Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

CC BY

Research Article
Vol. 36, No. 1, March-April 2022, p. 1-15

Evapotranspiration Estimation at Landscape Scale by WUCOLS, PF and IPOS Methods (Karaj)

Z. Sojoodi[1], H. Shokati[2], Y. Sojoodi[3], M. Mashal[4*]

Received: 29-12-2020
Revised: 02-02-2022
Accepted: 08-03-2022
Available Online: 20-05-2022

How to cite this article:
Sojoodi Z., Shokati H., Sojoodi Y., and Mashal M. 2022. Evapotranspiration Estimation at Landscape Scale by WUCOLS, PF and IPOS Methods (Karaj). Journal of Water and Soil 36(1): 1-15. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/JSW.2022.73984.1119

Introduction

The constructive effects of green spaces on the quality and livability of the urban environment have been reported in many studies. Therefore, using methods that can accurately estimate the evaporation of transpiration in green space can help to reduce water loss. The purpose of estimating water demand for urban green space is also different from the purpose of determining water demand for an agricultural farm. In urban green space, the goal is to maintain good growth, appearance and acceptable plant health, while biomass production is the main goal on agricultural farms. Therefore, urban green space can typically be managed using an irrigation area that is less than the amount of water needed to produce agricultural products. Due to the limited water resources in arid areas, the use of less irrigation in urban green space can be desirable to save water consumption.

Materials and Methods

The Wucols method for estimating Water requirements in green space was developed by Castello et al. (4). They developed the Wucols water taxonomy guidelines for planting green space in California. The Wucols method estimates evapotranspiration in green space using reference evapotranspiration and a set of coefficients (Species factor, density factor and microclimate factor). PF method is the minimum acceptable irrigation for green space plants that emphasizes maintaining the beauty of the plant. In this method, the water required by green space plants is considered as a percentage of ET_0 so as not to reduce their appearance and performance. In this approach, PF is a regulatory factor that is actually considered instead of K_c and multiplied by ET_0, except that the emphasis is on the appearance of the plant and not on its optimal growth and yield. The IPOS method has been developed by the Government of South Australia for planning and managing water needs in public open spaces, especially sports lawns and amusement parks. In this method, the water requirement of grass in urban open space is calculated. In this method, plant transpiration evaporation (ET_L) is calculated by multiplying reference transpiration evaporation factors (ET_0) by grass vegetation coefficient (K_c) by plant stress factor (Kst).

Results and Discussion

The results showed that the highest rate of evapotranspiration obtained by Wucols method was 83.38 mm during 21 Jun-21 Jul. Also, the rate of transpiration evaporation during one year of the experimental period was estimated to be 556.5 mm. The results of estimation of transpiration evaporation by PF method also show the maximum amount of transpiration evaporation during 21 Jun-21 Jul and is 75.55 mm. The evapotranspiration rate during one year was estimated to be 505.9 mm. For the Ipos method, the highest rate of transpiration evaporation was estimated to be 36.38 mm during 21 Jun-21 Jul and 242.9 mm during the experimental period. Gross irrigation requirement is estimated by considering 70% irrigation efficiency for each month using all three methods. For the Wucols method, the gross irrigation need during one year was estimated to be 794.8 mm. For the PF method was

1- Ph.D. Student in Water Science and Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Ph.D. Student in Irrigation and Drainage Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
3- Graduated with a Master's Degree in Energy Systems Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
4- Associate Professor, Department of Water Engineering, Abu Reihan College, University of Tehran, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: mmashal@ut.ac.ir)

722.7 mm and for the IPOS method was 346.9 mm. According to the reported irrigation records for the study area, which is 900 mm per year, the Wucols method had the closest result to the irrigation records.

Conclusion

The results showed that the Wucols method has the best and closest estimate according to the irrigation records of the study area. The gross irrigation requirement calculated by the Wucols method during a year is 794.8 mm, which is 12% less than the gross annual irrigation requirement of the studied green space. While PF and IPOS methods determined the amount of gross demand 20 and 62% less than the annual irrigation rate in the region, respectively. The results of this study show that the Wucols method for estimating the water requirement of plants in urban green space where there is a combination of different plant species is more reliable than the PF and IPOS methods due to the diversity of species, vegetation density and different climates.

Keywords: Agriculture, Climate, Vegetation, Water Requirements

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۱، فروردین- اردیبهشت ۱۴۰۱، ص ۱-۱۵

برآورد تبخیر تعرق در فضاهای سبز با روش‌های WUCOLS، PF و IPOS (کرج)

زینب سجودی[۱]- هادی شوکتی[۲]- یاسر سجودی[۳]- محمود مشعل[۴*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷

چکیده

فضاهای سبز شهری در افزایش رطوبت نسبی، کاهش دما و تلطیف هوای کلان شهرها، کنترل تشعشعات خورشید و جلوگیری از بازتاب نورهای مزاحم موثر هستند. با توجه به اهمیت توسعه و حفظ فضاهای سبز در شهرها مصرف آب جهت آبیاری آن‌ها افزایش پیدا می‌کند از طرفی دیگر با توجه به منابع محدود آب، تخمین مناسب نیاز آبی فضای سبز نیازمند توجه ویژه است. در فضاهای سبز گونه‌های گیاهی متفاوت با نیاز آبی مختلف در کنار هم و به صورت مختلط کشت می‌شوند و عدم توجه به این موضوع باعث هدر رفت آب خواهد گردید. بنابراین با استفاده از روش‌هایی که بتوانند تبخیر- تعرق را در فضای سبز به درستی و با دقت بیشتر برآورد نمایند می‌توان به کاهش اتلاف آب کمک کرد. در این مطالعه میزان آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران با استفاده از سه روش Wucols، Pf و Ipos به مدت یک سال از فروردین تا اسفند ۱۳۹۹ برآورد گردید. میزان نیاز ناخالص آبیاری با روش‌های Wucols، Pf و Ipos به ترتیب برابر با ۷۹۴/۸، ۷۲۲/۷و ۳۴۶/۹ میلی‌متر محاسبه شد. نتایج نشان داد که روش Wucols به دلیل در نظر گرفتن پارامترهای بیشتر نظیر گونه گیاهی، تراکم پوشش گیاهی و ریزاقلیم دقت بیشتری در مقایسه با سایر روش‌های بر آورد نیاز آبی دارد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، پوشش گیاهی، کشاورزی، نیازآبی

مقدمه

رشد سریع جمعیت جهان و متناسب با آن افزایش نیاز آبی اعم از مصارف شرب، صنعت، کشاورزی و توسعه شهری، ضرورت برنامه‌ریزی در جهت استفاده بهینه از آن را ایجاب می‌کند. از طرفی تأثیرات سازنده فضاهای سبز بر کیفیت و زیست‌پذیری محیط شهری در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Robitu *et al.*, 2006; Petralli *et al.*, 2014; Ozdogan *et al.*, 2010; Kjelgren *et al.*, 2000). در یک محیط خشک شهری این تأثیرات می‌توانند بیشتر آشکار شوند زیرا در آن سطح بالای آلودگی، میزان بارندگی پایین و الگوی گرمایی روزانه برجسته‌تری وجود دارد (Pearlmutter *et al.*, 2007, Rosenfeld, 2000). فضای سبز شهری می‌تواند اثر جزیره گرمایی شهری را کاهش (South Australian Water Corporation-IPOS Consulting, 2008)، آسایش حرارتی را افزایش (Petralli *et al.*, 2014) و آلودگی هوا را کاهش دهد (Edem *et al.*, 2014). به طور کلی، در یک محیط شهری کمبود فضای سبز اغلب منجر به آلبیدو (در صد بازتاب نور) زیاد، وزش باد شدید و طوفان یا گرد و غبار مکرر می‌شود (Pearlmutter *et al.*, 2007). بنابراین ایجاد، حفاظت و مدیریت فضای سبز شهری به ویژه در مناطق خشک به منظور اصلاح تعادل انرژی شهری ضروری است (Shojaei *et al.*, 2018). تبخیر تعرق عامل مهمی است که بر شادابی و عملکرد فضاهای سبز شهری تأثیر می‌گذارد (Marasco *et al.*, 2015). برنامه‌ریزی صحیح مصرف آب در بخش فضای سبز بسیار مهم است، خصوصاً فضاهای سبز در مناطق خشک و نیمه خشک که دارای مشکل کمبود آب هستند. برخلاف محصولات کشاورزی، فضای سبز ترکیبی از گونه های مختلف گیاهی است که

۱- دانشجوی دکتری علوم مهندسی آب، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳- کارشناسی ارشد در رشته مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
۴- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: mmashal@ut.ac.ir

DOI: 10.22067/JSW.2022.73984.1119

هر یک از آن‌ها نیاز آبی متفاوتی دارند (Wolf and Lundholm, 2008). برآورد تبخیر- تعرق فضای سبز شهری در مقایسه با یک مزرعه کشاورزی به دلیل ناهمگن بودن گیاهان، فضای سبز کوچک و جداگانه و وجود اقلیم‌های مختلف دشوار است (Litvak and Pataki, 2016). هدف از برآورد نیاز آبی برای فضای سبز شهری نیز با هدف از تعیین نیاز آبی برای یک مزرعه کشاورزی متفاوت است. در فضای سبز شهری هدف حفظ رشد خوب، شکل ظاهری و سلامتی قابل قبول گیاهان است، در حالی که تولید بیوموس هدف اصلی در مزارع کشاورزی است. بنابراین، فضای سبز شهری را می‌توان به طور معمول با استفاده از سطحی از آبیاری که کمتر از مقدار آب مورد نیاز برای تولید محصولات کشاورزی است، مدیریت کرد (Costello *et al.*, 2000; Allen *et al.*, 2011). با توجه به محدودیت منابع آب در مناطق خشک، استفاده از میزان آبیاری کمتر در فضای سبز شهری می‌تواند برای صرفه جویی در مصرف آب مطلوب باشد (Nouri *et al.*, 2013). روش‌های مختلفی برای برآورد تبخیر- تعرق در فضای سبز شهری توسط نوری و همکاران (Nouri *et al.*, 2013) مورد بحث قرار گرفته است و مزایا و معایب هر روش به طور جامع بررسی شده است.

