



Semnan University

Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions

<https://ceasr.semnan.ac.ir>



Research Article

Effect of Drought Stress on Water Requirement of Chinaberry (*Melia azedarach* L.) at Diverse Ages in Two Consecutive Years

Mohammad Asgari ^a, Mohsen Javanmiri Pour ^b, Vahid Etemad ^{c,*}, Khaled Ahmadaali ^d, Ehsan Abdi ^e, and Salman Zare ^f

^aLate PhD student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

^bKermanshah Agricultural & Natural Resources Research & Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kermanshah, Iran.

^cAssociate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

^dAssistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

^eProfessor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

^fAssistant Professor, Arid and Mountainous Areas Restoration, Karaj, Iran.

ARTICLE INFO

Article type:

Research full paper

Article history:

Received: 25 December 2023

Revised: 26 August 2024

Accepted: 21 September 2024

Keywords:

Plant coefficient,
Vegetative stages,
Potential
evapotranspiration,
Reference crop
evapotranspiration.

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: Water resources are scarce in arid and semi-arid regions, which makes it challenging to allocate them for development of green spaces. This includes public and private green spaces, forests and parks, gardens, and green belts, as water allocation is fiercely competitive with other uses such as agriculture, industry, and even drinking water. In arid areas, using drought-tolerant species is crucial to ensure the sustainability of green spaces.

Materials and Methods: This study aims to investigate the impact of drought stress on water requirement of Chinaberry plants of different ages in the Robatkarim arid region in Tehran province. The study was conducted using a factorial design scheme with the factors of species type, age, and drought stress. The study design was completely randomized, with 10 replications in two consecutive years. The variables included the species factor (Chinaberry) and the age factor at three different levels (one, three, and five years). The drought stress factor was divided into three levels: mild (0.3), intermediate (0.5), and high (0.7) stress levels, resulting in a total of 9 treatments. For each species, 90 microlysimeters were executed, considering the 10 repetitions. The research process includes the phases of determining irrigation planning, monitoring moisture levels in drought stress levels, measuring the water requirements of the species, calculating the reference evapotranspiration, and vegetation coefficient, and evaluating the effects of different drought stress levels on water requirements. The vegetable factor in this research was Chinaberry species. The volume of large, medium, and small microlysimeters was estimated at 0.016, 0.01, and 0.004 m³, respectively.

Results: The amount of water consumption in Chinaberry seedlings in the year 2021 and during the growth period of plant and in different applied treatments was: At drought stress of 0.3 (238.9 mm), 0.5 (282.4 mm) and 0.7 (310.03 mm) at age of 1 year; at drought stress of 0.3 (322 mm), 0.5 (374.8 mm) and 0.7 (421.4 mm) at age of 3 years; and at drought stress of 0.3 (471.7 mm), 0.5 (374.8 mm) and 0.7 (421.4 mm) at age of 5 years. The amount of water consumption in 2022 for the applied drought

* Corresponding author: mm.javanmeri@gmail.com

stress treatments was equal to 233.14, 276.6 and 301.13 mm; 314, 364 and 394 mm; 471.73, 499.1 and 530.73 mm, respectively. Comparison of the mean values of potential evapotranspiration in the studied Chinaberry seedlings under different stresses shows that their mean is significant with a probability of 0.01 in different groups and during the 2021 and 2022. In general, drought regimes affect the water requirement of Chinaberry at different ages.

Conclusion: It is crucial to consider appropriate drought stress in afforestation plans in arid and semi-arid areas to save water and provide suitable conditions for tree growth and survival.

Cite this article as: Asgari, M., Javanmiri Pour, M., Etemad, V., Ahmadaali, Kh., Abdi, E. and Zare, S. (2024). Effect of drought stress on water requirement of chinaberry (*Melia azedarach* L.) at diverse ages in two consecutive years. *Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions*, 2(1), 106-126.

© 2024 Published by Semnan University Press.

<https://doi.org/10.22075/ceasr.2024.32776.1026>

مقاله پژوهشی

تأثیر تنش خشکی بر نیاز آبی نهال‌های زیتون تلخ (*Melia azedarach* L.) در سنین

مختلف در دو سال متوالی (مطالعه موردی: شهرستان رباط کریم، استان تهران)

محمد عسگری^۱، محسن جوانمیری پور^۲، وحید اعتماد^{۳*}، خالد احمدآلی^۴، احسان عبدی^۵ و سلمان زارع^۶

- ۱- دانشجوی فقیذ دکترا، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات و آموزش ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
- ۳- دانشیار گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۴- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۵- استاد گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۶- استادیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، کرج، ایران.

*: نویسنده مسئول، vetemad@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده مبسوط
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱ واژه‌های کلیدی: ضریب گیاهی، مراحل رویشی، تبخیر- تعرق پتانسیل، تبخیر- تعرق مرجع.	سابقه و هدف: استفاده از گونه‌های سازگار و مقاوم به خشکی در مناطق خشک امری ضروری است. این مطالعه، تأثیر تنش خشکی بر نیاز آبی زیتون تلخ در سنین مختلف در منطقه خشک رباط کریم در استان تهران را مورد بررسی قرار می‌دهد. مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت طرح فاکتوریل با فاکتورهای نوع گونه، سن و تنش خشکی بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۱۰ تکرار در دو سال متوالی انجام شد. متغیرها شامل استفاده از فاکتور سن در سطوح یک، سه و پنج ساله و فاکتور تنش خشکی در تنش‌های ملایم (۰/۳)، متوسط (۰/۵) و زیاد (۰/۷) بود که در مجموع، ۹ تیمار برای هر گونه و با در نظر گرفتن تعداد ۱۰ تکرار، جمعاً در ۹۰ میکرولاسیسمتر انجام گردید. اهداف شامل تعیین برنامه‌ریزی آبیاری، پایش رطوبت در سطوح تنش خشکی و اندازه‌گیری نیاز آبی گونه‌ها، فاز محاسبه تبخیر و تعرق مرجع و ضریب گیاهی و فاز ارزیابی اثرات تنش‌های مختلف خشکی بر نیاز آبی و ضریب گیاهی گونه زیتون تلخ بود. یافته‌ها: میزان مصرف آب در نهال زیتون تلخ در سال ۱۴۰۰، در طول دوره رشد گیاه، در تیمارهای مختلف اعمال شده شامل تیمارهای تنش خشکی ۰/۳ (۲۳۸/۹ میلی‌متر)، ۰/۵ (۲۸۲/۴ میلی‌متر) و ۰/۷ (۳۱۰/۰۳ میلی‌متر) در سن یک ساله؛ تنش خشکی ۰/۳ (۳۲۲) میلی‌متر، ۰/۵ (۳۷۴/۸ میلی‌متر) و ۰/۷ (۴۲۱/۴ میلی‌متر) در سن سه ساله و تنش خشکی ۰/۳ (۴۷۱/۷ میلی‌متر)، ۰/۵ (۳۷۴/۸ میلی‌متر) و ۰/۷ (۴۲۱/۴ میلی‌متر) در سن پنج ساله بود. میزان مصرف آب در سال ۱۴۰۱ برای تیمارهای تنش خشکی اعمال شده به ترتیب برابر با ۲۳۳/۱۴، ۲۷۶/۶ و ۳۰۱/۱۳؛ ۳۱۴، ۳۶۴ و ۳۹۴؛ ۴۷۱/۷۳، ۴۹۹/۱ و ۵۳۰/۷۳ میلی‌متر بود. مقایسه میانگین مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل در نهال‌های زیتون تلخ مورد بررسی در تنش‌های مختلف نشان دهنده معنی‌دار بودن میانگین آنها با احتمال ($p \leq 0.01$) در گروه‌های مختلف و طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ است. نتیجه‌گیری: به طور کلی، رژیم‌های خشکی بر نیاز آبی گونه زیتون تلخ در سنین مختلف تأثیرگذار است. بنابراین، نیاز است که در طرح‌های جنگل‌کاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنش خشکی مناسب در نظر

گرفته شود تا هم در مصرف آب صرفه‌جویی گردد و هم شرایط مناسب برای رشد و زنده‌مانی این درختان فراهم شود.

استناد: عسگری، م.، جوانمیری‌پور، م.، اعتماد، و.، احمدآلی، خ.، عبدی، ا. و زارع، س. (۱۴۰۳). تأثیر تنش خشکی بر نیاز آبی نهال‌های زیتون تلخ (*Melia azedarach* L.) در سنین مختلف در دو سال متوالی (مطالعه موردی: شهرستان رباط کریم، استان تهران). اقلیم و بوم‌سازگان مناطق خشک و نیمه خشک، ۲(۱)، ۱۰۶-۱۲۶.

Doi: <https://doi.org/10.22075/ceasr.2024.32776.1026>

ناشر: دانشگاه سمnan

۱- مقدمه

امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های ایران، مسأله کم‌آبی و در مواردی بحران کم‌آبی است (Talebi, ۲۰۲۳). 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 (Norouzi Haroni و Tabari Koochksaraee, ۲۰۱۵). حدود ۸۵ درصد از اراضی کشور تحت اقلیم‌های خشک (۳۰٪)، نیمه‌خشک (۲۰٪) و فراخشک (۳۵٪) است (Zargham و Zahedi Amiri, ۲۰۱۵). ایران به عنوان کشوری با تنش‌های آبی فراوان، با دورنمایی نگران‌کننده مواجه است که در صورت نبود مدیریت صحیح و تنظیم سیاست‌های مطلوب برای آینده، با بحران‌های محیطی، سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و حتی نظامی-امنیتی در داخل و خارج از مرزهای سیاسی روبرو خواهد شد (Rezayan و Rezayan, ۲۰۱۶).

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 زیبایی‌شناختی، کاملاً واقع‌گرایانه است و لذا این نکته ضروری است که باید گونه‌هایی را انتخاب نمود که بیشترین سازگاری را با شرایط مشروح داشته باشند (Salimi Sobhan و همکاران, ۲۰۱۸).

