزان مواد مغذی نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کربن آلی در خاک این نواحی بیشتر از مناطق فاقد پوشش گیاهی است (سان[3] و همکاران، ۲۰۲۳؛ ایرانمنش و صادقی، ۲۰۱۹). این پدیده در برخی مناطق، نظیر دلتای رود زرد در چین یا بیابان‌های ایران، نقش مؤثری در بهبود کیفیت خاک‌های شور و قلیایی داشته است و به همین دلیل، *Tamarix chinensis* در طرح‌های احیای اراضی شور به کار گرفته شده است (یانگ[4] و همکاران، ۲۰۲۱؛ بازگیر و همکاران، ۲۰۱۹). در دشت‌های بیابانی ایلام، *Tamarix* موجب افزایش معنی‌دار مادهٔ آلی خاک، کربن زیست‌توده و فعالیت‌های میکروبی شده است (بازگیر و مقصودی، ۲۰۱۹) همچنین در دشت سیستان، استقرار شورگز منجر به بهبود برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر پتاسیم، سدیم و نسبت جذب سدیم (SAR) شده است (روحی‌مقدم و همکاران، ۲۰۱۶). در مناطق خشک تونس، *Tamarix aphylla* با بهبود ساختار خاک و افزایش مادهٔ آلی نقش مهمی در پایداری خاک داشته است (تمبن[5] و همکاران، ۲۰۲۲). به همین ترتیب، در منطقهٔ گرمسار، رابطهٔ مثبت و معناداری بین حضور شورگز با هدایت الکتریکی (EC)، درصد گچ، رس، پتاسیم و کلسیم خاک گزارش شده است (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۲). در اراضی کشاورزی اردکان، حضور بادشکن‌های شورگز باعث افزایش ۱۵ درصدی شوری خاک نسبت به اراضی بدون بادشکن شده است (آرازی[6] و همکاران، ۲۰۱۱). بااین‌حال، نقش شورگز همواره مثبت نیست. در بعضی از مناطق، تجمع نمک در خاک براثر ترشحات برگ و بقایای گیاه شورگز منجر به افزایش شوری خاک و درنتیجه، کاهش تنوع گونه‌ای و رقابت‌پذیری سایر گیاهان شده است (عرفانی‌فرد و خسروی، ۲۰۱۹b؛ اهرت من[7] و همکاران، ۲۰۱۲). برای نمونه، در بیابان‌های مرکزی ایران، شوری خاک زیر شورگز تا ۲۴ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافته و پراکنش گونه‌هایی مانند اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) را محدود کرده است (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین در حاشیهٔ دریاچهٔ ارومیه، کاشت شورگز به‌دلیل افزایش شدید نمک نتوانسته است استقرار موفقی داشته باشد (رستمی و همکاران، ۲۰۲۱). استان خوزستان به‌عنوان یکی از پهنه‌های اقلیمی گرم و خشک کشور، با مشکلاتی نظیر شوری خاک، کمبود پوشش گیاهی، بیابان‌زایی و کاهش کیفیت منابع خاکی مواجه است. با توجه به گسترش طبیعی یا کاشت گستردهٔ شورگز در برخی نواحی این استان، ضرورت دارد تأثیر این گونه بر ویژگی‌های خاک به‌طور علمی بررسی شود؛ به‌ویژه مقایسهٔ بین خاک‌های تحت پوشش شورگز و خاک‌های فاقد آن در یک منطقه می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درزمینهٔ عملکرد اکولوژیکی این گونه و نقش آن در پایداری یا تخریب منابع خاکی ارائه دهد. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر درختچهٔ شورگز بر ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک در رویشگاه شادگان واقع در استان خوزستان انجام می‌گیرد و تلاش دارد به پرسش‌هایی دربارهٔ نقش این گونه در غنای مواد مغذی، افزایش یا کاهش شوری و تأثیرات بر جامعهٔ زیستی خاک پاسخ دهد. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنای علمی برای تصمیم‌گیری درخصوص کاشت یا مدیریت این گونه در طرح‌های احیای اراضی و حفاظت خاک در مناطق خشک و فراخشک جنوب کشور مورد استفاده قرار گیرد.

1. Ladenburger
2. Fertile Islands
3. Sun
4. Yang
5. Tambon
6. Arazi
7. Ohrtman

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه در شهرستان شادگان واقع در جنوب استان خوزستان (شکل ۱)، در عرض ۳۰/۹۰۶۵ تا ۳۹/۹۰۸۴ و طول ۴۸/۵۱۴۰ تا ۴۸/۵۱۵۷ و ارتفاع ۸ متر از سطح دریا در مجاورت تالاب بین المللی شادگان قرار دارد. ازنظر اقلیمی، منطقه دارای آب‌وهوای گرم و خشک از نوع بیابانی است که براساس طبقه‌بندی دومارتن در گروه اقلیمی خشک تا فراخشک جای می گیرد (احمدی، ۲۰۱۱). میانگین دمای سالیانهٔ منطقه حدود ۲۶ تا ۲۷ درجهٔ سانتی گراد است و در ماه های تابستان، دما به بیش از ۵۰ درجهٔ سانتی گراد نیز می رسد. بارندگی سالیانه بسیار محدود و عمدتاً در فصول پاییز و زمستان (به‌ویژه دی و بهمن) رخ می‌دهد و میانگین آن حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر برآورد می‌شود (سازمان هواشناسی کشور، ۲۰۲۰). درمقابل، میزان تبخیر و تعرق بالقوهٔ سالیانه در این منطقه بیش از ۲۵۰۰ میلی‌متر است که نشان‌دهندهٔ کمبود شدید آب و تنش رطوبتی بالا در طول سال است.



