

تخمین آب مورد نیاز فضاهای سبز در مناطق گرم و خشک با استفاده از ضریب منظر (مطالعه موردی: دانشگاه سیستان و بلوچستان) (مقاله پژوهشی)

۱- بهروز نارویی*، استادیار گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران..

behrooz.naroei@gep.usb.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۸

چکیده

هدف از پژوهش پیش‌رو، برآورد نیاز آبی فضاهای سبز محوطه دانشگاه سیستان و بلوچستان براساس ضریب منظر و روش طبقه‌بندی آب مورد نیاز گونه‌های گیاهی موسوم به WUCOLS است. فضای سبز دانشگاه به مساحت ۲۰/۴۶ هکتار، بر پایه سه ویژگی شاخص در تعیین ضریب منظر از جمله عامل گیاه، تراکم کاشت و ریزاقلیم موجود، به سه پهنه A (درختان سوزنی‌برگ با تراکم بالا و پوشش سبز در کف)، B (درختان پهن‌برگ با تراکم کم و پوشش سبز در کف) و C (علفزارها و بوته‌زار با تراکم پایین، درختان و درختچه‌های پراکنده و پوشش خاک در کف) تفکیک شد. جهت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع و میزان بارندگی مؤثر، داده‌های اقلیمی ایستگاه هواشناسی زاهدان در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۳۷۲-۱۴۰۲) مورد استفاده قرار گرفت. براساس یافته‌ها، حجم آب مورد نیاز سالیانه برای آبیاری کل فضای سبز دانشگاه به مقدار ۸۷۲۶۶۴/۷۶ متر مکعب با راندمان ۳۵ درصد تخمین زده می‌شود. همچنین حداکثر میزان مصرف سالیانه منابع آب در میان پهنه‌های موجود، مربوط به پهنه B یا درختان پهن‌برگ با تراکم کم و پوشش سبز در کف (۴۸۰۱۴۱/۵۳ متر مکعب) است و پهنه A (۳۸۵۲۴۱ متر مکعب) و پهنه C (۷۲۸۲/۲۳ متر مکعب) به ترتیب در جایگاه بعدی قرار دارند. برنامه‌ریزی برای حذف پوشش سبز در کف پهنه A، به دلیل تراکم زیاد درختان کاج و همچنین جایگزینی گونه گیاهی چمن زینتی در پهنه B با گیاهان زری‌اسکیپ و مالچ‌های مصنوعی می‌تواند از راهکارهای کوتاه مدت برای کاهش میزان مصرف آب در فضای سبز دانشگاه باشد. همچنین توسعه سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای و استفاده حداکثری از منابع آب خاکستری به جای آب شرب در هر سه پهنه، به عنوان راه حل بلندمدت پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: عامل گیاه، تراکم کاشت گیاهان، ریزاقلیم، روش WUCOLS، برآورد نیاز آبی.

مقدمه

ارتباط با ارزش مالی دارائی‌ها و کاهش هزینه‌های مربوط به تعدیل دمای محیط و اجتماعی (ارزش‌های تفریحی و زیبایی‌شناختی، بهبود سلامت جسمانی و روانی افراد جامعه) قابل ارائه هستند [۲۹].

مطالعات متعددی در خصوص تاثیر فضاهای سبز و مناظر طبیعی در پردیس دانشگاه‌ها بر ارتقاء مؤلفه‌های سلامت روان دانشجویان از جمله کاهش استرس، افزایش تمرکز، رضایت از زندگی و امید به آینده وجود دارد [۲۶، ۲۰، ۱۳] که می‌تواند دلیلی بر اهتمام امر حفاظت و

در حال حاضر موضوع حفظ و توسعه فضاهای سبز در محوطه پردیس دانشگاه‌ها در سراسر جهان به دلیل مزایای قابل توجه آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۳۰]. فضاهای سبز به تمام فضاهای بازی گفته می‌شود که عمدتاً توسط پوشش گیاهی پوشیده شده‌اند و انسان‌ها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم از مزایا و خدمات اکوسیستمی آنها بهره‌مند می‌شوند [۲۰]. این مزایا توسط فضاهای سبز در سه بعد محیطی (از جمله کاهش دما، کنترل رواناب و آلودگی هوا، احیاء زیستگاه‌های طبیعی و تنوع زیستی)، اقتصادی (در

توسعه فضاهای سبز دانشگاهی به عنوان یک ضرورت اجتناب ناپذیر باشد.

همسو با این رویکردها در سال‌های اخیر، موضوع ایجاد مناظر پایدار^۱ در محوطه پردیس دانشگاهها در سطح کشور در راستای دستیابی به اهداف مدیریت سبز مطرح شده است. مناظر پایدار به لحاظ بصری جذاب و زیبا بوده و در تعادل با اقلیم محلی منطقه قرار دارد، به گونه‌ای که به حداقل منابع آب، انرژی، نیروی کار، کود و آفت‌کش‌ها نیاز داشته باشد [۱۲]. امروزه ایجاد مناظر و فضاهای سبز پایدار در دانشگاه‌ها در نقاط مختلف دنیا، یکی از معیارهای اصلی شکل‌گیری مفاهیمی چون دانشگاه سبز و یا پردیس سبز می‌باشد [۵].

در همین راستا از سال ۲۰۱۰ میلادی به بعد هر ساله رتبه‌بندی جهانی یو آی گرین-متریک^۲ توسط دانشگاه اندونزی، براساس معیارها و شاخص‌های مرتبط با مسائل زیست‌محیطی در دانشگاه‌ها صورت می‌گیرد. شش شاخص کلیدی از جمله زیرساخت‌های موجود (از جمله سرانه فضاهای باز، سبز، بهداشتی، خدماتی و رفاهی و ...)، مصرف انرژی و سیاست‌های مواجهه با تغییرات اقلیمی، مدیریت پسماند، مصرف آب، حمل و نقل، آموزش و پژوهش در این ارزیابی اهمیت می‌یابند [۱۱]. براساس آخرین رتبه‌بندی منتشر شده در سال ۲۰۲۴ توسط گرین متریک، از میان ۱۴۷۷ دانشگاه در سطح جهان، تنها ۴۰ دانشگاه در ایران، حائز رتبه هستند [۲۵].

دانشگاه سیستان و بلوچستان به عنوان قطب علمی جنوب شرق کشور طی دو دهه گذشته در راستای ارتقای کیفیت محیط و منظر دانشگاه، اقدام به توسعه سرانه فضای سبز به میزان ۳۰ متر مربع به ازای هر دانشجو کرده است. این امر سبب شده تا این دانشگاه به عنوان یکی از زیباترین دانشگاه‌های کشور به شمار آید و بتواند هر ساله دانشجویان زیادی را از سراسر ایران به خود جذب کند. براساس ارزیابی سیستم رتبه‌بندی گرین متریک از میان دانشگاه‌های ایران در سال ۲۰۲۴، دانشگاه سیستان و بلوچستان در جمع ۴۰ دانشگاه مطرح کشور، در جایگاه ۳۲ قرار گرفته است [۲۵]. بدون تردید ایجاد و توسعه فضاهای سبز پایدار نسبت به شرایط محیطی مناطق گرم و

خشک و همچنین کاهش میزان مصرف منابع آب شرب جهت آبیاری آنها، نقش مهمی در ارتقاء رتبه این دانشگاه در ارزیابی گرین متریک دارد.

از این رو اطلاع از وضعیت نیاز آبی گیاهان در فضای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان و تخمین نیاز آبی کل، می‌تواند یکی از داده‌های اولیه مهم جهت نگهداری و حفاظت از محیط و منظر محوطه دانشگاه باشد. با توجه به اینکه نیاز آبی گیاهان در هر منطقه جغرافیایی تحت تاثیر مستقیم عواملی چون تبخیر و تعرق، تراکم کشت و شرایط آب‌وهوایی قرار دارد، در این پژوهش سعی بر آن است تا با استفاده از روش مرسوم به روش ضریب منظر^۳ و همچنین طبقه‌بندی آب مورد نیاز گونه‌های گیاهی در شرایط محیطی مناطق گرم و خشک، نیاز آبی فضای سبز پردیس دانشگاه سیستان و بلوچستان تخمین زده شود.

بنابراین مهمترین سوالاتی که بایستی در تحقیق حاضر به آنها پاسخ داده شوند عبارت‌اند از اینکه: عامل ضریب منظر در شرایط آب‌وهوایی مناطق گرم و خشک چگونه به برآورد دقیق‌تری از میزان آب مورد نیاز گیاهان زینتی در فضای سبز می‌انجامد؟ عوامل مؤثر در تعیین ضریب منظر، جهت محاسبه نیاز آبی فضای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان چگونه قابل بررسی هستند؟ نیاز آبی سالانه فضاهای سبز در دانشگاه سیستان و بلوچستان براساس راندمان آبیاری موجود به چه میزان است؟

استفاده مؤثر و بهینه از منابع آب در فضای سبز، نیازمند برآورد صحیح میزان آب مورد نیاز گیاهان است. با تخمین صحیح میزان آب مورد نیاز فضاهای سبز، می‌توان از صدمات وارد شده به گیاهان در اثر کمبود آب یا آبیاری اضافی جلوگیری کرد. تبخیر و تعرق (ET) یکی از عوامل مهمی است که دانستن مقدار دقیق آن جهت برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سیستم‌های آبیاری ضروری است. عوامل بسیار زیادی در تبخیر و تعرق دخالت دارند، شدت و مدت تابش خورشید، درجه حرارت، سرعت باد، میزان رطوبت نسبی هوا، بافت خاک، نوع گیاه و مقدار رطوبت خاک از جمله عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق هستند [۱۷]. در واقع نیاز آبی گیاه، به میزان آب مورد نیاز برای جبران تلفات ناشی از تبخیر و تعرق در یک دوره زمانی

^۱. Sustainable Landscape

^۲. UI Green Metric

^۳. landscape plant factor

برآورد تبخیر و تعرق گیاهان فضای سبز به شمار می‌رود. نیاز آبی گیاهان در فضای سبز کاملاً متفاوت از محصولات زراعی است. برخلاف محصولات کشاورزی، گیاهان فضای سبز از ترکیب گونه‌های مختلف گیاهی تشکیل شده است که هر کدام نیاز آبی متفاوتی دارند [۴]. به هر حال کاربرد روش پنمن-مانتیت-فائو^۲ به تنهایی برای تعیین تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان فضای سبز در شهرها غیرعملی است، زیرا گیاهان فضای سبز معمولاً شامل بیش از یک گونه‌اند و در یک واحد آبیاری مجموعه‌ای از گونه‌های گیاهی با نیازهای آبی بسیار متفاوت آبیاری می‌شوند.