یکی از محدودیت‌های اساسی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تخصیص منابع آب برای پارک‌های جنگلی و غیرجنگلی، جنگل‌کاری‌ها و کمربندهای سبز است، زیرا در این مناطق، تخصیص آب به فضای سبز در رقابت شدیدی با سایر موارد مصرف و حتی آب شرب می‌باشد. بنابراین، آب تخصیص یافته جهت ایجاد پوشش گیاهی دارای ارزش زیادی بوده و باید به صورت بهینه مورد مصرف قرار گیرد (Farshi و Zehtabian, ۲۰۰۸). 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 آبیاری جلوگیری کرد (Alihouri و همکاران, ۲۰۱۵). به علاوه، اینکه 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 توسعه فضای سبز، در وهله اول تعیین دقیق نیاز آبی و ضریب گیاهی گونه‌های مورد استفاده و در وهله دوم بررسی دقیق توان مقاومتی گونه‌های درختی در برابر تنش‌های محیطی و به‌طور ویژه بردباری در برابر کمبود آب است (Ansari و همکاران, ۲۰۱۷).

تنش خشکی بر مراحل مختلف رشد از جمله کند شدن فرایندهای رویشی نظیر جوانه‌زنی (Vaezirad و همکاران, ۲۰۱۱)، افزایش رشد و گسترش ریشه‌های عمودی و جانبی (Jazirei, ۲۰۱۰)، افزایش نسبت ریشه به شاخه و برگ گیاهان (Jazirei, ۲۰۱۰؛ Asgari و همکاران, ۲۰۲۲)، کاهش شاخص سطح برگ (Bakhshi Khaniki و همکاران, ۲۰۱۰)، کاهش میزان تعرق (Ahmadi, ۲۰۱۶)، افزایش کرک‌های اپیدرمی و مقاومت کوتیکولی (Ansaryan Mahabadi و همکاران, ۲۰۱۹) مؤثر است. نتایج تحقیقی در مورد تعیین نیاز آبی گونه‌های ون و سرو نقره‌ای در اصفهان نشان داد که میزان تبخیر و تعرق پتانسیل از فروردین تا آبان برای درخت ون ۹۸۳ میلی‌متر و درخت سرو نقره‌ای ۸۳۷ میلی‌متر بود. همچنین، متوسط ضریب گیاهی ون برای کل دوره ۰/۴۸، حداکثر آن ۰/۷۷ در مرداد و حداقل آن ۰/۲ در فروردین به‌دست آمد. متوسط ضریب گیاهی سرو نقره‌ای برای کل دوره ۰/۴۳، حداکثر آن ۰/۵۸ در تیر و مرداد و حداقل آن ۰/۳ در فروردین به‌دست آمد (Hashemi Garmdareh, ۲۰۱۵).

در مطالعه‌ای، ضریب گیاهی و نیاز آبی گیاهان زرشک، سرو و مرغ با روش‌های بیلان آبی و WUCOLS (طبقه‌بندی گونه‌های گیاهی فضای سبز به آب) برآورد گردید. این تحقیق به مدت شش ماه، از فروردین تا شهریور ۱۳۹۷ طول کشید. تبخیر و تعرق

در روش بیلان آب ۶۸۲ میلی‌متر و در روش طبقه‌بندی گونه‌های گیاهی فضای سبز به آب ۶۲۶ میلی‌متر در کل دوره آزمایش برآورد شد (Mirzaei و Sojoodi، ۲۰۱۹).

در پژوهشی، میزان تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی برای زیتون در روش دورسنجی در مراحل مختلف رشد زیتون تطابق مناسبی با داده‌های بیلان رطوبتی داشت، به طوری که ضریب همبستگی در تبخیر- تعرق برای سال‌های اول و دوم به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۸۷ و در مجموع دو سال ۰/۸۲ و ضریب گیاهی به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۶۲ و در مجموع دو سال ۰/۸۶ بود (Jafari و همکاران، ۲۰۱۷).

نتایج اندازه‌گیری تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی پسته نشان داد که تبخیر- تعرق نهال پسته در چهار، پنج، شش، هفت، هشت و ۹ سالگی به ترتیب ۲۲۹۱/۲، ۲۵۰۷/۸، ۲۷۳۹/۴، ۴۵۱۶، ۴۶۰۴ و ۵۶۲۱ متر مکعب در هکتار، با مقادیر متوسط Kc برابر با ۰/۱۰۸، ۰/۱۰۴، ۰/۱۵، ۰/۲۱، ۰/۲۸ و ۰/۳۳ بود. در این تحقیق، مقدار متوسط ضریب گیاهی Kc در مراحل پنج‌گانه رشد پسته به ترتیب ۰/۲، ۰/۱۷، ۰/۲۲، ۰/۱۶ و ۰/۱۹ محاسبه شد (Mozenpour Kermani و همکاران، ۲۰۱۷).

نتایج تعیین ضریب گیاهی ارغوان در خاک و سطوح مختلف نشان داد که میانگین ETC ۱۰ روزه در مقادیر MAD ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در بافت لوم‌شنی به ترتیب برابر ۱۵/۵۶، ۱۴/۸۶ و ۱۴/۲۴ میلی‌متر و در بافت لوم‌رسی به ترتیب برابر است با ۲۱/۵۷، ۱۹/۰۲ و ۱۸/۰۶ میلی‌متر. مجموع نیاز آبی خالص ارغوان در بافت لوم‌رسی برای MAD ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ به ترتیب 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 Kc ارغوان طی دوره رشد در بافت لوم‌رسی به ازای MAD ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ به ترتیب برابر است با ۰/۳۶، ۰/۳۲ و ۰/۳۱ و برای خاک لوم‌شنی برابر با ۰/۲۷، ۰/۲۶ و ۰/۲۴ تعیین گردید (Rahimi و همکاران، ۲۰۲۱).

نتایج تعیین ضریب گیاهی زیتون تلخ در خاک و سطوح مختلف آبیاری نشان داد که میانگین ETC ۱۰ روزه در مقادیر MAD ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در بافت لوم‌شنی به ترتیب برابر ۱۵/۳۵، ۱۳/۸۱ و ۱۲/۶۳ میلی‌متر و در بافت لوم‌رسی به ترتیب برابر با ۱۹/۳۵، ۱۶/۹ و ۱۶/۵۸ میلی‌متر بود. مجموع نیاز آبی خالص زیتون تلخ در بافت لوم‌رسی برای مقادیر MAD ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ به ترتیب برابر ۴۴۵/۱۵، ۳۸۸/۵۹ و ۳۸۱/۴ میلی‌متر و در خاک لوم‌شنی برابر با ۳۵۳/۰۲، ۳۱۷/۵۹ و ۲۹۰/۵۴ میلی‌متر به دست آمد. همچنین، مقدار متوسط Kc زیتون تلخ طی دوره رشد در بافت لوم‌رسی به ازای مقادیر MAD ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ به ترتیب برابر با ۰/۳۴، ۰/۳۰ و ۰/۲۸ و برای خاک لوم‌شنی برابر با ۰/۲۷، ۰/۲۴ و ۰/۲۲ بود (Ahmadaali و همکاران، ۲۰۲۱).

نتایج بررسی الزامات آبیاری برای درختان خرما در عربستان سعودی نشان داد که متوسط Kc برای چرخه تولید درخت خرما در طول سال ۰/۶۳ بود (Kassem، ۲۰۰۷). نتایج تعیین نیاز آبی گیاهان در عراق نشان داد که تبخیر- تعرق مرجع از ۲/۱۸ تا ۱۰/۵ میلی‌متر در روز و بارندگی مؤثر نیز از صفر تا ۲۳/۱ میلی‌متر متغیر بود.

در زمینه برآورد نیاز آبی گیاهان غیرزراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و برنامه‌ریزی آبیاری آنان، تحقیق زیادی انجام نشده است و بیشتر تمرکز تحقیقات در رابطه با برآورد نیاز آبی، بر گیاهان زراعی استوار است. بنابراین، به نظر می‌رسد که انجام مطالعاتی در خصوص تعیین نیاز آبی و دور آبیاری درختان، از قبیل زیتون تلخ، با توجه به اهمیت جنگل‌کاری‌ها در مناطق خشک، ایجاد کمربندها و کمان‌های سبز و فضای سبز شهری بسیار لازم و ضروری بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه پژوهش

شهرستان رباط کریم در جنوب غربی استان تهران واقع شده و در طول جغرافیایی $51^{\circ}4'$ شرقی و عرض جغرافیایی $35^{\circ}28'$ شمالی قرار گرفته و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰۵۰ متر است 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).

۲-۲ روش اجرا

این مطالعه به صورت فاکتوریل با عامل سنین مختلف گونه‌های درختی و تنش‌های مختلف خشکی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تکرار انجام گرفت. فاکتورهای آزمایشی شامل سن (گونه‌های درختی یک ساله، سه ساله و پنج ساله)، تنش خشکی در سه سطح ($0/3$ ، $0/5$ و $0/7$ درصد از حد مجاز تقلیل رطوبت (MAD)) در ۱۰ تکرار بودند که در مجموع، ۹۰ تیمار حاصل می‌گردد. در این مطالعه، بافت خاک در میکرولاسیمترها ثابت و برابر با لوم ماسه‌دار^۱ در نظر گرفته شد.

با توجه به حداکثر عمق ریشه نهال‌های مختلف یک، سه و پنج ساله زیتون تلخ، کاشت نهال‌ها در میکرولاسیمترهایی به قطر و ارتفاع متناسب با نوع گونه و سن آنها انجام شد. بدین صورت که نهال‌های زیتون تلخ در سن یک ساله در میکرولاسیمتر کوچک، در سن سه ساله در میکرولاسیمتر متوسط و در سن پنج ساله در میکرولاسیمتر بزرگ کاشته شدند. حجم میکرولاسیمتر بزرگ، متوسط و کوچک به ترتیب برابر با $0/16$ ، $0/1$ و $0/04$ متر مکعب برآورد گردید.

این پژوهش با توجه به اهداف در فازهای جداگانه 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 گرفت. پس از کاشت نهال‌ها در میکرولاسیمترها، به منظور نشست کامل خاک داخل میکرولاسیمترها و رفع شدن 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 رسانده شد 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 شد. پس از اندازه‌گیری نقاط رطوبتی ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) و لحاظ نمودن 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 (Rahimi و همکاران، ۲۰۲۱).

