مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال چهاردهم، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۱
ص ۳۸۸-۳۷۱
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI):10.22034/ijf.2022.314610.1815
شناسه دیجیتال (DOR):20.1001.1.20086113.1401.14.4.2.4

تأثیر کاشت درختچهٔ گز پرشاخه (*Tamarix ramosissima* Ledeb.) بر دما و رطوبت خاک در بسترهای خشک‌شدهٔ غرب دریاچهٔ ارومیه

لیلا علی‌زاده[۱]، احمد علیجانپور[۲ و ۴*] و حسین خیرفام[۳ و ۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
[۲] استاد، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
[۳] استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
[۴] پژوهشکدهٔ مطالعات دریاچهٔ ارومیه، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۸)

چکیده

اقدامات متعددی مانند نهالکاری برای تثبیت بسترهای فرسایش‌پذیر صورت می‌گیرد. متغیرهای محیطی محدودهٔ تاج‌پوشش نهال‌ها مانند دما و رطوبت خاک از شاخص‌های زودیافت ارزیابی موفقیت نهالکاری‌ها هستند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی موفقیت درختچه‌های گز دست‌کاشت بسترهای خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه در تعدیل شاخص‌های دما و رطوبت خاک انجام گرفت. بدین منظور، پانزده پایه گز هفت‌ساله به‌صورت تصادفی سیستماتیک انتخاب و ارتفاع پایه‌های گز و مساحت تاج‌پوشش پایه‌ها اندازه‌گیری شد. دما و رطوبت لایهٔ سطحی خاک نیز در چهار جهت جغرافیایی منطبق بر بادهای غالب فرساینده در داخل و خارج از محدودهٔ زیر تاج‌پوشش پایه‌ها (در مجموع ۱۲۰ نقطه) اندازه‌گیری شد و تحلیل‌های آماری انجام گرفت. تجزیهٔ واریانس دوطرفه حاکی از وجود تغییرات معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) دما و رطوبت خاک بین نقاط نمونه‌برداری و تغییرات معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) دمای خاک در جهت‌های جغرافیایی نمونه‌برداری بود. میانگین دما و رطوبت وزنی سطح خاک در داخل و خارج از محدودهٔ زیر تاج‌پوشش پایه‌ها به‌ترتیب ۲۳/۷۷ و ۳۴/۷۸ درجهٔ سلسیوس و ۲/۹۵ و ۱/۸۲ درصد بود، به‌گونه‌ای که کاهش معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) و ۴۶ درصدی دمای خاک و افزایش معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) ۶۲ درصدی رطوبت وزنی خاک در محدودهٔ زیر تاج‌پوشش پایه‌ها نسبت به خارج از محدوده ثبت شد. براساس یافته‌ها، باید به انتخاب درختچه‌های گز با تاج‌پوشش بزرگ‌تر و کاشت متراکم‌تر با هدف بهبود شرایط محیطی در برنامه‌های مدیریت مناطق بیابانی و حساس به فرسایش توجه شود.

واژه‌های کلیدی: احیای اکولوژیک، بوم‌سازگان نوظهور، تاج‌پوشش، فرسایش بادی، نهالکاری.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، افت کمّی و کیفی منابع آب ناشی از بهره‌برداری غیراصولی در بخش‌های مختلف به‌ویژه برای اهداف کشاورزی به تهدیدی جدی برای امنیت زیستی جوامع و سلامت بوم‌سازگان‌ها تبدیل شده و دستیابی به توسعهٔ پایدار را با چالش مواجه کرده است (Chen et al., 2019). در این بین، بحران خشک شدن دریاچهٔ ارومیه از مهم‌ترین پیامدها و نمودهای مدیریت نادرست منابع آب و توسعهٔ نامتوازن در ایران است که سبب ناپایداری و تهدید سلامت بوم‌سازگان‌های شمال غرب کشور شده است (Kheirfam & Roohi, 2020). دریاچهٔ ارومیه در جغرافیایی با اقلیم نیمه‌خشک و با توزیع غیریکنواخت زمانی و مکانی بارش قرار دارد (Kheirfam & Roohi, 2020). رشد روزافزون جمعیت

* نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۴۴۳۱۹۴۲۵۰۱ ایمیل: a.alijanpour@urmia.ac.ir

حوضهٔ آبخیز دریاچه و به‌تبع آن افزایش غیرمتناسب سطح زیر کشت و تغییر الگوی کشت، سبب بهره‌برداری نامتعارف از منابع آب سطحی و زیرزمینی شده است (Hassanzadeh et al., 2012). از این‌رو کاهش ورود آب سطحی و زیرزمینی به دریاچهٔ ارومیه در دو دههٔ اخیر سبب خشک شدن بخش زیادی از پهنهٔ آبی دریاچه شده و بوم‌سازگان‌های نوظهور مانند بسترهای خشک‌شده حساس به فرسایش بادی را پدید آورده است (Alizadeh Motaghi et al., 2020). در کنار حساسیت زیاد بسترهای خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه، فراوانی بادهای شدید و فرسایندهٔ شمال غرب کشور در فصول خشک شرایط برای جدا شدن، برداشت و انتقال ذرات رسوبات، ماسه و نمک‌های متصل به آنها به مناطق کشاورزی، مسکونی و صنعتی حاشیه دریاچه را تشدید کرده است (Alizadeh Motaghi et al., 2020). پدیدهٔ فرسایش بادی و برداشت و انتقال ذرات خاک و ماسه‌های روان و حامل نمک بی‌شک تهدیدی جدی برای جوامع انسانی، بوم‌سازگان‌های کشاورزی، منابع طبیعی و گونه‌های گیاهی و جانوری مناطق پیرامونی است (Javanmard et al., 2019) و بی‌گمان تشدید هم خواهد شد. بر این اساس، مدیریت و مهار چالش انتقال ذرات نمک و گردوغبار از کانون‌های حساس به فرسایش حاشیه‌های دریاچهٔ ارومیه و حفاظت از بوم‌سازگان‌های تحت تنش‌های ناشی از حرکت ماسه‌های روان ضروری است. در زمینهٔ مهار و تثبیت کانون‌های تولید ریزگرد و ماسه‌های روان بسترها و حاشیه‌های خشک‌شده دریاچهٔ ارومیه، اقدامات مدیریتی و زیستی متعددی مانند اعمال قرق، ایجاد بادشکن‌های زنده و غیرزنده و کشت و توسعهٔ پوشش گیاهی درختی، درختچه‌ای و مرتعی به‌صورت نهالکاری، بوته‌کاری و بذرپاشی، در مساحتی گسترده برای مهار و کاهش تولید ریزگردها و همچنین حرکت ماسه‌های روان بسترهای خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه اجرا شده است (Kheirfam & Roohi, 2020).

ارزیابی کارکرد اقدامات زیستی تثبیت کانون‌های ریزگرد و ماسه‌های روان در بسترهای خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه و نیز دیگر مناطق بیابانی و تعمیم آن در اقدامات آتی نیازمند تحلیل عملکرد گونه‌های درختچه‌ای و بوته‌ای استقراریافته است. در این زمینه، رفتارسنجی سطح زمین محدوده تحت تأثیر گونه‌های درختچه‌ای کاشته‌شده مانند تحلیل ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و حتی ظاهری خاک مانند دما و رطوبت سطح خاک به‌عنوان شاخص‌های اساسی ارزیابی موفقیت و عملکرد استقرار پوشش گیاهی در بهبود شرایط محیطی است (He et al., 2015; Bijani et al., 2020). متغیرهای محیطی همچون دما، رطوبت، باد، فشار هوا، تشعشع خورشیدی و حتی غلظت گازهای جوی در محدودهٔ تحت تأثیر تاج‌پوشش درختچه‌ها نسبت به محیط اطراف متمایز و مطلوب است (Stoutjesdijk & Barkman, 2014). مؤلفه‌های خاک سطح زمین (دما، رطوبت، چسبندگی و پایداری ذرات خاک، مواد مغذی، تخلخل و فعالیت میکروبی) در زیر تاج‌پوشش نسبت به اطراف شرایط مطلوب‌تری دارند که سبب بهبود شرایط محیطی می‌شوند (Lozano et al., 2020). از طرفی، مقدار اثرگذاری درختچه‌ها بر مؤلفه‌های محیطی به ابعاد (مساحت) تاج‌پوشش پایه‌ها بستگی دارد (Lozano et al., 2020). بنابراین مساحت تاج‌پوشش درختچه‌ها در اقدامات زیستی احیای اراضی از قبیل نهالکاری در برنامه‌های مهار فرسایش بادی سبب افزایش اثرگذاری و صرفه‌جویی در هزینه می‌شود.