از سویی دیگر تراکم کاشت گیاهان در فضاهای سبز بسیار متفاوت می‌باشد. برای مثال یک فضای سبز شامل درختان بالغ، بوته‌ها و گیاهان پوششی که در مساحت کوچک و متراکم کشت شده‌اند نسبت به فضای سبزی که شامل بوته‌های کشت شده با فواصل زیاد در همان مساحت است سطح پوشش گیاهی بیشتری دارد. افزایش سطح پوشش گیاهی به معنی افزایش تبخیر و تعرق می‌باشد. همچنین بسیاری از فضاهای سبز دامنه‌ای از ریزاقلیم‌ها، از جمله مناطق خنک، سایه‌دار (ناشی از سایه ساختمان‌ها در منظر) تا مناطق گرم، آفتابی و فضاهای باز در معرض باد و پوشیده از سنگفرش‌ها را شامل می‌شوند. این تغییرات در اقلیم، تبخیر و تعرق گیاه را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۷، ۲۸]. برای رفع این چالش‌ها، کاستلو و همکاران (۲۰۰۰) روش طبقه‌بندی آب مورد نیاز گیاهان فضای سبز (Wucols) را برای تخمین نیاز خالص آبی فضاهای سبز شهری توسعه دادند [۹]. در این روش ابتدا مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) در روش فائو-پنمن-مانتیت تخمین زده می‌شود و پس از آن تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر با در نظر گرفتن تأثیر ضریب منظر محاسبه می‌گردد، در واقع در این روش ضریب منظر بر اساس عواملی چون نوع گونه، تراکم و ریزاقلیم موجود تعیین می‌گردد [۲۱]. این رویکرد در تحقیقات مختلفی در نقاط مختلف دنیا از جمله در استرالیا [۱۶]، ایتالیا [۶]، اسپانیا [۷]، ایالات متحده آمریکا [۳۱]، و آلمان [۱۸] در راستای تعیین نیاز آبی فضاهای سبز و گیاهان در مناظر شهری بکار گرفته شده است.

مشخص اشاره دارد [۲۴]. این میزان آب بایستی از طریق سامانه‌های آبیاری و بارش، برای مقابله با تنش‌های آبی و دستیابی به عملکرد مطلوب گیاه در طول دوره رویشی تامین شود [۱۷]. نیاز آبی گیاهان معمولاً بر حسب واحد میلی‌متر در روز، میلی‌متر در ماه یا میلی‌متر در فصل بیان می‌شود و برای تعیین اهداف مدیریتی و برنامه‌ریزی آبیاری کاربرد دارد [۲۴]. اندازه‌گیری نیاز آبی براساس محاسبه تبخیر و تعرق گیاه به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم، از طریق اندازه‌گیری‌های میدانی، مدل‌های هیدرولوژیکی و تکنیک‌های مبتنی بر سنجش از دور صورت می‌گیرد [۲۴، ۲، ۸].

در این ارتباط روش‌های مختلفی وجود دارد که شامل استفاده از فرمول‌های تجربی، لایسی‌مترها، داده‌های ماهواره‌ای و شاخص‌های گیاهی (VI)^۱ و فن‌آوری‌های ریز اقلیمی است [۱۷، ۸]. هر یک از روش‌های مختلف اندازه‌گیری تبخیر و تعرق، دارای کاربردها، الزامات، مزایا، معایب و میزان خطا می‌باشند که در مطالعاتی متعددی مورد بحث قرار گرفته‌اند [۱۷، ۲، ۱۹].

در این میان روش مطرح‌شده در مقاله آبیاری و زهکشی FAO شماره ۵۶ که در سال ۱۹۹۸ توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد منتشر شده، به‌طور گسترده‌ای در غالب پژوهش‌ها برای تخمین میزان تبخیر و تعرق گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است [۲۷]. در این روش محاسبه تبخیر و تعرق گیاهان براساس نیاز آبی گیاه مرجع (ET_o)^۲ و داده‌های مرتبط با پارامترهای جوی (از جمله تابش، دما، رطوبت و سرعت باد) صورت می‌گیرد و سپس از روی آن، تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر محاسبه می‌شود. گیاه مرجع در روش پنمن-مانتیت-فائو (FAO56) یک پوشش فرضی است که ارتفاع آن ۱۲ سانتی‌متر، ضریب بازتابش آن ۲۳ درصد و مقاومت سطحی در آن ۷۰ ثانیه بر متر می‌باشد. از آن جا که مقاومت روزنه‌ای و ارتفاع گیاه مرجع، مشابه با چمن است، می‌توان ادعا کرد که گیاه مرجع در روش پنمن-مانتیت-فائو نیز چمن است [۱].

بنابراین شناخت خصوصیات پوشش گیاهی غیر مرجع در مقایسه با پوشش گیاهی مرجع (چمن)، اولین گام در

^۱ . Vegetation Indices

^۲ . Reference Evapotranspiration (ET_o)

^۳ . FAO56 Penman-Monteith

برای یک یا چند گونه گیاهی خاص انجام شده است. همچنین در مطالعات موجود توجه کمی به تعیین اولویتهای نیاز آبی الگوهای مختلف طرح کاشت فضاهای سبز به لحاظ نوع گونه، عامل تراکم و خرد اقلیمهای متفاوت شده است.

در این پژوهش تلاش بر این است تا جهت برآورد نیاز آبی فضاهای سبز محوطه دانشگاه سیستان و بلوچستان، پهنه‌بندی از فضاهای سبز براساس عوامل مؤثر در تعیین ضریب منظر (از جمله نوع گونه، عامل تراکم و خرد اقلیم) صورت گیرد و پس از آن سهم نیاز آبی هر پهنه جهت برآورد نیاز آبی کل با در نظر گرفتن وضعیت راندمان آبیاری موجود در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردد. در واقع نوآوری این پژوهش در ارتباط با تدقیق و شفاف‌ساختن چگونگی تاثیر ضریب منظر در پهنه‌بندی و ارزیابی نیاز آبی فضاهای سبز دانشگاهی در مناطق گرم و خشک اهمیت می‌یابد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در زمینه ارائه راهکارهای عملکردی، جهت ارتقاء رتبه دانشگاه در ارزیابی گرین متریک و اهداف مدیریت سبز تعیین کننده باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش، فضای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شد (جدول ۱). این دانشگاه در محدوده جنوب‌غربی شهر زاهدان با وسعتی نزدیک به ۱۲۰ هکتار واقع شده است (شکل ۱) که مساحت ۲۰/۴۶ هکتار آن به کاربری فضای سبز اختصاص یافته است. در حدود ۴ هکتار از مساحت فضای سبز موجود توسط پساب آبیاری شده و باقی منابع آب لازم برای نگهداری فضاهای سبز دانشگاه توسط شبکه آب شرب شهری تامین می‌گردد.

تقسیم‌بندی فضاهای سبز در پردیس دانشگاه شامل بوستان‌ها، محوطه اطراف فضاهای اداری- آموزشی، میدان‌ها، فضاهای سبز حاشیه بلوارها، لچکی‌ها، رفیوژها و درختکاری‌های پراکنده می‌باشد. شهر زاهدان در مرکز استان سیستان و بلوچستان به‌عنوان یکی از پهناورترین استان‌های کشور در جنوب‌شرقی ایران قرار گرفته است (شکل ۱).

در ایران نیز مطالعات محدودی براساس این رویکرد وجود دارد. در این خصوص دلفان آذری و همکاران (۱۳۹۷) مطالعه‌ای را به‌منظور بررسی نیاز آبی سه گونه گیاهی زبان گنجشک، کاج تهران و توت نرک در فضای سبز شهر تهران طی دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام دادند. در این پژوهش، نیاز آبی هر سه گونه از فروردین ماه تا پایان مهرماه بااستفاده از روش پیشنهادی فائو در سیستم آبیاری قطره‌ای و روش Wucols^۱ تعیین شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین نیاز آبی به‌ترتیب مربوط به گونه‌های توت نرک و کاج تهران می‌باشد [۱۰].

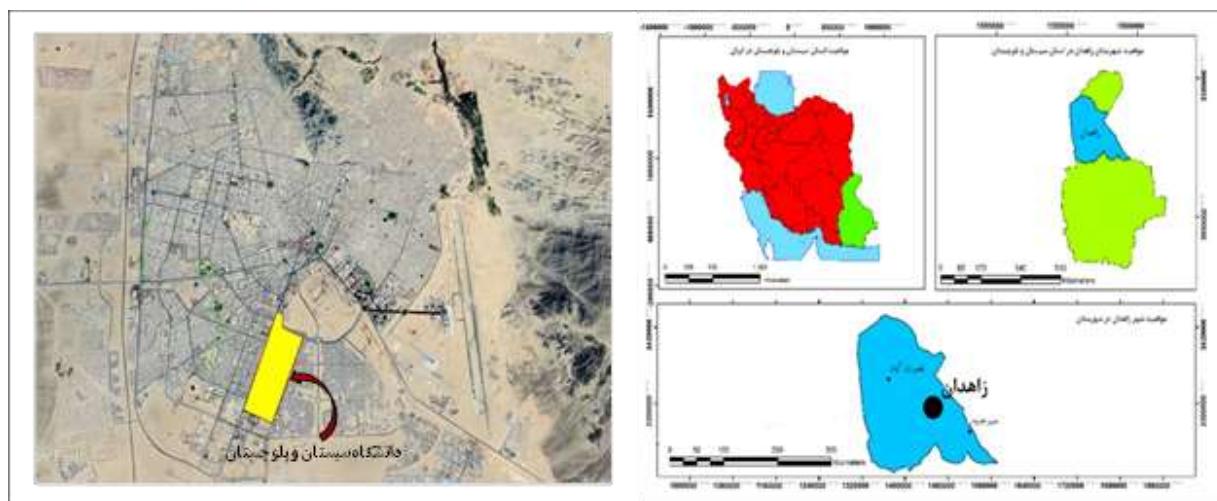
سجودی و میرزایی (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از دو روش بیلان آبی و طبقه‌بندی آب مورد نیاز گونه‌های فضای سبز (Wucols) به بررسی و قیاس نیاز آبی گونه‌های گیاهی درختی چون سرو، زبان گنجشک، سنجد زینتی و درختچه‌هایی مانند شمشاد، زرشک زینتی و گیاه پوششی (مرغ) در دو خرداقلیم در باغ گیاه‌شناسی پردیس کشاورزی منابع طبیعی دانشگاه تهران پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش طبقه‌بندی آب مورد استفاده گونه‌های فضای سبز (Wucols) دارای دقت مناسبی در برآورد نیاز آبی گیاهان فضای سبز می‌باشد [۲۲].

انصاری قوجقار و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای دیگر به بررسی مقایسه‌ای سه روش WUCOLS، IPOS و PF در برآورد تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان در محدوده منطقه یک شهرداری تهران پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر دقت بیش‌تر روش wucols به‌علت در بر گرفتن پارامترهای بیش‌تر و کامل‌تر در ارتباط با فضاهای سبز شهری نسبت به دو روش دیگر است [۳].