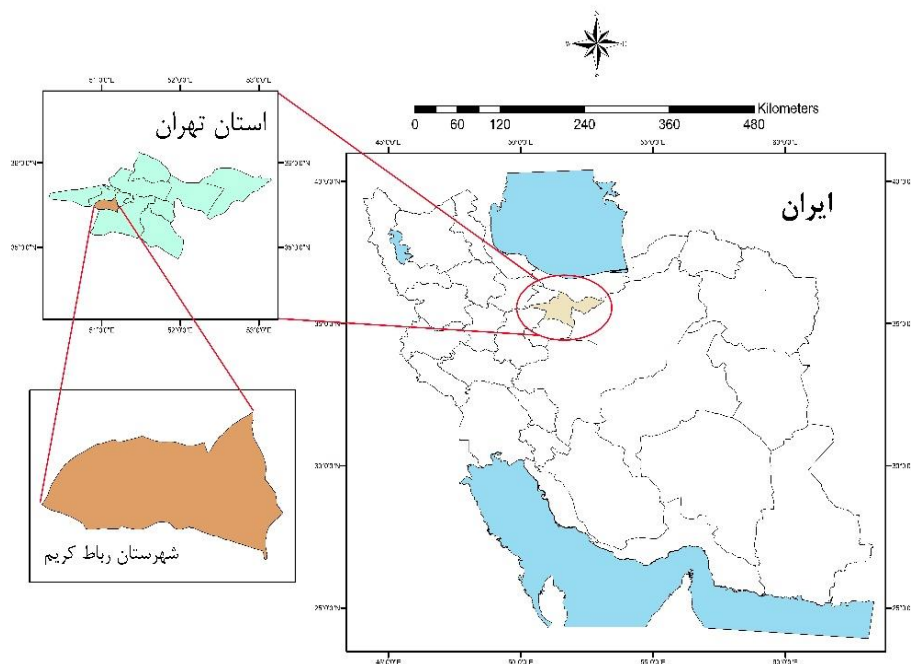
$$\theta_v = \frac{V_w}{V_t} \times 100 = \frac{m_1 - m_2}{V_t} \times 100 \quad (1)$$

که در آن θ_v رطوبت حجمی خاک (درصد)، V_w حجم آب، V_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 (Rahimi و همکاران، ۲۰۲۱):

$$d = \text{MAD} (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) D_{rz} \quad (2)$$

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



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش

Fig. 1 Location map of the study area

با اعمال برنامه‌ریزی آبیاری و پایش و اندازه‌گیری رطوبت و وزن میکرولاسیسمترها 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 میکرولاسیسمترها، در هر چهار مرحله ابتدایی رشد، رشد و توسعه، میانی و نهایی از رابطه (۳) محاسبه شد (Rahimi و همکاران، ۲۰۲۱):

$$ET_c = \frac{W_2 - W_1}{A} \quad (3)$$

که در آن ET_c تبخیر-تعرق واقعی گیاه، A مساحت میکرولاسیسمتر، W_1 و W_2 به ترتیب مقدار وزن مجموعه میکرولاسیسمتر قبل و بعد از آبیاری است.

در فاز بعد، 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 و همکاران، ۲۰۲۱). در صورت داشتن ضریب گیاهی و تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_0)، تبخیر-تعرق واقعی گیاه (ET_c) از فرمول (۴) قابل محاسبه خواهد بود (Allen و همکاران، ۲۰۱۱):

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (4)$$

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 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. به همین دلیل، با تغییر پارامترهای فوق، ضریب K_c نیز در طول فصل تغییر می‌کند. با اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی در طول دوره رشد گیاه، مقدار ضریب گیاهی (K_c) از فرمول (۵) تعیین گردید:

$$K_c = ET_c / ET_0 \quad (5)$$

تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0) نشان‌دهنده 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 (Allen و همکاران، ۲۰۱۱). معمولاً در شرایط آزمایشی، از گیاه چمن استفاده می‌گردد. از میان مدل‌های مختلف محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل، روش فائو پنمن- مانتیث (PMF-56) که هم بیلان انرژی و هم تئوری آئروپنماتیک را در مدل در نظر گرفته به عنوان مناسب‌ترین مدل در برآورد تبخیر- تعرق مرجع شناخته شده و توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) در همه اقالیم توصیه شده است (Xu و همکاران، ۲۰۰۷). لذا در این مطالعه، تبخیر- تعرق مرجع از روش PMF-56 (رابطه ۶ و جدول ۱) و با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر رباط‌کریم محاسبه گردید:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (6)$$

که، Z ارتفاع از سطح دریا، حد اکثر دمای هوا طی شبانه‌روز (T_{max}) درجه سانتی‌گراد، حد اقل دمای هوا طی شبانه‌روز (T_{min}) درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای هوا (T_{mean}) درجه سانتی‌گراد، تشعشع فوق ارضی (R_a) مگاژول بر متر مربع بر روز، a_s و b_s به ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۵، ضریب آلبدو (α) گیاه مرجع (۰/۲۳)، P فشار اتمسفر در محل (کیلوپاسکال)، σ ثابت استفان بولتزمن ($4.903 \times 10^{-9} \text{ MJK}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)، 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)، فشار بخار اشباع در دمای حد اکثر و حد اقل ($e^\circ(T_{max})$ و $e^\circ(T_{min})$) بر حسب کیلوپاسکال، فشار بخار اشباع (e_s)، فشار بخار واقعی (e_a)، شیب رابطه فشار بخار اشباع و دما (Δ) و ثابت سایکرومتری (γ) بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد و نهایتاً تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0) است.

جدول ۱. فرمول‌های مورد استفاده برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع

Table 1. Formulas used to calculate reference crop evapotranspiration

$T_{mean} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$	$\Delta = \frac{4098[0.6108e^{\frac{17.27T_{mean}}{T_{mean}+237.3}}]}{(T_{mean} + 237.3)^2}$	$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065Z}{293} \right)^{5.26}$
$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P$	$e^\circ(T) = 0.6108e^{\frac{17.27T}{T+237.3}}$	$e_s = \frac{e^\circ(T_{max}) + e^\circ(T_{min})}{2}$
$R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N}) R_a$	$R_{s0} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} Z) R_a$	$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s$
$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{max,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{s0}} - 0.35 \right)$		
$R_n = R_{ns} - R_{nl}$		$G_{month,i} = 0.14(T_{month,i} - T_{month,i-1})$

نیاز آبی گیاه مرجع با استفاده از نرم‌افزار ET_0 calculator محاسبه شد. اطلاعات جمع‌آوری شده در نرم‌افزار اکسل (Excel) ذخیره شده و با استفاده از نرم‌افزارهای آماری موجود در SPSS 26 پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها (روش آزمون کولموگروف- اسمیرنوف)، مقایسه میانگین‌ها از روش تجزیه واریانس با استفاده از آزمون توکی و t جفت‌شده، در سطح احتمال یک درصد انجام شد. رسم نمودارها نیز با نرم‌افزار اکسل انجام شده است.

۳- نتایج و بحث

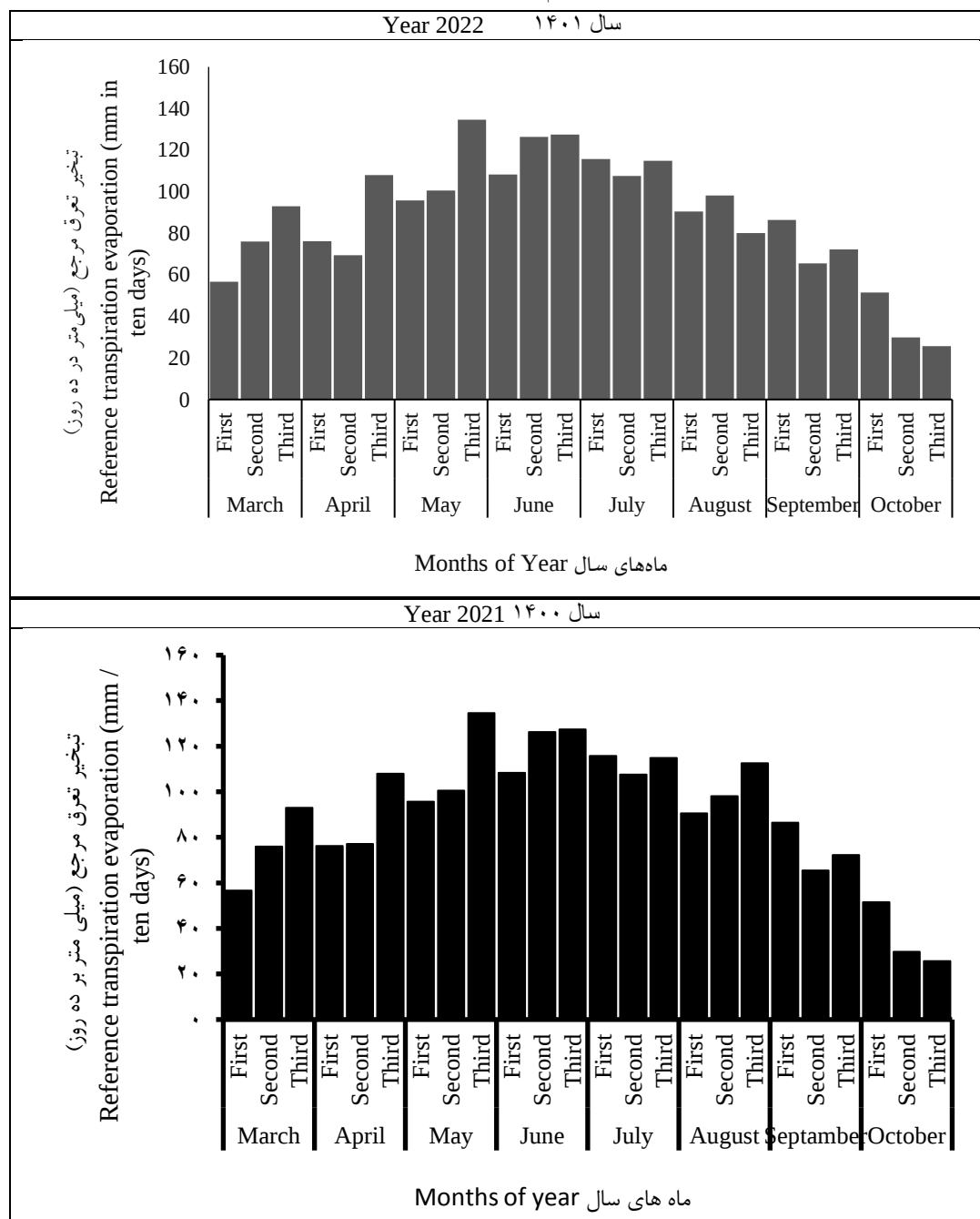
۳-۱- تبخیر- تعرق مرجع (ET_0)

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار تبخیر- تعرق مرجع در سال ۱۴۰۰ مربوط به دهه سوم خردادماه بود (۱۳۴/۶ میلی‌متر بر ۱۰ روز). کمترین میزان تبخیر- تعرق مرجع (۲۵/۷ میلی‌متر در ۱۰ روز) در دهه سوم آبان اتفاق افتاد (شکل ۲). نتایج نشان داد که

بیشترین مقدار تبخیر- تعرق مرجع در سال ۱۴۰۱ (۱۲۴/۷ میلی‌متر بر ۱۰ روز) مربوط به دهه دوم خردادماه بود. کمترین میزان تبخیر- تعرق مرجع (۵۷ میلی‌متر در ۱۰ روز) در دهه دوم آبان اتفاق افتاد (شکل ۲).