بهبودپذیری مؤلفه‌های اکولوژیکی خاک‌های تخریب‌یافته در زیر تاج‌پوشش درختچه‌ها (Zhang et al., 2019)، اثرگذاری درختچه‌های طبیعی مناطق بیابانی بر مقدار کاهش فرسایش بادی (Al-Dousari et al., 2020; Luo et al., 2020)، تأثیر ابعاد درختچه‌های طبیعی بر مؤلفه‌های چرخه عناصر غذایی، رطوبت و پایداری خاکدانه‌ها (Lozano et al., 2020)، اثرگذاری بر جوانه‌زنی بذرها (Khoshnevis et al., 2019) و مدل‌سازی ارتباط ابعاد تاج‌پوشش گیاهان با مساحت تحت تأثیر آن (Huang et al.,

2021) تحلیل و ارزیابی شده است. جمع‌بندی نتایج پژوهش‌های پیشین (Peters & McFadden, 2010; Muñoz Vallés et al., 2011; Al-Dousari et al., 2020; Lozano et al., 2020; Luo et al., 2020) حاکی از تأثیرپذیری مؤلفه‌های محیطی از ابعاد و ویژگی‌های ریخت‌شناسی (عرض تاج، اندازهٔ برگ‌ها و تعداد شاخه‌ها) پوشش گیاهی است. برخی پژوهش‌ها هم نشان داده‌اند که بهبود مؤلفه‌های محیطی از نوع پوشش گیاهی، ابعاد، مساحت تاج‌پوشش، ارتفاع و حتی ویژگی‌های اقلیمی منطقه تأثیر می‌پذیرد (Salazar et al., 2019; Lozano et al., 2020). هرچند در پژوهش‌های پیشین (Muñoz Vallés et al., 2011; Salazar et al., 2019; Al-Dousari et al., 2020; Lozano et al., 2020) صرفاً مقادیر متغیرهای محیطی و خاک در مقیاس کلان و نهال‌های طبیعی را تحلیل کرده‌اند. درحالی که به اثر پوشش گیاهی دست‌کاشت بر ویژگی‌های محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌ندرت توجه شده، اما به کمّی‌سازی مقدار اثرگذاری نهال‌های دست‌کاشت در یک بوم‌سازگان نوظهور (همانند بسترهای خشک‌شده دریاچهٔ ارومیه که زمانی زیر آب بوده‌اند) بر متغیرهای محیطی و آن هم در مقیاس کوچک و محدودهٔ داخل و خارج تاج‌پوشش نهال‌ها توجه چندانی نشده است.

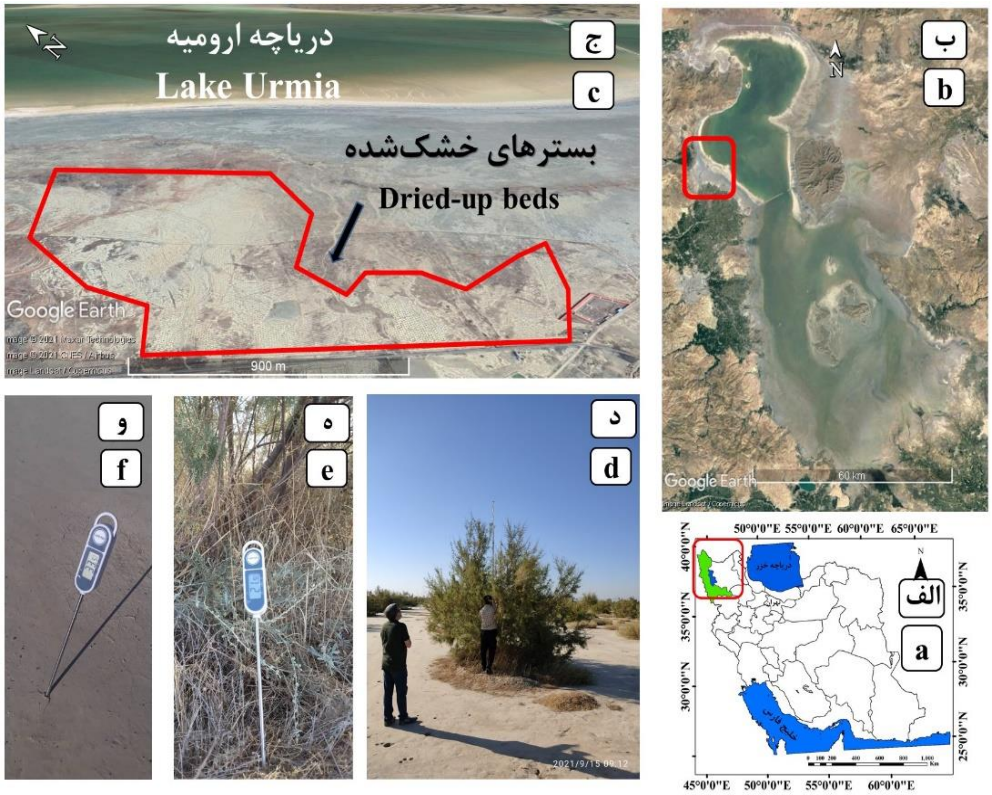
تسریع در توالی بوم‌سازگان‌های نوظهور از طریق استقرار پوشش گیاهی برای مدیریت بوم‌سازگان‌های حساس به تخریب از اهداف اصلی در اقدامات اجرایی است. در این زمینه، تحلیل اثرگذاری اقدامات اجرایی مانند کاشت نهال‌ها نیز ضروری است. انتظار می‌رود که پوشش گیاهی کاشته شده با ایجاد محدودهٔ تحت تأثیر مناسب ناشی از تاج‌پوشش خود سبب بهبود شرایط محیطی و ویژگی‌های خاک آن محدوده شود و در نهایت شرایط را برای پایداری سطح خاک در برابر عوامل فرساینده فراهم کند. دستیابی به بیشترین عملکرد پوشش گیاهی در مدیریت مناطق حساس به فرسایش بادی نیازمند تحلیل دقیق و همه‌جانبهٔ اقدامات اجرایی است. در این زمینه تحلیل رفتار ویژگی‌های محیطی از پوشش‌های گیاهی دست‌کاشت اجتناب‌ناپذیر است. از این‌رو نتایج پژوهش حاضر به آگاهی از تأثیر پوشش گیاهی دست‌کاشت و ابعاد آن بر رفتار متغیرهای مانند دما و رطوبت لایهٔ سطحی خاک خواهد انجامید و نیز امکان انتخاب نوع و ابعاد مناسب نهال‌ها برای احیای مناطق بیابانی را فراهم خواهد کرد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

برای اجرای این پژوهش، مناطق کاشت پوشش گیاهی (درختچه‌ای و بوته‌ای) بسترهای خشک‌شده و بدون شیب در غرب دریاچهٔ ارومیه انتخاب شد. دریاچهٔ ارومیه در محدودهٔ جغرافیایی ′۴۵ °۳۶ و ′۲۰ °۳۸ عرض شمالی و ′۵۰ °۴۴ و ′۱۰ °۴۶ طول شرقی بین دو استان آذربایجان غربی و شرقی در شمال غربی ایران واقع شده است (شکل ۱ الف). این دریاچه حدود ۵۰۰۰ کیلومتر مربع (قبل از بحران خشک شدن دریاچه) مساحت دارد و محل تجمع رواناب‌های سطحی و زیرزمینی آبخیز آن با مساحت تقریبی ۵۲۰۰۰ کیلومتر مربع است (شکل ۱ الف). در سال‌های اخیر به‌دلیل عوامل اقلیمی و انسانی مقادیر آب ورودی به دریاچه رو به کاهش بوده که کاهش حجم، تراز و مساحت پهنهٔ آبی آن را در پی داشته است. طبق آخرین آمار حدود ۷۰ درصد از مساحت اولیهٔ دریاچهٔ ارومیه از بسترهای خشک‌شده (به‌عنوان بوم‌سازگانی نوظهور) تشکیل شده است (شکل ۱ ب) که حساسیت زیادی به فرسایش بادی دارند (Kheirfam & Roohi, 2020). از این‌رو اقدامات متعددی به‌ویژه استقرار پوشش گیاهی از طریق قرق، بذرکاری، بذرپاشی (سالسولا (*Salsola soda* L.))، بوته‌کاری (قره‌داغ (*Nitraria schoberi* L.)) و نهالکاری درختچه‌ها (گز پرشاخه (*Tamarix ramosissima* Ledeb.)) با هدف تثبیت کانون‌های ریزگرد و ماسه‌های روان اجرا شده است. پوشش گیاهی به‌صورت مرحله‌ای و از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷

ایجاد شده و کاشت درختچه‌های گز در محدودهٔ پژوهش اولین اقدام در این زمینه بوده است. بیشترین تمرکز اقدامات استقرار پوشش گیاهی در غرب دریاچهٔ ارومیه (از روستای سپرغان تا مرنگلوی شهرستان ارومیه) بوده که به‌عنوان محل اجرای پژوهش حاضر مدنظر قرار گرفت (شکل ۱ ج). به‌سبب ابعاد بزرگ تاج‌پوشش درختچه‌های گز کاشت‌شده و نیز سابقهٔ کاشت زیاد آنها (از سال ۱۳۹۴) نسبت به دیگر گونه‌ها (سالسولا و قره‌داغ)، پایه‌های درختچه‌های گز برای اجرای پژوهش حاضر انتخاب شدند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان آذربایجان غربی و دریاچهٔ ارومیه در نقشهٔ ایران (الف)؛ بسترهای خشک‌شده و وضعیت کنونی دریاچهٔ ارومیه (ب)؛ محدودهٔ اجرای اقدامات نهالکاری گز در بسترهای خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه (منطقهٔ سپرغان ج)؛ اندازه‌گیری مؤلفه‌های ریخت‌شناسی و مساحت تاج‌پوشش پایه‌های گز (د)؛ اندازه‌گیری دمای خاک سطحی در داخل (ه)؛ و خارج (و) از محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز

Figure 1. The location of West Azarbaijan province and Lake Urmia on the map of Iran (a), dried-up beds and the current state of Lake Urmia (b), the zone of the of the Tamarix planting measures in the dried-up beds of Lake Urmia (Seporghan region, c), the measurement of morphological components and area of the crown covering of the study Tamarix stands (d) and the measurement of surface soil temperature in the inside (e) and outside (f) of the area of the Tamarix shrubs crown coverage

