مقایسه آب کاربردی و نیاز آبی باغ گل‌های شهر اصفهان با استفاده از روش‌های LIMP و WUCOLS

پریا شجاعی[۱]، مهدی قیصری[۱*]، حمیده نوری[۲]، هادی اسماعیلی[۱] و سید سعید اسلامیان[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۳)

چکیده

ایجاد و حفاظت از فضاهای سبز شهری در محیط‌های خشکی که با مشکلات کمبود آب، آلودگی هوا و کمبود فضاهای سبز طبیعی مواجه است، ضروری بوده و نیاز به تمهیدات ویژه‌ای دارد. کمبود آب در اصفهان بزرگ‌ترین چالش مدیران آب شهر است. تخمین، دقیق نیاز آبی فضاهای سبز شهری در مناطقی با آب‌وهوای خشک به‌منظور مدیریت بهینه آبیاری بسیار ضروری است. در این پژوهش نیاز آبی گیاهان باغ گل‌ها، بیش از ۲۰۰ نوع گونه گیاهی، با استفاده از دو روش WUCOLS و LIMP در طول سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ تخمین زده شد و حجم آب به‌کار رفته با نیاز آبیاری تخمین‌زده، مقایسه شد. به‌طور متوسط، نیاز ناخالص آبیاری سالانه با روش WUCOLS برابر ۱۱۶۴ میلی‌متر بود که ۱۵ درصد کمتر از مقدار ۱۳۶۶ میلی‌متر آبیاری انجام شده است. درحالی که نیاز ناخالص آبیاری سالانه با روش LIMP برابر ۱۲۳۹ میلی‌متر بود که ۹ درصد کمتر از حجم آب به‌کار رفته سالانه است. بر اساس تخمین های LIMP، امکان کاهش ۹ درصدی در مصرف آب سالانه باغ وجود دارد. نتایج این مطالعه لزوم اصلاح مداوم مقادیر آبیاری فضای سبز با درنظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی (به‌ویژه بارش) را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: فضای سبز شهری، ضرایب فضای سبز، مدیریت آبیاری پارک‌های شهری، نیاز آبی فضای سبز شهری

۱. گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. دانشکده تکنولوژی مهندسی، دانشگاه تویینت هلند
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Gheysari@cc.iut.ac.ir

مقدمه

پژوهش‌های بیشماری در رابطه با اثرات سودمند پوشش گیاهی در محیط شهری انجام شده است. درختان با سایه‌اندازی و جذب مقدار قابل توجهی از تابش خورشیدی و مصرف آن در پدیده تبخیر- تعرق (Evapotranspiration)، مقدار انرژی ساطع شده از سطح زمین (تشعشع طول موج بلند) را کاهش داده و درنتیجه تأثیر زیادی بر کاهش انرژی دریافتی ساختمان‌های بلند دارند (۱۱). این اثرات در یک منطقه شهری خشک به‌علت وجود نوسانات دمایی روزانه زیاد (۱۵) و رابطه متقابل بین آلودگی هوا و کمبود بارش (۱۸)، بیشتر نمود می‌کنند. در چنین شرایطی، پوشش گیاهی می‌تواند در کاهش اثرات جزیره حرارتی شهری (۲۴)، افزایش آسایش حرارتی (۱۶) و کاهش آلودگی هوا (۴) نقش مهمی ایفا کند. کمبود فضاهای سبز طبیعی در یک منطقه شهری خشک که در نتیجه کمبود بارندگی است، باعث افزایش آلبیدو، وزش بادهای قوی، طوفان شن و گرد و غبار می‌شود (۱۵). بنابراین ایجاد، حفاظت و مدیریت فضاهای سبز شهری در محیط‌هایی با آب‌وهوای خشک به‌منظور تعادل انرژی شهری ضرورت دارد.

متوسط بارش سالانه اصفهان برابر ۱۲۲ میلی‌متر (براساس آمار ۳۰ ساله از سازمان هواشناسی ایران) است درحالی که متوسط تبخیر تعرق پتانسیل حدود ۱۶۰۰ میلی‌متر است. درواقع میزان تبخیر تعرق پتانسیل بیشتر از ۱۳ برابر مقدار بارش سالانه است. این تفاوت قابل توجه، رقابت شدیدی بین کاربران مختلف منابع آب ایجاد کرده است. کاهش شدید منابع آب سطحی منجر به افزایش بی‌رویه مصرف منابع آب زیرزمینی و پیامدهای منفی و غیر قابل بازگشت آن از جمله نشست زمین می‌شود. این پدیده می‌تواند باعث شکاف جاده‌ها، قطع خطوط نیرو، به‌هم‌خوردگی شبکه فاضلاب، غیر قابل سکونت شدن ساختمان‌ها، به‌هم‌ریختگی شبکه آبیاری، تغییر کیفیت آب زیرزمینی و از میان رفتن همیشگی قابلیت جذب آب در سفره آب زیرزمینی شود. بنابراین کمبود منابع آب در اصفهان بزرگ‌ترین چالش کنونی شهر است که مدیران شهری را در تلاش برای کنترل این بحران واداشته است. در این شرایط، تخمین دقیق نیاز آبیاری گیاهان شهری با در نظر گرفتن شرایط محیطی هر فضای سبز ضروری است.

روش‌های مختلف تخمین نیاز آبی فضای سبز ناهمگن شهری و مزایا و معایب هر روش توسط نوری و همکاران ارائه شد (۱۳). براورد تبخیر- تعرق فضای سبز شهری در مقایسه با تبخیر - تعرق زمین‌های کشاورزی با چالش‌هایی همراه است. این چالش‌ها به‌علت وجود گیاهان مختلف در فضای سبز شهری، قطعات کاشته شده کوچک و وجود خرداقلیم‌های مختلف است (۳). علاوه بر این، هدف از آبیاری فضای سبز شهری متفاوت از آبیاری محصولات کشاورزی است. آبیاری فضای سبز شهری به‌منظور حفظ ظاهر زیبا، شاداب و سلامتی گیاهان است درحالی که آبیاری کشاورزی به‌منظور تولید محصول است. بنابراین گیاهان شهری ممکن است کمتر از محصولات کشاورزی آبیاری شوند (۱).

دو روش "طبقه‌بندی مصرف آب گونه‌های فضای سبز (WUCOLS)" و "برنامه مدیریت آبیاری فضای سبز (LIMP)"، با درنظر گرفتن ضرایب مختلف، سعی بر انعکاس اثرات بیان شده در نیاز آب فضای سبز شهری دارند (۳، ۲۲ و۲۳).

