DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2024.20945.1977

تأثیر تنش خشکی بر نیاز آبی و ضریب گیاهی نهال‌های کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) در سنین مختلف

(مقالۀ پژوهشی)

۱- محمد عسگری، دانشجوی فقید دکترای علوم زیستی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲- وحید اعتماد*، دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
vetemad@ut.ac.ir
۳- محسن جوانمیری‌پور، دکترای علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۴- خالد احمدآلی، استادیار، گروه احیا و مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۵- احسان عبدی، دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱
پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

چکیده

یکی از محدودیت‌های اساسی در مناطق خشک، تخصیص منابع آبی برای توسعۀ بوستان‌های جنگلی و غیرجنگلی، جنگلکاری‌ها و کمربندهای سبز است. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر تنش خشکی بر نیاز آبی گونۀ کاج تهران در سنین مختلف رویشی بوده است. این مطالعه به صورت طرح فاکتوریل با فاکتورهای سن و تنش خشکی در پایه کاملاً تصادفی و در ۱۰ تکرار انجام شد. سن گونۀ گیاهی در سه سطح گونه‌های یک، سه و پنج ساله و فاکتور تنش خشکی در سه سطح تنش ملایم (حد رطوبتی ۰/۳)، متوسط (حد رطوبتی ۰/۵) و زیاد (حد رطوبتی ۰/۷) بود که در مجموع ۹ تیمار و با در نظر گرفتن تعداد ۱۰ تکرار جمعاً ۹۰ میکرولایسیمتر حاصل گردید. نتایج نشان داد بیشترین مقدار تبخیر تعرق مرجع از اردیبهشت تا مهر اتفاق افتاد که معمولاً در ماه تیر به بیشترین میزان می‌رسد. نمودار تبخیر-تعرق برای گونه کاج تهران در سنین یک، سه و پنج سالگی در سال ۱۴۰۰ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های اردیبهشت تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد در حالی‌که در ماه آبان دارای کمترین مقدار است. نمودار تبخیر-تعرق در نهال‌های یک، سه و پنج ساله کاج تهران در سال ۱۴۰۱ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد درحالی‌که در ماه‌های فروردین و آبان دارای کمترین مقدار است. مقدار تجمعی رطوبت مصرف شده در سنین یک، سه و پنج در تنش‌های خشکی مورد مطالعه برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان می‌دهد مقدار مصرف آب در تنش خشکی ۰/۷ بیشتر از تنش‌های ۰/۵ و ۰/۳ است. ضریب گیاهی نهال‌های یک، سه و پنج ساله کاج تهران در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱؛ در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ از خرداد تا مهر در سطح احتمال ۰/۰۱ دارای بیشترین مقدار می‌باشد درحالی‌که در ماه‌های فروردین و آبان دارای کمترین مقدار است. مقایسه میانگین مقدار تبخیر تعرق پتانسیل در نهال‌های کاج تهران مورد بررسی در تنش‌های مختلف نشان‌دهنده معنی‌داربودن میانگین آنها به احتمال ۰/۰۱ در گروه‌های مختلف و طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان‌دهنده معنی‌دار بودن میانگین آنها به احتمال ۰/۰۱ است. بر اساس نتایج به‌دست آمده تأثیر تنش خشکی گونه کاج تهران در سنین و مراحل مختلف رویشی طی مدت مورد مطالعه حایز اهمیت بوده و بر نیاز آبی و ضریب گیاهی مؤثر است. به‌طور میانگین در ماه‌های خرداد و تیر بیشترین میزان آب را نیاز دارد که مقدار آن برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به‌ترتیب برابر با ۸۹ و ۵۹/۳ میلی‌متر است.

واژگان کلیدی: تبخیرتعرق پتانسیل، تبخیر تعرق مرجع، حد مجاز تقلیل رطوبت، میکرولایسیمتر.

مقدّمه

نتایج پژوهش‌هایی که روند بلندمدت تغییرات دما و بارش در نقاط مختلف ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند، دلالت بر تغییرات مقدار بارش و گرم‌شدن فلات ایران دارند [۲۷]. ایران به‌عنوان کشوری با تنش‌های آبی فراوان و واقع‌شدن در منطقۀ بحرانی خاورمیانه، با دورنمایی نگران‌کننده روبه‌رو است که در صورت نبود مدیریت صحیح و تنظیم

سیاست‌های داخلی و بین‌المللی مطلوب برای آینده، با بحران‌های زیست‌محیطی، سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و حتی نظامی-امنیتی در داخل و خارج از مرزهای سیاسی مواجه خواهد شد [۲۳].

شرایط خاص اقلیمی کشور که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی، واقعیت گریزناپذیر آن است، هرگونه تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع آب محدود کشور نموده است. در همین راستا، می‌توان گفت که آب آبیاری مهم‌ترین نهاده کشاورزی و فضای سبز است [۱۰، ۱۱].

انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب با وضعیت منابع آب موجود در منطقه و سازگار با شرایط اقلیمی و زیستی [۳، ۱۲] یک ناحیه جهت بازده گیاه، پایداری محیط، صرفه‌های اقتصادی، کاهش مخاطرات و جنبه‌های زیبایی شناختی، کاملاً منطقی و واقع‌گرایانه است [۲، ۱۳] و بنابراین، این نکته ضروری است که گونه‌هایی را انتخاب نمود که بیشترین سازگاری را با شرایط بیان شده داشته باشند [۷] تا هزینه‌های نگهداری و مواظبت از آن بر دوش مدیریت، سنگینی ننماید [۸، ۲۲]. یکی از عوامل توسعهٔ فضای سبز شهری و پایداری آن، انتخاب گونهٔ درختی و درختچه‌ای مناسب و بالابردن تنوع گونه‌ای در این فضاهاست [۱۴].

بر اساس نتایج مطالعه‌ای که فضای سبز شهرهای اصفهان، تبریز، تهران و مشهد را بررسی نمود، گونه‌های شالک، ابریشم ایرانی، ختمی درختی، بید و سپیدار درختان آبدوستی بوده و نیاز آبی بالایی دارند. این گونه‌ها به‌لیل کمبود آب قابل دسترس در محیط‌های شهری که در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند، چرخهٔ حیات آنان با مشکلات بسیاری همراه بوده است. بنابراین شناسایی و استفاده از گونه‌های سازگار و مقاوم به خشکی در توسعهٔ فضای سبز در مناطق خشک و نیمه‌خشک امری ضروری به نظر می‌رسد [۲۶].

با توجه به مطالب ذکر شده، پرواضح است که یکی از محدودیت‌های اساسی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تخصیص منابع آبی برای توسعهٔ فضای سبز شامل فضای سبز عمومی و غیرعمومی، بوستان‌های جنگلی و غیرجنگلی، جنگلکاری‌ها و کمربندهای سبز است [۵، ۹]؛ زیرا در این مناطق منابع آب محدود بوده و تخصیص آب به فضای سبز در رقابت شدیدی با سایر موارد مصرف کشاورزی، صنعت و حتی آب شرب است. بنابراین، آب تخصیص‌یافته به عرصه مورد نظر جهت ایجاد پوشش گیاهی دارای ارزش زیادی بوده و باید به صورت بهینه و با راندمان بالا مورد مصرف قرار گیرد [۱۰].

یکی از اقدامات بسیار مهم در توسعهٔ فضای سبز (فضای سبز عمومی و غیرعمومی، پارک‌ها و بوستان‌ها، جنگلکاری‌ها و کمربندهای سبز) در وهله اول، تعیین دقیق نیاز آبی و ضریب گیاهی گونه‌های فضای سبز و در وهله دوم، بررسی دقیق توان مقاومتی گونه‌های درختی در برابر تنش‌های محیطی و به‌طور ویژه استقامت در برابر کمبود آب می‌باشد [۶].

در پژوهشی، نیاز آبی و ارزیابی سطوح مختلف آبیاری بر پارامترهای رشدی نهال‌های کاج تهران برآورد شد. نتایج نشان داد که مقدار بارش مؤثر در فروردین سال اول و فروردین و اردیبهشت سال دوم بیش از نیاز آبی برآوردشدهٔ کاج تهران در عرصهٔ تحت مطالعه بود. بیشترین مقادیر آب مورد نیاز در هر دو سال مربوط به ماه خرداد (۲۰۴/۶ و ۲۴۶/۴۵ لیتر در ماه) و کمترین مقدار آب مورد نیاز در سال‌های اول و دوم (۱۳۹/۵ و ۱۱۷ لیتر در ماه) به‌ترتیب مربوط به اردیبهشت و مهر بود[۸].

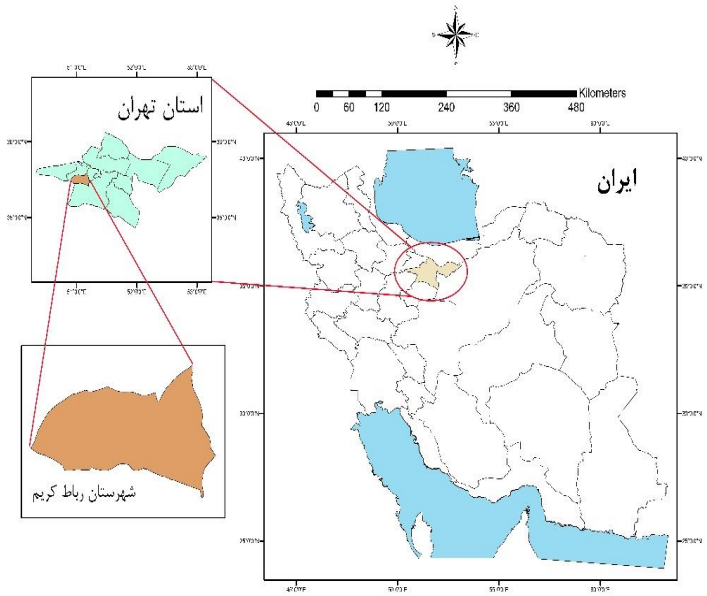
در رابطه با سابقه پژوهش‌های انجام شده در ایران و خارج از کشور در زمینه برآورد نیاز آبی گیاهان غیرزراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و برنامه‌ریزی آبیاری آنها، پس از بررسی‌های به‌عمل آمده مشخص گردید که تحقیقاتی در مورد نیاز آبی گونه کاج تهران در ایران و در خارج از کشور انجام نشده است و بیشتر توجه مطالعات در رابطه با برآورد نیاز آبی بر گیاهان زراعی استوار بوده است و در مورد کاج تهران مطالعه‌ای انجام نشده است. بنابراین به نظر می‌رسد که انجام مطالعاتی در خصوص تعیین نیاز آبی و دور آبیاری گونه کاج تهران (*P. eldarica* Medw.) با توجه به اهمیت آن در جنگلکاری‌ها در مناطق خشک، ایجاد کمربندها و کمان‌های سبز و فضای سبز شهری بسیار لازم و ضروری می‌باشد. بنابراین ضرورت دارد تا برای مقابله با بحران آب در بخش جنگل‌کاری، توجه جدی به ارتقا بهره‌وری آب آبیاری با اعمال روش‌های علمی و اقدامات علمی کارآمد صورت پذیرد [۶].