۲-۳- تبخیر- تعرق زیتون تلخ

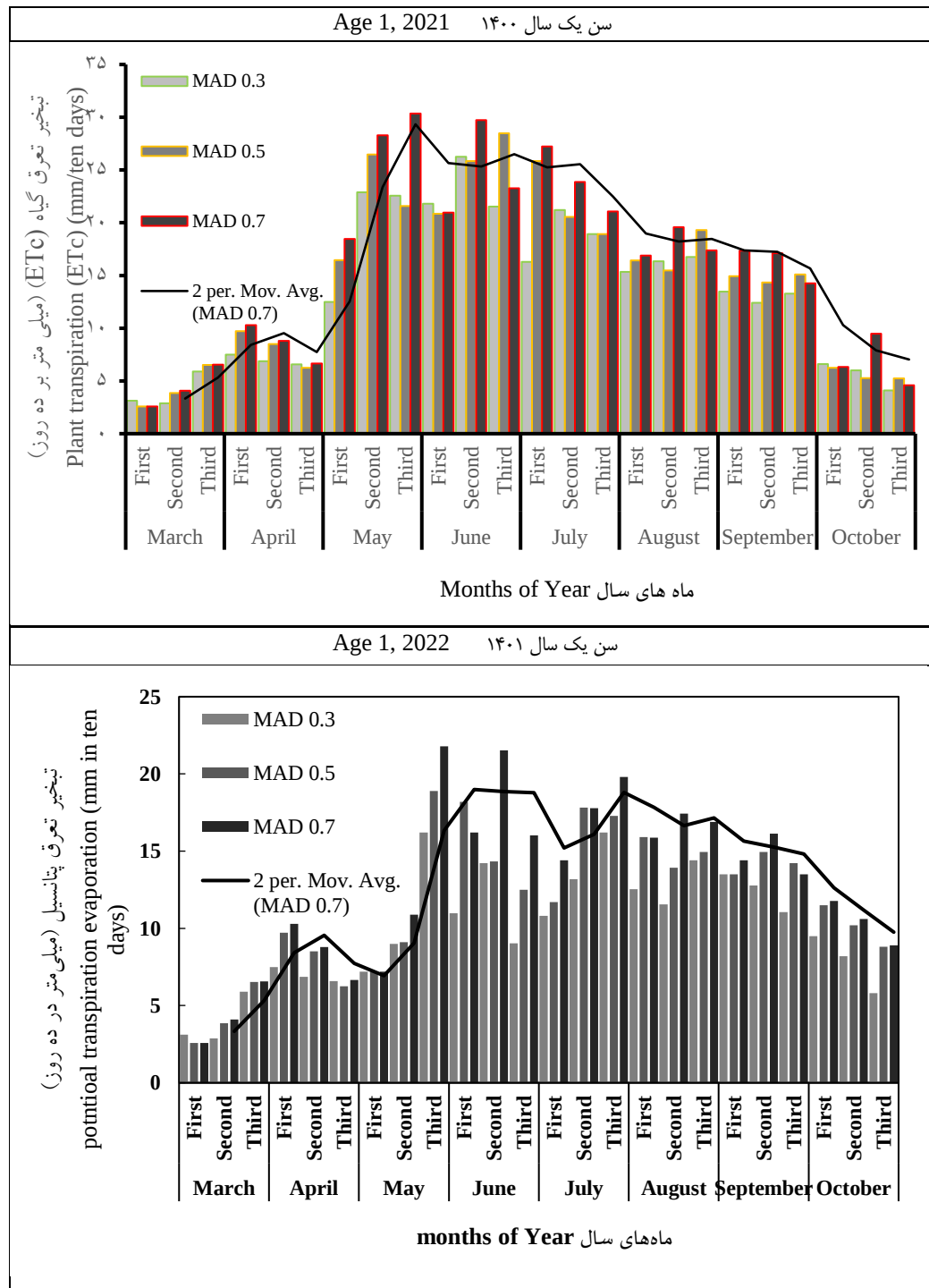
تبخیر- تعرق زیتون تلخ یک ساله در سال ۱۴۰۰ و در تنش‌های خشکی با ضرایب ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های اردیبهشت تا مهر دارای بیشترین مقدار بود. در حالی که در ماه‌های آبان تا فروردین دارای کمترین مقدار است (شکل ۳). بیشترین میزان تبخیر- تعرق (۳۰/۳۶ میلی‌متر در ۱۰ روز) مربوط به دهه سوم خرداد و در تنش خشکی ۰/۷ بود.



شکل ۲. تبخیر- تعرق مرجع (میلی‌متر بر ۱۰ روز) در بازه زمانی مورد مطالعه در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۰

Fig. 2 Reference evapotranspiration (mm/ 10 days) in the studied time period in 2021 and 2022

تبخیر- تعرق زیتون تلخ یک ساله در سال ۱۴۰۱ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار بود. در حالی که در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و آبان دارای کمترین مقدار است (شکل ۳). بیشترین میزان تبخیر- تعرق (۲۱/۸ میلی‌متر در ۱۰ روز) مربوط به دهه سوم خرداد و در تنش خشکی ۰/۷ بود.



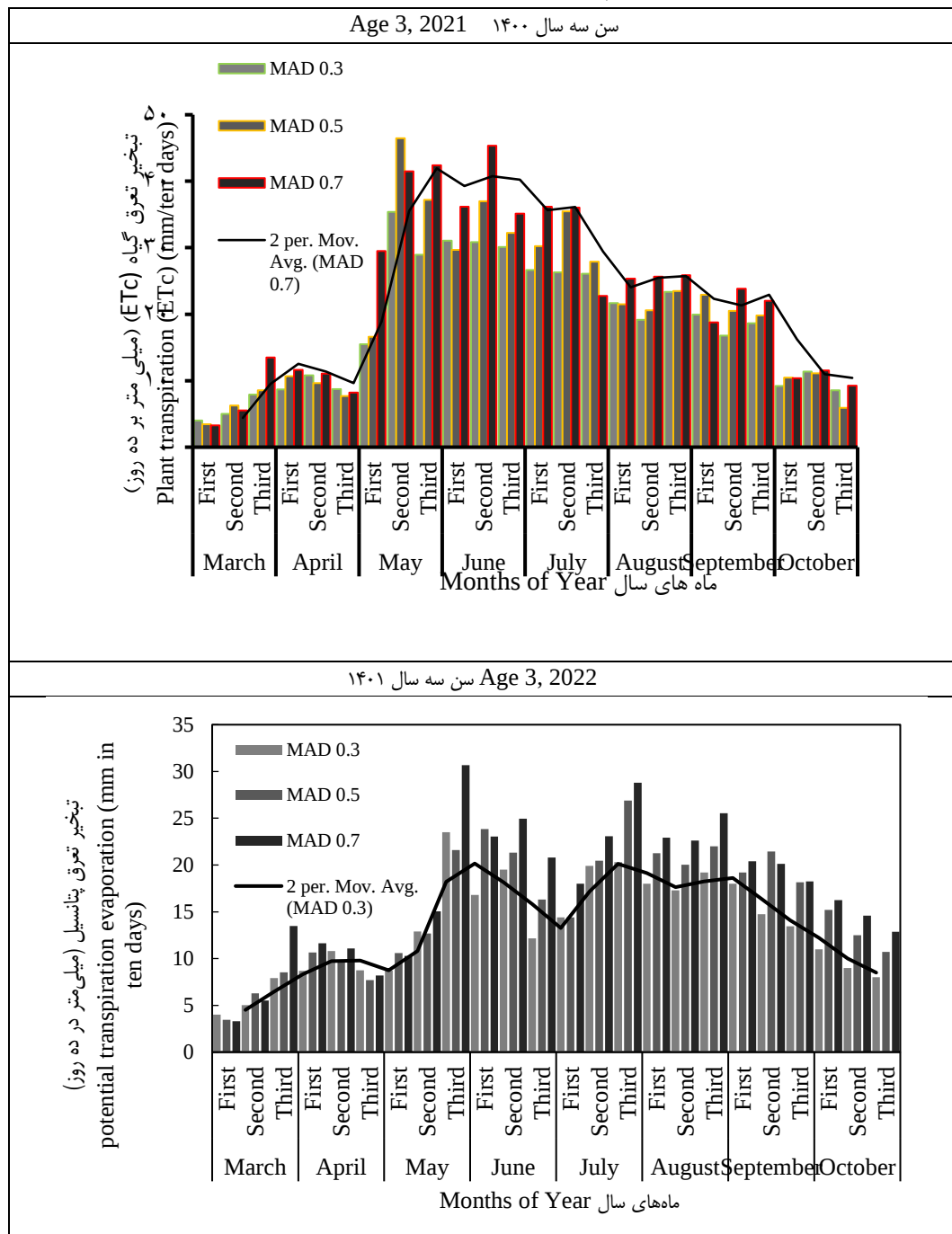
شکل ۳. تبخیر- تعرق زیتون تلخ یک ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های فروردین تا آبان

در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۰

Fig. 3 Evapotranspiration of 1-year-old Chinaberry in drought stresses of 0.3, 0.5 and 0.7 in April to November in 2021 and 2022

تبخیر- تعرق زیتون تلخ سه ساله در سال ۱۴۰۰ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های اردیبهشت تا مهر دارای بیشترین مقدار بود. در حالی که در ماه‌های آبان تا فروردین دارای کمترین مقدار است (شکل ۴). بیشترین میزان تبخیر- تعرق (۴۶/۴۶ میلی‌متر در ۱۰ روز) مربوط به دهه دوم خرداد و در تنش خشکی ۰/۵ بود.

