Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Spring 2024, Vol.2, No.1, pp 59-76

10.22077/JDCR.2024.7076.1056

Determining the Water Requirement of Tehran Pine and Chinaberry at Various Vegetative Ages under Drought Stress Conditions

Mohammad Asgari[1], Vahid Etemad[2], Khaled Ahmadaali[3], Ehsan Abdi[2], Salman Zare[3], Mohsen JavanmiriPour[4*]

1. Late PhD Student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

***Corresponding Author: Mjavanmiri@ut.ac.ir**

Keywords:
Microlysimeter, Plant coefficient, Potential evapotranspiration, Reference evapotranspiration.

Received:
23 December 2023

Revised:
13 January 2024

Accepted:
13 January 2024

Extended abstract

Introduction

It is necessary to carefully select appropriate tree and shrub species to develop urban green spaces and plantations to ensure sustainability. This is particularly important in arid and semi-arid regions, where using drought-resistant species is crucial for successfully developing green spaces.

Material and Methods

An experiment was conducted in the Robat-Karim region of Tehran province to determine the water requirements of Tehran pine and Chinaberry at different vegetative ages under drought stress. The experiment followed a factorial arrangement based on a complete randomized block design with 10 replications. The experimental treatments included species type (pine and olive), age (one, three, and five years old), and drought stress at three levels (mild (0.3), medium (0.5), and high (0.7)). This study was conducted to achieve the following objectives: determine the water requirement of species, determine the plant factor, and investigate the effect of drought stress on water requirement and plant factor. The research consisted of several phases, including moisture monitoring at drought stress levels, measuring the water requirements of species, calculating reference evaporation and transpiration, determining vegetation coefficients, and evaluating the effects of different drought stresses on water requirements and vegetation coefficients.

Results and Discussion

The study found that Eldarica pine seedlings consumed 239.3, 258.3, 307.13, 310.4, 339.7, 385.13, 414.03, and 498.4 mm of water during the plant growth period in different treatments, including drought stress treatments of 0.3, 0.5, and 0.7 at age 1, drought 0.3, 0.5, and 0.7 at age 3, and drought 0.3, 0.5, and 0.7 at age 5. Similarly,

How to cite this article:
Asgari, M., Etemad, V., Ahmadali, K., Abdi, E., Zare, S., & JavanmiriPour, M. (2024). Determining the Water Requirement of Tehran Pine and Chinaberry at Various Vegetative Ages under Drought Stress Conditions. Journal of Drought and Climate change Research, 2(1), 59-76. 10.22077/JDCR.2024.7076.1056

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of *Drought and Climate change Research* (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

the amount of water consumed in Chinaberry seedlings during the growth period of the plant and in different treatments applied is equal to 238.9, 282.4, 310.03, 322, 374.8, 421.4, 471.7, 374.8, and 421.4 mm, respectively. Generally, water loss from plants, such as evaporation and transpiration in Tehran pine and Chinaberry species, is determined by plant and environmental factors. The effect of environmental factors on evaporation and transpiration is called atmospheric demand. The higher the atmospheric demand, the faster the water can evaporate from a free surface. The factors of solar radiation, temperature, relative humidity, and wind are the most important factors that affect the atmospheric demand. Approximately 1 to 5% of the amount of radiation absorbed by the leaf is used for photosynthesis, and about 75 to 85% of it is used for heating the leaf and transpiration. An increase in solar radiation causes an increase in atmospheric demand. It seems that the higher plant coefficient is due to the difference in the ecological needs of Chinaberry compared to Tehran Pine. This tree requires sunny places and rich, deep, cool, and drained soils, but it can grow in all kinds of soils; it is resistant to drought; it can tolerate frost; and it shows some resistance to soil salinity. One of the reasons for the higher water requirement of Tehran pine compared to Chinaberry is the difference in leaf morphology. Tehran pine needs more water than Chinaberry due to having a large number of double and long needles with a length of 8–15 cm in its crown.

Conclusion

The results showed that the water requirement of the Tehran pine species is higher than that of the Chinaberry in the studied moisture regimes. Furthermore, as the allowed moisture reduction increased, the water requirement of both Tehran pine and Chinaberry increased in all the studied ages. Therefore, it is necessary to consider appropriate drought stress points (0.7) in afforestation plans in arid and semi-arid areas to provide suitable conditions for growth and survival in harsh conditions.

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم

دوره دوم، شماره یک، پیاپی ۵، بهار ۱۴۰۳، صفحات ۷۶ - ۵۹

doi 10.22077/JDCR.2024.7076.1056

تعیین نیاز آبی گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ در سنین مختلف رویشی تحت شرایط تنش خشکی

محمد عسگری[۱]، وحید اعتماد[۲]، خالد احمدآلی[۳]، احسان عبدی[۲]، سلمان زارع[۳]، محسن جوانمیری‌پور[۴*]

۱. دانشجوی فقید دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲. دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۳. استادیار، گروه احیا و مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۴. دانش آموخته دکتری علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

*نویسنده مسئول: Mjavanmiri@ut.ac.ir

واژه‌های کلیدی:
تبخیر تعرق پتانسیل، تبخیر تعرق مرجع، ضریب گیاهی، میکرولایسیمتر.

چکیده

یکی از عوامل توسعه‌ی فضای سبز شهری، جنگل‌کاری و پایداری آن، انتخاب گونه‌ی درختی و درختچه‌ای مناسب است. بنابراین شناسایی و استفاده از گونه‌های سازگار و مقاوم به خشکی در توسعه‌ی فضای سبز در مناطق خشک و نیمه‌خشک امری ضروری به نظر می‌رسد. به منظور تعیین نیاز آبی گونه‌های کاج و زیتون تلخ در سنین مختلف رویشی تحت تنش خشکی، آزمایش با آرایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوکی تصادفی کامل با تیمارهای آزمایشی شامل نوع گونه در دو سطح (کاج و زیتون)، سن در سه سطح (یک، سه و پنج‌ساله) و تنش خشکی در سه سطح (ملایم (۰/۳)، متوسط (۰/۵) و زیاد (۰/۷)) در ۱۰ تکرار در منطقه رباط‌کریم، استان تهران انجام شد. نتایج نشان داد که میزان مصرف آب در نهال کاج تهران در طول دوره رشد گیاه و در تیمارهای مختلف اعمال شده شامل تیمارهای تنش خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سن ۱؛ خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سن ۳؛ خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سن ۵ به‌ترتیب شامل ۲۳۹/۳، ۲۵۸/۳، ۳۰۷/۱۳، ۳۱۰/۴، ۳۳۹/۷، ۳۸۵/۱۳، ۴۱۴/۰۳، ۴۳۶/۷ و ۴۹۸/۴ میلی‌متر بود. همچنین میزان مصرف آب در نهال زیتون تلخ در طول دوره رشد گیاه و در تیمارهای مختلف اعمال شده به‌ترتیب برابر با ۲۳۸/۹، ۲۸۲/۴، ۳۱۰/۰۳، ۳۲۲، ۳۷۴/۸، ۴۲۱/۴، ۴۷۱/۷، ۳۷۴/۸ و ۴۲۱/۴ میلی‌متر بدست آمد. بر اساس نتایج مقدار نیاز آبی گونه کاج تهران در رژیم‌های رطوبتی مورد مطالعه از گونه زیتون تلخ بیشتر است. با افزایش میزان کاهش رطوبت مجاز مقدار نیاز آبی گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ در همه سنین مورد بررسی، افزایش یافت. بنابراین نیاز است در طرح‌های جنگل‌کاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک گونه زیتون تلخ در اولویت کاشت قرار گیرد و نکات تنش خشکی مناسب (۰/۷) در نظر گرفته شود تا شرایط مناسب برای رشد و ماندگاری در شرایط سخت برای این درختان فراهم گردد

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۱۰/۰۲

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۲/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۱۰/۲۳

مقدمه

یکی از مهم‌ترین چالش‌های حال و آینده در ایران مسئله کم آبی و در مواردی بحران کم آبی است (Karmi and Ghaffarian Behrman, 2017). نتایج پژوهش‌هایی که روند بلندمدت تغییرات دما و بارش در نقاط مختلف ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند، دلالت بر تغییرات مقدار بارش و گرم شدن فلات ایران دارند (Nowrozi Haroni and Tabari Khokhsa-rai, 2015). حدود ۸۵ درصد از بخش‌های کشور در اقلیم‌های خشک (۳۰٪)، نیمه‌خشک (۲۰٪) و فراخشک (۳۵٪) قرار دارند (Zahedi Amiri and Zargham, 2015). ایران به‌عنوان کشوری با تنش‌های آبی فراوان و واقع شدن در منطقه بحرانی خاورمیانه، با دورنمایی نگران‌کننده مواجه 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. ابعاد و پیامدهای این بحران می‌تواند استقلال و تمامیت ارضی کشور را به چالش بکشاند (Rezayan and Rezayan, 2016).