شیوهٔ اجرای پژوهش

انتخاب و اندازه‌گیری مؤلفه‌های پایهٔ درختچه‌ای

در پژوهش حاضر به‌منظور انتخاب پایه‌های درختچه‌ای گز برای اندازه‌گیری و تحلیل رفتار مؤلفه‌های خاک (دما و رطوبت سطح خاک) در بستر زمین محدودهٔ داخل و خارج از تاج‌پوشش آنها، ابتدا از سایت نهال‌های گز کاشته‌شده در منطقه سپرغان بازدید صحرایی شد. سپس پانزده پایه گز روی ردیف‌های مختلف کاشت به‌صورت منظم تصادفی و با فواصل تقریباً یکسان و نیز با ابعاد و ارتفاع تقریباً مشابه انتخاب شد (Lozano et al., 2020). پس از انتخاب پایه‌ها، ارتفاع (با ژالون به متر و با حداکثر ۲

سانتی‌متر احتمال خطا)، قطر بزرگ و کوچک تاج گزها (با متر نواری به متر) و قطر یقهٔ تنهٔ اصلی (با کولیس به میلی‌متر) اندازه‌گیری شد (Yin & Wang, 2019؛ شکل ۱ د). مساحت تاج‌پوشش گزها نیز منطبق بر مساحت بیضی (رابطهٔ ۱) محاسبه شد (Kennard et al., 2016; Li et al., 2021).

$$S = \frac{1}{4}\pi WL \qquad \text{رابطهٔ ۱}$$

در رابطهٔ ۱، S، W و L به‌ترتیب مساحت، قطر بزرگ و قطر کوچک تاج‌پوشش گزهاست و π نیز برابر با ۳/۱۴ است. پس از اندازه‌گیری مؤلفه‌های ریخت‌شناسی پایه‌های گز، چهار جهت نمونه‌برداری براساس موقعیت قرارگیری پایه‌ها با جهت باد غالب فرسایندهٔ منطقه تعیین شد. شیب منطقه بررسی‌شده در پژوهش حاضر بسیار ناچیز و کمتر از ۰/۵ درصد (براساس اندازه‌گیری‌های پیشین نویسندگان) و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد نیز حدود ۱۲۷۶ متر است (براساس اطلاعات گوگل ارث؛ Wang et al., 2017). به‌منظور تعیین جهت بادهای فرساینده، از گلباد ترسیمی ادارهٔ کل منابع طبیعی استان آذربایجان غربی استفاده شد (Zamani et al., 2020). گلباد یادشده از داده‌های بادسنجی (بین سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰) در ارتفاع‌های چهار و ده متری ایستگاه هوشمند بادسنجی مستقر در منطقهٔ سپرغان (با فاصلهٔ حداکثر یک کیلومتری تا محدودهٔ نمونه‌برداری) واقع در غرب دریاچهٔ ارومیه استخراج شده است. به‌سبب تغییرات شدید جهت بادهای سطح و حاشیه‌های دریاچهٔ ارومیه نسبت به سطح حوضهٔ آبخیز آن، استفاده از داده‌های گلباد ایستگاه‌های سینوپتیک دیگر (ایستگاه سینوپتیک فرودگاه ارومیه با فاصلهٔ تقریبی ۲۰ کیلومتر از منطقهٔ پژوهش) مدنظر قرار نگرفت. هرچند ترسیم گلباد براساس داده‌های با دوره‌های زمانی طولانی مرسوم است، ترسیم آن براساس داده‌های کوتاه‌مدت با هدف دستیابی به اطلاعات دقیق و قابل اعتماد نیز مدنظر قرار گرفت (Fyrippis et al., 2010; Zamani et al., 2020). بادهای فرساینده (با سرعت بیش از ۱۵ متر بر ثانیه) جهت شمال شرقی به شمال غربی دارای بیشترین فراوانی بودند. پس از انتخاب جهت‌های جغرافیایی نمونه‌برداری، یک نقطه در فاصلهٔ نصف قطر تاج پایه‌ها (محدودهٔ داخل تاج‌پوشش) و یک نقطه نیز در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش (در میانهٔ فاصله با تاج‌پوشش پایه‌های گز مجاور) برای نمونه‌برداری در هر یک از جهت‌های تعیین‌شده تعیین شد (Iwaoka et al., 2018). از این‌رو در همهٔ نمونه‌های برداشت‌شده از خارج محدودهٔ تاج‌پوشش، صرف نظر از مساحت و ابعاد تاج‌پوشش، محل نمونه‌برداری در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش بوده و فاصلهٔ همهٔ نقاط نمونه‌برداری با طوقهٔ پایه‌ها یکسان بود. به‌عبارتی برای هر پایهٔ گز دو محدودهٔ داخل و خارج از تاج‌پوشش در نظر گرفته شد. سپس در داخل محدودهٔ تاج‌پوشش، در چهار جهت جغرافیایی نمونه‌برداری شد و در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش نیز از چهار جهت جغرافیایی اقدام به نمونه‌برداری و اندازه‌گیری شد (در مجموع هشت نمونه برای هر پایهٔ گز). در نهایت با احتساب پانزده پایهٔ گز تحت بررسی، در مجموع ۱۲۰ نقطهٔ نمونه‌برداری برای ثبت مقادیر دما و اندازه‌گیری رطوبت وزنی مدنظر قرار گرفت.

اندازه‌گیری دما و رطوبت وزنی خاک سطحی

در پژوهش حاضر از دو شاخص دما و رطوبت سطحی خاک استفاده شد که مهم‌ترین و در دسترس‌ترین شاخص‌های محیطی (آب‌وهوایی) و تأثیرپذیرترین مؤلفه‌های محیطی از پوشش گیاهی هستند (Castro et al., 2002; Haskell et al., 2012; Aalto et al., 2013). برای اندازه‌گیری دمای سطح خاک از دماسنج قلمی- نفوذی دیجیتالی مدل TFA Dostmann Ltd 30.1048 ساخت آلمان استفاده شد. برای این منظور، دمای خاک سطحی (صفر تا ۵ سانتی‌متر؛ Castro et al., 2002) با نصب دماسنج به‌مدت دست‌کم یک دقیقه و در دامنهٔ زمانی بین

ساعت ۱۲ تا ۱۵ ظهر ثبت شد (Mohammed et al., 2021). شایان ذکر است که دمای هوا (ارتفاع دو متری از سطح زمین) در دامنهٔ زمانی تحت بررسی بین ۲۴/۵ تا ۲۶ درجهٔ سلسیوس متغیر بود (از طریق اندازه‌گیری با دماسنج دیجیتالی در حین نمونه‌برداری و هم‌چنین دمانگار نصب‌شده در ایستگاه هوشمند بادسنجی مستقر در منطقهٔ پژوهش). هرچند در تحقیقات خاک‌شناسی و برای اهداف کشاورزی عمق‌های بیشتری مدنظر نمونه‌بردار قرار می‌گیرد، در محدودهٔ مطالعاتی همانند مناطق بیابانی به‌سبب تأثیرپذیری پوسته و لایه‌های سطحی خاک از نیروی فرسایندهٔ باد، لایهٔ سطحی خاک برای نمونه‌برداری در نظر گرفته شد (Zhang et al., 2018). اندازه‌گیری دمای خاک سطحی در تاریخ هشتم مهرماه ۱۴۰۰ در نقاط تعیین‌شدهٔ داخل (شکل ۱ ه) و خارج (شکل ۱ و) از محدودهٔ تاج‌پوشش انجام گرفت. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک سطحی نیز نمونه‌های ۵۰۰ گرمی از عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری سطح خاک در نقاط تعیین‌شدهٔ داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش برداشت شد (Carter, 1993). نمونه‌های خاک در داخل کیسه‌های نایلونی زیپدار به آزمایشگاه منتقل و بلافاصله توزین شدند. سپس نمونه‌ها در محیط آون به‌مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجهٔ سلسیوس خشک شده و دوباره توزین شدند. در نهایت براساس درصد اختلاف وزن خاک اولیه و ثانویه، درصد رطوبت وزنی برای هر یک از نمونه‌های خاک برداشت‌شده محاسبه شد (Carter, 1993).

روش تحلیل

برای تجزیه‌وتحلیل‌های آماری، ابتدا بانک اطلاعاتی داده‌های مقادیر متغیرهای اندازه‌گیری‌شده برای هر یک از پایه‌های درختچه‌های گز برای جهت‌ها و نقاط نمونه‌برداری تعریف‌شده، در محیط نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ تشکیل شد. به همین منظور قبل از هرگونه تجزیه‌وتحلیل آماری، نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی شد. سپس از تجزیهٔ واریانس دوطرفه برای تحلیل تفاوت معنی‌داری بین جهت‌ها و نقاط نمونه‌برداری و اثرهای متقابل آنها استفاده شد. به‌منظور بررسی معنی‌داری تغییرات مؤلفه‌های دما و رطوبت خاک سطحی در جهت‌های مختلف جغرافیایی در داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش به‌صورت مجزا، از تجزیهٔ واریانس یکطرفه استفاده شد. پس از برقراری شرط‌های طرح‌شده، مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی انجام گرفت (McDonald, 2015). همچنین به‌منظور بررسی تفاوت معنی‌داری شاخص‌های دما و رطوبت خاک بین درون و خارج محدودهٔ تاج‌پوشش نیز از آزمون تی مستقل استفاده شد. تحلیل همبستگی (پیرسون) بین متغیرهای خاک در داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش با ویژگی‌های ریخت‌شناسی پایه‌های گز کاشته‌شده نیز انجام گرفت. آزمون‌های آماری یادشده برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS ver. 23 انجام پذیرفت.