برخی از روش‌های مبتنی بر فاکتور یا عامل وجود دارند که انواع مختلفی از ضرایب را تولید می‌کنند تا تمام این تأثیرات را در تعیین نیاز آبی فضای سبز شهری منعکس نمایند، مانند طبقه‌بندی استفاده از آب در فضای سبز (Wucols)[1] (Costello *et al.*, 2000)، برنامه مدیریت آبیاری فضای سبز (Limp)[2] (Snyder and Eching, 2005; Snyder, 2010)، روش Ipos[3] (South Australian Water Corporation-IPOS Consulting, 2008) و روش عامل گیاه (Pf)[4] (Hilaire *et al.*, 2018; Pittenger *et al.*, 2001; Pittenger *et al.*, 2008; Shaw and Pittenger, 2004). شجاعی و همکاران (Shojaei *et al.*, 2018) در مطالعه‌ای دو روش مبتنی بر عامل Wucols و Limp را برای اندازه‌گیری تقاضای آب در دو فضای سبز ناهمگن شهری (یک باغ گیاهشناسی و یک پارک جنگلی) در اصفهان را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، روش Wucols میزان آب مورد نیاز باغ گیاه شناسی و پارک جنگلی را به ترتیب ۵ و ۴۴ درصد کمتر از روش Limp تخمین زد. نوری و همکاران (Nouri *et al.*, 2013) تبخیر- تعرق را در پارک‌لند[5]های استرالیای جنوبی با استفاده از سه روش Wucols، Ipos و Pf برآورد کردند. نتایج نشان داد که روش Ipos تبخیر- تعرق را کمتر از روش Wucols تخمین می‌زند و روش Wucols بالاترین برآورد نیاز آبی را دارد. سجودی و میرزایی (Sojoodi and Mirzaei, 2020) در پژوهشی تبخیر- تعرق فضای سبز شهری در شهر کرج را با استفاده از دو روش Wucols و بیلان آب تخمین زدند. نتایج تحقیق نشان داد که روش Wucols میزان تبخیر- تعرق را کمتر از روش بیلان آب برآورد کرده و سلامت و زیبایی ظاهری گیاهان حفظ و از هدررفت آب جلوگیری می‌شود. در تحقیق دیگری سجودی و میرزایی (Sojoodi and Mirzaei, 2020) نیاز آبی و ضرایب گیاهی گیاه همیشه بهار را در دو ریزاقلیم متفاوت با استفاده از دو روش Wucols و بیلان آب برآورد کردند. سعیدی‌نیا و همکاران (Saeedinia *et al.*, 2018) تبخیر- تعرق دو گونه بابونه و زیره سبز را با استفاده از لایسیمتر برآورد کردند. نوری و همکاران (Nouri *et al.*, 2016) روش‌های مختلف از جمله روش‌های سنجش از دور، روش Wucols و روش بیلان آب را برای تعیین تبخیر- تعرق در فضای سبز شهری مورد بررسی قرار دادند. در تحقیقات انجام شده نیاز آبی گیاهان در فضای سبز برای یک یا چند گونه گیاهی به طور مجزا و با یک روش برآورد شده است. هدف از این پژوهش تعیین تبخیر-تعرق با استفاده از سه روش برای سطح بزرگتری از فضای سبز است که شامل انواع گونه‌های گیاهی می‌باشد.

تبخیر- تعرق محصولات کشاورزی

میزان تقاضای آب گیاه مستقیماً به مقدار آبی که از طریق فرآیند تبخیر- تعرق از بین می‌رود ارتباط دارد. مقدار کل آب از دست رفته در طی مراحل رشد گیاه شامل آبی است که به عنوان بخار از طریق تبخیر از خاک به همراه تعرق از گیاه به هوا باز می‌گردد (Doorenbos *et al.*, 1977). پارامترهای هواشناسی، عوامل گیاهی، مدیریت زراعی و محیطی از جمله عوامل مؤثر بر هر یک از اجزای تبخیر تعرق می‌باشند (Allen *et al.*, 1998). تبخیر- تعرق مرجع اغلب به عنوان یک پارامتر اساسی برای محاسبه نیاز آبی گیاهان فضای سبز و کشاورزی استفاده می‌شود تبخیر- تعرق یک محصول خاص با تعیین ضریب گیاهی و تبخیر- تعرق مرجع محاسبه می‌شود. دما، رطوبت، سرعت باد و تابش پارامترهای مهم آب و هوایی موثر بر میزان تبخیر- تعرق هستند (Hama *et al.*, 2011). به منظور در نظر گرفتن این داده‌های آب و هوایی، تبخیر - تعرق مرجع معرفی شده تا نشان دهنده تبخیر- تعرق از یک سطح محصول استاندارد باشد. نوع محصول، اندازه، مرحله رشد، سیستم ریشه زایی، پوشش گیاهی و ارتفاع بوته برای پیش‌بینی میزان تبخیر- تعرق محصول مورد نیاز است. رابطه بین داده‌های آب و هوایی و ویژگی‌های محصول با معادله (۱) بیان می‌شود:

1- Water Use classification of landscape species
2- Landscape irrigation management program
3- Irrigated Public Open Space
4- Plant factor
5- Parkland

$$ET_{crop} = ET_0 \times K_c \quad (۱)$$

در این معادله ETc تبخیر- تعرق گیاه، ET_0 تبخیر تعرق مرجع و K_c ضریب گیاهی می‌باشد. بیشترین تأثیر اقلیم، در تبخیر- تعرق گیاه مرجع گنجانده شده است. بنابراین، همان طور که تبخیر- تعرق مرجع نمایه‌ای از تقاضای تبخیر در اقلیم مشخص است، ضریب گیاهی، به طور عمده، به ویژگی‌های گیاه و به طور محدودتر، به اقلیم بستگی دارد (Allen *et al*., 1998).

تبخیر- تعرق گیاهان فضای سبز

برآورد نیاز آبی در فضای سبز به سه دلیل مهم است: ۱. آب یک منبع طبیعی محدود است. استفاده کارآمد از آب در فضای سبز شهری به میزان قابل توجهی به حفاظت از این منبع کمک می‌کند. راندمان استفاده از آب تنها با تأمین مقدار آب کافی برای تأمین نیازهای گیاه قابل دستیابی است. ۲. هزینه‌های تامین آب در حال افزایش است. لذا فقط با استفاده از آن مقدار آب مورد نیاز فضاهای سبز، و جلوگیری از استفاده زیاد، می‌توان از نظر اقتصادی نیز هزینه‌ها را کاهش داد. ۳. با شناسایی و تأمین نیازهای گیاه می‌توان صدمه به گیاه را که ناشی از کمبود آب یا مازاد آن است، کاهش داد (Costello *et al*., 2000). کاستلو و جونز (Costello and Jones, 1994) برای دستیابی به رشد مطلوب گیاه در فضای سبز، روشی عملی را ایجاد کردند که به عنوان طبقه‌بندی استفاده از آب در فضای سبز (Wucols) شناخته می‌شود. روش Wucols مبتنی بر رویکرد مورد استفاده در تخمین آب مورد نیاز گیاهان زراعی (FAO-56) است و این روش یک ضریب فضای سبز، متشکل از یک عامل گونه، یک عامل تراکم و یک عامل مربوط به اقلیم را در نظر می‌گیرد. یک کمیته متخصص گونه‌های مختلف گیاهی را در دسته‌های مختلف از نظر نیاز آبی که مربوط به ضرایب گیاهی آن‌ها است، طبقه‌بندی نمودند. این گیاهان به صورت تجربی براساس ارزیابی مزرعه‌ای تعیین شدند. در این روش تراکم پوشش گیاهی و ریزاقلیم نیز از طریق مشاهدات میدانی ارزیابی می‌شوند.

همچنین می توان از روش فاکتور گیاه (Pf) یا "فاکتور استفاده از آب توسط گیاه" (آب مصرفی گیاه) استفاده کرد. Pf به عنوان مقدار آبی تعریف می‌شود که به عنوان درصدی از ET_0 نشان داده شده که برای حفظ حداقل عملکرد گیاه و حداقل عملکرد زیبایی قابل قبول به جای تأمین رشد و نمو مطلوب مورد نیاز است. روش (Ipos) از یک عامل تنش گیاه (Kst) استفاده می‌کند. Ipos توسط دولت استرالیای جنوبی به عنوان بخشی از استراتژی مورد تایید آب آدلاید برای تعیین چارچوبی برای اطمینان از مصرف آب به طور کارآمد در آبیاری فضای سبز شهری پشتیبانی می‌شود. این روش بیشتر به چمنزارها می‌پردازد تا به درختان و بوته‌ها (South Australian Water Corporation-IPOS Consulting, 2008). روش دیگر یک روش کمی با عنوان برنامه مدیریت آبیاری فضای سبز (Limp) است که برای برآورد تبخیر- تعرق فضای سبز توسط اسنایدر و اچینگ (Snyder and Eching, 2005) پیشنهاد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

این پژوهش در فضای سبز دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در کرج انجام شده است. شهر کرج (عرض جغرافیایی: ۳۵ ° ۴۸ ′ ۴۵ ″ شمال شرقی، طول جغرافیایی: ۵۱ ° ۰ ′ ۳۰ ″) در ارتفاع ۱۲۹۷ متر از سطح دریا در شمال غربی ایران واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه در کرج ۲۵۱ میلی‌متر است. فصل زمستان با ۴۲،۳ درصد و فصل تابستان با ۱/۵ درصد بیشترین و کمترین سهم را در بارش سالانه بر عهده دارند. حداقل و حداکثر مطلق دما به ترتیب ۲۰- و ۴۲ درجه و میانگین سالانه نیز ۱۴/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. گونه‌های گیاهی موجود در فضای سبز دانشکده شامل افرای سیاه، پنیرک آفریقایی، زرشک زینتی، شمشاد ژاپنی، همیشه بهار، دانه مرغ، شیپوری بنفش، سرو شیراز، میخک، سنجد زینتی، یاس زرد، زبان گنجشک و چمن می‌باشند. شکل ۱ منطقه مطالعه را نشان می‌دهد.