در مطالعه‌ای دیگری عباسی زاده و شکرالله زاده (۱۴۰۱)، به برآورد نیاز آبی چند گونه درختچه‌ای برگ بو، رزماری و خرزهره در پارک‌های منطقه ۱ شهر شیراز در طی شش ماه (از فروردین تا اواسط شهریور ماه) پرداختند. نتایج تحقیق بیانگر بیش‌ترین نیاز آبی بر حسب اولویت در منطقه مورد مطالعه مربوط به گونه گیاهی رزماری، برگ بو و خرزهره است [۱].

بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد که در بیش‌تر تحقیقات انجام شده، تخمین نیاز آبی گیاهان فضای سبز

^۱. Water Use Classification of Landscape Species



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مختصات چهار نقطه محدوده دانشگاه سیستان و بلوچستان بر حسب UTM

ردیف	طول جغرافیایی (X)	عرض جغرافیایی (Y)	زون (Zone)
۱	۲۹۲۳۶۷/۸۵۵	۳۲۶۲۷۰۷/۸۹۴	۴۱
۲	۲۹۲۷۲۲/۷۸۳	۳۲۶۲۲۲۳/۹۷۴	۴۱
۳	۲۹۲۲۲۹/۶۵۵	۳۲۶۰۳۲۳/۴۹۷	۴۱
۴	۲۹۱۵۷۴/۰۲۴	۳۲۶۰۵۸۱/۹۶۸	۴۱

روش در فضا‌های شهری ۱۷ نوع کاربری قابل تشخیص است که به لحاظ ریزاقليمی^۲ (آب‌وهوا در مقیاس محلی) با یکدیگر متفاوت هستند. این تمایزها عمدتاً براساس خصوصیات ساختار سطح (برای مثال ساختمان‌ها و سایه‌اندازی آنها، نوع و تراکم گیاهان از جمله درختان) و پوشش سطح (نفوذپذیر در مقابل نفوذناپذیر) می‌باشند [۲۳].

در این روش ۴ نوع از انواع کاربری‌ها به کلاس‌های مختلف فضا‌های سبز (A-D) اختصاص می‌یابند. این کلاس‌ها عبارت‌اند از: A؛ درختان سوزنی/پهن‌برگ با تراکم زیاد و پوشش سبز در کف، B؛ درختان سوزنی/پهن‌برگ با تراکم کم و پوشش سبز در کف، C؛ بوته‌ها و علفزارها با تراکم پایین، درختان پراکنده و پوشش خاک در کف، D؛ گیاهان با ارتفاع کم بدون/با درختچه‌های محدود و پراکنده و پوشش سبز در کف (مانند چمنزارها و مراتع طبیعی- زمین‌های کشاورزی). براساس این طبقه‌بندی، فضا‌های سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان در ۳ پهنه A، B، C قابل تفکیک هستند (شکل ۲).

ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۳۷۳ متر می‌باشد. شهر زاهدان در دشت کوچکی قرار گرفته است که توسط کوه‌ها احاطه شده و از موقعیت مناطق بیابانی و خشک برخوردار است. میانگین سالانه دمای شهر زاهدان ۱۸/۴ درجه سانتی‌گراد است. به‌طور کلی شهر زاهدان دارای آب‌وهوای گرم و خشک بوده و یکی از کم باران‌ترین شهرهای ایران محسوب می‌شود، میانگین بارش سالیانه در این شهر ۷۵ میلی‌متر است و عمدتاً بارندگی‌ها در فصل زمستان و بهار صورت می‌گیرد [۱۵].

روش تحقیق

گام اول: پهنه بندی فضای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان

روش این تحقیق ترکیبی و بر مبنای استفاده از گونه‌بندی فضای سبز از طریق پهنه‌بندی اقلیم محلی^۱ (LCZ) و محاسبه نیاز آبی هر پهنه براساس روش Wucols است. در پهنه‌بندی فضای سبز براساس ضریب منظر از روش استوارت و اک (۲۰۱۲) استفاده شده است. بر مبنای این

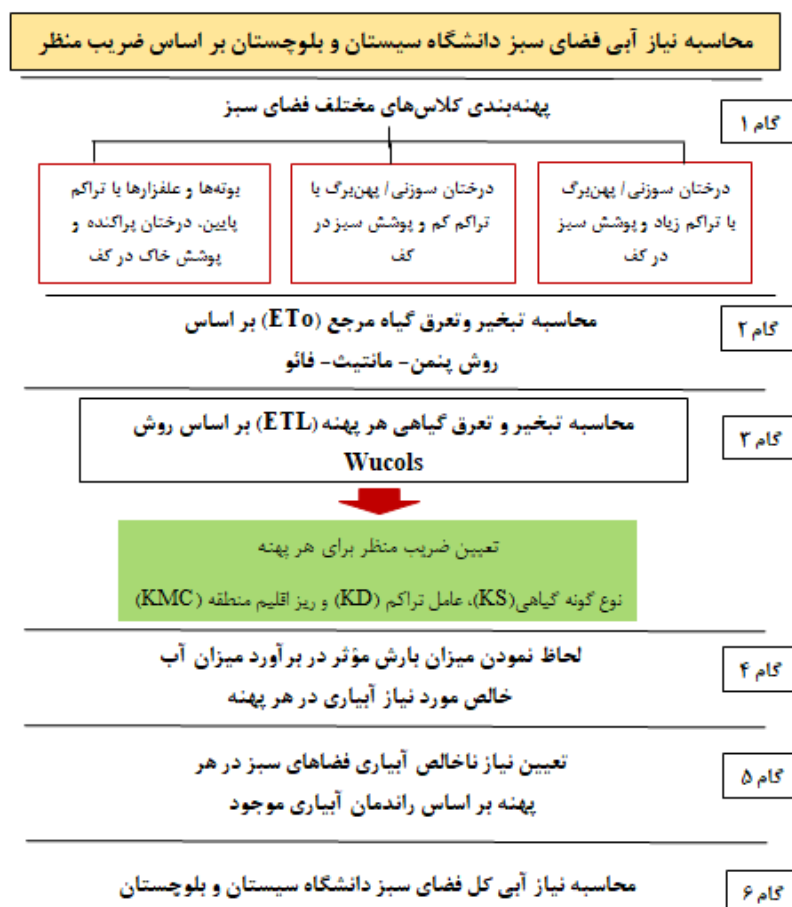
². Microclimate

¹. Local Climate Zone



شکل ۲- پهنه‌بندی نوع و تراکم فضای سبز در دانشگاه سیستان و بلوچستان (پهنه A: درختان متراکم سوزنی‌برگ/ پهن‌برگ با پوشش سبز در کف، پهنه B: درختان سوزنی‌برگ/ پهن‌برگ با تراکم کم و پوشش سبز در کف و پهنه C : بوته‌ها و علفزارها با تراکم پایین، درختان پراکنده و پوشش خاک در کف)

پس از تعیین محدوده هر پهنه و مشخص شدن ویژگی‌ها و مساحت هر یک از آن‌ها، جهت پیشبرد روش‌شناختی و تخمین نیاز آبی فضای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان از روش (Wucols)، مراحل بعدی انجام شد (شکل ۳):



شکل ۳- چارچوب اجرایی تحقیق

گام دوم: محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع

در این بخش به منظور سنجش تبخیر و تعرق مرجع از روش پنمن-مانتیت-فائو (رابطه ۱) و نرم افزار Cropwat استفاده شده است [۱۷]. داده‌های لازم برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع (ET_o) شامل داده‌های روزانه

هواشناسی (میانگین دمای حداکثر، میانگین دمای حداقل، درصد رطوبت نسبی، میانگین ساعت‌های آفتابی و میانگین سرعت باد) می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک هواشناسی زاهدان در یک دوره ۳۰ ساله (۱۳۷۲-۱۴۰۲) استفاده شده است (جدول ۲).

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی ایستگاه زاهدان (ماخذ: اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان)

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (M)	سال تاسیس
زاهدان	سینوپتیک اصلی	۲۹ ۲۸	۶۰ ۵۳	۱۳۷۰	۱۳۲۷

رابطه (۱):

$$ET_o = 0.408 \times (R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T_{mean} + 273)} \times u_2 (e_s - e_a) / \Delta + \gamma (1 + 0.34 \times u_2)$$

که در آن ET_o = تبخیر-تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز) ،
 R_n = تابش خالص در سطح گیاه (مگاژول بر متر مربع بر روز) ،
 G = شار گرمای خاک (مگاژول بر متر مربع بر روز) ،
 T = دمای هوا در ارتفاع دو متری (درجه سلسیوس) ،
 U_2 = سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه) ،
 $(e_a - e_s)$ = کمبود فشار بخار اشباع هوا (کیلوپاسکال) ،
 Δ = شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) و γ = ثابت رطوبت-سنجی (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) هستند.

گام سوم: محاسبه تبخیر و تعرق گیاهی هر

پهنه (ET_L) براساس روش Wucols

روش طبقه بندی نیاز آبی گونه‌های گیاهی منظر

(Wucols)

این روش برای نخستین بار توسط کستلو و جونز (۱۹۹۴) برای ایالت کالیفرنیا آمریکا توسعه داده شد. هدف از این روش برآورد نیاز آبی گیاهان با حفظ سلامت، ظاهر شاداب و رشد خوب است. در این روش تبخیر و تعرق واقعی (ET_L) بر اساس رابطه ۲ محاسبه می‌شود [۹]:

$$ET_L = ET_o \times K_L$$

رابطه (۲):

این رابطه پارامتر ET_o بیانگر تبخیر-تعرق مرجع منطقه‌ای و K_L ضریب منظر می‌باشد. ضریب منظر (K_L) ضریبی است که تبخیر و تعرق سطح مرجع را برای محاسبه تبخیر و تعرق زراعی یا باغی اصلاح می‌کند. در تمام روش‌هایی

که در آنها ET_o یا تبخیر و تعرق مرجع محاسبه می‌شود، برای این که بتوان نتایج حاصله را به سطوح پوشش گیاهی مورد نظر در فضاهای سبز تعمیم داد، باید مقادیر به دست آمده را در ضریب منظر (K_L) ضرب کرد. ضریب منظر بستگی به عواملی مانند نوع گیاه، مرحله‌ی رشد و شرایط آب‌وهوایی دارد. ضریب منظر از حاصل ضرب سه ضریب در یکدیگر از جمله عامل گونه (K_s)، عامل تراکم (K_d) و ریز اقلیم منطقه (K_{mc}) بر اساس رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$K_L = K_s \times K_d \times K_{mc}$$

رابطه (۳):

عامل گونه (K_s) برای اعمال اختلاف نیاز آبی در گونه‌های مختلف گیاهی استفاده می‌شود و براساس روش wucols در سه دسته نیاز آبی زیاد، متوسط و کم قابل رده‌بندی است [۲۱].

