تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۲ | شماره ۱۰ | دی ۱۴۰۰ (ص ۲۵۹۴-۲۵۸۱)

https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.329702.669062

(مقاله علمی - پژوهشی)

Estimation of Water Requierments of *Acer Negundo* and *Pinus Eldarica* Medw. in Field and Green House (Case Study: Robat Karim Town)

MOHAMMAD ASGARI[1], MOHSEN JAVANMIRIPOUR[1], VAHID ETEMAD[1*], ABDOLMAJID LIAGHAT[2], SALMAN ZARE[3]

1. Department of Forestry and Forest Economics, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Department of Irrigation and Recalation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: Sep. 4, 2021- Revised: Oct. 14, 2021- Accepted: Oct. 18, 2021)

ABSTRACT

Increasing green space and afforestation in arid and semi-arid regions has always been accompanied by water shortages. Species with lower water requirements have always been an executive policy in these areas. The aim of this study was to estimate the water requirement of *Acer negundo* and *Pinus eldarica* Medw as the main species that applied in green space of arid, outdoors, and greenhouses. For this study, soil field capacity, moisture limit, water requirement, and irrigation frequency of seedlings were determined. Then, the studied seedlings were subjected to two, four, and six water stress days after reaching the allowable point of moisture reduction. The results showed that the mean diameter and height of Afghan pine species at the beginning of the outdoor study period were 6.5 mm and 45.9 cm, and in the greenhouse were 5.6 mm and 46 cm, respectively. In addition, the average diameter and height of ash-leaved maple at the beginning of the experiment in the field were 7.7 mm and 97cm, and in the greenhouse were 9 mm and 80 cm, respectively. At the end of the period, these values were 10.2 and 111.8, 52 and 111 for outdoor space and 6.7 and 13, 52.3 and 104.1 for the greenhouse, respectively. For Afghan pine and ash-leaved maple, the fastest time to reach the allowable point of moisture reduction was 7 and 4 days in the greenhouse, 9, and 6 days in the field, respectively. The highest water consumption of Afghan pine in greenhouse and field on 19 to 20 June and on 1 to 2 May equal to 14.14 and 6.13% by volumetric water content; water content was 10.97 and 4.3% by weight water content. The highest moisture consumption of ash-leaved maple in greenhouses and arenas on 21 to 22 May and on 18 to 19 August equal to 11.58 and 4.03% by volumetric water content; the water content was 8.81% and 2.9% by weight water content. The results of this study showed that Afghan pine, as an evergreen species, has the highest tolerance to water shortage and has the lowest water requirement compared to ash-leaved maple. By knowing the number of water needs and irrigation cycle of species in the green space of metropolitan areas and economic savings in water consumption, we can try to develop new irrigation in these areas facing a water crisis.

Keywords: Afforestation, Evapotranspiration, Management Allowable Deplation, Water Requirement, Water Stress.

* Corresponding Author's Email: vetemad@ut.ac.ir

برآورد نیاز آبی گونه‌های افرای سیاه و کاج تهران در فضای باز و گلخانه (مطالعه موردی: شهر رباط کریم)

محمد عسگری[۱]، محسن جوانمیری‌پور[۱]، وحید اعتماد*[۱]، عبدالمجید لیاقت[۲]، سلمان زارع[۳]

۱. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۳- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۷/۲۲- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۷/۲۶)

چکیده

گسترش فضای سبز و جنگل‌کاری‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره با کمبود آب مواجه بوده و استفاده از گونه‌هایی با نیاز آبی کمتر همواره یک سیاست اجرایی در این مناطق بوده است. هدف از این مطالعه برآورد نیاز آبی گونه‌های افرای سیاه و کاج تهران، به عنوان گونه‌های مهم مورد استفاده در فضای سبز مناطق خشک، در فضای باز و گلخانه است. برای انجام این مطالعه در ابتدا ظرفیت زراعی خاک، حد مجاز تقلیل رطوبت و نیاز آبی و دور آبیاری نهال‌ها مشخص شد. سپس، نهال‌های مورد مطالعه تحت تنش‌های آبی دو، چهار و شش روز بعد از فرا رسیدن نقطه حد مجاز تقلیل رطوبت، قرار گرفتند. نتایج نشان داد میانگین قطر و ارتفاع گونه‌ی کاج تهران در آغاز دوره مطالعه در فضای باز به ترتیب ۶/۵ و ۴۵/۹ و در گلخانه ۵/۶ میلی‌متر و ۴۶ سانتی‌متر بود. همچنین میانگین قطر و ارتفاع گونه‌ی افرا سیاه در آغاز دوره مطالعه در عرصه به ترتیب ۷/۷ و ۹۷ و در گلخانه ۹ میلی‌متر و ۸۰ سانتی‌متر بود. این مقادیر در پایان دوره مطالعه برابر با ۱۰/۲ و ۱۱۱/۸، ۵۲ و ۱۱۱ برای فضای باز و ۶/۷ و ۱۳، ۵۲/۳ و ۱۰۴/۱ برای گلخانه بود. در گونه‌های کاج تهران و افرای سیاه سریع‌ترین زمان رسیدن به نقطه‌ی حد مجاز تقلیل رطوبت، به‌ترتیب هفت و چهار روز در گلخانه و نه و شش روز در فضای باز بود. بیشترین رطوبت مصرفی کاج تهران در گلخانه و فضای باز در روز ۱۹ تا ۲۰ خرداد و در روز اول تا دوم اردیبهشت برابر با ۱۴/۱۴ و ۶/۱۳ درصد رطوبت حجمی، ۱۰/۹۷ و ۴/۳ درصد رطوبت وزنی بود. بیشترین رطوبت مصرفی افرای سیاه در گلخانه و فضای باز در روز ۲۱ تا ۲۲ اردیبهشت و در روز ۱۸ تا ۱۹ مرداد ماه برابر با ۱۱/۵۸ و ۴/۰۳ درصد رطوبت حجمی، ۸/۸۱ و ۲/۹ درصد رطوبت وزنی بوده است. نتایج این تحقیق نشان داد که گونه‌ی کاج تهران به عنوان یک گونه‌ی همیشه سبز، بیشترین بردباری را در برابر کمبود آب داراست و کمترین نیاز آبی را نسبت به گونه افرای سیاه داشت. با آگاهی نسبت به مقادیر نیاز آبی و دور آبیاری گونه‌های موجود در فضای سبز کلان‌شهرها، علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی در مصرف آب، می‌توان به توسعه‌ی نوین آبیاری در این مناطق که مواجه با بحران آب هستند، اهتمام ورزید.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق، تنش آبی، جنگل‌کاری، حد مجاز تخلیه رطوبتی، نیاز آبی.

مقدمه

برای تدوین برنامه آبیاری مناسب و اعمال مدیریت کارا و آگاهانه، تعیین ضرایب گیاهی بر مبنای مراحل رشد و نیز تخمین تبخیر گیاه ضروری است. نیاز آبی مهم‌ترین عامل توسعه پوشش گیاهی است که باید به‌طور ویژه به آن پرداخته شود (Rad, 2009). برآورد نیاز آبی گیاهان تحت کشت و کار در فضای سبز ضمن صرفه جویی در مقدار آب مصرفی و کاهش هزینه مالی نگهداری فضای سبز شهری (Mirzaei & Sojoodi, 2020)، می‌تواند مانع وارد شدن خسارات ناشی از مصرف کم یا زیاد آب به گیاهان شود که این موضوع سبب افزایش کیفیت فضای سبز می‌شود (Costello *et al.*, 2000). گونه کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw) در فضای سبز جهت جنگل‌کاری، کاشت ردیفی در پارک‌ها و کاشت در گذرگاه وسط جداول و حاشیه خیابان کاربرد دارد. این گونه همیشه سبز با حداکثر ارتفاع ۲۰ متر و بومی الدار گرجستان است. این گونه نیاز به آفتاب کامل دارد و در انواع مختلف خاک با زهکش خوب قادر به رشد است. همچنین به سرما و شرایط نامساعد مقاوم می‌باشد (Mozaffarian, 2016). افرای سیاه (*Acer negundo*) گونه‌ای از افرا از جنس Acer در خانواده Aceraceae – Sapindaceae بومی آمریکای شمالی است (Mozaffarian, 2016). افرای سیاه کاربرد فراوانی در فضای سبز دارد که از جمله می‌توان به کاشت در پارک‌ها، حاشیه بزرگراه‌ها، خیابان‌ها و چمن‌کاری‌ها اشاره نمود (Mozaffarian, 2016). نتایج

* نویسنده مسئول: vetemad@ut.ac.ir

مطالعه Zehtabian and Farshi (1999) در برآورد نیاز آبی گونه‌های زبان‌گنجشک، نارون، سرو شیراز، عرعر، سرو نقره‌ای و سرو خمره‌ای در مناطق خشک نشان داد که با تعیین و کاهش میزان بارندگی موثر از نیاز آبی، میزان آبیاری خالص (نیاز آبی بهینه) برای این گونه‌ها با فواصل زمانی ده روزه تعیین و منحنی تغییرات آن در طول فصل آبیاری به دست آمد. نتایج Ahmadloo *et al.* (2011)در بررسی اثر تنش آبی بر خصوصیات فیزیولوژیکی بذور کاج حلب و کاج بروسیا نشان داد که تنش آبی بر خصوصیات فیزیولوژیکی بذر هر دو گونه اثر گذاشت و در هر دو گونه با کاهش توان جذب آب (از صفر تا ۸- بار)، کاهش معنی داری در درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر ایجاد شد. در مقایسه بین دو گونه، بذر کاج مدیترانه‌ای[۱] و کاج بروسیا[۲] حساس‌تر به شرایط کم آبی بود.