شکل (۱): موقعیت نقاط نمونه‌برداری به‌همراه منحنی هم‌باران و اقلیم منطقه در شهرستان شادگان

Figure (1): Sampling point locations along with isohyetal map and climate of the study area in Shadegan County

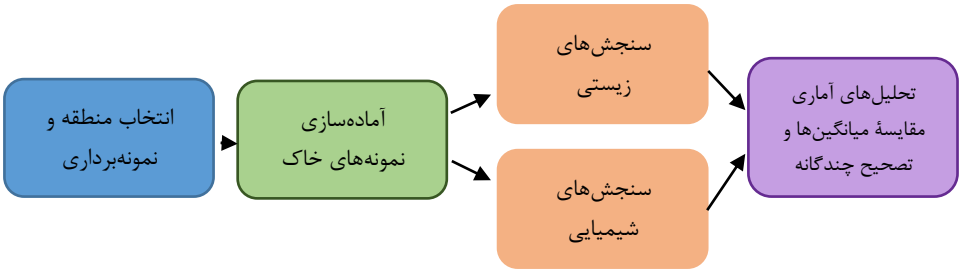
خاک منطقه عمدتاً دارای بافت سنگین (رسی تا سیلتی)، شور و قلیایی است که با مشکلاتی چون شوری بالا، آهک زیاد، کمبود مادهٔ آلی و ظرفیت نگهداری پایین مواد غذایی مواجه است (روحی‌مقدم و همکاران، ۲۰۱۶). پوشش گیاهی طبیعی منطقه، محدود و شامل گونه‌های شورپسند و مقاوم به خشکی نظیر *Tamarix spp.*، *Halocnemum strobilaceum*، *Aeluropus littoralis* و *Suaeda spp.* است (بازگیر و همکاران، ۲۰۱۹؛ رستمی و همکاران، ۲۰۲۱). نزدیکی به تالاب شادگان موجب افزایش رطوبت نسبی در برخی ماه‌ها به‌ویژه تابستان می‌شود؛ اما همچنان شرایط اکولوژیکی منطقه به‌شدت تحت‌تأثیر خشکی، شوری، فرسایش بادی و کاهش حاصلخیزی خاک قرار دارد. این شرایط، ضرورت مطالعه و مدیریت پوشش گیاهی مقاوم به شرایط سخت ازجمله درختچه‌های شورگز را دوچندان می‌سازد (عرفانی‌فرد و خسروی، ۲۰۱۹a). در رویشگاه شورگز (*Tamarix spp.*) یک قطعهٔ ۱۰۰×۱۰۰ متر انتخاب شد. برای اطمینان از استقلال آماری، ۵ پایهٔ شورگز به‌طور تصادفی درون قطعه انتخاب شد. فاصلهٔ بین پایه‌ها بیشتر از ۲۰ متر و نقاط شاهد بیشتر از ۳۰ متر از نزدیک‌ترین پایهٔ شورگز در نظر گرفته شد. از پای هر پایهٔ شورگز و از هر نقطهٔ شاهد، یک نمونه خاک سطحی به عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر برداشت شد. نمونه‌ها در ظروف تمیز جمع‌آوری و برای سنجش‌های زیستی، در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری و برای سنجش‌های شیمیایی پس از هواخشک کردن نمونه و عبور از الک ۲ میلی‌متر آماده شدند. برای آزمون‌های زیستی، رطوبت کاری

نمونه‌ها بر مبنای ۶۰ درصد تنظیم شد. برای تهیهٔ عصارهٔ اشباع خاک، آب دیونیزه به خاک افزوده شد تا خمیر بدون آب آزاد سطحی حاصل شود. خمیر ۱۶ ساعت در دمای آزمایشگاه تعادل یافت و سپس عصاره با مکش تهیه و از فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر عبور داده شد. هدایت الکتریکی در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد با EC متر کالیبره‌شده برحسب دسی‌زیمنس بر متر و میزان pH با دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد. کاتیون‌ها با AAS/ICP-OES و آنیون‌ها با روش‌های تیترومتریک تعیین شدند (زرین‌کفش، ۱۹۹۳). مقادیر قسمت در میلیون در عصارهٔ آبی معادل mg/L تلقی و برای تبدیل مقادیر meq/L به mg/L با ضرب در وزن معادل تبدیل شدند. به‌منظور انجام سنجش‌های زیستی ابتدا برای اندازه‌گیری تنفس پایه از هر نمونه ۱۰ گرم معادل وزن خشک در ظرف درب‌دار در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت انکوبه شد و گازکربنیک تولیدی با تلهٔ هیدروکسید سدیم با غلظت ۰/۵ مول و با افزودن اسید کلریدریک ۰/۵ مول و با آنالایزر IRGA اندازه‌گیری شد و نتایج برحسب $mg\ CO_2–C \cdot 100\ g^{-1} \cdot h^{-1}$ گزارش گردید. برای اندازه‌گیری تنفس برانگیخته به ۱۰ گرم خاک حدود ۲ میلی‌لیتر محلول گلوکز استریل افزوده شد و در دمای ۲۵ درجه در انکوباسیون به‌مدت ۱ تا ۴ ساعت میزان گازکربنیک مشابه تنفس پایه اندازه‌گیری شد و نرخ اولیهٔ تنفس گزارش گردید (اندرسون و دومش،[1] ۱۹۹۰). به‌منظور اندازه‌گیری بیومس میکروبی کربن از روش تدخین- استخراج استفاده شد. در این روش دو نمونهٔ ۱۰ گرمی از هر نمونه انتخاب و با کلروفرم بدون اتانول به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد تدخین شد. هر دو نمونهٔ تدخین و شاهد با استفاده از محلول سولفات پتاسیم با غلظت ۰/۵ مول عصارهٔ نمونه‌ها استخراج شدند و میزان کربن محلول با دستگاه اندازه‌گیری کربن آلی محلول اندازه‌گیری و برحسب $mg\ C\ L^{-1}$ گزارش شد (ونس[2] و همکاران، ۱۹۸۷). برای اندازه‌گیری پتانسیل نیتریفیکاسیون ۱۰گرم خاک را با ۵۰ میلی‌لیتر بافر سولفات با اسیدیته ۷/۲ مخلوط و سپس به این مخلوط، محلول کلرید آمونیوم اضافه شد. مقدار اضافه کردن به‌گونه‌ای است که تقریباً ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن آمونیومی در هر کیلوگرم خاک خشک فراهم شود؛ یعنی یک منبع آمونیوم اضافی به میکروب‌های خاک داده می‌شود تا فرایند نیتریفیکاسیون بتواند با حداکثر ظرفیت رخ دهد. سپس نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد داخل شیکر گذاشته می‌شوند و با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه تکان داده می‌شوند. این شرایط باعث می‌شود میکروب‌های نیتریفیکاسیون بتوانند با حداکثر توانشان آمونیوم را به نیتریت و نیترات تبدیل کنند. غلظت‌های نیترات و نیتریت در زمان صفر و بعد از ۲۴ ساعت انکوباسیون قرائت می‌شود و غلظت‌ها در این فاصلهٔ زمانی محاسبه می‌شوند. اندازه‌گیری نیترات و نیتریت با روش متداول رنگ‌سنجی استفاده شد. برای تحلیل‌های آماری، در گام نخست نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو–ویلک[3] و یکنواختی واریانس‌ها با آزمون لون[4] بررسی شد. در صورت نرمال بودنِ داده‌ها و برابری واریانس‌ها، از آزمون t استیودنت[5] استفاده گردید. در مواردی که واریانس‌ها نابرابر بودند، از آزمون ولش[6] و در صورت نقض نرمالیتی، از آزمون من ویتنی یو[7] بهره گرفته شد. برای کنترل خطای نوع اول ناشی از انجام چندین مقایسه، مقادیر احتمال[8] با دو روش تصحیح بونفرونی[9] و روش بنجامینی–هوچبرگ[10] برای نرخ کشف کاذب اصلاح شدند. همچنین اختلاف میانگین‌ها (Δ) همراه با فاصلهٔ اطمینان ۹۵ درصد گزارش شد. اندازهٔ اثر با شاخص d کوهن[11] در آزمون‌های پارامتریک و ضریب رتبه–بایسریال در آزمون‌های ناپارامتریک محاسبه شد و براساس مرزهای استاندارد به «کوچک»، «متوسط» و «بزرگ» طبقه‌بندی گردید. مقادیر d براساس معیار کوهن (۱۹۸۸) به چهار دستهٔ $|d| < 0.2$ اثر ناچیز، $0.2 \le |d| < 0.5$ اثر کوچک، $0.5 \le |d| < 0.8$ اثر متوسط، $|d| \ge 0.8$ اثر بزرگ طبقه‌بندی شدند. آمار توصیفی، آزمون‌های نرمالیتی، لوین و آزمون‌های دونمونه‌ای در نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس[12] نسخهٔ ۲۱ انجام شد. تصحیح نرخ کشف کاذب،