هدف از این مطالعه، تخمین نیاز آبیاری گیاهان فضای سبز شهری در منطقه خشک اصفهان به‌منظور ارزیابی وضعیت برنامه‌ریزی و مدیریت کنونی است. این مطالعه پاسخی برای پرسش زیر ارائه می‌دهد: "آیا در شرایط نگران‌کننده کمبود آب شدید و استمرار هر چه بیشتر این مشکل، مدیریت آبیاری به‌درستی انجام می‌شود؟" در این مطالعه، نیاز آب گیاهان باغ گل‌ها با دو روش WUCOLS و LIMP براورد شد. حجم آب به‌کار رفته با مقادیر تخمین زده شده مقایسه شد. نتایج این پژوهش برای مدیران آبیاری در سایر شهرها با آب‌وهوای خشک مفید است. از آنجایی که در این مناطق، ایجاد و حفاظت فضاهای سبز شهر باید در

برابر نیاز به حفاظت منابع آب سنجیده شود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، تبخیر- تعرق واقعی (ET_l) باغ گل‌ها با استفاده از دو روش WUCOLS و LIMP در دوره سه‌ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ میلادی تخمین زده شد. تبخیر- تعرق مرجع منطقه‌ای (ET_0) با استفاده از معادله والیانتزاس براساس داده‌های هواشناسی مرکز تحقیقات آلودگی هوا، ازن و شیمی اتمسفر (ایستگاه ازن‌سنجی اصفهان) محاسبه شد. شرایط محیطی ایستگاه ازن‌سنجی مطابق با شرایط استاندارد براورد تبخیر- تعرق مرجع نبود. به‌همین دلیل، از دستورالعمل شماره ۶ (Annex 6) از (FAO-56) به‌منظور اصلاح داده‌های هواشناسی ایستگاه ازن‌سنجی استفاده شد (۲). داده‌های دما و رطوبت نسبی ایستگاه باغ گل‌ها به‌منظور تخمین تبخیر- تعرق مرجع محلی (ET_{0l}) با استفاده از دیتالاگر (Data logger) ثبت شدند. درنهایت، نیاز ناخالص آبیاری تخمین زده شد توسط دو روش، با حجم آب به‌کار رفته مقایسه شد.

شرح منطقه مطالعاتی

این مطالعه در باغ گل‌ها واقع در شهر اصفهان انجام شد (شکل ۱). بر اساس اقلیم نمای کوپن (Köppen Climate Classification System)، شهر اصفهان دارای آب و هوای سرد و خشک است (۶). دمای متوسط سالانه برابر ۱۷ درجه سانتی‌گراد است. باغ گل‌ها به‌عنوان یک باغ بوتانیک (Botanic Garden) به لحاظ تفریحی، فرهنگی، آموزشی و تحقیقاتی دارای اهمیت بوده، همچنین یکی از جذابیت‌های توریستی اصفهان است. این باغ با مساحت هشت هکتار واقع در مرکز شهر، دارای بیش از ۲۰۰ نوع گونه گیاهی (اغلب با نیاز آبی متوسط) است. باغ گل‌ها در شمال و غرب به خیابانی با حجم ترافیک نسبتا بالا و ساختمان‌های متراکم محدود می‌شود. در جنوب باغ، بستر رودخانه زاینده‌رود قرار دارد که در طول ۲۹ ماه از ۳۶ ماه دوره انجام پژوهش خشک بود. در شرق باغ، فضای سبز شهری قرار دارد (شکل ۱) و آبیاری گیاهان باغ توسط شیلنگ با سر آبپاش انجام می‌شود.

روش WUCOLS

روش WUCOLS توسط کستلو و جونز برای شهر کالیفرنیای آمریکا توسعه داده شد (۳). هدف از این روش براورد نیاز آبی گیاهان ناهمگن شهری با حفظ سلامت، ظاهر شاداب و رشد خوب است. در این روش تبخیر- تعرق واقعی (ET_l) بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$ET_L = ET_0 K_L = ET_0 K_{mc} K_s K_d \quad (1)$$

در این رابطه پارامتر ET_0 بیانگر تبخیر- تعرق مرجع منطقه‌ای و K_L ضریب فضای سبز بوده که حاصل‌ضرب سه ضریب: گونه (K_s)، تراکم (K_d) و خرداقلیم (K_{mc}) است. ضریب گونه (K_s) بر اساس نیاز آب گونه‌های گیاهی مختلف است. کستلو و همکاران نیاز آبی ۳۵۰۰ گونه گیاهی را در چهار گروه دسته‌بندی کردند: زیاد (۷۰ تا ۹۰ درصد ET_0)، متوسط (۴۰ تا ۶۰ درصد ET_0)، کم (۱۰ تا ۳۰ درصد ET_0) و بسیار کم (کمتر از ۱۰ درصد ET_0). به‌دلیل وجود مناطق آب‌وهوایی متفاوت در کالیفرنیا، گونه‌های گیاهی برای شش منطقه آب و هوایی متفاوت دسته‌بندی شدند (۳). شرایط آب‌وهوایی این مناطق مشابه بسیاری از مناطق جهان است (۲۸). در روش WUCOLS، ضریب گونه بر اساس مطالعات نیاز آبی گیاهان در هر منطقه تعیین شده و نه فقط بر اساس نوع گونه گیاهی (به‌عنوان مثال درخت، بوته، گیاه علفی و کشت‌های مخلوط)تعیین شده است (۳). در شرایطی که فضای سبز شامل گونه‌های گیاهی مختلف باشد، در صورت داشتن نیاز آبی مشابه، یک مقدار ضریب گونه برای کل فضای سبز اختصاص داده می‌شود اما در مواردی که گونه‌ها با نیاز آبی متفاوت در یک قطعه کاشته شده‌اند، استفاده از روش‌های جایگزین برای تخمین K_s مطابق دستورالعمل کستلو پیشنهاد می‌شود.

به‌علت وجود تراکم‌های مختلف گیاهی در فضای سبز که منجر به نرخ متفاوت تبخیر- تعرق می‌شود، ضریب تراکم (K_d) در

شکل ۱. عکس هوایی از باغ گل‌ها

محاسبه نیاز آبی فضای سبز اعمال می‌شود (۳). به‌دلیل اینکه محاسبه پوشش تاج (canopy cover) و ردیف گیاهان (vegetation tiers) برای کلیه گیاهان متنوع فضای سبز مشکل است، کستلو و همکاران یک دسته‌بندی ضریب تراکم برای ساده کردن سنجش تراکم ارائه دادند. در این دسته‌بندی ضریب ۰/۵ تا ۰/۹ برای تراکم کم (پوشش تاج کمتر از ۷۰ درصد)، ضریب ۱ برای تراکم متوسط (پوشش تاج بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد) و ضریب ۱/۱ تا ۱/۳ برای تراکم زیاد (پوشش تاج ۱۰۰ درصد و شامل ردیف‌های مختلف سایه‌انداز) اختصاص داده شد که بیانگر تراکم‌های گیاهی غیرمتراکم و نابالغ تا پوشش کامل از گونه‌های گیاهی مختلف هستند (۳).

ضریب خرداقلیم (K_{mc}) به‌منظور وجود تفاوت در شرایط محیطی فضاهای سبز مختلف، در محاسبه نیاز آبی فضای سبز اعمال می‌شود. شرایط محیطی شامل خیابان‌ها، توزیع و جهت ساختمان‌ها (۵)، ارتفاع ساختمان‌ها (۸)، گستردگی سطوح نفوذپذیر گیاهی و سطوح سخت ساختمانی و آسفالت (۱۹)، فاکتور دید آسمان (Sky view Factor) (۵) هستند که همگی بر دمای هوا، سرعت باد، شدت نور و رطوبت هوا اثر می‌گذارند. پیامد این عوامل، تغییر در مقدار تبخیر- تعرق فضای سبز است (۳ و ۱۹). ضریب خرداقلیم به سه دسته طبقه‌بندی شده است: کم (۰/۵ تا ۰/۹)، متوسط (۲) و زیاد (۱/۱ تا ۱/۴). ضریب خرداقلیم ۱ مربوط به شرایط محیطی نزدیک به شرایط مرجع استاندارد است (۳).