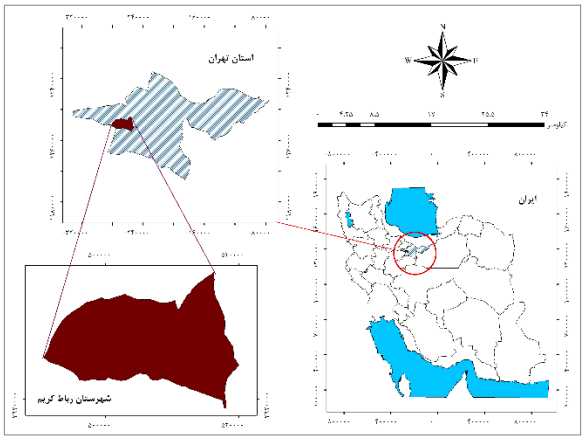
نتایج مطالعه Rad *et al.* (2019) در بررسی نیاز آبی و کارایی مصرف آب در گونه‌های اکالیپتوس نشان داد اگرچه *E. leucoxylon* تند رشدتر بوده و برای عملکرد بیشتر به آب زیادتری نیاز دارد، اما به دلیل به کارگیری ساز و کارهای مناسب برای سازگاری در شرایط خشک و بهبود کارایی مصرف آب، برای جنگل‌کاری و تولید چوب در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قابل توصیه است. نتایج Delafan Azari *et al.* (2018) در بررسی برآورد نیاز آبی و ارزیابی سطوح مختلف آبیاری بر پارامترهای رشدی نهال‌های کاج تهران نشان داد که مقدار بارش مؤثر در فروردین سال اول و فروردین و اردیبهشت سال دوم بیش از نیاز آبی برآورد شدهٔ کاج تهران در عرصهٔ تحت مطالعه بود. بیشترین مقادیر آب مورد نیاز در هر دو سال مربوط به ماه خرداد (۲۰۴/۶ و ۲۶۴/۴۵ لیتر در ماه) و کمترین مقدار آب مورد نیاز در سال های اول و دوم (۱۳۹/۵ و ۱۱۷ لیتر در ماه) به‌ترتیب مربوط به اردیبهشت و مهر بود.

با وجود واقع شدن سرزمین ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک تا کنون به اهمیت استفاده بهینه از آب در جنگل‌کاری با گونه‌های جنگلی همانند سایر مسائل بوم‌شناختی کمتر توجه شده و در تحقیقات مربوط به زمینه جنگل‌کاری نیاز آبی نهال‌های گونه‌های کاشته شده کمتر مورد توجه واقع شده است. علت انتخاب گونه‌های افرای سیاه و کاج تهران در این مطالعه، فراوانی کاشت کاج تهران در جنگل‌کاری‌ها، فضای سبز و کمربندهای سبز شهری در شهر رباط‌کریم بود. اما از آنجا که همواره افرای سیاه به عنوان یک گونه‌ی مناسب جنگل‌کاری در مناطق خشک و جنگل داری شهری به حساب می‌آید (Abdollahi *et al.*, 2011) و تاکنون در شهر رباط‌کریم این گونه کاشت نشده بود، این دو گونه انتخاب شدند. تمرکز مطالعات نیاز آبی بیشتر بر گونه‌های زراعی و باغی استوار بوده و کمتر به گونه‌های رایج در جنگل‌کاری‌ها پرداخته شده است. بنابراین، هدف مطالعه حاضر مقایسه نیاز آبی گونه‌ی پهن‌برگ افرای سیاه و گونه‌ی سوزنی برگ کاج تهران در فضای باز و گلخانه در شهر رباط‌کریم واقع در جنوب غربی استان تهران است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، شهر رباط‌کریم یکی از شهرستان‌های استان تهران، با وسعتی معادل ۲۷۵ کیلومتر مربع و با متوسط طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۰۴ دقیقه و متوسط عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه و ارتفاع متوسط از سطح دریا برابر ۱۰۵۰ متر است. بر اساس اقلیم‌نمای دومارتن گسترش یافته این منطقه دارای تیپ اقلیم خشک با میانگین بارش سالانه ۱۴۷/۶ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱- نقشه منطقه‌ی مورد مطالعه

روش انجام مطالعه

این پژوهش در زمین‌های جنگل‌کاری شده و بخشی از گلخانه‌ی شهرداری رباط‌کریم در شهر رباط‌کریم به دو روش کاشت در عرصه طبیعی و به‌صورت کاشت گلخانه‌ای در مجاورت عرصه جنگل‌کاری شده به‌اجرا درآمد. به منظور انجام این پژوهش از نهال‌های دو ساله‌ی گونه‌های کاج تهران و افرای سیاه استفاده شد.

چاله‌کنی و کاشت نهال‌ها در اسفند ماه سال ۱۳۹۶ صورت گرفت. بلافاصله پس از کاشت، قطر نهال‌های کاشته شده توسط کولیس (میلی‌متر) و ارتفاع نهال‌های کاشته شده توسط متر نواری

[۱] *Pinus halepensis*
[۲] *Pinus brutia*

(سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. سپس نهال‌ها تا هفته‌ی اول اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۷ به صورت هفتگی تحت آبیاری سنگین و مراقبت قرار گرفته تا باعث استقرار هر چه بهتر نهال‌ها شود. کاشت نهال‌ها، داخل گلدان در گلخانه در نیمه فروردین ۱۳۹۷ صورت گرفت. پس از خارج کردن نهال‌ها از پلاستیک، نهال‌ها در داخل آب قرار داده شدند تا خاک‌های مجاور ریشه شسته شوند و از همان خاکی که شهرداری برای پر کردن چاله‌های کاشت خود استفاده می‌کند، استفاده شد تا عملاً بافت خاک در عرصه و گلخانه یکسان باشد. به منظور مطالعه تعیین نیاز آبی گونه‌های مورد نظر از هر گونه تعداد ۲۰ عدد نهال در چهار تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی کاشته شد. نهال‌های مورد استفاده از نهالستان بزرگ کرج تهیه شد. مبدأ بذر نهال‌های تهیه شده مربوط به کرج بوده و تلاش گردید که از نظر ابعاد (قطر و ارتفاع) به یکدیگر نزدیک باشند. ابعاد چاله‌های کاشت مطابق آنچه که در شرایط معمولی کاشت توسط شهرداری‌ها صورت می‌گیرد، ۷۵×۵۰×۵۰ سانتی‌متر مکعب و فاصله کاشت آنها ۳×۳ متر در نظر گرفته شد. خاک حاصل از چاله‌کنی از منطقه خارج شده و از خاکی که در گلخانه‌ی شهرداری رباط‌کریم با کود حیوانی ترکیب شده بود و همواره در جنگل‌کاری‌ها از آن استفاده می‌شود و دارای خواص فیزیکی و شیمیایی یکسانی می‌باشد، جایگزین گردید که بافت خاک در مثلث بافت خاک برابر با رس- سیلت –لوم[۱] بود. سپس از هر گونه به تعداد ۲۰ اصله نهال کاشته شد (چهار تکرار پنج تایی). در این پژوهش هر نهال به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شده و با توجه به ریسک خشک شدن نهال‌ها و یا هر اتفاق دیگری تعداد هر واحد آزمایش به پنج اصله افزایش یافت.

فاز اول مطالعه شامل تعیین نیاز آبی، تعیین دور آبیاری مناسب برای گونه‌ها و ارزیابی روش‌های محاسباتی تبخیر-تعرق بود. به منظور تعیین نیاز آبی و تعیین دور آبیاری برابر با برنامه پیش‌بینی شده، مراحل زیر به اجرا درآمد:

مرحله اول: تعیین رطوبت حد ظرفیت زراعی[۲](FC)

در این روش ابتدا تعداد سه عدد گلدان که هر کدام حاوی دو کیلوگرم خاک بود، انتخاب گردید و در مکان سایه‌دار قرار داده شد. گلدان‌ها را از آب اشباع نموده و روی گلدان‌ها با پلاستیک پوشانده شد تا مانع تبخیر آب شود. سپس چند سوراخ بر روی پلاستیک‌ها ایجاد شد تا فرآیند مکش و تخلیه‌ی آب ثقلی به راحتی اتفاق بیفتد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، خاک‌تر حاوی هر گلدان را کاملاً مخلوط نموده و نمونه‌ای از آن را داخل یک قوطی فلزی گذاشته و وزن قوطی و خاک‌تر یادداشت گردید و سپس قوطی در آون در دمای ۱۰۵درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه مجدداً به منظور محاسبه ی وزن خاک خشک توزین گردید، بعد از تفاضل وزن خاک خشک از وزن خاک‌تر، مقدار رطوبت موجود در خاک (وزن آب) بدست آمد. مقدار آب به‌دست آمده بر وزن خشک خاک تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شد و درصد آب خاک یا ظرفیت زراعی خاک به‌دست آمد.