نتایج

نتایج اندازه‌گیری مؤلفه‌های اصلی ریخت‌شناسی پایه‌های گز دست‌کاشت (پانزده پایه) در بسترهای خشک‌شدهٔ غرب دریاچهٔ ارومیه (منطقهٔ سپرغان) نشان داد که میانگین ارتفاع و مساحت تاج‌پوشش پایه‌های گز به‌ترتیب ۰/۵۴±۲/۸۴ متر و ۶/۰۴±۱۷/۲۷ متر مربع است (جدول ۱). از این‌رو با توجه به انحراف معیار به‌نسبت کم تا متوسط برای مؤلفه‌های ارتفاع و مساحت تاج‌پوشش، یکنواختی نسبی ابعاد پایه‌های گز انتخابی برای پژوهش قابل قبول بود (جدول ۱).

جدول ۱- شاخص‌های آماری مؤلفه‌های اصلی ریخت‌شناسی پایه‌های گز بسترهای خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه
Table 1. Statistical indices of the main morphological components of the study Tamarix shrubs in the dried-up beds of Lake Urmia

مقادیر Values	شاخص آماری Statistical index	مؤلفهٔ ریخت‌شناسی Morphological component	مقادیر Values	شاخص آماری Statistical index	مؤلفهٔ ریخت‌شناسی Morphological component
3.55	حداقل (متر) Minimum (m)	قطر بزرگ تاج Large crown diameter	2	حداقل (متر) Minimum (m)	ارتفاع Height
6.65	حداکثر (متر) Maximum (m)		3.6	حداکثر (متر) Maximum (m)	
4.86	میانگین (متر) Average (m)		2.84	میانگین (متر) Average (m)	
9.29	انحراف معیار (متر) Standard deviation (m)		0.54	انحراف معیار (متر) Standard deviation (m)	
3.40	حداقل (متر) Minimum (m)	قطر کوچک تاج Small crown diameter	9.48	حداقل (مترمربع) Minimum (m^2)	مساحت تاج‌پوشش Crown area
5.40	حداکثر (متر) Maximum (m)		27.09	حداکثر (مترمربع) Maximum (m^2)	
4.38	میانگین (متر) Average (m)		17.27	میانگین (مترمربع) Average (m^2)	
7.51	انحراف معیار (متر) Standard deviation (m)		6.04	انحراف معیار (مترمربع) Standard deviation (m^2)	
3.47	حداقل (متر) Minimum (m)	قطر میانگین تاج Average crown diameter	32	حداقل (میلی‌متر) Minimum (mm)	قطر یقه Collar diameter
5.87	حداکثر (متر) Maximum (m)		95	حداکثر (میلی‌متر) Maximum (mm)	
4.62	میانگین (متر) Average (m)		54.90	میانگین (میلی‌متر) Average (mm)	
8.27	انحراف معیار (متر) Standard deviation (m)		16.94	انحراف معیار (میلی‌متر) Standard deviation (mm)	
50	حداقل Minimum	شادابی Vitality	2	حداقل Minimum	تعداد جست Sprout numbers
100	حداکثر Maximum		17	حداکثر Maximum	
85.59	میانگین Average		7.90	میانگین Average	
12.76	انحراف معیار Standard deviation		3.59	انحراف معیار Standard deviation	

براساس تحلیل نتایج تجزیهٔ واریانس دوطرفه در پژوهش حاضر اختلاف معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) بین میانگین مقدار دمای ثبت‌شده در نقاط نمونه‌برداری در داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش و هم‌چنین جهت‌های مختلف جغرافیایی مشاهده شد (جدول ۲). هرچند اختلاف معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) در مقادیر رطوبت وزنی بین مناطق نمونه‌برداری داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش مشاهده شد، این متغیر در جهت‌های مختلف جغرافیایی دارای اختلاف معنی‌دار ($p>۰/۰۵$) نبود (جدول ۲). بین نقاط نمونه‌برداری و جهت‌های جغرافیایی برای متغیر دما نیز اثرهای متقابل معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) و برای رطوبت وزنی، غیرمعنی‌دار ($p>۰/۰۵$) بود (جدول ۲).

از طرفی مقایسهٔ میانگین مقادیر مؤلفهٔ دمای خاک سطحی (میانگین داخل و خارج از محدودهٔ تاج پوشش) در جهت‌های مختلف جغرافیایی نشان داد که کمترین دمای خاک سطحی در جهت شمال شرقی (۶/۰۲±۲۸/۲۰ درجهٔ سلسیوس) و سپس جنوب غربی (۵/۳۶±۲۹/۰۶ درجهٔ سلسیوس) بوده و دمای خاک سطحی در شمال غربی (۶/۳۳±۲۹/۳۶ درجهٔ سلسیوس) و جنوب شرقی (۴/۷۹±۳۰/۴۷ درجهٔ سلسیوس) پایه های گز تقریباً یکسان و بیشتر از دو

جهت دیگر جغرافیایی بود (شکل ۲ الف). با این‌حال، رطوبت وزنی خاک سطحی (میانگین داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش) در تمام جهت‌های جغرافیایی یکسان بود و در جهت‌های جنوب شرقی، شمال شرقی، جنوب غربی و شمال غربی به‌ترتیب ۰/۹۸±۲/۴۷، ۰/۸۰±۲/۴۰، ۰/۸۲±۲/۳۸ و ۰/۹۲±۲/۲۸ درصد اندازه‌گیری شد (شکل۲ ب).

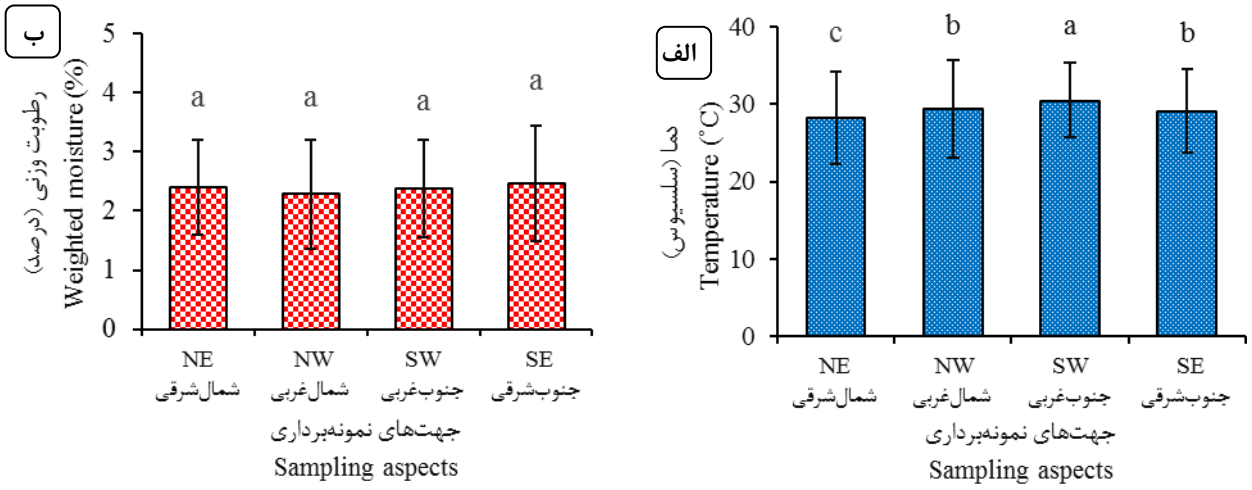
جدول ۲- تجزیهٔ واریانس دوطرفهٔ متغیرهای خاک در جهت‌های مختلف جغرافیایی و داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز

Table 2. Analysis of two-way variance of soil variables in different geographical directions, and inside and outside of the Tamarix shrubs canopy

متغیر Variable	منبع تغییرات Source of Variation	درجهٔ آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares	مقدار F F-value	سطح معنی‌داری Sig.
دما (درجهٔ سلسیوس) Temperature (°C)	نقاط نمونه‌برداری Sampling points	1	3648.008	2613.253	0.000
	جهت‌های جغرافیایی Geographical directions	3	26.349	18.911	0.000
	نقاط نمونه‌برداری × جهت‌های جغرافیایی Sampling points × Geographical directions	3	15.554	11.164	0.000
رطوبت وزنی (درصد) Weighted moisture (%)	نقاط نمونه‌برداری Sampling points	1	38.499	78.694	0.000
	جهت‌های جغرافیایی Geographical directions	3	0.171	0.351	0.789
	نقاط نمونه‌برداری × جهت‌های جغرافیایی Sampling points × Geographical directions	3	0.192	0.390	0.761

به منظور آگاهی از تأثیر جهت جغرافیایی در مقدار دما و رطوبت خاک سطحی ناشی از پایه های گز کاشته‌شده، تغییرات دو مؤلفهٔ یادشده در هر دو نقطهٔ داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش به‌صورت مجزا با استفاده از تجزیهٔ واریانس یکطرفه تحلیل شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که دمای خاک سطحی در داخل محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز کاشته‌شده دارای تغییرات معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) در جهت‌های مختلف جغرافیایی بود (جدول ۳). همچنین دمای خاک سطحی در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش نیز در جهت‌های مختلف جغرافیایی دارای تغییرات معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) بود (جدول ۳). برخلاف دما، رطوبت وزنی خاک سطحی در داخل محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های مطالعاتی در جهت‌های مختلف جغرافیایی تغییرات معنی‌داری ($p>۰/۰۵$) نداشت. رطوبت وزنی خاک در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش نیز در جهت‌های چهارگانهٔ جغرافیایی تقریباً رفتار یکسانی ($p>۰/۰۵$) داشت (جدول ۳).