ضرایب WUCOLS در باغ گل‌ها

جدول ۱ ضرایب به‌دست آمده برای باغ گل‌ها را ارائه می‌دهد. در این مطالعه، بر اساس دستورالعمل WUCOLS، یک مقدار ثابت برای هر ضریب در سراسر سال اختصاص داده شد به جز ضریب تراکم (K_d) که به‌علت ریزش برگ درختان خزان شونده در طول سال تغییر می‌کند. همچنین فرض شد که تغییرات قابل‌توجهی در ویژگی‌های گیاهان فضای سبز (از جمله تراکم، نوع، مساحت و گستردگی تاج) در ماه‌های یکسان از دوره سه ساله پژوهش، رخ نداده است، بنابراین مقادیر ضرایب هر ماه برای سه سال پژوهش ثابت درنظر گرفته شد.

برای ضریب خرداقلیم مقدار ۱ درنظر گرفته شد، از آنجایی که یک، پارک با پوشش گیاهی کامل بوده است و در معرض بادهای

جدول ۱. ضرایب روش WUCOLS

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ضریب گونه K_S	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۶۳
ضریب تراکم K_d	۰/۵	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱	۰/۷	۰/۶
ضریب خرداقلیم K_{mc}	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

غیرمعمول (atypical) نیست (۳ و ۲۰) ، به‌منظور اختصاص ضریب گونه (K_s)، از ضرایب مناطق ۲ و ۴ کالیفرنیا به‌دلیل شباهت بیشتر به شرایط آب‌وهوایی اصفهان استفاده شد. درنهایت، ضریب گونه بر اساس دستورالعمل WUCOLS و نظرات کارشناسان باغبانی باغ گل‌ها انتخاب شد. با توجه به نیاز آبی متوسط اغلب گونه‌های باغ، ضریب گونه برابر ۰/۵ در نظر گرفته شد. برای سه نوع چمن باغ گل‌ها (*Festuca sp, Kentucky bluegrass, Lolium perenne*) مقدار ضریب ۰/۷ اختصاص داده شد. بدلیل اینکه مساحت هر نوع پوشش گیاهی می‌تواند در طول سال تغییر کند، مقادیر ضریب گونه باغ گل‌ها در هر ماه با متوسط‌گیری وزنی مساحت هر پوشش گیاهی در آن ماه به‌دست آمد. به‌عنوان مثال در ماه ژانویه ۱۴ درصد پوشش چمن با K_s برابر ۰/۷ و ۸ درصد پوشش سایر گیاهان با K_s برابر ۰/۵ وجود داشت که حاصل میانگین وزنی آن ۰/۶۳ می‌شود (جدول ۱). بنابراین همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میزان K_s برای هر ماه متفاوت است. درصد پوشش سطوح مختلف در هر ماه با کمک تصاویر گوگل ارث محاسبه شد. در نهایت، مقادیر K_s و K_d باغ گل‌ها با متوسط‌گیری وزنی به‌دست آمد (جدول ۱). مقدار ضریب فضای سبز (K_L) در محدوده ۰/۳۲ تا ۰/۶۹ بود.

روش LIMP

روش LIMP به‌منظور براورد تبخیر- تعرق فضای سبز شهری توسط اشنایدر و ایچینگ ارائه شد. در این روش تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (۲۲).

$$ET_l=ET_0K_{mc}K_vK_dK_{sm}=ET_{0l}K_vK_dK_s \qquad (۲)$$

در این رابطه، K_{mc}، K_v، K_d و K_{sm} به‌ترتیب بیانگر ضرایب خرداقلیم، گیاهی، تراکم و تنش آب مدیریتی و پارامتر ET_{0l} بیانگر تبخیر- تعرق مرجع محلی هستند. تخمین ET_{0l} بر اساس داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده در محل یا تخمین زده شده است و با استفاده از همان معادله تخمین ET_0 محاسبه می‌شود (۲۳). باید توجه شود که داده‌های هواشناسی محلی بایستی روی سطح چمنی که آبیاری کامل شده است اندازه‌گیری شوند (۲۳). این شرط در باغ گل‌ها برقرار بود.

ضریب گیاهی (K_v) بیانگر نسبت پارامتر ET_v (تبخیر- تعرق گیاه با آبیاری کامل با پوشش سایه بیش از ۷۰ درصد) به ET_{0l} است (۱ و ۲۳). آلن و همکاران مقادیر K_v از ۰/۷ تا ۱/۲ برای گونه‌های کلی گیاهان تحت شرایط تراکم گیاهی بالا و ذخایر آب کامل پیشنهاد دادند. مقدار K_v زمانی بزرگ‌تر از یک می‌شود که گیاهان بلندتر و ناهموارتر از چمن ۱۲ سانتی‌متری مرجع استاندارد باشند (۱). اشنایدر و ایچینگ فرض کردند که تغییرات فیزیولوژی گیاه در طول سال زیاد نبوده است (۲۲) و بنابراین یک مقدار ثابت برای K_v هر گونه گیاهی در طول کل سال در نظر گرفته شد.

ضریب تراکم با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می شود:

$$K_d = \sin\left(\frac{\pi C_G}{۱۴۰}\right) \qquad (۳)$$

در این رابطه C_G بیانگر درصد سایه‌اندازی در شرایطی که مقدار سایه کمتر از ۷۰ درصد باشد،است. فرض می‌شود که در اواسط روز زمانی‌که مقدار سایه بیشتر از ۷۰ درصد شد، تاج پوشش گیاهان بیشتر تابش خورشیدی را مسدود کرده و هیچ انرژی اضافی برای تبخیر بیشتر وجود نخواهد داشت. بنابراین در مکان‌هایی با سایه‌اندازی بیشتر از ۷۰ درصد، مقدار K_d برابر یک درنظر گرفته می‌شود (۲۲ و ۲۳).

ضریب K_{sm} یک تنش آب مدیریتی بوده که می‌تواند بر اساس تجارب و مشاهدات باغبانان محلی تخمین زده شود (۱).

این ضریب توسط آلن و همکاران به سه دسته کلی تقسیم‌بندی شد: تنش زیاد (۰/۳ تا ۰/۷)، تنش متوسط (۰/۴ تا ۰/۸) و تنش کم (۰/۶ تا ۰/۹).

