مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان

دورهٔ ۱۴، شمارهٔ ۱ (پیاپی ۴۶)، بهار ۱۴۰۴، صفحه ۴۹ـ۶۴

مقاله پژوهشی

مطالعهٔ برهم‌کنش شوری خاک رویشگاه و زیست‌تودهٔ گیاهان اشنان و قره‌داغ در رویشگاه دشت اردستان، گنبد نمک قم و کاشان

ابوذر کشاورز،[۱] محمدعلی حکیم‌زاده اردکانی،[۲*] کاظم کمالی علی‌آبادی،[۳] مطهره اسفندیاری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۲ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۷**

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر شوری خاک بر زیست‌تودهٔ دو گونهٔ گیاهی اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) و قره‌داغ (*Nitraria schoberi*) در بیابان‌های مرکزی ایران انجام شد. مطالعه در پنج رویشگاه شامل دشت اردستان، فخره کاشان، گنبد نمک قم، حسین‌آباد و پارک جنگلی کاشان با استفاده از روش ترانسکت-پلات و نمونه‌برداری از خاک در دو عمق ۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری صورت گرفت. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (شامل EC، pH، SAR) و زیست‌توده روی زمین عمدتاً شامل (برگ، ساقه، انشعابات، ریشه و...) و زیست‌تودهٔ زیرزمینی با حفاری کامل ریشه تعیین و اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد شوری خاک (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) تأثیر معناداری بر رشد گیاهان دارد. در مناطق با شوری بالا (EC >50 dS/m) و (SAR >100)، زیست‌تودهٔ قره‌داغ به‌طور قابل توجهی بیشتر از اشنان بود، درحالی‌که اشنان در مناطق با شوری متوسط تا پایین (EC <40 dS/m) برتری داشت. برای مثال، در منطقهٔ قم (EC متوسط)، زیست‌تودهٔ قره‌داغ ۴۰۵۶ گرم (ریشهٔ تر) و ۲۰۲۵۰ گرم (برگ تر) ثبت شد، درحالی‌که اشنان در همین منطقه عملکرد کمتری نشان داد. درمقابل، در حسین‌آباد (EC پایین)، زیست‌تودهٔ اشنان ۶ برابر قره‌داغ بود. این تفاوت بیانگر تحمل بالاتر قره‌داغ به شوری و سازگاری اشنان به شرایط کم‌شورتر است. یافته‌ها تأکید می‌کنند که انتخاب گونه های سازگار با سطوح شوری خاک، نقش کلیدی در موفقیت پروژه‌های احیای اراضی شور و بیابان‌زدایی دارد. کشت ترکیبی این دو گونه با توجه به تنوع شوری خاک در مناطق خشک، به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود پایداری اکوسیستم پیشنهاد می‌شود. همچنین، ادغام این روش با مدیریت منابع آب و کاهش استفاده از روش‌های مهندسی پرهزینه، پایداری بلندمدت خاک را تضمین می‌کند. پژوهش‌های آینده باید بر تأثیر متقابل گونه‌های هالوفیت بر جوامع میکروبی خاک و پتانسیل آن‌ها در جذب کربن متمرکز شوند.

کلیدواژه‌ها: شوری خاک، نسبت جذب سدیم، گیاهان هالوفیت، احیای اراضی، اکوسیستم‌های خشک.

---

۱. دانشجوی مقطع مدیریت و کنترول بیابان دانشگاه یزد، یزد، ایران، aboozarkeshavarz@gmail.com

۲. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی- گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، hakim@yazd.ac.ir

۳. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی- گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، kkamali@yazd.ac.ir

۴. محقق مستقل، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران،motiesfandiari@gmail.com

DOI: 10.22052/deej.2025.256740.1103

مقدمه

بر پایهٔ گزارش‌های کنوانسیون بین‌المللی، مقابله با بیابان زایی سازمان ملل متحد، یک‌پنجم جمعیت جهان و یک‌چهارم از مساحت خشکی‌های کرهٔ زمین تحت‌تأثیر پدیدهٔ بیابان‌زایی قرار دارد. بر این اساس، اقدامات کشورها با هدف کاهش پیامدهای تغییرات اقلیمی، افزایش تنوع زیستی و درنهایت مهار فقر، نقشی حیاتی در حفظ اکوسیستم‌های جهانی ایفا خواهد کرد (کنوانسیون مبارزه با بیابان‌زایی در سازمان ملل متحد،[1] ۱۹۹۷). ازسوی دیگر، ایران با دارا بودن یکی از غنی‌ترین فلورهای گیاهی جهان، میزبان بیش از ۸۰۰۰ گونهٔ گیاهی شناسایی شده است که از این میان، ۳۵۴ گونه به گروه گیاهان شورپسند (هالوفیت) تعلق دارند و شمار آن‌ها روندی رو به رشد دارد. بررسی‌های امیراصلانی و همکاران (۲۰۱۳) نشان می‌دهد گونه‌های شورپسند توانایی کاهش شوری و سدیم خاک را داشته و کیفیت آن را برای کشت محصولات زراعی حساس به شوری بهبود می‌بخشند. این گیاهان همچنین مانع گسترش اراضی شور، تشدید بیابان‌زایی، حرکت شن‌های روان و فرسایش خاک می‌شوند (ربیعی و همکاران، ۲۰۱۲). با توجه به هزینه‌های بالای روش‌های مهندسی برای اصلاح خاک و چالش‌های فنی و مدیریتی مرتبط با آن‌ها، به‌کارگیری روش‌های بیولوژیک مانند کشت هالوفیت‌های مانند اشنان و قره‌داغ به‌عنوان راهکاری بهینه برای احیای اراضی شور و سدیمی مطرح است. مطالعات دیناروند و همکاران (۲۰۱۸) تأکید می‌کنند که آگاهی از وضعیت کنونی گونه‌های گیاهی هر منطقه و سازوکارهای سازگاری آن‌ها با تنش‌های شوری، دما و خشکی، نقش کلیدی در برنامه‌های مدیریتی، احیا و تثبیت بیولوژیک خاک ایفا می‌کند. از دیگر سو، حفظ سلامت خاک مستلزم نگهداشت مواد آلی، عناصر مغذی و ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری آن است (سانچز[2] و همکاران، ۱۹۸۳).

گیاهان کاشته‌شده قادرند بر روی فلور منطقه تأثیر بگذارند و بر خاکی که در آن رشد می کنند، اثراتی داشته باشند. اگرچه به نظر می‌رسد پوشش گیاهی در مناطق خشک و بیابانی ساده است، میان این گیاهان و همچنین با محیط اطراف آن‌ها روابط پیچیده‌ای وجود دارد. شناسایی و درک این روابط می‌تواند اطلاعات ارزشمندی دربارهٔ ساختار جوامع گیاهی در این نواحی ارائه دهد (ناصری و همکاران، ۲۰۲۰). در میان گونه‌های هالوفیت بومی بیابان‌های مرکزی ایران، اشنان و قره‌داغ به‌عنوان گونه‌های کلیدی شناخته می‌شوند که نه‌تنها در برابر شوری شدید خاک مقاومت می‌کنند، بلکه نقش مؤثری در بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیکی خاک‌های تخریب‌شده ایفا می‌کنند. این گیاهان با مکانیسم‌های تطابقی منحصربه‌فردی همچون دفع نمک ازطریق غدد ترشحی سطح برگ، تجمع ترکیبات اسمولیت (مانند پرولین و گلیسین بتائین)، و توسعهٔ سیستم ریشه‌ای عمیق، قادر به تحمل سطوح شوری تا ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر هستند (نجفی زیلائی و همکاران، a,b۲۰۲۲) تحقیقات میدانی نشان می دهد که کشت گیاهان هالوفیت در خاک های با شوری بالا پس از گذشت ده سال، موجب افزایش مواد آلی خاک می شود. این پدیده ازطریق تجمع بقایای گیاهی و افزایش فعالیت میکروارگانیسم های سازگار با شرایط شوری، به کاهش قلیائیت و بهبود نفوذپذیری خاک کمک می‌کند (ناصری و همکاران، ۲۰۲۰).

اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) گیاهی از خانوادهٔ اسفناجیان است که در استان های مختلف ایران، به‌ویژه در زیستبوم‌های شور و بیابانی رشد می‌کند (مظفری، ۲۰۰۰). این گیاه می تواند به صورت یک‌ساله یا چندساله باشد و دارای ساقه‌های چوبی و شکننده با ارتفاع تا ۲ متر و قطر تاج تا ۱/۵ متر است. دورهٔ گل‌دهی اشنان از شهریور تا مهر و زمان رسیدن بذور آن آبان‌ماه است. اشنان به شوری و خشکی مقاوم است و می‌تواند در خاک‌هایی با شوری بالای ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر زنده بماند (بویاقچی و همکاران، ۲۰۱۷؛ حیدری و همکاران، ۲۰۱۴). مکانیسم مقاومت آن مبتنی بر بردباری[3] است؛ بدین صورت که املاح خاک را جذب و در اندام‌های هوایی (به‌ویژه برگ‌ها) ذخیره می‌کند تا با ایجاد فشار اسمزی بالا، جذب آب را تسهیل نماید (باغستانی میبدی و تقی‌زاده، ۲۰۰۹). قره‌داغ (*Nitraria schoberi*) نیز درختچه‌ای خاردار است که به‌طور عمده در تپه‌های ماسه‌ای نزدیک دریاچه‌ها رشد می‌کند (یگانه و سعادتی، ۲۰۱۶). این گونه ارتفاعی بین ۱ تا ۱/۵ متر دارد و

1. Desertification on Conference Nations United
2. Sanchez
3. Tolerance

قادر به تحمل دماهای بسیار بالا و پایین است محدودهٔ تحمل دمایی آن از ۲۸- تا ۴۴+ درجهٔ سانتی‌گراد (محدودهٔ ۷۲ درجه‌ای) و گسترش آن در خاک‌های شور با هدایت الکتریکی ۵ تا ۷۵ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است (حسن‌زاده و خوشبخت، ۲۰۱۷). قره‌داغ به آب‌وهوای خاصی نیاز دارد و به‌عنوان گیاه به‌ساز[1] در پروژه‌های احیای اراضی و طراحی منظر در مناطق خشک معرفی شده است (ناصری، ۲۰۱۱).