تحلیل نتایج مقایسهٔ میانگین نشان داد که در داخل محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز، دمای خاک سطحی در جهت‌های شمال شرقی و جنوب غربی به‌ترتیب کمترین (۰/۹۸±۲۲/۵۳ درجهٔ سلسیوس) و بیشترین مقدار (۱/۴۱±۲۵/۸۷ درجهٔ سلسیوس) را داشت (شکل۳ الف). مقدار دمای خاک سطحی در جهت‌های شمال غربی و جنوب شرقی یکسان بود (شکل ۳ الف). تغییرات دمای خاک سطحی در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز نشان داد که در جهت جغرافیایی شمال غربی (۱/۳۹±۳۵/۸۷ درجهٔ سلسیوس) دما بیشتر از جهت های شمال شرقی و جنوب شرقی بود و دما در جهت جنوب غربی نسبت به دیگر جهت‌های جغرافیایی تفاوت معنی‌داری ($p>۰/۰۵$) نداشت (شکل۳ ب).



شکل ۲- میانگین (± انحراف معیار) دما (الف) و رطوبت وزنی (ب) خاک در جهت‌های مختلف جغرافیایی اطراف پایه‌های گز کاشته‌شده در بسترهای خشک‌شده دریاچهٔ ارومیه. حروف لاتین مشابه نشان‌دهندهٔ نبود اختلاف معنی‌دار و حروف لاتین غیرمشابه نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار است

Figure 2. Average (± standard deviation) of temperature (a) and weighted moisture (b) of soil in different geographical directions around the planted Tamarix shrubs in the dried-up beds of Lake Urmia. Bars with the same letter show nonsignificant differences; otherwise, they show a significant difference

تحلیل نتایج نشان داد که رطوبت وزنی در داخل محدودهٔ زیر تاج‌پوشش برای جهت‌های جغرافیایی شمال شرقی، شمال غربی، جنوب غربی و جنوب شرقی پایه‌های گز کاشته‌شده در بسترهای خشک‌شدهٔ غرب دریاچهٔ ارومیه (منطقهٔ سپرغان) به‌ترتیب ۰/۶۵±۳/۰۰، ۰/۹۲±۲/۸۴، ۰/۷۳±۲/۸۴ و ۰/۹۰±۳/۱۱ درصد بود (شکل ۳ ب). مقایسهٔ میانگین‌ها حاکی از نبود اختلاف معنی‌دار ($p>0/05$) بین مقادیر رطوبت وزنی در جهت‌های مختلف جغرافیایی در داخل محدودهٔ تاج پوشش بود (شکل ۳ ب). همچنین تغییرات رطوبت وزنی خاک سطحی در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری ($p>0/05$) بین مقادیر این مؤلفه در جهت‌های مختلف جغرافیایی وجود ندارد (شکل ۳ ب)، به گونه‌ای که مقدار رطوبت وزنی خاک سطحی در جهت‌های جغرافیایی شمال شرقی، شمال غربی، جنوب غربی و جنوب شرقی خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز به‌ترتیب ۰/۳۵±۱/۷۹، ۰/۵۰±۱/۷۳، ۰/۶۲±۱/۹۲ و ۰/۵۳±۱/۸۲ درصد بود (شکل ۳ ب).

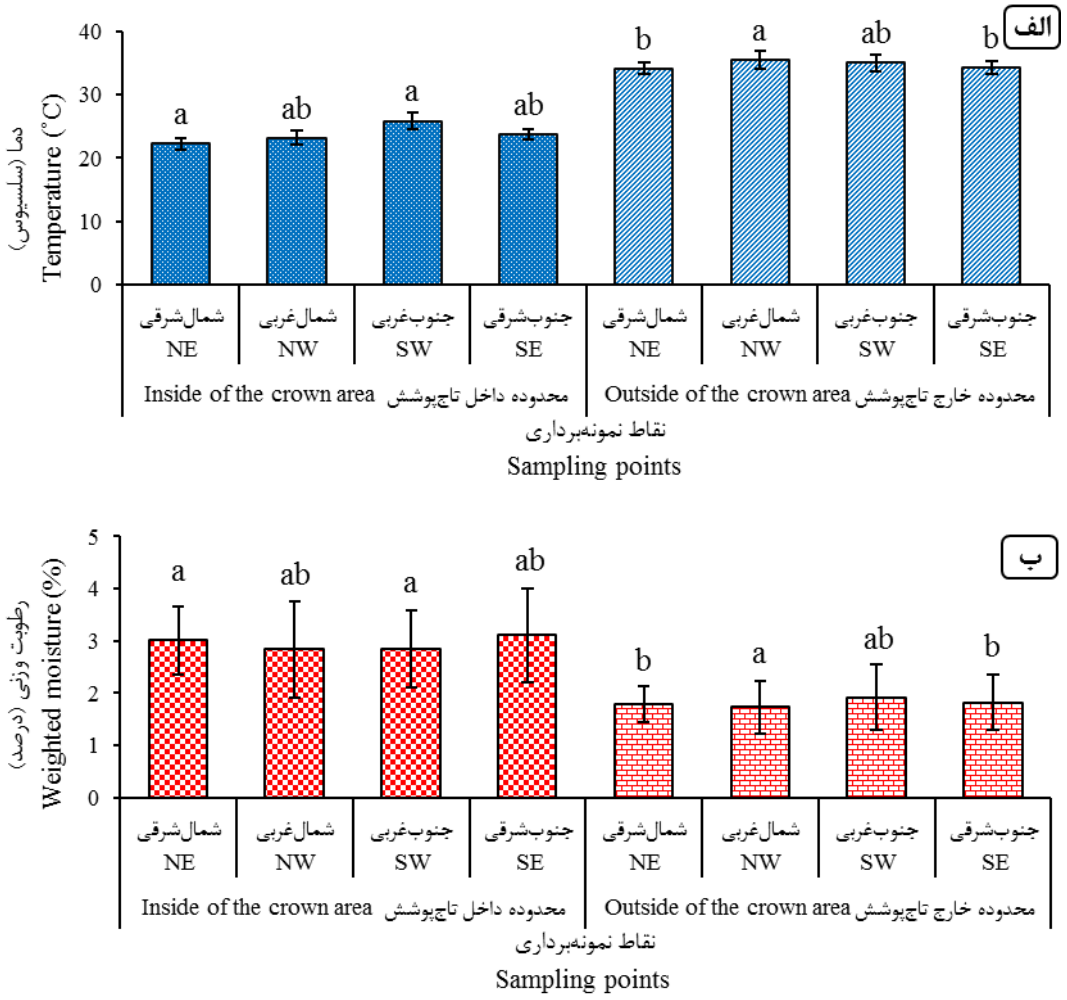
به‌منظور تحلیل تأثیر کاشت درختچه‌های گز بر مؤلفه‌های دما و رطوبت خاک سطحی، مقادیر میانگین مؤلفه‌های مذکور در دو محدودهٔ داخل و خارج از تاج‌پوشش با استفاده از آزمون تی مستقل مقایسه شد. نتایج نشان داد که هر دو متغیر دما و رطوبت وزنی خاک سطحی تفاوت‌های معنی داری ($p<0/01$) بین داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز دست‌کاشت در بسترهای خشک‌شدهٔ غرب دریاچهٔ ارومیه داشتند (جدول ۴). از این‌رو، دمای خاک سطحی در داخل محدودهٔ تاج‌پوشش (۱/۷۳±۲۳/۷۷ درجهٔ سلسیوس) بیش از ۴۶ درصد کمتر از دمای خاک سطحی در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش (۱/۳۰±۳۴/۷۸ درجهٔ سلسیوس) پایه‌های گز بود (جدول ۴). همچنین رطوبت وزنی خاک سطحی در داخل محدودهٔ تاج پوشش (۰/۸۲±۲/۹۵ درصد) نیز بیش از ۶۲ درصد بیشتر از رطوبت وزنی خاک سطحی در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش (۰/۵۱±۱/۸۲ درصد) پایه‌های گز کاشته‌شده در بسترهای خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه بود (جدول ۴).

نتایج تحلیل همبستگی پیرسون بین متغیرهای ریخت‌شناسی پایه‌های گز (ارتفاع و مساحت تاج‌پوشش آنها) با مقادیر مؤلفه‌های دما و رطوبت وزنی خاک سطحی در داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج حاکی از نبود همبستگی ($p>۰/۰۵$) و تأثیر نپذیرفتن مؤلفه‌های دما و رطوبت داخل محدودهٔ تاج‌پوشش از ارتفاع و مساحت تاج‌پوشش پایه‌های گز کاشته‌شده در بسترهای خشک‌شده غرب دریاچهٔ ارومیه بود (جدول ۵). مؤلفهٔ دمای خاک سطحی خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز نیز با مساحت و ارتفاع آنها همبستگی معنی‌داری نداشت ($p>۰/۰۵$). با این‌حال همبستگی مثبت و معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) بین مؤلفهٔ رطوبت سطحی خاک در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش با مؤلفه ارتفاع تاج‌پوشش پایه‌های گز مشاهده شد (جدول ۵)؛ هرچند این مؤلفه در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش با مساحت آن همبستگی معنی‌داری ($p>۰/۰۵$) نداشت (جدول ۵).