بر این اساس، هدف این پژوهش مطالعه تأثیر تنش خشکی بر نیاز آبی گونهٔ کاج تهران در سنین مختلف رویشی در طی دو سال است.

مواد و روش‌ها

شهرستان رباط‌کریم در جنوب‌غرب استان تهران واقع شده و با وسعتی معادل ۲۷۵ کیلومتر مربع در طول جغرافیایی ´۴ °۵۱ و عرض جغرافیایی ´۲۸ °۳۵ قرار گرفته و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰۵۰ متر است.

از شمال به شهرستان‌های شهریار و شهر کرج (استان البرز)، از جنوب به شهرستان‌های ری و اسلامشهر، از شرق به شهرستان بهارستان و از غرب به شهرستان ساوه (استان مرکزی) محدود است. منطقه مورد مطالعه بر اساس اقلیم‌نمای دومارتن گسترش‌یافته دارای تیپ اقلیم خشک با میانگین بارش ۱۴۷/۶ میلی‌متر و میانگین دمای ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش انجام تحقیق

این پژوهش در شهر رباط‌کریم به صورت کاشت گلخانه‌ای اجرا شد. مطالعه به صورت فاکتوریل با عامل سنین مختلف گونه‌های درختی و تنش‌های مختلف خشکی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۱۰ تکرار انجام گرفت. فاکتورهای در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل فاکتور سنین مختلف (۱ ساله، ۳ ساله و ۵ ساله)، فاکتور تنش خشکی در سه سطح (۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷) درصد از حد مجاز تقلیل رطوبت (MAD) با ده تکرار است که در مجموع ۹۰ تیمار حاصل می‌گردد. در این مطالعه بافت خاک ثابت و برابر با لومی-شنی (Sandy-Loam) در نظر گرفته شد.

با توجه به حداکثر عمق ریشه نهال‌های مختلف یک، سه و پنج ساله کاج تهران، کاشت نهال‌ها در میکرولایسیمترهایی به قطر و ارتفاع متناسب با نوع گونه و سن آن‌ها انجام شد. بدین صورت که گونهٔ کاج تهران در سن ۱ در میکرولایسیمتر کوچک، در سن ۳ در میکرولایسیمتر متوسط و در سن ۵ در میکرولایسیمتر بزرگ کاشته شدند. با توجه به مطالب ذکر شده از تعداد ۹۰ تکرار، تعداد ۳۰ نهال یک ساله، ۳۰ نهال سه ساله و ۳۰ نهال پنج ساله می‌باشد.

پس از کاشت نهال‌ها در میکرولایسمتر، به‌منظور نشست کامل خاک داخل میکرولایسیمترها و رفع‌شدن تنش وارده به نهال‌ها، دو نوبت آبیاری سنگین انجام شد.

پس از آبیاری نهال‌های کاشت شده حدود ۲۴ الی ۷۲ ساعت بعد رطوبت به حد ظرفیت زراعی رسیده و پایش رطوبت با گذشت زمان از نقطه ظرفیت زراعی ابتدا به

صورت روزانه سپس با کم‌شدن رطوبت به صورت روزی دو بار انجام شد. پایش رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج TDR مدل HH2 انجام شد.

پس از اندازه‌گیری نقاط رطوبتی ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی (PWP) و لحاظ‌نمودن سطوح تنش خشکی مورد نظر یعنی درصدهای ذکر شده تخلیه مجاز رطوبتی (MAD)، برنامه‌ریزی آبیاری برای هر یک از تیمارها تهیه گردید و آبیاری و جبران کمبود رطوبتی (SMD) بر اساس آن انجام گرفت. رطوبت حجمی در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی از رابطه ۱ تعیین گردید.

$$\theta_v = \frac{\forall_w}{\forall_t} \times 100 = \frac{m_1 - m_2}{\forall_t} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، θ_v رطوبت حجمی خاک (درصد)، $\forall_w$ حجم آب و $\forall_t$ حجم کل خاک، m_1 جرم نمونه خاک مرطوب و m_2 جرم خاک بعد از خشک کردن می‌باشد. ارتفاع رطوبت در هر متر خاک از رابطه (۲) محاسبه گردید:

$$d = MAd(\theta_{FC} - \theta_{PWP})D_{rz} \qquad (۲)$$

که در آن، θ_{FC} رطوبت ظرفیت زراعی، θ_{PWP} رطوبت نقطهٔ پژمردگی دائم، D_{rz} عمق توسعه ریشه (سانتی‌متر)، MAD تخلیه مجاز مدیریتی و d ارتفاع رطوبت در هر متر خاک (سانتی‌متر) است.

با اعمال برنامه‌ریزی آبیاری و پایش و اندازه‌گیری رطوبت و وزن میکرولایسیمترها در بازه زمانی مورد نظر برای هر ۹ تیمار مورد نظر مقدار تبخیر تعرق گیاه (ET_c) با استفاده از داده‌های به دست آمده از روش وزنی و ابعاد میکرولایسیمتر، در هر چهار مرحله ابتدایی رشد، رشد و توسعه، میانی و نهایی از رابطه (۳) محاسبه شد [۲۰].

$$ET_c = \frac{W_2 - W_1}{A} \qquad (۳)$$

که در آن، ET_c تبخیر تعرق واقعی گیاه، A مساحت میکرولایسیمتر، W_1 و W_2 به ترتیب مقدار وزن مجموعه میکرولایسیمتر قبل و بعد از آبیاری است. رطوبت مورد نیاز گیاه به مجموع رطوبت از دست رفته به وسیله تعرق‌در دوره رشد، آب نگهداری‌شده در بافت گیاهی و رطوبت تبخیرشده از سطح خاک و گیاه اطلاق شده و برحسب میلی‌متر برای دوره معینی بیان می‌گردد [۱]. در صورت داشتن ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0)، تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ET_c) از فرمول (۴) محاسبه گردید [۳]:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \qquad (۴)$$

از آنجا که برای اکثر گونه‌های گیاهی فضای سبز و عرصه‌های جنگلکاری ضریب گیاهی مشخص نیست، لذا در این این تحقیق ضریب گیاهی کاج تهران جزو مجهولات است و باید تعیین شود. K_c نشان‌دهنده یکپارچگی اثر ارتفاع گیاه، مقاومت گیاه-خاک و ضریب بازتاب سطح است که با استفاده از تعریف ET_0 تعیین می‌شود. مقدار K_c بستگی به درصد پوشش گیاه، رطوبت خاک و سن گیاه دارد. به‌همین‌دلیل با تغییر پارامترهای فوق، ضریب K_c نیز در طول فصل تغییر می‌کند. برای تعیین ضریب گیاهی با اندازه‌گیری تبخیر و تعرق واقعی در طول دوره رشد گیاه، مقدار K_c از رابطه (۵) تعیین گردید:

$$K_c = ET_c / ET_0 \qquad (۵)$$

تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) نشان‌دهندهٔ مقدار تبخیر و تعرق نوع معینی از پوشش سبز با ارتفاع ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر است که در سطح گسترده کشت شده و دارای رشد فعال با پوشش کامل زمین و سایه‌انداز و نیز بدون تنش آبی است [۳]. معمولاً در شرایط آزمایشی از گیاه چمن استفاده می‌گردد.

از میان مدل‌های مختلف محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، روش فائو پنمن-مانتیث (PMF-56) که هم بیلان انرژی و هم تئوری آئرودینامیکی را در مدل در نظر گرفته به‌عنوان مناسب‌ترین مدل در برآورد تبخیر و تعرق مرجع شناخته شده و توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در همه اقالیم توصیه شده است [۱۲]؛ لذا در این مطالعه، تبخیر و تعرق

مرجع از روش PMF-56 (رابطه ۶) با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر رباط‌کریم محاسبه گردید:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۶)$$

که در آن، (Z) ارتفاع از سطح دریا، حداکثر دمای هوا طی شبانه‌روز (T_{max}) درجه سانتی گراد، حدقل دمای هوا طی شبانه‌روز (T_{min}) درجه سانتی گراد، میانگین دمای هوا (T_{mean}) درجه سانتی‌گراد، تشعشع فوق اراضی (R_a) مگاژول بر متر مربع بر روز، a_s و b_s به ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۵، ضریب آلبیدوی (α) گیاه مرجع ۰/۲۳، P فشار اتمسفر در محل (کیلوپاسکال)، σ ثابت استفان بولتزمن ($4.903 \times 10^{-9}\ MJK^{-4}m^{-2}day^{-1}$)، فشار بخار واقعی ($e_a$) کیلوپاسکال، n در روز، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (U_2) متر بر ثانیه، پارامترهای تشعشع خالص در سطح گیاه (R_n)، فلاکس حرارتی خاک (G)، میانگین دمای روزانه در ارتفاع ۲ متری (T)، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (U_2)، فشار بخار اشباع در دمای ماگزیمم و مینیمم $e^{\circ}(T_{min})$ و $e^{\circ}(T_{max})$ بر حسب کیلوپاسکال، فشار بخار اشباع (e_s)، فشار بخار واقعی (e_a)، شیب رابطهٔ فشار بخار اشباع و دما (Δ) و ثابت سایکرومتری (γ) بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد را محاسبه نموده و نهایتاً تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) است.