شکل ۱- تصویر هوایی از دانشکده کشاورزی کرج

Figure 1- Aerial photo of Karaj Department of Agriculture and Natural Resources

روش Wucols

روش Wucols برای تخمین نیاز آبی در فضای سبز توسط کاستلو و همکاران (Costello *et al.*, 2000) ایجاد شده است. آن‌ها دستورالعمل طبقه بندی استفاده از آب گونه‌های فضای سبز (Wucols) را برای کاشت فضای سبز در کالیفرنیا تهیه کردند. روش wucols با استفاده از تبخیر- تعرق مرجع و مجموعه‌ای از ضرایب، تبخیر-تعرق را در فضای سبز برآورد می‌کند که با معادله (۲) نشان داده شده است.

$$ET_L = ET_0 \times K_L \qquad (۲)$$

در این معادله ET_L تبخیر- تعرق در فضای سبز، ET_0 تبخیر- تعرق مرجع و K_L ضریب گیاهی در فضای سبز می‌باشد.

ضریب فضای سبز از سه عامل گونه، عامل تراکم و عامل ریزاقلیم تشکیل می‌شود. از فاکتور گونه (k_s) برای محاسبه تفاوت در نیاز آبی گونه گیاه استفاده می‌شود. معمولا مجموعه‌های فضای سبز دارای گونه‌های متفاوت می‌باشند که در داخل یک منطقه و به صورت مشترک آبیاری می‌شوند. این گونه‌های مختلف هرکدام دارای نیاز آبی متفاوتی هستند. دامنه عامل گونه از ۰/۱ تا ۰/۹ متغیر بوده و در ۴ گروه گونه‌های با نیاز آبی خیلی کم (K_s کمتر از ۰/۱)، کم (۰/۱-۰/۳)، متوسط (۰/۴-۰/۶) و زیاد (۰/۷-۰/۹) طبقه‌بندی می‌شود. از میان ۱۸۰۰ گونه فضای سبز که برآورد ضرایب روش Wucols برای آن‌ها انجام شده است، ۶ گونه به عنوان نمونه در جدول ۱ آورده شده است. در این جدول مناطق از نظر آب و هوایی به ۶ منطقه شامل مناطق ساحلی و شمالی با آب و هوای معتدل و مرطوب، مناطق مرکزی با آب وهوای معتدل، مناطق ساحلی و جنوبی با رطوبت و میانگین دمای بالا تقسیم شده‌اند. همچنین علائم نیاز آبی در این جدول به‌صورت: H: نیاز آبی بالا، M: متوسط، L: کم، /: نامناسب برای منطقه مورد نظر و VI: بسیار کم طبقه‌بندی شده است. انواع گیاهان نیز به این صورت نشانه‌گذاری شده‌اند: T: درخت، S: بوته، V: تاک، GC: گیاه پوششی، P: چندساله و Bi: دوساله (Costello *et al.*, 2000). هنگامی‌که فقط یک‌گونه در سطح فضای سبز و ناحیه موردنظر جهت آبیاری وجود دارد (کشت تک گونه‌ای)، مقدار K_s با استفاده از فهرست Wucols III به دست می‌آید. در کشت چند گونه‌ای به‌طورکلی اگر گونه‌ها دارای نیاز آبی مشابه باشند به این صورت عمل می‌شود که معمولاً در مناطق پر آب یا مناطق خشک، گونه‌هایی کشت می‌شوند که از نظر نیاز آبی بسیار مشابه یکدیگر بوده و دارای نیاز آبی زیاد و یا نیاز آبی کم می‌باشند. در این‌گونه موارد انتخاب یک مقدار K_s به‌سادگی صورت می‌گیرد. به این صورت که طبقه‌ای را که همه گونه‌ها در آن قرار دارند انتخاب نموده و مقدار مناسب با توجه به دامنه عامل گونه که گفته شد استخراج می‌گردد. اگر گونه‌های کشت‌شده دارای نیاز آبی مشابه نباشند آنگاه گونه‌ای که بالاترین طبقه نیاز آبی را دارد مقدار ضریب K_s را مشخص خواهد کرد. این تصمیم برای جلوگیری از هرگونه صدمه تنش آب به گونه‌های دارای نیاز آبی بالا صورت می‌پذیرد (Costello *et al.*, 2000). پس در حد امکان باید گیاهان کشت‌شده در فضاهای سبز واقع در یک منطقه دارای نیاز آبیاری مشابهی باشند. از عامل تراکم (K_d) در رابطه تعیین ضریب فضای سبز استفاده می‌شود تا تفاوت در تراکم پوشش گیاهی در بین کاشت‌های فضای سبز در نظر گرفته شود. در اینجا از تراکم پوشش گیاهی برای اشاره به سطح برگ جمعی همه گیاهان در فضای سبز استفاده می‌شود. تفاوت در تراکم پوشش گیاهی یا سطح برگ منجر به تفاوت در از دست دادن آب توسط پوشش گیاهی می‌شود. بعضی از کشت‌های فضای سبز سطح برگ بیشتر دارند. افزایش تراکم و سطح برگ معمولا به معنای افزایش تبخیر تعرق برای آن منطقه از کشت گیاهان فضای سبز است. به‌طور خلاصه یک فضای سبز با الگوی کشت متراکم آب بیشتری از یک فضای سبز غیر متراکم مصرف می‌کند. ضریب تراکم بین ۰/۵ تا ۱/۳ تغییر کرده و به سه طبقه پایین (۰/۵ – ۰/۹)، متوسط (۱) و بالا (۱/۱ – ۱/۳)گروه‌بندی می‌شود. ریزاقلیم‌ها در هر فضای سبزی وجود داشته و باید در تخمین آب مصرفی گیاه مورد توجه قرار گیرند. خصوصیات فضاهای شهری مانند ساختمان‌ها، ارتفاع ساختمان، جهت‌گیری و توزیع ساختمان‌ها و سنگفرش (Erell and Williamson, 2007; Edussuriya, 2000) بر دما، سرعت باد، شدت نور و رطوبت تأثیر می‌گذارند (Shojaei *et al.*, 2018; Costello *et al.*, 2000). ممکن است در یک فضای سبز قسمتی از گیاهان در سایه و قسمتی در آفتاب، قسمتی دارای رطوبت هوای زیاد و گیاهانی در قسمت‌های بادگیر باشند. مناطقی که بیشتر طول روز در معرض تابش نور خورشید و همچنین وزش باد می‌باشند در طبقه ریزاقلیم بالا قرار می‌گیرند. مناطقی که در سایه‌انداز گیاهان هستند و یا دارای رطوبت بیشتری هستند درطبقه ریزاقلیم پایین قرار می‌گیرند. این تنوع در ریزاقلیم روی نیاز آبی گیاهان تأثیرگذار است. مقادیر ریزاقلیم (K_{mc}) از ۰/۵ تا ۱/۴ متغیر است و در سه دسته کم (۰/۵ – ۰/۹)، متوسط (۱) و زیاد (۱/۱ – ۱/۴) طبقه بندی می‌شود. (Costello *et al.*, 2000). ضریب فضای سبز از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$K_L = K_s \times K_d \times K_{mc} \qquad (۳)$$

جدول ۱- برآورد ضریب گیاهی با روش wucols (Costello *et al.*, 2000)

Table 1- Plant coefficient estimation by Wucols method (Costello *et al.*, 2000)

Type (نوع)	Scientific name (نام علمی)	Climatic zone (منطقه اقلیمی)					
		1	2	3	4	5	6
SCG	Berberis thunbergii	L	L	L	L	L	M
T	Acer nigrum	M	M	M	M	/	/
S	Forsythia	L	L	M	M	M	M
T	Eucalyptus	L	L	L	L	M	M
P	Syzygium aromaticum	M	M	M	M	M	M
V	Calla lily	M	M	M	M	/	M

روش عامل گیاه (PF)