جدول ۳- تجزیهٔ واریانس یکطرفهٔ متغیرهای خاک به‌صورت تفکیک‌شده در داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز در جهت‌های مختلف جغرافیایی

Table 3. Analysis of one-way variance of soil variables separately in the inside and outside of the crown coverage area of the Tamarix shrubs in different geographical directions

متغیر Variable	نقاط نمونه‌برداری Sampling points	منبع تغییرات Source of Variation	درجهٔ آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares	مقدار F F-value	سطح معنی‌داری Sig.
دما (درجهٔ سلسیوس) Temperature (˚C)	داخل محدودهٔ تاج‌پوشش Inside of the crown area	درون‌گروهی Whithin group	3	35.48	26.973	0.000
		برون‌گروهی Between group	56	1.480		
		مجموع Total	59			
	خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش Outside of the crown area	درون‌گروهی Within group	3	6.421	4.365	0.008
		برون‌گروهی Between group	56	1.471		
		مجموع Total	59			
رطوبت وزنی (درصد) Weighted moisture (%)	داخل محدودهٔ تاج‌پوشش Inside of the crown area	درون‌گروهی Within group	3	0.266	0.384	0.765
		برون‌گروهی Between group	56	0.700		
		مجموع Total	59			
	خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش Outside of the crown area	درون‌گروهی Within group	3	0.094	0.436	0.799
		برون‌گروهی Between group	56	0.279		
		مجموع Total	59			



شکل ۳- میانگین (± انحراف معیار) دما و رطوبت وزنی خاک سطحی در داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز در جهت‌های مختلف جغرافیایی (مقایسهٔ میانگین‌ها در داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش به‌صورت مجزا انجام گرفته است). حروف لاتین مشابه نشان‌دهندهٔ نبود اختلاف معنی‌دار و حروف لاتین غیرمشابه نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار است

Figure 3. Average (± standard deviation) of temperature and weighted moisture of the soil surface in the inside and outside the canopy area of the Tamarix shrubs in different geographical directions (comparison of the averages inside and outside the canopy area was done separately). Bars with the same letter show nonsignificant differences; otherwise, they show a significant difference

جدول ۴- مقایسهٔ میانگین مؤلفه‌های دما و رطوبت خاک سطحی در داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز با استفاده از آزمون تی مستقل

Table 4. Comparison of the average values of the soil surface temperature and moisture components in the inside and outside of the crowning area of the Tamarix shrubs using independent t-test

سطح معنی‌داری Sig.	مقدار t t-value	درجهٔ آزادی df	خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش Outside of the crown area	داخل محدودهٔ تاج‌پوشش Inside of the crown area	مؤلفهٔ بررسی‌شده Study variable
0.000	-39.049	118	34.78	23.77	دما (درجهٔ سلسیوس) Temperature (˚C)
0.000	9.016	118	1.82	2.95	رطوبت وزنی (درصد) Weighted moisture (%)

جدول ۵- تحلیل همبستگی (پیرسون) متغیرهای خاک در داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش با ویژگی‌های ریخت‌شناسی پایه‌های گز کاشته‌شده در بسترهای خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه

Table 5. Correlation analysis (Pearson) of soil variables in the inside and outside of the crown area with the morphological characteristics of the planted Tamarix shrubs in the dried-up beds of Lake Urmia

محدودهٔ تاج‌پوشش crown area	متغیر Variable	شاخص Index	ارتفاع پایه‌ها Shrubs height	مساحت تاج‌پوشش پایه‌ها Shrubs crown area
داخل Inside	دما (درجهٔ سلسیوس) Temperature (˚C)	ضریب پیرسون Pearson coefficient	-0.065	-0.238
		سطح معنی‌داری Sig.	0.620	0.067
	رطوبت وزنی (درصد) Weighted moisture (%)	ضریب پیرسون Pearson coefficient	0.226	0.067
		سطح معنی‌داری Sig.	0.083	0.610
خارج Outside	دما (درجهٔ سلسیوس) Temperature (˚C)	ضریب پیرسون Pearson coefficient	0.236	0.036
		سطح معنی‌داری Sig.	0.069	0.783
	رطوبت وزنی (درصد) Weighted moisture (%)	ضریب پیرسون Pearson coefficient	0.371	0.102
		سطح معنی‌داری Sig.	0.004	0.436

بحث

تحلیل نتایج پژوهش حاضر نشان داد که دمای سطح خاک در داخل محدودهٔ تاج‌پوشش گونه‌های گز بین ۲۰/۷ تا ۲۹/۱ درجهٔ سلسیوس و در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش بین ۳۲/۲ تا ۳۸/۱ درجهٔ سلسیوس اندازه‌گیری شد. در این زمینه یافته‌های Wang et al. (2018) نیز حاکی از دمای زیاد سطح خاک در اراضی بدون پوشش گیاهی بود که کمبود رطوبت در اثر شدت تبخیر زیاد در این اراضی یکی از عوامل مؤثر بیان شد. در این بین، نقش توسعهٔ پوشش گیاهی در تعدیل متغیرهای محیطی به‌ویژه رطوبت و دمای سطحی خاک در اراضی خشک و نیمه‌خشک تأیید شده است (Zhao et al., 2021). از طرفی دمای سطح خاک در محدودهٔ خارج از تاج‌پوشش گیاهی (۳۲/۲ تا ۳۸/۱ درجهٔ سلسیوس) نسبت به دمای هوا (۲۴/۵ تا ۲۶ درجهٔ سلسیوس) در بسترهای خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه بیشتر بود. در این زمینه، نتایج پژوهش‌های پیشین نیز دمای زیاد در لایهٔ سطحی خاک نسبت به دمای هوا در اراضی بدون پوشش گیاهی را گزارش کرده‌اند (Coppernoll-Houston & Potter, 2018). همچنین Lozano-Parra et al. (2018) گزارش کردند که در طول روز و با شرایط رطوبت کم خاک، حداکثر دمای روزانهٔ خاک در محدودهٔ زیر تاج‌پوشش درختان به‌طور متوسط ۷/۱ درجهٔ سلسیوس کمتر از دمای هوا (جو) بوده، درحالی که حداکثر دمای روزانهٔ سطح خاک در محدودهٔ خارج از تاج‌پوشش درختان (منطقهٔ مرتعی)، ۴/۲ درجهٔ سلسیوس بیش‌تر از دمای هوا بود. یافته‌های پژوهش حاضر نیز نشان داد که مقادیر کاهش دما (۴۶ درصد) و افزایش رطوبت (۶۲ درصد) در محدودهٔ زیر تاج‌پوشش نسبت به محدودهٔ خارج آن بسیار چشمگیر بوده (جدول ۴) که حاکی از ایجاد شرایط مناسب محیطی در محدودهٔ تحت تأثیر تاج‌پوشش پایه‌های گز کاشته‌شده در بسترهای خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه و نیز اثرگذاری آنها در بهبود مؤلفه‌های مهم پویایی منطقهٔ پژوهش بوده است. بنابراین به‌نظر می‌رسد که تأثیر اقدامات نهالکاری پایه‌های گز در تثبیت بسترهای خشک‌شدهٔ

دریاچهٔ ارومیه در بهبود وضعیت ویژگی‌های خاک سطحی مؤثر است که در نتیجهٔ آن شرایط برای پویایی بوم‌سازگان حاضر فراهم خواهد بود (Lozano et al., 2020). براساس یافته‌های Liang et al. (2014) تاج‌پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک با جذب و انعکاس برخی امواج خورشیدی و ایجاد سایه در محیط سطحی تحت پوشش خود سبب کاهش تبخیر از سطح خاک می‌شود و به تعدیل دمایی نیز کمک می‌کند. یافته‌های Chen & Black (1992) نشان داد که تاج‌پوشش گیاهان تابش خورشیدی ورودی را جذب، پراکنده و منعکس کرده و بنابراین مقدار انرژی نفوذی به سطح خاک و هوای زیر تاج‌پوشش را محدود می‌کند. هرچند ایشان بیان کردند که مقدار تابش خورشیدی جذب‌شده توسط تاج‌پوشش گیاهان وابسته به مقادیر شاخص سطح برگ آن (LAI) است. کاهش تبخیر رطوبت خاک با جلوگیری از نفوذ باد به سطح خاک زیر تاج‌پوشش از کارکردهای اندام هوایی درختچه‌ها گزارش شده است (Garratt, 1994). از طرفی مقدار بخار آب موجود در هوای بالای سطح زمین به‌شدت به دمای هوا بستگی دارد. بنابراین در دو محیط با رطوبت ویژهٔ یکسان (جرم بخار آب در واحد جرم هوا) اما با دمای هوای متفاوت، محیط سردتر رطوبت نسبی بیشتری نسبت به محیط گرم‌تر خواهد داشت (Hardwick et al., 2015). یافته‌های Wang et al. (2019) نیز نشان داد که پوشش‌های گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک در فصول گرم و بدون بارش سال از طریق اندام‌های هوایی خود سبب جذب رطوبت هوا، مه و شبنم صبحگاهی می‌شود. در پوشش‌های گیاهی سوزنی‌برگ، آب جذب‌شده به‌سرعت به سطح خاک منتقل می‌شود و ضمن بهبود محتوای رطوبت در زیر تاج‌پوشش شرایط تعدیل دمایی سطح خاک را فراهم می‌کند. آنها همچنین گزارش کردند که با افزایش ابعاد و تاج‌پوشش گیاهان، مقدار جذب رطوبت محیط و نیز مساحت تحت تأثیر تاج‌پوشش افزایش می‌یابد (Wang et al., 2019). از طرفی جریان‌های باد مرطوب از بخش دارای آب دریاچهٔ ارومیه (وسط) به حاشیه‌های خشک‌شدهٔ دریاچه توسط درختچه‌های گز کاشته‌شده تله‌اندازی می‌شود. سپس رطوبت جذب‌شده توسط اندام‌های هوایی درختچه‌ها به سطح خاک محیط زیر تاج‌پوشش و حتی گاهی به خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش به‌صورت برگاب و ساقاب اضافه خواهد داشت. از این‌رو بهبود محتوای رطوبت خاک در محدودهٔ تحت تأثیر تاج‌پوشش درختچه‌ها از اثرهای درختچه‌های کاشته‌شده است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مقادیر شاخص‌های رطوبت و دمای اندازه‌گیری‌شده در داخل و خارج از تاج‌پوشش پایه‌های گز کاشته‌شده در بسترهای خشک‌شدهٔ غرب دریاچهٔ ارومیه در جهت‌های جغرافیایی مختلف متفاوت است (جدول ۲، شکل‌های ۲ و ۳). براساس یافته‌های پژوهش حاضر، مؤلفهٔ دما به‌عنوان یک شاخص مهم محیطی، مقادیر کمتری در جهت شمال شرقی و مقادیر بیشتری در جهت جنوب غربی درختچه‌ها داشت، به‌گونه‌ای که اختلاف دمای بین این دو جهت جغرافیایی در داخل محدودهٔ تاج‌پوشش نسبت به یکدیگر بیش از ۱۶ درصد بود. با این‌حال رفتار تغییرات دمایی در محدودهٔ خارج از تاج‌پوشش پایه‌ها نسبت به داخل آنها متفاوت بود. هرچند میانگین دمای خاک سطحی در داخل و خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش باز هم در جهت شمال شرقی کمتر (حدود ۸ درصد) از جهت جنوب غربی بود (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد که موقعیت قرارگیری پایه‌های گز نسبت به خورشید تأثیر بسزایی در تغییرات مؤلفه‌های محیطی محدودهٔ تحت تأثیر تاج‌پوشش گزها داشت؛ به‌گونه‌ای که مقادیر دما در جهت‌های متقارن با قبل از ظهر (شمال شرقی) کمتر از جهت‌های متقارن با بعد از ظهر (جنوب غربی) بود. از این‌رو شدت نور خورشید و زاویهٔ تابش آن از عوامل محیطی و بیرونی در رفتار مؤلفه‌های محیطی اطراف پایه‌های پوشش گیاهی است که توسط Lozano et al. (2020) تأیید شده است. از طرفی، آگاهی از مقدار