$$T_{mean} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (۷)$$

$$\Delta = \frac{4098[0.6108e^{(\frac{17.27T_{mean}}{T_{mean}+237.3})}]}{(T_{mean}+237.3)^2} \quad (۸)$$

$$P = 101.3(\frac{293 - 0.0065Z}{293})^{5.26} \quad (۹)$$

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3}P \quad (۱۰)$$

$$e^{\circ}(T) = 0.6108e^{(\frac{17.27T}{T+237.3})} \quad (۱۱)$$

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{max}) + e^{\circ}(T_{min})}{2} \quad (۱۲)$$

$$R_s = (a_s + b_s\frac{n}{N})R_a \quad (۱۳)$$

$$R_{s0} = (0.75 + 2 \times 10^{-5}Z)R_a \quad (۱۴)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (۱۵)$$

$$R_{nl} = \sigma[\frac{T_{max.K}^4 + T_{min.K}^4}{2}](0.34 - 0.14\sqrt{e_a})(1.35\frac{R_s}{R_{s0}} - 0.35) \quad (۱۶)$$

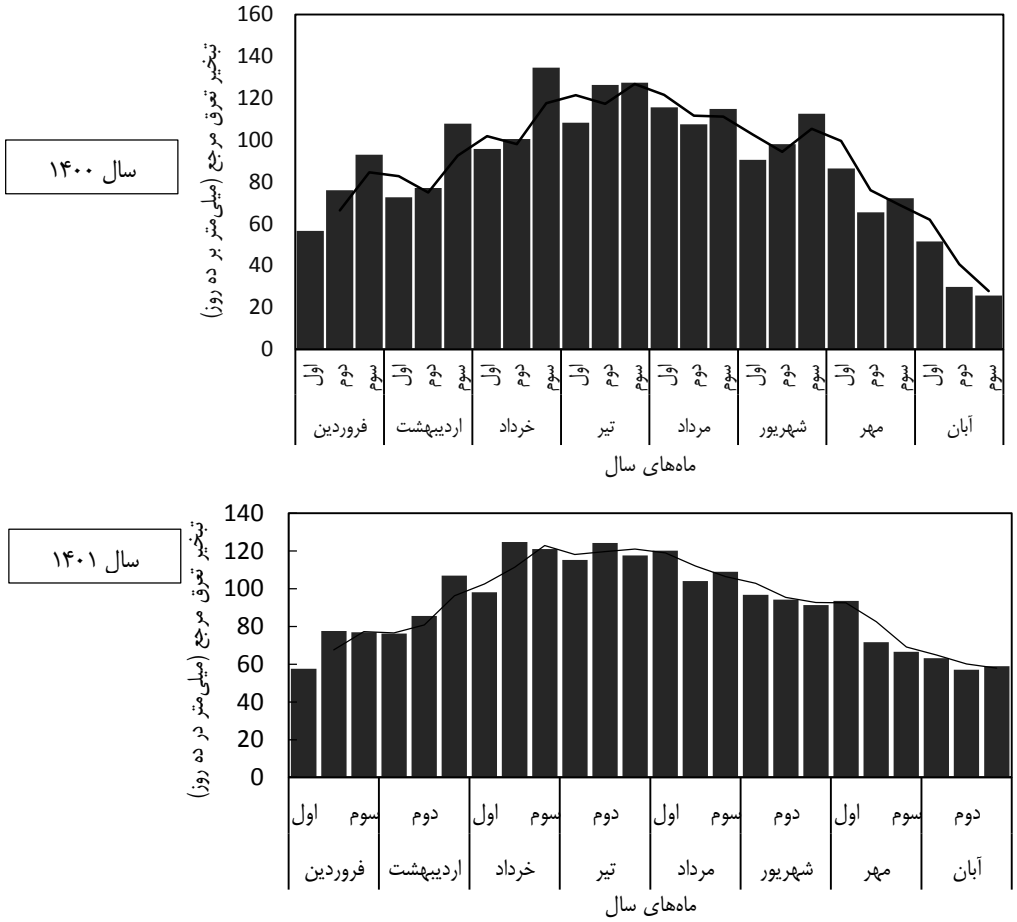
$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (۱۷)$$

$$G_{month,i} = 0.14(T_{month,i} - T_{month,i-1}) \quad (۱۸)$$

محاسبات نیاز آبی گیاه مرجع برای منطقه کرج با استفاده نرم افزار ET0 calculator محاسبه شد. اطلاعات جمع‌آوری شده در نرم‌افزار اکسل (Excel) ذخیره و با استفاده از توابع آماری موجود در نرم‌افزار SPSS 26 پس از اطمینان از نرمال‌بودن داده‌ها (روش آزمون کولموگروف-اسمیرنوف)، مقایسه میانگین‌ها از روش تجزیه واریانس با استفاده از آزمون توکی و t جفتی در سطح احتمال ۱ درصد برای مقایسه میانگین مقدار تبخیر تعرق پتانسیل در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد.

نتایج

تبخیر-تعرق مرجع در ۷ ماه اول سال بیشتر بوده که بیشترین مقدار آن مربوط به دهه سوم خرداد ماه است (۱۳۴/۶ میلی‌متر بر ده روز). کمترین میزان تبخیر-تعرق مرجع نیز در دهه سوم آبان اتفاق افتاد که برابر با ۲۵/۷ میلی‌متر بر ده روز است (شکل ۲). برای سال ۱۴۰۱، نتایج نشان داد بیشترین مقدار تبخیر-تعرق مرجع مربوط به دهه دوم خرداد ماه است (۱۲۴/۷ میلی‌متر بر ده روز). کمترین میزان تبخیر-تعرق مرجع در دهه دوم آبان اتفاق افتاد که مقدار آن برابر با ۵۷ میلی‌متر در ده روز است (شکل ۲).

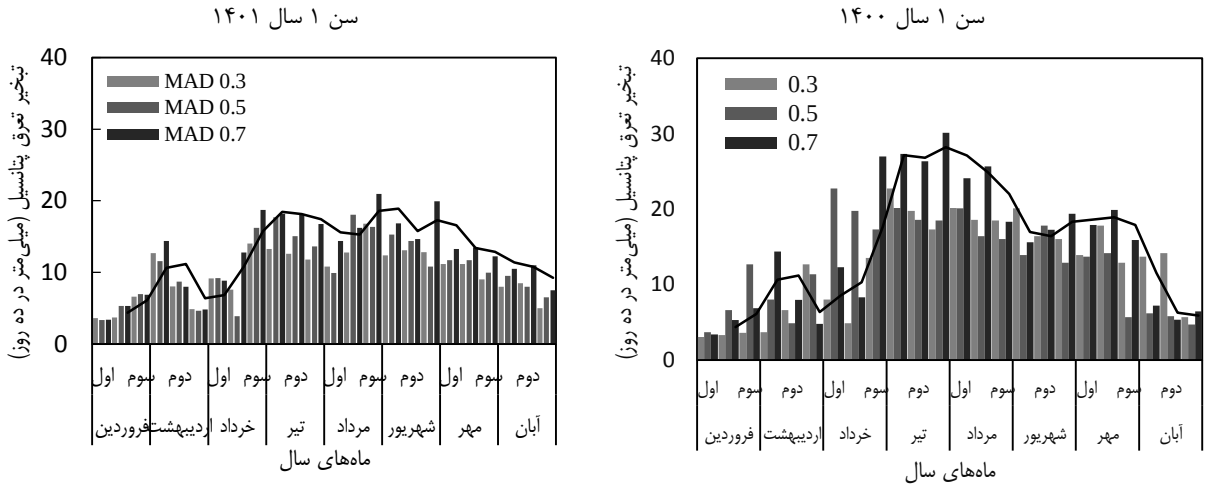


شکل ۲– تبخیر تعرق مرجع (میلی‌متر بر ده روز) در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

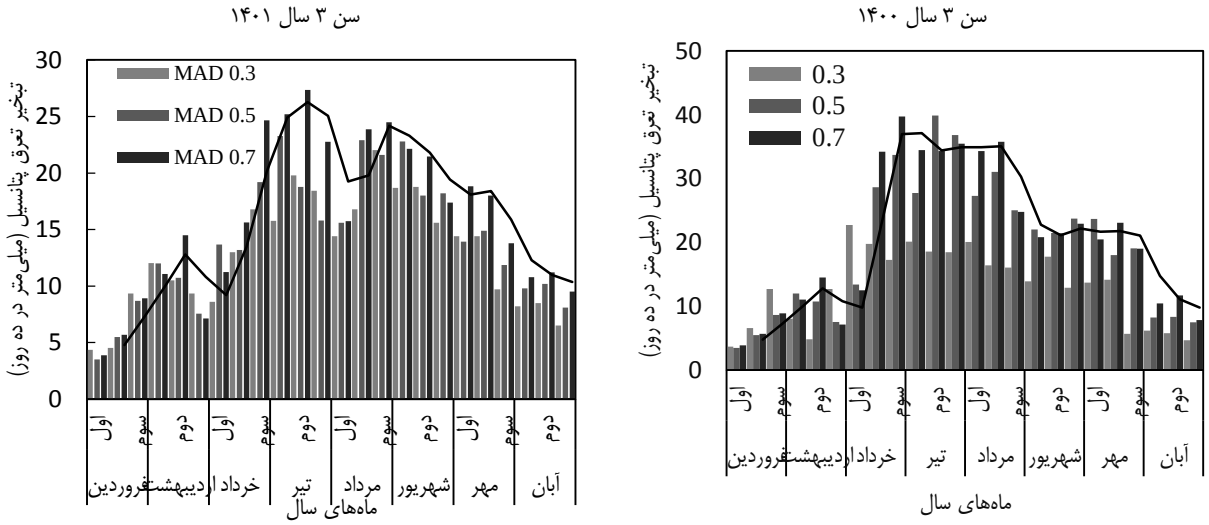
نمودار تبخیر-تعرق برای گونه کاج تهران ۱ ساله در سال ۱۴۰۰ در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های اردیبهشت تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد در حالی‌که در ماه آبان دارای کمترین مقدار است (شکل ۳). بیشترین میزان تبخیر تعرق مربوط به دهه سوم تیر و در تنش خشکی ۰/۷ می‌باشد که برابر با ۳۰/۱۱ میلی‌متر در ده روز است و کمترین آن در دهه اول فروردین و در تنش ۰/۳ اتفاق افتاد که برابر با ۳/۷ میلی‌متر است (شکل ۳). نمودار تبخیر-تعرق برای گونه کاج تهران ۱ ساله در سال ۱۴۰۱ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد در حالی‌که در ماه‌های فروردین و آبان دارای کمترین مقدار است (شکل ۳). بیشترین میزان تبخیر تعرق مربوط به دهه سوم مرداد و در تنش خشکی ۰/۷ می‌باشد که برابر با ۲۰/۹۵ میلی‌متر در ده روز است در حالی که کمترین آن برابر ۳/۳۵ میلی‌متر در تنش ۰/۵ است که در دهه دوم فروردین اتفاق افتاد (شکل ۳).