مرحله دوم: محاسبه حد مجاز تقلیل رطوبت[۳] (MAD)

برای تعیین محاسبه‌ی حد مجاز تقلیل رطوبت هم در گلخانه و هم در عرصه اقدامات لازم به شرح زیر صورت گرفت:

در این مرحله برای محاسبه‌ی حد مجاز تقلیل رطوبت، از میان نهال‌هایی که در گلدان کاشته شده بودند، چهار نهال از هر گونه به عنوان چهار تکرار انتخاب شد. کلیه‌ی نهال‌های انتخاب شده مورد آبیاری سنگین قرار گرفتند، به‌طوری‌که رطوبت در روز دوم با توجه به آزمایش مرحله اول به اندازه‌ی ظرفیت زراعی قرار گیرد. با این احتساب که در روز دوم رطوبت خاک به خود ظرفیت زراعی رسیده است از روز دوم هر روز گلدان‌ها بدون آن که آبیاری شوند وزن شدند و هر روز از نظر ویژگی‌های ظاهری، آناتومی، شادابی و سلامتی نهال‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. این اقدام تا روزی که اولین نشانه‌ها یا واکنش‌های گیاه به کاهش آب مشاهده شود، ادامه یافت (علائم اولیه شامل لوله‌ای شدن برگ یا تغییر زاویه برگ نسبت به افق در گونه‌ی افرای سیاه و تغییر رنگ سوزن‌ها به سبز پر رنگ و سپس زرد و قهوه‌ای شدن از نوک و خم شدن یا انحنا سوزن‌ها از غلاف در گونه‌ی کاج تهران می باشند). در این حالت داده‌های مربوط به وزن گلدان در آن روز، تعداد روزهای سپری شده از اولین روز آبیاری و وضعیت ظاهری نهال‌ها به‌منظور محاسبه‌ی کاهش وزن آب و تعیین MAD ثبت گردید. از این مرحله به بعد اگر این شرایط ادامه پیدا کند گیاه تحت تنش قرار می‌گیرد و برگ‌ها رو به زردی و پژمردگی پیش می‌روند. به منظور تعیین حد مجاز تقلیل رطوبت در عرصه نیز از هر گونه، چهار نهال در چهار تکرار انتخاب شد. در روز اول یک آبیاری سنگین صورت گرفت و به تعبیری رطوبت خاک در روز دوم به حد ظرفیت زراعی رسید. در فضای باز به دلیل وجود محدودیت مبنی بر عدم امکان توزین خاک، تنها رطوبت حجمی خاک توسط دستگاه Soil Moisture Meter به صورت روزانه و در ساعت معینی همراه با وضعیت ظاهری نهال‌ها اندازه‌گیری شد تا

---

[۱] Loam- Silt- Clay

[۲] Field Capacity

[۳] Management Allowable Depletion

روزی که اولین نشانه‌ها یا واکنش‌های گیاه به کمبود آب در نهال‌های موجود در عرصه نیز مشاهده شد. در این حالت داده‌های مربوط به رطوبت حجمی در آن روز و تعداد روزهای سپری شده از اولین روز آبیاری و وضعیت ظاهری نهال برداشت شدند.

مرحله سوم: محاسبه تبخیر-تعرق (ETc) و تعیین نیاز آبی

به‌واسطه‌ی آبیاری نهال‌ها در روزهای متوالی و اندازه‌گیری رطوبت خاک به صورت روزانه در داخل گلخانه و نیز در فضای باز، می توان وزن آب مصرفی که در واقع همان نیاز آبی نهال‌ها می‌باشد را محاسبه نمود. روی نهالی که به عنوان شاهد در مرحله اول در نظر گرفته شده بود (پس از استقرار گیاه در یک بازه‌ی زمانی ۱۵ تا ۳۰ روزه) یک آبیاری سنگین صورت گرفت و پس از ۲۴ ساعت نسبت به توزین گلدان‌های آبیاری شده، اقدام شد. وزن کردن گلدان‌ها به صورت روزانه در ساعت معینی انجام گرفته و وزن هر گلدان در هر روز از وزن همان گلدان در روز قبلی کسر شد (به نقل از Rahimi, 2020) (رابطه ۱) که با انجام این کار مقدار تبخیر -تعرق (ETc) محاسبه گردید (Asgari *et al.*, 2021). (رابطه ۲).

$$ETc = W1 - W2 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن W1 وزن گلدان در روز اول و W_2 وزن گلدان در روز دوم است.

$$ETc = (\theta_{FC} - \theta_i) * \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در این رابطه θ_{FC} رطوبت زراعی، θ_i رطوبت قبل از آبیاری روز بعد و Dr عمق توسعه ریشه است.

ETc به‌دست آمده می‌تواند به صورت وزنی یا حجمی به شرح زیر محاسبه گردد (رابطه ۳):

$$VWC = GWC * Bd \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که GWC[1] برابر با درصد رطوبت وزنی، Bd[2] برابر با وزن مخصوص ظاهری و VWC[3] برابر با درصد رطوبت حجمی است.

در داخل فضای باز نیز مجدداً به دلیل عدم امکان توزین رطوبت نهال‌ها در جهت آگاهی نسبت به وزن یا همان آب مصرفی توسط نهال، با استفاده از دستگاه Soil Moisture Meter به صورت روزانه و در ساعت معینی درصد رطوبت حجمی خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و درصد رطوبت حجمی خاک در هر روز از درصد رطوبت حجمی خاک در روز قبلی کم شد که با انجام این کار مقدار تبخیر- تعرق (ETc) محاسبه گردد. با انجام مرحله سوم عملاً هم دور آبیاری و هم نیاز آبی نهال‌های کاشته شده تعیین می‌شود.

شکل ۲- تصویری از گلخانه و نهال‌های گونه‌های کاج تهران و افرای سیاه

فاز دوم مطالعه: اثر تنش آبی با افزایش دور آبیاری

برای انجام تیمارهای خشکی و تنش آبی تعداد سه نهال در هر تکرار و از هر گونه انتخاب شد. جمعاً ۱۴۴ نهال شامل چهار تکرار و سه سطح خشکی (دو، چهار و شش روز پس از فرا رسیدن نقطه MAD) برای دو گونه فوق هم به‌صورت گلخانه‌ای و هم در عرصه در نظر گرفته شده و مورد آزمایش قرار گرفتند.

با استفاده از نرم‌افزار SPSS پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها (آزمون کولموگرف – اسمیرنوف)، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار[4] و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

1 Gravimetric Water Content
2 Bulk Density
3 Volumetric Water Content
4 Least significant difference

نتایج

میانگین قطر گونه‌های کاج تهران و افرای سیاه در آغاز مطالعه عرصه به ترتیب برابر با ۶/۵ و ۷/۷ و در گلخانه به‌ترتیب برابر با ۵/۶ و ۹ میلی‌متر می‌باشد در حالیکه برای پایان مطالعه برابر با ۱۰/۲ و ۱۱/۸ برای عرصه و ۶/۷ و ۱۳ برای گلخانه است. همچنین میانگین ارتفاع گونه‌های کاج تهران و افرای سیاه در آغاز مطالعه در عرصه به ترتیب برابر با ۴۵/۹ و ۹۷ و در گلخانه به‌ترتیب برا بر با ۴۶/۱ و ۸۰ سانتی‌متر می‌باشد در حالیکه برای پایان مطالعه برابر با ۵۲ و ۱۱۱ برای عرصه و ۵۲/۳ و ۱۰۴/۱ سانتی‌متر برای گلخانه است (جدول ۱).

برای گونه‌ی کاج تهران، سریع‌ترین زمان رسیدن به نقطه ی MAD، ۷ روز (با ۸ مرتبه تکرار) در گلخانه و ۹ روز (با دو مرتبه تکرار) در عرصه بوده است. در گونه‌ی کاج تهران بیشترین درصد رطوبت حجمی پس از آبیاری سنگین در گلخانه و عرصه به ترتیب برابر با ۵/۷۵ و ۴۳ کیلوگرم و درصد رطوبت حجمی در نقطه MAD در گلخانه و عرصه به ترتیب برابر با ۲/۴۲ و ۷/۳ کیلوگرم بوده است (جدول ۲).

جدول ۱- تعداد، میانگین قطری و ارتفاعی گونه‌های کاج تهران و افرای سیاه (± انحراف معیار) در عرصه و گلخانه

	مکان کشت	عرصه		گلخانه	
	نام گونه	کاج تهران	افرای سیاه	کاج تهران	افرای سیاه
در بدو کاشت[1]	تعداد نهال	۱۵	۱۸	۲۷	۲۴
	میانگین قطر (میلی‌متر)	۶/۵ (۰/۷)	۷/۷ (۱)	۵/۶ (۱/۳۷)	۹ (۱/۶)
	میانگین ارتفاع (سانتی‌متر)	۴۵/۹ (۱/۷)	۹۷ (۱۴/۴)	۴۶/۱ (۵/۵)	۸۰ (۱۷)
در پایان[2]	تعداد نهال	۸	۱۴	۲۶	۲۳
	میانگین قطر (میلی‌متر)	۱۰/۲ (۳)	۱۱/۸ (۲/۳)	۶/۷ (۱/۴)	۱۳ (۲/۶)
	میانگین ارتفاع (سانتی‌متر)	۵۲ (۳/۳)	۱۱۱ (۱۳/۵)	۵۲/۳ (۵/۷)	۱۰۴/۱ (۱۹/۹)