کم‌آبیاری یک راهبرد برای تولید پایدار در شرایط کمبود آب است. گرچه با اعمال کم آبیاری تا حدودی گیاه تحت تنش آبی قرار می‌گیرد ولی با تنظیم مراحل آبیاری و بهینه‌سازی می‌توان از واحد حجم آب حداکثر استفاده را به عمل آورد. تحقیقات متعددی برای گیاهان زراعی و اثر کم‌آبیاری بر آن‌ها انجام شده است در صورتی‌که برای گیاهان فضای سبز تحقیقات چندانی صورت نگرفته است. Pf یا عامل گیاهی، حداقل آبیاری قابل قبول برای گیاهان فضای سبز است که تاکید بر حفظ زیبایی گیاه دارد. اکثر گیاهان فضای سبز شهری بدون چمن می‌توانند عملکرد و زیبایی قابل قبول را حتی در برخی از سطوح کم آبیاری حفظ کنند (Glenn *et al.*, 2013; Kjelgren *et al.*, 2000; Montague *et al.*, 2007). به دلیل ناکافی بودن ضرایب گیاهی برای تعریف نیازهای آبیاری گیاهان فضای سبز به منظور تأمین حداقل رشد و شکل ظاهری قابل قبول گیاهان، مفهوم عامل گیاه (Pf) ایجاد شد. در این روش آب مورد نیاز گیاهان فضای سبز به عنوان درصدی از ET_0 محسوب می‌شود بطوری‌که موجب کاهش زیبایی ظاهری و عملکرد آن‌ها نشود. در این رویکرد Pf یک عامل تنظیم است که در حقیقت به جای K_c در نظر گرفته می‌شود و در ET_0 ضرب می‌شود با این تفاوت که تأکید آن بر ظاهر گیاه است و نه رشد و عملکرد مطلوب آن. پیتینگر و همکاران (Pittenger *et al.*, 2008) نیاز آبی را برای برخی از گونه‌های گیاهی فضای سبز در شش منطقه مختلف که در روش Wucols ذکر شد مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که رایج‌ترین گیاهان در فضای سبز توسعه و عملکرد قابل قبولی را با میزان کاربرد آبیاری ۲۰ – ۸۰ درصد تبخیر تعرق مرجع (Pf = 0.2-0.8) حفظ می‌کنند. در یک فضای سبز با اکثر گیاهان در محدوده Pf ۲۰ – ۵۰ درصد برای گونه‌های گیاهی که Pf برای آن‌ها ناشناخته است، مقدار اولیه ۰/۵ توصیه می‌شود و بسته به عملکرد مشاهده شده گیاه می‌توان این مقدار را تنظیم کرد. پیتینگر و همکاران (Pittenger *et al.*, 2008) Pf را برای چند گونه از گیاهان تعیین نمودند. این گیاهان شامل hibiscus که از تیره گیاهان گل‌دار از خانواده مالواسه است، pittosporum که گیاه گل‌دار از خانواده پیتوسپوراسه است و Prunus که نوعی درخت و درختچه شامل میوه‌های زردآلو، گیلاس و بادام است می‌باشند و میزان Pf آن‌ها به میزان ۴۰ – ۶۰ درصد تبخیر تعرق مرجع تعیین گردید. همچنین Pf برای گیاه Lantana ۲۰ – ۳۰ درصد تبخیر تعرق مرجع تعیین شد.

روش IPOS

معمولا برای حفظ ظاهر و زیبایی فضای سبز اغلب از گیاهانی استفاده می‌شود که نیاز آبی نسبتا بالایی دارند و با توجه به محدودیت‌های موجود نمی‌توان در زمان کوتاه این گیاهان را جایگزین گیاهان کم مصرف و مقاوم به خشکی کرد، در این شرایط لازم است برای جلوگیری از اتلاف آب، نیاز آبی دقیق این گیاهان را برآورد کرد. چمن به‌عنوان یکی از گیاهان اصلی و ضروری اغلب باغ‌ها و پارک‌ها نقش مهمی را در طراحی و ایجاد فضای سبز ایفا می‌کند. از آنجایی که سطح وسیعی از ایران دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک است، در چنین اقلیمی ایجاد فضای سبز و چمن کاری بهتر است با در نظر گرفتن نوع چمن باشد. چمن‌های گرمسیری که به درجه حرارت زیاد مقاوم‌اند، در سرما قهوه‌ای می‌شوند و به خواب می‌روند، رشد بهینه آن‌ها در نور کامل خورشید و درجه حرارت ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی گراد است. چمن‌های سردسیری که در آب و هوای خنک به خوبی رشد می‌کنند، به گرمای زیاد مقاوم نیستند و درجه حرارت مناسب برای رشد آن‌ها ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی گراد است (South Australian Water Corporation-IPOS Consulting, 2008). این روش توسط دولت استرالیای جنوبی برای برنامه‌ریزی و مدیریت نیاز آبی در فضاهای باز عمومی و به خصوص چمن‌های ورزشی و پارک‌های تفریحی توسعه یافته است. در این روش نیاز آبی چمن در فضای باز شهری محاسبه می‌شود. در این روش، تبخیر تعرق گیاه (ET_L) با ضرب سه عامل تبخیر تعرق مرجع (ET_0) و ضریب گیاهی چمن (K_c) و یک عامل تنش مربوط به گیاه (K_{st}) محاسبه می‌شود. نحوه برآورد تبخیر تعرق با روش Ipos با رابطه ۴ نشان داده شده است.

$$ET_L = ET_0 \times K_c \times K_{st} \qquad (۴)$$

جدول ۲- ضریب گیاهی انواع چمن (South Australian Water Corporation-IPOS Consulting, 2008)

Table 2- Plant coefficient of grass types (South Australian Water Corporation-IPOS Consulting, 2008)

Type of grass (نوع چمن)	Cold grass (چمن سردسیری)	Tropical grass (چمن گرمسیری)
Plant coefficient (K_c) ضریب گیاهی	0.8 – 0.95	0.6 – 0.8

جدول ۳- فاکتورهای تنش چمن

Table 3- Turf grass crop stress factors (South Australian Water Corporation-IPOS Consulting, 2008)

Classification TQVS (طبقه‌بندی شاخص استاندارد بصری کیفیت)	TQVS1	TQVS2	TQVS3	TQVS4
Description (توصیف)	Elite sports turf (چمن ورزشی درجه یک)	Premier sports turf (چمن ورزشی خوب)	Local sports turf (چمن ورزشی متوسط)	Passive recreational turf (چمن تفریحی ضعیف)
stress factor (K_{st}) (عامل تنش)	1	0.6	0.5	0.4

ضریب گیاه چمن (K_c) برای انواع مختلف و اندازه‌های متفاوت چمن‌ها از ۰/۶ برای چمن‌های فصل گرم، مانند Kikuyu و Couch تا ۰/۹۵ برای چمن‌های فصل خنک، مانند چمن چاودار متفاوت است. چمن‌های گرمسیری ۳۰ تا ۵۰ درصد آب کمتری نسبت به چمن‌های سردسیری مصرف می‌کنند و باید دقت شود چمنی که انتخاب می‌شود به کم‌ترین میزان آبیاری نیاز داشته باشد. در این روش گیاه چمن به دو دسته گرمسیری و سردسیری دسته‌بندی شده است و بر اساس نوع چمن K_c آن مشخص شده است. جدول ۲ ضرایب K_c را نشان می دهد (South Australian Water Corporation-IPOS Consulting, 2008).

عامل تنش گیاه (K_{st}) بیشتر برای نشان اطمینان از عملکرد مناسب زیبایی و سلامت چمن به‌خصوص هنگامی که اقدامات حفاظت از آب و کاهش مصرف آب اعمال می‌شود، به کار می‌رود. بسته به عملکرد و استاندارد مورد نیاز سطح چمن، فضای سبز آبیاری شده به چهار شاخص استاندارد بصری کیفیت چمن یا TQVS طبق جدول ۳ طبقه‌بندی می شود (South Australian Water Corporation-IPOS Consulting, 2008).

تبخیر- تعرق مرجع (ET_0)

تبخیر- تعرق یک سطح بدون کمبود آب، تبخیر-تعرق گیاه (سطح) مرجع یا تبخیر-تعرق مرجع نامیده می‌شود و با ET_0 نشان داده می‌شود. سطح مرجع، یک گیاه مرجع چمن فرضی با ویژگی‌های مشخص می‌باشد. مفهوم تبخیر- تعرق مرجع برای بررسی تقاضای تبخیر در اتمسفر صرف نظر از نوع گیاه، مرحله رشد آن و عملیات مدیریت زراعی توصیف شد. هنگام کافی بودن آب خاک، تبخیر تعرق مرجع به عوامل مرتبط با خاک بستگی ندارد. پارامترهای هواشناسی تنها عوامل مؤثر بر تبخیر- تعرق گیاه مرجع می‌باشند. بنابراین، تبخیر- تعرق گیاه مرجع یک نمایه وابسته به اقلیم است و می‌توان آن را بر مبنای داده‌های هواشناسی محاسبه کرد (Allen *et al*., 1998). تبخیر - تعرق مرجع را با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی (میانگین دمای حداکثر، میانگین دمای حداقل، درصد رطوبت نسبی، میانگین ساعات آفتابی و میانگین سرعت باد) و با روش فائو- پنمن- مانتیث طبق رابطه (۵) می‌توان برآورد نمود.

$$ET_0 = \frac{0{\cdot}408\Delta\,(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2\,(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma\,(1 + 0{\cdot}34 u_2)} \qquad (۵)$$