ضرایب LIMP در باغ گل‌ها

جدول ۲ مقادیر K_v، K_d و K_{sm} برای هر ماه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در بخش "ضرایب WUCOLS در باغ گل‌ها"بیان شد، به‌دلیل اینکه مساحت هر نوع پوشش گیاهی در طول سال تغییر می‌کند، مقادیر ضرایب برای هر ماه بر اساس متوسط‌گیری وزنی هر پوشش سطح اندازه‌گیری شده در آن ماه، محاسبه می‌شود. بنابراین همانطور که در جدول ۲ قابل مشاهده است، مقدار ضرایب برای هر ماه متفاوت است. بر اساس مقادیر K_v پیشنهادی توسط آلن و همکاران، مقدار ضریب گیاهی برای ترکیب درختان، بوته‌ها و پوشش زمین برابر ۱/۲ و برای چمن برابر ۰/۹ در نظر گرفته شد. ضرایب تنش آب مدیریتی نیز بر اساس پیشنهاد آلن و همکاران در نظر گرفته شد. به‌دلیل اینکه باغ گل‌ها تنوع گسترده‌ای از انواع گونه‌های گیاهی دارد و اغلب گونه‌ها نیاز آبی متوسط دارند، برای حفظ ظاهر شاداب گیاهان، مقدار متوسطی از تنش آب فرض شد. بنابراین ضریب ۰/۶ برای ترکیب درختان، بوته‌ها و پوشش زمین و ضریب ۰/۸ برای چمن فصل سرد باغ گل‌ها انتخاب شد. در نهایت مقادیر K_v، K_{sm} و K_d باغ گل‌ها با متوسط‌گیری وزنی هر نوع پوشش به‌دست آمد (جدول ۲).

مقایسه کلی دو روش WUCOLS و LIMP

اساس هر دو روش WUCOLS و LIMP بر پایه ضرایب مختلف است اگرچه در نوع و مقدار ضرایب، دارای تفاوت‌هایی هستند. به‌عنوان مثال، ضریب تراکم در روش LIMP با دقت بیشتری در مقایسه با روش WUCOLS محاسبه می‌شود و ضریب گیاهی در روش WUCOLS شامل هم اثرات گونه گیاهی و هم تنش آب است، درحالی که در روش LIMP، این دو اثر در غالب دو ضریب جداگانه وارد محاسبات می‌شوند (۱).

تحلیل آماری دو روش WUCOLS و LIMP

به‌منظور آگاهی از وجود تفاوت معنی‌دار بین تبخیر- تعرق روزانه تخمینی با دو روش WUCOLS و LIMP، از آزمون T-Test مستقل استفاده شد. این آزمون برای هر ماه در مدت سه سال دوره طرح توسط نرم‌افزار SPSS-۱۹ انجام شد. فرض صفر در نظر گرفته شده، عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین مقادیر تبخیر- تعرق روزانه به‌دست آمده با دو روش WUCOLS و LIMP بود و سطح معنی‌داری برابر پنج درصد درنظر گرفته شد.

تبخیر-تعرق مرجع

در این مطالعه، بدلیل عدم اندازه‌گیری پارامترهای مختلف هواشناسی در ایستگاه باغ گل‌ها، از یکی از روابط والیانتزاس (رابطه ۴) برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع استفاده شد (۲۶):

$$ET_0 \approx ۰/۰۳۹۳\, R_s \sqrt{\left(|T+۹/۵|\right)} - ۰/۱۹\, R_s^{۰/۶}\, \varphi^{۰/۱۵} + ۰/۰۷۸\left(T+۲۰\right)\left(۱-\frac{RH}{۱۰۰}\right) \quad (۴)$$

در این رابطه R_s تابش خورشیدی ($MJ / m^2/ d$)، T دمای متوسط هوا، φ عرض جغرافیایی (rad) و RH رطوبت نسبی (٪) است. نتایج پژوهش والیانتزاس نشان داد رابطه ۴ در مقایسه با سایر معادلات تجربی که برای شرایط کمبود داده‌های هواشناسی ارائه شدند مثل روش هارگریوز (Hargreaves)، روش ترک (Turk) و روش پنمن مانتیث با داده محدود (reduced set Penman-Monteith schemes)، دقت بیشتری دارد. ولی‌پور مقادیر تبخیر- تعرق استان اصفهان را با استفاده از دو رابطه فائو- پنمن- مانتیث (FAO Penman-Monteith) و والیانتزاس در یک دوره آماری ۳۰ ساله از ۱۲ ایستگاه سینوپتیک، تخمین زد. ضریب تبیین (R^2)، خطای استاندارد (SEE) و خطای سیستماتیک (S) به‌ترتیب برابر با ۰/۹۹۵، ۰/۴۷ میلی‌متر در روز و ۱/۰۳ بودند که حاکی از دقت خوب مدل والیانتزاس در تخمین تبخیر- تعرق شهر اصفهان بود (۲۷). یزدان پناه مقادیر تبخیر- تعرق مرجع شهر اصفهان را با استفاده از دو رابطه فائو- پنمن- مانتیث و والیانتزاس برای یک دوره سه ساله مقایسه کرد. نتایج او متوسط ضریب تبیین ۰/۸۶ را نشان داد (۲۹).

جدول ۲. ضرایب روش LIMP

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ضریب گیاهی K_v	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۱
ضریب تراکم K_d	۰/۳	۰/۳	۰/۵	۰/۹	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹	۰/۶	۰/۳
ضریب تنش مدیریتی K_{sm}	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷۱	۰/۷۲	۰/۷۲

نیاز آبیاری

نیاز خالص آبیاری گیاهان (IR_n) با استفاده از رابطه ۵ تخمین زده می‌شود (۱).

$$IR_n = ET_l - P_e - GW - \Delta\theta z_s \quad (۵)$$

در این رابطه IR_n بیانگر نیاز خالص آبیاری، P_e بارندگی موثر (قسمتی از بارندگی نفوذیافته به داخل خاک و حفظ شده در منطقه ریشه که قابل‌استفاده برای تعرق گیاه است)، $\Delta\theta$ متوسط تغییرات آب خاک در منطقه ریشه در طول دوره محاسبه، GW مشارکت آب زیرزمینی کم‌عمق و z_s عمق تغییر رطوبت خاک هستند. برای دوره‌های زمانی کمتراز یک فصل رشد، پارامتر $\Delta\theta$ برابر صفر فرض می‌شود (۱).

نیاز ناخالص آبیاری گیاهان (IR_g) مقدار کل آب مورد نیاز فضای سبز با درنظر گرفتن تلفات آب است (۲۸) و با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود (۷):

$$IR_g = IR_n / E_a \quad (۶)$$

در این رابطه E_a راندمان آبیاری است که بر اساس کتاب فوسایدس برابر ۷۵ درصد برای آبیاری شیلنگی با سرآبپاش فرض شد (۱۷).