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 کرده است (Heydari, 2006). انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب با وضعیت منابع آب موجود در منطقه و سازگار شرایط اقلیمی و زیستی یک ناحیه جهت بازده گیاه، پایداری محیط، صرفه‌های اقتصادی، کاهش مخاطرات و جنبه‌های زیبایی شناختی، کاملاً منطقی و واقع‌گرایانه است؛ لذا باید گونه‌هایی را انتخاب نمود که بیشترین سازگاری را با شرایط مشروح داشته باشند تا هزینه‌های نگهداری و مواظبت از آن بر دوش مدیریت شهری سنگینی نکند (Salimi Soban et al., 2018). یکی از عوامل توسعه‌ی فضای سبز شهری، جنگل‌کاری و پایداری آن، انتخاب گونه‌ی درختی و درختچه‌ای مناسب و بالا بردن تنوع گونه‌ای در این فضاها است. بنابراین شناسایی و استفاده از گونه‌های سازگار و مقاوم به خشکی در توسعه‌ی فضای سبز در مناطق خشک و نیمه‌خشک امری ضروری به نظر می‌رسد (Asgari et al., 2022).

یکی از محدودیت‌های اساسی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تخصیص منابع آبی برای توسعه‌ی فضای سبز شامل فضای سبز عمومی و غیر عمومی، پارک‌ها و بوستان‌های جنگلی و غیر جنگلی، جنگلکاری‌ها و کمربندهای سبز است (Bamanian et al., 2008). 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 می‌باشد. بنابراین، آب تخصیص یافته به عرصه مورد نظر جهت ایجاد پوشش گیاهی دارای ارزش زیادی بوده و باید به‌صورت بهینه و با راندمان بالا مورد مصرف قرار گیرد (Zehtabian and Farshi, 2008). به همین علت با تعیین دقیق نیاز آبی گیاهان می‌توان برنامه آبیاری را به درستی تنظیم نمود و مقدار آب بهینه را در اختیار گیاه قرار داد و از مشکلات ناشی از پرآبیاری و کم‌آبیاری جلوگیری کرد (Alihouri et al., 2015). علاوه بر این، امکان طراحی دقیق شبکه‌های آبیاری فضای سبز و ایستگاه‌های پمپاژ مربوطه فراهم می‌گردد و از صرف هزینه‌های گزاف بهره‌برداری و نگهداری ناشی از طراحی نادرست این سیستم‌ها جلوگیری خواهد شد. یکی از اقدامات بسیار مهم در توسعه‌ی فضای سبز در گام اول تعیین دقیق نیاز آبی و ضریب گیاهی گونه‌های فضای سبز و در گام دوم بررسی دقیق توان مقاومتی گونه‌های درختی در برابر تنش‌های محیطی و بطور ویژه استقامت در برابر کمبود آب می‌باشد (Bostani and Ansari, 2011).

تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه از جمله کند شدن فرایندهای رویشی نظیر جوانه‌زنی (Vaezirad et al., 2008)، افزایش رشد و گسترش سیستم توسعه ریشه (Jaziraei, 2011)، افزایش نسبت ریشه به شاخه و برگ گیاهان (Asgari et al., 2022؛ Jaziraei, 2011)، کاهش شاخص سطح برگ (Bakhshi khaniki et al., 2011)، کاهش میزان تعرق (Ahmadee et al., 2016)، افزایش کرک‌های اپیدرمی و مقاومت کوتیکولی (An-saryan Mahabadi et al., 2019) اثرگذار است. اساساً

راه‌های تشخیص تنش آبی و کم‌آبی در گیاه عبارت است از: پژمردگی برگ‌ها، متمایل شدن رنگ گیاه به سبز تیره، لوله شدن برگ‌ها، تغییر در دمای برگ، تغییر در هدایت روزنه‌ای، مقاومت روزنه‌ای و تراوایی غشای برگ (Ansaryan Mahabadi et al., 2019).

نیاز آبی برخی از گونه‌های غالب فضای سبز (زبان‌گنجشک و سرو نقره‌ای) شهر اصفهان با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار در مطالعه‌ای تعیین شد. نتایج نشان داد که میزان تبخیر و تعرق پتانسیل برای دوره هشت‌ماهه فروردین تا آبان برای درخت زبان گنجشک ۹۸۳ میلی‌متر و درخت سرو نقره‌ای ۸۳۷ میلی‌متر است. همچنین متوسط ضریب گیاهی درخت زبان گنجشک برای کل دوره ۰/۴۸، حداکثر آن ۰/۷۷ در مرداد در مرحله بارور شدن گیاه و حداقل آن ۰/۲ در فروردین در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه بدست آمد. متوسط ضریب گیاهی درخت سرو نقره‌ای برای کل دوره ۰/۴۳، حداکثر آن ۰/۵۸ در تیر و مرداد در مرحله باروری گیاه و حداقل آن ۰/۳ در مرحله جوانه‌زنی به‌دست آمد (Hashemi Garmdareh, 2005).

در مطالعه‌ای تحت عنوان تعیین نیاز آبی گونه‌ی نارون (*Ulmus carpinifolia*) و خرزهره (*Nerium oleander*) با استفاده از روش WUCOLS III در فضای سبز شهر شیراز نشان داده شد که بیشترین مقدار تبخیر تعرق مرجع در مرداد با ۸/۲ میلی‌متر در روز و کمترین مقدار تبخیر تعرق مرجع در بهمن با ۲/۲ میلی‌متر در روز می‌باشد، که میانگین کمترین نیاز آبی خرزهره ۱/۵۴ میلی‌متر در روز و درخت نارون با میانگین ۱/۷۶ میلی‌متر در روز در بهمن ماه و بیشترین نیازآبی 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 مرداد ماه می‌باشد (Shokrallahzadeh et al., 2016).

در پژوهشی تحت عنوان تعیین تبخیر تعرق و ضریب گیاهی زیتون در مراحل مختلف رشد با استفاده از تکنیک سنجش از دور و بیلان رطوبتی در طارم زنجان نشان داده شد که میزان تبخیر تعرق و ضریب گیاهی به دست آمده در روش سنجش از دور در مراحل مختلف رشد زیتون، تطابق مناسبی با داده‌های بیلان رطوبتی دارد به‌طوری که ضریب همبستگی در تبخیر تعرق برای سال اول و دوم به‌ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۸۷ و در مجموع دو سال ۰/۸۲ و برای ضریب گیاهی این مقدار به‌ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۶۲ و در مجموع دو سال ۰/۸۶ بود (Jafari et al., 2016).

اندازه‌گیری تبخیر تعرق و ضریب گیاهی پسته با استفاده از لایسیمتر بتنی زهکش‌دار در رفسنجان انجام شد. نتایج نشان داد که تبخیر تعرق نهال پسته در چهار، پنج، شش، هفت، هشت و نه سالگی به‌ترتیب ۲۲۹۱/۲، ۲۵۰۷/۸، ۲۷۳۹/۴، ۴۵۱۶، ۴۶۰۴ و ۵۶۲۱ مترمکعب در هکتار با مقادیر متوسط ضریب گیاهی برابر با ۰/۱۰۸، ۰/۱۰۴، ۰/۱۵، ۰/۲۱، ۰/۲۸ و ۰/۳۳ به‌دست آمد. در این تحقیق مقدار متوسط ضریب گیاهی در مراحل پنج‌گانه رشد پسته به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۱۷، ۰/۲۲، ۰/۱۶ و ۰/۱۹ محاسبه شد (Moazenpour Kermani et al., 2017).

در مطالعه‌ای به تعیین ضریب گیاهی ارغوان (*Cercis siliquastrum* L.) در خاک و سطوح مختلف آبیاری در شرایط اقلیمی کرج پرداخته شد. نتایج نشان داد که میانگین تبخیر تعرق پتانسیل ۱۰ روزه در حدهای مجاز تقلیل رطوبت ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در بافت لوم‌شنی به‌ترتیب برابر ۱۵/۵۶، ۱۴/۸۶ و ۱۴/۲۴ میلی‌متر و در بافت لوم‌رسی به‌ترتیب برابر با ۲۱/۵۷، ۱۹/۰۲ و ۱۸/۰۶ میلی‌متر می‌باشد. مجموع نیاز آبی خالص ارغوان در بافت لوم‌رسی برای حدهای مجاز تقلیل رطوبت ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ به‌ترتیب برابر ۴۹۶/۱۴، ۴۳۷/۴۷ و ۴۱۵/۳۸ میلی‌متر و در خاک لوم‌شنی برابر با ۳۵۷/۹۲، ۳۴۱/۸۵ و ۳۲۷/۵۹ میلی‌متر به دست آمد. همچنین مقدار متوسط ضریب گیاهی ارغوان طی دوره رشد در بافت‌های لوم‌رسی به ازای حدهای مجاز تقلیل رطوبت ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ به‌ترتیب با ۰/۳۶، ۰/۳۲ و ۰/۳۱ و برای خاک لوم‌شنی با ۰/۲۷، ۰/۲۶ و ۰/۲۴ برابر است (Rahimi et al., 2020).