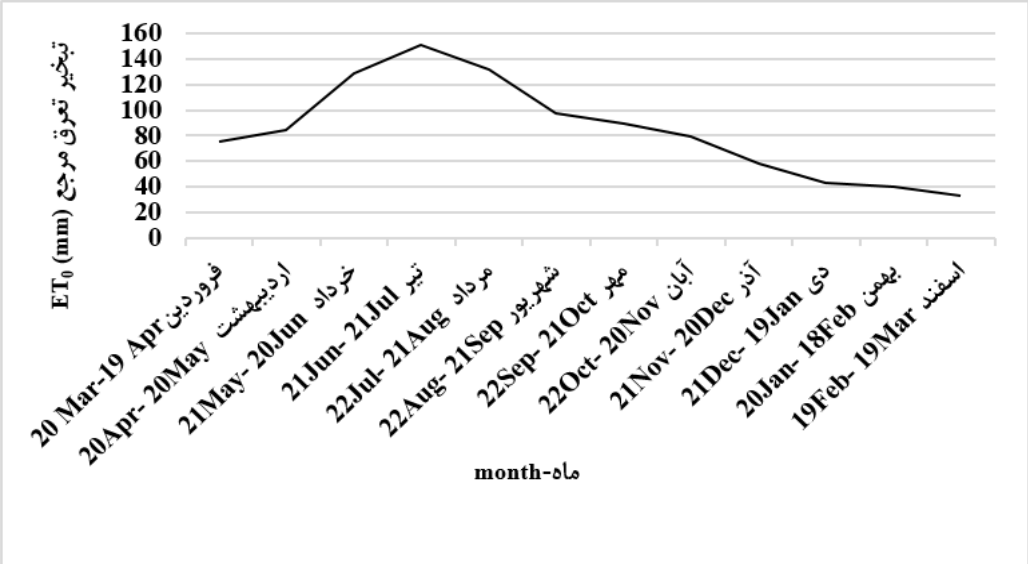
در این رابطه ET0 تبخیر تعرق مرجع (mm/day)، Rn تابش خالص در سطح گیاه است (MJ m^{-2} day^{-1})، G تراکم شار حرارت خاک است (MJ m^{-2} day^{-1})، T میانگین دمای روزانه هوا در ارتفاع ۲ متر است (°C)، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متر است (m/s)، e_s فشار بخار اشباع است (Kpa)، e_a فشار بخار واقعی است (Kpa)، Δ شیب منحنی فشار بخار است (KPa $°C^{-1}$) و γ ضریب رطوبتی است (kPa $°C^{-1}$).

نیاز آبیاری ناخالص

نیاز آبی گیاه تحت آبیاری برای تبخیر- تعرق با بارش موثر (Pe) و آبیاری خالص (IN) تأمین می‌شود. بخشی از بارش که برای رفع تبخیر- تعرق گیاه استفاده می شود، شامل رواناب سطحی و نفوذ عمقی نیست و بارش موثر نامیده می‌شود. این مقدار به قسمتی از بارش که در خاک نفوذ می‌کند و ذخیره می‌شود و برای گیاه در دسترس است اشاره دارد (Nouri *et al*., 2013). نیاز آبی خالص از رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$I_N = ET_L - P_E \qquad (۶)$$

در این رابطه I_N نیاز خالص آبیاری (میلی‌متر)، ET_L تبخیر- تعرق فضای سبز (میلی‌متر) و P_E بارندگی موثر (میلی‌متر) می‌باشند.



شکل ۲- منحنی تبخیر تعرق مرجع

Figure 2- Reference evapotranspiration curve

در هر دوره کـه مقدار بارندگی موثر از تبخیر- تعرق گیاه بیشـــتر باشـد میزان نیاز آبیاری خالص صـفر در نظر گرفته می‌شـود. آبیاری خالص و بارش موثر کل نیازهای آب واقعی گیاهان را تامین نمی‌کنند. بنـابراین مقدار آبی که در واقع با در نظر گرفتن تلفات آب به کار رفته و به آن نیاز ناخالص آبیاری گفته می‌شـود باید تعیین شود. با توجه به کارایی اکثر سـیستم های آبیاری، آب اضافی به جز تبخیر- تعرق باید برای گیـاهـان فراهم شـــود تـا تلفات آب را جبران کند. نیاز ناخالص آبیاری از رابطه (۷) محاسـبه می‌شـود. در این رابطه I_G نیاز ناخالص، ET_L تبخیر- تعرق فضای سبز و Ea راندمان آبیاری می‌باشند. فضای سبز منطقه مطالعه به روش بارانی کلاسیک آبیاری می‌شود و راندمان آبیاری در فضای سبز مورد مطالعه ۷۰ درصد تعیین شده است.

$$I_G = \frac{ET_L}{Ea} \quad (۷)$$

نتایج و بحث

محاسبه تبخیر تعرق مرجع (ET_0)

برای برآورد تبخیر- تعرق مرجع از داده های روزانه هواشـناسـی ایستگاه هواشناسی کرج در بازه ۲۰ سال (۱۳۷۸– ۱۳۹۸) استفاده شد. تبخیر- تعرق مرجع برای هرماه محاسبه گردید و منحنی آن در شکل ۲ رسـم شـده اسـت. همانطور که در شـکل مشـخص است بیشترین میزان تبخیر- تعرق در تیر به میزان ۱۵۱/۶ میلی‌متر رخ داده است. از فروردین تا تیر روند منحنی صعودی است و از مرداد تا اسفند روند آن نزولی می‌شـود. کمترین میزان تبخیر- تعرق نیز متعلق به اسـفند به میزان ۳۳ میلی‌متر اسـت و مجموع آن در طول مـدت یـک سـال ۱۰۱۱/۸ میلی‌متر می‌باشد

برآورد تبخیر- تعرق با روش Wucols

برای تعیین تبخیر- تعرق فضـــای ســـبز مورد مطـالعه ابتدا باید ضریب فضای سبز (K_L) برآورد گردد. برای این منظور ضریب فضای سبز با استفاده از سه عامل گونه، تراکم و ریزاقلیم برآورد شد. با توجه به نوع پوشـــش گیاهی و میزان تقاضـــای آب آن‌ها فاکتور گونه ۰/۵، عامل تراکم ۱ و عامل ریزاقلیم ۱/۱ از طبقه ریزاقلیم بالا انتخاب شـد و ضـریب فضـای سبز ۰/۵۵ برآورد گردید که حاصل ضرب سه عامل می‌باشـد و با ضـریب فضـای سـبز به دسـت آمده در مطالعه نوری و همکاران (Nouri *et al.*, 2013) و سالوادور و همکاران (Salvador *et al.*, 2011) به ترتیب به میزان ۰/۵۵ و۰/۵۶ سـازگاری دارد. نتایج نشـان داد که بیشـترین میزان تبخیر- تعرق به دسـت آمده با روش wucols، در تیر ماه به میزان ۸۳/۳۸ میلی‌متر اسـت. همچنین میزان تبخیر- تعرق در طول یک سـال دوره آزمایش ۵۵۶/۵ میلی‌متر برآورد گردید. روند صـعودی و نزولی نمودار تبخیر- تعرق به دلیل افزایش و کاهش رشد و تبخیر- تعرق گیاهان با توجه به شرایط اقلیمی می‌باشد. پوشـــش گیـاهی در فصـــل زمســـتان نیاز آبی کمتری دارد و برخی گونه‌های گیاهی در خواب زمسـتانه هسـتند پس تقاضـای آب در این فصـل کاهش پیدا می‌کند. برخلاف زمستان در فصل تابستان نیاز آبی گیاهان بیشتر است و در این مطالعه در تیر ماه تقاضای آب به حداکثر رسیده است. در یک مطالعه نوری و همکاران (Nouri *et al.*, 2016) تبخیر- تعرق فضـای سـبز را در آدلاید استرالیای جنوبی با استفاده از

روش‌های Wucols و موازنه آب خاک برآورد کردند. نتایج نشان داد که میزان نیاز آبی تعیین شده با روش موازنه آب خاک ۱۰۸۴ میلی‌متر در سال است. در حالی که میزان آب مورد نیاز با استفاده از روش Wucols تنها ۸۰۲ میلی‌متر تعیین شد. یعنی روش Wucols میزان آب مورد نیاز را ۲۶ درصد کمتر برآورد کرده است. در تحقیق دیگری توسط سجودی و میرزایی (Sojoodi and Mirzaei, 2020) تبخیر- تعرق فضای سبز با استفاده از دو روش Wucols و بیلان آب مورد بررسی قرار گرفت. تبخیر- تعرق برآورد شده به صورت میانگین در طول دوره آزمایش مقدار ۷۵۷ میلی‌متر در روش بیلان آبی و ۶۴۱ میلی‌متر در روش Wucols برآورد شد. میزان تبخیر- تعرق با استفاده از روش Wucols ۱۵/۳ درصد کمتر از روش بیلان آب به‌دست آمد. متوسط ضریب گیاهی نیز از روش بیلان آب و Wucols به ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۳ محاسبه گردید. نتایج تحقیق نشان داد که روش Wucols دارای دقت بیشتری بوده و در مصرف آب نیز صرفه‌جویی می‌کند و گیاهان نیز دچار تنش آبی نمی‌شوند و ظاهر و رشد مناسب و قابل قبولی دارند. در مطالعه دیگری توسط سجودی و میرزایی (Sojoodi and Mirzaei, 2020) نیاز آبی برای گیاه همیشه‌بهار برآورد گردید. نتایج تبخیر- تعرق برآورد شده برای گیاه همیشه‌بهار در این مطالعه به‌صورت میانگین مقدار ۷۷۶ میلی‌متر در روش بیلان آب و مقدار ۶۰۷ میلی‌متر در روش Wucols را در کل دوره آزمایش نشان می‌دهد. در این تحقیق روش Wucols تبخیر- تعرق را به میزان ۲۱ درصد کمتر از روش بیلان آب برآورد کرده است.