تبخیر- تعرق زیتون تلخ سه ساله در سال ۱۴۰۱ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار بود. در حالی که در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و آبان دارای کمترین مقدار است (شکل ۴). بیشترین میزان تبخیر- تعرق (۳۰/۷ میلی‌متر در ۱۰ روز) مربوط به دهه سوم خرداد و در تنش خشکی ۰/۷ بود.



شکل ۴. تبخیر- تعرق زیتون تلخ سه ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های فروردین تا آبان

در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۰

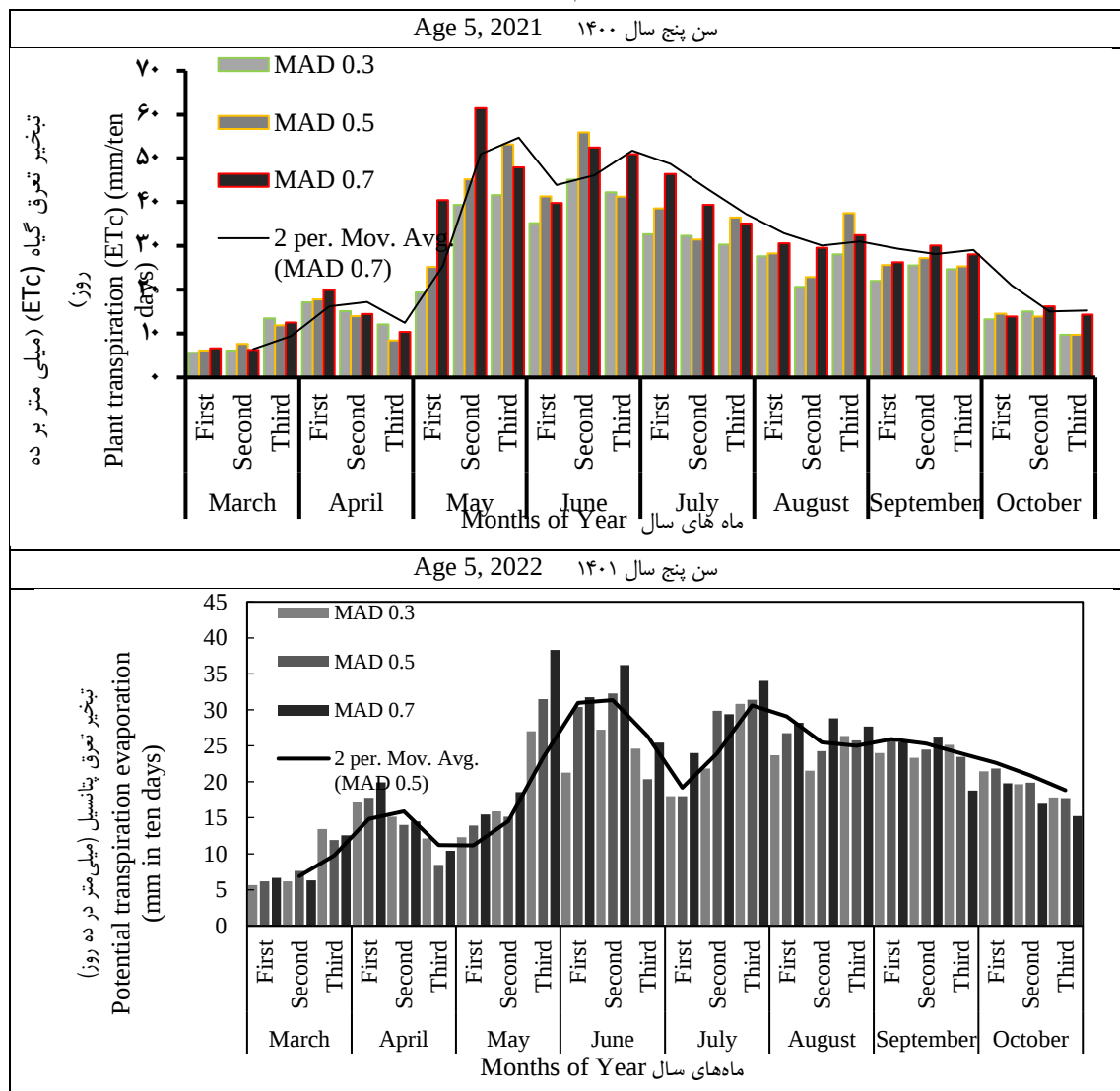
Fig. 4 Evapotranspiration of 3-year-old Chinaberry under drought stresses of 0.3, 0.5 and 0.7 in April to November in 2021 and 2022

تبخیر- تعرق زیتون تلخ پنج ساله در سال ۱۴۰۰ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های اردیبهشت تا مهر دارای بیشترین مقدار بود. در حالی که در ماه‌های آبان تا فروردین دارای کمترین مقدار است (شکل ۵). بیشترین میزان تبخیر- تعرق (۶۱/۵ میلی‌متر در ۱۰ روز) مربوط به دهه دوم خرداد و در تنش خشکی ۰/۷ بود.

تبخیر- تعرق زیتون تلخ پنج ساله در سال ۱۴۰۱ و در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار بود. در حالی که در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و آبان دارای کمترین مقدار است (شکل ۵). بیشترین میزان تبخیر- تعرق (۳۸/۳۱ میلی‌متر در ۱۰ روز) مربوط به دهه سوم خرداد و در تنش خشکی ۰/۷ بود.

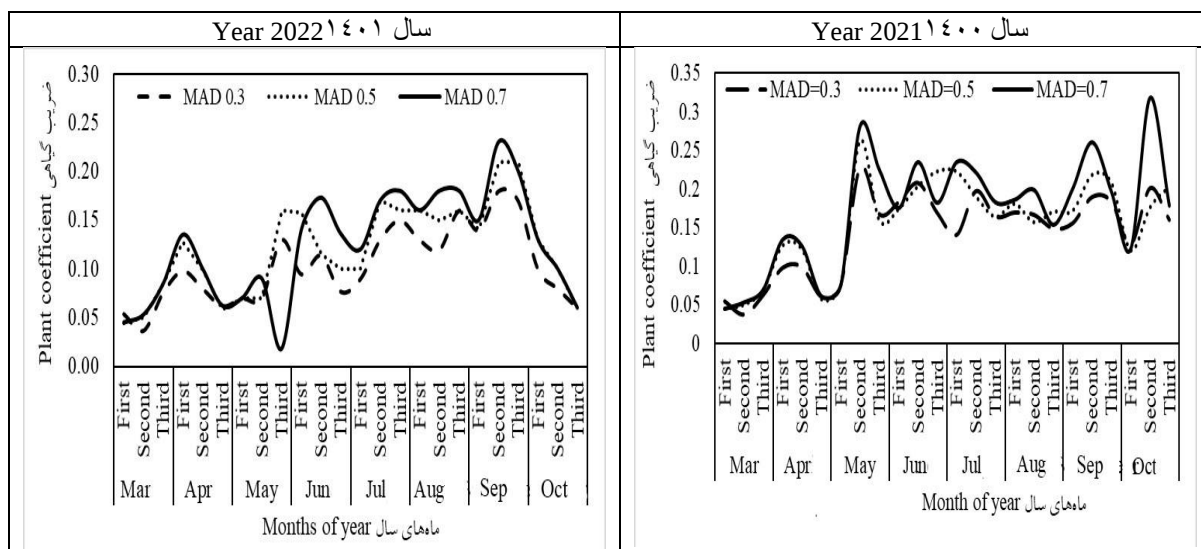
۳-۳- ضریب گیاهی زیتون تلخ

ضریب گیاهی زیتون تلخ یک ساله در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱، در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ از خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار بود. در حالی که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دارای کمترین مقدار است (شکل ۶). در سال ۱۴۰۱، روند کاهش مقدار ضریب گیاهی زودتر از سال ۱۴۰۰ و از دهه سوم مهر ماه آغاز گردیده است (شکل ۶).



شکل ۵. تبخیر- تعرق زیتون تلخ ۵ ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های فروردین تا آبان در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

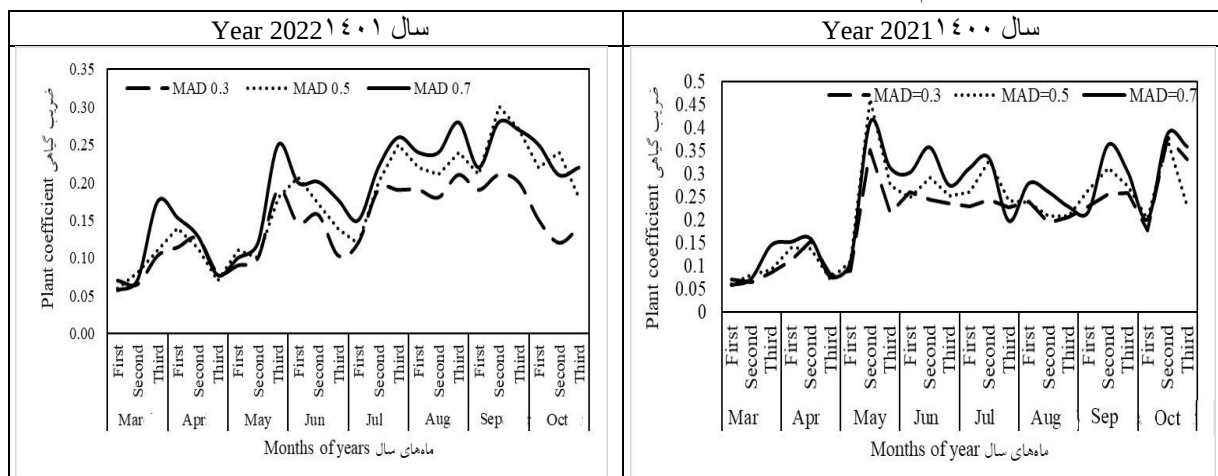
Fig. 5 Evapotranspiration of 5-year-old Chinaberry under drought stresses of 0.3, 0.5 and 0.7 in April to November in 2021 and 2022