در مطالعه‌ای بررسی الزامات آبیاری برای درختان خرما و آبیاری نخلستان‌ها در عربستان سعودی مورد توجه قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که متوسط ضریب گیاهی برای چرخه تولید درخت خرما در طول سال ۰/۶۳ بود (Kassem, 2007).

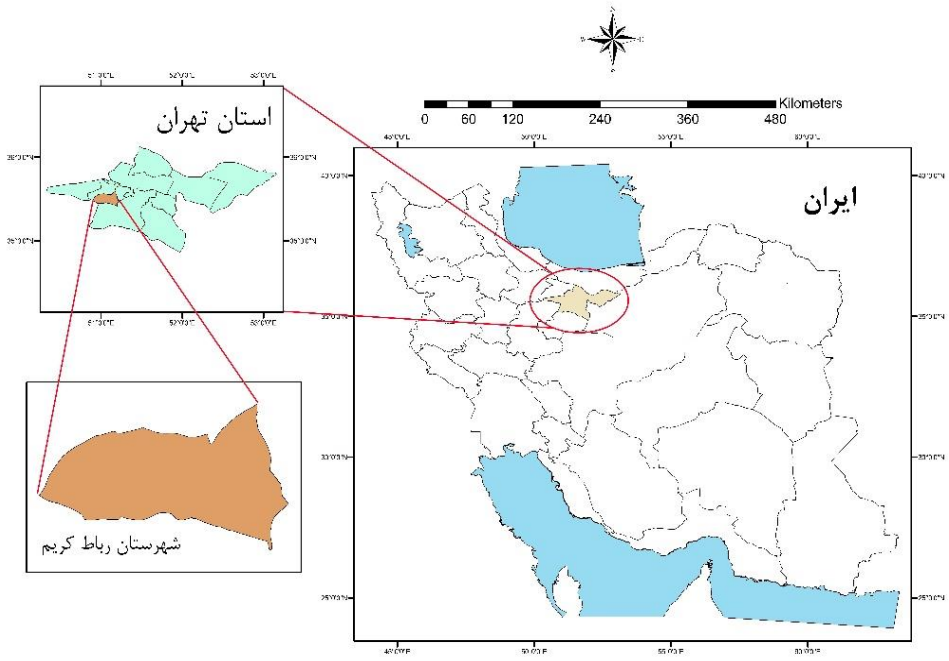
در پژوهشی به تعیین نیاز آبی گیاهان و برنامه‌های آبیاری برای برخی محصولات عمده در جنوب کشور عراق پرداخته شد. نتایج نشان داد که تبخیر تعرق مرجع در طی روز از ۲/۱۸ تا ۱۰/۵ میلی‌متر در روز و بارندگی مؤثر نیز از ۰ تا ۲۳/۱ میلی‌متر متغیر می‌باشد (Ewaid et al., 2019).

در زمینه برآورد نیاز آبی گیاهان غیر زراعی مناطق خشک و نیمه‌خشک و برنامه‌ریزی آبیاری، پس از بررسی‌های به‌عمل آمده مشخص گردید که مطالعات زیادی در این راستا انجام نشده است و بیشتر تمرکز تحقیقات در معادله با برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی استوار است و به همین دلیل مطالعات انجام شده پاسخگوی نیاز پژوهش در این زمینه نمی‌باشد؛ بنابراین به نظر می‌رسد که انجام مطالعاتی در خصوص تعیین نیاز آبی و دور آبیاری درختان با توجه به اهمیت جنگل‌کاری‌ها در مناطق خشک و ایجاد کمربندها و کمان‌های سبز و فضای سبز شهری بسیار لازم و ضروری می‌باشد. این پژوهش با توجه به اهداف مختلفی شامل تعیین برنامه‌ریزی آبیاری، پایش رطوبت در سطوح تنش خشکی و اندازه‌گیری نیاز آبی (ETc) گونه‌ها و محاسبه تبخیر و تعرق مرجع و ضریب گیاهی صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان رباط‌کریم در جنوب غربی استان تهران واقع شده و با وسعتی معادل ۲۷۵ کیلومتر مربع در طول جغرافیایی ۵۱°۰۴ و عرض جغرافیایی ۳۵°۲۸ قرار گرفته است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰۵۰ متر می‌باشد و از شمال به شهرستان‌های شهریار و کرج (استان البرز)، از جنوب به ری و اسلام‌شهر، از شرق به بهارستان و از غرب به ساوه (استان مرکزی) محدود است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig 1. Geographical location of the study area

این 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 گونه‌های گیاهی (گونه‌های درختی یک‌ساله، سه‌ساله و پنج‌ساله)، فاکتور تنش خشکی در سه سطح (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) درصد از حد مجاز تقلیل رطوبت[1] و فاکتور گیاهی در دو سطح (گونه‌های کاج تهران (*Pinus eldarica* L.) و زیتون تلخ

1. Maximum allowable depletion

(*Melia azaderach* L.) ؛ (یک گونه سوزنی برگ و یک گونه پهن برگ) و هر کدام در ده تکرار است که در مجموع ۱۸۰ تیمار حاصل می‌گردد. از تعداد ۱۸۰ تکرار، ۹۰ تکرار مربوط به کاج تهران است که از ۹۰ اصله نهال کاج تهران، تعداد ۳۰ نهال یک ساله، ۳۰ نهال سه ساله و ۳۰ نهال پنج ساله می‌باشد و از ۹۰ اصله نهال زیتون تلخ، تعداد ۳۰ نهال یک ساله، ۳۰ نهال سه ساله و ۳۰ نهال پنج ساله می‌باشد. در این مطالعه بافت خاک لومی ماسه‌ای بود. حد مجاز تقلیل رطوبت درصدی از آب قابل استفاده در خاک می‌باشد که بین دو راندمان آبیاری،گیاه بدون آنکه صدمه‌ای ببیند از خاک دریافت می‌کند و معمولاً آن را به‌صورت درصدی از ظرفیت آب قابل استفاده در منطقه ریشه بیان می‌کنند (Alizadeh, 2014).

با توجه به حداکثر عمق ریشه نهال‌های مختلف یک، سه و پنج ساله کاج تهران و زیتون‌تلخ، کاشت نهال‌ها در میکرولایسیمترهایی به قطر و ارتفاع متناسب با نوع گونه و سن آن‌ها انجام شد. بدین صورت که گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ در سن یک در میکرولایسیمتر کوچک، در سن سه در میکرولایسیمتر متوسط و در سن پنج در میکرولایسیمتر بزرگ کاشته شدند. ابعاد (قطر×ارتفاع) میکرولایسیمترهای بزرگ، متوسط و کوچک به‌ترتیب ۳۰×۲۶/۵، ۲۴×۲۳ و ۱۸×۱۷/۵ سانتی‌متر بود.

پس از کاشت نهال‌ها در میکرولایسمتر، به منظور نشست کامل خاک داخل میکرولایسیمترها و رفع شدن تنش وارده به نهال‌ها، دو نوبت آبیاری سنگین انجام شد. عملیات کاشت نهال‌ها در بهمن ماه ۱۳۹۹ انجام گردید. 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 و سپس با کم شدن رطوبت به صورت روزی دو بار انجام شد. پایش رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه هم با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج TDR مدل HH2 (برای تعیین زمان رسیدن به رطوبتی که باید آبیاری صورت گیرد)، و هم از روش وزنی (برای تعیین دقیق مقدار کمبود رطوبتی) انجام گردید.

شکل ۲. تصاویری از لایسیمترها و نهال‌های کشت شده و پایش رطوبت در آن‌ها با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج TDR

Fig 2. Images of lysimeters and cultivated seedlings and moisture monitoring in them using a TDR moisture meter.

پس از اندازه‌گیری نقاط رطوبتی ظرفیت زراعی[1] و نقطه پژمردگی[2] و لحاظ نمودن سطوح تنش خشکی مورد نظر یعنی درصدهای ذکر شده تخلیه مجاز رطوبتی، برنامه‌ریزی آبیاری برای هر یک از تیمارها تهیه گردید و آبیاری و جبران کمبود رطوبتی بر اساس آن انجام گرفت.