1. Anderson & Domsch
2. Vance

3. Shapiro–Wilk
4. Levene
5. Student's t-test
6. Welch's t-test
7. Mann–Whitney U
8. p-value
9. Bonferroni correction
10. Benjamini–Hochberg (FDR)
11. Cohen's d
12. SPSS, IBM SPSS Statistics

محاسبهٔ مقادیر q، شاخص d کوهن و فاصله‌های اطمینان تفاوت با استفاده از نرم‌افزار R محاسبه گردید. سطح معناداری در همهٔ آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. مراحل مطالعه در نمودار جریانی شکل (۲) خلاصه شده است.



شکل (۲): نمودار جریانی روش پژوهش

Figure (2): Flowchart of the research methodology

نتایج و بحث

الف) تشریح ویژگی‌های فیزیکی خاک سطحی و پروفیل خاک رویشگاه شورگز

نمونه‌های خاک سطحی برداشت‌شده در رویشگاه مورد مطالعه نشان می‌دهد دارای حدود ۴۰٪ سیلت، ۳۴٪ ماسه و ۲۴٪ رس هستند و بافت آن در محدودهٔ لوم قرار می‌گیرد که در نمونه‌های پای شورگز و شاهد تفاوت معنی‌دار آماری مشاهده نمی‌شود. براساس مطالعات انجام‌شده، رنگ خاک قهوه‌ای مایل به قرمز و نسبتاً تیره خاک در لایه‌های مختلف است. ازنظر فیزیوگرافی، این منطقه در دشت رودخانه‌ای قرار گرفته و اقلیم منطقه بیابانی–گرم و خشک با رژیم دمایی هیپرترمیک و رژیم رطوبتی (Aridic) است. میزان سنگریزه در پروفیل حفرشده در رویشگاه مورد مطالعه کمتر از ۳٪ و کلاس شیب آن، تقریباً مسطح و زهکشی خاک ضعیف است که می‌تواند به تجمع املاح و شوری کمک کند. عمق افق‌ها به‌ترتیب ۲۲، ۴۸ و ۹۰ سانتی‌متر و براساس طبقه‌بندی USDA، افق‌های ژنتیکی آن به‌ترتیب Az/Bwgz/BCz/Cz نام‌گذاری شده‌اند. خاک در این منطقه، اثر پف‌کردگی یا ترک‌خوردگی خاصی نداشته، اما به‌شدت متراکم است که این ویژگی‌ها می‌تواند نتیجهٔ خشکی، شوری و تخریب ساختار خاک براثر شرایط اقلیمی و پوشش گیاهی کم باشد. همچنین، حضور کرم‌های خاکی در این پروفیل مشاهده نگردید که می‌تواند نشانه‌ای از شرایط زیستی ضعیف خاک و کمبود مواد آلی باشد. عمق آب زیرزمینی در منطقه حدود ۱۲۰ سانتی‌متر و مواد مادری از جنس آبرفت است.