به‌طور معمول مجموعه فضاهای سبز دارای گونه‌های متفاوتی هستند که در داخل یک منطقه و به صورت مشترک آبیاری می‌شوند. این گونه‌ها هر کدام دارای نیاز آبی مختلفی هستند. حدود ضریب گونه از ۰/۱ تا ۰/۹ متغیر است و به صورت جدول ۳ طبقه‌بندی می‌شود. عامل تراکم (K_d) نیز بیانگر اختلاف تراکم گیاهان در طرح کاشت فضاهای سبز است که مقادیر آن (با توجه به تراکم پوشش گیاهی، سن گیاهان، سایه‌اندازی گیاهان و تعداد ردیف‌های کاشت گیاهی) در تعیین صحیح مقادیر ضریب منظر مؤثر می‌باشد [۹]. سطح برگ بیش‌تر به معنای افزایش در تعرق مجموعه گیاهان است. در نتیجه یک مجموعه گیاه متراکم و سایه‌انداز با وجود کاهش میزان تبخیر از سطح خاک، مقدار بیش‌تری آب را نسبت به یک

می‌باشند (جدول ۳). این تفاوت‌ها در اقلیم، به شکل عمده‌ای بر تلفات آب از گیاه اثر می‌گذارند. گیاهان در مناطق سایه‌دار می‌توانند تا ۵۰ درصد تلفات آب کم‌تری نسبت به گیاهانی از همان گونه در فضاهای باز و بدون سایه داشته باشند [۴].

این تفاوت در تلفات آب که تحت‌تاثیر ریزاقلیم‌ها ایجاد می‌شود، لازم است در محاسبه ضریب فضای سبز مورد توجه قرار گیرند. دامنه عامل ریزاقلیم از ۰/۵ تا ۱/۴ متغیر بوده و طبق جدول ۳ رده‌بندی می‌شود [۹].

مجموعه گیاه تنک از دست می‌دهد. دامنه عامل تراکم در حد ۰/۵ تا ۱/۳ متغیر است و طبق جدول ۳ گروه‌بندی می‌شود. ریزاقلیم‌ها (K_{mc}) در هر فضای سبزی وجود دارند و در برآورد مصرف آب گیاه بایستی مورد توجه قرار گیرند. ممکن است در یک فضای سبز قسمتی از گیاهان در سایه و قسمتی در آفتاب، قسمتی در معرض رطوبت هوای زیاد و یا وزش باد قرار گیرند. بنابراین بسیاری از فضاهای سبز در برگیرنده طیفی از ریزاقلیم‌ها از مناطق سرد، سایه‌دار و محافظت‌شده تا مناطق گرم، آفتابی و بادی

جدول ۳- مقادیر عوامل مؤثر در تعیین ضریب منظر

شرح	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
عامل گونه‌ها (K_s)	۰/۷ - ۰/۹	۰/۴ - ۰/۶	۰/۰ - ۱/۳	< ۱/۰
عامل تراکم (K_d)	۱/۱ - ۱/۳	۱/۰	۰/۵ - ۰/۹	-
عامل ریز اقلیم (K_{mc})	۱/۱ - ۱/۴	۱/۰	۰/۵ - ۰/۹	-

سازمان حفاظت خاک وزارت کشاورزی آمریکا استفاده شده است.

تحقیقات نشان می‌دهد که در مناطق کم باران، روش USDA برآورد بهتری نسبت به سایر روش‌ها نظیر فائو، پارامترهای تجربی و غیره دارد [۴، ۱۴]. در این روش، بارش مؤثر برای ماه‌های مختلف سال از رابطه (۴) تعیین می‌شود؛

$$P_{eff} = P/125 \times (125 - 0.2P) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه P_{eff} بیانگر میزان بارش مؤثر و P ارائه دهنده میزان بارش ماهانه بر حسب میلی‌متر می‌باشد. براساس روش USDA، نیاز خالص آب آبیاری فضای سبز (NIR) برابر با تفاضل میزان تبخیر و تعرق واقعی (ET_L) از میزان بارش مؤثر (P_{eff}) است؛ (رابطه ۵).

$$NIR = ET_L - P_{eff} \quad \text{رابطه (۵)}$$

گام پنجم: تعیین نیاز ناخالص آبیاری فضاهای سبز

در هر پهنه براساس راندمان آبیاری موجود

به‌طورکلی آب آبیاری از محل انحراف آب یا نقطه شروع شبکه تا محل مصرف با تلفاتی همراه است. این تلفات در مراحل مختلف انتقال، توزیع و کاربرد اتفاق می‌افتد.

عواملی چون فرسودگی و نشت آب توسط لوازم توزیع آبیاری، ترکیب‌دهی لوله‌ها در شبکه انتقال و آبیاری سطح

در این پژوهش مقادیر ضریب منظر (K_L) براساس عامل گونه (K_s)، عامل تراکم (K_d) و ریزاقلیم منطقه (K_{mc}) در هر یک از بوستان‌ها و دیگر اشکال فضای سبز موجود در هر پهنه بر اساس رابطه (۲) تعیین شد. در مرحله بعد میزان تبخیر و تعرق گیاهی (ET_L) در هر پهنه، از حاصل ضرب دو پارامتر تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) در ضریب منظر (K_L) براساس رابطه (۱) محاسبه شد و واحد آن براساس میلی‌متر است. پارامتر ET_L در هر پهنه از فضای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان، بیانگر تلفات آب ناشی از تعرق از سطح برگ گیاهان و تبخیر از سطح خاک می‌باشد.

گام چهارم: لحاظ نمودن میزان بارش مؤثر در برآورد

میزان آب خالص مورد نیاز آبیاری در هر پهنه

با توجه به اینکه ممکن است کلاً یا بخشی از نیاز آبی گیاهان از طریق بارندگی تأمین شود، برای تعیین نیاز آبی گیاه باید میزان بارش مؤثر در محاسبات برآورد نیاز آبی فضاهای سبز لحاظ شود. در واقع بارش مؤثر به مقداری از حجم آب باران اشاره دارد که در طی دوره رشد یک گیاه دریافت شده و برای مصارف آن در دسترس قرار می‌گیرد [۱۴]. روش‌های مختلفی جهت محاسبه بارش مؤثر وجود دارد که در این تحقیق از روش USDA ارائه شده توسط

اساس برای تعیین نیاز ناخالص آبیاری بایستی درصد راندمان آبیاری را در فضای سبز مورد مطالعه در نظر گرفت (جدول ۴) و در این پژوهش از تقسیم نیاز خالص آبیاری (NIR) بر راندمان (e) مطابق رابطه (۶)، نیاز ناخالص آبیاری (GIR) در هر پهنه از فضای سبز دانشگاه قابل محاسبه و ارزیابی است [۴].

$$\text{رابطه (۶): } \text{GIR} = \text{NIR} / e$$

منطقه به صورت شلنگی و گاهاً به شکل تانکری (برای فضای سبز حاشیه‌ها و بلوارها) از عوامل کاهش راندمان آبیاری در فضاهای سبز به شمار می‌روند. راندمان آبیاری کل در نشریه فائو ۲۴ آبیاری و زهکشی FAO، به صورت نسبت آب قابل استفاده برای گیاه به آب تامین‌شده در ابتدای طرح آبیاری تعریف شده است. از آنجایی که راندمان آبیاری برابر ۱۰۰ درصد نیست، لذا نیاز آبی براساس مقدار ناخالص لحاظ می‌شود. بر این

جدول ۴- مقدار راندمان آبیاری در سیستم‌های مختلف آبیاری

روش آبیاری در منطقه	توضیح	(درصد) اجزای راندمان		
		انتقال	توزیع	کاربرد
بارانی		۹۸	۹۸	۷۵
قطره‌ای	حالت ایده‌آل	۹۸	۹۸	۸۵
سطحی		۸۳	۸۳	۶۵
بارانی		۸۸ - ۸۰	۸۸ - ۸۰	۶۵ - ۶۰
سطحی	وضع موجود	۸۰ - ۷۵	۸۰ - ۷۵	۶۰ - ۵۵
بارانی و سطحی		۸۴ - ۷۸	۸۴ - ۷۸	۶۳ - ۵۸

ویژگی‌های الگوی کشت گیاهی و مساحت فضای سبز هر یک از پهنه‌ها براساس نقشه اتوکد (Autocad) وضع موجود دانشگاه، نرم‌افزار Google Earth و بازدیدهای میدانی به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵).

در طراحی کاشت فضای سبز دانشگاه سیستم و بلوچستان، ۳۲ گونه گیاهی غالب از اعم از درخت، درختچه و گیاهان چندساله و پوششی وجود دارد. الگوهای کشت در همه فضاهای سبز محوطه تکرار شده است.

پهنه A با توجه به اینکه در بخش قدیمی سایت دانشگاه قرار گرفته (ساخت در دهه ۱۳۵۰ شمسی) است دارای الگوی کاشت متراکمی از درختان سوزنی‌برگ کاج با قدمتی نزدیک به ۵ دهه می‌باشد. در واقع سایر گونه‌های پهن‌برگ نیز در روند توسعه سایت دانشگاه در طراحی کاشت این پهنه به آن اضافه شده است. فضای سبز این پهنه در ارتباط با ساختمان‌های اداری و آموزشی دانشگاه توسعه یافته و شامل لکه‌های سبز بوستان‌ها، فضاهای اطراف بلوارها و پیاده روها، میداين و رفیوژها است. مساحت فضاهای سبز در این پهنه برابر با ۸۶۴۴۵/۵۴ متر مربع (۸/۶۴ هکتار) است (شکل ۲).

در پژوهش حاضر T محاسبات نیاز آبی فضاهای سبز با احتساب راندمان ۳۵ درصد انجام گرفته است که در صورت مدیریت و نظارت بر انجام عملیات آبیاری به ویژه در بوستان‌هایی که به شکل سطحی آبیاری می‌شوند، می‌توان راندمان آبیاری را تا ۴۵ درصد بهبود بخشید.

گام ششم: محاسبه نیاز آبی کل فضای سبز دانشگاه سیستم و بلوچستان

در این مرحله نیاز ناخالص آبیاری فضاهای سبز در پهنه‌های A، B و C در محوطه دانشگاه با یکدیگر جمع می‌شوند و عدد نیاز ناخالص آبیاری کل (GIR_T) براساس رابطه (۷) بیانگر نیاز آبی کل فضای سبز دانشگاه می‌باشد (شکل ۳).

$$\text{رابطه (۷): } \text{GIR}_T = \text{GIR}_A + \text{GIR}_B + \text{GIR}_C$$

نتایج

همان‌طور که بیان شد در فضای سبز محوطه دانشگاه سیستم و بلوچستان سه پهنه غالب به لحاظ، عامل گونه گیاهی و تراکم کاشت قابل تفکیک است. مشخصات و

پهنه B در فضاهای توسعه داده شده سایت دانشگاه در دو دهه گذشته واقع شده است. در طراحی کاشت فضای سبز این پهنه عمدتاً از الگوی کاشت درختان و درختچه‌های پهن‌برگ استفاده شده است، تراکم کشت گیاهان در این پهنه کم می‌باشد. مساحت فضاهای این پهنه ۹۹۹۸۴/۰۵ متر مربع (۹/۹۹ هکتار) است که به‌طور غالب شامل لکه‌های سبز مرتبط با بوستان‌های مختلف، فضاهای سبز خوابگاهی و واحدهای خدماتی دانشگاه می‌باشند.