تأثیرپذیری رفتار و مقادیر مؤلفه‌های محیطی (همانند دما و رطوبت) از ویژگی‌های ریخت‌شناسی پایه‌های پوشش گیاهی امکان انتخاب گونه‌های مناسب گیاهی برای اهداف اقدامات نهالکاری را فراهم می‌کند. در پژوهش حاضر اثرپذیری مؤلفهٔ دمای سطح خاک از ارتفاع و مساحت تاج‌پوشش یکسان بود (جدول ۵). در پژوهش حاضر محل نمونه‌برداری و اندازه‌گیری مؤلفه‌های دما و رطوبت سطحی خاک در زیر تاج‌پوشش و به‌فاصلهٔ نصف قطر تاج بود که در هر ارتفاع و مساحت تاج‌پوششی از پایه‌ها، نمونه‌های برداشت‌شده تحت تأثیر تاج‌پوشش بودند و از این‌رو تغییر در مشخصه‌های ریخت‌شناسی پایه‌ها سبب افزایش یا کاهش مؤلفه‌های تحت بررسی نخواهد شد. از این‌رو تحلیل رفتار مؤلفه‌های محیطی با تغییرات ریخت‌شناسی درختچه‌ها نیازمند نمونه‌برداری در فاصله‌های مختلف از داخل تا خارج از تاج‌پوشش خواهد بود. تأیید تأثیرپذیری محتوای رطوبت خاک سطحی در خارج از محدودهٔ تاج‌پوشش پایه‌های گز (جدول ۵) نیز نیازمند پژوهش‌های تکمیلی با هدف بررسی تصادفی نبودن همبستگی این مؤلفه با ارتفاع درختچه‌هاست. با این‌حال به‌نظر می‌رسد که ارتفاع درختچه‌ها به‌دلیل ایجاد شرایط سایه‌اندازی در طول روز سبب کاهش هدررفت رطوبت سطحی خاک از طریق تبخیر شده است. از این‌رو انتخاب گونه‌هایی با قابلیت زیاد در ایجاد تاج‌پوششی با مساحت و ارتفاع زیاد سبب ایجاد شرایط محیطی مناسب‌تری خواهد شد.

در نهایت، یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که ارزیابی کارایی پایه‌های درختی و درختچه‌ای کاشته‌شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک و بوم‌سازگان‌های نوظهور مانند بستر دریاچه‌ها و تالاب‌های خشک‌شده راهکاری مطلوب در زمینهٔ سنجش حد موفقیت اقدامات اکولوژیکی است. بر این اساس در کنار دیگر مؤلفه‌ها، دو مؤلفهٔ دما و رطوبت سطح خاک، شاخص‌های در دسترس، سریع و مهمی برای استفاده در ارزیابی اثرگذاری نهالکاری بر محیط‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که بهبود مؤلفه‌های دما و رطوبت سطح خاک ناشی از کاشت نهال‌های گز به‌عنوان گونه‌ای مقاوم به شرایط نامساعد محیطی در بسترهای خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه رخ داده و شرایط محیطی مناسبی را برای تثبیت و سپس ارتقای بوم‌سازگان نوظهور به‌وجود آورده است. با این‌حال، محدودهٔ دارای شرایط مطلوب محیطی تا حدودی متأثر از ریخت‌شناسی تاج‌پوشش (ارتفاع و مساحت تاج‌پوشش) و نیز جهت قرارگیری نسبت به تابش‌های شدید خورشیدی است. در این زمینه، انتخاب پایه‌های درختی و درختچه‌ای با رشد سریع و برخورداری از تاج‌پوشش بزرگ، مرتفع و عریض برای پروژه‌های نهالکاری و نیز طراحی ردیف‌های کاشت با فاصله‌های بهینه از راهکارهای پیشنهادی برای بیشینه‌سازی اثرگذاری اقدامات اکولوژیکی با هدف مدیریت بوم‌سازگان‌های حساس به تخریب است. از این‌رو استفاده از نهال‌های گونه‌های گز دارای ارتفاع و مساحت تاج‌پوشش بیشتر و همچنین کاشت آنها با فاصله‌های کمتر نسبت به هم در تمام حاشیه‌های خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه در راستای اقدامات احیای دریاچهٔ ارومیه پیشنهاد می‌شود. یافته‌های کلی پژوهش حاضر نشان داد که کاشت درختچه‌های گز پرشاخه، راهکار مؤثری در تثبیت بسترهای خشک‌شده در غرب دریاچهٔ ارومیه است که توسعهٔ کاشت آنها در دیگر بخش‌های دریاچهٔ ارومیه موجب تثبیت و احیای پوشش گیاهی حداکثری در بخش‌های خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه خواهد شد. با این‌حال به‌منظور دستیابی به نتایج موفق، توجه به اصولی مانند کاشت نهال‌ها با فاصله‌های کمتر نسبت به همدیگر، آبیاری کافی تا استقرار کامل پایه‌ها و نیز رشد حداکثری آنها و تنظیم ردیف‌های کاشت به‌صورت عمود بر باد غالب فرساینده ضروری است. در نهایت تحلیل اثرگذاری کاشت نهال‌ها بر دیگر مؤلفه‌ها مانند رفتار جامعهٔ میکروبی خاک، پوشش‌های گیاهی یکساله و دیگر موجودات محیط براساس اندازه‌گیری‌های پیوسته در دوره‌های زمانی مختلف برای پژوهش‌های آتی نیز پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از ادارهٔ کل منابع طبیعی استان آذربایجان غربی و نیز از جناب آقای مهندس سجاد خضری و جناب آقای مهندس یوسف علیزاده برای مشارکت در مراحل نمونه‌برداری بسیار سپاسگزارند. هم‌چنین از پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه دانشگاه ارومیه برای حمایت مالی بخشی از هزینه‌های پژوهش حاضر نیز نهایت قدردانی را دارد.

References

Aalto, J., le Roux, P.C., & Luoto, M. (2013). Vegetation mediates soil temperature and moisture in arctic-alpine environments. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 45*(4), 429-439.

Al-Dousari, A., Ramadan, A., Al-Qattan, A., Al-Ateeqi, S., Dashti, H., Ahmed, M., Al-Dousari, N., Al-Hashash, N., & Othman, A. (2020). Cost and effect of native vegetation change on aeolian sand, dust, microclimate and sustainable energy in Kuwait. *Journal of Taibah University for Science, 14(1),* 628-639.

Alizadeh Motaghi, F., Hamzehpour, N., Abasiyan, S.M.A., & Rahmati, M. (2020). The wind erodibility in the newly emerged surfaces of Urmia Playa Lake and adjacent agricultural lands and its determining factors. *Catena, 194*, 104675.

Bijani, A., Moslehi, M., & Parvaresh, H. (2020). Effects of *Prosopis cineraria* (L.) Druce and *Prosopis juliflora* (SW.) DC on some chemical characteristics of soil. *Iranian Journal of Forest, 12*(1), 101-111.

Carter, M.R.. (1993). *Soil sampling and methods of analysis.* CRC Press.

Castro, J., Zamora, R., Hódar, J.A., & Gómez, J.M. (2002). Use of shrubs as nurse plants: a new technique for reforestation in Mediterranean mountains. *Restoration Ecology, 10*(2), 297-305.

Chen, F., Guo, H., Ishwaran, N., Liu, J., Wang, X., Zhou, W., & Tang, P. (2019). Understanding the relationship between the water crisis and sustainability of the Angkor World Heritage site. *Remote Sensing of Environment, 232*, 111293.

Chen, J.M., & Black, T.A. (1992). Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant, Cell & Environment, 15(4)*, 421-429.

Coppernoll-Houston, D., & Potter, C. (2018). Field measurements and satellite remote sensing of daily soil surface temperature variations in the Lower Colorado Desert of California. *Climate, 6(4)*, 94.

Fyrippis, I., Axaopoulos, P.J., & Panayiotou, G. (2010). Wind energy potential assessment in Naxos Island, Greece. *Applied Energy, 87*(2), 577-586.