جدول ۲- محاسبه‌ی حد مجاز تقلیل رطوبت در گلخانه و عرصه برای گونه‌ی کاج تهران

ردیف	روزهای سپری شده		رطوبت اولیه گلدان پس از آبیاری سنگین (کیلوگرم- درصد رطوبت حجمی)		رطوبت گلدان در نقطه MAD (کیلوگرم- درصد رطوبت حجمی)		مشاهدات ظاهری
	گلخانه	عرصه	گلخانه	عرصه	گلخانه	عرصه	
۱	۲۰	۲۰	۵/۷۵	-	۲/۲۵	-	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۲	۱۴	۱۰	۴/۵	-	۱/۷	-	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۳	۱۴	۱۲	۴/۹	۴۲/۴	۲/۰۲	۷/۳	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۴	۱۰	۱۰	۴/۴۷	۴۰/۲	۲/۱۷	۴/۳	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۵	۷	۹	۴/۲	۴۰	۲/۰۲	۷/۱	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۶	۷	۹	۵/۶۲	۳۸/۹	۳	۴/۳	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۷	۸	۱۰	۴/۷۵	۴۰/۵	۲/۲	۴	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۸	۷	۱۳	۴/۵	۴۰/۶	۲/۱۷	۴/۵	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۹	۷	۱۴	۴/۵	۴۲	۲/۲۷	۴/۱	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۱۰	۷	۱۵	۴/۴۷	۴۳	۲/۴۲	۴/۴	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۱۱	۷	۱۷	۴/۵۵	۴۰	۲/۴	۴/۲	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۱۲	۷	۲۰	۴/۲۲	۴۱	۲/۲۷	۴/۱	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۱۳	۷	۲۴	۴/۴۷	۴۲	۲/۳۵	۴/۴	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۱۴	۹	-	۴/۵۵	-	۲/۱۲	-	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۱۵	۹	-	۴/۵۵	-	۱/۸۵	-	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۱۶	۱۰ روز	-	۴/۴۷	-	۲/۱۵	-	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۱۷	۱۰ روز	-	۴/۲۸	-	۲/۳	-	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۱۸	۱۱ روز	-	۴/۹	-	۲/۲	-	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۱۹	۱۲ روز	-	۵/۰۷۵	-	۲/۰۷	-	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۲۰	۱۴ روز	-	۴/۹	-	۲/۰۳	-	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها
۲۱	۱۴ روز	-	۴/۷	-	۲/۲	-	زرد و قهوه‌ای شدن ابتدای سوزن‌ها

در گونه‌ی افرای سیاه، سریع‌ترین زمان رسیدن به نقطه‌ی MAD، از ۶ تا ۹ تیر ماه در گلخانه و از ۹ تا ۱۴ تیر ماه در عرصه است. همچنین، بیشترین درصد رطوبت حجمی پس از آبیاری سنگین در گلخانه و عرصه به ترتیب برابر با ۸/۸۷ و ۴۶/۷۳

[1] اسفند ماه سال ۱۳۹۶

[2] آبان ماه ۱۳۹۷

کیلوگرم و درصد رطوبت حجمی در نقطه MAD در گلخانه و عرصه به ترتیب برابر با ۶/۵۵ و ۸ کیلوگرم است (جدول ۳).

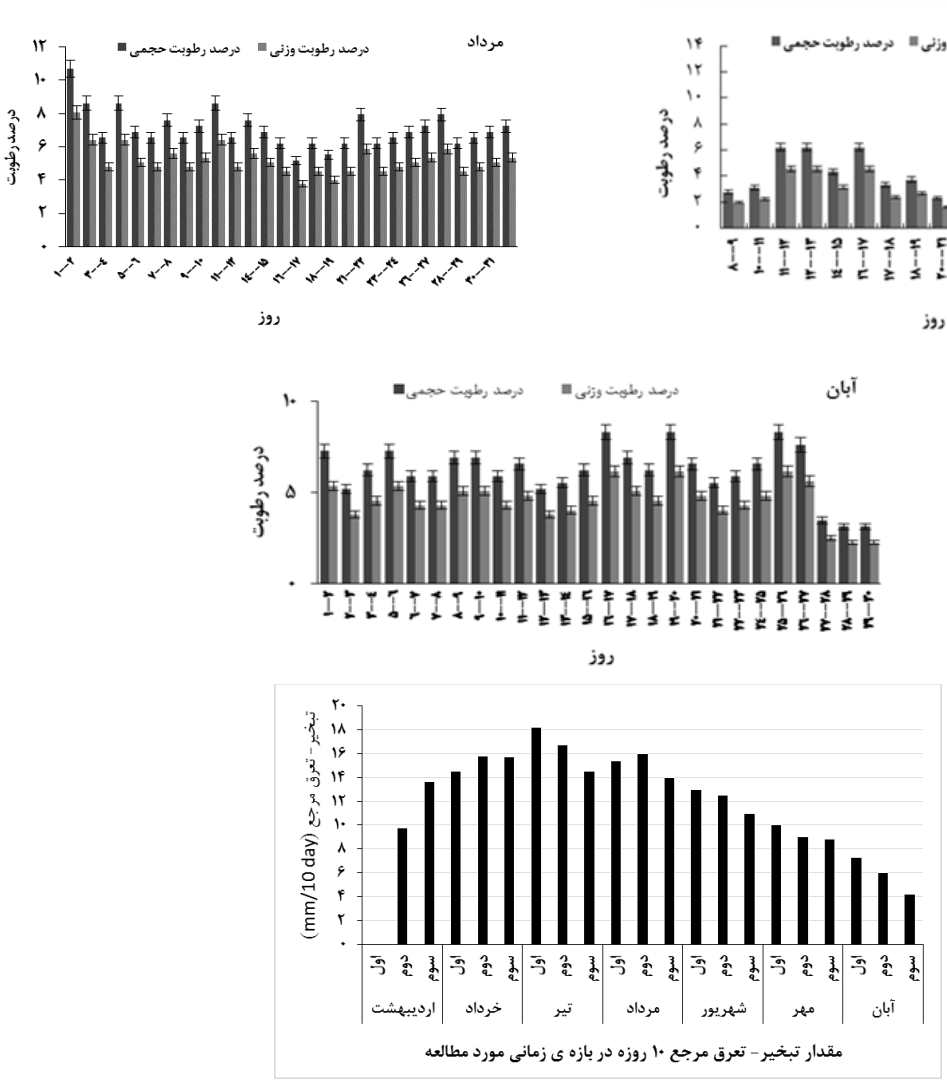
جدول ۳- محاسبه‌ی حد مجاز تقلیل رطوبت در گلخانه برای گونه‌ی افرای سیاه

ردیف	روز		رطوبت اولیه گلدان پس از آبیاری سنگین (کیلوگرم- درصد رطوبت حجمی)		رطوبت گلدان در نقطه MAD (کیلوگرم- درصد رطوبت حجمی)		مشاهدات ظاهری
	گلخانه	عرصه	گلخانه	عرصه	گلخانه	عرصه	
۱	۱۱	۱۰ روز	۸/۸۷	-	۶/۳۵	-	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۲	۸	۹	۷/۳۲	-	۳/۴۲	-	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۳	۱۰	۱۲	۷/۹	-	۴/۹۲	-	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۴	۹	۸	۶/۷	۳۸/۶	۴/۵۲	۶/۷	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۵	۱۰	۶	۶/۸۲	۴۴/۲	۴/۴۵	۸	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۶	۷	۹	۷/۳۷	۳۹	۵/۵	۷/۱	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۷	۵	۸	۷/۹۵	۴۳/۵	۵/۷۷	۷/۶	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۸	۴	۷	۸/۱۲	۴۲	۵/۹۷	۴/۵	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۹	۵	۸	۸/۸۷	۴۰/۴	۶/۵۷	۳/۹	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۱۰	۶	۷	۸/۱۵	۴۳/۷	۶/۰۷	۶/۵	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۱۱	۵	۹	۸/۸۷	۴۶/۷۳	۶/۳۵	۴/۳	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۱۲	۶	۸	۷/۹	۴۵	۶/۵۵	۴/۲	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۱۳	۶	۸	۸/۸۷	۴۳	۶	۴/۱	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۱۴	۶	۹	۸/۱۵	۴۲	۵/۴۷	۴/۳	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۱۵	۵	۹	۸/۱۲	۴۱	۵/۹۷	۵/۱	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۱۶	۶	۱۰	۸/۲۵	۴۶	۵/۹۷	۵/۳	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۱۷	۶	۱۰	۷/۹۵	۴۵	۵/۲۷	۴/۹	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۱۸	۶	۱۱	۸/۲۵	۴۶	۶/۲۷	۴/۷	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۱۹	۶	۱۲	۸/۲۵	۴۵	۶/۱۵	۴/۴	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۲۰	۶	۱۴	۷/۹۵	۴۲	۵/۲	۴/۱	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۲۱	۶	-	۸/۰۲۵	-	۵/۲۷	-	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۲۲	۷	-	۷/۳۷	-	۵/۵	-	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۲۳	۹	-	۷	-	۴/۵۲	-	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۲۴	۹	-	۶/۷	-	۴/۶	-	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۲۵	۹	-	۶/۸	-	۴/۵	-	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۲۶	۱۰	-	۷/۹	-	۴/۹۲	-	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۲۷	۱۱	-	۷/۹	-	۴/۷	-	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق
۲۸	۱۲	-	۷/۹	-	۴/۳۷	-	تغییر زاویه برگ‌ها از محور افق

تبخیر-تعرق گونه‌های کاج تهران و افرای سیاه در گلخانه

نمودارهای درصد رطوبت وزنی و حجمی تبخیر-تعرق (ETc) گونه‌ی کاج تهران در گلخانه در طی ماه‌های آغازین، میانی و پایانی مطالعه (به دلیل محدویت فضایی در مقاله از ذکر سایر ماه‌ها خودداری شد)[1] مطابق شکل (۳) است. بیشترین رطوبت مصرفی مورد استفاده قرار گرفته‌ی نهال کاج تهران در گلخانه و در ماه‌های مختلف در روز ۱۹ تا ۲۰ خرداد ماه برابر با ۱۴/۱۴ درصد رطوبت حجمی؛ ۱۰/۹۷ درصد رطوبت وزنی یا ۲۸/۳ میلی متر است. همچنین کمترین رطوبت مصرفی مورد استفاده قرار گرفته‌ی نهال کاج تهران در روز ۲۰ تا ۲۱ اردیبهشت ماه برابر با ۲/۲۸ درصد رطوبت حجمی؛ ۱/۶۲ درصد رطوبت وزنی یا ۴/۶ میلی‌متر بوده است.