برآورد تبخیر- تعرق با روش PF

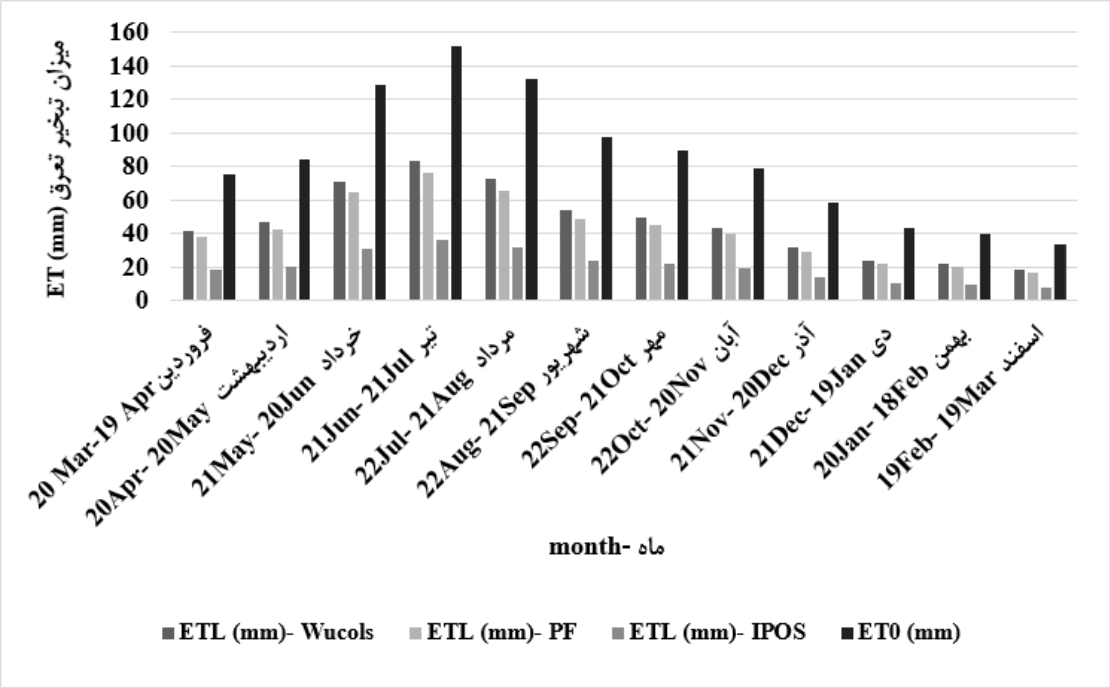
برای برآورد تبخیر- تعرق فضای سبز با استفاده از روش Pf همان‌طور که در بخش سوم مقاله توضیح داده شد برای گونه‌های گیاهی که Pf برای آن‌ها ناشناخته است، مقدار اولیه ۰/۵ توصیه می‌شود بنابراین ضریب فضای سبز ۰/۵ تعیین گردید و در تبخیر- تعرق مرجع برای هر ماه ضرب شد. نتایج برآورد تبخیر- تعرق با روش Pf نیز نشان دهنده حداکثر میزان تبخیر- تعرق در تیر ماه و به میزان ۷۵/۵۵ میلی‌متر می‌باشد. میزان تبخیر- تعرق در طول یک سال نیز ۵۰۵/۹ میلی‌متر برآورد گردید.

برآورد تبخیر- تعرق با روش IPOS

چمن Kikuyu که یک نوع چمن فصل گرم است در فضای سبز مورد مطالعه استفاده شده است. ضریب گیاه چمن (K_c) برای این نوع چمن از جدول (۲) به میزان ۰/۶ انتخاب گردید که توسط شرکت مشاوره آب استرالیای جنوبی (South Australian Water Corporation-IPOS Consulting, 2008) و کاستلو و همکاران (Costello *et al.*, 2000) نیز برای این نوع چمن توصیه شده است. عامل تنش گیاه (K_{st}) بسته به عملکرد و کیفیت سطح چمن، در فضای سبز موجود از جدول ۳ و به میزان ۰/۴ انتخاب گردید. سپس ضریب فضای سبز با ضرب K_c در K_{st} به میزان ۰/۲۴ محاسبه شد. بنابراین برای تعیین میزان تبخیر- تعرق، ضریب فضای سبز محاسبه شده در تبخیر- تعرق مرجع ضرب گردید. بیش‌ترین میزان تبخیر- تعرق در تیر ماه به میزان ۳۶/۳۸ میلی‌متر و در طول دوره آزمایش ۲۴۲/۹ میلی‌متر برآورد گردید. در مطالعه‌ای توسط نوری و همکاران (Nouri *et al.*, 2013) به برآورد تبخیر- تعرق در استرالیای جنوبی با استفاده از سه روش Wucols، Ipos و Pf پرداخته شد. نتایج نشان داد که روش Ipos نیاز آبی را کمتر از روش Wucols تخمین می‌زند. و روش Wucols بالاترین برآورد تقاضای آب را در بین سه روش دارد. از آنجا که با استفاده سالانه ۷۷۰ میلی‌متر آب آبیاری، سطوح زیبایی پذیرفتنی برای فضای‌سبز به‌دست آمد، نتایج این مطالعه تأیید می‌کند که روش Wucols بهترین تخمین آب مورد نیاز پوشش گیاهی شهری را برای منطقه مورد مطالعه تولید کرده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق روش‌های مناسب برای تخمین نیاز آبی گیاهان فضای سبز، روش‌های Wucols سپس Pf و در آخر روش Ipos می‌باشند. که نتایج تحقیق حاضر نیز با این نتایج سازگاری دارد. از آنجایی‌که روش Ipos فقط نیاز آبی چمن را محاسبه می‌کند جهت استفاده از این روش پیشنهاد می‌شود در نواحی که دارای پوشش سطحی چمن به صورت غالب نسبت به سایر ترکیب‌های گیاهی می‌باشد، آبیاری طبق نیاز آبی تخمین زده شده با این روش تنظیم گردد و برای سایر گیاهان در صورت لزوم با توجه به نیاز آبی آن‌ها آبیاری تکمیلی انجام شود. در شکل ۳ میزان تبخیر- تعرق برآورد شده از سه روش و تبخیر- تعرق مرجع مقایسه شده‌اند.

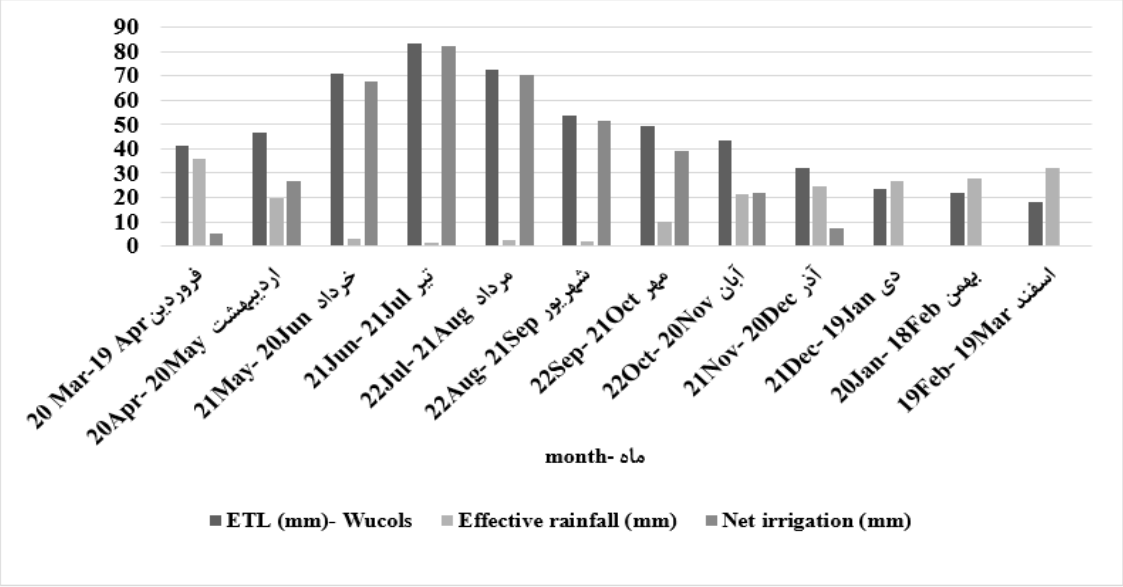
در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ میزان نیاز خالص آبیاری به دست آمده با استفاده از تفاضل تبخیر- تعرق محاسبه شده توسط روش‌های Wucols، Pf و Ipos و میزان بارش موثر نشان داده شده است. با استفاده از روش Wucols و Pf آبیاری از ماه دی تا اسفند می‌تواند متوقف شود زیرا میزان بارندگی موثر از تبخیر- تعرق بیشتر است و با استفاده از روش Ipos آبیاری از آبان تا فروردین می‌تواند متوقف شود.

در شکل ۷ نیاز ناخالص آبیاری با در نظر گرفتن راندمان آبیاری ۷۰ درصد برای هر ماه با استفاده از هر سه روش برآورد و رسم شده است. در روش Wucols میزان نیاز ناخالص آبیاری در طول یک سال ۷۹۴/۸ میلی‌متر، در روش Pf ۷۲۲/۷ میلی‌متر و در روش Ipos ۳۴۶/۹ میلی‌متر برآورد گردید. که با توجه به میزان آبیاری برای منطقه مورد مطالعه که به میزان ۹۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد روش Wucols نزدیک‌ترین نتیجه را به میزان آبیاری دارد. در جدول ۴ آبیاری ناخالص فصلی برای سه روش محاسبه شده است.