پهنه C نیز شامل فضاهای سبز محدود و پراکنده‌ای است که در ارتباط با باغ بوتانیک، مجتمع گلخانه‌ای و محوطه سپتیک دانشگاه شکل گرفته‌اند. مساحت لکه‌های سبز این پهنه نیز ۱۸۲۶۳/۸۸ متر مربع (۱/۸۲ هکتار) است که شامل الگوی کشت پراکنده‌ای از بوته‌ها، درختان و درختچه‌های پهن‌برگ با تراکم پایین می‌باشد. در مجموع کل مساحت فضای سبز دانشگاه سیستم و بلوچستان ۲۰۴۶۹۳/۴۷ متر مربع (۲۰/۴۶ هکتار) است (جدول ۵).

جدول ۵- مشخصات هر پهنه براساس مساحت و عوامل مؤثر بر ضریب منظر

نام پهنه	فضای سبز	مساحت قطعات (m ²)	مساحت کل (m ²)	عوامل مؤثر بر ضریب منظر		
				گونه	تراکم	ریزاقليم
پهنه A (درختان و درختچه-های متراکم با پوشش سبز در کف)	بوستان‌ها	۶۱۳۶۵/۲۳	۸۶۴۴۵/۵۴	کم تا متوسط	زیاد	کم
	درخت‌کاری حاشیه‌ها و میدان‌ها	۲۱۹۱۳/۷۴				
	فضای سبز وسط بولوارها	۳۱۶۶/۵۷				
پهنه B (درختان و درختچه‌ها با تراکم کم و پوشش سبز در کف)	بوستان‌ها	۸۱۲۳۴/۱۲	۹۹۹۸۴/۰۵	متوسط	کم	زیاد
	درخت‌کاری حاشیه‌ها و لچکی‌ها	۱۶۹۵۹/۹۵				
	فضای سبز وسط بولوارها	۱۷۸۹/۹۸				
پهنه C (بوته‌ها و علفزارها با تراکم پایین، درختان و درختچه‌های پراکنده و پوشش خاک در کف)	باغ بوتانیک	۴۶۶۸/۲۸	۱۸۲۶۳/۸۸	کم	کم	زیاد
	محوطه سپتیک	۷۶۶۴/۶۱				
	مجتمع گلخانه‌ای	۵۵۴۶/۹۱				
	فضای سبز وسط بولوارها	۳۸۵/۰۸				

مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع ETo به روش پنمن-مانتیت براساس داده‌های حاصل از ایستگاه هواشناسی زاهدان در یک دوره آماری بلندمدت ۳۰ ساله (۱۳۷۲-۱۴۰۲)، به‌طور میانگین معادل ۲۱۹۷ میلی‌متر در سال

است که بیش از ۲۹ برابر میانگین بارش سالانه زاهدان می‌باشد. مقدار ETo این ایستگاه از حداقل ۲/۷۹ میلی‌متر بر روز در ماه ژانویه (دی ماه) تا حداکثر ۹/۸۴ میلی‌متر بر روز در ماه ژوئیه (تیرماه) تغییر می‌کند (جدول ۶).

جدول ۶. تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش پنمن-مانتیت در ایستگاه هواشناسی زاهدان

واحد	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
میلی‌متر در روز	۲.۷۹	۳.۴۰	۵.۲۰	۶.۴۰	۸.۰۸	۸.۹۷	۹.۸۴	۸.۷۰	۶.۷۹	۵.۱۶	۳.۶۷	۳.۰۳	---
میلی‌متر در ماه	۸۶.۵۳	۱۰۵.۶۶	۱۶۱.۲۰	۱۹۸.۶۶	۲۵۰.۵۴	۲۷۸.۱۰	۲۹۵.۴۱	۲۶۱.۲۱	۲۰۳.۷۵	۱۵۵.۰۶	۱۱۰.۲۰	۹۰.۹۱	۲۱۹۷

شیراز، سرو لاوسون، انار، خرزهره، پامپاس، یوکا، گل رز در زمینه‌ای سبز از چمن زینتی تشکیل می‌دهند (شکل ۴). در این پهنه گونه‌های گیاهی پهن برگ بیش از سوزنی-برگان بکارگرفته شده‌اند. مقادیر عامل گونه‌ها (K_s) در این پهنه در محدوده متوسط قرار می‌گیرند. عامل تراکم گیاهی در پهنه B در دو دسته متوسط و کم طبقه‌بندی می‌شود. تراکم متوسط در مناطقی از این پهنه که گیاه پوششی چمن زینتی بیش از ۹۰ درصد از سطح زمین را پوشانده و درختان و درختچه‌ها در فواصل زیاد از هم کاشته شده‌اند در نظر گرفته شده است، همچنین تراکم کم در مناطقی از این پهنه که صرفاً در طراحی کاشت از درختچه‌ها و گیاهان پوششی با پوشش سایبان کمتر از ۹۰ درصد استفاده شده است، لحاظ می‌گردد [۹] (جدول ۵). عامل ریزاقلیم هم به علت قرارگرفتن این پهنه در مکان‌هایی که در معرض بادهای غالب منطقه، گرمای ناشی از محیط اطراف و انعکاس نور از سطوح سنگفرش شده هستند، زیاد در نظر گرفته شده است (شکل ۴).

پهنه C نیز به لحاظ عامل گونه در طبقه کم طبقه‌بندی می‌شود. در الگوی کاشت این پهنه درختانی و درختچه‌هایی چون اکالیپتوس، زیتون خوراکی، زیتون تلخ، توت، توت آمریکایی، خرزهره، انار، انگور، گل محمدی، ارس خزنه، پامپاس وجود دارد. عامل تراکم نیز براساس روش Wucols (پوشش سایبان کمتر از ۵۰ درصد) در طبقه کم دسته‌بندی می‌شود [۹]. عامل ریزاقلیم هم در این پهنه به دلیل عدم وجود سایه، پوشش خاک در کف، باز بودن فضاها و شدت تابش آفتاب در طبقه زیاد دسته‌بندی می‌شود.

در ادامه ضریب منظر (K_L) جهت محاسبه تبخیر و تعرق گیاهی (ETL) برای هر پهنه به دست آمد. برای این منظور در هر پهنه سه ویژگی عامل گونه، عامل تراکم و ریزاقلیم براساس بازدیدهای میدانی از سایت و استفاده از روش Wucols تعیین شد (جدول ۳).

در پهنه A پوشش غالب و متراکمی از درختان سوزنی‌برگ کاج تهران وجود دارد که در زمینه‌ای از گیاهان پوششی گل نیمروزی قرار گرفته‌اند (شکل ۴). در روند توسعه فضای سبز دانشگاه، گونه‌های دیگری نیز از قبیل درختان نخل بادبزی، نخل خرما، نارون، گز شاهی، توت، ارغوان و درختچه‌هایی چون یوکا، ارس خزنه، پیچ امین‌الدوله، رز و همچنین گیاهان چندساله و یکساله مانند رزماری، گل شببو، گل رعنازیبا و بنفشه نیز به الگوی کاشت این پهنه اضافه شده است. بر این اساس مقادیر عامل گونه (K_s) در این پهنه مشابه نیستند و براساس روش طبقه‌بندی نیاز آبی گیاهان (Wucols) در طبقه متوسط و کم دسته‌بندی می‌شوند (جدول ۷). پوشش سایبان که توسط تاج درختان کاج در این پهنه پوشیده شده ۱۰۰ درصد است، بر این اساس تراکم گیاهان (K_d) در این پهنه در طبقه بالا قرار می‌گیرد [۹] (جدول ۵). عامل ریزاقلیم (K_{mc}) نیز در این پهنه تحت‌تاثیر سایه-اندازی درختان کاج با پوشش سایبان کامل و همچنین سایه ساختمان‌های اداری و آموزشی در طبقه کم (جدول ۳) دسته‌بندی می‌شود.

در پهنه B نیز الگوی کاشت گیاهی غالب را درختان و درختچه‌هایی چون توت، سنجد، اکالیپتوس، افاقیای معمولی، زبان گنجشک، کاج توپی، سرو نقره‌ای، سرو



شکل ۴- عکس‌های برگزیده از سه پهنه از فضاهای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان

جدول ۷- مقادیر عامل گونه های گیاهی فضای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان

گونه	نیاز آبی	K _s	K _s ave	گونه	نیاز آبی	K _s	K _s ave
کاج تهران (Pinus eldarica)	کم	.۱ - .۳	.۳	توت آمریکایی (Maclura pomifera)	کم	.۱ - .۳	.۱
نخل بادبزنی (Washingtonia robusta)	متوسط	.۴ - .۶	.۴	ارغوان (Cercis siliquastrum)	کم تا متوسط	.۴ - .۶	.۴
نخل خرما (Phoenix dactylifera)	کم تا متوسط	.۴ - .۶	.۴	یوکا (Yucca filamentosa)	کم	.۱ - .۳	.۲
نارون (Ulmus minor)	متوسط	.۴ - .۶	.۴	ارس خزنده (Juniperus horizontalis)	کم	.۱ - .۳	.۲
کاج تویی (Pinus mugo)	کم	.۱ - .۳	.۲	پیچ امین الدوله (Lonicera caprifolium)	کم تا متوسط	.۴ - .۶	.۴
گز شاهی (Tamarix Gallica)	کم	.۱ - .۳	.۱	رز (Rosa hybida)	متوسط	.۴ - .۶	.۴
توت (Morus alba)	کم	.۱ - .۳	.۳	انار (Punica granatum)	کم	.۱ - .۳	.۲
سنجد (Elaeagnus angustifolia)	کم	.۱ - .۳	.۲	خرزهره (Nerium oleander)	کم	.۱ - .۳	.۲
اقاقیا (Robinia pseudoacacia)	کم	.۱ - .۳	.۲	انگور (Vitis vinifera)	متوسط تا زیاد	.۷ - .۹	.۷
زبان گنجشک (Fraxinus excelsior)	کم	.۱ - .۳	.۳	گل محمدی (Rosa damascena)	کم	.۱ - .۳	.۲
سرو نقره‌ای (Cupressus arizonica)	کم	.۱ - .۳	.۳	گل نیمروزی (Carpobrotus edulis)	کم	.۱ - .۳	.۲
سرو شیراز (Cupressus sempervirens)	کم	.۱ - .۳	.۳	رزماری (Salvia rosmarinus)	کم	.۱ - .۳	.۲
سرو لاوسون (Chamaecyparis lawsoniana)	متوسط	.۴ - .۶	.۵	پامپاس (pampas grass)	کم	.۱ - .۳	.۲
اکالیپتوس (Eucalyptus camaldulensis)	کم	.۱ - .۳	.۲	بنفشه (Viola)	متوسط تا زیاد	.۷ - .۹	.۷
زیتون تلخ (Melia azedarach)	کم	.۱ - .۳	.۲	رعنا زیبا (Gaillardia)	کم	.۱ - .۳	.۲
زیتون خوراکی (Olea europae)	کم	.۱ - .۳	.۳	شب بو (Matthiola)	متوسط	.۴ - .۶	.۵

میدانی صورت گرفته در هر پهنه و رنج پیشنهادی آن در روش برآورد نیاز آبی Wucols تخمین زده شده است (جدول ۸، ۹ و ۱۰). در ادامه میزان تبخیر و تعرق گیاهی برای هر هکتار از فضای سبز هر پهنه از حاصل ضرب ضریب منظر (K_L) در مقدار تبخیر و تعرق مرجع محدوده مطالعاتی به دست آمد.