۱ برای گونه‌ی افرای سیاه در گلخانه و همچنین گونه‌های کاج تهران و افرای سیاه در عرصه نیز به دلیل محدودیت فضایی، بسنده به ترسیم ماه‌های آغازین (اردیبهشت در گلخانه؛ تیر در عرصه)، میانی (مرداد در گلخانه؛ شهریور در عرصه) و پایانی تحقیق (آبان در گلخانه و عرصه) شد.



شکل ۳- رطوبت مصرف شده کاج تهران در ماه‌های مختلف در گلخانه

بیشترین رطوبت مصرفی مورد استفاده قرار گرفته‌ی نهال افرای سیاه در گلخانه و در طی ماه‌های مختلف در روز ۲۱ تا ۲۲ اردیبهشت ماه برابر با ۱۱/۵۸ درصد رطوبت حجمی، ۸/۸۱ درصد رطوبت وزنی یا ۲۹ میلی‌متر است. همچنین کمترین رطوبت مصرفی مورد استفاده قرار گرفته‌ی نهال افرای سیاه در روز ۲۷ تا ۲۸ شهریور ماه برابر با ۰/۰۱۵ درصد رطوبت حجمی، ۰/۰۱ درصد رطوبت وزنی یا ۰/۰۱۸ میلی‌متر بوده است (شکل ۴).

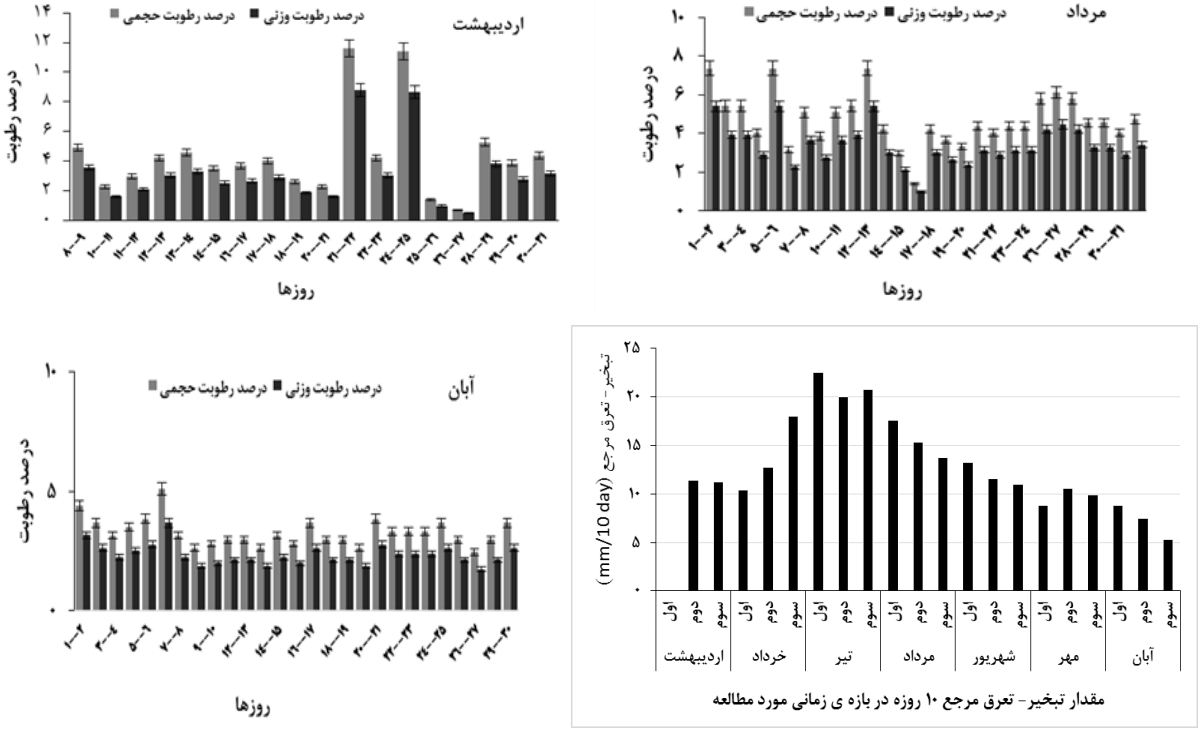
برآورد تبخیر-تعرق (ETc) گونه‌های کاج تهران و افرای سیاه در عرصه

بیشترین رطوبت مصرفی نهال کاج تهران در عرصه و در طی ماه‌های مختلف در روز ۱ تا ۲ اردیبهشت ماه برابر با ۶/۱۳ درصد رطوبت حجمی، ۴/۳ درصد رطوبت وزنی در لایه‌ی ۱۰ سانتی‌متر نخست خاک بوده است. همچنین کمترین رطوبت مصرفی مورد استفاده قرار گرفته‌ی نهال کاج تهران در روز ۱۴ تا ۱۵ اردیبهشت ماه برابر با ۰/۴۸ درصد رطوبت حجمی، ۰/۳۳ درصد رطوبت وزنی در لایه‌ی ۱۰ سانتی‌متری نخست خاک بوده است (شکل ۵).

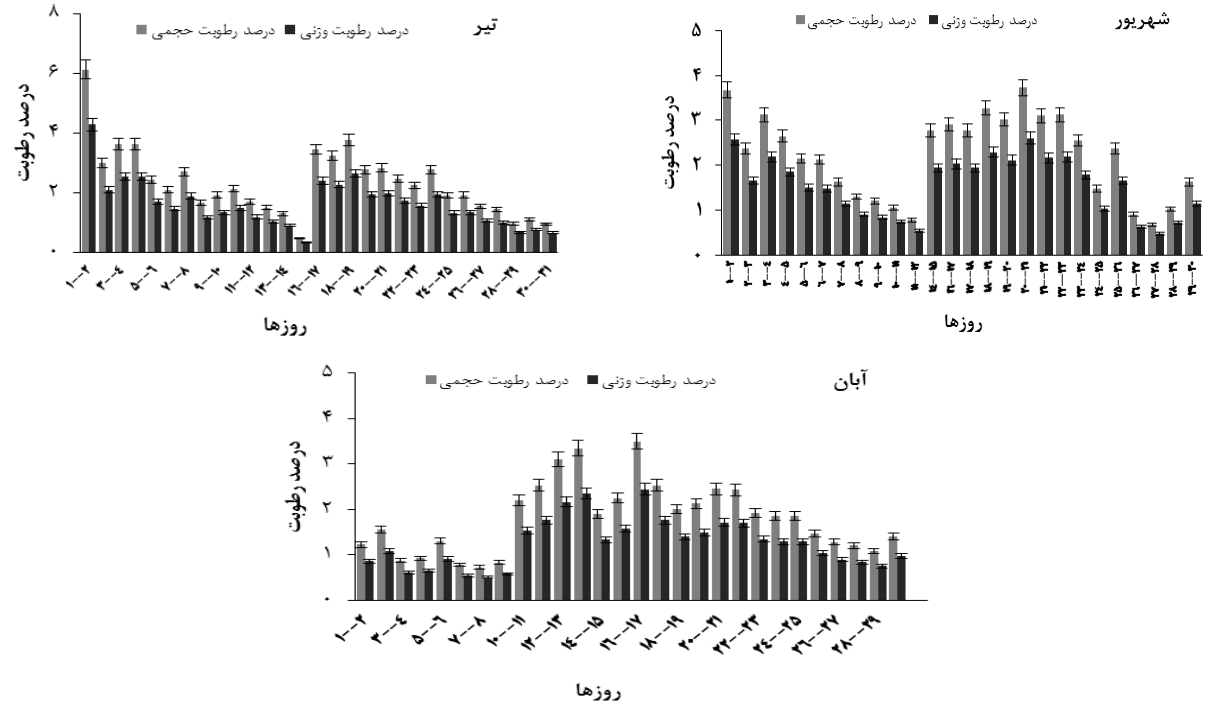
بیشترین رطوبت مصرفی نهال افرای سیاه در عرصه و در طی ماه‌های مختلف در روز ۱۸ تا ۱۹ مرداد ماه برابر با ۴/۰۳ درصد رطوبت حجمی، ۲/۹ درصد رطوبت وزنی در لایه‌ی ۱۰ سانتی‌متری نخست خاک بوده است. همچنین کمترین رطوبت مصرفی مورد استفاده قرار گرفته‌ی نهال افرای سیاه در روز ۳۰ تا ۳۱ تیر ماه برابر با ۰/۲۵ درصد رطوبت حجمی، ۰/۱۸ درصد رطوبت وزنی در لایه‌ی ۱۰ سانتی‌متری نخست خاک بوده است (شکل ۶).