ب) مقایسهٔ ویژگی‌های خاک در تیمارها

نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): مقایسهٔ میانگین‌های ویژگی‌های خاک در دو تیمار

Table (1) Comparison of mean soil properties between *Tamarix* (under canopy) and control soils

متغیر	پای شورگز (Mean ± SD)	شاهد (Mean ± SD)	Δ (٪۹۵ CI)	آزمون	p
کربن آلی (%)	0.450 ± 0.07	0.276 ± 0.05	+0.174(0.02to0.32)	t	0.019
بیومس میکروبی کربن (mg/100g)	5.86 ± 0.32	4.92 ± 0.28	+0.94(0.52to1.35)	t	<0.001
پتانسیل نیتریفیکاسیون (mg N/g)	16.45 ± 1.12	10.91 ± 0.95	+5.54(1.33to9.75)	t	0.010
تنفس برانگیخته (mg CO_2 /100g·h)	12.12 ± 1.35	21.05 ± 1.84	−8.93(-10.2to-2.65)	t	0.011
تنفس پایه (mg CO_2 /100g·h)	0.392±0.15	0.474±0.22	-0.082(-0.37to0.20)	t	0.52
EC (ds/m)	105.70 ± 6.03	80.64 ± 12.1	25.02(10.1to39.9)	t	0.003
Mg (g/L)	1.11±0.07	0.70±0.35	0.41(-0.02to0.84)	t	0.03
K (g/L)	0.20±0.04	0.16±0.006	0.04(-0.016to0.096)	t	0.08
P (g/L)	0.005±0.001	0.003±0.0002	0.002(-7.33to0.005)	U	0.11
HCO3 (g/L)	0.21±0.05	0.14152±0.01	0.072(0.007to0.13)	U	0.11
Cl (g/L)	40.13±12.28	28.35±5.67	11.78(-3.2to26.8)	U	0.15
Ca (g/L)	1.41±0.12	1.24±0.23	0.17(-0.12to0.46)	t	0.18
Na (g/L)	25.116±8.42	21.79±3.51	3.31(-6.97to13.6)	t	0.4
SAR	170.94±57.93	175.50±20.69	-4.55(-75.2to66.1)	t	0.87

یافته‌ها نشان داد که حضور این گیاه نقش یک مهندس اکوسیستم را ایفا می‌کند و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک را به‌طور قابل توجهی دگرگون می‌سازد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها (جدول ۱) حاکی از آن است که از بین ۱۴ متغیر اندازه‌گیری‌شده، ۶ متغیر تفاوت آماری معنی‌داری را بین تیمار پای شورگز و شاهد نشان می‌دهند. مهم‌ترین این تغییرات، افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک در زیر سایه‌بان شورگز بود. این پدیده را می‌توان عمدتاً ناشی از افزایش ورود مواد آلی به خاک ازطریق برگ‌ریزی و سایر بقایای گیاهی دانست (لیتر[1] و همکاران ؛ ۲۰۲۲). همسو با این افزایش، فعالیت میکروبی مربوط به چرخهٔ نیتروژن (پتانسیل نیتریفیکاسیون) نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافته بود که نشان‌دهندهٔ حاصلخیزتر شدن خاک و فعال‌تر شدن فرایندهای بیولوژیک در آن است. افزایش پتانسیل نیتریفیکاسیون معمولاً با افزایش در دسترس بودن نیتروژن معدنی در خاک مرتبط است. بااین‌حال، یکی از نتایج به‌ظاهر متناقض، کاهش معنی‌دار تنفس برانگیخته در خاک پای شورگز بود. این موضوع می‌تواند توجیهات پیچیده‌ای داشته باشد؛ ازجمله ممکن است جامعهٔ میکروبی در این خاک‌ها به‌دلیل وفور نسبی مادهٔ آلی، کارایی بیشتری در مصرف سوبسترا پیدا کرده باشد و بنابراین پاسخ تنفسی کمتری به افزودن مادهٔ آلی جدید نشان دهد. به‌طور متناوب، ممکن است عامل محدودکنندهٔ دیگری مانع از پاسخ کامل میکروارگانیسم‌ها شود. پتاسیم تفاوت معنی‌داری در تیمارها نداشت؛ علت این امر به تحرک نسبی پتاسیم، پایداری آن در کانی‌های رسی و نقش تبادلی آن با سطح رس مربوط است (منگل و کرکبی،[2] ۲۰۰۱) همچنین، pH خاک که از عوامل کلیدی در دسترسی عناصر غذایی محسوب می‌شود، در هر دو تیمار نزدیک به خنثی بود و تفاوت معنی‌داری نداشت. این موضوع نشان می‌دهد که تغییرات عناصر مذکور ناشی از عملکرد زیستی شورگز، و نه تغییر در اسیدیتهٔ خاک است. درمجموع، یافته‌ها حاکی از آن است که حضور شورگز ازطریق ترشح، ریزش و فعالیت ریشه‌ای، موجب دگرگونی ترکیب شیمیایی خاک پیرامون خود شده و باعث افزایش معنی‌دار شوری، برخی کاتیون‌ها و عناصر غذایی نظیر کربن آلی می‌گردد؛ حال‌آنکه عواملی مانند بافت خاک (لوم یکسان با ۴۰٪ سیلت، ۳۴٪ ماسه و ۲۴٪ رس) و pH مشابه، نقش چندانی در این تفاوت‌ها نداشته‌اند. براساس نتایج جعفری و همکاران (۲۰۰۵) کشت شورگز باعث رشد ۴۹ درصدی در فسفر، ۲۴ درصدی در پتاس، ۷۰ درصدی در منیزیم و ۳۲ درصدی در کلسیم همچنین ۴۰ درصد در هدایت الکتریکی شده است که نتایج مشابهی ازنظر شوری در گونه‌های شورگز خودرو در خوزستان دیده شده است. در مطالعه‌ای که محمدی و همکاران (۲۰۱۷) در ایلام و بر *Tamarix ramosissima Ledeb* انجام داده‌اند، ویژگی‌های رویشگاه ازنظر هدایت الکتریکی در دامنهٔ ۰/۹۲ تا ۹/۰۳ دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی ۰/۰۹ تا ۳/۳۹ درصد، ازت ۰ تا ۰/۲۹ درصد، فسفر و پتاس به‌ترتیب ۲۰ و ۲۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و درصد اسیدیته ۶/۹۸ تا ۷/۹۹ عنوان شده است که شرایط بسیار متفاوتی با رویشگاه شورگز در خوزستان دارد. براساس مطالعات روحی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۶) در دشت سیستان محدودهٔ رویش *Tamarix sp* ازنظر هدایت الکتریکی ۴/۹ تا ۳۵/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر و ازنظر مادهٔ آلی در محدودهٔ ۰/۰۲ تا ۱ درصد عنوان شده است. نتایج مربوط به شاخص‌های زیستی خاک نشان داد که تنفس پایه بین نمونه‌های خاک پای شورگز ($0.39\ \mu g\ CO_2\ g^{-1}\ h^{-1}$) و نمونهٔ شاهد ($0.47\ \mu g\ CO_2\ g^{-1}\ h^{-1}$) تفاوت معنی‌داری نداشت. این یافته نشان می‌دهد که میزان فعالیت پایهٔ میکروارگانیسم‌ها تحت‌تأثیر حضور درختچهٔ شورگز قرار نگرفته و می‌توان گفت که جمعیت میکروبی توانسته است با شرایط خاص ریزوسفر این گیاه تطابق یابد. نتایج مشابهی توسط نیک‌نژاد و همکاران (۲۰۲۰) در خاک‌های شور مناطق خشک گزارش شده است؛ جایی که میکروارگانیسم‌ها با حفظ فعالیت پایه، از هزینهٔ متابولیکی کاسته و به کارایی بالاتری دست یافته‌اند. هم‌زمان با این بهبودها در حاصلخیزی، یک اثر بوم‌شناختی بسیار مهم دیگر شورگز نیز آشکار شد که آن افزایش قابل توجه شوری خاک است. این ویژگی ذاتی بسیاری از گیاهان هالوفیت مانند شورگز است. این گیاهان برای سازگاری با محیط‌های شور، مکانیسم‌هایی مانند دفع نمک ازطریق غدد نمکی یا تجمع نمک