1. Field capacity
2. Wilting point

با اعمال برنامه‌ریزی آبیاری و پایش و اندازه‌گیری رطوبت و وزن میکرولایسیمترها در بازه زمانی تعیین شده برای تیمارهای مورد نظر، مقدار تبخیر تعرق گیاه (ET_c) با استفاده از داده‌های به دست آمده از روش وزنی و ابعاد میکرولایسیمتر با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Rahimi, 2019).

$$ET_c = \frac{W_2 - W_1}{A} \quad (۱)$$

که در آن تبخیر تعرق واقعی (پتانسیل) گیاه، A مساحت میکرولایسیمتر و W_1 و W_2 به‌ترتیب مقدار وزن مجموعه میکرولایسیمتر قبل و بعد از آبیاری است. آب مورد نیاز گیاه به مجموع آب تعرق یافته در دوره رشد، آب نگهداری شده در بافت گیاهی و رطوبت تبخیر شده از سطح خاک و گیاه اطلاق شده و برحسب میلی‌متر برای دوره معینی بیان می‌گردد (Ahmadaali et al., 2021). در صورت داشتن ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0)، تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه (ET_c) از رابطه (۲) محاسبه گردید (Allan *et al.*, 1998):

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (۲)$$

از آنجایی که برای اکثر گونه‌های گیاهی فضای سبز و عرصه‌های جنگل‌کاری ضریب گیاهی مشخص نیست لذا در این تحقیق ضریب گیاهی کاج تهران و زیتون تلخ جزء 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. نسبت شار منعکس شده از یک سطح به شار تابیده شده به آن را ضریب انعکاس می‌گویند. ضریب انعکاس درصد نوری را نشان می‌دهد که از سطح بر می‌گردد. مقدار K_c بستگی به درصد پوشش گیاه، رطوبت خاک و سن گیاه دارد. به همین دلیل 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 (۴) تعیین گردید. تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) نشان‌دهنده‌ی 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، سایه‌انداز و نیز بدون تنش آبی است (Allan *et al.*, 1998). 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 به عنوان مناسب‌ترین مدل در برآورد تبخیر و تعرق مرجع شناخته شده و توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO) برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق مرجع در همه‌ی اقلیم‌ها توصیه شده است (Xu et al., 2006). لذا در این مطالعه تبخیر و تعرق مرجع از روش PMF-56 (رابطه ۳) و با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر رباط‌کریم محاسبه گردید:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۳)$$

که در آن (Z) ارتفاع از سطح دریا، حداکثر دمای هوا طی شبانه‌روز (T_{max}) درجه سانتی‌گراد، حداقل دمای هوا طی شبانه‌روز (T_{mine}) درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای هوا (T_{mean}) درجه سانتی‌گراد، تشعشع فوق اراضی (R_a) مگاژول بر متر مربع بر روز، a_a و b_a به‌ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۵، ضریب آلبیدوی (α) گیاه مرجع ۰/۲۳، P فشار اتمسفر در محل (کیلوپاسکال)، ∂ ثابت استفان بولتزمن ($4.903*10^{-9}$ $Mjk^{-4}m^{-2}$ 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 حداکثر و حداقل e^o (T_{mine}) و e^o (T_{max}) بر حسب کیلوپاسکال، فشار بخار اشباع (e_s)، فشار بخار واقعی (e_a)، شیب معادله‌ی فشار بخار اشباع و دما (Δ)، ثابت سایکرومتری (γ) بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد و (ET_0) تبخیر و تعرق گیاه مرجع است. محاسبات نیاز آبی گیاه مرجع با استفاده نرم افزار ET0 calculator محاسبه شد. اطلاعات جمع‌آوری شده در نرم‌افزار اکسل (Excel) ذخیره شده و با استفاده از نرم‌افزارهای آماری موجود SPSS و R پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها (روش آزمون کولموگرف-

اسمیرنوف)، مقایسه میانگین‌ها از روش تجزیه واریانس با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۱ درصد انجام شد.

نتایج

تجزیه واریانس عوامل مورد بررسی شامل گونه‌های

جدول ۱. آنالیز تجزیه واریانس فاکتورهای مورد بررسی با استفاده از آزمون GLM
Table 1. Variance analysis of the studied factors using the GLM test

فاکتور Source	مجموع مربع‌ها Type III Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مربع‌ها Mean Square	مقدار F F	معنی‌داری Sig.	اتای جزئی مربع Partial Eta Squared
مدل تصحیح شده Corrected Model	25.850a	5	5.170	8.401	.000	.090
متقابل Intercept	184.625	1	184.625	300.020	.000	.413
گونه‌ها Species	.069	1	.069	.112	.0738	.000
گونه× سال ۱۴۰۰ species * year2021	1.301	2	.651	1.057	.0843	.005
گونه × سال ۱۴۰۱ species * year2022	15.118	2	7.559	12.284	.000	.055
خطا Error	262.150	426	.615			
کل Total	2016.000	432				
کل تصحیح شده Corrected Total	288.000	431				

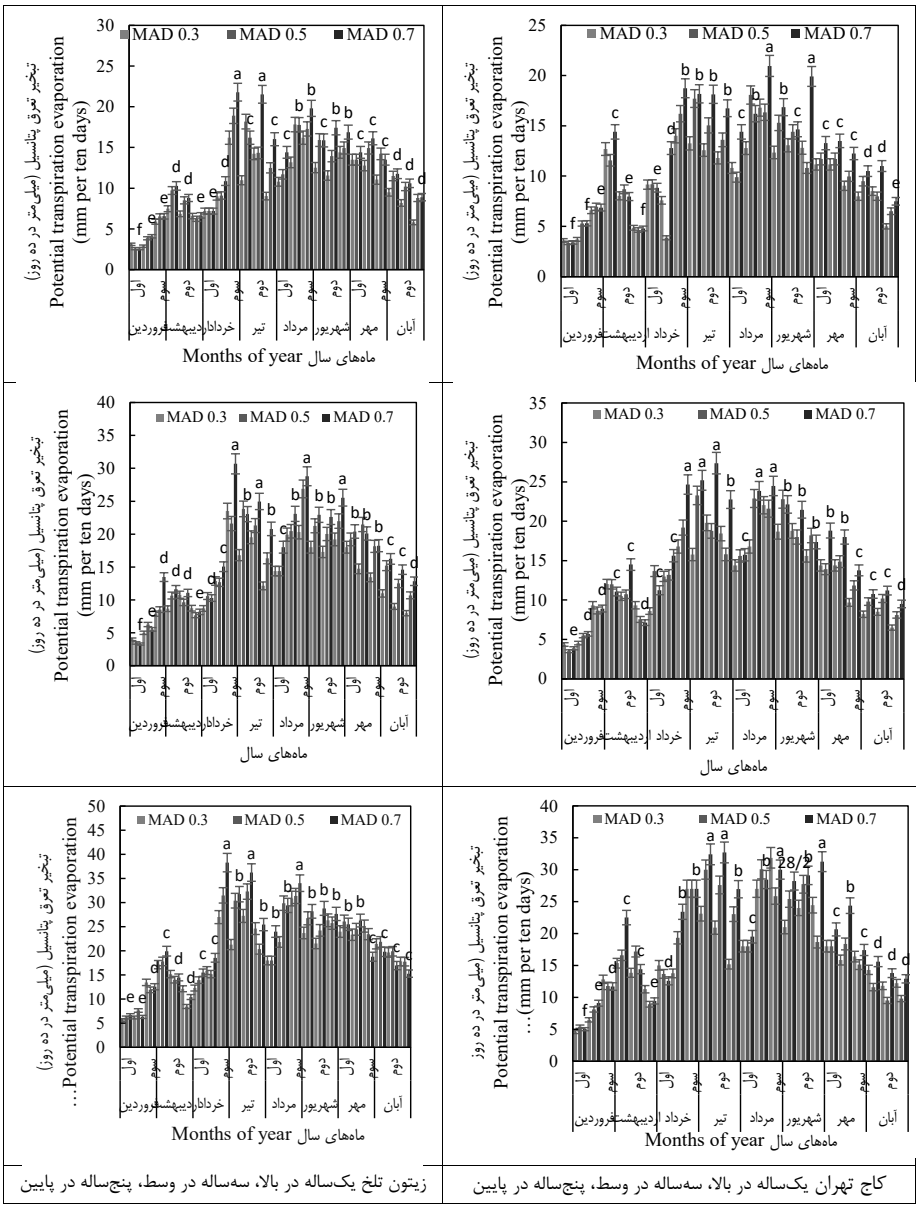
مورد مطالعه، تیمارهای تنش خشکی مورد استفاده و سال‌های انجام مطالعه و نیز تأثیر متقابل آن‌ها نشان دهنده معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌ها به احتمال ۹۵٪ است (جدول ۱).