شکل ۶. ضریب گیاهی زیتون تلخ یک ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های فروردین تا آبان در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۰

Fig. 6 Plant coefficient of 1-year-old Chinaberry under drought stresses of 0.3, 0.5 and 0.7 in April to November in 2021 and 2022

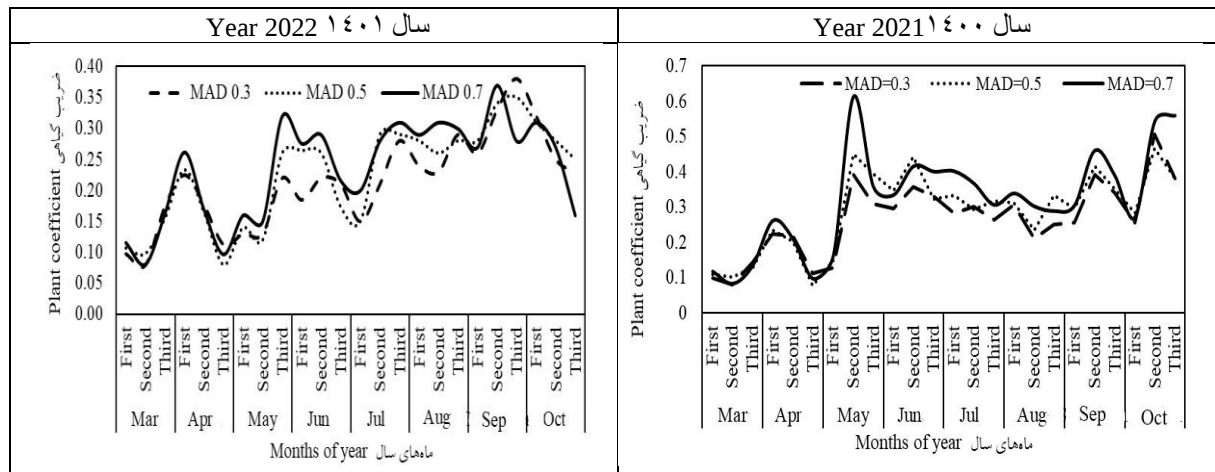
ضریب گیاهی زیتون تلخ سه ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ از خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار بود. در حالی که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دارای کمترین مقدار است (شکل ۷). در سال ۱۴۰۱ روند کاهش مقدار ضریب گیاهی زودتر از سال ۱۴۰۰، یعنی از دهه سوم مهرماه، آغاز گردیده است (شکل ۷).



شکل ۷. ضریب گیاهی زیتون تلخ سه ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های فروردین تا آبان سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Fig. 7 Plant coefficient of 3-year-old Chinaberry under drought stresses of 0.3, 0.5 and 0.7 in April to November in 2021 and 2022

ضریب گیاهی زیتون تلخ پنج ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ از خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار بود. در حالی که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دارای کمترین مقدار است (شکل ۸). در سال ۱۴۰۱ روند کاهش مقدار ضریب گیاهی زودتر از سال ۱۴۰۰، یعنی از دهه سوم مهرماه، آغاز گردیده است (شکل ۸).

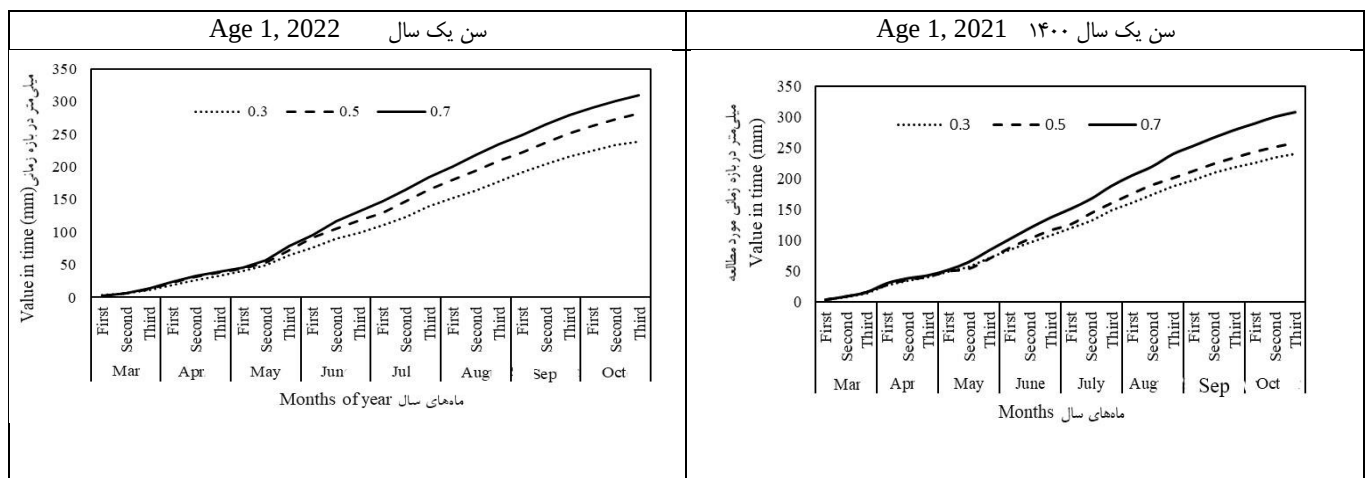


شکل ۸. ضریب گیاهی زیتون تلخ پنج ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های فروردین تا آبان در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Fig. 8 Plant coefficient of 5-year-old Chinaberry under drought stresses of 0.3, 0.5 and 0.7 in April to November in 2021 and 2022

۳-۴- مقدار آب مصرف شده

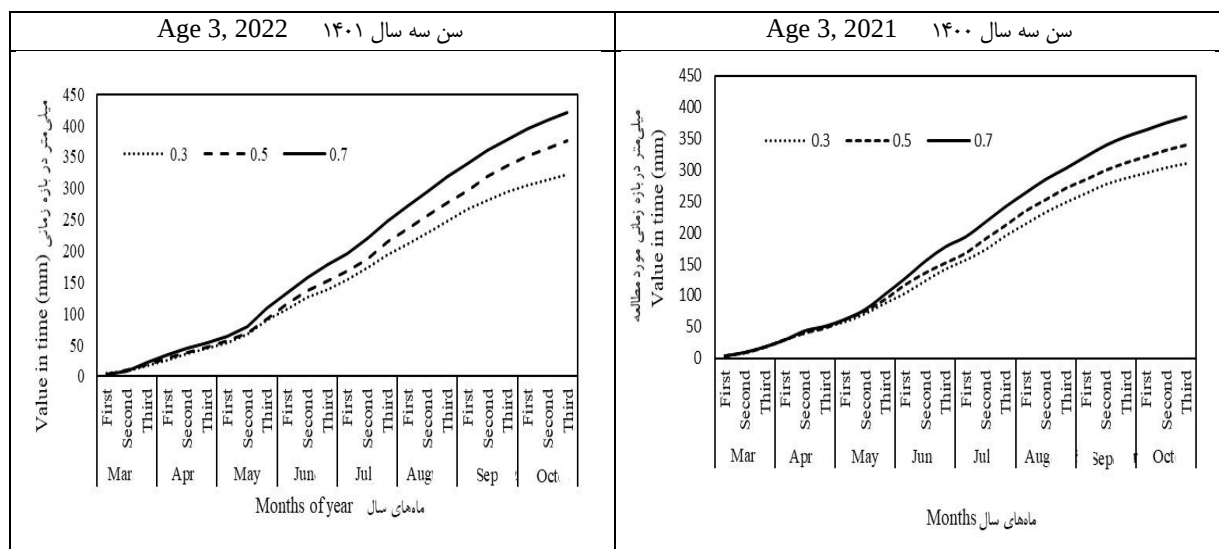
مقدار تجمعی آب مصرف شده برای گونه زیتون تلخ در سن یک سالگی در تنش‌های خشکی مورد مطالعه برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان داد که مقدار مصرف آب در تنش خشکی ۰/۷ بیشتر از تنش‌های ۰/۳ و ۰/۵ بود (شکل ۹). این مقدار برای تنش خشکی ۰/۷ در سال ۱۴۰۰ برابر با ۳۴۶/۵ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ برابر با ۳۱۰ میلی‌متر بود.



شکل ۹. مقدار تجمعی آب مصرف شده برای گونه زیتون تلخ یک ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Fig. 9 Cumulative amount of water used for 1-year-old Chinaberry variety in drought stresses of 0.3, 0.5 and 0.7 in 2021 and 2022

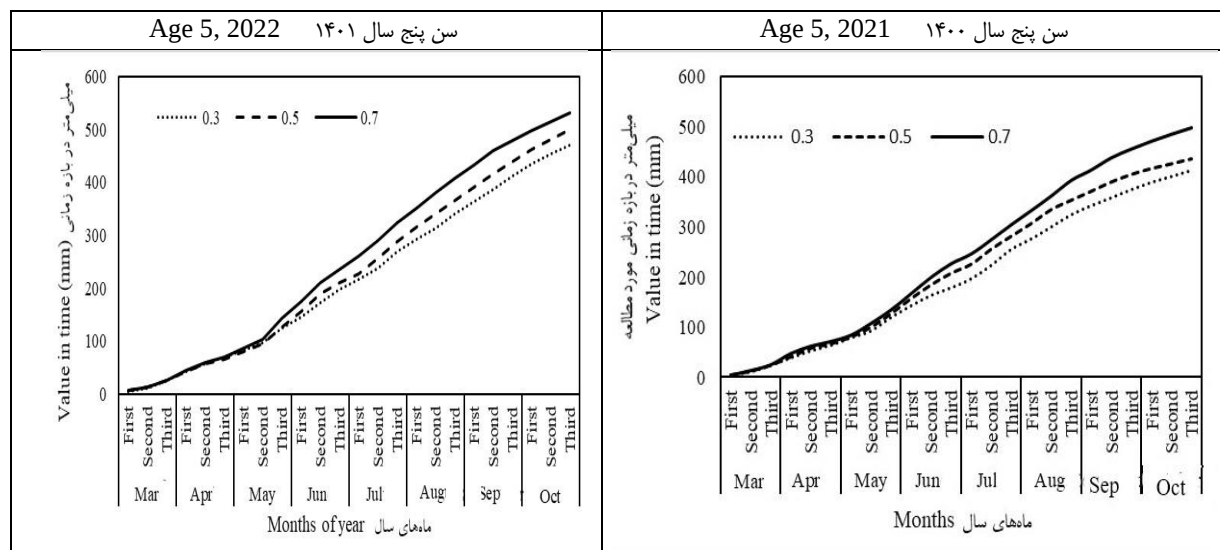
مقدار تجمعی آب مصرف شده برای گونه زیتون تلخ در سن سه سالگی در تنش‌های خشکی مورد مطالعه برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان می‌دهد که مقدار مصرف آب در تنش خشکی ۰/۷ بیشتر از تنش‌های ۰/۳ و ۰/۵ است (شکل ۱۰). این مقدار برای تنش خشکی ۰/۷ در سال ۱۴۰۰ برابر با ۴۹۶/۶ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ برابر با ۴۲۱/۴ میلی‌متر بود.