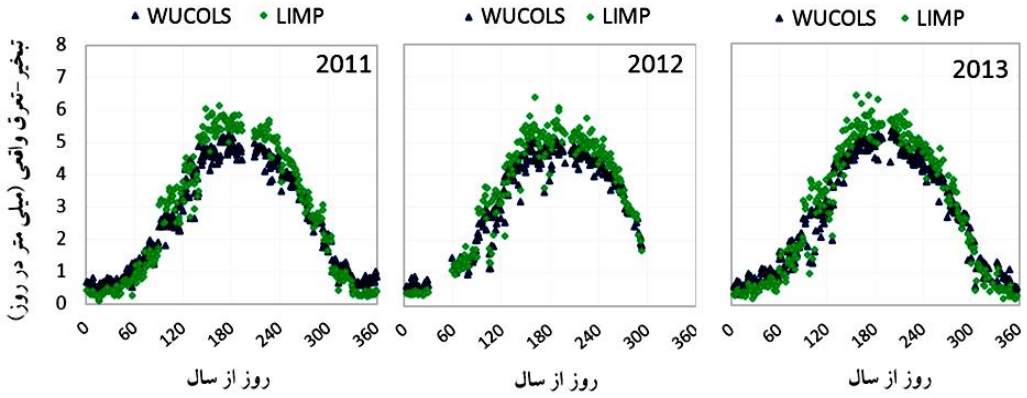
داده‌های هواشناسی

به‌منظور محاسبه تبخیر- تعرق مرجع منطقه‌ای، داده‌های هواشناسی ایستگاه ازن‌سنجی اصفهان (http://www.esfahanmet.ir) در طول سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ جمع‌آوری شد. یک دستگاه دیتالاگر (مدل ۸۸۰۸ از شرکت AZ) در ارتفاع ۱/۸ متری از سطح زمین در باغ گل‌ها نصب شد. به‌منظور محاسبه تبخیر- تعرق مرجع محلی، داده‌های دما و رطوبت نسبی باغ در فواصل زمانی پنج دقیقه‌ای ثبت شد. دیتالاگر با توان اندازه‌گیری محدوده دمای ۲۰- تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد با قدرت تفکیک ۰/۱ درجه سانتی‌گراد و محدوده رطوبت صفر تا ۱۰۰ درصد با قدرت تفکیک ۰/۱ درصد بود. دقت سنسور دمای آن ۰/۶ درجه سانتی‌گراد برای دماهای بین صفر تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۱/۲ درجه سانتی‌گراد برای سایر دماها بود. دقت سنسور رطوبت آن ۳ درصد برای محدوده رطوبت بین ۱۰ تا ۹۰ درصد در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۵ درصد برای خارج این محدوده بود. دیتالاگر هر شش ماه کالیبره شد. دما و رطوبت ساعتی با متوسط‌گیری از داده‌های پنج دقیقه‌ای در طول هر ساعت به‌دست آمد. دما و رطوبت متوسط روزانه با متوسط‌گیری از داده‌های بیشینه و کمینه روزانه حاصل شد.

به‌منظور تخمین میزان بارندگی در باغ گل‌ها، از آمار بارش ایستگاه‌های هواشناسی استان اصفهان به روش تیسن استفاده شد (۲۵). برای محاسبه بارش مؤثر از روش ساده شده USDA SCS که در مدل CROPWAT نسخه هشت به‌کار رفته است، استفاده شد (۲۱). این روش برای محیط‌های نیمه‌خشک که پتانسیل تبخیر بالایی دارند مناسب است (۹). باتوجه به اینکه امکان اندازه‌گیری تابش خورشیدی (R_s) در باغ گل‌ها وجود نداشت، از مقادیر تابش خورشیدی ثبت شده در ایستگاه منطقه‌ای (شکل ۱)، به‌منظور تخمین تبخیر- تعرق مرجع محلی (ET_{0l}) بااستفاده از رابطه ۴ استفاده شد. برای کاهش خطای احتمالی، داده‌های روزهای ابری از محاسبات حذف و تحلیل‌ها تنها بر اساس روزهای آفتابی انجام شد.

داده‌های آبیاری

نیاز آبی گیاهان باغ گل‌ها از آب زیرزمینی تأمین می‌شود. حجم



شکل ۲. تبخیر- تعرق روزانه باغ گل‌ها با دو روش WUCOLS و LIMP در طول سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳. داده‌های روزهای ۳۰ تا ۶۰ و روزهای ۳۰۰ تا ۳۶۰ در سال ۲۰۱۲ جزء داده‌های گم شده بودند.

جدول ۳. نتایج آزمون T-Test مقایسه میانگین‌های تبخیر- تعرق روزانه باغ گل‌ها با دو روش WUCOLS و LIMP

۲۰۱۳	۲۰۱۲	۲۰۱۱		
۰/۲۴*	۰/۲۲*	۰/۲۶*	January	$ET_{I\,(WUCOLS-LIMP)}$
۰/۲۸*	–	۰/۲۴*	February	
۰/۱۸ ns	−۰/۰۲ ns	۰/۲۶*	March	
−۰/۵۱*	−۰/۴۰*	−۰/۵۴*	April	
−۰/۳۲ns	−۰/۳۵ns	−۰/۳۴ns	May	
−۰/۶۵*	−۰/۵۲*	−۰/۷۷*	June	
−۰/۴۸*	−۰/۵۹*	−۰/۷۱*	July	
−۰/۵۱*	−۰/۴۹*	−۰/۶*	August	
−۰/۳۱*	−۰/۳۳*	−۰/۳*	September	
−۰/۰۵ ns	−۰/۱۱ns	−۰/۱۷ ns	October	
۰/۲۱*	–	۰/۲۱*	November	
۰/۳۳*	–	۰/۳۹*	December	

آب کاربردی فصلی بر اساس برنامه آبیاری اجرایی سازمان پارک‌ها و فضای سبز اصفهان و اندازه‌گیری در محل تخمین زده شد. باتوجه به مساحت فضای سبز باغ، داده‌های حجم آب کاربردی فصلی (مترمکعب) به عمق (میلی‌متر) تبدیل شد.

نتایج و بحث

تخمین تبخیر- تعرق با روش های WUCOLS و LIMP

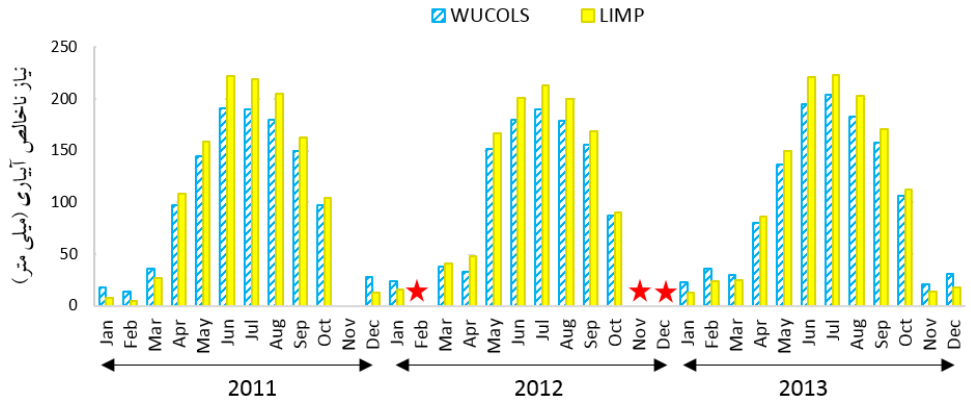
مقادیر تبخیر- تعرق روزانه تخمینی باغ گل‌ها با دو روش LIMP (۱۰ تا ۱۶۸ میلی‌متر) و WUCOLS (۱۸ تا ۱۵۳ میلی‌متر) در شکل ۲ قابل مشاهده است. مقادیر تبخیر- تعرق روش LIMP بیشتر از روش WUCOLS بود به جز در روزهای ۱ تا ۹۰ و ۳۰۰ تا ۳۶۰ سال میلادی (روزهای سرد سال).

جدول ۳ نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های تبخیر- تعرق روزانه باغ گل‌ها با دو روش WUCOLS و LIMP را ارائه می‌دهد. به‌طورکلی می‌توان گفت تفاوت دو روش معنی‌دار است.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می شود، آب مورد نیاز سالانه در روش WUCOLS برابر ۹۶۴ میلی‌متر بود که پنج درصد کمتر از روش LIMP (۱۰۱۶ میلی‌متر) است.