نمودار تبخیر-تعرق برای نهال ۳ ساله در سال ۱۴۰۰ گونه کاج تهران در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های اردیبهشت تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد درحالی‌که در ماه‌های فروردین، مهر و آبان دارای کمترین مقدار است (شکل ۴). بیشترین میزان تبخیر تعرق مربوط به دهه دوم تیر در تنش خشکی ۰/۵ می‌باشد که برابر با ۳۵/۹ میلی‌متر در ده روز است و کمترین مقدار آن برابر با ۳/۴۹ میلی‌متر است که در دهه دوم فروردین اتفاق افتاد.

نمودار تبخیر-تعرق برای گونه کاج تهران ۳ ساله در سال ۱۴۰۱ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد در حالی‌که در ماه‌های فروردین و آبان دارای کمترین مقدار است (شکل ۴). بیشترین میزان تبخیر تعرق مربوط به دهه دوم تیر و در تنش خشکی ۰/۷ می‌باشد که برابر با ۲۷/۳۶ میلی‌متر در ده روز است.



شکل ۳- تبخیر تعرق نهال گونه کاج تهران ۱ ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱



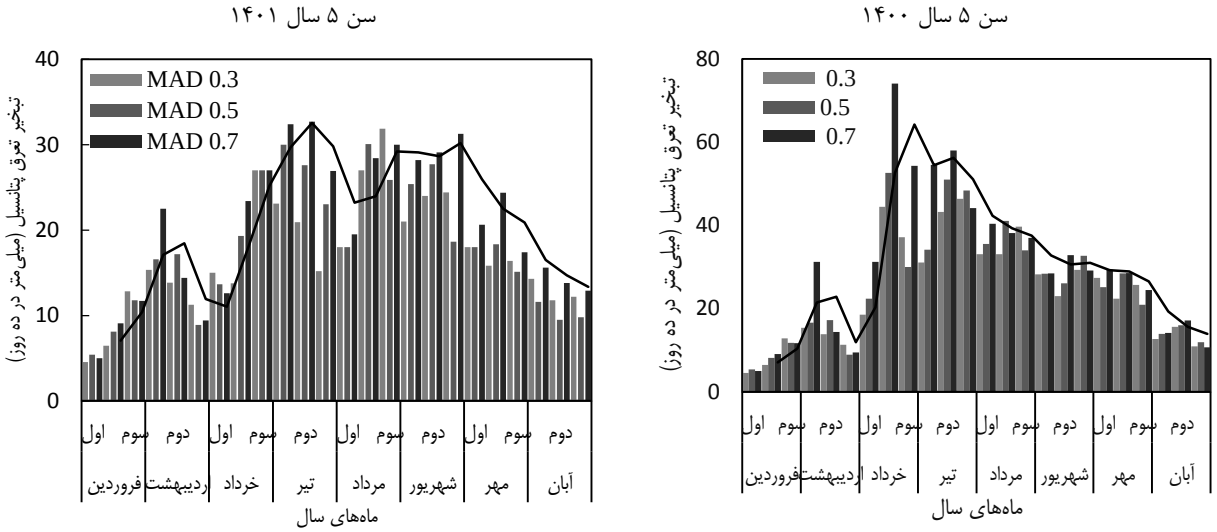
شکل ۴ - نمودار تبخیر تعرق نهال گونه کاج تهران ۳ ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳ ، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

نمودار تبخیر-تعرق برای گونه کاج تهران ۵ ساله در سال ۱۴۰۰ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های اردیبهشت تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد درحالی‌که در ماه‌های آبان تا فروردین دارای کمترین مقدار است (شکل ۵). بیشترین میزان تبخیر تعرق مربوط به دهه دوم خرداد و در تنش خشکی ۰/۷ می‌باشد که برابر با ۷۴/۰۵ میلی‌متر در ده روز است و کمترین آن در تنش ۰/۳ و دهه اول فروردین اتفاق افتاد که برابر با ۵ میلی‌متر است (شکل ۵).

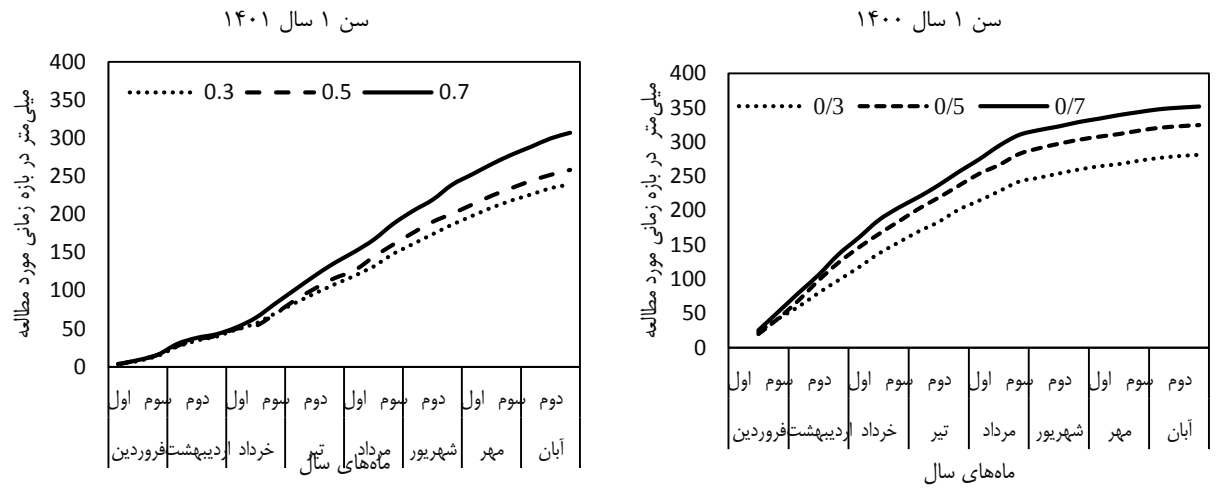
نمودار تبخیر-تعرق برای گونه کاج تهران ۵ ساله در سال ۱۴۰۱ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد درحالی‌که در ماه‌های فروردین و آبان دارای کمترین مقدار بوده است (شکل ۵). بیشترین میزان تبخیر تعرق مربوط به دهه دوم تیر و در تنش خشکی ۰/۷ می‌باشد که برابر با ۳۲/۷ میلی‌متر در ده روز است در صورتی که کمترین میزان آن در دهه اول فروردین و در تنش ۰/۳ اتفاق افتاد که برابر با ۴/۸ میلی‌متر است (شکل ۵).

مقدار تجمعی رطوبت مصرف شده برای گونه کاج تهران و در سن یک سالگی در تنش‌های خشکی مورد مطالعه برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان می‌دهد مقدار مصرف آب در تنش خشکی ۰/۷ بیشتر از تنش‌های ۰/۵ و ۰/۳ است (شکل ۶).

مقدار تجمعی رطوبت مصرف شده برای نهال کاج تهران یک ساله برای تنش‌های ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال ۱۴۰۰ به‌ترتیب برابر با ۲۷۲/۶، ۳۲۴/۴ و ۳۵۱/۷ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ به‌ترتیب برابر با ۲۳۹/۴، ۲۵۸/۳ و ۳۰۷/۱۳ میلی‌متر است (شکل ۶).



شکل ۵- نمودار تبخیر تعرق نهال گونه کاج تهران ۵ ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

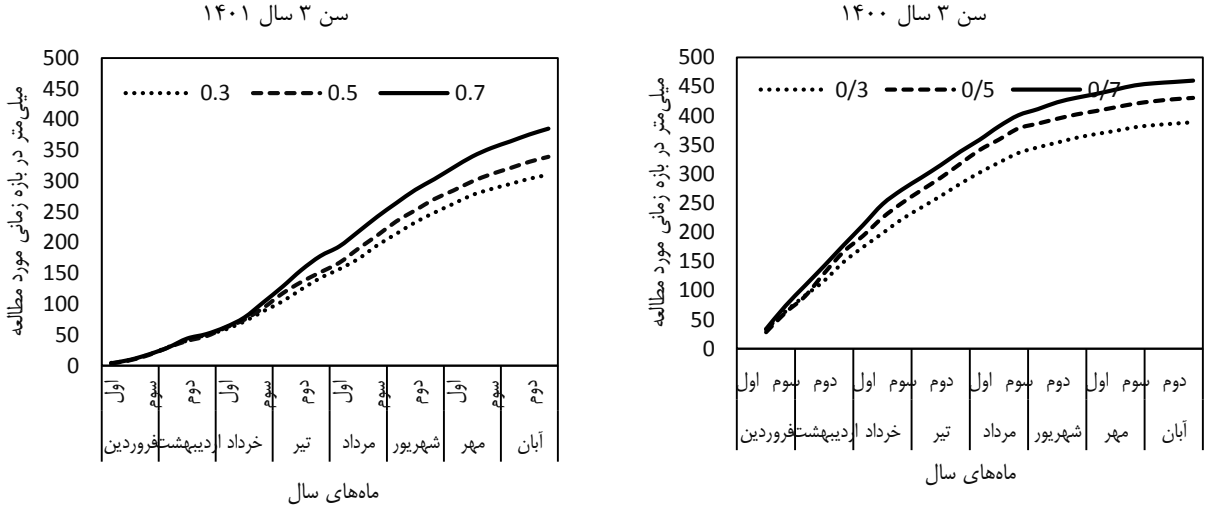


شکل ۶- مقدار تجمعی آب مصرف‌شده برای گونه کاج تهران ۱ ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