شکل ۳- نمودار تبخیر تعرق مرجع (ET_0) و تبخیر تعرق فضای سبز از سه روش

Figure 3- Reference Evapotranspiration Curve (ET_0) and Landscape Evapotranspiration (ET_L)



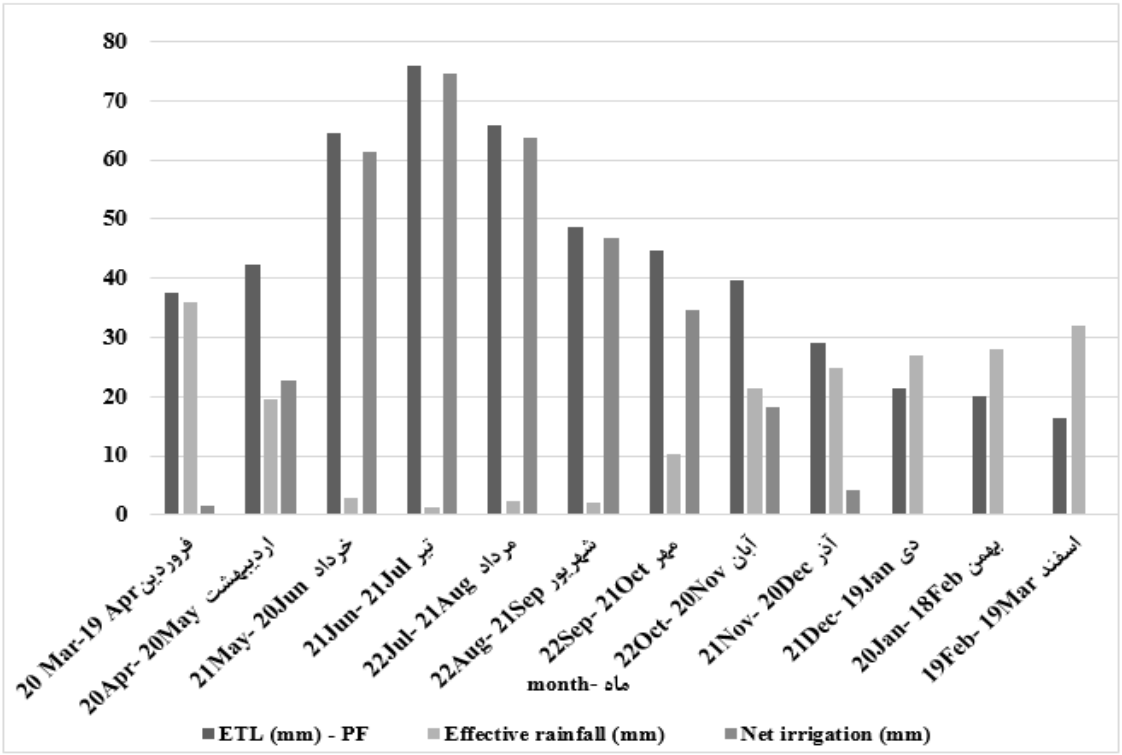
شکل ۴- نمودار نیاز آبی خالص با استفاده از روش wucols

Figure 4- Net irrigation rate using wucols method

جدول ۴- نیاز آبی ناخالص برای هر فصل

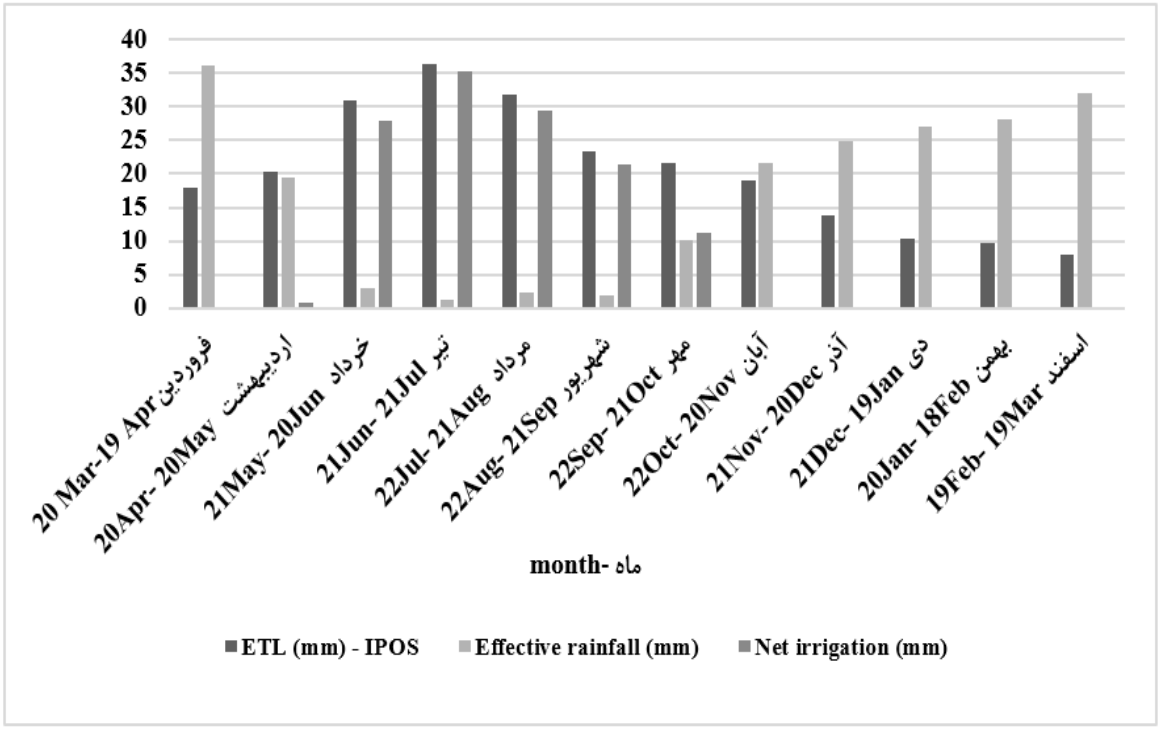
Table 4- Gross irrigation requirements for each season

Method (روش)	Spring (بهار)	Summer (تابستان)	Autumn (پاییز)	Winter (زمستان)
Wucols	226.5 mm	299.2 mm	178 mm	91 mm
PF	205.92 mm	272 mm	161.9 mm	82.9 mm
Ipos	98.82 mm	130.67 mm	77.65 mm	39.75 mm



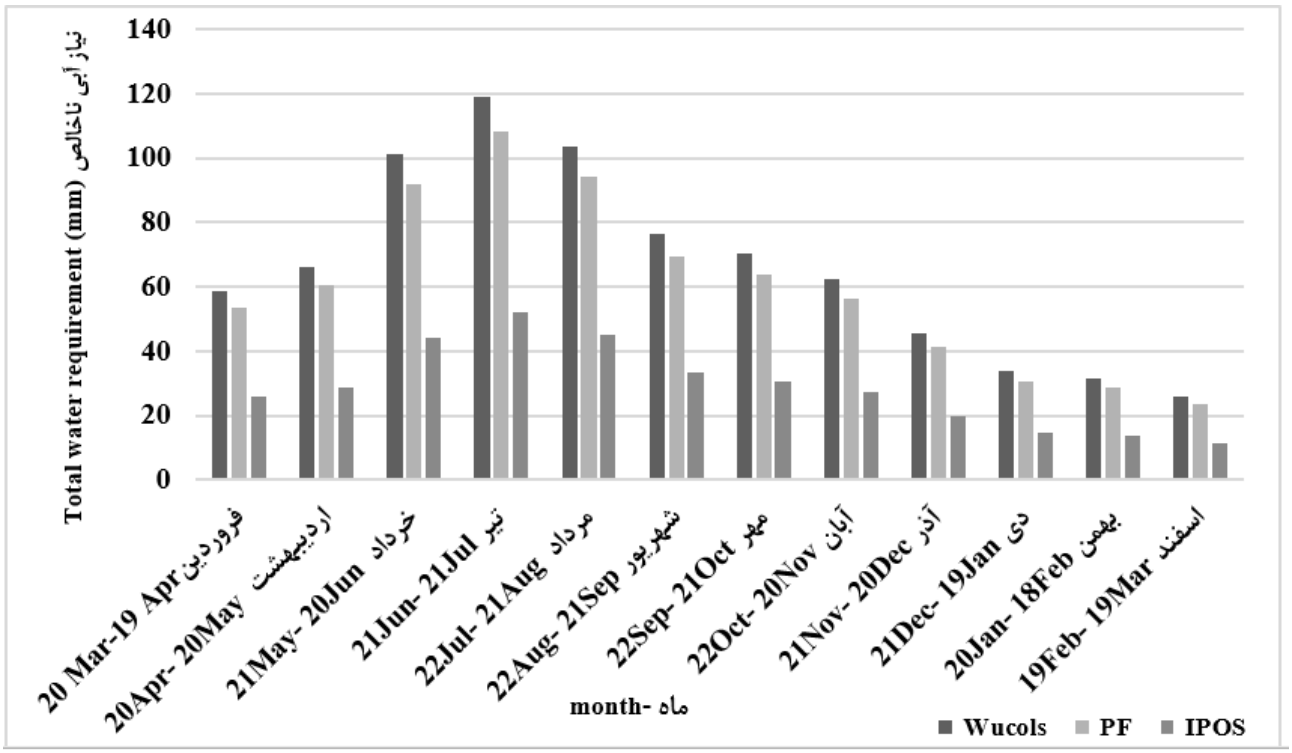
شکل ۵- نمودار نیاز آبی خالص با استفاده از روش PF

Figure 5- Net irrigation rate using PF method



شکل ۶- نمودار نیاز آبی خالص با استفاده از روش Ipos

Figure 6- Net irrigation rate using IPOS method



شکل ۷- مقایسه نیاز آبی ناخالص برآورد شده با روش های Wucols, Pf, Ipos
Figure 7- Comparison of gross irrigation needs with methods wucols, Pf and Ipos