نمودار تبخیر- تعرق برای گونه کاج تهران در تنش‌های خشکی ۰/۳ ، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار بود در حالی‌که در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و آبان به کمترین مقدار رسید. بیشترین میزان تبخیر تعرق کاج تهران یک‌ساله مربوط به دهه دوم تیر و در تنش خشکی ۰/۷ می‌باشد که برابر با ۲۷/۳۶ میلی‌متر در ده روز است. بیشترین میزان تبخیر تعرق کاج تهران سه‌ساله مربوط به دهه دوم تیر و در تنش خشکی ۰/۷ می‌باشد که برابر با ۲۷/۳۶ میلی‌متر در ده روز است. بیشترین میزان تبخیر تعرق کاج تهران پنج‌ساله مربوط به دهه دوم تیر و در تنش خشکی ۰/۷ می‌باشد که برابر با ۳۲/۷ میلی‌متر در ده روز است (شکل ۳).

تبخیر تعرق زیتون تلخ در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار بود در حالی‌که در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و آبان به کمترین مقدار رسید. بیشترین میزان تبخیر تعرق زیتون تلخ یک‌ساله مربوط به دهه سوم خرداد و در تنش خشکی ۰/۷ می‌باشد که برابر با ۲۱/۸ میلی‌متر در ده روز است. بیشترین میزان تبخیر تعرق زیتون تلخ سه‌ساله مربوط به دهه سوم خرداد و در تنش خشکی ۰/۷ بود که برابر با ۳۰/۷ میلی‌متر در ده روز است. بیشترین میزان تبخیر تعرق زیتون تلخ پنج‌ساله مربوط به دهه سوم خرداد و در تنش خشکی ۰/۷ بود که برابر با ۳۸/۳۱ میلی‌متر در ده روز است (شکل ۳).

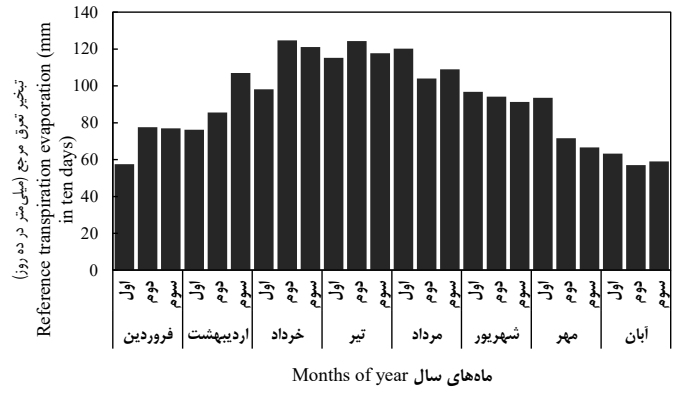
نتایج نشان داد که بیشترین مقدار تبخیر تعرق مرجع مربوط به دهه دوم ماه‌های خرداد و تیر است (۱۲۴/۷ میلی‌متر بر ده روز). کمترین میزان تبخیر تعرق مرجع در دهه دوم آبان اتفاق می‌افتد که مقدار آن ۵۷ میلی‌متر در ده روز می‌باشد (شکل ۴).

بیشترین مقدار ضریب گیاهی کاج تهران یک ساله در تنش خشکی ۰/۷ مربوط به دهه سوم ماه شهریور می‌باشد که مقدار آن برابر با ۰/۲۲ است در حالی‌که کمترین مقدار آن در دهه دوم اردیبهشت اتفاق می‌افتد



شکل ۳. تبخیرتعرق پتانسیل (میلی‌متر بر ده روز) گونه‌های کاج تهران(سمت چپ) و زیتون تلخ (سمت راست) در سنین یک، سه و پنج سالگی در بازه زمانی مورد مطالعه

Fig 3. Potential evapotranspiration (mm / ten days) of Tehran pine (left) and Chinaberry (right) at 1, 3 and 5 ages in the studied period



شکل ۴. تبخیرتعرق مرجع (میلی‌متر بر ده روز) در بازه زمانی مورد مطالعه برای گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ

Fig 4. Reference evapotranspiration (mm / ten days) in the studied period

که برابر با ۰/۰۰۱ است (شکل ۵). بیشترین مقدار ضریب گیاهی کاج تهران سه ساله در تنش خشکی ۰/۷ در دهه دوم ماه آبان حاصل شد که مقدار آن برابر با ۰/۳۹ است در حالی‌که کمترین مقدار آن در دهه اول ماه اسفند و برابر با ۰/۰۳ می‌باشد. بیشترین مقدار ضریب گیاهی کاج تهران پنج‌ساله در تنش خشکی ۰/۷ مربوط به دهه سوم ماه شهریور و مقدار آن برابر با ۰/۳۴ است در حالی‌که کمترین مقدار آن در دهه اول ماه فروردین برابر با ۰/۰۸۷ می‌باشد (شکل ۵).

بیشترین مقدار ضریب گیاهی در زیتون تلخ یک‌ساله و در تنش خشکی ۰/۷ مربوط به دهه دوم ماه مهر و مقدار آن برابر با ۰/۲۲ است در حالی‌که کمترین مقدار آن در دهه اول ماه فروردین برابر با ۰/۰۴۵ می‌باشد. بیشترین فراوانی ضریب گیاهی زیتون تلخ سه‌ساله در تنش خشکی ۰/۷ مربوط به دهه دوم ماه خرداد و مقدار آن برابر با ۰/۴۱ است در حالی‌که کمترین مقدار آن در دهه دوم ماه دی برابر با ۰/۰۱۶ می‌باشد. بیشترین میزان ضریب گیاهی زیتون تلخ پنج‌ساله در تنش خشکی ۰/۷ مربوط به دهه دوم ماه مهر و مقدار آن برابر با ۰/۳۷ می‌باشد در حالی‌که کمترین مقدار آن در دهه دوم ماه فروردین اتفاق می‌افتد و برابر با ۰/۰۸۱ است (شکل ۵).

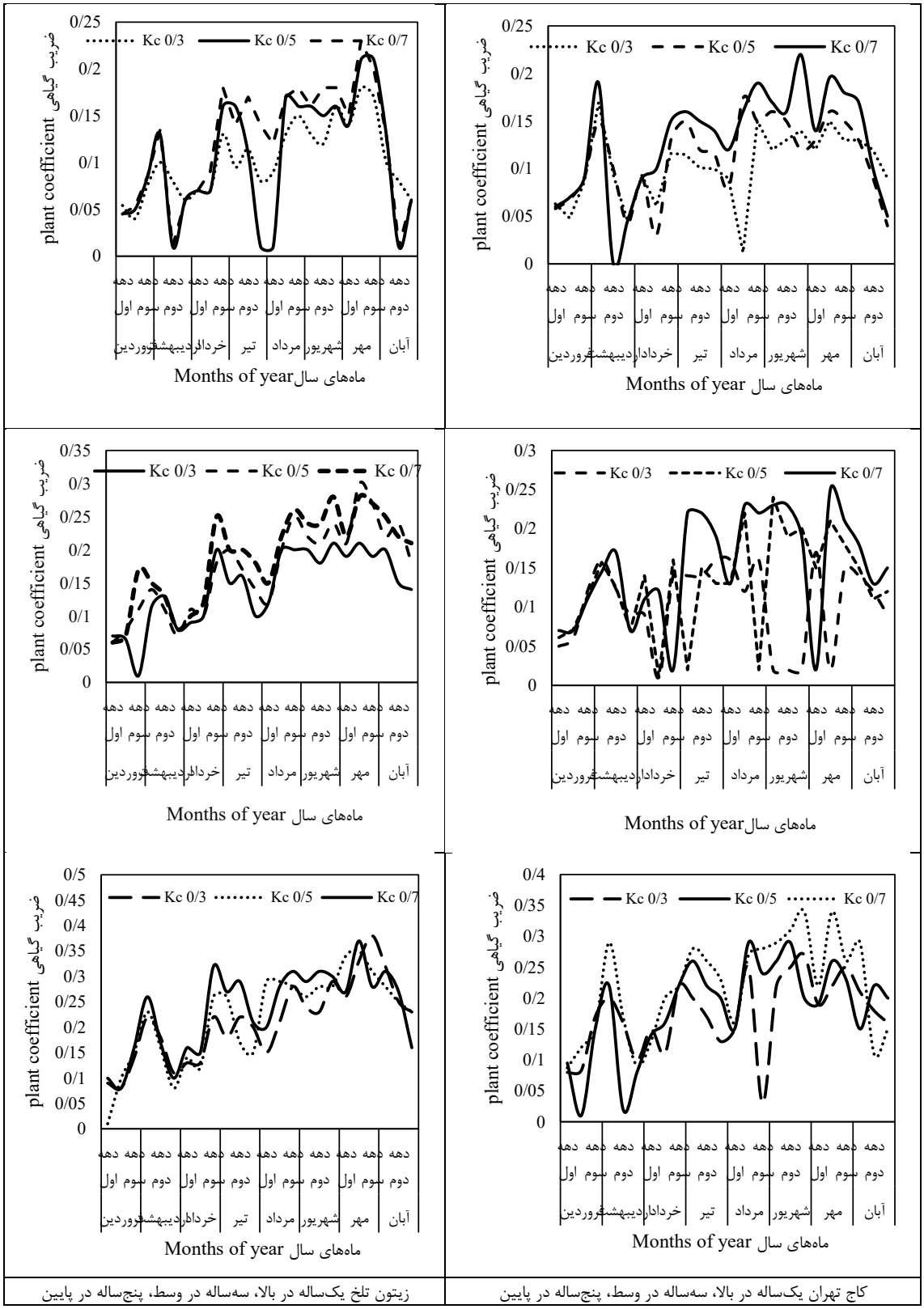
نتایج آنالیز واریانس میانگین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل و ضریب گیاهی (Kc) در گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌ها به احتمال ۹۹٪ در تیمارهای تنش خشکی مختلف است (شکل‌های ۶ و ۷).