با توجه به نقش کلیدی گیاهان شورپسند و بحران بیابان‌زایی در ایران، این پژوهش با هدف توسعهٔ کشت اشنان و قره‌داغ برای حفظ اراضی زراعی و طبیعی مناطق خشک در برابر شوری و بیابانی شدن، و با تمرکز بر بررسی زیست‌تودهٔ این گیاهان در پنج رویشگاه دشت اردستان، گنبد نمک قم، فخره، حسین‌آباد و پارک جنگلی کاشان طراحی شده است.

مواد و روش‌ها

۱. موقعیت مناطق مورد مطالعه

الف) دشت گنبد نمکی قم

این منطقه در فاصلهٔ ۲۰ کیلومتری غرب شهر قم، در مسیر جادهٔ جعفریه واقع شده و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۹۳۰ متر است. براساس داده‌های اقلیمی، متوسط حداقل دمای سردترین ماه سال ۱۶/۵ درجهٔ سانتی‌گراد و متوسط حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال ۴۲/۵ درجهٔ سانتی گراد گزارش شده است. میانگین بارندگی سالانه این منطقه ۱۴۰ میلی‌متر است. طبقه‌بندی اقلیمی منطقه با استفاده از روش‌های مختلف نشان می‌دهد که این منطقه دارای اقلیمی خشک و نیمه‌بیابانی با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نسبتاً سرد است. نوسان دمای سالانه قابل توجه و خشکی هوا غالباً مشهود است.

در دشت گنبد نمکی قم غالب‌ترین تیپ گیاهی، جوامع هالوفیتی فوق مقاوم است که در پی شوری شدید خاک (با میزان EC تا ۱۹۱ دسی‌زیمنس بر متر)، رسوبات تبخیری و آب‌های زیرزمینی شور شکل گرفته‌اند. ترکیب پوشش گیاهی این منطقه عمدتاً به‌وسیلهٔ گونه‌های شاخص شورپسند مشخص می‌شود، به‌طوری‌که *Suaeda* spp. (سوئدا) با سهم ۳۰/۷ درصد، فراوان‌ترین گونه محسوب می‌شود و پس از آن *Halocnemum strobilaceum* (گز شور) با ۱۵/۰ درصد، *Seidlitzia rosmarinus* (اشنان) با ۱۱/۲ درصد به‌عنوان مقاوم‌ترین گونه‌ها و همچنین *Tamarix* spp. (گز) و *Salsola* spp. (علف شور) به‌ترتیب با ۹/۱ درصد و ۶/۴ درصد قرار دارند که درمجموع بیش از ۷۰ درصد از پوشش گیاهی را تشکیل می‌دهند. گونه‌های همراه مانند *Aeluropus lagopoides* (پیش‌گام) با ۳۸/۲ درصد پوشش در نواحی با شوری متوسط، *Alhagi* spp. (خارشتر) با ۱۰/۳ درصد در حاشیه‌ها و *Artemisia* spp. (درمنه) با ۸/۷ درصد، سهم آن‌ها به‌شدت تحت‌تأثیر غلظت نمک، عمق آب زیرزمینی و ویژگی‌های بافت سنگین خاک رس این منطقه قرار دارد (رحمت‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴).

ب) بیابان‌های جنوب کاشان (فخره، حسین‌آباد و پارک جنگلی)

این محدوده در حاشیهٔ جنوب غربی کویر مرکزی ایران قرار دارد و از شمال به دریاچهٔ نمک آران و بیدگل، از غرب به شهرستان کاشان، از جنوب به شهرستان نطنز و از شرق به شهرستان اردستان محدود می‌شود. ارتفاع متوسط آن ۹۱۲ متر از سطح دریا و در مختصات ۵۱ درجه و ۲۹ دقیقهٔ طول جغرافیایی و ۳۴ درجه و ۱۴ دقیقهٔ عرض جغرافیایی است. آب‌وهوای منطقهٔ گرم و خشک با تابستان‌هایی بسیار داغ (حداکثر دمای ۴۸ درجهٔ سانتی‌گراد) و زمستان‌هایی سرد (حداقل دمای ۷- درجهٔ سانتی‌گراد) توصیف می‌شود.

پوشش گیاهی بیابان‌های جنوب کاشان عمدتاً از گونه‌های خشکی‌پسند و شورزی تشکیل شده است که به‌خوبی با شرایط اقلیمی خشک و خاک‌های شنی-رسی سازگارند. گونه‌های غالب این منطقه شامل اسکنبیل‌ها (*Salsola* spp.) نظیر *Salsola crassa*، *Salsola kali* و *Salsola tomentosa* و همچنین تاغ (*Haloxylon aphyllum*) هستند که به‌عنوان گونه‌های پایه در تثبیت ماسه‌های روان نقش بسزایی دارند. درمنهٔ دشتی (*Artemisia sieberi*) و خارشتر (*Alhagi maurorum*) نیز از هم‌نشینان رایج این اکوسیستم به شمار می‌روند. سایر گونه‌های بارز مانند سگ دندان (*Cornulaca monacantha*)، نتر (*Stipagrostis plumosa*)، دم‌گاوی (*Smirnovia iranica*) و خولی (*Zygophyllum eichwaldii*) سهم چشمگیری در ترکیب

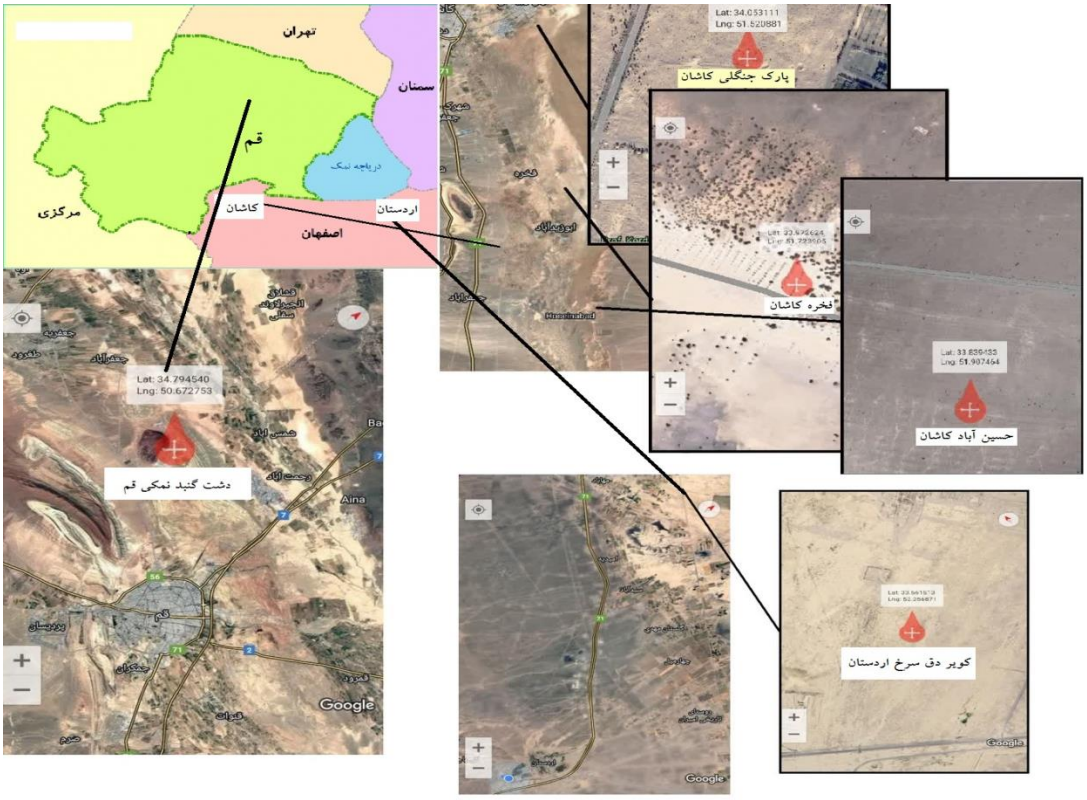
1. Phyto-ameliorator

گیاهی منطقه ایفا می کنند. به طور کلی، پوشش گیاهی این ناحیه پراکنده و فقیر است؛ به‌ویژه در نواحی مرکزی تپه‌های ماسه‌ای که فرسایش بادی شدید، مانع از استقرار پایدار گیاهان می شود (آذرنیوند و دستمالچی، ۲۰۰۰).

ج) کویر دق سرخ اردستان

این کویر در شمال شرقی اصفهان و مجاورت کویر مرکزی نمک واقع شده است. مختصات جغرافیایی آن ۳۳ درجه و ۳۳ دقیقهٔ عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۹ دقیقه و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۲۰۹ متر است. میانگین بارندگی سالانه ۱۱۷/۵ میلی‌متر و براساس طبقه‌بندی گوسن، در اقلیم استپی گرم و خشک قرار می‌گیرد.

در کویر دق سرخ اردستان، تیپ گیاهی غالب شامل اجتماعات نیمه بیابانی شورپسند (هالوفیت) است که عمدتاً توسط تاغ (*Haloxylon ammodendron*) شکل می‌گیرد. این گونه به‌عنوان عاملی پایدارکننده برای تپه‌های ماسه‌ای، بخش عمده‌ای از پوشش گیاهی چندساله را در مناطق مشجر به خود اختصاص می‌دهد. از گونه‌های همراه مهم می‌توان به اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) که در خاک‌های شور رسی با پوسته‌ای نمکی سطحی رشد می‌کند، و همچنین گز (*Tamarix* spp.) در حاشیه‌های کم‌شورتر نزدیک منابع رطوبتی و علف شور (*Salsola* spp.) و آسمانی (*Anabasis* spp.) در مناطق با شوری متوسط و رطوبت فصلی، که پوشش پراکنده‌ای دارند، اشاره کرد. در نواحی ماسه‌ای حاشیه‌ای، گونه‌های شن‌دوست مانند اسکنبیل (*Calligonum* spp.) و سبط (*Stipagrostis plumosa*) دیده می‌شوند، اما به‌دلیل تحرک ماسه و خشکی، پوشش آن‌ها بسیار محدود است. در دق‌های مرکزی (کفه‌های نمکی)، به‌سبب شوری شدید و اشباع نمکی، هیچ‌گونه پوشش گیاهی وجود ندارد.