تعداد بازه‌ی زمانی فرا رسیدن نقطه MAD برای گونه‌ی افرای سیاه و کاج تهران به‌ترتیب در طول دوره‌ی مطالعه (۷ اردیبهشت ماه تا ۳۰ آبان ماه) در گلخانه، ۲۸ و ۲۱ دوره زمانی می‌باشد (جدول ۴). کمترین متوسط وزن گلدان در تنش ۶ روزه، ۲/۹۲ و ۱/۴۵ کیلوگرم، به ترتیب متعلق به گونه‌های افرای سیاه و کاج تهران است. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که چون

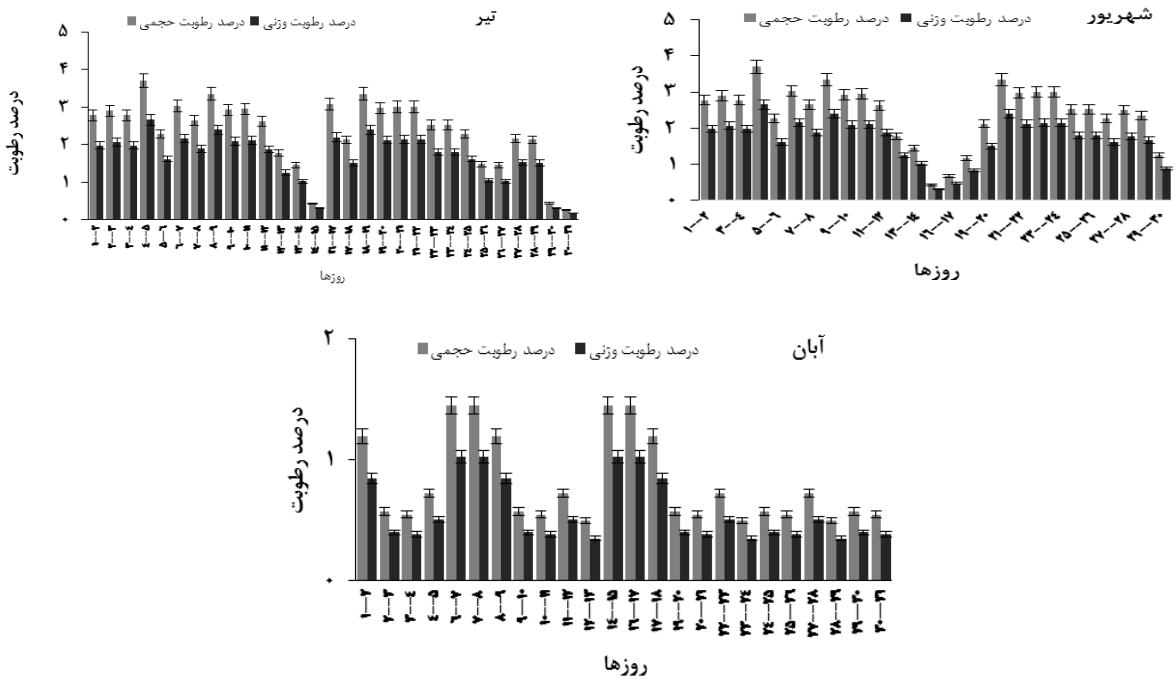
سطح معنی‌داری از ۰/۰۱ بزرگتر است، بنابراین با اطمینان ۹۹ درصد، فرض H_0 تأیید می‌شود، یعنی بین میانگین وزن گلدان در روزهای مختلف پس از فرا رسیدن نقطه MAD اختلاف معنی داری وجود ندارد.



شکل ۴- رطوبت مصرف شده افرای سیاه در ماه‌های مختلف در گلخانه



شکل ۵- رطوبت مصرف شده کاج تهران در ماه‌های مختلف در عرصه



شکل ۶- رطوبت مصرف شده افرای سیاه در ماه‌های مختلف در عرصه

جدول ۴- وزن گلدان‌های افرای سیاه و کاج تهران در نقطه MAD و در ۲، ۴ و ۶ روز بعد از نقطه MAD در گلخانه

تعداد بازه زمانی فرا رسیدن نقطه MAD		وزن گلدان در نقطه MAD (کیلوگرم)		وزن گلدان ۲ روز بعد از MAD (کیلوگرم)		وزن گلدان ۴ روز بعد از MAD (کیلوگرم)		وزن گلدان ۶ روز بعد از MAD (کیلوگرم)	
افرای سیاه	کاج تهران	افرای سیاه	کاج تهران	افرای سیاه	کاج تهران	افرای سیاه	کاج تهران	افرای سیاه	کاج تهران
۱	۱	۶/۳۵	۲/۲۵	۶/۳۵	۲/۰۷	۶/۳	۱/۹۷	۶/۰۷	۱/۹۵
۲	۲	۳/۴۲	۱/۷	۳/۲۵	۱/۵۷	۳/۱	۱/۴۵	۲/۹۲	۱/۴۵
۳	۳	۴/۹۲	۲/۰۲	۴/۷۲	۱/۹۲	۴/۵	۱/۸۲	۴/۳	۱/۷۷
۴	۴	۴/۵۲	۲/۱۷	۴/۳۲	۲/۰۷	۴/۱۵	۱/۹۷	۳/۸۷	۱/۹
۵	۵	۴/۴۵	۲/۰۲	۴/۳۲	۱/۹	۴/۲	۱/۷۵	۴/۰۵	۱/۷۲
۶	۶	۵/۵	۳	۵/۲۵	۲/۸۷	۴/۹۷	۲/۷۵	۴/۷۲	۲/۶۵
۷	۷	۵/۷۷	۲/۲	۵/۵۲	۲/۰۵	۵/۳	۱/۹۲	۵/۱۲	۱/۸۵
۸	۸	۵/۹۷	۲/۱۷	۵/۷۵	۲/۰۲	۵/۵	۱/۹	۵/۳	۱/۸
۹	۹	۶/۵۷	۲/۲۷۵	۶/۳۲	۲/۰۴	۶/۰۷	۱/۸۸	۵/۸۲	۱/۸۸
۱۰	۱۰	۶/۰۷	۲/۴۲	۵/۸۲	۲/۱۳	۵/۵۲	۱/۹۴	۵/۲۷	۱/۹۴
۱۱	۱۱	۶/۳۵	۲/۴	۶/۳۵	۲/۲۳	۶/۰۵	۲/۰۶	۵/۷۲	۱/۹۴
۱۲	۱۲	۶/۵۵	۲/۲۷	۵/۷۵	۲/۱۰	۵/۴۷	۱/۸۷	۵/۱۷	۱/۸۷
۱۳	۱۳	۶	۲/۳۵	۵/۴۸	۲	۵/۱۰	۱/۸۷	۵/۱۰	۱/۷۶
۱۴	۱۴	۵/۴۷	۲/۱۲	۵/۲۶	۲	۵/۰۸	۱/۸۷	۴/۸۸	۱/۷۶
۱۵	۱۵	۵/۹۷	۱/۸۵	۵/۶۰	۱/۶	۵/۳۴	۱/۶	۵/۱۶	۱/۶
۱۶	۱۶	۵/۹۷	۲/۱۵	۵/۶۰	۲	۵/۴۵	۱/۸۷	۵/۲۰	۱/۷۶
۱۷	۱۷	۵/۲۷	۲/۳	۵	۲/۱۵	۴/۷۷	۲	۴/۷۷	۱/۸۷
۱۸	۱۸	۶/۲۷	۲/۲	۵/۹۶	۲	۵/۵۰	۱/۸۷	۵/۳۲	۱/۶
۱۹	۱۹	۶/۱۵	۲/۰۷	۶	۱/۹	۵/۸	۱/۷	۵/۷	۱/۵
۲۰	۲۰	۵/۲	۲/۰۲۵	۵	۱/۸	۴/۸	۱/۵	۴/۶	۱/۵
۲۱	۲۱	۵/۲۷	۲/۲	۵	۲	۴/۸	۱/۸	۴/۵	۱/۵
۲۲	–	۵/۵	–	۵/۳	–	۵	–	۴/۸	–
۲۳	–	۴/۵۲	–	۴/۳۵	–	۴/۱۵	–	۴	–
۲۴	–	۴/۶	–	۴/۲	–	۴	–	۳/۸	–
۲۵	–	۴/۵	–	۴/۳	–	۴	–	۳/۹	–
۲۶	–	۴/۹۲	–	۴/۷۵	–	۴/۵	–	۴/۳۵	–
۲۷	–	۴/۷	–	۴/۵	–	۴/۳۵	–	۴/۱۵	–
۲۸	–	۴/۳۷	–	۴	–	۳/۸	–	۳/۶	–

تعداد بازه‌ی زمانی فرا رسیدن نقطه MAD برای گونه‌ی افرای سیاه و کاج تهران به ترتیب در طول دوره‌ی مطالعه (۱ خرداد تا ۳۰ آبان ماه) در عرصه، ۲۰ و ۱۳ دوره زمانی می‌باشد (جدول ۵). کمترین متوسط درصد رطوبت حجمی در تنش ۶ روزه، ۳/۲ و ۳/۶ درصد رطوبت حجمی، به ترتیب متعلق به گونه‌های افرای سیاه و کاج تهران بوده است. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که چون سطح معنی‌دار از ۰/۰۱ بزرگتر است، بنابراین با اطمینان ۹۹ درصد، فرض H_0 تأیید می‌شود، یعنی بین میانگین وزن گلدان در روزهای مختلف پس از فرا رسیدن نقطه MAD اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۵- تنش آبی گونه‌های افرای سیاه و کاج تهران از ۱ خرداد تا ۳۰ آبان در سطوح خشکی ۲، ۴ و ۶ روز در عرصه