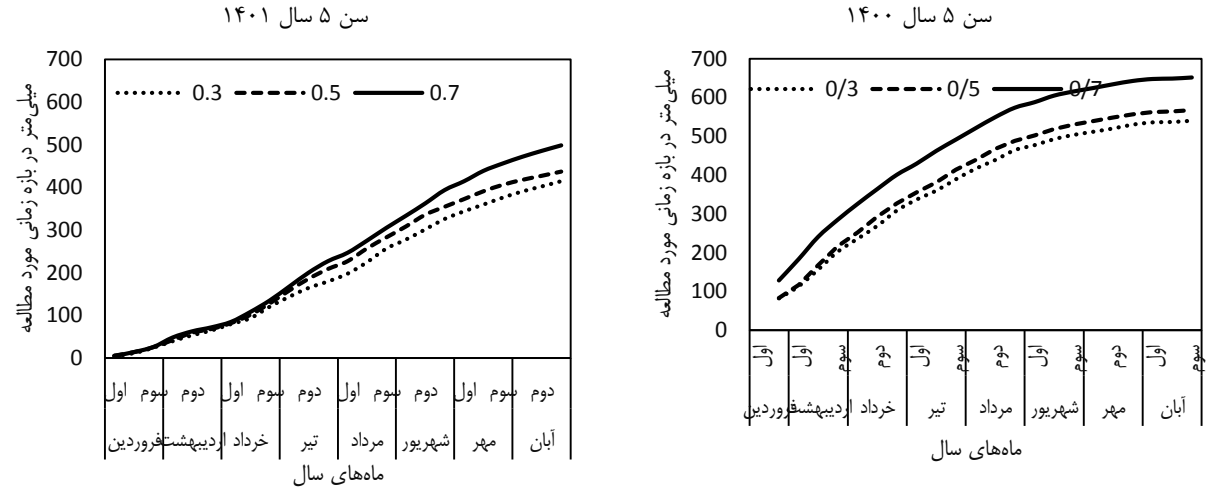
مقدار تجمعی رطوبت مصرف شده برای گونه کاج تهران و در سن سه سالگی در تنش‌های خشکی مورد مطالعه برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان می‌دهد مقدار مصرف آب در تنش خشکی ۰/۷ بیشتر از تنش‌های ۰/۵ و ۰/۳ است (شکل ۷). مقدار تجمعی آب مصرف شده برای نهال کاج تهران سه ساله برای تنش‌های ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال ۱۴۰۰ به‌ترتیب برابر با ۳۸۸/۷، ۴۳۰/۶ و ۴۶۰/۳ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ به‌ترتیب برابر با ۳۱۰/۴، ۳۳۹/۷ و ۳۸۵/۱۳ میلی‌متر است (شکل ۶).

مقدار تجمعی رطوبت مصرف شده برای گونه کاج تهران و در سن پنج سالگی در تنش‌های خشکی مورد مطالعه برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان می‌دهد مقدار مصرف آب در تنش خشکی ۰/۷ بیشتر از تنش‌های ۰/۵ و ۰/۳ است (شکل ۸).

مقدار تجمعی رطوبت مصرف شده برای نهال کاج تهران پنج ساله برای تنش‌های ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال ۱۴۰۰ به‌ترتیب برابر با ۵۶۴/۲، ۵۶۷/۲ و ۶۵۱/۱۷ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ به‌ترتیب برابر با ۴۲۶/۸، ۴۳۶/۷ و ۴۹۸/۴میلی‌متر است (شکل ۶).



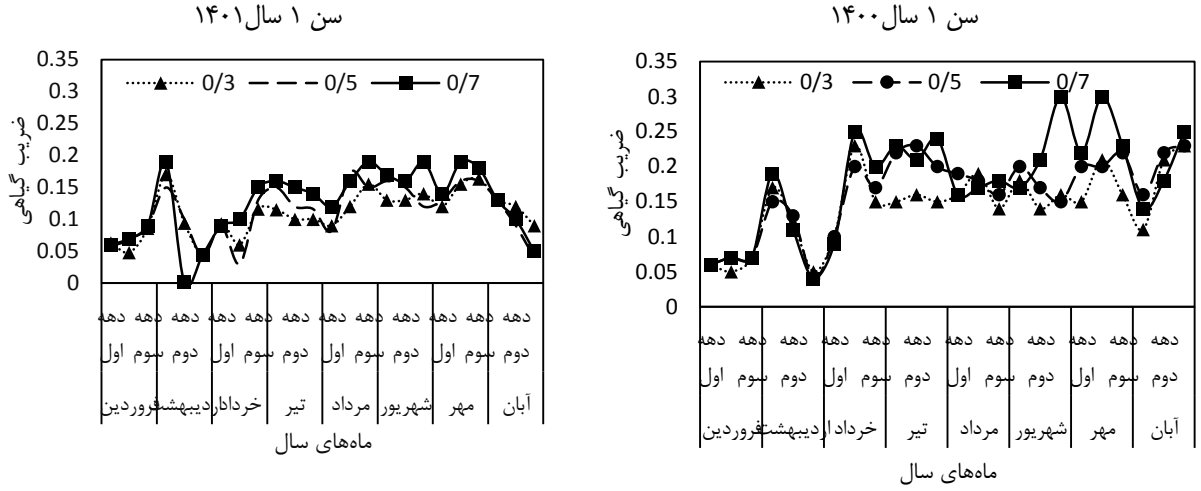
شکل ۷- مقدار تجمعی آب مصرف‌شده برای گونه کاج تهران ۳ ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱



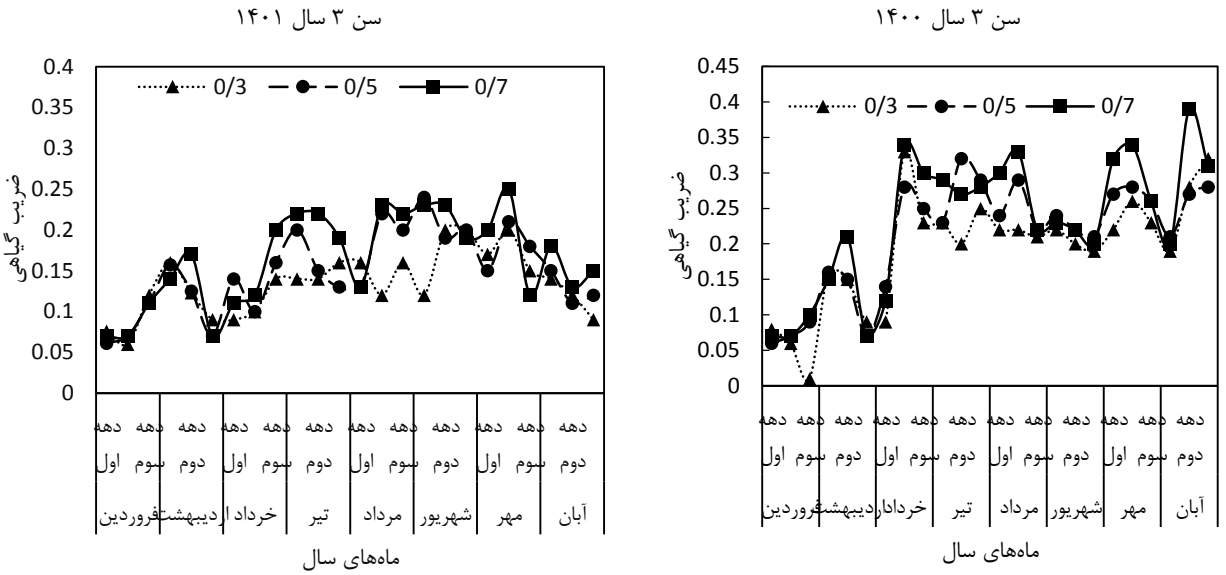
شکل ۸- مقدار آب تجمعی مصرف‌شده برای گونه کاج‌تهران پنج‌ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

ضریب گیاهی کاج تهران ۱ ساله در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱؛ در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ از خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد درحالی‌که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دارای کمترین مقدار است (شکل ۹). در سال ۱۴۰۱ روند کاهش مقدار ضریب گیاهی از زودتر از سال ۱۴۰۰ و از دهه سوم مهر ماه آغاز گردیده است (شکل ۹).

ضریب گیاهی کاج تهران ۳ ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ از خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد درحالی‌که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دارای کمترین مقدار است (شکل ۱۰). در سال ۱۴۰۱ روند کاهش مقدار ضریب گیاهی از زودتر از سال ۱۴۰۰ و از دهه سوم مهر ماه آغاز گردیده است (شکل ۱۰).



شکل ۹- ضریب گیاهی کاج تهران ۱ ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

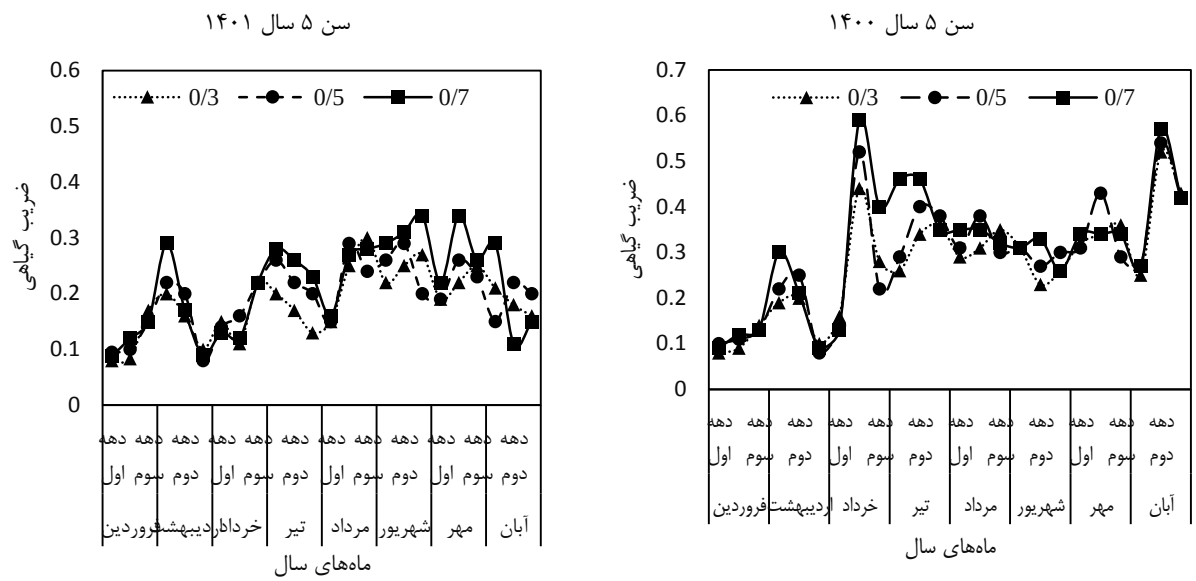


شکل ۱۰- ضریب گیاهی کاج تهران ۳ ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

ضریب گیاهی کاج تهران ۳ ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ از خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد درحالی‌که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دارای کمترین مقدار است (شکل ۱۱). در سال ۱۴۰۱ روند کاهش مقدار ضریب گیاهی از زودتر از سال ۱۴۰۰ و از دهه سوم مهر ماه آغاز گردیده است (شکل ۱۱).