شکل (۱): موقعیت مناطق مورد مطالعه

Figure (1): Location of the study areas

مکان‌های انتخاب‌شده در این پژوهش به‌طور عمده بر مبنای دو گرادیان اکولوژیکی کلیدی، یعنی گرادیان شوری خاک (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR)، انتخاب شده‌اند. این انتخاب به‌دلیل تنوع قابل توجه در سطوح شوری و سدیم در مناطق مختلف صورت گرفته است؛ به ویژه مناطق حسین‌آباد، قم و پارک جنگلی کاشان، و اردستان به عنوان نقاطی با سطوح

مختلف شوری خاک شناسایی شده‌اند که به‌ترتیب دارای کمترین، متوسط و بالاترین شوری هستند. این تنوع در شوری (از EC = 5.33–5.39 dS/m در حسین‌آباد تا EC = 52.17–85.53 dS/m در اردستان) و تفاوت‌های معنادار در نسبت جذب سدیم (SAR) (که از ۶۰۲/۰۲–۷/۰۲ در حسین آباد تا ۱۱۴–۱۵۹/۴ در اردستان متغیر است) امکان بررسی تأثیرات مختلف این عوامل بر روی رشد و زیست‌تودهٔ دو گونهٔ هالوفیت (*Seidlitzia rosmarinus* و *Nitraria schoberi*) را فراهم می‌کند. به‌علاوه، این مناطق به‌عنوان هات‌اسپات‌های شوری در بیابان‌های مرکزی ایران شناخته می‌شوند و ویژگی‌های طبیعی آن‌ها به‌طور مستقیم با هدف اصلی پژوهش، که بررسی پاسخ گیاهان به تنش شوری است، هم راستا می باشد؛ درنتیجه، انتخاب مکان‌ها به‌گونه‌ای انجام شده که بتوان از آن‌ها به عنوان نمونه‌هایی برای مطالعهٔ تأثیرات شوری و سدیم بر اکوسیستم‌های گیاهی استفاده کرد.

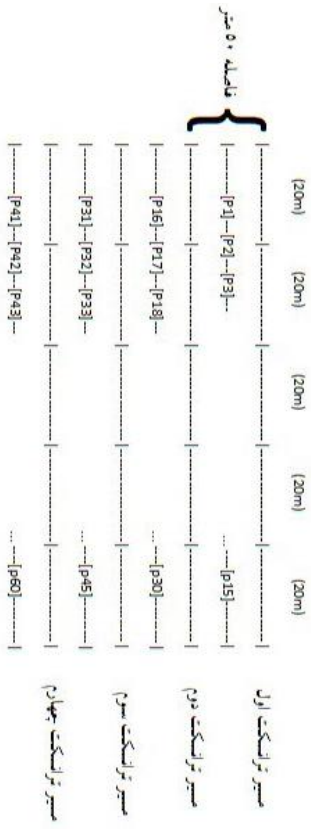
۲. بررسی زیست‌توده

بررسی میدانی و اندازه‌گیری زیست‌توده مطابق با یک روش قوی و یکپارچه انجام می‌گردد: به‌طور کلی، مساحت هر قطعه ۲۵ متر مربع باشد (آلبرتو و آنگلاین،[1] ۲۰۱۱) و برای هر گونهٔ درختچه‌ای (shrub)، ۱۰ پایه به‌عنوان حداقل تعداد برای تحقیقات و محاسبات بیوماس برداشت و توزین شد (جنیدی و همکاران، ۲۰۱۵؛ وانگ[2] و همکاران، ۲۰۲۱). این تعداد پایه کمک می‌کند تا دقت و اعتبار معادلات بیوماس و روابط بین بیوماس و متغیرهای اندازه‌گیری‌شده افزایش یابد. این توصیه براساس استانداردهای علمی و تجربه های گذشته در مطالعات بیوماس درختان و درختچه‌هاست (وانگ و همکاران، ۲۰۲۱). زیست‌تودهٔ روی زمین عمدتاً شامل (برگ، ساقه، انشعابات، ریشه و...) است. در دوران گل و میوه، گل و میوه را نیز شامل می‌شود و زیست‌تودهٔ زیرزمینی با حفاری کامل ریشه تعیین می‌گردد (نام و بریل،[3] ۲۰۱۶). برای آماربرداری از روش ترانسکت–پلات استفاده شد و تعداد پلات ها برای هریک از رویشگاه‌ها ۶۰ پلات در نظر گرفته شد (باغستانی، ۲۰۰۸). انتخاب ۶۰ پلات براساس اصول آماری به منظور کاهش خطای استاندارد و ایجاد قدرت آماری کافی برای شناسایی تفاوت های معنادار بین محدوده ها انجام شده است. این انتخاب به پوشش جامع طیف تغییرپذیری ذاتی اکوسیستم، نظیر تنوع خاک و رطوبت، کمک کرده و منجر به تخمین‌های دقیق‌تر و قابلیت تعمیم‌پذیری بالاتر نتایج می‌شود. طول ترانسکت‌ها با توجه به شرایط منطقهٔ کاشت و وسعت آن، ۳۰۰ متر تعیین شد. تعیین طول ترانسکت با در نظر گرفتن شرایط خاص منطقه، شامل وسعت و ناهمگونی محیطی، نمایندگی اکولوژیکی کافی از تغییرات محیطی را تضمین کرده و ملاحظات عملی اجرا را نیز مد نظر قرار داده است. این دو پارامتر به‌صورت هماهنگ تعادلی بهینه بین شدت نمونه برداری و گسترهٔ پوشش مکانی ایجاد کرده و توزیع ۱۵ پلات در طول ۳۰۰ متر، استقلال نمونه‌ها و پوشش تغییرات ریزمقیاس را ممکن می‌سازد و درنهایت اعتبار و قابلیت اطمینان داده‌های اکولوژیکی جمع‌آوری‌شده را تضمین می‌کند.

اولین ترانسکت به‌صورت تصادفی انتخاب شده و بقیه به موازات آن قرار گرفتند. در هر رویشگاه، ۴ ترانسکت ۳۰۰ متری با آزیموت یکسان و فاصلهٔ ۵۰ متر از یکدیگر مستقر شد و آماربرداری به‌صورت تصادفی سیستماتیک انجام گردید. در روی هریک از ترانسکت‌ها، تعداد ۱۵ پلات با فاصلهٔ ۲۰ متر از همدیگر، مستقر شد. سطح پلات‌ها ۳۰ متر مربع (۶×۵ متر مربع) در نظر گرفته شد. این سطح امکان **پوشش ساختار جامعهٔ گیاهی** (ترکیب گونه‌ای، پراکنش مکانی و حداقل ۱۰ بوتهٔ سالم) و **کاهش اثر لبه‌ای** را فراهم می‌کند. استقرار پلات‌ها در نقاط تصادفی به‌گونه‌ای بود که طول پلات عمود بر ترانسکت بوده و ترانسکت از وسط پلات عبور کرده است. به‌طور کلی در پنج منطقهٔ مورد مطالعه، تعداد ۲۰ ترانسکت و ۳۰۰ پلات به کار برده شد (شکل ۲).

در هریک از پلات ها، پس از شناسایی گونه های گیاهی و شمارش پایه‌ها، درصد تاج پوشش گونه‌های موجود در پلات به‌صورت تخمین بصری اندازه‌گیری شده و براساس داده‌های به‌دست‌آمده از پلات‌ها، شاخص‌های مورد نظر محاسبه گردید.

1. Alberto & Angelina
2. Wang
3. Namm & Berrill



شکل (۲): طرح‌وارهٔ نحوهٔ استقرار شبکهٔ نمونه‌برداری
Figure (2): Schematic of Sampling Network Design

۳. بررسی تاج‌پوشش گیاهی و ترکیب گونه‌ها

در هر پلات، گونه‌های گیاهی شناسایی و تعداد پایه های هر گونه شمارش شد. اندازهٔ تاج‌پوشش هر پایه به‌صورت تخمین بصری ثبت و درصد پوشش گیاهی (به تفکیک گونه و لاشبرگ) محاسبه گردید. درصد ترکیب گونه‌ها نیز براساس داده‌های تاج‌پوشش تعیین شد.

۴. نمونه‌برداری از خاک

برای هر رویشگاه تعداد ۴ پروفیل خاک حفر و نمونه‌های خاک از دو عمق ۰–۲۰ و ۲۰–۴۰ سانتی متری با چهار تکرار برداشت شد (۳۲ نمونه برای هر رویشگاه و درکل، تعداد ۱۶۰ نمونه خاک برای ۵ رویشگاه). نمونه‌های خاک به‌صورت ترکیبی از کل سطح پلات (شامل زیر گیاهان و فواصل بین لکه‌ها) برداشت شده‌اند. پس از هواخشک شدن و عبور از الک دومیلی‌متری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل هدایت الکتریکی EC به روش عصارهٔ اشباع (موسا،[1] ۱۹۸۵) و pH با دستگاه pH سنج اندازه‌گیری شد. مابقی پارامترهای اندازه‌گیری‌شده شامل کربنات کلسیم معادل (T.N.V[2])، کربن آلی (O.C[3])، ازت، پتاسیم، فسفر، نفوذپذیری خاک به‌صورت درصد وزن (SP(%W)[4])، نفوذپذیری خاک به‌صورت درصد حجم SP(%V)[5])، ظرفیت مزرعه (F.C[6])، نقطهٔ پژمردگی دائم (P.W.P[7])، ظرفیت نگهداری آب (P.A.W[8])، شن، سیلت، کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، نسبت جذب سدیم هستند (توماس،[9] ۱۹۸۲).

۵. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و رسم جداول در نرم‌افزار Excel صورت گرفت. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها اختلاف بین سطوح مختلف تیمارها با آزمون تجزیهٔ واریانس و درنهایت اختلاف میانگین‌ها با آزمون دانکن (۰/۰۵= α) بررسی شد.