تعداد بازه زمانی فرا رسیدن نقطه MAD		درصد رطوبت حجمی در نقطه MAD		درصد رطوبت حجمی ۲ روز بعد از MAD		درصد رطوبت حجمی ۴ روز بعد از MAD		درصد رطوبت حجمی ۶ روز بعد از MAD	
افرای سیاه	کاج تهران	افرای سیاه	کاج تهران	افرای سیاه	کاج تهران	افرای سیاه	کاج تهران	افرای سیاه	کاج تهران
۱	۱	-	-	-	-	-	-	-	-
۲	۲	-	-	-	-	-	-	-	-
۳	۳	-	۷/۳	-	۶/۸	-	۶/۳	-	۵/۷
۴	۴	۶/۷	۴/۳	۶/۲	۴	۵/۸	۳/۶	۵/۴	۳/۲
۵	۵	۸	۷/۱	۷/۷	۶/۷	۷/۳	۶	۶/۹	۵/۳
۶	۶	۷/۱	۶/۵	۶/۷	۶/۱	۶	۵/۵	۵/۵	۵
۷	۷	۷/۶	۵/۸	۷	۵/۲	۶/۴	۴/۷	۵/۶	۴/۱
۸	۸	۷	۴/۵	۶/۷	۴/۲۸	۶/۴	۴/۰۳	۶	۳/۹۱
۹	۹	۷/۳	۴/۱۰	۷	۴	۶/۶	۳/۹۱	۶/۲	۳/۸
۱۰	۱۰	۶/۵	۴/۴	۶/۲۷	۴/۱۰	۶	۴	۵/۹۱	۳/۸
۱۱	۱۱	۴/۳	۴/۲	۴/۱۳	۴	۳/۸۹	۳/۷۵	۳/۷۷	۳/۷۵
۱۲	۱۲	۴/۲	۴/۱۰	۴	۴	۳/۸۰	۳/۹۱	۳/۶	۳/۸۵
۱۳	۱۳	۴/۱۰	۴/۴	۴	۴/۱۰	۳/۸۰	۳/۹۱	۳/۶	۳/۸۵
۱۴	-	۴/۳۰	-	۴/۱۰	-	۴	-	۳/۸	-
۱۵	-	۵/۱۰	-	۵	-	۴/۸۰	-	۴/۶	-
۱۶	-	۵/۳۰	-	۵/۱۰	-	۵	-	۴/۸	-
۱۷	-	۴/۹۰	-	۴/۷۰	-	۴/۵	-	۴/۳۰	-
۱۸	-	۴/۷۰	-	۴/۵۰	-	۴/۳	-	۴/۱	-
۱۹	-	۴/۴	-	۴/۲۰	-	۴	-	۳/۸	-
۲۰	-	۴/۱۰	-	۴	-	۳/۸	-	۳/۶	-

بحث و نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر به منظور جلوگیری از آلودگی هوا و ایجاد محیط زیستی مناسب، نیاز شدیدی به توسعه‌ی فضای سبز در داخل و حومه شهرها احساس گردیده (Porrostami, *et al.*, 2020) که این امر مخزن جدیدی برای مصرف آب به وجود آورده است. تخصیص آب برای ایجاد فضای سبز مخصوصاً در مناطق خشک و بیابانی با مشکلاتی روبرو است، چون در این مناطق منابع آب شدیداً محدود بوده و تخصیص آب به فضای سبز در رقابت شدیدی با سایر موارد مصرف چون کشاورزی، صنعت و حتی آب شرب می‌باشد (Amir Mohammadkhani *et al.*, 2020). میزان آب وارد شده به منطقه ریشه به‌عنوان مهم‌ترین شاخص رشد و استقرار طولانی مدت گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح است (Djazirehi, 2010).

نتایج این تحقیق نشان داد که نیاز آبی هر دو گونه مورد مطالعه در هر دو محیط فضای باز و گلخانه در فصل تابستان، به طور ویژه مرداد ماه بیشترین مقدار بوده است که افزایش این مقدار تحت تاثیر دمای هوا می‌باشد. نیاز آبی ماهیانه گونه‌ی افرای سیاه در هر دو محیط گلخانه و عرصه در آبان ماه در حداقل مقدار قرار دارد که به ترتیب برابر با ۲۲۲ میلی‌متر و ۱۹/۴ میلی‌متر بوده است. به نظر می‌رسد دلیل این امر توقف فرآیند فتوسنتز و پیری و خزان برگ‌ها در فصل پاییز باشد که این امر را مطالعه‌ی Ahmadaali *et al.* (2021) تایید می‌نماید. اما این شرایط برای گونه‌ی کاج تهران رخ نداده است، یعنی کاهش نیاز آبی ماهیانه در آبان ماه روی داده اما بسیار چشمگیر نسبت به سایر ماه‌ها نبوده است که شاید همیشه سبز بودن گیاه و به حداقل رسیدن فتوسنتز و برگ‌زایی در فصل پاییز (درحالیکه برای سایر درختان خزان کننده صفر است) دلیل این امر باشد.

نتایج این تحقیق نشان داد که گونه‌ی کاج تهران به عنوان یک گونه‌ی همیشه سبز، بیشترین بردباری را در برابر کمبود آب داراست و کمترین نیاز آبی را نسبت به گونه دیگر دارد که این

امر با مطالعه (Zehtabian and Farshi, 1999) مطابقت دارد. در این پژوهش شش نوع پوشش گیاهی برای فضای سبز در نظر گرفته شد که کاج تهران در کنار سرو شیراز و سرو نقره‌ای در گروه درختان سوزنی برگ همیشه سبز قرار گرفت که در این گروه نیاز آبی کاج تهران از همه کمتر بود. برای گونه‌ی کاج تهران، سریع‌ترین زمان رسیدن به نقطه‌ی MAD، هفت روز در گلخانه و نه روز در عرصه بود؛ بدین ترتیب که پس از گذشت هفت روز در گلخانه و گذشت نه روز در عرصه باید اقدام به آبیاری کاج تهران نمود. این بدان معنی است که در گلخانه، نهال زودتر (دو روز) نسبت به عرصه به آبیاری نیاز دارد. همچنین، در گونه‌ی کاج تهران بیشترین مقدار رطوبت اولیه گلدان در گلخانه و عرصه به ترتیب برابر با ۵/۷۵ (کیلوگرم) و ۴۳ (درصد رطوبت حجمی) و کمترین مقدار رطوبت گلدان در گلخانه و عرصه به ترتیب برابر با ۲/۴۲ (کیلوگرم) و ۷/۳ (درصد رطوبت حجمی) بود. در مطالعات بسیاری اعمال تنش کم آبیاری سبب کاهش چشمگیر شاخص‌های عملکرد از قبیل ارتفاع، طول و قطر شاخه و قطر یقه شده است که با نتایج گزارش شده در گونه‌های مختلف گیاهی همخوانی دارد از جمله بررسی سطوح مختلف آبیاری بر میزان آستانه تحمل به خشکی زرشک زینتی نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی ارتفاع بوته کاهش یافت و می‌توان با حفظ شاخص‌های مهم فضای سبز مقدار مصرف آب گیاه زرشک را به ۶۰ درصد نیاز آبی کاهش داد (Setayesh *et al.*, 2016)، همچنین کاهش چشمگیر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های بنه در اثر کم آبیاری گزارش شده است (Delafan Azari *et al.*, 2018)، تنش خشکی نیز سبب کاهش رشد رویشی در گیاهان می‌شود و گیاهان در مواجهه با شرایط تنش‌زا، از ساز و کارهای مختلفی از قبیل تغییر در میزان رشد اندام‌های مختلف گیاهی بهره می‌گیرند به طور مثال کاهش تاج درخت و کاهش رویش قطری (Babadaei Samani and Ghattaly, 2015) و ارتفاعی (Ahmadloo *et al.*, 2011) در پی کم آبی بوده است که به طور کلی در نتیجه‌ی تنش آبی طولانی مدت، سازوکاری تدافعی توسط گیاه در مقابله با تنش خشکی است (Dichio *et al.*, 2000). در شرایط بی‌آبی در مطالعه حاضر، تغییر رنگ برگ‌های مرکب شانه‌ای فرد افرای سیاه و به سرعت زرد شدن و خزان زودرس برگ‌ها در هر زمانی که گیاه در وضعیت تنش آبی قرار داشت، بسیار مشهود بود. غالباً این شرایط در تنش آبی ۶ روز پس از فرا رسیدن نقطه‌ی MAD روی می‌داد که این امر با مطالعه ی (Abdollahi *et al.*, 2011) همسو است که دلیل این امر تاثیر مهم آب در متابولیسم گیاه است. همواره خزان زودرس و ریزش برگ‌ها سازوکار موثری برای کاهش تعرق و اختلاف پتانسیل بین ریشه‌ها و برگ‌هاست که در شرایط تنش آبی توسط گیاهان اعمال می‌شود (Delfan Azari *et al.*, 2018). همچنین در پژوهش‌های دیگری نشان داده شده است که در اثر اعمال تنش خشکی از شادابی برگ‌ها کاسته شده (Setayesh *et al.*, 2016; Delfan Azari *et al.*, 2019) که این موضوع با کاسته شدن از شادابی برگ‌های افرای سیاه در اثر اعمال تنش خشکی مطابقت دارد. گرچه در این پژوهش به نظر می‌رسد که علاوه بر تنش آبی، در خزان زودرس و ریزش برگ‌ها در فصل تابستان، افزایش دمای هوا نیز موثر باشد. Delfan Azari *et al.* (2018) نشان دادند که به طور کلی بررسی روند میزان رشد ارتفاع و قطر نهال‌های کاج تهران در ماه‌های مختلف در اواسط فصل رشد از رشد قطری و ارتفاعی کاسته شده و کمترین میزان رشد قطری و ارتفاعی نهال‌های کاج تهران در تیر ماه بود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد برای گونه‌ی افرای سیاه، سریع‌ترین زمان رسیدن به نقطه‌ی MAD، چهار روز در گلخانه و شش روز در عرصه است. در گونه ی افرای سیاه بیشترین مقدار رطوبت اولیه گلدان در گلخانه و عرصه به ترتیب برابر با ۸/۸۷ (کیلوگرم) و ۴۶/۷۳ (درصد رطوبت حجمی) و کمترین مقدار رطوبت گلدان در گلخانه و عرصه به ترتیب برابر با ۶/۵۵ (کیلوگرم) و ۸ (درصد رطوبت حجمی) بود (جدول ۳). Delafan Azari *et al.* (2018) در مطالعه‌ای به منظور برآورد نیاز آبی و ارزیابی سطوح مختلف آبیاری بر پارامترهای رشدی نهال‌های کاج تهران در طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در استان تهران نشان دادند که بیشترین دور آبیاری (بر حسب روز) مربوط به ماه‌های فروردین و مهر ماه سال ۱۳۹۶ برابر با ۱۹ روز است. همچنین بیشترین و کمترین نیاز آبی روزانه (میلی‌متر/روز) ۰/۵۳ (نیاز خالص آبیاری ۴/۷۷ میلی‌متر، نیاز ناخالص آبیاری ۵/۹۶ میلی‌متر و حجم ناخالص آبیاری ۷۱/۵۵ لیتر در دور آبیاری) مربوط به خرداد ماه ۱۳۹۶ و ۰/۲۴ (نیاز خالص آبیاری ۳/۸۴ میلی‌متر، نیاز ناخالص آبیاری ۴/۸ میلی‌متر و حجم ناخالص آبیاری ۵۷/۶ لیتر در دور آبیاری) مربوط به مهر ماه ۱۳۹۵ می باشد. Dehghan *et al.* (2016) نیز در مطالعه‌ای نشان دادند که تنش خشکی بر رشد طولی (ارتفاعی) نهال‌های کاج سیاه اثر منفی دارد. بطور کلی نتایج این پژوهش نشان داده است که در بین نهال‌های افرای سیاه و کاج تهران مورد استفاده قرار گرفته در این پژوهش بر حسب شدت نیاز آبی و دور آبیاری از زیاد به کم در عرصه و گلخانه گونه افرای سیاه و کاج تهران به ترتیب رتبه‌بندی می‌شوند. گونه‌ی کاج تهران کمترین نیاز آبی و بیشترین بردباری را در برابر بی‌آبی دارا است، این در حالی است که گونه افرای سیاه بردباری کمتری در برابر بی‌آبی را داشته و بیشترین نیاز آبی را دارد.