Garratt, J.R. (1994). The atmospheric boundary layer. *Earth-Science Reviews, 37*(1-2), 89-134.

Hardwick, S.R., Toumi, R., Pfeifer, M., Turner, E.C., Nilus, R., & Ewers, R.M. (2015). The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology, 201*, 187-195.

Haskell, D.E., Flaspohler, D.J., Webster, C.R., & Meyer, M.W. (2012). Variation in soil temperature, moisture, and plant growth with the addition of downed woody material on lakeshore restoration sites. *Restoration Ecology, 20*(1), 113-121.

Hassanzadeh, E., Zarghami, M., & Hassanzadeh, Y. (2012). Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management, 26*(1), 129-145.

He, Y., D'Odorico, P., & De Wekker, S.F. (2015). The role of vegetation–microclimate feedback in promoting shrub encroachment in the northern Chihuahuan desert. *Global Change Biology, 21*(6), 2141-2154.

Huang, H., Tuley, P.A., Tu, C., Zinnert, J.C., Rodriguez-Iturbe, I., & D'Odorico, P. (2021). Microclimate feedbacks sustain power law clustering of encroaching coastal woody vegetation. *Communications Biology, 4*(1), 1-7.

Iwaoka, C., Imada, S., Taniguchi, T., Du, S., Yamanaka, N., & Tateno, R. (2018). The impacts of soil fertility and salinity on soil nitrogen dynamics mediated by the soil microbial community beneath the halophytic shrub tamarisk. *Microbial Ecology, 75*(4), 985-996.

Javanmard, Z., Tabari Kouchaksaraei, M., Bahrami, H.A., Hosseini, S.M., & Modarres Sanavi, S.A. (2019). Effects of dust on morpho-physiological responses of *Fraxinus rotundifolia* Mill. seedling. *Iranian Journal of Forest, 11*(3), 309-323.

Kennard, D., Louden, N., Gemoets, D., Ortega, S., González, E., Bean, D., Cunningham, P., Johnson, T., Rosen, K., & Stahlke, A. (2016). Tamarix dieback and vegetation patterns following release of the northern tamarisk beetle (*Diorhabda carinulata*) in western Colorado. *Biological Control, 101*, 114-122.

Kheirfam, H., & Asadzadeh, F. (2020). Stabilizing sand from dried-up lakebeds against wind erosion by accelerating biological soil crust development. *European Journal of Soil Biology, 98*, 103189.

Kheirfam, H., & Roohi, M. (2020). Accelerating the formation of biological soil crusts in the newly dried-up lakebeds using the inoculation-based technique. *Science of the Total Environment, 706*, 136036.

Khoshnevis, M., Teimouri, M., Sadegzadeh Hallaj, M.H., Matinizadeh, M., & Shirvany, A. (2019). The effect of canopy and its geographic orientation on seeds germination and survival of Juniperus excelsa seedlings. *Iranian Journal of Forest, 11*(3), 363-373.

Li, C., Yang, F., Zheng, X., Han, Z., Pan, H., Zhou, C., & Ji, C. (2021). Changes in distribution and morphology of *Tamarix ramosissima* nebkhas in an oasis-desert ecotone. *Geosciences Journal, 25*(5), 661-673.

Liang, H., Chen, X.S., Yin, J.G., & Da, L.J. (2014). The spatial-temporal pattern and influencing factors of negative air ions in urban forests, Shanghai, China. *Journal of Forestry Research, 25*, 847-856.

Lozano, Y.M., Hortal, S., Armas, C., & Pugnaire, F.I. (2020). Complementarity in nurse plant systems: soil drives community composition while microclimate enhances productivity and diversity. *Plant and Soil, 450*(1), 385-396.

Lozano-Parra, J., Pulido, M., Lozano-Fondón, C., & Schnabel, S. (2018). How do soil moisture and vegetation covers influence soil temperature in drylands of Mediterranean regions?. *Water, 10*(12), 1747.

Luo, Q., Zhen, L., Xiao, Y., & Wang, H. (2020). The effects of different types of vegetation restoration on wind erosion prevention: a case study in Yanchi. *Environmental Research Letters, 15*(11), 115001.

McDonald, J.H. (2015). *Handbook of biological statistics, (3rd ed.)*. Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland. 305 p.

Mohammed, S., Mirzaei, M., Pappné Törő, Á., Anari, M.G., Moghiseh, E., Asadi, H., Szabó, S., Kakuszi-Széles, A., & Harsányi, E. (2021). Soil carbon dioxide emissions from maize (*Zea mays* L.) fields as influenced by tillage management and climate. *Irrigation and Drainage, 71*(1), 228-240.

Muñoz Vallés, S., Gallego Fernández, J.B., Dellafiore, C., & Cambrollé, J. (2011). Effects on soil, microclimate and vegetation of the native-invasive *Retama monosperma* (L.) in coastal dunes. *Plant Ecology, 212*(2), 169-179.

Peters, E.B., & McFadden, J.P. (2010). Influence of seasonality and vegetation type on suburban microclimates. *Urban Ecosystems, 13*(4), 443-460.

Salazar, P.C., Navarro-Cerrillo, R.M., Grados, N., Cruz, G., Barrón, V., & Villar, R. (2019). Tree size and leaf traits determine the fertility island effect in Prosopis pallida dryland forest in Northern Peru. *Plant and Soil, 437*(1), 117-135.

Stoutjesdijk, P.H., & Barkman, J.J. (2014). *Microclimate, vegetation & fauna.* Brill. 233 pp.

Wang, L., Kaseke, K.F., Ravi, S., Jiao, W., Mushi, R., Shuuya, T., & Maggs-Kölling, G. (2019). Convergent vegetation fog and dew water use in the Namib Desert. *Ecohydrology, 12*(7), 1-11.

Wang, Y., Yang, J., Chen, Y., Wang, A., & De Maeyer, P. (2018). The spatiotemporal response of soil moisture to precipitation and temperature changes in an arid region, China. *Remote Sensing*, *10*(3), 468.

Wang, Y., Zou, Y., Henrickson, K., Wang, Y., Tang, J., & Park, B.J. (2017). Google Earth elevation data extraction and accuracy assessment for transportation applications. *PloS one*, *12*(4), 0175756.

Yin, D., & Wang, L. (2019). Individual mangrove tree measurement using UAV-based LiDAR data: Possibilities and challenges. *Remote Sensing of Environment*, *223*, 34-49.

Zamani, S., Mahmoodabadi, M., Yazdanpanah, N., & Farpoor, M.H. (2020). Meteorological application of wind speed and direction linked to remote sensing images for the modelling of sand drift potential and dune morphology. *Meteorological Applications*, *27*(1), 1-16.

Zhang, C., Wang, X., Zou, X., Tian, J., Liu, B., Li, J., Kang, L., Chen, H., & Wu, Y. (2018). Estimation of surface shear strength of undisturbed soils in the eastern part of northern China's wind erosion area. *Soil and Tillage Research, 178*, 1-10.

Zhang, J., Jia, G., Liu, Z., Wang, D., & Yu, X. (2019). Populus simonii Carr. Reduces Wind Erosion and Improves Soil Properties in Northern China. *Forests*, *10*(4), 315.

Zhao, L., Li, W., Yang, G., Yan, K., He, X., Li, F., Gao, Y., & Tian, L. (2021). Moisture, temperature, and salinity of a typical desert plant (*Haloxylon ammodendron*) in an arid oasis of northwest china. *Sustainability*, *13*(4), 1908.

Iranian Journal of Forest
Vol. 14, No. 4, Winter 2023
pp. 371-388

Research Article

Effect of planting the *Tamarix ramosissima* Ledeb. shrubs on soil temperature and humidity in the western dried-up beds of Lake Urmia

L. Alizadeh[1], A. Alijanpour[2 and 4*], and H. Kheirfam[3and 4]

[1] MS.c. Student, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran
[2] Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran
[3] Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran
[4] Urmia Lake Research Institute, Urmia University, Urmia, I. R. Iran

(Received: 14 November 2021; Accepted: 27 February 2022)

Abstract

Various measures are considered to stabilize the erodible beds such as planting. Environmental variables in the canopy cover of plants, including soil temperature and moisture, are readily indicators of planting projects success evaluation. Therefore, this study was planned to evaluate the success of Tamarix (Tamarix ramosissima Ledeb.) plantation in modulating modifying soil temperature and moisture indices in the dried-up beds of Lake Urmia. To this endFor this purpose, 15 stands of seven-year-old Tamarix shrubs were randomly systematically selected and their heights and canopy area were measured. Additionally, in four cardinal directions, the top-soil temperature and humidity were also measured in the inside and outside of the under of canopy zones (120 points in total) following the prevailing erosive winds. Afterward, tThe results were then statistically analyzed. Two-way analysis of variance showed significant differences ($p<0.01$) for soil temperature and humidity among the sampling points (inside and outside of the microclimate zones) and significant differences ($p<0.01$) for soil temperature among the cardinal directions of sampling. The mean temperature and moisture content of the soil surface in the inside and outside of the Tamarix shrubs canopy were 23.77 and 34.78 °C, and 2.95 and 1.82%, respectively. So that, a significant decrease ($p<0.01$; 45%) in the soil temperature and a significant increase ($p<0.01$; 62%) in the soil moisture content were recorded in the inside of the canopy zones in comparison to the outside zones. The findings showed that the selection of Tamarix shrubs with larger canopy and planting with higher density should be considered to improve the environmental conditions in erosion-prone deserts management programs.

Keywords: Canopy, ecological restoration, newborn ecosystems, planting, wind erosion.

* Corresponding author Tell: +984431942501 E-mail address: a.alijanpour@urmia.ac.ir