نتایج

نتایج حاصل از تحلیل واریانس (جدول ۱) تأثیر معنادار گرادیان شوری خاک بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در پنج رویشگاه مورد مطالعه را نشان می دهد. این گرادیان که عمدتاً توسط پارامترهای کلیدی مانند هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) تعریف می‌شود، تغییرات مکانی چشمگیری را در خواص خاک ایجاد کرده است. به طور مشخص، پارامترهای EC، pH و T.N.V (کربنات کلسیم معادل) به‌طور معناداری تحت‌تأثیر موقعیت رویشگاه‌ها قرار گرفتند که نشان‌دهندهٔ این است که تغییرات شوری و سدیمی شدن خاک در مقیاس منطقه‌ای (بین رویشگاه‌ها) عامل اصلی تفاوت در ویژگی‌های خاک است. برای مثال، رویشگاه‌های با شوری بالا (مانند اردستان و فخره) دارای EC بسیار بالاتر (۵۲–۸۵ dS/m) و SAR قابل توجه (تا ۱۵۹) بودند، درحالی‌که مناطق کم‌شورتر (حسین‌آباد) مقادیر پایین‌تری را نشان دادند. این گرادیان شرایط نامتعادلی را برای جذب آب و عناصر غذایی ایجاد کرده و مستقیماً بر رشد گیاهان تأثیر می گذارد. درمقابل، تغییرات عمودی خاک (در عمق های ۰–۲۰

1. Mossa

2. Calcium Carbonate Equivalent
3. Organic carbon
4. Soil permeability as a percentage of weight
5. Soil permeability as a percentage of volume
6. Field Capacity
7. Permanent wilting point
8. *Plant available water*
9. Thomas

و ۲۰–۴۰ سانتی‌متری) تأثیر محدودی بر پارامترهای خاک داشت و تنها ظرفیت نگهداری آب (PAW) در عمق معنی دار بود که احتمالاً ناشی از تجمع مواد آلی یا ریشه‌ها در لایه‌های سطحی است. این یافته تأکید می‌کند که تنوع محیطی افقی (بین رویشگاه‌ها) بسیار قوی‌تر از تغییرات عمودی است. به عبارت دیگر، گرادیان شوری در سطح منطقه‌ای عامل تعیین‌کننده‌تری نسبت به تغییرات عمقی در پروفیل خاک می‌باشد.

بررسی داده‌های جدول (۲) نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی EC و اسیدیته pH خاک در دو عمق ۰–۲۰ و ۲۰–۴۰ سانتی‌متری در مناطق مورد مطالعه از تنوع چشمگیری برخوردار است. بیشترین میزان شوری (EC) در مناطق فخره (۵۶ تا ۸۵ دسی‌زیمنس بر متر) و اردستان (۵۲ تا ۸۱ دسی‌زیمنس بر متر) ثبت شد که بیانگر شرایط نامطلوب برای رشد گیاهان و کاهش حاصلخیزی خاک است. درمقابل، منطقهٔ حسین‌آباد با محدودهٔ EC بین ۵/۳۳ تا ۵/۳۹ دسی‌زیمنس بر متر، کمترین شوری را نشان داد که حاکی از کیفیت بهتر خاک ازنظر غلظت نمک است. مناطق قم و پارک جنگلی کاشان نیز با مقادیر EC بین ۱۸/۲۹ تا ۲۴ دسیزیمنس بر متر در سطح متوسطی قرار داشتند. pH خاک در تمامی مناطق در محدودهٔ خنثی تا کمی قلیایی (۷/۱۸ تا ۸/۱۷) قرار داشت که نشان‌دهندهٔ نبود محدودیت جدی ازنظر اسیدیته برای رشد گیاهان است. منطقهٔ اردستان با SAR سطحی ۱۵۹/۴ به‌عنوان بالاترین مقدار، نشان‌دهندهٔ خاکی با شوری و سدیمی بالا بود. پس از آن، فخره با SAR بین ۶۳/۹۳ تا ۱۱۷/۷ در جایگاه بعدی قرار گرفت. درمقابل، حسین‌آباد با SAR بین ۶/۰۱۵ تا ۷/۰۲ کمترین مقدار را داشت که بیانگر کیفیت مناسب خاک این منطقه است. مناطق قم و پارک جنگلی کاشان نیز ازنظر SAR در سطح متوسطی قرار داشتند.

به‌طور کلی درخصوص ویژگی‌های خاک، مناطق اردستان و فخره با شوری بالا و SAR قابل توجه، در معرض چالش‌های جدی برای کشت و رشد گیاهان قرار دارند. درمقابل، حسین‌آباد به‌عنوان منطقهٔ بهینه ازنظر شوری و سدیم شناخته شد، درحالی‌که قم و پارک جنگلی کاشان در شرایط متوسطی قرار داشتند.

کربن آلی (OC) یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت خاک و تولید زیست‌تودهٔ گیاهی است. در جداول (۲، ۳ و ۴)، مقایسهٔ میانگین صفات مرتبط با خاک و زیست‌توده در ایستگاه‌های مختلف نشان‌دهندهٔ تأثیرات متفاوت OC بر ویژگی‌های خاک و زیست‌تودهٔ گیاهی است. با توجه به نتایج جداول ارائه شده، در میان خصوصیات مختلف خاک، کربن آلی به عنوان یکی از عوامل محدودکنندهٔ رشد گیاهان در نواحی با شوری بالا مطرح است. کمبود محتوای کربن آلی در خاک های شور به معنای کاهش ساختار خاک و درنتیجه پایین آمدن ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی است که این مسئله به‌طور مستقیم بر روی زیست تودهٔ گیاهان تأثیر می گذارد (کای،[1] ۱۹۹۸). نتایج مطالعه نشان می‌دهند که گونه‌های اشنان و قره‌داغ به‌صورت متفاوتی به شرایط شوری خاک واکنش نشان می‌دهند؛ به‌ویژه با افزایش شوری (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR)، شاهد کاهش معنادار زیست تودهٔ گیاه اشنان بودیم، درحالی‌که قره‌داغ در این شرایط به‌طور قابل ملاحظه‌ای توانست رشد بیشتری نشان دهد. این تفاوت‌های مشاهده‌شده ناشی از سازگاری‌های فیزیولوژیک متفاوت این دو گونه است. اشنان در شرایط کم شوری و با غلظت های بالای کربن آلی قادر به تولید زیست تودهٔ بالاتری است. بااین حال، در شرایط شور و با محتوای پایین کربن آلی، به سرعت تحت تأثیر منفی شوری قرار می گیرد. در این مطالعه، مناطق با شوری متوسط تا پایین، مانند حسین آباد، به نفع اشنان و جذب بالاتر کربن آلی بود. برعکس، قره داغ در شرایط شوری بالا بهتر عمل می کند و توانسته است در مناطقی با شوری شدید، مانند اردستان و قم، زیست تودهٔ بیشتری تولید کند. این امر نشان می دهد که این گونه به احتمال زیاد مکانیزم‌های خاصی مانند دفع نمک و جذب ترکیبات اسمولیت را به کار می برد که موجب می شود تحت شرایط نامساعد، به رشد خود ادامه دهد.

کشت هالوفیت ها مانند اشنان و قره داغ با افزایش بقایای گیاهی و ریشه ای، مواد آلی خاک را بهبود می بخشد. این فرایند نه تنها کربن آلی خاک را افزایش می دهد، بلکه نفوذپذیری و ظرفیت تبادل کاتیونی را نیز تقویت می‌کند (شیائو[2] و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین تجمع مواد آلی منجر به تشکیل کمپلکس‌های آلی–معدنی می شود که ذرات خاک را تثبیت کرده و از فرسایش جلوگیری می‌کند (بالدوک و اسکجمستاد،[3] ۲۰۰۰). این امر در مناطق بیابانی مانند اردستان و فخره حیاتی است.

1. Kay
2. Xiao
3. Baldock & Skjemstad

جدول (۱): تجزیهٔ واریانس خصوصیات خاک در رویشگاه‌های مختلف و در دو عمق مورد بررسی

Table (1): Analysis of variance of soil properties in different habitats and at two studied depths

		EC	pH	T.N.V	O.C	N	K	P	S.A.R	P.A.W
		dSm		%	%	%	%	%	(mmolL-)0.5	%V
رویشگاه	4	7575.89**	1.034**	38.32**	0.063	0.0004	305054.8**	9.121**	17843*	36.891**
عمق	1	60.96	0.253	0.456	0.032	0.0001	2120.954	1.652	1204.177	12.656*
رویشگاه*عمق	4	879.934	0.066	4.781	0.036	0.0002	11920.51	0.19	3983.036	6.28
خطا	30	659.728	0.096	9.189	0.093	0.002	15282.2	0.806	5648.073	3.9
ضریب تغییرات		7.1	4	16	10.8	9.6	43	28	91	40

** در سطح یک درصد معنی‌دار است؛ * در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

جدول (۲): مقایسهٔ میانگین صفات مرتبط با خاک

Table (2): Comparison of average soil-related traits

	عمق نمونه	EC	O.C	N	K	P	pH	S.A.R	T.N.V	P.A.W
واحد	(cm)	dSm	%	%	%	%		(mmolL-)0.5	%	%V
فخره	0-20	56.67ab	0.188a	0.0175cd	135.9b	2.475cd	7.18d	63.92ab	15.46bc	3.325bc
	20-40	85.53a	0.255a	0.0175cd	213.4b	2.6cd	7.19d	117.7ab	14.86c	3.525bc
حسین‌آباد	0-20	5.332d	0.169a	0.015cd	193.1b	4.475ab	7.382cd	6.015b	16.59abc	3.925bc
	20-40	5.392d	0.191a	0.015cd	211.3b	5.35a	7.395cd	7.02b	15.51bc	4.225bc
اردستان	0-20	81.97a	0.375a	0.035a	666a	2.027d	7.453cd	159.4a	17.95abc	8.675a
	20-40	52.17abc	0.211a	0.0175cd	595.5a	2.21cd	7.795abc	114ab	20.72a	8.6a
قم	0-20	18.29bcd	0.11a	0.0125d	163.9b	3.025cd	8.11ab	96.54ab	19.69abc	6.175ab
	20-40	11.15cd	0.141a	0.0125d	181.1b	3.575bc	8.17a	92.31ab	19.14abc	3.625bc
پارک	0-20	24.05bcd	0.34a	0.0275b	306.5b	2.95cd	7.293cd	112.7ab	19.6abc	5.375b
	20-40	19.74bcd	0.198a	0.02c	191.1b	3.25bcd	7.662bcd	52.65ab	20.15ab	1.875c

** در سطح یک درصد معنی‌دار است؛ * در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

جدول (۳) به تحلیل میانگین مربعات تأثیر رویشگاه و گونه بر صفات مرتبط با زیست‌توده می‌پردازد. نتایج نشان داد که تمامی مقادیر میانگین مربعات برای عوامل مربوط به رویشگاه (از جمله درصد تاج‌پوشش، قطر تاج‌پوشش و...) در سطح یک درصد معنی‌دار شده‌اند که این امر نشان‌دهندهٔ تأثیر قوی و معنادار این عامل بر روی این صفات است. در مورد گونه، بعضی از صفات مانند درصد تاج‌پوشش و وزن برگ تر تأثیر معناداری در سطح یک درصد دارند، درحالی‌که برای برخی دیگر از صفات تأثیر معناداری مشاهده نمی‌شود (وزن ریشهٔ تر و خشک و ...). تعامل بین رویشگاه و گونه، نشان‌دهندهٔ تأثیرات معنادار رویشگاه و گونه بر روی صفات مختلف زیست توده و نیز تعامل بین این دو عامل است.