پس از بررسی‌های صورت گرفته در تعیین ضریب منظر برای قطعات مختلف فضاهای سبز در هر سه پهنه، تعداد ۷ حالت در تعیین ضریب منظر K_L برای بوستان-های دانشگاه و تعداد ۳۳ حالت از این ضریب برای سایر اشکال فضای سبز سایت دانشگاه تعیین شد. در واقع هر یک از عوامل تعیین ضریب منظر K_L (از جمله عامل گونه K_S ، تراکم K_d و ریزاقلیم K_{mc}) با توجه به بازدیدهای

جدول ۸- دسته بندی مقادیر ضریب منظر (K_L) و تبخیر و تعرق گیاهی ET_L در پهنه A

نام پهنه	نام قطعه فضای سبز	مساحت (m^2)	عوامل ضریب فضای سبز				تبخیر و تعرق گیاهی ET_L (mm)
			K_S	K_d	K_{mc}	K_L	
	محوطه سازمان مرکزی	۵۳۹۶/۰۱	۰/۴	۱/۲	۰/۶	۰/۲۸۸	۶۳۲/۷۳
	محوطه مجتمع رضوان	۷۴۰۲/۷۴	۰/۵	۱/۲	۰/۷	۰/۴۲	۹۲۲/۷۴
	بوستان فردوسی	۲۹۹۶/۱۶	۰/۶	۱/۱	۰/۹	۰/۵۹۴	۱۳۰۵/۰۱
	محوطه سالن امتحانات	۳۵۶/۷۳	۰/۵	۱/۱	۰/۷	۰/۳۸۵	۸۴۵/۸۴
	محوطه سالن ورزشی و زمین فوتبال	۸۳۰۳/۵۷	۰/۶	۱/۱	۰/۸	۰/۵۲۸	۱۱۶۰/۰۱
	بوستان قائم	۲۰۹۵/۲۹	۰/۶	۱/۲	۰/۹	۰/۶۴۸	۱۴۲۳/۶۵
	محوطه معاونت فرهنگی	۶۱۱۳/۳۸	۰/۳	۱/۱	۰/۵	۰/۱۶۵	۳۶۲/۵
	بوستان ایران زمین	۲۶۸۵/۰۳	۰/۶	۱/۱	۰/۹	۰/۵۹۴	۱۳۰۵/۰۱
	محوطه دانشکده برق	۳۶۶۹/۱۶	۰/۳	۱/۳	۰/۵	۰/۱۹۵	۴۲۴/۹۰
پهنه A	محوطه ساختمان کلاس‌ها	۱۱۳۲/۲۶	۰/۳	۱/۲	۰/۵	۰/۱۸	۳۹۵/۴۶
	محوطه دانشکده عمران و صنایع	۹۵۵۱/۲۹	۰/۳	۱/۱	۰/۵	۰/۱۶۵	۳۶۲/۵۰
	محوطه حفاظت فیزیکی	۱۱۵۴/۱	۰/۴	۱/۲	۰/۵	۰/۲۴	۵۲۷/۲۸
	محوطه ورودی درب مهندسی	۲۵۲۷/۹۲	۰/۶	۱/۲	۰/۵	۰/۳۶	۷۹۰/۹۲
	محوطه مهمانسرای مهندسی	۹۶۱۹/۸۱	۰/۴	۱/۳	۰/۵	۰/۲۶	۵۷۱/۲۲
	محوطه مهمانسرای وزیر	۴۳۲۸/۰۲	۰/۶	۱/۱	۰/۷	۰/۴۶۲	۱۰۱۵/۰۱
	محوطه استادسرا و مهدکودک	۶۸۰۳/۰۲	۰/۶	۱/۱	۰/۹	۰/۵۹۴	۱۳۰۵/۰۱
	فلکه کوی اساتید	۷۹/۴	۰/۴	۱/۳	۰/۵	۰/۲۶	۵۷۱/۲۲
	محوطه دانشکده جغرافیا و ادبیات	۱۳۴۲/۹۸	۰/۴	۱/۲	۰/۵	۰/۲۴	۵۲۷/۲۸
	محوطه سالن معین	۲۳۰۷/۷۲	۰/۳	۱/۲	۰/۵	۰/۱۸	۳۹۵/۴۶
	محوطه تالار ملاصدرا	۳۳۲۶/۵۱	۰/۳	۱/۳	۰/۵	۰/۱۹۵	۴۲۸/۴۱
	رفیوژها و لچکی‌ها	۳۱۶۶/۵۷	۰/۴	۱/۱	۰/۵	۰/۲۲	۴۸۳/۳۴
	مجموع مساحت	۸۶۴۴۵/۵۴					مجموع تبخیر و تعرق گیاهی
							۱۵۷۵۵/۵۱

جدول ۹- دسته بندی مقادیر ضریب منظر (K_L) و تبخیر و تعرق گیاهی ET_L در پهنه B

نام پهنه	نام قطعه فضای سبز	مساحت (m^2)	عوامل ضریب فضای سبز				تبخیر و تعرق گیاهی ET_L (mm)
			K_S	K_d	K_{mc}	K_L	
	بوستان هامون	۴۸۱۳/۲۳	۰/۶	۰/۹	۱/۱	۰/۵۹۴	۱۳۰۵/۰۱

۹۴۹/۱۰	۰/۴۳۲	۱/۲	۰/۹	۰/۴	۷۳۹۷/۰۳	محوطه دبیرستان پسرانه
۱۵۴۲/۲۹	۰/۷۰۲	۱/۳	۰/۹	۰/۶	۶۵۸۷/۶۲	بوستان تفتان
۱۲۸۵/۲۴	۰/۵۸۵	۱/۳	۰/۹	۰/۵	۱۲۸۴۳/۱۵	محوطه کتابخانه مرکزی
۶۱۵/۱۶	۰/۲۸	۱/۴	۰/۵	۰/۴	۲۷۲۳/۲۵	محوطه امور عمومی
۱۵۴۲/۲۹	۰/۷۰۲	۱/۳	۰/۹	۰/۶	۶۵۲۹/۹۴	بوستان پردیسان
۸۷۰/۰۱	۰/۳۹۶	۱/۱	۰/۹	۰/۴	۱۰۹۷/۴۵	محوطه زمین بازی کودکان
۸۴۵/۸۴	۰/۳۸۵	۱/۱	۰/۷	۰/۵	۴۳۹۷/۵۱	درخت کاری حاشیه‌ای و رفیوژها
۱۲۹۱/۸۳	۰/۵۸۸	۱/۴	۰/۷	۰/۶	۵۲۵۰/۱۱	محوطه حسینیہ اساتید
۶۱۵/۱۶	۰/۲۸	۱/۴	۰/۵	۰/۴	۶۵۲۷	محوطه پارکینگ منازل ۶۰ واحدی
۱۴۲۳/۶۵	۰/۶۴۸	۱/۲	۰/۹	۰/۶	۶۲۳۹/۱۲	محوطه ساختمان بعثت
۱۳۰۵/۰۱	۰/۵۹۴	۱/۱	۰/۹	۰/۶	۶۷۴۱/۹۱	محوطه تالار امام رضا (ع)
۱۲۸۵/۲۴	۰/۵۸۵	۱/۳	۰/۹	۰/۵	۱۳۵۹۵/۶۹	محوطه خوابگاه‌های خواهران
۵۷۱/۲۲	۰/۲۶	۱/۳	۰/۵	۰/۴	۱۸۲۹/۴۲	محوطه اطراف درمانگاه
۱۱۹۹/۵۶	۰/۵۴۶	۱/۳	۰/۷	۰/۶	۱۳۴۱۱/۶۲	بوستان دانشجو
۱۶۶۴۶/۶۱	مجموع تبخیر و تعرق گیاهی				۹۹۹۸۴/۰۵	مجموع مساحت

جدول ۱۰- دسته بندی مقادیر ضریب منظر (K_L) و تبخیر و تعرق گیاهی ET_L در پهنه C

نام پهنه	نام قطعه فضای سبز	مساحت (m ²)	عوامل ضریب فضای سبز				تبخیر و تعرق گیاهی
			K _S	K _d	K _{mc}	ضریب منظر	ET _L (mm)
پهنه C	باغ بوتانیک	۴۶۶۸.۲۸	۰/۳	۰/۵	۱/۴	۰/۲۱	۴۶۱/۳۷
	محوطه سپتیک	۷۶۶۴.۶۱	۰/۱	۰/۹	۱/۴	۰/۱۲۶	۲۷۶/۸۲
	مجتمع گلخانه‌ای	۵۵۴۶.۹۱	۰/۳	۰/۷	۱/۴	۰/۲۹۴	۶۴۵/۹۱
	مجموعه رفیوژها	۳۸۵.۰۸	۰/۱	۰/۵	۱/۴	۰/۰۷	۱۵۳/۷۹
مجموع مساحت		۱۸۲۶۳/۸۸	مجموع تبخیر و تعرق گیاهی				۱۵۳۷/۸۹

در مراحل بعدی حجم نیاز آبی خالص و نیاز آبی ناخالص هر پهنه از فضای سبز دانشگاه (با احتساب باران مؤثر و اعمال ضرایب حاصل از راندمان انتقال، توزیع و کاربرد آب برابر ۳۵ درصد) محاسبه شد. همچنین جهت بررسی تاثیر افزایش راندمان آبیاری با اصلاح معایب وضع موجود، محاسبات نیاز آبی برای ضریب راندمان ۴۵ نیز برآورد گردید (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- برآورد نیاز آبی هر پهنه و نیاز آبی کل براساس راندمان آبیاری

پهنه‌های فضای سبز	مساحت نیاز خالص آبیاری	نیاز ناخالص آبیاری با راندمان ۳۵ درصد (m^3)	نیاز ناخالص آبیاری با راندمان ۴۵ درصد (m^3)	درصد آب مورد استفاده در هر پهنه از حجم کل آب آبیاری
(ha)	(m^3)			
پهنه A	۸/۶۴	۱۳۴۸۳۴/۳۵	۳۸۵۲۴۱	۴۴/۱۴
پهنه B	۹/۹۹	۱۶۸۰۴۹/۵۳	۴۸۰۱۴۱/۵۳	۵۵/۰۲
پهنه C	۱/۸۲	۲۵۴۸/۷۸	۷۲۸۲/۲۳	۰/۸۴
مجموع	۲۰/۴۶	۳۰۵۴۳۲/۶۶	۸۷۲۶۶۴/۷۶	۱۰۰

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تخمین حجم آب مورد نیاز (برای راندمان ۳۵ درصد) جهت آبیاری پهنه‌های سه‌گانه فضای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان، برابر با $۸۷۲۶۶۴/۷۶$ مترمکعب است (جدول ۱۰). با افزایش راندمان آبیاری از ۳۵ درصد به ۴۵ درصد، حجم آب مورد نیاز سه پهنه به میزان $۶۷۸۷۳۹/۲۴$ مترمکعب برآورد شده است، که در این صورت می‌توان مقدار $۱۹۳۹۲۵/۵۲$ مترمکعب در مصرف آب سالیانه مورد نیاز جهت نگهداری فضای سبز در دانشگاه صرفه‌جویی کرد.