1. Litter
2. Mengel & Kirkby

در برگ‌ها و ریزش آن‌ها را دارند که درنهایت منجر به افزایش غلظت املاح در خاک می‌شود (ژانگ[1] و همکاران، ۲۰۲۰) افزایش غلظت منیزیم نیز با این پدیده هم‌خوانی دارد. در جدول (۲)، مقادیر p خام، p اصلاح‌شده به روش بونفرونی، و نرخ کشف خطای کاذب (FDR)، مقادیر (q) گزارش شده‌اند. اندازهٔ اثر برای آزمون‌های پارامتریک (t) استیودنت یا t ولش به‌صورت Cohen's d و برای آزمون ناپارامتریک من–ویتنی (U) به‌صورت همبستگی رتبه‌ای- بایسریال محاسبه گردید. مقادیر مثبت اندازهٔ اثر نشان‌دهندهٔ میانگین‌های بالاتر در خاک پای تاج شورگز نسبت به خاک شاهد و مقادیر منفی نشان‌دهندهٔ میانگین‌های بالاتر در خاک شاهد هستند. هنگامی که نتایج با روش‌های تصحیح چندگانه (جدول ۲) بازبینی شدند، مشاهده شد که تنها تفاوت در میزان پتانسیل نیتریفیکاسیون تحت تصحیح سختگیرانهٔ بونفرونی معنی‌دار باقی ماند. بااین‌حال، تصحیح FDR که کاربردی‌تر است، اهمیت آماری متغیرهای کربن آلی (q=0.07)، تنفس برانگیخته (q=0.16) و (q=0.05) EC را نیز در آستانهٔ معنی‌داری نشان داد. اندازهٔ اثر برای این متغیرهای کلیدی بزرگ ارزیابی شد. این موضوع نشان می‌دهد که اثر استقرار شورگز بر ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک ازنظر بوم‌شناختی و کارکرد اکوسیستمی معنادار بوده است، حتی اگر توان آماری آزمون‌ها به‌دلیل محدودیت حجم نمونه در هر تیمار یا ناهمگنی ذاتی داده‌های خاک کافی نبوده باشد. در واقع، آزمون‌های آماری کلاسیک به‌شدت به تعداد نمونه‌ها حساس هستند و در طرح‌های کوچک می‌توانند تفاوت‌های بزرگ واقعی را به‌صورت غیرمعنادار گزارش کنند. همچنین استفاده از اصلاح‌های چندگانهٔ سخت‌گیرانه (به‌ویژه روش بونفرونی) احتمال خطای نوع اول را کاهش می‌دهد، اما قدرت آزمون (توان تشخیص اثر واقعی) را نیز کم می‌کند. ازاین‌رو، در تفسیر نتایج باید هم به معناداری آماری و هم به اندازهٔ اثر و اهمیت اکولوژیک توجه شود. به بیان دیگر، حتی زمانی که برخی پارامترها ازنظر آماری معنادار نیستند، بزرگی تفاوت‌ها نشان می‌دهد که استقرار شورگز می‌تواند بر چرخه‌های کربن و نیتروژن، غنای عناصر غذایی و عملکرد میکروبی خاک اثر قابل توجهی داشته باشد. درمقابل، میزان تنفس برانگیخته (SIR) در نمونه‌های پای شورگز ($12.12\ \mu g\ CO_2\ g^{-1}\ h^{-1}$) نسبت به شاهد ($21\ \mu g\ CO_2\ g^{-1}\ h^{-1}$) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$). این کاهش ممکن است ناشی از کیفیت پایین‌تر منابع کربنی قابل تجزیه در ریزوسفر شورگز باشد، زیرا ترکیبات فنولی و نمکی موجود در برگ‌ریزه‌ها و ترشحات ریشه‌ای *Tamarix* می‌توانند دسترسی سریع به کربن قابل جذب را برای میکروارگانیسم‌ها محدود سازند (رحیمی و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین، شوری خاک و فشار اسمزی حاصل از آن ممکن است موجب سرکوب فعالیت آنزیم‌های برون‌سلولی و محدودیت در پاسخ تنفسی سریع شده باشد (لیانگ[2] و همکاران، ۲۰۱۵). با وجود کاهش در SIR، میزان بیومس میکروبی کربن (MBC) در خاک پای شورگز به‌طور معنی‌داری بالاتر از خاک شاهد بود ($p< 0.01$). این افزایش می‌تواند ناشی از ورود کربن ازطریق ریزش برگ، ترشحات ریشه‌ای و تثبیت بهتر کربن در خاک باشد. ازسوی دیگر، پایین بودن نسبت تنفس پایه به بیومس میکروبی (qCO_2) در پای شورگز (۰/۰۶۷ در برابر ۰/۰۹۶) نشان‌دهندهٔ کارایی بیشتر جامعهٔ میکروبی در مصرف انرژی است که معمولاً نشانه‌ای از پایداری اکوسیستم میکروبی و انطباق با شرایط تنش‌زا تلقی می‌شود (اندرسون و دومش، ۱۹۹۰؛ لیانگ و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین، میزان پتانسیل نیتریفیکاسیون به‌طور قابل توجهی در خاک پای شورگز بیشتر از شاهد بود ($p < 0.01$). این موضوع می‌تواند ناشی از افزایش دسترسی به آمونیوم (NH_4^+) حاصل از تجزیهٔ برگ‌ریزه‌های شورگز و نیز فراهم شدن شرایط مناسب‌تر برای فعالیت نیتریفایرها در ریزوسفر این گیاه باشد. گزارش‌هایی حاکی از آن است که گونه‌های شورپسند مانند *Tamarix* با افزایش تهویهٔ خاک، کاهش فشردگی و بهبود ساختار خاک می‌توانند شرایط هوازی لازم برای فرایند نیتریفیکاسیون را فراهم کنند (علیزاده و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین در خاک‌های شور، غالب شدن آرکی‌های نیتریفایر مقاوم به شوری می‌تواند دلیل افزایش کارایی این فرایند باشد (