آزمون Manova برای بررسی مقدار تبخیر تعرق پتانسیل در نهال‌های کاج تهران مورد بررسی در سنین و تنش‌های مختلف نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر سن و تنش خشکی در سطح درصد و اثر متقابل آنها در سطح ۵ درصد بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین تنش‌های خشکی در سال ۱۴۰۰ مورد مطالعه نشان داد کمترین مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل در تنش خشکی۰/۳ اتفاق افتاد که مقدار آن برابر با ۱۶/۲۵ میلی‌متر است در حالیکه بیشترین میزان تبخیر – تعرق پتانسیل در تنش خشکی ۰/۷ رخ می‌دهد که مقدار آن برابر با ۲۱ میلی‌متر است (شکل ۱۲). در سال ۱۴۰۱، بیشترین و کمترین مقدار تبخیرتعرق پتانسیل مربوط به تنش‌های ۰/۷ و ۰/۳ است که مقدار آنها به ترتیب ۱۶/۵ و ۱۳/۴ میلی‌متر است (شکل ۱۲).



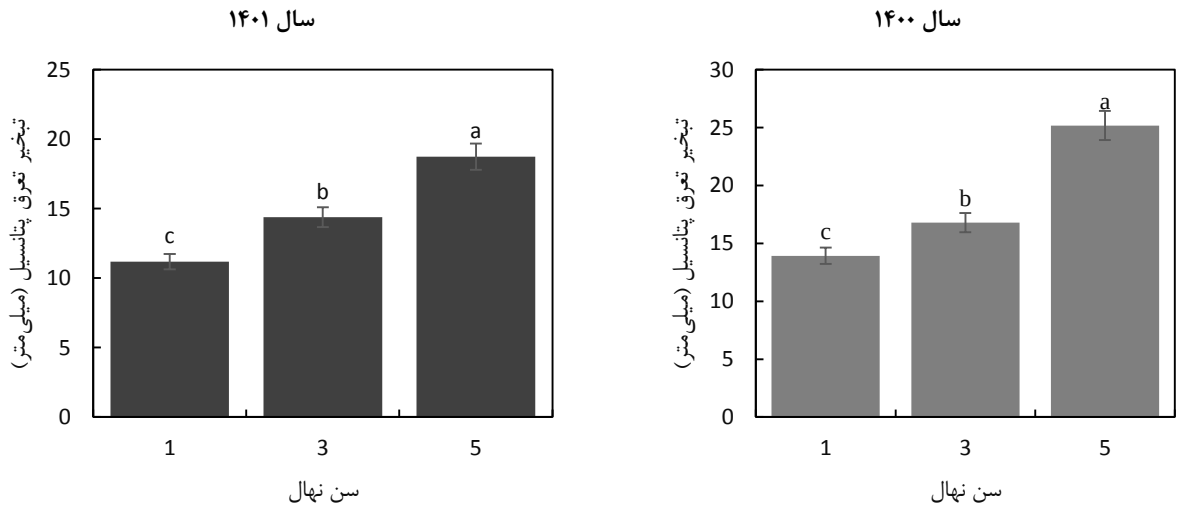
شکل ۱۱- ضریب گیاهی کاج تهران ۵ ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

جدول ۱- نتایج آزمون Manova برای بررسی معنی‌داری تنش‌های خشکی در نهال‌های مورد مطالعه

منابع تغییرات	مجموع مربع‌ها	درجه آزادی	میانگین مربع‌ها	درجه آزادی	معنی‌داری
تنش خشکی	۱۳/۴۲	۴۵۳	۰/۰۳	۱/۴۸	۰/۰۰۲**
سن	۰/۲۷	۲	۰/۱۳۵	۶/۷۳	۰/۰۰۲**
سن * خشکی	۰/۶۸	۳۸	۰/۰۱۸	۰/۸۹۴	۰/۰۴۸*
خطا	۳/۰۹	۱۵۴	۰/۰۲		

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ ns عدم معنی‌داری

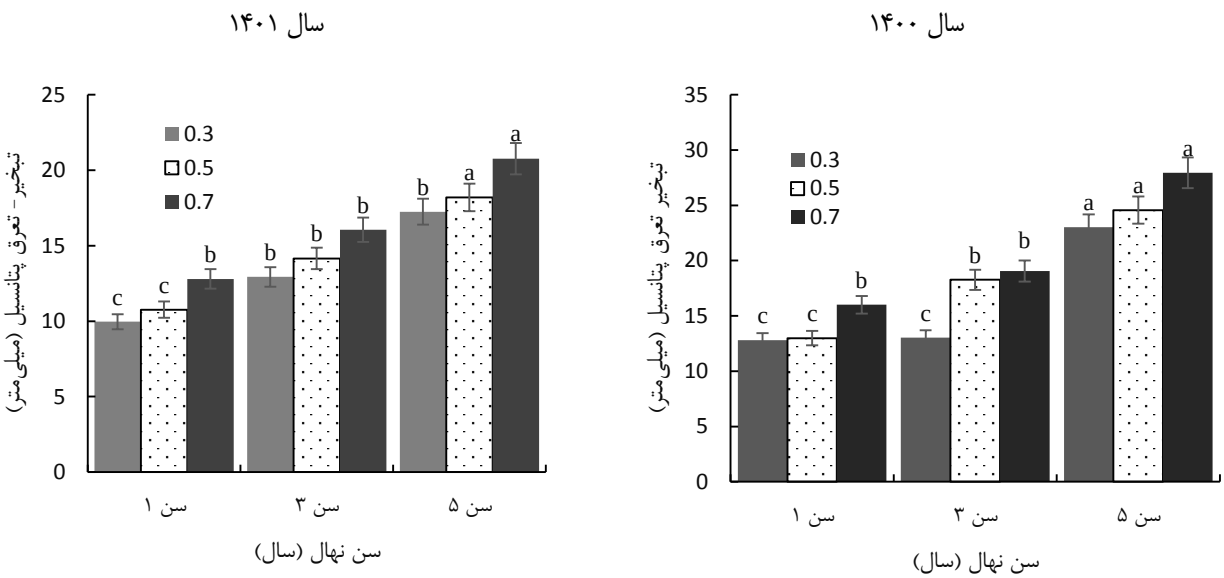
مقایسه میانگین تنش‌های خشکی در سال ۱۴۰۰ در سنین مختلف مورد مطالعه نشان داد کمترین مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل در سن ۱ سالگی اتفاق افتاد که مقدار آن برابر با ۱۳/۹۳ میلی‌متر است در حالیکه بیشترین میزان تبخیر – تعرق پتانسیل در سن ۵ رخ می‌دهد که مقدار آن برابر با ۲۵/۱۸ میلی‌متر است (شکل ۱۳). در سال ۱۴۰۱، بیشترین و کمترین مقدار تبخیرتعرق پتانسیل در سنین ۵ و ۱ سالگی اتفاق افتاد که میزان آنها به‌ترتیب برابر با ۱۸/۷۴ و ۱۱/۱۸ میلی‌متر است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- میانگین مقدار تبخیر تعرق پتانسیل در سنین مختلف

اثرات متقابل سن و تنش خشکی در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان داده شده است (شکل ۱۴). در سال ۱۴۰۰ در سن ۱ سال و تنش خشکی ۰/۳ نهال با مقدار تبخیر تعرق پتانسیل ۱۲/۸ میلی‌متر دارای کمترین مقدار و در سن ۵ و تنش خشکی ۰/۷ دارای میزان ۲۷/۹۵ میلی‌متر است که بیشترین میزان آن می‌باشد. در سال ۱۴۰۱ مقدار تبخیر تعرق در سن ۱ و تنش ۰/۳ برابر با ۹/۹۷ میلی‌متر می باشد که کمترین مقدار است، برای سن ۵ و تنش خشکی ۰/۷ مقدار تبخیر تعرق پتانسیل برابر با ۲۰/۷۷ میلی‌متر است که بیشترین مقدار است (شکل ۱۴).

آنالیز مقدار تبخیر تعرق پتانسیل در نهال‌های کاج تهران مورد بررسی طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان‌دهنده معنی‌دار بودن میانگین آنها به احتمال ۹۹٪ (۰/۰۱) در گروه‌های مختلف است (جدول ۲).



شکل ۱۴- اثرات متقابل سن و تنش خشکی برای سال‌های مورد مطالعه

جدول ۲- نتایج آزمون t جفتی برای بررسی معنی‌داری تنش‌های خشکی در نهال‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

جدول ۲- نتایج آزمون t جفتی برای بررسی معنی‌داری تنش‌های خشکی در نهال‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

		میانگین	اختلافات زوج‌ها					
			انحراف معیار	خطای معیار	حدود اعتماد ۹۹٪ حد پایین	حد بالا	مقدار t	درجه آزادی	معنی‌داری
زوج ۱	سال ۱۴۰۰ سال ۱۴۰۱	۴/۸	۹/۷	۰/۶۶	۳/۵	۶/۱۳	۷/۳	۲۱۵	۰/۰۰۰۰**

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ * معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ ns عدم معنی‌داری

بحث

یکی از فاکتورهای مهم و کلیدی در پایداری حیات طبیعی و انسانی امروزی، فضای سبز است. فضای سبز در تولید اکسیژن، کاهش گرد و غبار هوا به‌خصوص در مناطق بادخیز، جلوگیری از فرسایش خاک و کاهش تبخیر شدید از سطح خاک مؤثر است. در این میان، یکی از عوامل محدودکننده گسترش فضای سبز، کمبود منابع آب قابل دسترس می‌باشد [۱۱].

راهکارهای گوناگونی برای مواجه با این شرایط وجود دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می توان به مدیریت منابع آب و آبیاری فضای سبز، انتخاب و کاشت گونه‌های گیاهی مقاوم به خشکی و مناسب با اقلیم منطقه، عملیات اصلاح خاک، هرس و کنترل علف‌های هرز و مدیریت در توسعه فضای سبز نام برد [۲۱].