براساس داده‌های موجود از مصرف دوره‌ای قبوض آب در دانشگاه سیستان و بلوچستان در طی سال ۱۴۰۳، به میزان ۲۷۹۰۰۰ مترمکعب آب پساب و نیز ۱۱۵۰۰۰۰ مترمکعب آب شرب شهری توسط بخش‌های مختلف اداری، خدماتی، آموزشی، پژوهشی و فضاهای سبز استفاده شده است. با توجه به برآورد نیاز آبی ناخالص فضاهای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان با راندمان ۳۵ درصد ($۸۷۲۶۶۴/۷۶$ مترمکعب) می‌توان گفت که در مجموع ۶۲ درصد از منابع آب دانشگاه اعم از پساب و آب شرب در بخش فضای سبز دانشگاه مورد استفاده قرار گرفته است که به لحاظ اقتصادی، هزینه‌های قابل توجهی را به دانشگاه تحمیل نموده است. در این شرایط افزایش راندمان آبیاری در هر سه پهنه از فضای سبز دانشگاه یک ضرورت بدون تردید است و این مهم با اعمال مدیریت در استحصال، استفاده از منابع آب‌های نامتعارف (فاضلاب، گنداب و آب خاکستری) و رواناب‌ها و همچنین اصلاح مسائل اجرایی شبکه آبرسانی در دانشگاه میسر خواهد شد. از سویی دیگر اقدامات مدیریتی در فضای سبز دانشگاه می‌تواند به افزایش راندمان آب کمک کند.

به‌عنوان مثال در پهنه A (وسعت $۸/۶۴$ هکتاری) می‌توان با حذف گیاهان پوششی گل نیمروزی در پای درختان متراکم کاج تهران به دلیل وجود سایه انداز متراکم و ریزاقلیم پایین میزان تلفات آب (تبخیر و تعرق) را به حداقل رساند.

نتایج تحقیقات میدانی نشان می‌دهد که اضافه‌شدن یک گیاه پوششی در پای یک مجموعه درختی متراکم، میزان تبخیر و تعرق را از ۰.۲۵ تا ۰.۸۰ نسبت به وضعیت خاک بدون گیاه پوششی در همان مکان افزایش می‌دهد

[۹]. با توجه به توصیه کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، می‌توان در مدیریت آبیاری این پهنه حدود ۲۰ درصد کم آبیاری را اعمال نمود، زیرا در این پهنه الگوی کشت غالب گونه‌های درختی متراکم کاج تهران است که با توجه به ریزاقلیم پایین و بالغ بودن درختان، توانایی تحمل کاهش میزان در دسترس بودن آب در خاک را دارند.

براساس یافته‌های پژوهش، پهنه B با وسعت نزدیک به ۱۰ هکتار دارای بیش‌ترین نیاز آبی می‌باشد. این نیاز با توجه به الگوی کشت چندگونه‌ای با نیازهای آبی غیرمشابه و ریزاقلیم بالا دور از انتظار نیست. در این پهنه می‌توان با جایگزین کردن الگوی پوششی گونه چمن زینتی در برخی محوطه‌ها با الگوی کشت مناسب از گیاهان پوششی کم نیاز به آب مبتنی بر رویکرد زری‌اسکیپ^۱ (مانند گیاهان پوششی چون فرانکینیا، پوتنتیلا، بومادران، رزماری، اسطوخودوس و درختچه‌هایی چون شیرخشت، خرزهره، ارس خزنه، زرشک زینتی و ...) از نیاز آبی این پهنه به میزان قابل توجهی (بین ۰.۵۰ تا ۰.۷۰ درصد) کاست [۱۲]. چون مادامی که گونه‌ها با نیازهای آبی غیرمشابه در یک منطقه آبیاری می‌شوند آن‌گاه لازم است تا برای پرهیز از صدمه‌ی تنش آبی، آبیاری را با توجه به نیاز آبی گونه‌های طبقه بالا (پوشش گیاه چمن زینتی در کف) انجام داد، بنابراین در دسترس بودن آب در خاک این پهنه جهت حفظ چمن زینتی، نقش عمده‌ای در کنترل میزان سرعت تلفات آب از گیاهان (میزان ET) ایفا می‌کند.

بسیاری از گیاهان مادامی که آب در دسترس باشد آن را به میزان حداکثر از دست می‌دهند. نتایج برخی از مطالعات نشان می‌دهند که در صورت موجود بودن آب، مقدار تبخیر و تعرق گونه‌های مقاوم به خشکی نیز معادل گونه‌های گیاهی مناطق معتدل است؛ اگر چه با کاهش میزان رطوبت خاک مقدار تبخیر و تعرق گیاهی (ET) در گونه‌های گیاهی مناطق گرم و خشک و صحرایی به سرعت کاهش می‌یابد [۹]. در واقع در مدیریت فضای سبز هدف تهیه‌ی تمام آب مورد نیاز برای تامین حداکثر مقدار ET نیست؛ بلکه هدف اساسی تهیه مقدار آب کافی برای حفظ سلامتی، ظاهر و رشد قابل قبول گیاه است. لذا در این

^۱ . Xeriscape

به گونه‌ای که سالانه، ۶۲ درصد از کل منابع آب شرب و پساب موجود در دانشگاه (معادل ۸۷۲۶۶۴/۷۶ مترمکعب) برای این بخش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از میان پهنه‌های مورد مطالعه پهنه B با مساحت نزدیک به ۱۰ هکتار با الگوی کشت غالب درختان پهن برگ با تراکم گیاهی متوسط تا کم و پوشش سبز در کف، بیش‌ترین نیاز آبی (۵۵/۰۲ درصد از کل تخمین آب مورد نیاز فضای سبز دانشگاه) را به خود اختصاص می‌دهد. از دلایل افزایش نیاز آبی در این پهنه می‌توان به وجود سایه‌اندازی کم در نتیجه پوشش سایبان پراکنده، نیاز آبی متوسط و بالای برخی از گیاهان از جمله گیاه پوششی چمن زینتی در کف و ریز اقلیم بالا در نتیجه وجود فضاهای باز و در معرض بادهای غالب منطقه، گرمای ناشی از محیط اطراف، سطوح زیاد پوشش سنگ‌فرش و انعکاس نور ناشی از آن‌ها اشاره کرد. این نتایج مطابق با یافته‌های مطالعه عباسی‌زاده و شکرالله‌زاده (۱۴۰۱) است که نشان می‌دهد، میزان تبخیر-تعرق مرجع (ET_o) و ضرایب خرداقلیم برای سه گونه برگ‌بو، رزماری و خرزهره در فضای سبز پارک‌ها و بلوارها شهری منطقه ۱ شیراز که دارای پوشش سطوح نفوذناپذیر و شرایط کاشت مختلفی هستند، متفاوت است.

در پژوهش مذکور براساس شرایط موجود، بیشترین نیاز آبی گیاهان مربوط به گونه رزماری، برگ بو و خرزهره می‌باشد [۱]. همچنین نتایج تحقیق حاضر هم‌راستا با یافته‌های مطالعه سجودی و میرزایی (۱۳۹۸) است که بیانگر افزایش نیاز آبی گونه درختی سرو در مناطقی از محوطه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران بوده که در معرض تابش نور خورشید و وزش باد بیشتری هستند [۲۱].

در رتبه دوم پهنه A با مساحت ۸/۶۴ هکتار به دلیل الگوی کاشت غالب درختان سوزنی برگ و تراکم بالای گیاهی قرار می‌گیرد. علی‌رغم ریزاقلیم پایین در این پهنه و تنوع گونه‌های گیاهی کم‌تر از پهنه B، مصرف ۴۴/۱۴ درصد از حجم آب تخمین زده شده در فضای سبز دانشگاه متعلق به این پهنه است، علت آن را می‌توان با تراکم بالای ردیف‌بندی پوشش گیاهی و اضافه شدن گیاهان پوششی

پهنه با در نظر گرفتن برخی ملاحظات مدیریتی می‌توان تا حد قابل توجهی از میزان مصرف آب آبیاری کاهش داد. در پهنه C نیز می‌توان با توجه به الگوی کشت درختی پراکنده و کم نیاز به آب و پوشش خاک در کف، با تغییر نوع آبیاری از غرقابی و سطحی به آبیاری قطره‌ای و همچنین استفاده از مالچ‌ها (گیاهی یا مصنوعی) جهت پوشش خاک کف و کاهش تبخیر، در مصرف منابع آب دانشگاه صرفه‌جویی کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف محاسبه نیاز آبی فضای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان با استفاده از روش Wucols انجام شد. با توجه به وسعت و الگوی کاشت گیاهان موجود در فضای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان، سه پهنه از کلاس‌های مختلف فضای سبز (شامل پهنه A؛ درختان و درختچه‌های سوزنی/پهن برگ با تراکم زیاد و پوشش سبز در کف، B؛ درختان و درختچه‌های سوزنی/پهن برگ با تراکم متوسط تا کم و پوشش سبز در کف، C؛ بوته‌ها و علفزارها با تراکم پایین، درختان و درختچه‌های پراکنده و پوشش خاک در کف) در این مطالعه قابل تشخیص است.

در این ارتباط نیاز آبی هر یک از پهنه‌ها براساس ضریب منظر و عوامل مؤثر بر آن از جمله عامل گیاه، تراکم و ریزاقلیم به‌صورت جداگانه مورد محاسبه قرار گرفت. مساحت تحت پوشش فضاهای سبز هر پهنه با استفاده از نرم افزارهای Autocad، Google Earth و تدقیق آن از طریق بازدیدهای میدانی تعیین شد. به‌منظور تعیین ضریب منظر، عوامل مؤثر در تعیین آن برای هریک از پهنه‌های مورد مطالعه طی مراحل مختلف و براساس روش Wucols تعیین و سپس حجم آب موردنیاز سالانه مورد محاسبه قرار گرفت. براساس مطالعات موجود [۲۷، ۲۱، ۱، ۱۷، ۲۲]، می‌توان گفت که روش Wucols یا طبقه‌بندی آب مورد نیاز گونه‌های فضای سبز یک روش مرجع است که به دلیل تاثیر ضریب منظر در محاسبه تبخیر و تعرق گیاهان جهت تعیین نیاز آبی فضاهای سبز شهری از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد.