شکل ۱۰. مقدار تجمعی آب مصرف شده در گونه زیتون تلخ سه ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۰

Fig. 10 Cumulative amount of water used for 3-year-old Chinaberry variety in drought stresses of 0.3, 0.5 and 0.7 in 2021 and 2022

مقدار تجمعی آب مصرف شده برای گونه زیتون تلخ در سن پنج سالگی در تنش‌های خشکی مورد مطالعه برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان می‌دهد که مقدار مصرف آب در تنش خشکی ۰/۷ بیشتر از تنش‌های ۰/۳ و ۰/۵ است (شکل ۱۱). این مقدار برای تنش خشکی ۰/۷ در سال ۱۴۰۰ برابر با ۶۳۸/۳۵ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ برابر با ۵۳۰/۷۵ میلی‌متر بود.



شکل ۱۱. مقدار تجمعی آب مصرف شده در گونه زیتون تلخ پنج ساله در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۰

Fig. 11 Cumulative amount of water used for 5-year-old Chinaberry variety in drought stresses of 0.3, 0.5 and 0.7 in 2021 and 2022

۳-۵- نتایج آزمون آماری

تجزیه واریانس مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل در نهال‌های زیتون تلخ مورد بررسی در تنش‌های مختلف نشان‌دهنده معنی‌دار بودن میانگین آنها به احتمال ۹۹٪ (۰/۰۱) در گروه‌های مختلف است (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج آزمون ANOVA برای بررسی معنی‌داری تبخیر- تعرق پتانسیل در نهال‌های مورد مطالعه

Table 2. ANOVA test results of potential evapotranspiration in the studied seedlings

		میانگین مربعات		مقدار F	معنی‌داری Sig.
		جمع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df		
MAD 0.3	بین گروه‌ها Between groups	2485	2	1242.5	0.000***
	داخل گروه‌ها Within groups	9017.3	141	63.95	
	کل Total	11502.3	143		
MAD 0.5	بین گروه‌ها Between groups	2628.4	2	1314.2	0.000***
	داخل گروه‌ها Within groups	13263.3	141	94.07	
	کل Total	15891.7	143		
MAD 0.7	بین گروه‌ها Between groups	3058.3	2	1529.2	0.000***
	داخل گروه‌ها Within groups	15903.75	141	112.8	
	کل Total	18962	143		

*** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

مقایسه میانگین 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 ۳).

جدول ۳. نتایج آزمون t جفتی برای بررسی معنی‌داری تنش‌های خشکی در نهال‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Table 3. Paired t-test results to check the significance of drought stress in the studied seedlings during the 2021 and 2022

	اختلافات زوج‌ها Pair differences					مقدار t	درجه آزادی df	معنی‌داری Sig.
	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	خطای معیار Standard error	حدود اعتماد ۹۵٪ 95% confidence limit				
				حد پایین Lower	حد بالا Upper			
سال ۱۴۰۱ – ۱۴۰۰ زوج Pair 2021-2022	4.73	8.2	0.56	3.6	5.8	8.46	215	0.000***

*** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

نمودار تبخیر- تعرق پتانسیل برای گونه زیتون تلخ در تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در ماه‌های خرداد تا مهر دارای بیشترین مقدار بود. در حالی که در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و آبان دارای کمترین مقدار است. یافته‌های Hashemi Garmdareh (۲۰۰۵)، Sojoodi و Mirzaei (۲۰۱۹)، Jafari و همکاران (۲۰۱۷)، Rahimi و همکاران (۲۰۲۱) و Ahmadaali و همکاران (۲۰۲۱) با نتایج مطالعه کنونی همسو است.

به طور کلی، زمانی که 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. تنش خشکی و افزایش تبخیر- تعرق، آناتومی و مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و تقریباً بر کلیه جنبه‌های رشد و نمو آنها تأثیر می‌گذارد (Ozturk و Sakcally, ۲۰۰۴). گیاه ممکن است در دوره رشد، در فصول 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 و Eslamian, ۲۰۱۰).

به طور کلی، دو نوع تنش کمبود آب در گیاه در شرایط طبیعی ایجاد می‌گردد (Sanchez-Blanco و همکاران، ۲۰۱۴). نوع اول، که تنش کمبود آب وسط روز^۱ نامیده می‌شود، به دلیل تأخیر جذب آب در مقابل تعرق صورت می‌گیرد و اغلب در روزهای آفتابی و گرم حادث می‌شود. این نوع تنش خشکی موقتی بوده و اغلب بیش از چند ساعت دوام ندارد و گیاه در غروب و شب بعد، مجدداً آماس خود را باز می‌یابد. نوع اصلی خشکی، کمبود آب طولانی‌مدت^۲ است و وقتی به وجود می‌آید که دسترسی گیاه به آب به تدریج کاهش می‌یابد که این پدیده در مطالعه حاضر نیز رخ داده است. در ابتدا، پتانسیل آب برگ در شب بازیابی شده و مساوی پتانسیل آب خاک می‌شود. ولی با خشک‌تر شدن خاک، بازیابی رطوبت از دست رفته کمتر و کمتر می‌گردد. در روزهای بعد که خاک خشک‌تر شده و حرکت آب به طرف ریشه‌ها خیلی کند است، جذب آب کمتر از تعرق شده و در نتیجه گیاه پژمرده می‌شود (Tabari و Hosseinzadeh Talaee, ۲۰۱۱). در این شرایط، پتانسیل آب برگ به کمتر از $-1/5$ MPa - که معادل ۱۵ بار است، می‌رسد (Javadi و Bahrmanejad, ۲۰۱۰)، که موقت بوده و با فرارسیدن شب و افزایش پتانسیل آب برگ برطرف می‌شود. در ادامه، و در زمانی که پتانسیل آب خاک نیز به کمتر از $-1/5$ - مگاپاسکال (بیش از ۱۵ بار) می‌رسد (Sokhtsarai و همکاران، ۲۰۱۹)، برگ قادر به آماس مجدد در شب نبوده و ممکن است با تأمین مجدد آب، گیاه بهبود نیابد و در نتیجه پژمردگی دائم حادث شود.

کاهش سطح برگ، کوچک نگاه داشتن اندام‌های هوایی، حرکت فعال برگ، انعکاس نور از برگ، ریشک و ریزش برگ از مهم‌ترین روش‌های کاهش تلفات آب در گیاهان خشکی‌پسند هستند. در حالی که مکانیسم‌های کاهش سطح برگ از طریق حفاظت آب باعث افزایش بقای گیاه می‌شوند، در شرایط وقوع تنش‌های موقتی و بعد از تأمین مجدد آب، می‌توانند برای دستیابی به حداکثر تولید مضر باشند.

به طور کلی، برای اکثر گیاهان، کاهش جذب تشعشع و کاهش سرعت تعرق که بر اثر سازوکارهای کاهش سطح برگ ایجاد می‌شود، می‌تواند اثر منفی بر عملکرد داشته باشد. بنابراین، نقش کاهش سطح برگ یا ریزش آن در افزایش یا کاهش عملکرد به نوع و میزان تنش خشکی و گونه گیاهی بستگی دارد. در شرایط وقوع خشکی انتهای فصل رشد، و کاهش سطح برگ، احتمال از بین رفتن گیاه قبل از رسیدگی را کاهش داده و در نتیجه صفت مفیدی است. در صورتی که در شرایط خشکی موقتی، کاهش سطح برگ یا ریزش آن صفت نامناسبی به شمار می‌آید.

ساده‌ترین شکل کاهش سطح برگ، لوله‌ای شدن، تاخوردن و پژمردگی برگ‌ها در زمان وقوع تنش کمبود آب است. این حالت برگ‌ها به کاهش بار حرارتی گیاه و تلفات آب کمک می‌کند. مشاهده شده است که لوله‌ای شدن برگ‌ها در شرایط نیمه‌خشک و بیابانی، تعرق گیاه را به ترتیب ۵۵٪ و ۷۵٪ کاهش می‌دهد (Karamian و Ataei Barazande, ۲۰۱۳). بعضی از گیاهان، وقتی در معرض تنش شدید قرار می‌گیرند، برگ‌های خود را لوله‌ای کرده و سپس دو یا سه روز بعد از تأمین مجدد رطوبت، رشد خود را از سر می‌گیرند (Hassan و همکاران، ۲۰۲۱). این صفت برای گیاهانی که در شرایط وقوع خشکی موقت رشد می‌کنند، صفت مفیدی به شمار می‌آید. به هر حال، این حرکات برگ فقط در شرایط وقوع تنش انجام شده، برای گیاه

1- Midday Deficit

2- Long Term Deficit

برگشت‌پذیر است. خصوصیات مختلف مورفولوژیک برگ به کاهش سرعت تعرق کمک کرده و ممکن است بر رشد، عملکرد و بقای گیاه در شرایط خشکی تأثیر بگذارد. در این ارتباط، وجود برگ‌های دارای کوتیکول ضخیم، سطوح موم‌دار، روزنه‌های فرورفته در حفره‌های سطح برگ و وجود کرک می‌تواند مؤثر باشد. برگ‌های کوچک، ضخیم و همیشه سبز یکی از خصوصیات مهم سازگاری به اقلیم‌های خشک است. در بعضی از گونه‌های گیاهی، خشکی می‌تواند تولید کرک‌های اپیدرمی را تحریک کند، که این کرک‌ها از طریق افزایش درصد بازتاب نور از سطح برگ سبب کاهش تعرق می‌شوند. در این حالت، اگر با تأمین مجدد آب، گیاه آماس خود را باز یابد، به آن پژمردگی موقت گویند. اگر کاهش زیاد آماس برگ به مدت طولانی ادامه داشته باشد، بعد از تأمین مجدد آب و حتی در اتمسفر اشباع از رطوبت، گیاه آماس خود را باز نیافته، که به آن پژمردگی دائمی می‌گویند.