با توجه به اطلاعات ایستگاه هواشناسی فرودگاه امام خمینی (ره) در دوره آماری ۱۵ ساله از ۲۰۱۹-۲۰۰۴

میانگین بارش سالانه ۱۴۷/۶ میلی‌متر و رژیم حرارتی نشان می‌دهد که ماه‌های تیر و مرداد گرمترین و ماه‌های دی و بهمن سردترین ماه سال هستند و شهر رباط‌کریم در اقلیم نمای دومارتن، در منطقه خشک قرار دارد. تبخیر تعرق مرجع محاسبه‌شده نیز نشان می‌دهد که بیشترین تبخیر تعرق مرجع به‌علت دمای بالا و گرم‌ترشدن هوا در ماه های خرداد و تیر اتفاق افتاد. با اندازه‌گیری تبخیر تعرق واقعی گیاه (ETc) در همه تیمارهای اعمال شده بر روی هر گونه مشاهده شد که به علت گرم‌تربودن هوا در ماه‌های خرداد و تیر، تبخیر تعرق واقعی در این ماه بیشتر از ماه‌های دیگر است.

نتایج شکرالله‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه تعیین نیاز آبی گونه نارون و خرزهره در راستای نتایج تحقیق جاری قرار ندارد. در این تحقیق بیشترین مقدار ET0 در مرداد ماه با ۸/۲ میلی‌متر در روز و کمترین مقدار ET0 در بهمن ماه با ۲/۲ میلی‌متر در روز می‌باشد، که میانگین کمترین نیاز آبی گونه خرزهره ۱/۵۴ میلی‌متر در روز و درخت نارون با میانگین ۱/۷۶ میلی‌متر در روز در بهمن ماه و بیشترین نیاز آبی خرزهره با میانگین ۶/۳۱۴ میلی‌متر در روز در مرداد ماه و بیشترین نیاز آبی نارون با میانگین ۶/۵۶ میلی‌متر در روز مربوط به مردادماه می‌باشد. دلیل تفاوت بیشترین و کمترین میزان شاخص‌های مورد بررسی در طی دوره مطالعه احتمالاً مربوط به نوع گونه، نوع اقلیم‌های مورد مقایسه، عرض جغرافیایی منطقه و حتی محیط آزمایش است.

تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین راه‌های مصرف یا هدررفت آب در درختان است که پایش و بررسی تغییرات آن در دوره‌های زمانی معین می‌تواند ضمن نشان‌دادن میزان آب مصرفی، در مدیریت آب در مقیاس وسیع و تعیین میزان آب مورد نیاز جهت تخصیص به هر نوع کاربری، مورد استفاده واقع شود. تبخیر و تعرق بیانگر مجموع حجم آب استفاده شده به وسیله گیاه (تعرق) و تبخیر از سطح خاک می باشد. در واقع تبخیر و تعرق شاخص تعیین کننده فرایند رشد است که معادل آب مورد نیاز گیاهان زراعی می باشد. به همین علت تخمین آن با توجه به شرایط آب و هوایی هر منطقه و محصول، ضروری و مهم است [۱۶].

این پدیده، متأثر از متغیرهای اقلیمی زیادی است که می‌توان به بارندگی، درجه حرارت، سرعت باد، ساعات آفتابی، فشار سطح، رطوبت نسبی، سطح ابرناکی، خصوصیات خاک و گیاه و کیفیت آب اشاره نمود [۱۲].

نتایج تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک نهال‌های کاج تهران در فضای سبز شهر تهران در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ توسط دلفان‌آذری و همکاران (۱۳۹۷) تا حدی با نتایج بررسی حاضر مطابقت دارد. بیشترین مقادیر آب مورد نیاز در هر دو سال مربوط به ماه خرداد (۲۰۴/۶ و ۲۴۶/۴۵ لیتر در ماه) و کمترین مقدار آب مورد نیاز در سال‌های اول و دوم (۱۳۹/۵ و ۱۱۷ لیتر در ماه) به‌ترتیب مربوط به ماه‌های اردیبهشت و مهر بود.

ضریب گیاهی کاج تهران ۱، ۳ و ۵ ساله در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱؛ در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ از خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد درحالی‌که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دارای کمترین مقدار است. به‌عنوان نمونه، در سن یک سالگی و در تنش ۰/۷ بیشترین مقدار ضریب گیاهی در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به‌ترتیب برابر با ۰/۳ و ۰/۱۹ در ماه‌های شهریور و مرداد است. مقدار تجمعی رطوبت مصرف شده برای گونه کاج تهران و در سن‌های یک، سه و پنج سالگی در تنش‌های خشکی مورد مطالعه برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان می‌دهد مقدار مصرف آب در تنش خشکی ۰/۷ بیشتر از تنش‌های ۰/۵ و ۰/۳ است.

یافته‌های Ewaid و همکاران درباره تعیین نیاز آبی گیاهان و برنامه‌های آبیاری برای برخی محصولات عمده در جنوب کشور عراق همسو با یافته‌های مطالعه حاضر است [۱۰]. نتایج آن‌ها نشان داد که تبخیر تعرق مرجع در طی روز از ۲/۱۸ تا ۱۰/۵ میلی‌متر در روز متغیر بود و بارندگی مؤثر نیز از ۰ تا ۲۳/۱ میلی‌متر متغیر بود. تقاضای مقدار آب زیاد در فصل گرما برای محصولات زراعی وجود داشت و برعکس تقاضای مقدار کم آب در فصول سرد نیز وجود داشت.

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش مقدار رطوبت خاک مقدار تبخیر و تعرق بیشتر می‌شود. به این معنی که هرچه به ظرفیت زراعی نزدیک‌تر می‌شویم بر

مقدار تبخیر و تعرق افزوده می‌گردد. بر عکس، با اعمال تیمارهای تنش خشکی، شاهد کاهش مقدار تبخیر تعرق خواهیم بود. این نتیجه با مطالعه [۱۹] مطابقت دارد. آنان مقدار تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی، عملکرد و کارایی مصرف آب دو گونه اکالیپتوس را از طریق آزمایش‌های لایسیمتری در سطوح مختلف تیمارهای رطوبتی بررسی کردند. نتایج نشان داد که در هر دو گونه با افزایش رطوبت خاک، مقدار تبخیر و تعرق افزایش یافته و بین سطوح مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید.

مطالعه [۲۰] نیز نشان داد با افزایش مقدار رطوبت خاک مقدار تبخیر و تعرق بیشتر می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر همسو می‌باشد. آن‌ها دریافتندکاهش مقدار رطوبت کاهش مقدار تبخیر و تعرق و افزایش مقدار رطوبت افزایش مقدار تبخیر و تعرق را به دنبال داشت.

به‌طور کلی، تبخیر تعرق نهال‌های کاج تهران در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ غالباً در ماه‌های خرداد و تیر دارای بیشترین مقدار می‌باشد در حالی که در ماه‌های دی و بهمن دارای کمترین مقدار است. همچنین نیاز آبی گونه‌ی مورد مطالعه در تنش‌های خشکی در MADهای ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ دارای روند کاهش یابنده می‌باشد.

یافته‌های Alaei و همکاران [۲] مبنی بر وجود بیشترین میزان تبخیر و تعرق در تیرماه با نتایج مطالعه حاضر همسو می‌باشد. در مطالعه آنان، بیش‌ترین مقدار تبخیر-تعرق سنجد در تیر ماه، معادل ۴۱/۵۷ و کم‌ترین مقدار تبخیر-تعرق سنجد در دی ماه، معادل ۶/۶۵ میلی‌متر گزارش گردید. مقدار کل تبخیر-تعرق سنجد معادل ۲۶۶/۳۱ میلی‌متر برآورد گردید. مقدار آبیاری از یکم خرداد با مقدار ۱۲/۲۸ میلی‌متر آغاز و با مقدار ۱۰/۲۳ میلی‌متر در ۱۵ مهر پایان می‌پذیرفت. بیشترین مقدار نیاز خالص آبیاری از ۱۶ تا ۳۱ تیر، معادل ۲۰/۲۳ و کمترین مقدار نیاز خالص آبیاری از ۱۵ تا ۳۰ مهر، معادل ۱۰/۲۳ میلی‌متر بود.

تبخیر تعرق برای مراحل مختلف رویشی در طی دوره مورد مطالعه از ابتدای فصل رویش وجود داشته، در مرحله اوج رشد یا توسعه محصول افزایش می‌یابد، در مرحله انجام فعالیت‌های تولیدمثلی به اوج خود می‌رسد و در اواخر فصل مجدداً کاهش می‌یابد. یافته‌های [۱۳] در مورد میزان مصرف آب و ضریب گیاهی نیز با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. آن‌ها دریافتند مراحل رویشی گیاه در مقاطع ابتدایی، میانی و انتهایی رشد در مقایسه با داده‌های FAO کمتر است. ضرایب کشت تعیین شده به‌ترتیب برای مراحل اولیه، متوسط و نهایی برابر ۰/۸۷، ۱/۱۵ و ۰/۶۴ بود.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی بر اساس نتایج به‌دست آمده مبنی بر تأثیر تنش خشکی گونه کاج تهران در سنین و مراحل مختلف رویشی طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ حایز اهمیت بوده و بر نیاز آبی و ضریب گیاهی نهال‌های مورد نظر مؤثر است. بنابراین، لازم است در اجرای پروژه‌های جنگل‌کاری نیاز آبی این گونه و شرایط اکولوژیک آن در نظر گرفته شود.

نیاز آبی تجمعی کاج تهران در سال ۱۴۰۰ برای سن ۱، ۳ و ۵ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ به‌ترتیب برابر با ۲۸۱/۱، ۳۲۴/۴ و ۳۵۱/۷؛ ۳۸۸/۷، ۴۳۰/۶ و ۴۶۰/۳؛ ۵۶۴/۲، ۵۶۷/۲ و ۵۶۱/۱ و برای سال ۱۴۰۱ سن ۱، ۳ و ۵ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ به‌ترتیب برابر با ۲۵۱/۸، ۲۵۸/۳ و ۳۰۷/۱؛ ۳۱۰/۴، ۳۳۹/۷ و ۳۸۵/۱؛ ۴۲۶/۹، ۴۳۶/۷ و ۴۹۸/۸ میلی‌متر است. به‌طور میانگین، در ماه‌های خرداد و تیر بیشترین مقدار آب را نیاز دارد که مقدار آن برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به‌ترتیب برابر با ۸۹ و ۵۹/۳ میلی‌متر است.