جدول ۴. متوسط نیاز آبی فصلی و سالانه (میلی‌متر) با دو روش WUCOLS و LIMP و حجم آب کاربردی در طول سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳

	زمستان (۲۰ دسامبر تا ۲۰ مارس)	بهار (۲۰ مارس تا ۲۰ ژون)	تابستان (۲۰ ژون تا ۲۰ سپتامبر)	پاییز (۲۰ سپتامبر تا ۲۰ دسامبر)	سالانه
WUCOLS	۸۳	۳۰۹	۴۰۶	۱۶۶	۹۶۴
LIMP	۶۳	۳۳۹	۴۵۴	۱۶۰	۱۰۱۶
حجم آب کاربردی	۳۰	۴۰۰	۶۶۶	۲۷۰	۱۳۶۶



شکل ۳. نیاز ناخالص آبیاری ماهانه با دو روش WUCOLS و LIMP در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳. ماه‌های ستاره‌دار شامل داده گم شده هستند.

نیاز ناخالص آبیاری

شکل ۳ مقادیر نیاز ناخالص آبیاری ماهانه باغ گل‌ها با روش‌های LIMP و WUCOLS را نشان می‌دهد. مقدار نیاز ناخالص آبیاری با در نظر گرفتن راندمان آبیاری ۷۵ درصد حاصل شد (بخش "نیاز آبیاری"). برای تخمین نیاز خالص آبیاری، بارندگی موثر ماهانه از مقادیر تبخیر- تعرق ماهانه کسر شد (بخش "نیاز آبیاری"). روند تغییرات قابل مشاهده در شکل ۳ مربوط به عملکرد فیزیولوژی گیاه در طول ماه‌های مختلف است. مقادیر بیشینه نیاز آبیاری، از ماه ژون تا آگوست (اواخر بهار تا اواخر تابستان) است که حاکی از نیاز آبی بیشینه در ماه‌های گرم است. به‌طورکلی، نیاز آبیاری کمینه از ماه نوامبر تا مارس (اواسط پاییز تا اوایل بهار) بود که ناشی از تبخیر- تعرق کم گیاهان در طول خواب زمستانی و بارندگی بیشتر در این دوره است. بیشترین تغییرات نیاز ناخالص آبیاری در سه سال پژوهش، از ماه اکتبر تا می (اواسط پاییز تا اواسط بهار) رخ داد که علت آن تغییرات زیاد میزان بارندگی در طول پاییز تا بهار در سال‌های مطالعه است.

در ماه‌هایی که نیاز ناخالص آبیاری برابر صفر است، حاکی از فراتر رفتن مقدار بارش مؤثر از تبخیر- تعرق است. در این زمان نیاز به انجام آبیاری نیست. این وضعیت در ماه نوامبر ۲۰۱۱ رخ داد که بارش مؤثر آب مورد نیاز گیاهان باغ را تأمین کرده است.

همان‌طور که در جدول ۵ قابل مشاهده است، نیاز ناخالص آبیاری فصلی در تابستان و با روش LIMP بیشترین مقدار است. مقدار نیاز ناخالص آبیاری فصل تابستان روش‌های LIMP و WUCOLS به‌ترتیب ۴۹ و ۴۷ درصد از نیاز ناخالص آبیاری سالانه است. به‌طور متوسط، مقدار نیاز ناخالص آبیاری سالانه روش WUCOLS، شش درصد کمتر از روش LIMP است.

مقایسه حجم آب کاربردی با نیاز ناخالص آبیاری

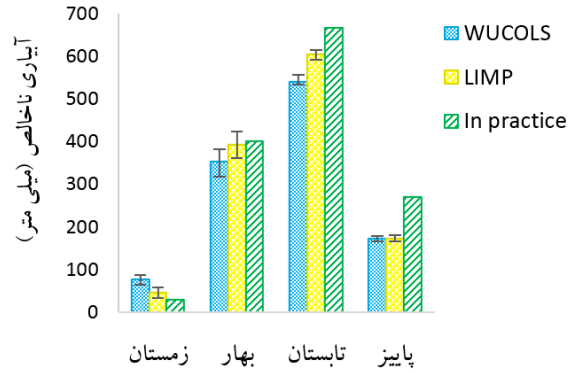
به‌طورکلی مقدار آب به‌کار رفته برای آبیاری باغ گل‌ها بیشتر از نیاز ناخالص آبی محاسبه شده با دو روش WUCOLS و

جدول ۵. نیاز ناخالص آبیاری فصلی و سالانه (میلی‌متر) با دو روش WUCOLS و LIMP در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳

روش	سال	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه
WUCOLS	۲۰۱۱	۶۵	۳۸۲	۵۳۳	۱۶۶	۱۱۴۶
	۲۰۱۲	- [a]	۳۱۸	۵۳۳	- [b]	-
	۲۰۱۳	۸۹	۳۵۸	۵۵۷	۱۸۰	۱۱۸۳
LIMP	۲۰۱۱	۳۴	۴۲۴	۶۰۶	۱۶۷	۱۲۳۲
	۲۰۱۲	- [a]	۳۶۲	۵۹۶	- [b]	-
	۲۰۱۳	۶۰	۳۹۲	۶۱۴	۱۸۱	۱۲۴۶

[a] ماه فوریه دارای داده گم شده بود.

[b] ماه‌های نوامبر و دسامبر دارای داده گم شده بودند.



شکل ۴. متوسط نیاز ناخالص آبیاری فصلی با دو روش WUCOLS و LIMP در مقایسه با مقدار آب کاربردی در باغ گل‌ها در سالهای ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳.

LIMP برای تمام فصل‌ها به جز زمستان بود (شکل ۴). (به‌طور متوسط، نیاز ناخالص آبیاری سالانه با روش WUCOLS برابر ۱۱۶۴ میلی‌متر بود، ۱۵ درصد کمتر از مقدار ۱۳۶۶ میلی‌متر آبیاری انجام شده.) درحالی که نیاز ناخالص آبیاری سالانه با روش LIMP برابر ۱۲۳۹ میلی‌متر، ۹ درصد کمتر از حجم آب به‌کار رفته سالانه بود. با توجه به شکل ۴، در شرایط کمبود شدید منابع آب اصفهان، امکان کاهش آبیاری در فصل‌های تابستان و پاییز وجود دارد، اگرچه بر اساس نظرات کارشناسان باغبانی باغ گل‌ها، ظاهر شاداب و سلامت گیاهان باغ درنتیجه مقدار آبیاری انجام شده، مطلوب است، با این وجود، کاهش مقدار آبیاری تا مقادیر تخمینی روش LIMP احتمالاً اثرات منفی روی سبزی، سلامت و ظاهر گیاهان باغ نخواهد گذاشت، از آنجایی که دامنه وسیعی از گیاهان زینتی می‌توانند به‌خوبی در برابر کاهش مقدار آبیاری مقاومت کنند (۱۰). ذکر این نکته ضروری است که روشLIMP در این مطالعه تحت تنش متوسط اعمال شد (بخش " ضرایب LIMP در باغ گل‌ها") و کاهش آبیاری تا مقادیر کمتر از LIMP ممکن است منجر به آسیب‌هایی برای گیاهان این باغ شود زیرا باغ گل‌ها شامل بیش از ۲۰۰ نوع گونه گیاهی مختلف است که اغلب آنها در برابر مقادیر بالای تنش آب مقاوم نیستند.