مقایسهٔ زیست‌توده دو گونهٔ قره‌داغ و اشنان در پنج رویشگاه مختلف (جدول ۴) نشان‌دهندهٔ تفاوت‌های معنادار در پارامترهای مرتبط با رشد است. این پارامترها شامل قطر تاج‌پوشش، درصد تاج‌پوشش، وزن ریشهٔ خشک و تر، وزن شاخهٔ خشک و تر، وزن برگ خشک و تر، و وزن لاشبرگ هستند. در رویشگاه فخره گونهٔ اشنان با وزن ریشهٔ تر ۱۲۱۰ گرم و وزن برگ تر ۱۷۰۹ گرم، برتری واضحی نسبت به قره‌داغ (به‌ترتیب ۳۸۱/۵ و ۷۸۹ گرم) داشت. بااین‌حال، قطر تاج‌پوشش دو گونه اختلاف محسوسی نشان نداد (۱۰۰/۹ سانتی‌متر در قره‌داغ و ۱۱۴/۸ سانتی‌متر در اشنان). در رویشگاه حسین‌آباد زیست‌تودهٔ اشنان در تمامی شاخص‌ها به‌طور چشمگیری بالاتر بود؛ برای مثال وزن ریشهٔ تر اشنان (۱۰۹۶

گرم) حدود ۶ برابر بیشتر از قره‌داغ (۱۷۱/۴ گرم) و وزن برگ تر آن (۱۷۵۷ گرم) حدود ۵ برابر بیشتر (۳۶۰/۵ گرم) ثبت شد. در رویشگاه اردستان گونهٔ اشنان با وزن ریشهٔ تر ۹۱۶/۷ گرم و وزن برگ تر ۱۵۹۶ گرم، عملکرد بهتری نسبت به قره‌داغ (۲۳۸/۶ و ۳۹۳ گرم) داشت. در رویشگاه قم، قره‌داغ با وزن ریشهٔ تر ۴۰۵۶ گرم و وزن برگ تر ۲۰۲۵۰ گرم، بیشترین زیست‌توده را در میان تمام نمونه‌ها نشان داد. این درحالی است که اشنان با ۲۳۸۵ گرم ریشهٔ تر و ۶۷۱۴ گرم برگ تر، عملکرد ضعیف‌تری داشت. در پارک جنگلی کاشان اگرچه وزن ریشه و برگ تر دو گونه تفاوت محسوسی نداشت (۲۹۴/۱ گرم در قره‌داغ مقابل ۶۶۳/۸ گرم در اشنان)، تجمع لاشبرگ در اشنان (۱۳۲ گرم) نسبت به قره‌داغ (۶۲/۱ گرم) بالاتر بود. به‌طور کلی بررسی مقادیر نشان داد که گونهٔ اشنان در بیشتر رویشگاه‌ها نسبت به قره‌داغ دارای زیست‌تودهٔ بیشتری است.

بررسی همبستگی بین شوری خاک EC و SAR با زیست‌تودهٔ گیاهی نیز نشان داد که در مناطقی با شوری و سدیم بالا (مانند اردستان و قم)، گونهٔ قره‌داغ در برخی موارد زیست‌تودهٔ بیشتری تولید کرد. این موضوع حاکی از تحمل بالاتر قره‌داغ به شوری در مقایسه با اشنان است. برای مثال، در منطقهٔ قم با EC متوسط، قره‌داغ به‌طور قابل توجهی بر اشنان برتری داشت. ازسوی دیگر، اشنان در مناطق با شوری پایین (حسین‌آباد) یا متوسط (پارک جنگلی کاشان) عملکرد بهتری نشان داد که بیانگر حساسیت این گونه به غلظت بالای نمک است.

جدول (۳): میانگین مربعات تأثیر رویشگاه و گونه بر صفات مرتبط با زیست‌توده

Table (3): Mean square of the effect of habitat and species on biomass-related traits

	درجهٔ آزادی	درصد تاج‌پوشش	قطر تاج‌پوشش	ریشهٔ تر	ریشهٔ خشک	شاخهٔ تر	شاخهٔ خشک	برگ تر	برگ خشک	لاشبرگ
رویشگاه	4	1753**	125811**	27756396**	15363553**	109299083**	64696826**	611666711**	146237458**	713262**
گونه	1	823.7**	43639**	907942.2	428749	13784513**	9466391**	99574857**	25673577**	56131*
رویشگاه*گونه	4	804.5**	39747**	5564625**	3306585**	36828090**	23923836**	209349433**	51473273**	464798**
خطا	90	29.468	2230	578172	309147	1783408	1020620	6254821	1431524	10951
ضریب تغییرات		6.9	13.5	6.7	7.9	8.2	8.1	7	6.8	6.1

** در سطح یک درصد معنی‌دار می باشد * در سطح ۵ درصد معنی‌دار می باشد

جدول (۴): مقایسهٔ میانگین صفات مرتبط با زیست‌توده در رویشگاه‌های مختلف و گونه‌های مورد مطالعه

Table (4): Comparison of average traits related to biomass in different habitats and studied species

	گونهٔ گیاهی	درصد تاج‌پوشش		قطر تاج‌پوشش		ریشهٔ تر		ریشهٔ خشک		شاخهٔ تر		شاخهٔ خشک		برگ تر		برگ خشک		لاشبرگ	
فخره	قره‌داغ	2.78	c	100.9	cd	381.5	d	288.2	d	405.2	c	307.7	c	789.2	c	408	c	47.7	cd
	اشنان	4.09	c	114.8	cd	1210	c	921.3	c	819	c	631.5	c	1709	c	804.8	c	138.6	bc
حسین‌آباد	قره‌داغ	2.33	c	89.1	d	171.4	d	128.9	d	186.3	c	140.2	c	360.5	c	186.7	c	25.3	d
	اشنان	4.14	c	109.6	cd	918.4	cd	685.5	cd	808.9	c	605.9	c	1757	c	840.2	c	123.2	bcd
اردستان	قره‌داغ	2.85	c	101.6	cd	238.6	d	180.8	d	355.7	c	266.2	c	393.7	c	193	c	27.7	d
	اشنان	3.08	c	100.6	cd	916.7	cd	681.6	cd	1004	c	786	c	1596	c	824.8	c	124.5	bcd
قم	قره‌داغ	38.5	a	379.3	a	4056	a	3046	a	8589	a	6711	a	20250	a	9954	a	803	a
	اشنان	10.44	b	185.5	b	2385	b	1743	b	3003	b	2192	b	6714	b	3221	b	210.6	b
پارک	قره‌داغ	6.73	bc	138	c	294.1	d	210.9	d	403.9	c	294.6	c	1145	c	544.8	c	62.1	cd
	اشنان	2.74	c	89.5	d	663.8	cd	478.3	cd	593.1	c	427.7	c	1181	c	528.5	c	132	bcd

بحث و نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های این پژوهش، تفاوت‌های معنی‌دار بین رویشگاه‌ها در ویژگی‌های خاک و زیست‌تودهٔ گیاهی نشان می‌دهد که عوامل محیطی، به‌ویژه شوری (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR)، نقش کلیدی در تعیین الگوی رشد گونه های مرتعی مانند قره‌داغ و اشنان ایفا می‌کنند. نتایج جدول (۱) تأکید می‌کند که رویشگاه تأثیر بیشتری نسبت به عمق خاک بر پارامترهایی مانند EC، pH و T.N.V دارد. این یافته با پژوهش‌های پیشین همسو است که نشان می‌دهند تغییرات مکانی در ویژگی‌های خاک، به‌ویژه در مناطق خشک، می‌تواند به‌شدت بر پراکنش و عملکرد گیاهان تأثیر بگذارد (حکیم‌زاده اردکانی و همکاران، ۲۰۱۰؛ اسمیت و جانسون،[1] ۲۰۱۷). اگرچه پارامتر T.N.V به‌عنوان شاخصی از ظرفیت خنثی‌سازی خاک (عمدتاً مرتبط با محتوای کربنات کلسیم) شناخته می‌شود، اهمیت آن در مقایسه با پارامترهای کلیدی نظیر هدایت الکتریکی و pH کمتر است. دلیل این امر را می‌توان در نقش مستقیم و اثر سریع شوری EC و اسیدیته بر فراهمی عناصر غذایی، سمیت یون‌ها، و فعالیت بیولوژیکی خاک جست‌وجو کرد؛ درحالی‌که T.N.V بیشتر نشان‌دهندهٔ پتانسیل بلندمدت خاک در تعدیل اسیدیته است و در خاک‌های خشک و شور که معمولاً از pH قلیایی و محتوای کربنات بالایی برخوردارند، تغییرپذیری کمتری از خود نشان می‌دهد. به عبارت دیگر تغییرات کم T.N.V در عمق خاک و وابستگی آن به رویشگاه، همراه با حساسیت پایین گیاهان به نوسانات این پارامتر، باعث شده است که این شاخص در مقایسه با عوامل دیگری مانند شوری یا اسیدیتهٔ خاک، سهم ناچیزی در تعیین زیست تودهٔ گیاهی داشته باشد.

جدول (۲) نشان داد که مناطق اردستان و فخره با شوری بالا (EC بین ۵۲ تا ۸۵ دسی زیمنس بر متر) و SAR قابل توجه (تا ۴/۱۵۹)، محدودیت های جدی برای رشد گیاهان ایجاد می‌کنند. این نتایج با مطالعات احمدی و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد که افزایش EC بیش از ۴ دسی‌زیمنس بر متر را عامل کاهش رشد ریشه و زیست‌توده در گونه‌های حساس مانند اشنان معرفی کردند. درمقابل، منطقهٔ حسین آباد با EC پایین (۵/۳۳ تا ۵/۳۹) و SAR کم (۷/۰۲ تا ۶/۰۱۵)، شرایط بهینه برای رشد گیاهان فراهم می‌کند. این الگوها تأیید می‌کنند که شوری و سدیم بالا با اختلال در جذب آب و عناصر غذایی، رشد گیاهان را مهار می‌کنند (محمدی و همکاران، ۲۰۱۷؛ مؤمنی دمنه و پناهی، ۲۰۱۶).