1. Zhang

2. Liang

ژانگ و همکاران،۲۰۲۱). نتایج زیستی به‌دست‌آمده با سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نیز هماهنگ بود. به‌رغم وجود بافت لوم سیلتی، pH قلیایی (نزدیک به ۸)، هدایت الکتریکی نسبتاً بالا زمینهٔ مناسبی برای رشد و پایداری جوامع میکروبی فراهم کرده است. درمجموع می‌توان گفت که گرچه درختچهٔ شورگز با افزایش شوری خاک ممکن است برخی شاخص‌های فعالیت میکروبی را تحت‌تأثیر قرار دهد، به‌واسطهٔ افزایش مادهٔ آلی و عناصر غذایی، موجب افزایش بیومس میکروبی و کارایی اکوسیستم میکروبی در مقایسه با مناطق فاقد این گونه شده است. جدول (۲) نتایج آزمون‌های آماری دونمونه‌ای همراه با مقادیر p اصلاح‌شدهٔ بونفرونی و (FDR) و اندازهٔ اثر آورده شده است.

جدول (۲): نتایج آزمون‌های دونمونه‌ای شامل مقادیر p تعدیل‌شده به روش‌های بونفرونی و بنجامینی–هوچبرگ (FDR) و برآورد اندازهٔ اثر

Table (2): Results of two-sample tests including Bonferroni and Benjamini–Hochberg (FDR) adjusted p-values and effect size estimates

متغیر	P (اصلی)	p (Bonferroni)	q (FDR)	Cohen's d	تفسیر اثر
کربن آلی (%)	0.019	0.28	0.07	1.85	بزرگ
بیومس میکروبی کربن (mg/100g)	<0.001	0.01	0.01	3.36	بزرگ
پتانسیل نیتریفیکاسیون (mg N/g)	0.010	0.15	0.05	2.11	بزرگ
تنفس برانگیخته ($mg\ CO_2$ /100g·h)	0.011	0.16	0.05	-2.08	بزرگ
تنفس پایه ($mg\ CO_2$ /100g·h)	0.52	1	0.6	-0.41	کوچک
EC (ds/m)	0.003	0.05	0.02	2.6	بزرگ
Mg (g/L)	0.03	0.51	0.1	1.61	بزرگ
K (g/L)	0.08	1	0.18	1.23	بزرگ
P (g/L)	0.11	1	0.19	0.64	بزرگ
HCO3 (g/L)	0.11	1	0.19	0.64	متوسط
Cl (g/L)	0.15	1	0.22	0.6	متوسط
Ca (g/L)	0.18	1	0.25	0.25	متوسط
Na (g/L)	0.4	1	0.55	0.55	بزرگ
SAR	0.87	1	0.87	0.87	خیلی کوچک

این نتایج نشان می‌دهد که شورگز تأثیری دوگانه بر خاک دارد. از یک سو با افزایش کربن آلی، بیومس میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون به بهبود کیفیت زیستی خاک کمک می‌کند و می‌تواند نقش مهمی در افزایش حاصلخیزی و پایداری اکوسیستم ایفا کند؛ ازسوی دیگر، با افزایش شوری خاک، به‌ویژه هدایت الکتریکی و غلظت منیزیم، خطر تشدید شوری در مناطق حساس را به همراه دارد. یافته‌های این پژوهش با گزارش‌های پیشین هم‌خوانی دارد، به‌طوری‌که پژوهشگران دیگری نیز تأکید کرده‌اند که گونه‌های شورپسند ضمن بهبود شرایط زیستی خاک، موجب افزایش تجمع نمک‌ها می‌شوند. بنابراین، استفاده و گسترش شورگز در مدیریت اراضی باید با در نظر گرفتن شرایط اکولوژیکی منطقه و حساسیت آن به شوری صورت گیرد. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که شورگز گونه‌ای با اثرات مثبت بر زیست‌خاک ولی با پتانسیل افزایش شوری است و مدیریت کاربری آن نیازمند رویکردی متوازن میان مزایا و معایب آن خواهد بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که حضور درختچهٔ شورگز (*Tamarix sp.*) تغییرات معناداری در برخی ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیک خاک ایجاد می‌کند. در پای شورگز، مقادیر کربن آلی، بایومس میکروبی کربن و پتانسیل نیتریفیکاسیون به‌طور معناداری بیشتر از خاک شاهد بود که نشان‌دهندهٔ بهبود وضعیت مادهٔ آلی و فعالیت‌های میکروبی در سایه‌سار این گونه