References

[1]. Ahmadaali, K., Rahimi, H., & Etemad, V. (2021). Effect of Soil Texture and Different Levels of Irrigation Amount on Water Requirement and Crop Coefficient of Melia azedarach L. in Karaj Area. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *51*(12), 3195-3205. doi: 10.22059/IJSWR.2020.303336.668627 [in Farsi]

[2]. Alaei, J., Kouchakzadeh, M., & sharifi, F. (2020). Estimation water requirement and irrigation scheduling of the Tree Elaeagnus Angustifolia L. as Urban Green Space.

Iranian Journal of Irrigation & Drainage, *13*(6), 1869-1878. [in Farsi]

[3]. Allen, R.G., Pereira, L.S., Reas, D. and Smith, M. (1998). *Crop EvapotranspirationGuidelines for Computing Crop Water Requirement*, FAO Irrigation and Drainage Paper No.56, Rome, Italy.

[4]. Asgari, M., Javanmiri pour, M., Etemad, V., Liaghat, A., & Eskandari Rad, A. (2022). Morphological characteristics of *Fraxinus rotundifolia* Mill, *Morus alba* and *Acer negundo* saplings under water stress in greenhouse and field in Robat Karim. *Environmental Sciences*, *20*(2), 117-134. doi: 10.52547/ENVS.2022.1053 [in Farsi]

[5]. Bemanian, M. R., Motevaseli, M. M., & Habibpour, A. A. (2008, February). Investigating the needs and creating water supply and irrigation systems for urban green spaces with raw water. The third national conference of green spaces and urban landscape, Kish Island. https://civilica.com/doc/61772 [in Farsi]

[6]. Bostani, A., & Ansari, H. (2011). Investigating the consumption approach in urban water demand management. *Journal of Agricultural and Natural Resources Engineering Organization of Iran*, *9*(33), 48-52. [in Farsi]

[7]. Burn, D. H., & Hesch, N. M. (2007). Trends in Evaporation for Canadaian Prairies. *Journal of Hydrology*, *336*(1-2), 61-73. doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.12.011

[8]. Delafan Azari, N., Rostami Shahraji, T., Gholami, V., & Hashemi Garmdareh, S. E. (2018). An assessment of water requirement and investigation of different irrigation levels on growth parameters of eldar pine (Pinus eldarica Medw) seedlings (case study: Tehran). *Iranian Journal of Forest*, *10*(2), 237-250. [in Farsi]

[9]. Djaman, K.B., Balde, A., Sow, A., Muller, B., Irmak, S.K., N'Diaye, M., Manneh, B.D., Moukoumbi, Y., Futakuchi, K., and Saito, K. (2015). Evaluation of sixteen reference Evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 139-159. doi: 10.1016/j.ejrh.2015.02.002

[10]. Ewaid, S. H., Abed, S. A., & Al-Ansari, N. (2019). Crop Water Requirements and Irrigation Schedules for Some Major Crops in Southern Iraq. *Water*, *11*(4), 756. doi: 10..3390/w11040756

[11]. Karimian, Z. (2016). Native plants in the urban landscape. *Journal of flowers and ornamental plants*, *1*(1), 78-86. [in Farsi]

[12]. Ladlani, I., Houichi, L., Djemili, L., Heddam, S., & Belouz, K. (2012). Modeling daily reference evapotranspiration (ET0) in the north of Algeria using generalized regression neural networks (GRNN) and radial basis function neural networks (RBFNN): a comparative study. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 118, 163-178. doi: 10.1007/s00703-012-0205-9

[13]. Liu, X., Xu, C., Zhong, X., Li, Y., Yuan, X., & Cao, J. (2017). Comparison of 16 models for reference crop Evapotranspiration against weighing Lysimeter measurement. *Agricultural Water Management*, 184, 145-155. doi: 10.1016/j.agwat.2017.01.017

[14]. Lozano, C. S., Rezende, R., de Freitas, P. S., Hachmann, T. L., Santos, F. A., & Andrean, A. F. (2017). Estimatation of evapotranspiration and crop coefficient of melon cultivated in protected environment. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *21*(11), 758-762. doi: 10. 1590/1807-1929/agriambi.v21n11p758-762

[15]. Love, S. L., Noble, K., Robbins, J. A., Wilson, B., & McCommon, T. (2009). *Landscaping with Native Plants*. University of Idaho, pp 25. Bulletin 862.

[16]. Martinez-Cob, A. (1996). Multivariate Geostatistical Analysis of Evapotranspiration and Precipitation in Mountainous Terrain. *Journal of Hydrology*, *174*(1-2), 19-35. doi: 10.1016/0022-1694(95)02755-6

[17]. Najafzadeh, H., Zehtabian, G., Khosravi, H., & Golkarian, A. (2015). The Effect of Climatic and Geology Parameters on Groundwater Resources Quantitative and Qualitative (Case Study: Mahvelat). *Iranian journal of Ecohydrology*, *2*(3), 325-336. doi: 10.22059/IJE.2015.57301 [in Farsi]

[18]. Ozturk, M., & Sakcali, M. S. (2004). Eco-physiological behaviour of some Mediterranean plants as suitable candidates for reclamation of degraded areas. *Journal of Arid Environments*, *57*(2), 141-153. doi: 10.1016/S0140-1963(03)00099-5

[19]. Rad, M. H., Assareh, M. H., & Soltani, M. (2017). Water requirement and water use efficiency in Eucalyptus flocktoniae (Maiden) Maiden and E. leucoxylon F. Muell.. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *25*(3), 441-451. doi: 10.22092/IJFPR.2017.112878 [in Farsi]

[20]. Rahimi, H., Ahmadaali, K., & Etemad, V. (2021). Determination of crop coefficient of *Cercis siliquastrum* L. in different soil textures and irrigation levels. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *14*(6), 2100-2111. [in Farsi]

[21]. Rao. Y., Sun, G., Ford, C.R., and Vose, J.M. 2011. Modeling Potention Evapotranspiration of Two Forested Watersheds in the Southern Appalachians. *American Society of Agricultural Biological Engineers*, *54*(6), 2067-2078. doi: 10.13031/2013.40666

[22]. Rezayan, A., & Rezayan, A. H. (2016). Future studies of water crisis in Iran based on processing scenario. *Iranian journal of Ecohydrology*, *3*(1), 1-17. doi: 10.22059/IJE.2016.59185 [in Farsi]

[23]. Salami sobhan, M. R., Mansoori, K., & Yaghfoori, H. (2018). Evaluation of plant species and it's influence in Urban planning (case study: Zahedan Streets). *Geographical Engineering of Territory*, *2*(3), 73-84. [in Farsi]

[24]. Sánchez-Blanco, M. J., Álvarez, S., Fernanda Ortuño, M., & Ruiz-Sánchez, M. (2014). *Root System Response to Drought and Salinity: Root Distribution and Water Transport*, Management of irrigation with marginal waters in the nursery production of ornamental plants and in the maintenance of the urban vegetation landscape, Chapter 15. In book: Root Engineering (pp.325-352).

[25]. Shokrallahzadeh, M.R., Miri, H.R. and Abbasizadeh, M. (2016, August). *Determining the water requirement of Ulmus Carpinifolia and Nerium Oleander WUCOLS III using the method in the green space of Shiraz city*, Scientific Research Conference on Agriculture, Genetic Engineering and Medicinal Plants of Iran, Jiroft. https://civilica.com/doc/537908 [in Farsi]

[26]. Tabari, H., & Hosseinzadeh Talaee, P. (2011). Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Global and Planetary Change*, *79*(1-2), 1-10. doi: 10.1016/j.gloplacha.2011.07.008

[27]. Zanotelli, D., Montagnani, L., Andreotti, C., & Tagliavini, M. (2019). Evapotranspiration and crop coefficient patterns of an apple orchard in a sub-humid environment. *Journal of Agricultural Water Management*, 226, 1-11. doi: 10.1016/j.agwat.2019.105756

[28]. Zehtabian, G. R., & Farshi, A. A. (1999). An Estimate of water requirement of green areas plants in arid Zones (Case study: Kashan). Iranian *Journal of Natural resources*, *52*(2), 63-75. [in Farsi]

The effect of drought stress on the water requirement and plant factor of Tehran pine seedlings (*Pinus eldarica* Medw.) at various ages (Research Paper)

1- Mohammad Asgari, Late PhD student of Forest biological sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2- Vahid Etemad*, Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
vetemad@ut.ac.ir
3- Mohsen Javanmiri Pour, PhD in Forest Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4- Khaled Ahmadaali, Assistant Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
5- Ehsan Abdi, Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: 02 Dec. 2023
Accepted: 13 Mar. 2024

Abstract
One of the basic limitations in dry areas is the allocation of water resources for the development of green spaces, including public and non-public green spaces, forest and non-forest parks and gardens, forestry and green belts. The objective of this research project is to investigate the impact of drought stress on the water requirements of Tehran pine species at different stages of growth. The research employed a factorial design, with factors including age and drought stress, using a completely random basic design in 10 replications. The considered factors were Tehran pine as the plant species, three age levels (one, three, and five-year-old species), and three drought stress levels (mild 0.3, moderate 0.5, and high 0.7). This resulted in a total of 9 treatments, and with 10 repetitions, a total of 90 microlysimeters were utilized. Results indicated that the peak of reference transpiration evaporation occurred from May to October, with July typically reaching the highest levels. The Evaporation-Transpiration diagram for Tehran pine species at ages 1, 3, and 5 years, under drought stresses of 0.3, 0.5, and 0.7 in the months of May to October, showed the highest values, while it was lowest in November. In the cumulative amount of moisture used for ages 1, 3, and 5 in the studied drought stresses for the years 2021 and 2022, it was observed that water consumption under drought stress of 0.7 was higher compared to stresses of 0.5 and 0.3. The plant coefficient of 1, 3, and 5-year-old Tehran pine seedlings in 2021 and 2022 displayed the highest values under drought stresses of 0.3, 0.5, and 0.7 from June to October, while it was lowest in April and November. Comparing the average values of evapotranspiration potential in Tehran pine seedlings under different stresses showed significant differences ($p=0.01$) among groups during the years 2021 and 2022. The results highlighted that Tehran pine exhibits the highest water requirement in June and July, with 89 and 59.3 mm for the years 2021 and 2022, respectively.

Keywords: Potential evapotranspiration, Reference evapotranspiration, Moisture allowed discharge, Microlysimeter.