مقادیر مادهٔ آلی خاک (O.C) در رویشگاه های اردستان و پارک به‌طور معناداری بالاتر از مقادیر مشابه در قم بود، اما همچنان این مقادیر در مقایسه با حد مطلوب برای خاک‌های حاصلخیز، پایین‌تر قرار داشتند (بردی و ویل،[2] ۲۰۰۸). این نتایج با پژوهش پوزش شیرازی و همکاران (۲۰۱۲) هم‌راستا است، که کاهش مادهٔ آلی خاک در مناطق خشک را به‌دلیل معدنی سازی سریع بقایای آلی ناشی از دماهای بالا و رطوبت محدود توجیه می‌کنند. در مناطق خشکی مانند قم، تبخیر شدید و کاهش پوشش گیاهی، ورود بقایای آلی به خاک را محدود کرده و به تبع آن، منجر به تشکیل خاک‌هایی با ظرفیت نگهداری آب پایین و حاصلخیزی کاهش‌یافته می‌شود.

ازسوی دیگر، نیتروژن کل (N) در اردستان (۰/۰۳۵ درصد) نسبت به حسین‌آباد (۰/۰۱۵درصد) و قم (۰/۰۱۲۵ درصد) بیشتر بود، اما تمامی مقادیر هنوز کمتر از ۰/۱ درصد بود که نشان‌دهندهٔ فقر شدید نیتروژن در خاک‌های منطقه است (هیلل،[3] ۱۹۹۸). کمبود نیتروژن به عنوان یک عامل محدودکنندهٔ رشد گیاهان، می تواند فرایندهای فیزیولوژیکی مانند سنتز پروتئین و تشکیل کلروفیل را مختل کند (شیلف،[4] ۲۰۲۰).

مطالعات علمی بر اهمیت مادهٔ آلی و نیتروژن به‌عنوان عوامل کلیدی در حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک تأکید دارند. برای نمونه، پژوهش لیو[5] و همکاران (۲۰۱۸) در دلتای رود زرد چین، رابطهٔ مثبت بین مادهٔ آلی و غنای گونه ای گیاهی را تأیید کرد که در این مطالعه نیز به‌وضوح مشاهده شد؛ بدین صورت که رشد بهتر گیاهان در رویشگاه‌های با مادهٔ آلی بالاتر (اردستان و پارک) به ثبت رسید.

1. Smith & Johnson

2. Brady and Weil
3. Hillel
4. Shilev
5. Liu

میزان پتاسیم قابل جذب (K) در خاک رویشگاه اردستان با مقادیر بین ۵۹۵ تا ۶۶۶ میلی گرم بر کیلوگرم، به‌طور معناداری بالاتر از رویشگاه‌های فخره (با مقدار ۱۳۵/۹–۲۱۳/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و حسین آباد (با مقدار ۱۹۳/۱–۲۱۱/۳ میلی گرم بر کیلوگرم) بود. این تفاوت چشمگیر را می‌توان به فرایندهای هوازدگی کانی های پتاسیم‌دار در خاک های اردستان نسبت داد که در طی آن یون‌های پتاسیم (K^+) به‌تدریج آزاد و در خاک تجمع می‌یابند (هالوین[1] و همکاران، ۲۰۱۳). پتاسیم به‌عنوان یک کاتیون ضروری، نقشی حیاتی در فعال سازی بیش از ۶۰ آنزیم گیاهی، تنظیم تورژسانس سلولی ازطریق کنترل روزنه‌ها، و بهبود مقاومت به تنش‌های خشکی و شوری ایفا می‌کند (روبیو[2] و همکاران، ۲۰۲۰؛ ماوی و مارشنر،[3] ۲۰۱۴). در این پژوهش، غلظت بالای پتاسیم در اردستان احتمالاً به افزایش تحمل فیزیولوژیکی گیاهان شورپسند مانند قره داغ به شرایط سخت محیطی کمک کرده است؛ به‌طوری‌که زیست‌تودهٔ خشک ریشه و ساقهٔ این گونه در اردستان نسبت به سایر رویشگاه‌ها بهبود یافته بود.

ازسوی دیگر، پایین بودن پتاسیم قابل جذب در فخره و حسین آباد ممکن است ناشی از بافت سبک تر خاک و آب‌شویی بیشتر این عنصر در مناطق با بارندگی فصلی باشد. مطالعات نیز نشان داده است که در خاک های با بافت شنی، پتاسیم سریع‌تر از دسترس گیاه خارج می‌شود (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۳). بااین‌حال، به‌رغم غلظت پایین تر پتاسیم در فخره، زیست‌تودهٔ برگ تر اشنان در این منطقه بالاتر بود که احتمالاً نشان‌دهندهٔ سازوکارهای جذب کارآمدتر این گونه در شرایط کمبود نسبی پتاسیم است. تحقیقات آذرمی و سیاری[4] (۲۰۲۰) بیان می‌کنند که پتاسیم بالا در خاک‌های شور می‌تواند جذب سدیم را کاهش داده و مقاومت گیاهان به شوری را افزایش دهد، که این مسئله به تبیین عملکرد بهتر قره‌داغ در اردستان کمک می‌کند.

تحلیل زیست‌توده (جدول های ۳ و ۴) نشان داد که اشنان در رویشگاه های با شوری پایین (حسین آباد) یا متوسط (کاشان) عملکرد بهتری دارد، درحالی‌که قره‌داغ در مناطق شور (اردستان و قم) برتری چشمگیری نشان می دهد. این نتایج حاکی از سازگاری فیزیولوژیک قره داغ به شرایط شور است که با تحقیقات فرزامی سپهر و همکاران (۲۰۱۱) و رنجبر فردوئی و دهقانی بیدگلی (۲۰۱۶) همسوست. آن‌ها اشاره کردند که قره‌داغ با تنظیم پتانسیل اسمزی و جذب انتخابی یون‌ها، حتی در شوری بالا قادر به حفظ رشد است. درمقابل، حساسیت اشنان به شوری بالا، مشابه نتایج اسمیت و جانسون (۲۰۱۷) در مورد گونه‌های جنس *Artemisia* است که در خاک‌های سبک‌تر و کم‌شورتر رشد بهتری دارند. همچنین نتایج نشان داد که گونهٔ قره‌داغ (*Nitraria schoberi*) در رویشگاه قم با بیشترین وزن خشک ریشه (۴۰۵۶ گرم) و برگ (۲۰۲۵۰ گرم)، عملکرد بهتری نسبت به گونهٔ اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) دارد. این یافته با مطالعات پیشین درزمینهٔ سازگاری گیاهان شورپسند با شرایط خشکی و شوری همسو است. برای مثال، محمد و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعهٔ خود بر روی *Nitraria retusa* گزارش کردند که ترکیبات بیوشیمیایی این گیاه (مانند آلکالوئیدها و فلاونوئیدها) نه‌تنها در کاهش آسیب‌های اکسیداتیو نقش دارند، بلکه به‌عنوان عوامل ضدتنش در محیط‌های شور عمل می‌کنند. درمقابل، گونهٔ اشنان در رویشگاه‌های با شوری پایین‌تر (حسین‌آباد و فخره) زیست‌تودهٔ بیشتری تولید کرد. این تفاوت احتمالاً ناشی از حساسیت بالاتر اشنان به شوری است. مطالعات رنجبر و دهقانی (۲۰۱۶) نشان دادند که افزایش شوری باعث کاهش وزن تر و خشک اشنان شد. همچنین، پایین بودن مادهٔ آلی خاک در حسین‌آباد ممکن است رشد اشنان را محدود کرده باشد، چراکه این گونه برای جذب عناصر غذایی به خاک‌های با محتوای هوموس بالاتر وابسته است (بردی و ویل، ۲۰۰۸). یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات جهانی درزمینهٔ گیاهان شورپسند همخوانی دارد. برای مثال، یانگ[5] و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی گیاه *Arenaria polytrichoides* دریافتند که گونه‌های سازگار با شوری، با افزایش تجمع ترکیبات فنولی و تنظیم جذب انتخابی یون‌ها، بقای خود را در خاک‌های شور تضمین می‌کنند. این

1. Havlin
2. Rubio
3. Mavi & Marschner
4. Azarmi & Sayyari
5. Yang

الگو دقیقاً در قره داغ مشاهده شد که غلظت سدیم در بافت‌های آن به‌طور معناداری بالاتر از اشنان بود.

بررسی حاضر با تمرکز بر نقش گونه های هالوفیت بومی نظیر اشنان و قره‌داغ در احیای خاک‌های شور و سدیمی، نشان داد که این گیاهان با مکانیسم‌های تطابقی منحصربه‌فرد، تأثیر چشمگیری بر بهبود ویژگی های فیزیکی و بیوشیمیایی خاک دارند. نتایج حاصل از تحلیل ویژگی های خاک در مناطق مختلف (اردستان، فخره، حسین‌آباد، قم، و پارک جنگلی کاشان) نشان داد که شوری (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) به‌عنوان عوامل کلیدی محدودکنندهٔ رشد گیاهان عمل می‌کنند. در مناطق با شوری بالا (EC >50 dS/m و SAR >100)، کاهش معنادار زیست‌تودهٔ گیاهی به‌ویژه در گونهٔ اشنان مشاهده شد، درحالی‌که قره‌داغ با حفظ نسبی عملکرد خود، مقاومت بیشتری به تنش های شوری و سدیمی نشان داد (جدول ۴). این یافته‌ها با پژوهش‌های پیشین همسو است که تأکید می کنند سازگاری هالوفیت‌ها به شوری، وابسته به تجمع ترکیبات اسمولیت، دفع نمک ازطریق برگ، و توسعهٔ سیستم ریشه‌ای عمیق است (نجفی زیلائی و همکاران، ۲۰۲۲؛ دیناروند و همکاران، ۲۰۱۸).