یافته‌های تحقیق نشان می‌دهند که مصرف منابع آب جهت نگهداری فضاهای سبز در این دانشگاه حداکثر است،

- حذف برخی از گیاهان پوششی مانند گونه چمن زینتی در فضاهای سبز دانشگاه در کوتاه مدت جهت کاهش آب آبیاری مورد نیاز و جایگزینی آنها با مالچهای زینتی.
- ارائه طرح جامع تغییر الگوی کشت در فضای سبز دانشگاه براساس رویکرد منظر کم نیاز به آب (زری اسکپ) در بلندمدت.
- توسعه طرح سپتیک در دانشگاه جهت بازیابی آب شرب مصرفی در بخشهای اداری، آموزشی و پژوهشی دانشگاه و استفاده مجدد از آن در فضای سبز محوطه.
- ایجاد طرح شبکه آبیاری بارانی و قطره ای در هر سه پهنه از فضای سبز دانشگاه جهت افزایش راندمان آبیاری موجود.

گل نیمروزی در کف این پهنه و همچنین شکل آبیاری سطحی و غرقابی مرتبط دانست.

پهنه C هم در جایگاه سوم به لحاظ مصرف آب قرار می گیرد. با توجه به مشکلات موجود در روش های آبیاری سطحی و غرقابی فضای سبز در دانشگاه سیستان و بلوچستان که باعث کاهش راندمان آبیاری در حد ۳۵ درصد شده است، در صورت مدیریت صحیح و اصلاح سیستم آبیاری جهت افزایش راندمان تا ۴۵ درصد، می توان به میزان ۱۹۳۹۲۵/۵۲ مترمکعب آب در مصرف سالیانه فضاهای سبز موجود صرفه جویی کرد.

بنابراین برای دستیابی به یک رویکرد پایدار در مدیریت و نگهداری فضای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان و افزایش رتبه دانشگاه در ارزیابی گرین متریک پیشنهادات زیر قابل ارائه می باشد:

References

- [1]. Abasizadeh, M, shokrollahzadeh, M. (2022). Estimation of the water requirement of several species of shrubs in the green space of Shiraz using the landscape plant factor. *Journal of Plant Ecophysiology*, 1(14), 62-71. [In Farsi]
- [2]. Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A. and Jensen, M.E. (2011). Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, 98, 899-920.
- [3]. Ansari Ghoghhar, M., Parsi, E., Liaghat, A. and Salajeghe, A. (2021). Evaluation of methods for estimating water needs of urban green space plants. *Journal of Climate Research*, (46), 43-56. [In Farsi]
- [4]. Babaeian, I., Ansari Ghoghhar, M., Pourgholam Amiji, M. and Parsi, E. (2020). Calculate the Water Need of Urban Green Space Using the California Method (Case Study: Region 4 of Tehran Municipality). *Nivar*, 44(110-111), 141-156. doi: 10.30467/nivar.2020.249010.1171. [In Farsi]
- [5]. Baris Atici, K., Yasayacak, G., Yildiz, Y., & Ulucan, A. (2021). Green University and academic performance: An empirical study on UI GreenMetric and World University Rankings. *Journal of Cleaner Production*, 291(https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125289), 125
- [6]. Bortolini, L., Zanin, G., (2018). Hydrological behaviour of rain gardens and plant suitability: a study in the Veneto plain (North-Eastern Italy) conditions. *Urban for. Urban Green*. 34, 121-133.
- [7]. Canales-Ide, F., Zubezu, S., Rodríguez-Sinobas, L. (2019). Irrigation systems in smart cities coping with water scarcity: the case of Valdebebas, Madrid (Spain). *J. Environ. Manag.* 247, 187-195.
- [8]. Choudhary D. Methods of Evapotranspiration. (2018) [cited 2023 Jan 23]; Available from: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.14533.76007>
- [9]. Costello, L. R., Matheny, N. P., Clark, J. R., & 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 Resources: Berkeley, CA, USA.
- [10]. Delafan Azari, N., Rostami Shahraji2, T., Gholami, V. and 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]
- [11]. Fahmy, Sohair, Abd El-Ghany, Mohamed N., Amer, Hanan, Abdelsadek, Mohamed, Abdelazeem, Manar W, Abdel Sabour, Roaa S., Nasr, Youmna M, Nasrallah, Amira k. (2022). Developing a Sustainable University Campus in Egypt: Cairo University as a case study, IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science*.
- [12]. Golchin, P., Farhadi, R (2023). Xeriscape a suitable approach for developing low water requirement landscaping. Tehran: *Jahad daneshgahi Publications*. [In Farsi]
- [13]. Kanelli, A.A.; Vardaka, M.L.; Malesios, C.; Katima, Z.J.; Kalantzi, O.-I. (2024). Can Campus Green Spaces Be Restorative? A Case Study from Tanzania. *Sustainability*, 16, 1094. <https://doi.org/10.3390/su16031094>
- [14]. khaleghi, N. (2016). Comparison of effective rainfall estimation methods in agriculture. *Journal of Water and Sustainable Development*, 2(2), 51-58. [In Farsi]
- [15]. Narooei, B., Moareb, Y. and Darabi, H. (2020). Evaluation of Effective Components on Resilience of Urban Green Spaces planting Pattern in Hot and Dry Areas (Case Study: Zahedan City). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 10(34), 23-44. [In Farsi]
- [16]. Nouri, H., Beecham, S., Anderson, S., & Nagler, P. (2014). High Spatial Resolution WorldView-2 Imagery for Mapping NDVI and Its Relationship to Temporal Urban Landscape Evapotranspiration Factors. *Remote Sensing*, 6(1), 580-602.
- [17]. Nouri, H.; Beecham, S.; Kazemi, F.; Hassanli, A.M. (2013). A review of ET measurement techniques for estimating the water requirements of urban landscape vegetation. *Urban Water J.* 10, 247–259.
- [18]. Rambhia, M., Volk, R., Rismanchi, B., Winter, S., Schultmann, F. (2023). Supporting decision-makers in estimating irrigation demand for urban street trees. *Urban for. Urban Green*. 82, 127868.
- [19]. Rana, G. and Katerji, N. (2000). Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. *European Journal of Agronomy*, 13 (2–3), 125–153
- [20]. Si, B., Noor, A. I. B. M., & Wen, K. (2024). Linking University Campus Green Space and Students' Mental Health and Well-Being: A Systematic Literature Review. *International Journal of Academic Research in Environment & Geography*, 10(1), 31–47.
- [21]. sojoodi, Z., Mirzaei, F. (2019). Evaluation of the WUCOLS Method for Estimating Water Requirements of Landscape Plants. *Journal of Water Research in Agriculture*, 33(4), 629-643. [In Farsi]
- [22]. Sojoodi, Zeynab, Mirzaei, Farhad. (2020). Determination of Water Requirement of Urban Landscape Plants. *Journal of water and irrigation management*, 10(1), 131-141. [In Farsi]
- [23]. Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletio of American Meteorological society*, 93(12), 1879–1900.
- [24]. Todorovic, M. (2005). Crop water requirements. In: *Water Encyclopedia: Surface and Agricultural Water* (Jay H. Lehr, Jack Keeley, Eds.), AW-59, p. 557-558, *John Wiley & Sons Publisher, USA*.
- [25]. UI Green Metric World University Rankings, (2024). <https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2024>.
- [26]. Wunubo, B., Adamu, J., Audu, M. U., & Idah, Y. P. (2022). University students' perception and usage of campus green spaces at Gombe State University, GombeState, Nigeria. *FUDMA Journal of Sciences (FJS)*, 6(4), 88-87.
- [27]. Yan, H.; Zhang, C.; Coenders Gerrits, M.; Acquah, S.J.; Zhang, H.; Wu, H.; Zhao, B.; Huang, S.; Fu, H. (2018). Parametrization of aerodynamic and canopy resistances for modeling evapotranspiration of greenhouse cucumber. *Agric. For. Meteorol.* 262, 370–378.
- [28]. Yang, Y., Liu, L., Zhang, P., Wu, F., Wang, Y., Xu, C., Kuzyakov, Y., (2023). Large-scale ecosystem carbon stocks and their driving factors across Loess Plateau. *Carbon Neutrality* 2 (1), 5.

-
- [29]. Zhang F, Qian H. (2024). A comprehensive review of the environmental benefits of urban green spaces. *Environ Res.* 1;252(Pt 2):118837.
- [30]. Zhang, J., Jin, J., & Liang, Y. (2024). The Impact of Green Space on University Students' Mental Health: The Mediating Roles of Solitude Competence and Perceptual Restoration. *Sustainability*, 16(2), 707.
- [31]. Zhong, Q., Tong, D., Crosson, C., Zhang, Y. (2022). A GIS-based approach to assessing the capacity of rainwater harvesting for addressing outdoor irrigation. *Landsc. Urban Plan.* 223, 104416.

Water requirement estimation of green spaces in hot and arid areas using the landscape plant factor(case study: Sistan and Baluchestan University) (Research Paper)

1- Behrooz Naroei*: Assistant Professor, Department of Landscape Design Engineering., Faculty of Geography and environmental planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
behrooz.naroei@gep.usb.ac.ir

Received: 3 May. 2025

Accepted: 19 Nov. 2025

Abstract

The aim of this study is to estimate the water requirement of green spaces in the University of Sistan and Baluchestan using the landscape coefficient and classifying water requirement for each plant species based on (WUCOLS) method. The university's green spaces (area 20.46 hectares) was divided into three zones according to three characteristics of the landscape coefficient, including plant factor, planting density, and existing microclimate. Zone A (coniferous trees with high density and green cover on the ground), zone B (broadleaf trees with medium and low density and green cover on the ground), and zone C (grasslands with low density, scattered trees and shrubs and soil cover on the ground). Climatic data from the Zahedan meteorological station over a 30-year period (1993-2023) were used to calculate reference evapotranspiration and effective rainfall. Findings show that the annual water requirement estimation to irrigate the entire green space is 872664.76 cubic meters with an efficiency of 35%. Maximum annual water resource consumption among the existing zones in order is, zone B (480141.53 cubic meters), zone A (385241 cubic meters) and zone C (7282.23 cubic meters). Planning to remove the ground level green cover in Zone A, due to high density of pine trees, and also replacing ornamental grass species in Zone B with xeriscape plants and artificial mulches can be short-term solutions to reduce water consumption in the university's green space. Also, developing sprinkler and drip irrigation systems and maximizing the use of gray water resources instead of drinking water in all three zones is proposed as a long-term solution.

Keywords: Plant factor, planting density, microclimate, WUCOLS method, water requirement estimation.