است. این نتایج تأکید می‌کند که تاج‌پوشش شورگز، به‌ویژه ازطریق افزایش ورودی لاشبرگ و مواد آلی و ایجاد شرایط ریزاقلیمی مناسب‌تر، زمینه را برای ارتقای کیفیت زیستی خاک فراهم می‌سازد. درمقابل، برخی شاخص‌ها نظیر تنفس برانگیخته و غلظت سدیم و کلر تفاوت معناداری با شاهد نداشتند یا حتی در برخی موارد گرایش به مقادیر بالاتر در شاهد داشتند که می‌تواند ناشی از سازگاری شورگز با شرایط شور و سدیمی و عدم کاهش معنی‌دار این عناصر در ریزمحیط آن باشد. به‌طور کلی، یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که استقرار درختچهٔ شورگز در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند با بهبود ویژگی‌های کلیدی خاک، ازجمله افزایش کربن آلی و فعالیت‌های میکروبی، نقش مهمی در ارتقای پایداری بوم‌سازگان‌های شکننده ایفا کند. هرچند برخی متغیرها تغییر معناداری نداشتند، جهت تغییرات و اندازهٔ اثرهای بزرگ به‌دست‌آمده نشان‌دهندهٔ اهمیت بوم‌شناختی این گونه در بهبود خاک است. بر این اساس، می‌توان شورگز را به‌عنوان یک گونهٔ سازگار با شرایط تنش‌زای خوزستان در برنامه‌های مدیریت منابع طبیعی و احیای سرزمین در نظر گرفت؛ هرچند توجه به پیامدهای احتمالی افزایش شوری در برخی شرایط نیز ضروری است.

قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از نتایج طرح تحقیقاتی نگارندهٔ اول است که با عنوان «سنجش و پایش خاک جنگل‌ها و درخت‌زارهای ناحیهٔ صحارا-سیندی» در مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور به تصویب رسیده است. بدین‌وسیله نویسنده نخست مراتب سپاس و قدردانی خود را از مجری ملی طرح، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و همچنین جناب آقای دکتر فرهاد نورمحمدی، رئیس محترم گروه مدل‌های هیدرواقلیم سازمان آب و برق خوزستان بابت حمایت‌های علمی و اجرایی در فرایند انجام این پژوهش ابراز می‌دارد.

منابع

1. Ahmadi, H. (2011). *Applied climatology of Iran*. Tehran: University of Tehran Press.
2. Alizadeh, H., Yousefi Lalimi, A., & Hosseini, M. (2023). Root-induced porosity under halophytic shrubs improves nitrification in saline soils. Applied Soil Ecology, No. 190, 104572.
3. Anderson, T.H., & Domsch, K.H. (1990). Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*, *22*(2), 251–255.
4. Arazi, A., Emtahani, M.H., & Ekhtesasi, M.R. (2011). Effect of Tamarix aphylla windbreak on soil salinity in Ardakan. *Journal of Arid Land Studies*, *10*(1), 47–55.
5. Bazgir, M., & Maghsoudi, Z. (2019). Soil biological properties under canopy of natural Tamarix ramosissima in Ilam. *Iranian Journal of Soil and Water Engineering*, *33*(2), 131–142.
6. Bazgir, M., Shadivand, K., & Rostami, A. (2019). Effect of Tamarix shrub on soil physiochemical properties and carbon sequestration of desert soils. *Journal of Arid Environments*, No. 168, 1–10. [In Persian]
7. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. Vance et al. (1987) Soil microbial biomass measurement by fumigation-extraction. Soil Biology & Biochemistry.
8. Erfanifard, Y., & Khosravi, M.E. (2019a). Saltcedar (Tamarix mscatensis) inhibits growth and spatial distrbution of eshnan (Seidlitzia rosmarinus) by enrichment of soil salinity in a semi-arid desert. *Plant and Soil*, No. 440, 219–231. https://doi.org/10.1007/s11104-019-04064-3[In Persian]
9. Erfanifard, Y., & Khosravi, M.E. (2019b). Ecological effects of Tamarix spp. on soil properties in arid regions. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, *17*(2), 34–45
10. Iran Meteorological Organization. (2020). Climatological Data of Khuzestan Province. Tehran, Iran.
11. Iranmanesh, M., & Sadeghi, H. (2019). Effects of soil texture and nitrogen on ability of carbon sequestration in different organs of two Tamarix species as a good choice for carbon stock in dry lands. *Ecological Engineering*, No. 139, 105577. [In Persian]
12. Jafari, M., Rasouli, B., & Erfan Zadeh, R. (2005). Investigation of the effects of planting Haloxylon, Atriplex, and Tamarix species on soil properties along the Tehran–Qom highway. *Iranian Journal of Natural Resources*, *58*(4), 921–931[In Persian]