ملاحظات و توصیه‌های مدیریتی

همانطور که در شکل ۴ قابل مشاهده است، حجم آب به‌کار رفته در پاییز بیشتر از مقادیر تخمینی با هر دو روش بوده است. این موضوع نشان می‌دهد که مشارکت بارش مؤثر در تأمین نیاز آبی گیاه توسط برنامه‌ریزان آبیاری در نظر گرفته نشده است. زیرا در

طول دوره پژوهش، بیشترین بارندگی در فصل پاییز رخ داده است که می توانست به‌عنوان منبع با ارزش آب سبز (green water resource) برای آبیاری باغ گل‌ها استفاده شود.

نتایج نشان داد که در طول دوره پژوهش، حجم آبیاری به‌کار رفته در طول زمستان کمتر از مقادیر نیاز آبی تخمینی با هر دو روش بوده است (شکل ۴). علت احتمالی این اتفاق می‌تواند ناشی از در نظر نگرفتن بارش مؤثر واقعی در محاسبات نیاز آبیاری باغ گل‌ها در طول این فصل باشد. احتمالاً، برنامه‌ریزی آبیاری با این فرض که بیشترین مقدار بارندگی در طول زمستان رخ می‌دهد، انجام شده است. اگرچه این فرض بر اساس آمار ۳۰ ساله سازمان هواشناسی ایران درست است اما در طول دوره سه ساله پژوهش، بیشترین مقدار بارش در فصل پاییز (نه در زمستان) ثبت شده است. بنابراین یک راهکار برای بهبود مدیریت آبیاری فضاهای سبز شهری در اصفهان و سایر شهرها با آب‌وهوای خشک، اصلاح مداوم مقدار آبیاری با در نظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی، به‌ویژه بارندگی است. لزوم این کار در مطالعه حاضر، در فصل بهار بیشتر نمایان است از آنجایی که مقدار نیاز ناخالص آب تخمینی با روش WUCOLS در این فصل دارای تغییرات ۶۴ میلی‌متر در طول سه سال پژوهش بوده است (جدول ۵). در شرایط بحران آب در اصفهان، نتایج این مطالعه نشان داد که اصلاح و به روزرسانی حجم آبیاری براساس داده‌های هواشناسی ثبت شده به‌طور پیوسته در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت ضروری است.

براساس شکل ۴ و با توجه به نظرات کارشناسان باغبانی باغ گل‌ها مبنی بر ظاهر شاداب، سلامت و سبزی مطلوب گیاهان باغ، می‌توان نتیجه گرفت که روش WUCOLS نیاز آبیاری را در فصول گرم، کم تخمین زده است. این یافته با نتایج نوری و همکاران هم‌خوانی دارد (۱۴). نتایج آنها نشان داد روش WUCOLS مقدار سالانه نیاز آبی پارکی در شهر ادلاید استرالیا را ۲۶ درصد کمتر از روش بالانس آب خاک (Soil Water Balance) و ۲۶/۳ درصد کمتر از روش شاخص گیاهی بهبود یافته (Enhanced Vegetation Index) با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS تخمین زده است (۱۴).

در این مطالعه، نیاز آبیاری تخمینی با روش LIMP به مقدار آبیاری به‌کار رفته نزدیک‌تر بود، با وجود اینکه در این پژوهش، امکان اندازه‌گیری ضریب گیاهی (K_v) در باغ گل‌ها بر اساس دستورالعمل LIMP وجود نداشت و در عوض از مقادیر پیشنهادی آلن و همکاران استفاده شد. بنابراین تخمین‌های LIMP در این مطالعه، نسبت به شرایطی که ضریب گیاهی در باغ اندازه‌گیری می‌شد، احتمالاً دقت کمتری دارند. با این حال این مطالعه، برتری روش LIMP نسبت به روش WUCOLS را به‌علت اعمال مقادیر مختلف تنش آب در مدیریت آبیاری تأیید می‌کند که امکان اعمال آن در روش WUCOLS وجود ندارد. اندازه‌گیری ضریب گیاهی در باغ گل‌ها براساس دستورالعمل LIMP در مطالعات بعدی توصیه می‌شود.

همان‌طور که در بخش روش WUCOLS" بیان شد، ضریب گونه (K_s) در روش WUCOLS بر اساس مطالعات نیاز آبی گونه‌های فضای سبز است. این بدان معناست که هم اثر نوع گونه و هم اثر تنش آب مدیریتی در ضریب گونه وجود دارد (۱). ترکیب این دو فاکتور ممکن است منجر به خطا در تخمین ضریب گونه برای گیاهان خارج از کالیفرنیا شود زیرا مقادیر ضریب گونه در روش WUCOLS برای گیاهان در کالیفرنیا ارائه شده‌اند.

در شرایط نگران کننده کمبود آب و استمرار هر چه بیشتر این مشکل، استفاده از منابع آب جایگزین مثل پساب فاضلاب تصفیه شده (آب خاکستری) برای آبیاری فضای سبز شهری توصیه می‌شود. اگرچه نیاز به تمهیدات کافی و زیرسازی و همچنین ملاحظات مدیریتی شامل زمان آبیاری (برای کاهش تماس انسان)، شوری خاک، آسیب گیاه و آبشویی نیتروژن دارد (۱۲).

نتیجه‌گیری

در منطقه خشک اصفهان، تخمین دقیق نیاز آبی فضای سبز شهری دارای اهمیت زیادی است. در این مطالعه، نیاز آبی گیاهان باغ گل‌ها با استفاده از دو روش WUCOLS و LIMP تخمین زده شد. به‌طور متوسط، نیاز آبی سالانه باغ گل‌ها با روش WUCOLS پنج درصد کمتر از روش LIMP تخمین زده

شد. بر اساس حجم آب به‌کار رفته و ظاهر شاداب و سلامت گیاهان می توان نتیجه گرفت که روش WUCOLS می‌تواند نیاز آبی گیاهان در فصول گرم را کم تخمین بزند.