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه منابع آب ایران محدود می‌باشد و نیاز به مصرف بیشتر آب در اثر افزایش جمعیت، ایجاب می‌کند تا استفاده از این منبع ارزشمند در تمام زمینه‌های مصرف به صورت بهینه انجام گیرد و از آنجایی‌که در فضاهای سبز شهری تنها شادابی، سلامت و حفظ ظاهر گیاهان دارای اهمیت می‌باشد و به‌علاوه گیاهان فضای سبز جنبه‌ی تزئینی و زیبایی دارند و عملکرد آن‌ها مطرح نیست، در نتیجه می‌توان با استفاده از روش Wucols نیاز آبی گیاهان را به صورتی که سلامت و ظاهر آن‌ها حفظ گردد تخمین زد، در این صورت علاوه بر تأمین نیاز آبی در سطح مناسب و حفظ سلامت و شادابی فضای سبز در مصرف آب نیز صرفه‌جویی به عمل آمده است. در این تحقیق نیاز آبی در فضای سبز با استفاده از سه روش Wucols، Pf و Ipos برآورد گردید. نتایج نشان داد روش Wucols بهترین و نزدیک‌ترین برآورد را با توجه به میزان آبیاری منطقه مورد مطالعه دارد. میزان نیاز ناخالص آبیاری محاسبه شده توسط روش Wucols در طول یک سال ۷۹۴/۸ میلی‌متر می‌باشد که ۱۲ درصد کمتر از نیاز ناخالص آبیاری سالانه فضای سبز مورد مطالعه است. در حالی که روش‌های Pf و Ipos میزان نیاز ناخالص را به ترتیب ۲۰ و ۶۲ درصد کمتر از میزان نیاز ناخالص آبیاری سالانه منطقه تعیین نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که آبیاری ناخالص برآورد شده توسط روش Ipos بسیار پایین است که ممکن است به برخی گیاهان آسیب برساند. روش Ipos بر اساس نیاز آبی چمن است و ناهمگنی پوشش گیاهی مخلوط و نیازهای آبی مختلف آن‌ها را پوشش نمی‌دهد. این روش می‌تواند برای مناطقی که تنها چمن کشت شده باشد مانند زمین‌های گلف و زمین‌های چمن ورزشی مناسب باشد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که روش Wucols برای تخمین نیاز آبی گیاهان در فضای سبز شهری که ترکیبی از گونه‌های گیاهی مختلف وجود دارد با توجه به تنوع گونه‌ها، تراکم پوشش گیاهی و اقلیم‌های متفاوت، نسبت به روش‌های Pf و Ipos قابل اطمینان‌تر است.

منابع

1. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop

Water Requirements – FAO Irrigation and Drainage (No-56). *Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome*.
2. Allen R.G., Howell T.A., and Snyder R.L. 2011. In: Irrigation Water Requirements, Irrigation, sixth ed. Irrigation Association, Falls Church, VA, 93–172.
3. Costello L.R., and Jones K.S. 1994. WUCOLS project—water use classification of landscape species: a guide to the water needs of landscape plants. *University of California*, Cooperative Extension.
4. Costello L.R., Matheny N.P., Clark J.R., and Jones K.S. 2000. A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California. The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III. University of California Cooperative Extension. *California Department of Water Resource*.
5. Doorenbos J., Pruitt W.O., and Aboukhaled A. 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements (rev. ed.). *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*.
6. Erell E., Williamson T. 2007. Intra-urban differences in canopy layer air temperature at a mid-latitude city. International Journal Climatology 27: 1243–1255. https://doi.org/10.1002/joc.1469.
7. Edussuriya P.S. 2000. Impact of urban physical design attributes on urban air quality and microclimate: towards formulation of urban design guidelines for Mong Kok, HKU Theses Online, The University of Hong Kong (pokfulam, Hong Kong), Faculty of architecture.
8. Edem E., Anthony A., and Greening U. 2014. The impact of greenery on the urban microclimate and environmental quality of Uyo metropolis, Akwa Ibom state, Nigeria 3: 22–27.
9. Glenn, E.P., Mexicano, L., Garcia-Hernandez, J., Nagler, P.L., Gomez-Sapiens M.M., Tang D., Lomeli M.A., Ramirez-Hernandez J., and Zamora-Arroyo F. 2013. Evapotranspiration and water balance of an anthropogenic coastal desert wetland: Responses to fire, inflows and salinities. Ecological Engineering 59: 176-184. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.06.043.
10. Hama T., Nakamura K., Kawashima S., Kaneki R., and Mitsuno T. 2011. Effects of cyclic irrigation on water and nitrogen mass balances in a paddy field. Ecological Engineering 37: 1563-1566. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.03.032.
11. Hilaire R.S., Arnold M.A., Wilkerson D.C., Devitt D.A., Hurd B.H., Lesikar B.J., Lohr V.I., Martin C.A., and McDonald G.V. 2008. Efficient water use in residential urban landscapes. Horticulture Science 43: 2081–2092. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2081.
12. Kottmeier C., Biegert C., and Corsmeier U. 2007. Effects of urban land use on surface temperature in Berlin: case study. Journal Urban Plan 133: 128–137.
13. Kjelgren R., Rupp L., and Kilgren D. 2000. In: Water Conservation in Urban Landscapes 3: 1037–1040.
14. Litvak E., Pataki D.E. 2016. Evapotranspiration of urban lawns in a semi-arid environment: An in situ evaluation of microclimatic conditions and watering recommendations. Journal of Arid Environments 134: 87-96.
15. Marasco D.E., Culligan P.J., and McGillis W.R. 2015. Evaluation of common evapotranspiration models based on measurements from two extensive green roofs in NewYork City. Ecological Engineering 84: 451–462.
16. Montague T., McKenney C., and Maurer M. 2007. Influence of irrigation volume and mulch on establishment of selected shrub species. Arboriculture Urban Forest 33: 202–209.
17. Nouri H., Beecham S., Hassanli A.M., and Kazemi F. 2013. Water requirements of urban landscape plants: A comparison of three factor-based approaches. Ecological Engineering 57: 276-284. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.025.
18. Nouri H., Glenn E.P., Beecham S., Chavoshi Boroujeni S., Sutton P., Alaghmand S., Noori B., and Nagler P. 2016. Comparing three approaches of evapotranspiration estimation in mixed urban vegetation: Field-based, remote sensing-based and observational-based methods. Remote Sensing 8: 492. https://doi.org/10.3390/rs8060492.
19. Ozdogan M., Rodell M., Beaudoing H.K., and Toll D.L. 2010. Simulating the effects of irrigation over the United States in a land surface model based on satellite-derived agricultural data. Hydrometeorol 11: 171–184.
20. Petralli M., Massetti L., Brandani G., and Orlandini S. 2014. Urban planning indicators: useful tools to measure the effect of urbanization and vegetation on summer air temperatures. International Journal of Climatology 34: 1236-1244. https://doi.org/10.1002/joc.3760.
21. Pearlmutter D., Berliner P., and Shaviv E. 2007. Urban climatology in arid regions: current research in the Negev desert. Int. Climatology 27: 1875–1886.
22. Pittenger D.R., Shaw D.A., Hodel D.R., and Holt D.B. 2001. Responses of landscape groundcovers to minimum irrigation. Environment Horticulture 19 : 78–84.
23. Pittenger D., Henry M., and Shaw D. 2008. Water needs of landscape plants. In: UCR Turfgrass and Landscape Research Field Day. *University of California*, Riverside.
24. Rosenfeld D. 2000. Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. Science 287 : 1793–1796.
25. Robitu M., Musy M., Inard C., and Groleau D. 2006. Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate. Solar Energy 80 : 435–447.
26. Saeedinia M., Tarnian F., Hosseinian S.H., and Nasrollahi A.H. 2018. Estimation of the evapotranspiration and crop coefficient of Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) and Cumin (*Cuminum cyminum* L.) in Khorram Abad

region. Water and Irrigation Management 8(1) : 165-175. (In Persian with English abstract)
27. Shojaei P., Gheysari M., Nouri H., Myers B., and Esmaeili H. 2018. Water requirements of urban landscape plants in an arid environment: The example of a botanic garden and a forest park. Ecological Engineering 123: 43-53. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.08.021.
28. Shaw D.A., Pittenger D.R. 2004. Performance of landscape ornamentals given irrigation treatments. Based on reference evapotranspiration. Acta Horticulture 664: 607–614.
29. Sojoodi Z., and Mirzaei F. 2020. Determination of water requirement of urban Landscape plants. Water and Irrigation Management 10(1) : 131-141. *(*In Persian with English abstract). 10.22059/JWIM.2020.295397.745.
30. Sojoodi Z., and Mirzaei F. 2020. Evaluation of the WUCOLS Method for Estimating Water Requirements of Landscape Plants. Water Research in Agriculture 33(4) : 629-643. (In Persian with English abstract). 10.22092/JWRA.2020.121243.
31. Sojoodi Z., and Mirzaei F. 2020. Estimation of Water Requirement and Plant Coefficient of Calendula Officinalis in Landscape. Water Management in Agriculture 7(1): 1-10. *(*In Persian with English abstract). 20.1001.1.24764531.1399.7.1.1.8.
32. Snyder R.L., and Eching S.O. 2005. Microclimate corrections for urban landscape evapotranspiration. In Impacts of Global Climate Change 1-9.
33. Snyder R.L. 2010. Landscape Irrigation Scheduling Trends in California – From WUCOLS to LIMP. 5–8.
34. Salvador R., Bautista-Capetillo C., and Playan E. 2011. Irrigation performance in private urban landscapes: A study case in Zaragoza (Spain). Landscape Urban Plan 100: 302–311.
35. South Australian Water Corporation-IPOS Consulting. 2008. Irrigated public open space: code of practice. In: S. Water (Ed.). IPOS Consulting, South Australia, 46.
36. Wolf D., and Lundholm J.T. 2008. Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability. Ecological Engineering 33: 179-186. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.02.008.