تفاوت معنادار زیست‌تودهٔ دو گونه در رویشگاه‌های مختلف (جدول ۳ و ۴) نشان می‌دهد که اشنان در خاک‌های با شوری متوسط تا پایین (EC <40 dS/m) برتری دارد، درحالی‌که قره‌داغ در خاک‌های با شوری بسیار بالا (EC >50 dS/m) عملکرد بهتری نشان می دهد. این الگو با مطالعات احمدی و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد که کاهش رشد اشنان در EC >40 dS/m را گزارش کرده‌اند. همچنین، نتایج مشابهی توسط اسمیت و جانسون (۲۰۱۷) در مورد گونه‌های مشابه *Atriplex* در خاک های شور ایالات متحده مشاهده شده است. این تطابق نشان می‌دهد که راهبرد مدیریتی برای احیای خاک‌های شور باید مبتنی‌بر انتخاب گونه‌های متناسب با سطوح شوری منطقه باشد. ازسوی دیگر، تأثیر شوری بر کاهش جذب عناصر مغذی نظیر پتاسیم و کلسیم (مؤمنی دمنه و پناهی، ۲۰۱۶) و افزایش غلظت سدیم در بافت گیاهی می‌تواند توجیهی برای کاهش زیست تودهٔ اشنان در مناطق شور باشد (فرزامی سپهر و همکاران، ۲۰۱۱). درمقابل، قره‌داغ با حفظ تعادل یونی و تجمع انتخابی یون‌های سودمند (مانند پرولین)، مقاومت بیشتری در برابر تنش اسمزی نشان می‌دهد (رنجبر فردویی و دهقانی بیدگلی، ۲۰۱۶). این تفاوت‌های فیزیولوژیک، لزوم توجه به سازوکارهای مولکولی و بیوشیمیایی گونه ها را در برنامه‌های اصلاح خاک برجسته می‌کند.

نتایج این مطالعه همچنین تأکید می کند که احیای خاک‌های شور تنها با کاهش شوری میسر نیست، بلکه بهبود ساختار فیزیکی خاک (مانند نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب) ازطریق تجمع مواد آلی و فعالیت میکروارگانیسم ها ضروری است (سانچز و همکاران، ۱۹۸۳). در این خصوص می‌توان بیان کرد که افزایش مادهٔ آلی خاک به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین عوامل در احیای اکوسیستم های تخریب شده، نقش بسزایی در بهبود کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک ایفا می‌کند. مطالعات نشان می‌دهند که تجمع مواد آلی نه‌تنها ساختار خاک را ازطریق افزایش نفوذپذیری، تخلخل و ظرفیت نگهداری آب بهبود می‌بخشد، بلکه با ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکزی، چرخه‌های بیوژئوشیمیایی مانند تجزیهٔ مواد معدنی و تثبیت نیتروژن را تسهیل می‌کند (ال-شمری[1] و همکاران، ۲۰۲۴). این فرایندها به کاهش قلیائیت خاک و افزایش دسترسی به عناصر غذایی ضروری برای گیاهان منجر می‌شوند. کشت گیاهان هالوفیت به‌عنوان یک راهکار بیولوژیک، با افزایش پایدار مواد آلی ازطریق تجمع بقایای گیاهی و ریشه‌ها، نقش دوگانه‌ای در احیای خاک‌های شور ایفا می کند. از یک سو، این گیاهان با کاهش شوری و سدیم تبادلی خاک، شرایط را برای تشکیل کمپلکس های آلی-معدنی فراهم می کنند که به تثبیت ذرات خاک و جلوگیری از فرسایش بادی کمک می‌کند (ربیعی و همکاران، ۲۰۱۲؛ امیراصلانی و همکاران ۲۰۱۳). ازسوی دیگر، افزایش مادهٔ آلی ناشی از کشت هالوفیت‌ها، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را بهبود بخشیده و به جذب بهتر آب و عناصر غذایی توسط گیاهان منجر می شود. پژوهش میدانی ناصری و همکاران (۲۰۲۰) نیز تأیید می‌کند که کشت گیاهان هالوفیت در بلندمدت (حدود ۱۰ سال) موجب

1. Al-Shammary

افزایش چشمگیر مواد آلی خاک و تثبیت شن‌های روان شده است که این امر نقش کلیدی در مهار بیابان‌زایی و احیای اکوسیستم‌های تخریب‌شده دارد. این افزایش نه‌تنها به تثبیت کربن آلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند، بلکه با تشکیل لایهٔ هوموس پایدار، مقاومت خاک در برابر تنش‌های خشکی و شوری را تقویت می‌نماید. علاوه‌بر این، تجمع تدریجی مواد آلی، بستری برای استقرار جوامع میکروبی ویژهٔ خاک‌های شور فراهم می‌آورد که در تجزیهٔ سموم و بازگرداندن حاصلخیزی خاک نقش کلیدی دارند.

با توجه به نتایج، کشت ترکیبی اشنان و قره‌داغ در خاک‌های با سطوح شوری متفاوت می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد جامع برای احیای اکوسیستم‌های تخریب‌شده توصیه شود. در مناطق با شوری بسیار بالا (مانند اردستان و فخره)، قره‌داغ گزینهٔ بهتری است، درحالی‌که اشنان در مناطق با شوری متوسط (حسین‌آباد و پارک جنگلی کاشان) عملکرد بهینه دارد. همچنین، ادغام این روش با مدیریت منابع آب و کاهش استفاده از روش‌های مهندسی پرهزینه، پایداری بلندمدت خاک را تضمین می‌کند. پژوهش‌های آینده باید بر تأثیر متقابل گونه‌های هالوفیت بر جوامع میکروبی خاک و پتانسیل آن‌ها در جذب کربن متمرکز شوند.

منابع

1. Ahmadi, M., Rezaei, N., & Karami, A. (2019). Effect of salinity on growth and performance of rangeland species in arid regions. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, *27*(3), 45-60.
2. Alberto, B., & Angelina, M. Y., (2011). Accuracy and bias on the estimation of aboveground biomass in the woody vegetation of the Sonoran Desert. *Botany*, *89*(9), 625-633.
3. Al-Shammary, A. A. G., Al-Shihmani, L. S. S., Fernández-Gálvez, J., & Caballero-Calvo, A. (2024). Optimizing sustainable agriculture: A comprehensive review of agronomic practices and their impacts on soil attributes. *Journal of environmental management*, 364, 121487.
4. Amiraslani, S., Saeed, Darbandi, S., Farahvash, F., & Yousefzadeh, M. (2013). Cultivation of halophyte plants for reclamation of saline and sodic soils. *First National Conference on the Impact of Urmia Lake Recession on Soil and Water Resources*, Tabriz, Iran.
5. Azarmi-Atajan., F. & Sayyari-Zohan, M. H. (2020). Alleviation of salt stress in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by plant growth-promoting rhizobacteria. *Journal of horticulture and postharvest research*, *3*, 67-78.
6. Azernivand, H., & Dastmalchi, H. (2000). Phenology of four species in desert of Kashan. *Biaban*, *5*(2), 16–22.
7. Baghestani Maybodi, N., & Taghi Zare, M. (2009). Some ecological requirements and exploitation of Seidlitzia rosmarinus in the desert region of Yazd province. *Enviromental Sciences*, *6*(3): 31-42.
8. Baghestani Meybodi, N. (2008). Determination of appropriate sample size for estimating annual production in steppe rangelands of Yazd Province. *Scientific-Research Journal of Rangeland*, (2), 162–171.
9. Bahreini, M., Dordipour, E., & Khormali, F. (2013). The Role of Non-Exchangeable Potassium on Plant Nutrition (Zea mays L.) in Predominant Soil Series of Golestan Province. *Water and Soil Science*, *23*(2), 159-176.
10. Baldock, J. A., & Skjemstad, J. O. (2000). Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organic Geochemistry*, *31*, 697-710.
11. Boyaghchi, M. A., Zolfaghari, B., & Karim-Nejad, M. M. (2017). Evaluation and optimization of Seidlitzia rosmarinus (Ashnan) extract in washing historical textiles. *International Journal of Pharmaceutical and Phytopharmacological Research*, *7*(3), 25-29.
12. Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. 14th Edition. Prentice Hall.
13. Dinarvand, M., Keneshloo, H., & Fayaz, M., (2018). Vegetation of dust sources in Khuzestan Province. *Irannature*, *3*(3), 32-42.
14. Farzami Sepehr, M., Ghorbanali, M., & Sanaei Rad, H. (2011). Study of some growth and biochemical parameters of Nitraria schoberi L. in natural habitat of Howz-e-Soltan in different seasons. *Plant and Ecosystem* Scientific-*Research Quarterly*, *7*(25), 3–15.
15. Hakimzadeh Ardakani, M.A., Esfandiari, M., Mosleh Arani, A., & Maleki Nejad, H. (2010). Effects of saline groundwater application on soil properties and performance of three rangeland species. Rangeland and Watershed Management Journal. *Iranian Journal of Natural Resources*, *63*(2), 197–206.
16. Hasanzadeh Ghoort Tappeh, A., & Khoshbakht, S. (2017). Ecology and medicinal properties of the desert plant Nitraria schoberi. *Second National*