نتایج نشان داد که استفاده از روش LIMP می‌تواند منجر به کاهش ۹ درصدی در مقدار آبیاری در باغی با پوشش کاملی از گیاهان مختلف، اغلب خزان شونده و سطوح چمن گسترده شود. روش LIMP به‌علت قابلیت اعمال تنش آبی در مدیریت آبیاری نسبت به روش WUCOLS، تخمین‌های قابل اعتمادتری ارائه می‌دهد. نتایج نشان داد آب به‌کار رفته در طول فصل زمستان کمتر از نیاز آبی باغ گل‌ها بوده، درحالی که آبیاری انجام شده در فصل پاییز بیشتر از نیاز آبی گیاهان بوده است. این موضوع می‌تواند ناشی از در نظر نگرفتن بارش مؤثر در محاسبات نیاز آبی باغ گل‌ها باشد. لزوم اصلاح برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس شرایط آب‌وهوایی به‌ویژه بارندگی در سراسر سال و نه فقط بر اساس متوسط آمار هواشناسی بلندمدت توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی شهرداری اصفهان در طرح تحقیقاتی شماره ۹۳/۲۷۴۴۵ انجام شد. از معاونت برنامه‌ریزی، پژوهش و فناوری اطلاعات شهرداری اصفهان، سازمان پارک‌ها و فضای سبز اصفهان، معاونت خدمات شهری شهرداری، دانشگاه صنعتی اصفهان تشکر می‌شود. همچنین از همکاری آقای مهندس غفاری، آقای مهندس رقیب، خانم مهندس تبریزی و خانم مهندس رضایی صمیمانه قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Allen, R. G., T. A. Howell and R. L. Snyder. 2011. Irrigation Water Requirements, Irrigation Sixth Ed. Irrigation Association, Falls Church, VA, 93–172.
2. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrig. Drain. Pap. No. 56, FAO 300. https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001
3. Costello, L. R., N. P. Matheny, J. R. Clark and K. S. Jones. 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.
4. Edem, E., A. Anthony and U. Greening. 2014. The impact of greenery on the urban microclimate and environmental quality of Uyo metropolis, Akwa Ibom state. *Nigeria* 3: 22–27.
5. Erell, E. and T. Williamson. 2007. Intra-urban differences in canopy layer air temperature at a mid-latitude city. *International Journal of Climatology* 27: 1243–1255.
6. Geiger, R. 1961. Überarbeitete Neuausgabe von Geiger, R. R. Köppen-Geiger/Klima der Erde, Wandkarte 1, 16.
7. Gheysari, M., S. M. Mirlatifi, M. Bannayan, M. Homaee and G. Hoogenboom. 2009. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. *Agric*altural *water Manag*ement. 96: 809–821.
8. Givoni, B. 1998. Climate Considerations in Building and Urban Design. John Wiley & Sons.
9. Hess, T. 2010. Estimating green water footprints in a temperate environment. *Water* 2: 351–362.
10. Kjelgren, R., L. Rupp and D. Kilgren. 2000. Water conservation in urban landscapes. *Hortscience* 35(6): 1037–1040.
11. Mahmood, R., R. A. Pielke, K. G. Hubbard, D. Niyogi, P. A. Dirmeyer, C. Mcalpine, A. M. Carleton, R. Hale, S. Gameda, A. Beltrán-Przekurat, B. Baker, R. Mcnider, D. R. Legates, M. Shepherd, J. Du, P. D. Blanken, O. W. Frauenfeld, U. S. Nair and S. Fall. 2014. Land cover changes and their biogeophysical effects on climate. *International Journal of Climatology* 34(4): 929–953.
12. Nouri, H., S. Beecham, A. Hassanli, G. Ingelton and N. Bolan. 2013a. An assessment of the drainage quality and quantity associated with recycled wastewater irrigation in an urban park, in: 13th Edition of the World Wide Workshop for Young Environmental Scientists (WWW-YES-2013)-Urban Waters: Resource or Risks? HAL-ENPC.
13. Nouri, H., S. Beecham, F. Kazemi and A. Hassanli. 2012. A review of ET measurement techniques for estimating the water requirements of urban landscape vegetation. *Urban Water Journal* 10(4): 247–259.
14. Nouri, H., E. P. Glenn, S. Beecham, S. C. Boroujeni, P. Sutton, S. Alaghmand, B. Noori and P. Nagler. 2016. Comparing three approaches of evapotranspiration estimation in mixed urban vegetation: Field-based, remote sensing-based and observational-based methods. Remote Sensing. 8. https://doi.org/10.3390/rs8060492.

15. Pearlmutter, D., P. Berliner and E. Shaviv. 2007. Urban climatology in arid regions: current research in the Negev desert, *International Journal of Climatology* 27 :1875–1886.
16. Petralli, M., G. Brandani, M. Napoli, A. Messeri and L. Massetti. 2015. Thermal comfort and green areas in Florence. *Italian Journal of Agrometeorology* 20: 39–48.
17. Phocaides, A. 2007. Handbook on Pressurized Irrigation Techniques. Food and Agriculture Org.
18. Rosenfeld, D. 2000. Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. *Science* 287: 1793–1796.
19. Shojaei, P., M. Gheysari, B. Myers, S. S. Eslamiyan, E. Shafieiyoun and H. Esmaeili. 2017. Effect of different land cover/use types on canopy layer air temperature in an urban area with a dry climate, *Building and Environment* https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.010.
20. Shojaei, P., M. Gheysari, H. Nouri, B. Myers and H. Esmaeili. 2018. Water requirements of urban landscape plants in an arid environment: The example of a botanic garden and a forest park. *Ecological Engineering* 123 (2018): 43–53.
21. Smith, M. 1992. CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. Food & Agriculture Org.
22. Snyder, R. L. and S. O. Eching. 2005. Microclimate corrections for urban landscape evapotranspiration, in: Impacts of Global Climate Change. pp. 1–9.
23. Snyder, R. L., C. Pedras, A. Montazar, J. M. Henry and D. Ackley. 2015. Advances in ET-based landscape irrigation management. *Agriculture Water Management* 147: 187–197.
24. Takebayashi, H. and M. Moriyama. 2007. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment* 42: 2971–2979.
25. Thiessen, A. H. 1911. Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review* 39(7): 1082–1089.
26. Valiantzas, J. D. 2013. Simple ET0 forms of penman's equation without wind and / or humidity data . ii: comparisons with reduced set-fao and other methodologies. *Journal of Irrigation and Drainaige Engineering* 139: 9–19.
27. Valipour, M. 2015. Investigation of Valiantzas evapotranspiration equation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 121: 267–278.
28. Waller, P. and M. Yitayew. 2015. Irrigation and Drainage Engineering. Springer. United States
29. Yazdanpanah, N. 2017. Applying and development of LIMP model for urban landscape irrigation management (Case study: Isfahan city). MSc. Thesis in water engineering. Isfahan University of Technology, Iran.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 3, Fall 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Comparison of Applied Water and Estimated Water Requirement by WUCOLS and LIMP Methods for Golha Garden in Isfahan

P. Shojaei[1], M. Gheysari[1*], H. Nouri[2], H. Esmaeili[1] and S. Eslamian[1]

(Received: January 10-2018; Accepted: April 23-2018)

Abstract

Creation and conservation of urban parks is challenging in arid environments where daily thermal extremes, water scarcity, air pollution and shortage of natural green spaces are more conspicuous. Water scarcity in the arid regions of Iran is major challenge for water managers. Accurate estimation of urban landscape evapotranspiration is therefore critically important for cities located in naturally dry environments, to appropriately manage irrigation practices. This study investigated two factor-based approaches, Water Use Classifications of Landscape Species (WUCOLS) and Landscape Irrigation Management Program (LIMP), to measure the water demand in a botanic garden. The irrigation water volume applied was compared with the gross water demand for the period from 2011 to 2013. On average, WUCOLS estimated an average annual irrigation need of 1164 mm which is 15% less than the applied value of 1366 mm while the LIMP estimate of 1239 mm was 9% less than the applied value. Comparison of estimated and applied irrigation showed that a water saving of 9% can be made by the LIMP method. The outcomes of this research stressed the need to modify the irrigation requirements based on effective rainfall throughout the year, rather relying on long-term average data.

Keywords: Urban parks, Landscape coefficient, Urban irrigation management, Water requirement of urban parks

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Faculty of Engineering Technology, University of Twente, Netherlands.
*: Corresponding Author, Email: gheysari@cc.iut.ac.ir