13. Ladenburger, C. G., et al. (2006). Soil salinity patterns in Tamarix invasions in the Bighorn Basin, Wyoming, USA. *Journal of Arid Environments*, *65*(1), 111–128. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.015
14. Liang, C., Schimel, J.P., & Jastrow, J.D. (2015). The importance of anabolism in microbial control over soil carbon storage. *Nature Microbiology*, No. 1, 15013.
15. Litter, M. I., González, M., Pérez, A., Rodríguez, L., & López, J. (2022). Vegetation indices and soil organic carbon: Relationships with microbial activity in semi-arid ecosystems. *Ecological Indicators*, *142*, 109220. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109220
16. Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). Principles of Plant Nutrition. Kluwer Academic Publishers.
17. Mohammadi, M., Mirzaei, J., Moradi, M., & Naji, H. R. (2017). Physical and chemical properties of soils in Tamarix ramosissima Ledeb. habitats in Ilam Province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25(3, Issue 69), 419–430.
18. Niknejad, M., Shojaei, B., & Moradi, J. (2020). Soil biological indices response to different plant covers in saline lands of Khuzestan Province. *Iranian Journal of Soil Science*, 53(1), 63–77. [In Persian]
19. Ohrtman, M. K., Sher, A. A., & Lair, K. D. (2012). Quantifying soil salinity in areas invaded by Tamarix spp. *Journal of Arid Environments*, 85, 114–121. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.04.009
20. Rahimi, S., Ahmadi, H., & Hosseini, S.M. (2021). Effects of Tamarix litter on carbon quality and microbial respiration in saline soils. *Journal of Rangeland Science*, *11*(3), 321–332. [In Persian]
21. Rostami, S., Alijanpour, A., Banj Shafiei, A., & Ahmady-Birgani, H. (2021). Investigation of Tamarix ramosissima plantation on soil and vegetation properties around Lake Urmia. *Environmental Monitoring and Assessment*, *193*(12), 725[In Persian]
22. Rouhi-Moghaddam, E., Sargazy, E., & Gholamalizadeh, A. (2016). Ecological properties of Tamarix habitats in Sistan Plain. *International Journal of Environmental Studies*, *73*(4), 581–594.
23. Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X., Zhang, W., & Zhang, F. (2011). Phosphorus dynamics: From soil to plant. *Plant Physiology and Biochemistry*, *49*(4), 337–346.
24. Sun, J., Xia, J., Zhao, X., et al. (2023). Enrichment of soil nutrients and salt ions with different salinities under Tamarix chinensis shrubs in the Yellow River Delta. *Catena*, No. 232, 107433. https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107433
25. Tambone, F., Barbera, V., La Mantia, T., Gristina, L., Novara, A., Saiano, M., & Badalucco, L. (2022). Contribution of *Tamarix aphylla* to soil organic matter evolution in a natural semi-desert area in Tunisia. *Journal of Arid Environments*, *196*, 104639. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104639
26. Tambon, F., et al. (2022). Contribution of Tamarix aphylla to soil organic matter evolution in a natural semi-desert area in Tunisia. *Journal of Arid Environments*, No. 196, 104639.
27. Vance, E. D., Brookes, P. C., & Jenkinson, D. S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, *19*(6), 703–707. https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6
28. Yang, H., et al. (2021). Effects of different Tamarix chinensis–grass patterns on the soil quality of coastal saline soil in the Yellow River Delta, China. *Science of the Total Environment*, No. 772, 145501.
29. Yang, H., Zhang, J., Li, Z., Wang, X., & Li, F. (2021). Effects of different *Tamarix chinensis*–grass patterns on the soil quality of coastal saline soil in the Yellow River Delta, China. Science *of the Total Environment*, *772*, *145501*
30. Yousefi, M., Tavili, A., Jafari, M., & Zarechahouki, M.A. (2012). Relationships between dominant species and soil chemical properties in Garmsar region. *Journal of Range and Desert Research*, *19*(4), 78–88.
31. Zarrinkafsh ,M. (1993). Applied soil science. Tehran-Iran: Tehran University. [In Persian]
32. Zhang, X., Liu, Y., & Wang, J. (2020). Salt-tolerant ammonia-oxidizing archaea mediate nitrification in saline soils. *ISME Journal*, *15*(11), 3608–3620.

The ecological role of *Tamarix* in the dynamics of soil properties in the hyper-arid regions of Khuzestan

Banafshe Yasrebi,[1]* Abolfazl Azadi,[2] Mohammad Matinizade,[3] Sayyed Mussa Sadeghi[4]

Received: 26/07/2025 Accepted: 29/09/2025

Extended Abstract

Introduction: *Tamarix* spp. are halophytic, drought-tolerant shrubs that have either naturally expanded or been introduced through planting across many arid and semi-arid regions of Iran, including Khuzestan province. Owing to unique morphological and physiological traits—such as salt secretion via foliar glands, deep root systems, and the production of salt-rich litter—these shrubs significantly influence the chemical, biological, and physical properties of soil. Although sometimes considered invasive, their potential to improve degraded saline soils is generating growing ecological interest.

Objectives: This study aims to evaluate the impact of *Tamarix* shrubs on key soil chemical and biological properties in a hyper-arid region of southwestern Iran. Specifically, it compares soil from beneath the *Tamarix* canopy with soil from adjacent, unvegetated control areas to assess the shrub's role in soil nutrient enrichment and the stimulation of microbial activity.

Materials and Methods: The study was conducted in the Shadgan wetland area, located in southern Khuzestan province, Iran. The region has a hyper-arid climate, characterized by high temperatures, low annual rainfall (~150–200 mm), and high evapotranspiration (>2500 mm/year). Soil samples were collected from the 0–15 cm surface layer at two locations: beneath *Tamarix* canopies and from adjacent unvegetated control plots. Standard laboratory protocols were used to analyze chemical properties—including pH, EC, organic carbon (OC), available phosphorus (P), and exchangeable cations (K, Na, Mg, Ca)—and biological indices, such as basal respiration, substrate-induced respiration, microbial biomass carbon (MBC), and nitrification potential. An independent-samples t-test was used to statistically compare the two treatments.

Results Soil organic carbon content was significantly higher under *Tamarix* canopies than in control plots (0.45% vs. 0.28%; $\Delta = 0.17$, 95% CI: 0.02–0.32, *p* < 0.05), a difference that remained significant following multiple comparison corrections. This enrichment was associated with enhanced microbial activity; microbial biomass carbon and nitrification potential were approximately 25% and 30% greater under the shrubs, respectively (*p* < 0.05). In contrast, while moderate to large effect sizes were observed for substrate-induced respiration and sodium and chloride concentrations, these differences were not statistically significant after multiple comparison correction. Collectively, these findings indicate that *Tamarix* shrubs enhance soil biological quality by increasing organic matter input and stimulating microbial processes.

1. Assistant Professor, Natural Resources Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran. Email: b.yasrebi@areeo.ac.ir
2. Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran.
3. Associate Professor, Forest Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran.
4. Assistant Professor, Forest Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran.

DOI: 10.22052/deej.2025.257289.1115

Conclusion: The persistence of significant effects for key soil indicators after rigorous statistical correction underscores the ecological importance of *Tamarix* in rehabilitating saline, arid lands in Khuzestan. While the non-significant results for other indicators warrant further investigation, this study provides scientific evidence to support the inclusion of this native shrub in sustainable soil management and restoration strategies for dryland ecosystems.

Keywords: *Tamarix* Spp., Soil Salinity, Hyper-Arid Ecosystems, Soil Nutrients, Microbial Biomass Carbon, Nitrification, Rhizosphere Effects, Khuzestan.