بحث

نمودار تبخیر- تعرق پتانسیل برای گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های گرم‌تر سال یعنی از خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار می‌باشد در حالی‌که در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و آبان دارای کمترین مقدار است. با وجود تفاوت در بین گونه‌های انتخاب شده برای این مطالعه از نظر سوزنی یا پهن برگ بودن این حالت دارای روند کم و بیش مشابهی می‌باشد. یافته‌های Hashemi Garmdareh (2005)، Shokrallahza-deh و همکاران (2016)، Jafari و همکاران (2016)، Ra-himi و همکاران (2020) و Ahmadaali و همکاران (2020) با نتایج این پژوهش همسو است.

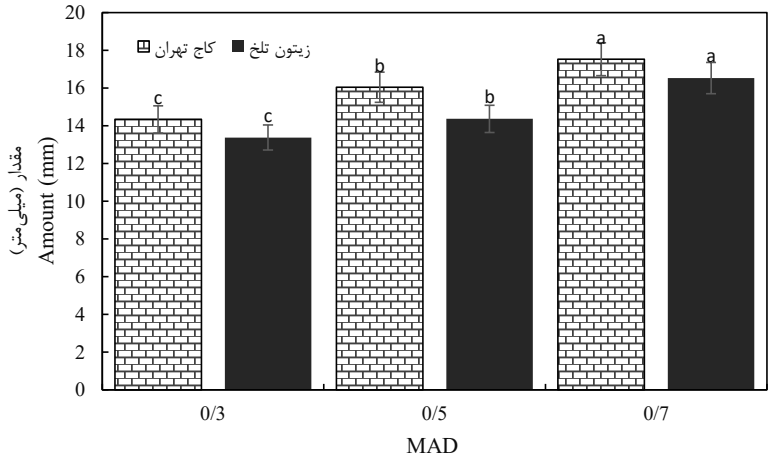
به طور کلی اتلاف آب از گیاه از قبیل تبخیر و تعرق در گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ توسط عوامل گیاهی و محیطی تعیین می‌گردد. اثر عوامل محیطی روی تبخیر و تعرق به‌نام نیاز اتمسفری نامیده می‌شود. هرقدر نیاز اتمسفری بیشتر باشد، آب با سرعت بیشتری از یک سطح آزاد می‌تواند تبخیر شود. عوامل تشعشع خورشیدی، دما، رطوبت نسبی و باد مهمترین عواملی هستند که روی نیاز اتمسفری تأثیر می‌گذارند. از میزان تشعشعی که توسط برگ جذب می‌شود حدود ۱ تا ۵٪ آن صرف فتوسنتز می‌شود و حدود ۷۵ تا ۸۵٪ آن به مصرف گرم کردن برگ و تعرق می‌رسد. افزایش تشعشع خورشید موجب افزایش نیاز اتمسفری می‌گردد. افزایش دما ظرفیت پذیرش آب توسط هوا را افزایش می‌دهد (شکل اثرات باد بر تعرق و ساختمان روزنه‌ها). این بدین معنی است که نیاز اتمسفری با افزایش رطوبت نسبی کاهش می‌یابد. (شکل‌های تغییرات پتانسیل آب اتمسفری نسبت به تغییر رطوبت نسبی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد و تأثیرات دما بر روی ظرفیت نگهداری آب در هوا). تعرق موقعی صورت می‌گیرد که بخار آب از طریق روزنه به بیرون منتشر می‌شود. در هوای آرام یک مانع اختلاف فشار، متشکل از یک لایه آب در اطراف روزنه ایجاد می‌گردد که شیب انتشار بین برگ و هوا را کاهش می‌دهد (Sokhtsarai et al., 2019). این بدین معنی است که آبی که از سطح مرطوب درونی برگ به بیرون منتشر می‌شود در مقابل خود با یک لایه آب از بیرون برگ روبه‌رو می‌باشد. این لایه شیب انتشار بین برگ و هوا را در نتیجه تعرق کاهش می‌دهد. وقتی هوای متلاطم (باد) رطوبت موجود در نزدیکی برگ را دور می‌سازد اختلاف پتانسیل آب داخل برگ و هوای مجاور روزنه‌ها و نیز انتشار آب از برگ افزایش می‌یابد (Javadi and Bah-ramnejad, 2011).

بنابراین با توجه به موارد مطرح شده می‌توان گفت مقدار تبخیر تعرق پتانسیل بستگی به مقدار انرژی

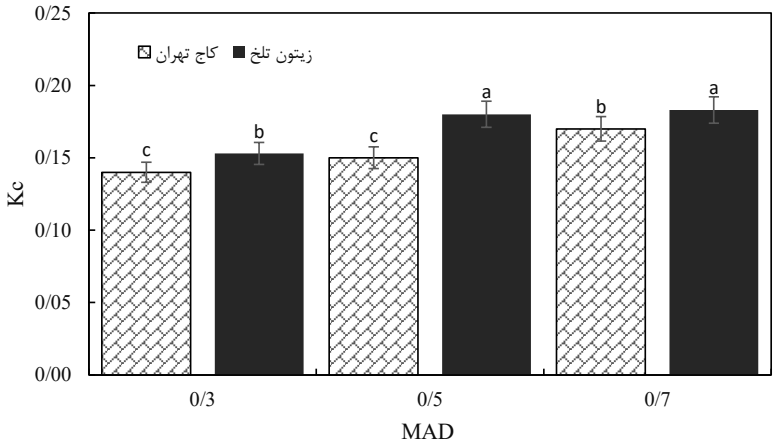


شکل۵ . ضریب گیاهی گونه‌های کاج تهران (سمت راست) و زیتون تلخ (سمت چپ) در سنین یک، سه و پنج سالگی در بازه زمانی مورد مطالعه

Fig 5. Vegetation coefficient of Tehran pine (right) and Chinaberry(left) at 1, 3 and 5 ages in the studied period



شکل ۶. مقدار تبخیر تعرق پتانسیل در حدهای مجاز تقلیل رطوبت مختلف در گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ در بازه زمانی مورد مطالعه
Fig 6. The amount of potential transpiration evaporation in the permissible limits of different moisture reduction in Tehran pine and Chinaberry in the studied period



شکل ۷. مقدار ضریب گیاهی در حدهای مجاز تقلیل رطوبت مختلف در گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ در بازه زمانی مورد مطالعه
Fig 7. The value of plant coefficient in the permissible limits of different moisture reduction in Tehran pine and Chinaberry in the studied period

موجود برای عمل تبخیر داشته و از روزی به روز و فصلی به فصل دیگر متغیر است (Sanchez-Blanco et al., 2014). زمانی که در شرایط خشک تلفات آب از گیاه بر اثر تبخیر تعرق بیش از جذب می‌شود، در گیاه کمبود آب حادث شده و گیاه دچار تنش خشکی و افزایش تبخیر تعرق می‌گردد (Tabari and Hosseinzadeh Talaee, 2011). تنش خشکی و افزایش تبخیر تعرق می‌تواند آناتومی و مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد و تقریباً بر کلیه جنبه‌های رشد و نمو آن‌ها تاثیر بگذارد (Ozturk and Sakcali, 2004). گیاه ممکن است در دوره رشد، در فصول خاص و یا در مراحل خاصی از نمو خود مثل سبز شدن، رشد رویشی، گلدهی و بذردهی در معرض تنش کمبود آب و افزایش تبخیر تعرق باشد (Amiri and Eslamian, 2010).