بیشترین مقدار ضریب گیاهی کاج تهران و زیتون تلخ در پنج سالگی و در تنش خشکی ۰/۷ اتفاق افتاد که مربوط به ماه‌های شهریور و مهر بود که مقدار آن به ترتیب برابر با ۰/۳۴ و ۰/۳۷ است. در حالی که کمترین مقدار آن در دهه اول و دوم ماه فروردین اتفاق می‌افتد که مقدار آن به ترتیب برابر با ۰/۸۷ و ۰/۸۱ بود. نتایج مطالعه (Hashemi Garmdareh, ۲۰۰۵) با نتیجه تحقیق جاری در یک راستا قرار دارد.

از طرفی، میانگین Kc در زیتون تلخ در سال ۱۴۰۰ برای سن‌های ۱، ۳ و ۵ سال در تنش‌های ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۱۵ و ۰/۱۷، ۰/۲۲، ۰/۲۴ و ۰/۲۶، ۰/۲۹ و ۰/۳۲ و در سال ۱۴۰۱ برای سنین ۱، ۳ و ۵ سال در MAD برابر ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ به ترتیب ۰/۱، ۰/۱۲ و ۰/۱۳؛ ۰/۱۴، ۰/۱۷ و ۰/۱۹؛ ۰/۲۱، ۰/۲۳ و ۰/۲۳۵ بود. یافته‌های مطالعه Moazenpour Kermani و همکاران (۲۰۱۸) با نتایج مطالعه حاضر همسو بود.

به طور کلی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گیاهان در مراحل مختلف نمو خود به طور دائم در معرض کمبود آب قرار دارند و در طی تکامل، مکانیسم‌هایی را برای سازگاری و تحمل آن کسب کرده‌اند (Zanotelli و همکاران، ۲۰۱۹). گرچه عموماً علی‌رغم این سازگاری‌ها، کمبود آب اثرات سوئی بر گیاهان داشته و ممکن است برخی از این اثرات برگشت‌ناپذیر باشند. به طور کلی، توانایی گیاه برای رشد رضایت‌بخش در نواحی با کمبود آب را تحمل به خشکی می‌گویند. تغییرات ساختمانی و فیزیولوژیک را که احتمال بقا و تولید گیاه در یک محیط خاص را افزایش می‌دهند، سازگاری می‌گویند. سازگاری می‌تواند وراثت‌پذیر یا غیرقابل توارث باشد. تطابق^۱ عبارت است از توانایی سازگار شدن تدریجی به شرایط محیطی جدید. 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.

۴- نتیجه‌گیری

به طور کلی، رژیم‌های خشکی بر نیاز آبی گونه زیتون تلخ در سنین مختلف تأثیرگذار است. بنابراین، نیاز است که در طرح‌های جنگل‌کاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنش خشکی مناسب در نظر گرفته شود تا هم در مصرف آب صرفه‌جویی گردد و هم شرایط مناسب برای رشد و زنده‌مانی این درختان فراهم شود.

۵- سپاسگزاری

این پژوهش با اعتبارات شهرداری تهران، سازمان بوستان‌ها و فضای سبز شهر تهران به انجام رسیده است. بدین‌وسیله از سازمان بوستان‌ها و فضای سبز شهر تهران کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

۶- داده‌ها و اطلاعات

مبنای داده‌ها و اطلاعات مقاله حاضر، رساله دکتری نویسنده اول است.

۷- تعارض منافع

در این مقاله، تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

۸- مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این مقاله به شرح زیر است:

مشارکت محمد عسگری و محسن جوانمیری‌پور، کشت گلخانه‌ای، داده‌برداری، تفسیر و تحلیل داده‌های مقاله و ویرایش متن اولیه مقاله می‌باشد.

مشارکت وحید اعتماد، احسان عبدی، خالد احمدآلی و سلمان زارع نظارت و راهنمایی بر روند انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج و ویرایش نهایی متن مقاله می‌باشد.

مشارکت خالد احمدآلی و محسن جوانمیری‌پور، تأمین امکانات و تفسیر و تحلیل آماری داده‌های مقاله می‌باشد.

۹- اصول اخلاقی

نویسندگان، اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها می‌باشد.

۱۰- حمایت مالی

این مقاله حاصل نتایج بخشی از رساله دوره دکتری می‌باشد که تحت حمایت مالی دانشگاه تهران در قالب پژوهانه دانشجوی و پژوهانه استاد راهنما انجام گردیده است.

۱۱- مراجع

1. Ahmadi, 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. doi: 10.22067/jag.v8i4.40517. [In Persian]
2. 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 Persian]
3. Alihouiri, M., Naseri, A. A., Boroomand-Nasab, S., & Kiani, A. 2015. Effect of deficit irrigation and water salinity on soil salinity distribution and date plants vegetative growth. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 4(3), 1-13. [In Persian]
4. Allen, R., Periera, L., Howell, T., & Jensen, M. 2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, 98(6), 899-920.
5. Amiri, M. J., & Eslamian, S. S. 2010. Investigation of climate change in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 3(4), 208-216.
6. Ansari, H., Boostani, A., Tabatabaee, A., & Forouzesh, M. 2017. Investigation of consumption management and estimation of the drinking water demand in the vision 1420 for the city of Mashhad. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1), 125-132. doi: 10.22067/jwsd.v4i1.50409. [In Persian]
7. 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. doi: 10.22048/jsat.2018.96404.1 254. [In Persian]
8. 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.2022.1 053. [In Persian]

9. Bakhshi Khaniki, G., Javadi, S., Mehdi Khani, P., & Tahmasebi, D. 2011. Investigating the effect of drought stress on some quantitative and qualitative characteristics of new improved varieties of sugar beet. *New Journal of Cell-Molecular Biotechnology*, 1(3), 65-74. [In Persian]
10. Hashemi Garmdareh, S. E. 2005. Estimating the water requirement of some dominant species in the greenery of Isfahan using a lysimeter. Master Thesis, Isfahan University of Technology, 125 p. [In Persian]
11. Hassan, M. A., Chen, X., Farooq, M., Noor, M., Zhang, Y., Xu, H., Ke, Y., Attiogbe, K. B., Zhang, L., & Li, J. 2021. Cold stress in wheat: Plant acclimation responses and management strategies. *Frontiers in Plant Science*, 12, 676884.
12. Jafari, H., Afrasiabi, P., Delbari, M., & Taheri, M. 2017. Determination of evapotranspiration and crop coefficient of olive in different growth stages using remote sensing techniques and moisture balance in Tarom Zanzan. *Irrigation and Water Engineering*, 7(3), 120-134. [In Persian]
13. Javadi, T., & Bahramnejad, B. 2010. Gas exchanges of three wild genotypes of pear under water stress conditions. *Journal of Horticultural Sciences*, 24(2), 223-233. [In Persian]
14. Jazirei, M. 2010. Plantation in dry land. Tehran University Press, third edition, 532 p. [In Persian]
15. Karamian, R., & Ataei Barazande, S. 2013. Effect of salinity on some growth parameters in three Onobrychis species (Fabaceae) in Iran. *Iranian Journal of Plant Biology*, 5(15), 69-82. [In Persian]
16. Kassem, M. A. 2007. Water requirements and crop coefficient of date palm trees "Sukariah cv.". *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 24(2), 339-359.
17. Moazenpour Kermani, M., Mohammadi Mohammad Abadi, A., Badihneshin, A., & Noory, H. 2018. Measurement of evapotranspiration and crop coefficient of pistachio trees in Rafsanjan region. *Journal of Agricultural Meteorology*, 5(2), 47-55. doi: 10.22125/agmj.2018.59723. [In Persian]
18. Norouzi Haroni, N., & Tabari Koochksaraee, M. 2015. Morpho-physiological responses of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) seedlings to drought stress. *Forest and Wood Products*, 68(3), 715-727. doi: 10.22059/jfw.2015.55600. [In Persian]
19. 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.
20. Rahimi, H., Ahmadali, 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 Persian]
21. 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
22. Salimi Sobhan, M. R., Mansoori, K., & Yaghfoori, H. 2018. Evaluation of plant species and its influence in urban planning (Case study: Zahedan streets). *Geographical Engineering of Territory*, 2(3), 73-84. [In Persian]
23. Sa'nchez-Blanco, M. J., A'lvarez, S., Fernanda Ortun~, M., & Carmen Ruiz-Sa'nchez, 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.
24. Sojoodi, Z., & Mirzaei, F. 2019. Evaluation of the WUCOLS method for estimating water requirements of landscape plants. *Journal of Water Research in Agriculture*, 33(4), 629-643. doi: 10.22092/jwra.2020.121243. [In Persian]
25. Sokhtsarai, R., Salami, S. A., Ebadi, 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]
26. Tabari, H., & Hosseinzadeh Talaei, P. 2011. Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Global and Planetary Change*, 79(2011), 1-10.
27. Talebi, M. S. 2023. Water crisis in Iran and its security consequences. *Journal of Hydraulic Structures*, 8(4), 17-28.
28. Vaezirad, S., Shekari, F., Shiranirad, A. H., & Zangani, A. 2011. The effect of drought stress in different stages of growth on yield and components of grain yield in red bean cultivars. *Crop Ecology (Modern Agricultural Science)*, 4(10), 85-94. [In Persian]
29. Xu, Z. X., Li, J. Y., & Liu, C. M. 2007. Long-term trend analysis for major climate variables in the Yellow River basin. *Hydrological Processes*, 21(14), 1935-1948.
30. Zahedi Amiri, Gh., & Zargham, N. 2015. Carbon sequestration in terrestrial ecosystems. Tehran University Press, 500 p. [In Persian]
31. 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.

32. 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]