امروزه شاهد گسترش سرانه‌ی فضای سبز با ایجاد جنگل‌کاری‌ها، توسعه فضای سبز شهری، ایجاد کمان‌ها و کمربندهای سبز و توسعه پارک‌های درون و برون شهری می باشیم که موضوع آبیاری و نیاز آبی آنان به دغدغه‌ای بزرگ تبدیل شده است. پیشنهاد می‌شود نوع گیاهان موجود در این محیط‌ها به نحوی انتخاب شوند که علاوه بر سازگار بودن با اقلیمی که در آن کاشته می‌شوند، نیاز آبی کمتری داشته باشند و یا به تعبیری نسبت به سایر گیاهان آب مصرفی کمتری را در طول زمان مصرف کنند. البته پر واضح است که در کنار بحث نیاز آبی باید همواره بر تنوع گونه‌ای درختان در فضای سبز به‌ویژه در موضوع زیبایی بصری، ترسیب کربن و گیاه پالایی تأکید نمود. شایان ذکر است که نتایج مطالعات حاصل از تعیین نیاز آبی و دور آبیاری گونه‌های درختی نظیر مطالعه‌ی حاضر، در آبیاری بهینه‌ی فضاهای سبز شهری و جنگلکاری‌ها، صرفه‌جویی در مصرف آب و سایر هزینه‌ها در نهالستان‌های واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک، پرهیز از کم آبیاری و پرآبیاری توسط سازمان فضای سبز شهرداری‌ها و برنامه‌ریزی، طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی و مدیریت طرح‌های آبیاری کاربرد دارد.

سپاس‌گزاری

نویسندگان از همکاری سازمان فضای سبز شهرداری رباط‌کریم و مدیرعامل وقت سازمان، آقای مهندس هادی اصغری، استاد فقید دکتر قوام‌الدین زاهدی امیری، آقایان احمد عسگری، رضا سعادتمندی، دکتر الیاس حیاتی و خانم اعظم اسکندری‌راد، عضو وقت شورای اسلامی شهر رباط‌کریم نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abdollahi, P., Soltani, A., Beigi Harchegani, H. (2011). Evaluation of salinity tolerance in four suitable tree species in urban forestry, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19 (3), 265- 282. (In Farsi)

Ahmadaali, Kh., 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 Farsi)

Ahmadloo F., Tabari, M., Behtari. B. (2011). Effect of Water Stress on Some Physiological Characteristics of *Pinus brutia* and *P. halepensis* Seeds, *Iranian Journal of Biology*, 24 (5). 728-736. (In Farsi)

Amir Mohammadkhani, A., Pourgholam-Amiji, M., Sohrabi, T. and Liaghat. A. (2020). The Effect of Different Levels of Water Stress in Two Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems on Yield and Water Productivity of Maize, *Journal of water management and irrigation*, 10 (2),; 247- 267. (In Farsi)

Asgari, M., Javanmiri Pour, M., Etemad, V., Liaghat, A. (2021). Evaluation of water requirement of *Fraxinus rotundifolia* Mill and *Morus alba* under different water stresses in arid region (Case studty: Robat Karim city), *Journal of Ecohydrology*, 8 (1), 161-176. (In Farsi)

Babadaei Samani, R. and Ghattaly, A. (2015). Effect of irrigation intervals and different mulches on some vegetative and reproductive characteristics of zinnia (*Zinnia elegans*), *Journal of Plant Ecophysiology*, 7 (23); 204- 215. (In Farsi)

Costello, L., Matheny, N., Clark, J. (2000). A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California the landscape coefficient method and WUCOLS III** WUCOLS is the acronym for water use classifications of landscape species", University of California Cooperative Extension California Department of Water Resources August WUCOLS 2000.

Dehghan, S., Tabari Kochak Saraei, M. and Jalali, Gh. (2016). Effect of SiO2 NPS nanoparticles on morphophysiological characteristics of *Pinus nigra* under drought stress, *Forest Research and Development*, 2 (3), 289- 299. (In Farsi)

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

Delfan Azari, N., Rostami Shahraji, T., Gholami, V., Hashemi Garmdareh, S. E. (2019). The effect of different irrigation levels on growth parameters of ash (*Fraxinus rotundifolia* Mill) seedlings in green space of Tehran city, *Journal of Forest Research and Development*, 5 (2): 229-244. (In Farsi)

Dichio, B., Romano, M., Nuzzo, V., & Xiloyannis, C. (2000). Soil water availability and relationship between canopy and roots in young olive trees (cv Coratina). Acta Horticulturae, 586, pp 419–422.

Djazirehi, M.H. (2010). To afforest in arid environment. University of Tehran press, 532 page. (In Farsi)

Mozaffarian, V. (2016). Trees and shurbs of Iran. Farhang Moaser. (In Farsi)

Porrostami, R., Zahedi Amiri, Q., and Etemad, V.(2020). Spatial variability of carbon storage and sequestration in leaf litter and layers of soil in the forest area of Jahannama Park, *Iranian Journal of Forest*, 12 (3), pp. 317-330. (In Farsi)

Rad, M. H., Jaimand, K., Assareh, M.H., Soltani, M. (2009). Effects of drought stress on the quantity and quality of essential oil and water use

efficiency in Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.), *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 29 (4): 772-782. (In Farsi)

Rad, M. (2019). Water requirement of some species which they used in arid and semi-arid afforestation, *Jornal of Iranian Nature*, 3 (4), 40-47. (In Farsi)

Rahimi, H., Estimation of water requirement of *Cercis siliquastrum* and *Melia azaderakh* seedlings under soil texture and drought stress treatments, M.Sc Thesis, Faculty of Natural Resources, 2019, University of Tehran. (In Farsi)

Setayesh, R., Kafi, M., Nabati, J. (2017). Evaluation of Drought Stress Thresholds in Ornamental Barberry (*Berberis thunbergii* cv. Atropurpurea) Shrub in Mashhad Condition, *Journal of horticulture science*, 10 (4): 714-722. (In Farsi)

Sojoodi, Z., Mirzaei, F. (2020). Determination of Water Requirement of Urban Landscape Plants, *Journal of Water and Irrigation Management*, 10 (1): 131-141. (In Farsi)

Zehtabian, G., Farshi A. (1999). An estimate of water requirement of green areas plants in arid zones (case study: Kashan). Iranian Journal of Natural Research, 52 (2): 63-75. (In Farsi)