Conference on Rainfed Medicinal Plants of Iran, Urmia, Iran.
17. Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2013). *Soil fertility and fertilizers* (8th ed.). Pearson.
18. Heidari, M., Hosseinabadi, R., Anbari, K., Pournia, Y., & Tarverdian, A., (2014). Seidlitzia rosmarinus for lower urinary tract symptoms associated with benign prostatic hyperplasia: A pilot randomized controlled clinical trial. *Complementary Therapies in Medicine*, *22*(4), 607-613.
19. Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations*. Academic Press, Waltham.
20. Joneidi, H., Amani, S., & Karami, P. (2015). Biomass assessment of above- and below-ground organs of Festuca ovina under different grazing intensities in Bijar Protected Area. *Watershed Management Research Journal*, *28*(3), 76–83.
21. Kay, B. D. (1998). *Soil structure and organic carbon: A review*. In R. Lal et al. (Eds.), Soil processes and the carbon cycle (pp. 169-197). CRC Press.
22. Liu, S., Hou, X., Yang, M., Cheng, F., Coxixo, A., Wu, X., & Zhang, Y. (2018). Factors driving the relationships between vegetation and soil properties in the Yellow River Delta, China. *Catena*, *165*, 279-285.
23. Mavi, M.S. & Marschner, P. (2013). Salinity affects the response of soil microbial activity and biomass to addition of carbon and nitrogen. *Soil Research*, 5(1), 68-75.
24. Mohamed, A. A., Ali, S. I., Darwesh, O. M., El-Hallouty, S. M., & Sameeh, M. Y. (2015). Chemical compositions, potential cytotoxic and antimicrobial activities of Nitraria retusa methanolic extract sub-fractions. *International Journal of Toxicology and Pharmacology Research*, *7*, 204–212.
25. Mohammadi, S., Naderi, H., & Karimi, F. (2017). Effect of salinity and sodium adsorption ratio on the growth of rangeland plants in semi-arid areas. *Natural Resources Research Journal*, *15*(4), 35–50.
26. Momeni Damaneh, J., & Panahi, F. (2016). Effect of alkaline stress on nutrient concentrations in Nitraria schoberi. *Plant and Ecosystem Scientific-Research Quarterly*, *12*(47), 71–83.
27. Mossa, J. S. (1985). A study on the crude antidiabetic drugs used in Arabian folk medicine. *International Journal of Crude Drug Research*, *23*(3):145-137 .
28. Mozaffarian, V. (2000). *Flora of Yazd. Yazd: Yazd Publishers*. plan. Khorasan: Khorasan Agriculture and Natural Resources Research Center.
29. Najafi Zilaie, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H., Dinarvand, M. (2022b). Halotolerant rhizobacteria enhance the tolerance of the desert halophyte *Nitraria schoberi* to salinity and dust pollution by improving its physiological and nutritional status. *Applied Soil Ecology*, *179*, 104578.
30. Najafi Zilaie, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H., Dinarvand, M., & Dolati, A. (2022a). Halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria-mediated alleviation of salinity and dust stress and improvement of forage yield in the desert halophyte *Seidlitzia rosmarinus*. *Environmental and Experimental Botany*. *201*, 104952.
31. Namm, B., & Berrill, J. (2016) Tanoak (Notholithocarpus densiflorus) Coarse Root Morphology: Prediction Models for Volume and Biomass of Individual Roots. *Open Journal of Forestry*, *6*, 1-13.
32. Naseri, H., Naseri, H.M., Jafari, M., & Sangdehi, S. (2011). Effect of salinity on germination and growth of Nitraria schoberi. *Rangeland Journal*, *17*(1).
33. Naseri, H., Mohammad-esmaeili, M., Tahmasebi, A, & Fakhireh, A. (2020). The effect of Seidlitzia rosmarinus cultivation on vegetation and soil changes in the desert area of Chah Bagher Shahroud. *PEC*, *8*(17), 89-100
34. Pozesh shirazi, M., Samavat, S., Zolfi Bavariani, M., Fakhri, F., & Moradi, G. (2012). Effects of Organic Matter from Different Sources on Soil Physico-Chemical Properties and Crop Yield in Boushehr Province. *Iranian Journal of Soil Research*, *25*(4), 285-293.
35. Rabiei, H.A. (2012). Soil improvement by medicinal plants. *National Conference on Environment and Plant Production*, Semnan, Iran.
36. Rahmatizadeh, A., Jafari, M., & Karimian Eghbal, M. (2014). Identifying saline lands and halophytes of Qom province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 21(4), 580–590.
37. Ranjbar Fordoei, A., & Dehghani Bidgholi, R. (2016). Impact of salinity stress on photochemical efficiency of photosystem II, chlorophyll content, and nutrient elements of Nitere bush (*Nitraria schoberi* L.) plants. *Journal of Rangeland Science*, 6(1), 1-9.
38. Rubio, F., Nieves-Cordones, M., Horie, T. & Shabala, S. (2020). Doing business as usual comes with a cost: evaluating energy cost of maintaining plant intracellular K+ homeostasis under saline conditions. *New Phytologist*, *225*(3), 1097-1104.
39. Sanchez, P.A., Villachica, J.H.B., D.E. 1983. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. Soil Sci. Soc. Amer. J.47: 1178-1171.
40. Shilev, S. (2020). Plant-Growth-Promoting Bacteria Mitigating Soil Salinity Stress in Plants. *Applied Science*, *10*(20), 7326.
41. Smith, J., & Johnson, P. (2017). Effects of soil texture and salinity on desert plant distribution. *Journal of Arid Ecosystems*, *45*(2), 123-137.
42. Thomas, G. W. (1982). Exchangeable cations. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties (2nd ed., pp. 159–165). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.

43. UNCOD (Desertification on Conference Nations United). (1997). *Desertification: its causes and consequences Oxford*, UK: Pergamon Press, 78p.
44. Wang, Y., Xu, W., Tang, Z., & Xie, Z. (2021). A biomass equation dataset for common shrub species in China. *Earth System Science Data*, *13*(2), 453-461.
45. Xiao, H., Lin, Q., Li, G.et al. (2022). Comparison of biochar properties from 5 kinds of halophyte produced by slow pyrolysis at 500 °C. Biochar, 4, 12.
46. Yang, Y., Yang, N., & Cavieres, H. S. (2010). Positive associations between the cushion plant Arenaria polytrichoides (Caryophyllaceae) and other alpine plant species increase with altitude in the Sino-Himalayas. *Journal of Vegetation Science*, *21*, 1048–1057.
47. Yeganeh, H., & Saadatpour, M. (2016). Investigation of medicinal and ecological properties of Nitraria schoberi. *First National Conference on Aromatic and Spice Medicinal Plants*, Gonbad Kavous University, Iran.

Interaction of Soil Salinity with Biomass of Seidlitzia rosmarinus and Nitraria schoberi in the Desert Regions of Ardestan, Qom, and Kashan

Aboozar Keshavarz,[1] Mohammad Ali Hakimzadeh Ardakani,[2]* Kazem Kamali Aliabadi,[3] Motahereh Esfandiari[4]

Received: 22/04/2025 Accepted: 28/06/2025

Extended abstract

Introduction: Soil salinity is a major factor that limits plant growth and biomass production, particularly in arid and semi-arid regions. To effectively restore land and combat desertification in these challenging environments, it's crucial to understand how native halophyte species — plants adapted to salty conditions — respond to different levels of soil salinity. This study focused on evaluating the impact of soil salinity on the biomass production of two specific salt-tolerant plant species: Seidlitzia rosmarinus and Nitraria schoberi. We conducted our research across various sites within the central deserts of Iran, including Ardestan Plain, Fakhreh (Kashan), Gonbad Namaki (Qom), Hosseinabad, and Kashan Forest Park. To gather our data, we used a transect-plot method for vegetation sampling. For soil analysis, samples were collected at two depths: 0–20 cm and 20–40 cm, allowing us to assess vertical variations in soil properties. We measured several key physical and chemical characteristics of the soil, including electrical conductivity (EC), pH, sodium adsorption ratio (SAR), and total neutralizing value (T.N.V.). Finally, to determine biomass, we measured both aboveground components (leaves, stems, branches) and belowground biomass (roots), which involved complete root excavation and weighing after oven-drying.

1. Master's student in Desert Management and Control, Yazd University, Yazd, Iran; Email: aboozarkeshavarz@gmail.com
2. Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies – Department of Arid and Desert Regions Management; Email: hakim@yazd.ac.ir
3. Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies – Department of Arid and Desert Regions Management; Email: kkamali@yazd.ac.ir
4. Independent Researcher, Department of Arid and Desert Regions Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran; Email: motiesfandiari@gmail.com

DOI: 10.22052/deej.2025.256740.1103

Materials and Methods: Data analysis was performed using SPSS and Excel software. Before proceeding with statistical tests, the normality of data distribution was confirmed. To examine differences among treatments (species and sites), we used one-way analysis of variance (ANOVA). This was followed by Duncan's multiple range test at a 5% significance level (α=0.05) to pinpoint specific differences. Additionally, Pearson's correlation coefficient was calculated to assess the relationships between various biomass traits and key soil salinity indicators, specifically electrical conductivity (EC) and sodium adsorption ratio (SAR).

Results: We found significant differences ($p<0.01$ and $p<0.05$) in the measured traits across the five study sites. Soil properties like EC, pH, and T.N.V. varied significantly by location, indicating that local environmental factors play a big role. Interestingly, only plant available water (PAW) showed a significant variation with soil depth ($p<0.05$), meaning that site conditions have a stronger impact on soil quality than differences between the two depths we sampled. When looking at biomass, we saw that site conditions significantly influenced canopy cover, canopy diameter, and total biomass production ($p<0.01$). Plus, the interaction between the site and plant species significantly affected biomass accumulation. In highly saline environments (where EC was over 50 dS/m and SAR over 100), Nitraria schoberi performed better than Seidlitzia rosmarinus, producing higher root and shoot biomass. For example, in Qom, Nitraria schoberi had a root biomass of 4056 g and a leaf biomass of 20,250 g, while Seidlitzia rosmarinus had much lower biomass in the same conditions. Conversely, in less saline environments (EC less than 40 dS/m) like Hosseinabad, Seidlitzia rosmarinus produced nearly six times more biomass than Nitraria schoberi. This shows that Seidlitzia rosmarinus is more sensitive to extreme salinity and prefers moderately saline conditions.

Our correlation analysis confirmed a positive relationship between Nitraria schoberi's biomass production and increasing soil salinity. In contrast, Seidlitzia rosmarinus's biomass was negatively affected by high EC and SAR levels.

Discussion and Conclusion: The findings of this study underscore the significant role native halophyte species can play in restoring saline and degraded soils. Specifically, Nitraria schoberi demonstrated a remarkable ability to maintain biomass production under highly saline conditions, highlighting its potential for use in severely degraded environments. Conversely, Seidlitzia rosmarinus performed better in moderately saline environments, suggesting its suitability for areas with less extreme soil conditions. Cultivating these halophyte species offers a cost-effective and sustainable approach to land reclamation. Their presence not only contributes to soil stabilization by increasing organic matter and preventing wind erosion, but also enhances the soil's physical and chemical quality through processes such as ion uptake and organic carbon input. This biological method provides a viable alternative to expensive engineering techniques for combating desertification. Our study suggests that species selection for restoration projects should be based on detailed assessments of specific soil salinity conditions. Furthermore, adopting an intercropping system that combines multiple halophyte species with varying salinity tolerances could significantly increase the resilience and sustainability of restored ecosystems. Integrating these biological solutions with strategic water resource management, such as using treated wastewater or saline water for irrigation, can further enhance restoration success. For future research, we recommend focusing on a deeper understanding of the interactions between halophyte species and soil microbial communities, as these play a crucial role in nutrient cycling and plant health under saline conditions. Additionally, investigating the carbon sequestration potential of these species could offer new insights into their contribution to climate change mitigation strategies.

Keywords: Soil salinity, Sodium adsorption ratio (SAR), Halophytic plants, Land reclamation, Arid ecosystems.