بیشترین مقدار ضریب گیاهی کاج تهران و زیتون تلخ در سن پنج سالگی و در تنش خشکی ۰/۷ اتفاق افتاد که مربوط به ماه‌های شهریور و مهر و مقدار آن به‌ترتیب برابر با ۰/۳۴ و ۰/۳۷ است در حالی‌که کمترین مقدار آن در دهه اول و دوم ماه فروردین اتفاق می‌افتد و مقدار آن به‌ترتیب برابر با ۰/۰۸۷ و ۰/۰۸۱ می‌باشد. نتایج مطالعه Hashemi Garmdareh (2005) با یافته‌های تحقیق جاری در یک راستا قرار دارد. از طرفی میانگین ضریب گیاهی در کاج تهران برای

سنین، یک، سه و پنج در تنش‌های ۰/۵، ۰/۳ و ۰/۷ به‌ترتیب برابر با ۰/۱، ۰/۱۱ و ۰/۱۳؛ ۰/۱۳، ۰/۱۵ و ۰/۱۷؛ ۰/۱۸۵، ۰/۱۹۷ و ۰/۲۲ می‌باشد در حالی‌که میانگین ضریب گیاهی در زیتون تلخ برای سنین، یک، سه و پنج در تنش‌های ۰/۵، ۰/۳ و ۰/۷ به‌ترتیب برابر با ۰/۱، ۰/۱۲ و ۰/۱۳؛ ۰/۱۴، ۰/۱۷ و ۰/۱۹؛ ۰/۲۱، ۰/۲۳ و ۰/۲۳۵ می‌باشد. یافته مطالعه Moazenpour Kerma-ni و همکاران (2017) با نتایج مطالعه حاضر همسو می‌باشد.

ضریب گیاهی بستگی به عواملی مانند نوع گیاه، مرحله رشد و شرایط آب و هوایی محل دارد. ضریب گیاهی یک مقدار ثابت نبوده و مقدار آن در طول دوره رویش گیاه تغییر می‌کند. با دقت در روند داده‌ها، مراحل رشد گیاه به چهار مرحله مرحله ابتدایی، مرحله توسعه گیاه، مرحله میانی و پایانی تقسیم گردید. در هر دو گونه مورد مطالعه، در مرحله ابتدایی ضریب گیاهی نسبت به مرحله رشد و توسعه دارای مقدار کمتری بود و در مرحله رشد و توسعه ضریب گیاهی به سرعت افزایش یافت. در مرحله میانی، تغییرات آن به سمت مقدار ثابتی میل می‌کرد و ضریب گیاهی در این مرحله نسبت به بقیه مراحل بسیار اندک بود. حداکثر مقدار ضریب گیاهی در مرحله میانی رخ داد که دلیل آن نیاز زیاد گیاه به آب در نتیجه محصول دهی است. در نهایت، با افت ضریب گیاهی، مرحله پایانی رشد گیاه نیز به وقوع پیوست. به‌نظر می‌رسد بیشتر بودن ضریب گیاهی در گونه زیتون تلخ به دلیل تفاوت نیازهای اکولوژیک این گونه نسبت به کاج تهران باشد. این درخت(زیتون تلخ) طالب مکان‌های آفتاب‌گیر و خاک‌های بارخیز، عمیق، خنک و زهکشی شده است اما در انواع خاک‌ها توان رستن دارد، به خشکی مقاوم است، یارای تحمل یخبندان را دارد و تا حدی به شوری خاک مقاومت نشان می‌دهد. در حالی‌که گونه کاج تهران، گونه‌ای کم‌نیاز است و قادر به رویش در خاک‌های آهکی و حتی کمی شور و مقاوم به خشکی، سرما و گرما می‌باشد (Jaziraei, 2011). از دلایل بیشتر بودن نیاز آبی گونه کاج تهران نسبت به زیتون تلخ، تفاوت مورفولوژی برگ این گونه‌ها است. زیتون تلخ درختی خزان‌کننده با برگ‌های مرکب مضاعف، انبوه، ناپایا، متناوب، با دمبرگ کوتاه، برگچه‌هایی به رنگ سبز تیره، متقابل، نوک تیز، دندانه‌دار یا لوب‌دار و بدون کرک است. درحالی‌که کاج تهران دارای سوزن‌هایی به رنگ سبز تیره و پوشیده شده با غباری کم‌رنگ، به طول ۸ تا ۱۵ سانتی‌متر بوده و در دسته‌های ۲ برگی درون غلاف‌های کوتاهی به رنگ قهوه‌ای روشن تا خاکستری قرار دارند. گرچه در نگاه اول ممکن است این طور به‌نظر برسد که به دلیل پهن برگ بودن گونه زیتون تلخ نیاز آبی بیشتری در مقایسه با کاج تهران دارد اما در واقع گونه کاج تهران به دلیل داشتن تعداد بسیار زیاد سوزن‌های دوتایی و بلند به طول ۱۵-۸ سانتی‌متر در تاج خود دارای نیاز آبی بیشتری نسبت به زیتون تلخ می‌باشد.

گیاهان متفاوت مقادیر متفاوتی از آب را در طول دوره رشد استفاده می‌نمایند. به طور کلی با توجه به یکسان بودن بافت خاک در این مطالعه عوامل گیاهی مؤثر بر نیاز آبی این گونه‌ها شامل مواردی از قبیل نوع گیاه، مرحله‌ی رشد، سطح برگ (شاخص سطح برگ)، نوع برگ و تعداد روزنه‌های هوایی موجود در آن‌ها، طول و تراکم ریشه‌ها است.

در زمینه بررسی تعیین نیاز آبی گونه‌های مورد استفاده در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطالعات مشابهی جهت مقایسه‌ی نتایج آن‌ها با نتایج پژوهش حاضر انجام نشده است. با این‌حال، به طور کلی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک گیاهان در مراحل مختلف نمو خود به طور دائم در معرض کمبود آب قرار دارند (Zanotelli et al., 2019) و در طرح‌های جنگل‌کاری در این مناطق نیز نیاز است این نکته مورد عنایت قرار گیرد. گیاهان به طور طبیعی در طی تحول مکانیسم‌هایی را برای سازگاری در طی زمان حاصل نموده‌اند؛ گرچه عموماً علیرغم این سازگاری‌ها کمبود آب اثرات سوئی بر گیاهان داشته و ممکن است برخی از این اثرات برگشت‌ناپذیر باشند. در جنگل‌کاری‌ها و طرح‌های گسترش فضای سبز در این مناطق نیز نیاز است فرآیندهای طبیعی را مد نظر قرار داده و از آن‌ها الگو گرفته شود، تا هم بر اساس نیاز آبی گیاه عمل

آبیاری صورت گیرد و هم نهال قابلیت بقا و ماندگاری در شرایط پر از تنش و نامساعد موجود را داشته باشد. در حالت خودرو و طبیعی تحمل به خشکی ناشی از تعدادی از مکانیسم‌های سازگاری بوده و عموماً گریز یا فرار از دوره خشکی، اجتناب از خشکی و بقا در خشکی سه مکانیسم عمده سازگاری و تحمل گیاه به خشکی هستند. در جنگل‌کاری‌ها نیز چون اصول فرار از دوره خشکی و اجتناب از خشکی در دسترس نیستند و باید در طی سازوکارهای فیزیولوژیک در طی زمان شکل گیرند، مکانیسم بقا در خشکی روشی است که با توجه به آن و فراهم نمودن ابزارهای نیل به آن از طریق انجام آبیاری با توجه به نیاز آبی گونه‌های مورد نظر برای جنگل‌کاری از قبیل زیتون تلخ و کاج تهران می‌توان به موفقیت طرح‌های جنگل‌کاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک امیدوار بود.

نتیجه‌گیری

رژیم‌های خشکی بر نیاز آبی گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ در سنین مختلف رویشی تأثیرگذار است. بر اساس نتایج مقدار نیاز آبی گونه کاج تهران در رژیم‌های رطوبتی مورد مطالعه از گونه زیتون تلخ بیشتر است. با افزایش میزان تقلیل رطوبتی مجاز مقدار نیاز آبی گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ در همه سنین مورد بررسی افزایش می‌یابد. بنابراین نیاز است در طرح‌های جنگل‌کاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک نکات تنش خشکی مناسب (۰/۷) در نظر گرفته شود تا شرایط مناسب برای رشد و ماندگاری در شرایط سخت برای این درختان فراهم گردد.

سپاسگزاری

این پژوهش با اعتبارات شهرداری تهران، سازمان بوستان‌ها و فضای سبز شهر تهران به انجام رسیده است که از آن‌ها کمال قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

Ahmadee, M., Khashei-Siuki, A., & Sayyari Zahan, M. H. (2016). Comparison of Efficiency of Different Equations to Estimate the Water Requirement in Saffron (*Crocus sativus* L.) (Case Study: Birjand Plain, Iran). *Journal Of Agroecology*, *8*(4), 505-520. [In Persian]. DOI:10.22067/JAG.V8I4.40517.

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. [In Persian]. DOI:10.22059/ijswr.2020.303336.668627.

Allan, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109. DOR:20.1001.1.22287140.1401.36.4.2.5.

Alihouri, M., Naseri, A., Broumandnesb, A. & Kayani, A. (2015). Effect of low irrigation and irrigation water salinity on soil salinity distribution and vegetative growth of date seedlings. *Journal of water and soil resources protection*, 46 (3), 475-486. [In Persian].

Alizadeh, A. (2014). The relationship between water, soil and plants. Publications of Ferdowsi University of Mashhad, 728 p. [In Persian].

Amiri, M. J. & Eslamian, S. (2010). Investigation of climate change in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*. 3 (4), 208-216. DOI:10.3923/jest.2010.208.216.

Ansaryan Mahabadi, S., Allah dadi, I., Ghorbani Javid, M., & Soltani, E. (2019). Effect of corm priming with salicylic acid and mother corm weight on flowering and qualitative characteristics of saffron stigma. *Saffron Agronomy and Technology*, *7*(1), 41-53. [In Persian]. https://doi.org/10.22048/jsat.2018.96404.1254.

Asgari, M., Javanmiri Pour, M., Etemad, V., Liaqat, A. & Eskandari Rad, A. (2022). Morphological characteristics of sparrow tongue (*Fraxinus rotundifolia* Mill), mulberry (*Morus alba*) and black maple (*Acer negundo*) seedlings in greenhouse and field under water stress in Rabat Karim. *Environmental Science*, 20(2), 117-134. [In Persian]. DOI:10.52547/envs.2022.1053.

Asgari, M., Javanmiri Pour, M., Etemad, V., & Ahmadaali, K. (2024). Effect of Drought Stress on Morphological Characteristics of Tehran Pine (Pinus eldarica Medw.) and Bitter Olive (Melia azedarach L.) at Various Ages. *Journal of*

Science, *24*(2), 223-233. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1389i2.8001.

Jaziraei, M. (2011). plantation in dry land, Tehran University Press, third edition, 532 p. [In Persian].

Karmi, T. & Ghaffarian Behrman, M. (2017). Future research of water crisis and its security challenges (case study: Rafsanjan city). *Scientific journal - specialized in law enforcement*, 8 (21), 49-79. [In Persian]. DOI:10.22059/ije.2020.286464.1176.

Karamian, R. & Atai Barazandeh, p. (2013). Studying the effect of salinity stress on some growth indices in three species of the genus Onobrychis in Iran. *Journal of plant biology of Iran*, 5 (15), 69-82. [In Persian]. DOR:20.1001.1.20088264.1392.5.15.7.3.

Karimi Alawijeh, M. & Zarei, A. (2010). Plant behavior in response to cold stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 15 (60), 124-138. [In Persian].

Kassem, M. A. (2007). Water requirements and crop coefficient of Date Palm trees, *Irrigation And Drainage Journal, Misr J. Ag. Eng*. 24(2), 339-359.

Moazenpour Kermani, M., Mohammadi Mohammad Abadi, A., Badie Nashin, A. & Noori, H. (2017). Measurement of transpiration evaporation and plant coefficient of pistachio in Rafsanjan region. *Agricultural meteorology*, 5(2), 47-55. [In Persian]. DOI:10.22125/agmj.2018.59723.

Nowrozi Haroni, N. & Tabari Khokhsarai, M. (2015). Morphophysiological responses of acacia (*Robinia pseudoacacia* L.) seedlings to drought stress, Journal of Forestry and Wood Products. *Journal of Natural Resources of Iran*, 8 (3), 715-727. [In Persian]. DOI:10.22059/jfwp.2015.55600.

Ozturk, M. & Sakcali, M.S. (2004). Ecophysiological behaviour of some Mediterranean plants as suitable candidates for reclamation of degraded areas. *Journal of Arid Environments*, 57 (2), 141-153.

Rahimi, H., Ahmadali, Kh. & Etemad, V. (2020). Determining the plant coefficient of purple (*Cercis siliquastrum* L) in soil and different levels of irrigation. *Iranian Irrigation and Drainage Journal*, 15 (6), 2100-2111. [In Persian]. DOR:2

Drought and Climate change Research, 1(4), 87-104. [In Persian].

Bakhshi khaniki G, Javadi S, Mehdikhani P, & Tahmasebi, D. (2011). Investigation of drought stress effects on some quantity and quality characteristics of new eugenics sugar beet genotypes. *NCMBJ*, 1 (3), 65-74. [In Persian]. http://ncmbjpiau.ir/article-1-47-en.html.

Bamanian, M., Metousali, M. & Habibpour, A. (2008). Examination of the needs and objectives of creating water supply and irrigation systems of urban green spaces with raw water, the third national conference of green spaces and urban landscape, Kish Island. [In Persian].

Bostani, A. & Ansari, H. (2011). Examining the consumption approach in urban water demand management. *Agricultural Engineering and Natural Resources*, 9 (33), 48-52. [In Persian].

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.

Hashemi Garmdareh, A. (2005). Estimating the water requirement of some dominant species in the greenery of Isfahan using a lysimeter. Master thesis of Isfahan University of Technology. 125 p. [In Persian].

Heydari, N. (2006). Sustainable water management and productivity in irrigation networks of catchment areas under water stress (case study of Zayandeh River irrigation network of Isfahan), management technical workshop. Operation and maintenance of irrigation and drainage networks, Tehran, https://civilica.com/doc/115820. [In Persian].

Jafari, H., Afrasiab, P., Delbari, M. & Taheri, M. (2016). Determining transpiration evaporation and plant coefficient of olive in different stages of growth using telemetry technique and moisture balance in Tarem Zanjan. *Irrigation and Water Engineering Research*, 7(24), 120-134. [In Persian].

Javadi, T., & Bahramnejad, B. (2011). Relative Water Content and Gas Exchange of Three Wild Pear Genotypes under Water Stress Conditions. *Journal Of Horticultural*

in Changjiang (Yangtze River) basin. *Journal of Hydrology*, 327 (1-2), 81-93.

Zahedi Amiri, Gh. & Zargham, N. (2015). Carbon sequestration in terrestrial ecosystems. Tehran University Press, 500 p. [In Persian].

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. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105756.

Zehtabian, G. & Farshi, A.G. (2008). Estimating the water requirement of green space plants in dry areas. *Journal of natural resources*, 52 (1), 63-75. [In Persian].

0.1001.1.20087942.2021.14.6.4.5.

Rezayan, A. & Rezayan, A. (2016). Prospective research of water crisis in Iran by scenario method, *Ecohydrology journal*, 3(1), 1-17. [In Persian]. DOI:10.22059/ije.2016.59185.

Salimi Soban, M., Mansouri, K. & Yaghfouri, H. (2018). Evaluation of plant species and its effectiveness in urban planning (case study: streets of Zahedan city). *Geographical Engineering Journal*, 2 (3), 73-84. [In Persian].

Sanchez-Blanco, M., J., Alvarez, S., Fernanda Ortun˜ o, M. & M. Carmen Ruiz-Sa´nchez. (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. DOI:10.1007/978-3-642-54276-3.

Shokrallahzadeh, M.R., Miri, H.R. & Abbasizadeh, M. (2016). Determining the water requirement of the elm species Ulmus carpinifolia and Nerium oleander using the WUCOLS III method in the green space of Shiraz city, Iran Scientific Research Conference on Agriculture, Genetic Engineering and Medicinal Plants, in electronic form, Elm Mohoran Asman Company. [In Persian].

Sokhtsarai, R., Ebadi, A., Salami, A. & Haji Ahmad, P. (2019). Physiological and biochemical response of seedlings of three cultivars of white, ruby and chafete grapes to drought stress. *Journal of plant production research*, 26 (2), 1-13. [In Persian].

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 (2011), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.07.008

Vaezirad, S., Shekari, F., Shiranirad, A. & Zangani, A. (2008). The effect of water deficit stress in different stages of growth on yield and components of grain yield in red bean cultivars. *Ecology of agricultural plants (new knowledge of agriculture)*, 4(10), 85-94. [In Persian]. http://www.ijabbr.com.

Xu, C.-Y., Gong, L., Jiang, T., Chen, D., & Singh, V.P. (2006). Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration