Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]

Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان

سال نهم، شماره بیست‌وهفتم، تابستان ۱۳۹۹، صفحه ۹۳ـ۱۰۶

مقاله پژوهشی

مقایسهٔ روش‌های تجربی برآورد تبخیر و تعرق براساس داده‌های لایسی‌متری (مطالعهٔ موردی: دشت کاشان)

سید جواد ساداتی‌نژاد[۱]، لیلا نظری[۲*]، هدی قاسمیه[۳]، سلمان عارفخانه کلاته[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱/۱۷ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۷**

چکیده

برآورد تبخیر و تعرق در سطح منطقه‌ای، یکی از مؤلفه‌های مهم برای مدیریت بهینهٔ منابع آب است. روش‌های تجربی زیادی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع وجود دارد، ولی این روش‌ها نتایج یکسانی برای همهٔ مناطق نشان نمی‌دهند. مطالعات لایسی‌متری به‌منظور تعیین مناسب‌ترین روش در هر منطقه به کار می‌رود. لذا در این تحقیق برای تعیین مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق در منطقهٔ مورد مطالعه، آزمایشی به‌مدت ۶ ماه در سال آماری ۱۳۹۱ـ۱۳۹۲ با استفاده از ۴ دستگاه لایسی‌متر زهکش‌دار در دانشگاه کاشان اجرا شد. همچنین انواع روش‌های تجربی برآورد تبخیر و تعرق و تشتک تبخیر بر اساس داده‌های لایسی‌متری مورد مقایسه قرار گرفتند. در نهایت، نتایج برآورد مجموع تبخیر و تعرق ماهانه با استفاده از لایسی‌متر در منطقهٔ طرح در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد به‌ترتیب برابر ۲۴/۴۹، ۳۸/۳۹، ۵۱/۵۲، ۷۳/۸۷، ۱۱۹/۷۷ و ۱۸۰ میلی‌متر به دست آمد. همچنین از میان روش‌های مورد بررسی، روش تورنت‌وایت به‌ترتیب با R^2، R، NSC، RMSE و MBE برابر ۰/۹۵، ۰/۹۷، ۰/۹۸۶، ۴/۲۹ و ۱/۱۵- از دقت بیشتری برخوردار بود که به‌عنوان مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق در منطقهٔ مورد مطالعه معرفی می‌شود. پس از آن، روش‌های جنسن- هیز اصلاح‌شده، بلانی- کریدل، جنسن- هیز، هارگریوز- سامانی، تشتک تبخیر و فائو- پنمن- مانتیث در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. در نهایت روش پنمن با R^2 برابر ۰/۵۸ کمترین دقت را داشت.

کلیدواژه‌ها: تشتک تبخیر، روش‌های تجربی، تورنت‌وایت، گیاه مرجع چمن، لایسی‌متر زهکش‌دار.

۱. دانشیار دانشکده علوم وفنون، دانشگاه تهران

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، نویسنده مسئول، L.nazari67@yahoo.com

۳. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۴. دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* این مقاله مستخرج از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه کاشان است.

DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

مقدمه

ایران با قرار گرفتن در کمربند خشک جهانی، بیش از بسیاری از کشورها با مسئلهٔ بحران آب روبه‌روست (پورمحمدی و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین حجم بارندگی سالانه در ایران، حدود ۴۱۳ میلیارد مترمکعب برآورده شده است که ۲۹۶ میلیارد مترمکعب یا ۷۲٪ آن، بلافاصله توسط تبخیر و تعرق تلف شده و وارد اتمسفر می‌شود (علیزاده و همکاران، ۲۰۰۶). یکی از راه‌های کاهش بحران آب در کشاورزی به‌واسطهٔ پایین بودن راندمان مصرف آن و استفاده بیش از حد منابع آب موجود، مدیریت آب در تأمین نیاز آبی گیاهان زراعی است. در این زمینه تبخیر و تعرق، در واقع شاخص تعیین‌کننده‌ای در فرایند رشد است که معادل آب مورد نیاز گیاهان زراعی قلمداد می‌شود (قمرنیا و سلطانی، ۲۰۱۹). تبخیر و تعرق پدیدهٔ هیدرولوژیکی چندبعدی است که تحت‌تأثیر چندین متغیر عمل می‌کند. به‌طور کلی، متغیرهایی که در این فرایند اثرگذار هستند بارندگی، سرعت باد، تابش خورشیدی، فشار هوا، رطوبت، ساعات آفتابی، ابرناکی، همرفت (انتقال افقی گرمای محسوس و رطوبت)، پوشش زمین، خصوصیات خاک و گیاه و آب است (صیفی و همکاران، ۲۰۱۱).

تبخیر و تعرق، یکی از اجزای اصلی چرخهٔ هیدرولوژی است که تعیین صحیح آن در علوم آب از قبیل مطالعات توازن هیدرولوژیکی و طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، از اهمیت بالایی برخوردار است (آلن[1] و همکاران، ۱۹۹۸). به‌عبارت دیگر، مقدار تبخیر و تعرق، یکی از داده‌های اساسی در طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی است. طراحی شبکه‌های انتقال اعم از کانال‌های آب‌رسانی یا زهکشی نیز، وابسته به مقدار آب مورد نیاز برای پدیدهٔ تبخیر و تعرق است. همچنین طراحی سیستم‌های آبیاری و تعیین بهترین دور آبیاری، به تخمین مقدار آب مصرفی گیاه (که شامل میزان تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه است)، نیازمند است. لذا مسئلهٔ تبخیر و تعرق باید به‌عنوان یکی از عوامل مهم و مؤثر در طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی مد نظر قرار گیرد (جهان‌بخش اصل و همکاران، ۲۰۰۲).

اندازه‌گیری‌های مستقیم تبخیر و تعرق به‌دلیل در نظر گرفتن شرایط واقعی و به دست آوردن مستقیم پارامترهای اصلی، به‌عنوان یکی از دقیق‌ترین روش‌ها شناخته شده است (شهابی‌فر و رحیمیان، ۲۰۰۷). برآورد آب مصرفی گیاه و تطبیق آن با آب مصرفی واقعی، سال‌هاست که مورد توجه محققان قرار گرفته و فرمول‌های گوناگونی توسط ایشان پیشنهاد شده است (جنسن[2] و همکاران، ۱۹۹۷). فرمول‌های پیشنهادی برای هر منطقه، نیاز به کالیبره شدن طی سالیان متوالی دارد و هرگز بدون اندازه‌گیری مقدار دقیق آب مصرفی، نمی‌توان به نتایج حاصل از معادلات گوناگون اعتماد کرد. به همین دلیل ساخت لایسی‌متر و اندازه‌گیری مستقیم آب مصرفی گیاه در مراکز تحقیقاتی، به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

لایسی‌متر، یکی از قابل اعتمادترین راه‌های اندازه‌گیری مستقیم تبخیر و تعرق است (مارتین و همکاران، ۱۹۸۵). لایسی‌متر از واژهٔ یونانی لایسیس[3]، به‌معنای سست کردن گرفته شده است. لایسی‌متر دستگاهی است که از سال ۱۶۸۸، در مطالعات مربوط به آب و خاک مورد استفاده قرار گرفته است. این دستگاه، از یک تانک یا مخزن ساده تشکیل شده که پر از خاک است و با کاشت گیاه در آن و آبیاری می‌توان حجم آب تلف‌شده در اثر تبخیر و تعرق از سطح خاک و تعرق از سطح گیاه (تبخیر و تعرق) را در دوره‌های روزانه، هفتگی و یا ماهانه محاسبه کرد (علیزاده و کمالی، ۲۰۰۷).

با توجه به اهمیت زیاد موضوع تبخیر و تعرق در مناطق مختلف، تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت گرفته است که به بعضی از آن‌ها اشاره می‌شود.

از جمله لیو[4] و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی ۱۶ مدل برآورد تبخیر و تعرق با لایسی‌متر وزنی در پکن چین پرداختند. نتایج حاکی از بیش‌برآوردی همهٔ ۱۶ مدل نسبت

1. Allen

2. Jensen
3. Lysis
4. Liu

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]

Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

بـه نتـایج لایسـی‌متـر بـود. در پژوهشـی بـا اسـتفاده از لایسی‌مترهـای وزنـی و زهکـش‌دار، میـزان تبخیـر و تعـرق پتانسیل گیاه مرجـع (چمـن) انـدازه‌گیـری و بـا نتـایج روش پنمن- مانتیث[1] و تشتک تبخیر مقایسـه شـد؛ در نهایـت ایـن نتیجه حاصل شـد کـه همبسـتگی بـین نتـایج روش پـنمن- مانتیث با لایسی‌مترها مناسب بوده است (سـیلوا و همکـاران، ۱۹۹۹). همچنـین در تحقیـق دیگـری بـا اسـتفاده از لایسی‌مترهای زهکش‌دار، تبخیر و تعرق گوجه‌فرنگی و کدو محاسبه شدند و با پنج روش منطبق بر وضـعیت آب‌وهـوایی شامل فائو- پنمن، بلانـی-کریـدل[2]، جنسـن- هیـز[3]، تشـتک تبخیر و تورنت‌وایت[4] مقایسه شدند. در نهایـت نتـایج نشـان داد که روش پنمن[5] برای کدو و روش تشـتک تبخیـر[6] بـرای گوجه‌فرنگی، بهترین روش است (آل عمـران[7]، ۲۰۰۴). طـی مطالعه‌ای هفـت مـدل تبخیـر و تعـرق بـر اسـاس داده‌هـای لایسی‌متری در ایستگاه هواشناسی- هیـدرولوژیکی مانچنـگ لادباچ[8] آلمان مقایسه شدند. این هفت مدل عبارت‌انـد از: ۱. مدل مورتون[9]، ۲. مدل استریگر[10] بر اسـاس تغییـرات درجـهٔ خشـکی (AA[11])، ۳. مـدل ماکینـگ[12]، ۴. مـدل پریسـتلی- تیلـور[13]، ۵. مـدل GG[14]، ۶. مـدل تورنـت‌وایـت، ۷. مـدل هارگریوز[15]. در نهایت نتایج نشان داد که بـرای انـدازه‌گیـری تبخیر و تعـرق واقعـی و بـالقوه، مـدل‌هـای GG و ماکینـگ دقیق‌ترند (یو و چن[16]، ۲۰۰۶). کراوالو و همکاران در پرتغال اقدام به ساخت، نصب، کالیبره و ارزیـابی لایسـی‌متـر وزنـی کردند؛ به‌طوری که لایسی‌متر ساخته‌شده از خاک محلـی پـر شده و گونهٔ چمن باهیا[17] در آن کشت شده بـود. در نهایـت، نتایج بر اساس استاندارد رگرسیون خطی نشان داد که تخمین تبخیر و تعرق مرجع با لایسی‌متر، مناسـب و رضـایت‌بخـش اسـت (چـاروالهو[18] و همکـاران، ۲۰۰۷). طـی مطالعـه‌ای در انزسدرف واقع در شرق وین، به‌منظور تعیین تبخیـر و تعـرق مرجع از لایسی‌متر وزنی اسـتفاده شـد و گونـهٔ چمـن در آن کشـت شـد. در نتیجـه بـا انـدازه‌گیـری فراینـدهـای چرخـهٔ هیدرولوژیکی مانند بارش، نفوذ آب، اطلاعـات آب‌وهـوایی، تولید بیوماس و تغییرات وزن، اقدام به شبیه‌سازی داده‌ها شد و بر اساس رابطه‌های بین این پارامترها، مدلی برای تبخیـر و تعرق ارائـه شـد (نلـز و سـپیدر[19]، ۲۰۰۸). آقـای رئـوف و عزیزی مبصـر (۲۰۱۸) طـی تحقیقـی در ایسـتگاه تحقیقـاتی هانگـار دانشـگاه محقـق اردبیلـی و در شـهر اردبیـل، بـرای دستیابی به بهترین مدل تبخیـر و تعـرق مرجـع در وضـعیت آب‌وهـوایی منطقـهٔ فـوق بـا اسـتفاده از مقایسـهٔ بـین دادهٔ لایسی‌متری و نتایج روش‌های برآورد تبخیر و تعـرق یافتنـد کـه در مقایسـه بـا نتـایج لایسـی‌متـری، در محـل تحقیـق مناسب‌ترین مـدل‌هـا، بـه‌ترتیـب بلانـی کریـدل، راوازانـی و همکاران و مدل Rn و ضعیف‌ترین مدل‌ها به‌ترتیب ایرماک و مدل‌های والیانتزاس اسـت. بـه‌صـورت کلـی، تناسـب نتـایج مدل‌ها نسبت به نتایج مدل فائو- پنمن- مانتیث در مقایسه با نتایج آن‌ها نسبت به نتایج لایسی‌متـری، قابـل قبـول‌تـر بـود. همچنین با توجه به محک‌های آماری در محل تحقیق نسـبت به مدل فائو- پنمن- مانتیث، مناسب‌ترین مـدل‌هـا بـه‌ترتیـب تورک، برتی و همکاران و تراجوکویچ و ضعیف‌ترین مدل‌ها، هارگریوز- سامانی[20] اصلاح‌شده، ایرماک و اسـکاندل تعیـین شد (رئوف و عزیزی مبصر، ۲۰۱۶).

همچنـین در پژوهشـی در گلخانـهٔ مؤسسـهٔ تحقیقـات گیاه‌پزشکی کشـور واقـع در تهـران، هفـت روش محاسـباتی تبخیـر و تعـرق گیـاه مرجـع چمـن (بـر اسـاس داده‌هـای میکرولایسی‌متری ناشی از کشت چمن)، مورد ارزیـابی قـرار گرفتند و در نهایت، این نتیجه حاصل شـد کـه روش فـائو- پـنمن- مانتیـث از دقـت بیشـتری برخـوردار بـوده و روش

1. FAO- Penman-Monteith
2. Balnny-Kridlle
3. Jensen- Haise
4. Thornthwaite
5. Penmann
6. Pan Evapotraspiration
7. AL-Omran
8. Moncheng Ladbach
9. Morton
10. Striger
11. Advection–Aridity
12. Makkink
13. Priestley–Taylor
14. Granger & Gray
15. Hargreaves
16. Xu &Chen
17. Seropédica region - RJ
18. Carvalho
19. Nolz & Cepuder
20. Hargreaves-Samani

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

بلانی- کریدل، کمترین دقت را داشته است (شهابی‌فر و رحیمیان، ۲۰۰۷). آقای مسعودی و همکاران طی تحقیقی با استفاده از آمار روزانهٔ داده‌های هواشناسی سه ایستگاه سینوپتیک تهران، گرگان و کرمانشاه با وضعیت اقلیمی متفاوت (به‌ترتیب خشک، مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک بر اساس روش دومارتن)، میزان تبخیر و تعرق با ۵ روش فائو- پنمن- مانتیث، هارگریوز- سامانی، تورک، پریستولی- تیلور و مک‌کینگ در دورهٔ آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۷ را محاسبه کردند. سپس با مرجع قرار دادن روش فائو- پنمن- مانتیث، معادلات فوق را برای هر سه ایستگاه در دورهٔ آماری ۱۹۹۲ الی ۲۰۰۲ واسنجی شد و با استفاده از معیارهای آماری R^2، RMSE و MBE، معادلات تجربی را مختلف مقایسه کردند. سپس بهترین معادلهٔ واسنجی در دورهٔ آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ برای هر ایستگاه تعیین شد. در نهایت، نتایج نشان داد که در ایستگاه‌های تهران، گرگان و کرمانشاه به‌ترتیب معادلات واسنجی‌شدهٔ EHS و ET از دقت بیشتری در مقایسه با EPT و EMK برخوردارند، ضمن آنکه واسنجی معادلات تجربی، سبب افزایش کارایی و کاهش خطا شده است (قبایی سوق و همکاران، ۲۰۱۰). متخصصان آب و خاک و گیاه نیز تلاش کرده‌اند معادله‌هایی هرچند ساده به‌منظور تخمین ET_0 و یک یا چند پارامتر اساسی مؤثر بر تبخیر و تعرق در نظر بگیرند (علیزاده و کمالی، ۲۰۰۷).

برآورد تبخیر و تعرق در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و روش‌های بسیار زیادی برای محاسبهٔ آن وجود دارد که این روش‌ها، نتایج یکسانی برای همهٔ مناطق نشان نمی‌دهند. دشت کاشان نیز جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور است که هیچ گونه مطالعه‌ای توسط سایر محققان در زمینهٔ تبخیر و تعرق در آن صورت نگرفته است، لذا تحقیقات لایسی‌متری دقیق‌تر به‌منظور تعیین مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق در این منطقه بسیار ضروری و لازم به نظر می‌رسد که از اهداف اصلی این تحقیق به شمار می‌رود. همچنین نوآوری این تحقیق نسبت به تحقیقات انجام‌شده در طراحی لایسی‌متر در ابعاد کوچک است که در بخش روش تحقیق به‌تفصیل شرح داده می‌شود.

بنابراین هدف از تحقیق حاضر، برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش‌های تورنت‌وایت، بلانی-کریدل، جنسن- هیز، جنسن- هیز اصلاح‌شده[1]، هارگریوز- سامانی، تشتک تبخیر، پنمن و فائو- پنمن- مانتیث و مقایسهٔ آن‌ها بر اساس داده‌های لایسی‌متری در دشت کاشان و ارزیابی دقت بر اساس R، R^2، RMSE، NSC، MBE و در نتیجه تعیین مناسب‌ترین روش برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل منطقهٔ مذکور است.

روش‌شناسی

منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه در این پژوهش تقریباً در مرکز دشت کاشان یعنی دانشگاه کاشان با مختصات جغرافیایی ″۴۵ ′۲۱ °۵۱ طول شرقی و ″۱۸ ′۰۰ °۳۴ عرض شمالی در نظر گرفته شده که ارتفاع این منطقه از سطح دریا، معادل ۹۹۰ متر است. از دلایل انتخاب این منطقه برای احداث لایسی‌متر می‌توان به مواردی از جمله نزدیک بودن به ایستگاه هواشناسی کاشان به‌عنوان قابل اعتمادترین ایستگاه منطقه، دارا بودن امکانات اندازه‌گیری پارامترهای تأثیرگذار بر فرایند تبخیر و تعرق از جمله رطوبت، بارندگی، دما، آزمایشگاه، ... و در نهایت، مقرون‌به‌صرفه بودن اشاره کرد. از طرفی، حوضهٔ کاشان از دو بخش دشت و کوهستان تشکیل شده است. بنابراین تلاش شد ایستگاه مطالعاتی به‌گونه‌ای انتخاب شود که معرف تمام منطقه باشد. لذا منطقهٔ طرح در حد واسط دشت و کوهستان انتخاب شد که مسلماً نتایج تحقیق به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود.

روش تحقیق

ساخت و احداث لایسی‌متر در سایت تحقیقاتی دانشگاه

تحقیقات نشان می‌دهد که لایسی‌متر وزنی، بیشترین دقت را در تعیین آب مورد نیاز گیاهان دارد. اما به‌دلیل هزینهٔ بالای احداث آن، در این پژوهش به‌منظور تعیین تبخیر و تعرق گیاه

1. Modified Jensen-Haise

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

مرجع چمن از ۳ دستگاه لایسی‌متر زهکش‌دار گیاه چمن و یک لایسی‌متر شاهد استفاده شد.

لایسی‌متر مورد نظر به ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر و سطح مقطع دایره‌ای به قطر ۴۰ سانتی‌متر تهیه شد. سپس به‌منظور تعبیهٔ زهکش، دو روزنه به قطر یک سانتی‌متر در کف لایسی‌متر ایجاد شد و بدنهٔ لایسی‌متر کاملاً با عایق فوم پوشیده شد و سیم مفتول برای استحکام بیشتر مورد استفاده قرار گرفت. سپس به‌منظور طراحی پایه‌های لایسی‌متر، از میله‌های آهنی به ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ افقی ۱۸۰ سانتی‌متر استفاده شد؛ به‌طوری که بر روی هر کدام از پایه‌ها، دو لایسی‌متر قرار داده شد. برای زهکش بهتر آب از لایسی‌متر به هنگام نصب پایه‌ها نیز شیب ۵٪ به طرف خروجی لایسی‌مترها داده شد و در گوشه‌ای از کف لایسی‌متر بر روی دهانهٔ روزنهٔ زهکش، یک لایهٔ توری قرار داده شد. در کف لایسی‌متر نیز به‌ترتیب، پوکه و نخودی ریخته شد تا خروج آب مازاد به‌راحتی صورت گیرد. به‌منظور جمع‌آوری آب خروجی از زهکش‌ها نیز، ظروف ۱۰ لیتری به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت که توسط پشم شیشه و فوم عایق‌بندی شدند. سپس برای انتقال آب از لایسی‌متر به منبع ذخیره از سه‌راهی فلزی و لوله‌های رابط استفاده شد.

آزمایش‌های خاک

پس از آماده شدن لایسی‌متر و استقرار آن بر روی پایه‌ها، سه نمونه خاک از مناطق مختلف دشت کاشان مورد آزمایش بافت خاک قرار گرفتند و در نهایت از خاک دشت حسن‌آباد با بافت شنی- رسی[1] به‌منظور پر کردن لایسی‌مترها استفاده شد. آنگاه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک لایسی‌متر پیش از کاشت چمن با نمونه‌گیری از لایهٔ ۰-۳۰ سانتی‌متر تعیین شد. شایان ذکر است که تعیین رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی و پژمردگی در سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی مؤسسهٔ آب و خاک تهران انجام شد. بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): خصوصیات خاک داخل لایسی‌متر

Table (1): Soil properties within the lysimeter

متغیرهای اندازه‌گیری‌شده	لایه ۰-۳۰ سانتی‌متر
بافت خاک	شنی- رسی
رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی	۱۴
رطوبت وزنی در نقطهٔ پژمرگی	۷
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۱۹

اقدامات مربوط به کشت و آبیاری گیاه مرجع چمن

پس از آماده‌سازی لایسی‌متر در پاییز ۱۳۹۱، اقدام به کشت چمن اسپرت چهار تخم شد. بدین صورت که در هر لایسی‌متر، ۷۰ گرم بذر چمن به‌صورت یکنواخت کشت شد. علت استفاده از این نوع چمن این بود که کشت چمن در فصل پاییز انجام می‌شد و در منطقه قبلاً به‌وفور انجام شده بود.

به‌منظور آبیاری گیاه مرجع چمن، در ابتدای کشت تا زمان رسیدن چمن به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متری، آبیاری به‌صورت بارانی انجام شد؛ به‌نحوی که خاک تا عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری کاملاً مرطوب و خیس می‌شد. پس از آن، عملیات آبیاری به‌صورت دستی در مقیاس روزانه به مدت ۶ ماه انجام گرفت و میزان آن به‌طور دقیق توسط مزور به واحد میلی‌لیتر محاسبه شد. همچنین مقادیر بارندگی در طول دورهٔ رشد از طریق باران‌سنج مستقر در محل لایسی‌مترها قرائت و در محاسبهٔ نیاز آبی لحاظ شد. همچنین خصوصیات آب آبیاری نیز نمونه‌برداری و مورد آزمایش قرار گرفت. در جدول (۲)، بعضی از ویژگی‌های آب آبیاری آورده شده است.

جدول (۲): خصوصیات آب آبیاری گیاه چمن

Table (2): Characteristics of grass irrigation water

پارامتر	مقدار
EC (ds/m)	۱/۵۹۶
Ph	۷/۵۳
Ca (meq/l)	۵/۲
Mg (meq/l)	۳/۲
Cl (meq/l)	۱/۲
CO_3(meq/l)	۰
HCO_3(meq/l)	۲۵/۴

1. Sand Clay

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

اندازه‌گیری‌های لایسی‌متری

اندازه‌گیری‌های لایسی‌متری بر اساس رابطهٔ (۱) به‌صورت روزانه انجام گرفت (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

$$ET_p = I + P - D \pm \Delta W \qquad (۱)$$

که در این رابطه، پارامترها عبارت‌اند از: ET_p میزان تبخیر و تعرق پتانسیل به‌صورت آب تبخیر و تعرق‌یافته در دورهٔ معین (mm)، P میزان بارندگی در همان دورهٔ معین (mm)، I میزان آبیاری در همان دورهٔ معین (mm)، D میزان آب زهکش‌شده در همان دورهٔ معین (mm)، ΔW تغییرات رطوبتی خاک تا کف لایسی‌متر یا تغییر در مقدار عمق آب موجود در پروفیل خاک در دورهٔ معین (mm).

شایان ذکر است که در این پژوهش رطوبت خاک به‌طور روزانه توسط بلوک گچی و دستگاه رطوبت‌سنج مدل Eijkelkamp برحسب واحد اهم قرائت شد. آنگاه بر اساس منحنی تعیین رطوبت خاک، میزان رطوبت برحسب درصد مورد محاسبه قرار گرفت. ولی به‌دلیل تقریباً یکسان بودن تغییرات، ΔW=0 منظور شده است.

برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از روش تشتک تبخیر

تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) در همان دوره با استفاده از رابطهٔ (۲) به دست آمد (علیزاده و کمالی، ۲۰۰۷):

$$ET_o = K_{pan} \times (E_p) \qquad (۲)$$

که E_p میزان تبخیر به‌دست‌آمده از تشتک تبخیر و K_{pan} ضریب تشتک است که بستگی به وضعیت استقرار تشتک و محیط اطراف آن داشته و مقدار آن، بین ۰/۵ تا ۰/۸۵ متغیر است (علیزاده، ۲۰۱۳)

در این پژوهش براساس معادلهٔ اورنگ (رابطهٔ ۳)، ضریب تشتک ایستگاه کاشان محاسبه شد و بر اساس رابطهٔ (۲)، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع به دست آمد (علیزاده و کمالی، ۲۰۰۷).

(۳)

$$K_{pan} = 0.51206 - 3.21 \times 10^{-4} U + 0.031886 + Ln(F) 0.002889451.07 \times 10^{-4} RH \times Ln(F)$$

در این رابطه، پارامترها عبارت‌اند از: K_{pan} ضریب تشتک، RH رطوبت نسبی به درصد، u سرعت باد برحسب کیلومتر بر ساعت، F فاصلهٔ سبزینگی در اطراف تشتک برحسب متر.

برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از انواع روش‌های تجربی

- روش پنمن

در سال ۱۹۶۳، رابطهٔ (۴) برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل سطوح گیاهی مرجع ارائه شد (مظاهری، ۲۰۰۶):

$$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta+\gamma}(R_n - G)\frac{\gamma}{\gamma+\Delta}(15.39)(1+0.01U)(e_s - e_d) \qquad (۴)$$

در این رابطه، پارامترها عبارت‌اند از: ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)، Δ، γ ضرایب معادله، R_n تابش ورودی خالص، G شدت جریان گرمای خاک، e_s فشار بخار اشباع (mbar)، e_d فشار واقعی بخار آب (mbar)، U سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (Km/day) که البته به‌طور کلی تابع باد برای مناطق مختلف، متفاوت است.

- روش فائو – پنمن- مانتیث

روش فائو- پنمن- مانتیث[1] به‌عنوان یکی از معتبرترین روش‌ها برای تخمین ET_o مورد استفادهٔ متخصصان قرار دارد. معادلهٔ فائو- پنمن- مانتیث به‌صورت رابطهٔ (۵) است (علیزاده، ۲۰۱۳):

$$ET_o = \frac{0.408\,\Delta(R_n - G) + \gamma\left[\frac{۸۹۰}{(T+۲۷۳)}\right]U_۲(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma\left(1 + 0.34U_۲\right)} \qquad (۵)$$

در این رابطه، پارامترها عبارت‌اند از: ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-۲}d^{-۱}$)، T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (^0C)، $U_۲$ سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m/s)، e_d-e_a کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (Kpa)، Δ شیب منحنی فشار بخار ($Kpa\ ^0C^{-1}$)، λ ضریب رطوبتی ($Kpa\ ^0C^{-1}$)، G شار گرما به داخل خاک ($MJm^{-۲}d^{-۱}$).

1. FAO- Penmann- Monteith

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]

Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

- روش بلانی کریدل - فائو[1]

یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل، روش بلانی- کریدل است که بعدها فرمول پیشنهادی آن‌ها، مورد واسنجی قرار گرفت و برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن به‌صورت جدول ارائه شد. این روش، روش بلانی-کریدل- فائو نامیده شده است (علیزاده، ۲۰۱۳). بنابراین، میزان تبخیر و تعرق به روش بلانی-کریدل- فائو با استفاده از رابطهٔ (۶) به دست می‌آید.

$$ETo=a+b[P\ (0.46T+8.13)] \quad (۶)$$

در این رابطه، پارامترها عبارت‌اند از: ET_O تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) برحسب mm/day، P ضریب مربوط به طول روز یا درصد سالانهٔ تابش آفتاب در ماه که به‌صورت روزانه توصیف شده است (متوسط ساعات روشنایی هر روز در ماه مورد نظر تقسیم بر کل ساعات روشنایی سال ضرب در ۱۰۰)، T متوسط ماهانهٔ درجه‌حرارت برحسب °C، a و b ضرایب اقلیمی هستند که از رابطه‌های (۷) و (۸) محاسبه می‌شوند.

$$a = 0/023953\bar{T} - 0/00029EL \quad (۷)$$

$$b = 0/005515Ln\overline{TD} \quad (۸)$$

در این رابطه‌ها، $\bar{T}$ میانگین دمای متوسط ماهانه برحسب درجهٔ سانتی‌گراد (یک میانگین برای هر ایستگاه)، $\overline{TD}$ میانگین اختلاف دمای متوسط حداکثر و متوسط حداقل ماهانهٔ هوا برحسب درجهٔ سانتی‌گراد (یک میانگین برای هر ایستگاه) و EL ارتفاع از سطح دریا برحسب متر است.

- روش تورنت‌وایت

در روش تورنت‌وایت، تبخیر و تعرق پتانسیل برای هریک از ماه‌های سال محاسبه می‌شود. اساس این محاسبه، داشتن دمای متوسط در هر ماه است که با استفاده از رابطهٔ (۹) محاسبه می‌شود (علیزاده، ۲۰۱۳):

$$ET_p = 16N_m(\frac{10T_m}{I})^a \quad (۹)$$

در این رابطه، پارامترها عبارت‌اند از: T_m متوسط دمای هوا (°C) در ماه مورد نظر، I نمایهٔ حرارتی سال که از جمع نمایه‌های حرارتی ماهانه در طول سال محاسبه می‌شود، N_m ضریب اصلاحی، a: ضریبی که از رابطهٔ (۸) محاسبه می‌شود.

$$a=(6.75\times10^{-7})I^3-(7.71\times10^{-5})I^2+(1.792\times10^{-2})I+0.492 \quad (۱۰)$$

- روش جنسن- هیز

معادلهٔ تجربی جنسن- هیز به‌صورت رابطه‌های (۱۱) تا (۱۵) ارائه شده است (علیزاده و کمالی، ۲۰۰۷).

$$ET_o = Cr(T - T_x)Rs \quad (۱۱)$$

$$Cr = \frac{11}{45 - (\frac{h}{137}) + (\frac{365}{(e_{s,max} - e_{s,min})})} \quad (۱۲)$$

$$T_x = -2.5 - 0.14(e_{s,max} - e_{s,min}) - \frac{h}{500} \quad (۱۳)$$

$$e_{s,max} = \exp(\frac{19.08T_{max} + 429.41}{T_{max} + 237.3}) \quad (۱۴)$$

$$e_{s,min} = \exp(\frac{19.08T_{min} + 429.41}{T_{min} + 237.3}) \quad (۱۵)$$

در این رابطه، پارامترها عبارت‌اند از: T میانگین دمای روزانه (°C)، T_{max} ماکزیمم روزانهٔ دمای هوا در گرم‌ترین ماه سال (°C)، T_{min} مینیمم روزانهٔ دمای هوا در گرم‌ترین ماه سال (°C)، $e_{s,max}$ فشار بخار اشباع به‌ازای ماکزیمم روزانهٔ دمای هوا در گرم‌ترین ماه سال (mbar)، $e_{s,min}$ فشار بخار اشباع به‌ازای مینیمم روزانهٔ دمای هوا در گرم‌ترین ماه سال (mbar)، h ارتفاع از سطح دریا (m)، Rs تابش خورشیدی در دورهٔ مورد نظر (mm) که اگر مقدار آن برحسب کالری بر سانتی‌متر مربع در دست باشد، با تقسیم آن بر ۵۸/۴۸ به میلی‌متر تبدیل می‌شود.

- روش جنسن - هیز اصلاح‌شده

به‌منظور برطرف کردن مشکل تخمین تابش خالص خورشیدی در معادلهٔ جنسن- هیز، رابطهٔ (۱۶) جایگزین آن

1. Blanney-Criddle-FAO

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

شده است که به آن، روش جنس- هیز اصلاح‌شده می‌گویند (علیزاده، ۲۰۱۳).

$$ET_o = Cr(T - T_x)K_t.R_a.TD^{0.5} \quad (۱۶)$$

$$K_t = 0.075(\frac{S}{TD})^{0.5} \quad (۱۷)$$

در این رابطه‌ها، پارامترها عبارت‌اند از: ET_O تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن (mm/day)، S درصد ساعات تابش آفتاب، TD تفاوت متوسط دمای ماکزیمم و مینیمم روزانه، R_a تابش برون زمینی برحسب میلی‌متر آب (cm^2/day/Cal).

- روش هارگریوز- سامانی

در روش هارگریوز- سامانی نیز از معادلهٔ مشابه با روش جنسن- هیز اصلاح‌شده استفاده می‌شود. این معادله به‌صورت رابطهٔ (۱۸) ارائه شده است (علیزاده، ۲۰۱۳).

$$ET_o = 0.0135(K_t).R_a.TD^{0.5}(T + 17.5) \quad (۱۸)$$

$$K_t = 0.00185(TD)^2 - 0.0433TD + 0.4023 \quad (۱۹)$$

در این رابطه، پارامترها عبارت‌اند از: ET_O تبخیر و تعرق گیاه مرجع برحسب mm/day، TD تفاوت متوسط دمای ماکزیمم و مینیمم (T_{max}-T_{min}) برحسب °C، T متوسط درجهٔ حرارت برحسب °C، و R_a آب معادل تابش برو جوی (برحسب میلی‌متر بر روز)

گفتنی است که تمامی اطلاعات مربوط به روابط فوق از مجموعه داده‌های ایستگاه هواشناسی شهرستان کاشان استخراج شد که فاصلهٔ کمی تا سایت تحقیقاتی داشت.

ارزیابی روش‌های تجربی

به‌منظور تعیین دقت نتایج تبخیر و تعرق محاسبه‌شدهٔ گیاه مرجع چمن، از اندازه‌گیری‌های لایسی‌متری استفاده شد که به‌عنوان داده‌های مرجع برای مقایسهٔ این مقادیر به کار گرفته شده است. به‌عبارت دیگر، تمام مقایسه‌ها بر اساس مقادیر لایسی‌متری و معیارهای خطا بود. برای این منظور از برخی معیارهای آماری مانند R^2، RMSE[1] (ریشهٔ دوم میانگین مربعات خطا)، MBE[2] (میانگین خطای اریب یا انحراف)، NSC[3] (معیار نش ساتکلیف) و R[4] به‌صورت رابطه‌های (۲۰) تا (۲۴) استفاده شده است.

$$R^2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{ci} - X_{mci})(X_{oi} - X_{moi})}{\sum_{i=1}^{n}\left(X_{ci} - X_{mci}\sum_{i=1}^{n}(X_{oi} - X_{moi})\right)}} \quad (۲۰)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_{oi} - X_{ci})^2} \quad (۲۱)$$

$$MBE = \sum_{i=1}^{n}(X_{oi} - X_{ci}) \quad (۲۲)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{oi}\,X_{moi})(X_{ci}\,X_{mci})}{\sum_{i=1}^{n}(X_{oi}\,X_{moi})(X_{ci}\,X_{mci})^2} \quad (۲۳)$$

$$NSC = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{n}(y_o - y_e)^2}{\sum_{i=0}^{n}(y_o - \bar{y}_o)^2} \quad (۲۴)$$

نتایج

نتایج لایسی‌متر

تبخیر لایسی‌متر شاهد در یک تکرار و تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن در ۳ تکرار به‌مدت ۶ ماه از روز ۲۸ آذر ۱۳۹۱ تا ۲۰ خرداد ۱۳۹۲ (هجدهم دسامبر ۲۰۱۲ تا یازدهم ژوئن ۲۰۱۳) به دست آمده است. به‌منظور گزارش بهتر و مقایسهٔ دقیق‌تر داده‌های لایسی‌متر و سایر روش‌ها، میانگین متوسط ۳ تکرار چمن مورد استفاده قرار گرفت که به‌طور نمونه، تجزیه و تحلیل داده‌های لایسی‌متری ماه ژانویه در جدول (۳) آورده شده است.

نتایج روش‌های تجربی

برای این منظور در ابتدا، آمار روزانهٔ مورد نیاز از تاریخ ۲۸ آذر ۱۳۹۱ تا ۲۰ خرداد ۱۳۹۲ از ایستگاه هواشناسی کاشان تهیه شد. سپس با استفاده از روش‌های پنمن، فائو- پنمن-

1. RMSE: Root Mean Square Error

2. MBE: Mean Bias Error
3. Nash/Sutcliffe
4. Correlation Coefficient

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

مانتیث، بلانی- کریدل، تورنت‌وایت، جنسن- هیز، جنسن- هیز اصلاح‌شده و هارگریوز- سامانی، تبخیر و تعرق روزانهٔ گیاه مرجع محاسبه شد که نتایج مربوط به برخی از روش‌ها (ماهانه) در جدول (۴) ارائه شده است.

در این مرحله، به‌منظور یافتن بهترین روش، از آماره‌های R^2، R، RMSE و MBE استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری و ارزیابی خطا در جدول (۵) آورده شده است.

نتایج روش‌های ارزیابی خطا

جدول (۳): برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن توسط لایسی‌متر در ماه ژانویه

Table (3): Estimation of Evapotranspiration of Reference Plant Grass by Lysimeter in January

روز	آبیاری (mm)	خروجی (mm)	تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm)	روز	آبیاری (mm)	خروجی (mm)	تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm)
۱	۴/۲۰	۲/۹۸	۱/۲۲	۱۶	۳/۰۵	۲/۲۱	۰/۸۴
۲	۴/۲۰	۳/۰۵	۱/۱۵	۱۷	۳/۸۲	۲/۸۲	۰/۹۹
۳	۴/۲۰	۳/۰۵	۱/۱۵	۱۸	۳/۰۵	۱/۹۸	۱/۰۷
۴	۳/۴۴	۳/۰۵	۰/۳۸	۱۹	۳/۰۵	۱/۹۱	۱/۱۵
۵	۳/۴۴	۳/۰۵	۰/۳۸	۲۰	۳/۰۵	۲/۴۴	۰/۶۱
۶	۳/۸۲	۳/۴۴	۰/۳۸	۲۱	۳/۰۵	۱/۵۳	۱/۵۳
۷	۳/۴۴	۲/۹۸	۰/۴۶	۲۲	۳/۴۴	۲/۶۷	۰/۷۶
۸	۲/۲۹	۲/۵۲	۱/۷۷	۲۳	۳/۴۴	۲/۱۴	۱/۳۰
۹	۲/۲۹	۲/۱۴	۰/۱۵	۲۴	۳/۴۴	۱/۳۷	۲/۰۶
۱۰	۱/۹۱	۱/۸۳	۰/۰۸	۲۵	۳/۴۴	۱/۱۵	۲/۲۹
۱۱	۱/۵۳	۰/۸۴	۰/۶۹	۲۶	۳/۴۴	۱/۶۰	۱/۸۳
۱۲	۲/۲۹	۱/۰۷	۱/۲۲	۲۷	۳/۸۲	۲/۲۹	۱/۵۳
۱۳	۳/۴۴	۰/۹۲	۲/۵۲	۲۸	۳/۴۴	۱/۴۵	۲/۹۸
۱۴	۳/۰۵	۲/۲۹	۰/۷۶	۲۹	۴/۵۸	۶/۴۹	۱/۰۹
۱۵	۳/۰۵	۱/۶۸	۱/۳۷	۳۰	۳/۴۴	۲/۲۹	۱/۱۵

جدول (۴): تبخیر و تعرق محاسبه‌شدهٔ گیاه مرجع با استفاده از روش‌های تجربی (میلی‌متر بر روز)

Table (4): Calculated evapotranspiration of the reference plant using experimental methods (mm / day)

زمان (ماه)	هارگریوز سامانی	بلانی‌کریدل	جنسن- هیز	جنسن- هیز اصلاحی	تورنت‌وایت
دسامبر	۰/۹۳	۱/۱۲	۰/۷۴	۰/۴۸	۰/۸۹
ژانویه	۱/۲۶	۲/۹۰	۱/۸۸	۱/۳۰	۲/۰۱
فوریه	۲/۴۹	۴/۶۲	۳/۳۲	۲/۳۸	۴/۹۱
مارس	۳/۹۲	۷/۴۶	۶/۷۱	۴/۸۴	۱۲/۳۹
آوریل	۵/۱۱	۱۰/۹۸	۹/۰۴	۷/۵۸	۲۱/۵۳
می	۵/۹۵	۱۴/۶۳	۱۲/۲۸	۱۰/۳۴	۳۲/۲۲

www.SID.ir

Archive of SID

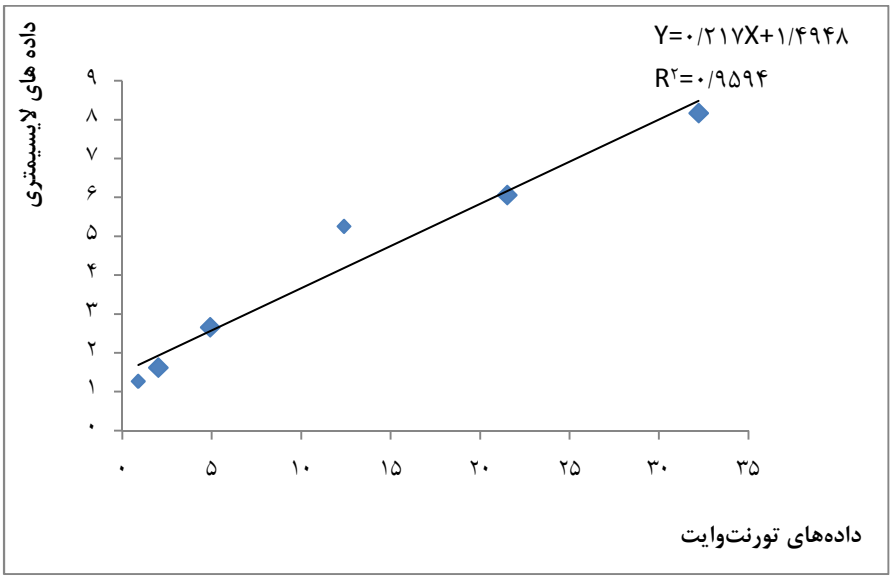
[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

جدول (۵): نتایج ارزیابی خطای روش‌های تجربی نسبت به داده‌های لایسی‌متر

Table (5): Results of experimental method error evaluation for Lysimeter data

ردیف	مدل	روش‌های ارزیابی خطا				
		MBE	RMSE	R	R^2	NSC
۱	جنسن اصلاحی کوتاه	-۲/۳۱	۳/۲۶	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۹۶۱
۲	جنسن	-۳/۴۸	۴/۵۲	۰/۹۴	۰/۸۹	۰/۹۰۵
۳	هارگریز سامانی	-۱/۱۰	۱/۴۱	۰/۹۰	۰/۸۱	۰/۹۱۷
۴	بلانی- کریدل	-۴/۷۷	۵/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۹۸
۵	تورنت‌وایت	-۱/۱۵	۴/۲۹	۰/۹۷	۰/۹۵	./۹۸۶
۶	پنمن	۴/۴۲	۶/۲۴	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۵۷
۷	فائو- پنمن- مانتیث	۵/۹۰	۸/۰۹	۰/۸۰	۰/۶۶	۰/۴۸۸
۸	تشتک تبخیر	-۰/۳۶	۱/۱۶	۰/۸۷	۰/۷۵	۰/۷۳۶

بنابراین با توجه به جدول (۵)، روش تورنت‌وایت با R بالاتر به‌عنوان بهترین روش تجربی شناخته شد. در شکل (۱)، نمودار پراکنش تبخیر و تعرق روش تورنت‌وایت نسبت به داده‌های لایسی‌متر نشان داده شده است.



شکل (۱): نمودار پراکنش تبخیر و تعرق روش تورنت‌وایت نسبت به داده‌های لایسی‌متری

Figure (1): Distribution diagram of evapotranspiration of Torrent White method to Lysimeter data

بحث و نتیجه‌گیری

شهرستان کاشان یکی از مناطق خشک کشور است که با کمبود شدید منابع آبی مواجه است. ازاین‌رو ضروری است تا با برنامه‌ریزی هدفمند و مدیریت کارآمد منابع آب، تا حد ممکن از بروز مشکلات جدی ناشی از کم‌آبی در شهرستان جلوگیری شود. یکی از معیارهای مهم نمایانگر میزان خشکی در مناطق مختلف، پارامتر تبخیر و تعرق است. بنابراین در این پژوهش، میانگین تبخیر و تعرق در طول دورهٔ آماری ۶ ماهه در سال آماری ۱۳۹۱ـ۱۳۹۲ با استفاده از انواع روش‌ها محاسبه شد و از طرفی میزان دقیق تبخیر و تعرق با استفاده از لایسی‌متر زهکش‌دار محاسبه و با سایر روش‌ها مورد مقایسه قرار گرفت و در نهایت بهترین روش تجربی برآورد تبخیر و تعرق در دشت کاشان تعیین گردید.

در این پژوهش، به‌منظور تعیین ضریب تشتک برای استفاده از داده‌های تشتک تبخیر برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل و مقایسه با سایر روش‌ها، از رابطهٔ اورنگ استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

شد. بعضی محققان نیز رابطهٔ اورنگ را بهترین رابطه برای محاسبهٔ ضریب تشتک اعلام کرده‌اند (رحیمی خوب و همکاران، ۲۰۱۲).

نتایج برآورد مجموع تبخیر و تعرق ماهانه با استفاده از لایسی‌متر در منطقهٔ طرح در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد به‌ترتیب برابر ۲۴/۴۹، ۳۸/۳۹، ۵۱/۵۲، ۷۳/۸۷، ۱۱۹/۷۷ و ۱۸۰ میلی‌متر به دست آمد. همچنین نتایج برآورد میانگین تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از لایسی‌متر در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد به‌ترتیب برابر ۰/۸۱، ۱/۲۸، ۱/۷۷، ۲/۵، ۳/۸۷ و ۵/۹ میلی‌متر به دست آمد.

پس از بررسی و برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از روش‌های تجربی پنمن، فائو- پنمن- مانتیث، بلانی- کریدل، تورنت‌وایت، جنسن- هیز، جنسن- هیز اصلاحی و هارگریوز سامانی، فرمول تجربی تورنت‌وایت به‌ترتیب با R^2، R، NSC، RMSE و MBE برابر ۰/۹۵، ۰/۹۸۶/۹۷، ۰/۰، ۴/۲۹ و ۱/۱۵- به‌عنوان مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق در دشت کاشان در طول ۶ ماه آماری از بین روش‌های مذکور شناخته شد. شایان ذکر است که نتایج به‌دست‌آمده در این بخش با نتایج تحقیقات بعضی محققین مطابقت دارد (بیگلوئی و مقصودی، ۲۰۰۴). پس از آن روش‌های جنسن- هیز اصلاح‌شده، بلانی-کریدل، جنسن- هیز، هارگریوز- سامانی، تشتک تبخیر و فائو- پنمن- مانتیث در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. در نهایت روش پنمن با R^2 برابر ۰/۵۸ کمترین دقت را داشت.

روش‌های پنمن و فائو- پنمن- مانتیث به پارامترهای هواشناسی زیادی احتیاج دارند. روش پنمن برای مناطق مرطوب آب‌وهوایی انگلستان معرفی شده است و برای شرایط خشک و نیمه‌خشک کاشان مناسب نیست. این روش‌ها به‌دلیل استفاده از تعداد زیادی پارامتر اقلیمی در محاسبه دارای دقت قابل قبولی هستند، ولی به‌دلیل اینکه همهٔ اطلاعات مورد نیاز محاسبه نمی‌شوند، نمی‌توانند تخمین مناسبی ارائه دهند.

در پایان، پیشنهاداتی ارائه می‌شود:

۱. روش مناسب تبخیر و تعرق برای منطقهٔ کاشان با استفاده از داده‌های ۶ ماهه به دست آمده است، لذا برای اطمینان از نتایج به‌دست‌آمده پیشنهاد می‌شود که حداقل این تحقیق طی دو یا سه سال آینده برای تأیید درستی نتایج به‌دست‌آمده ادامه پیدا کند.

۲. به‌علت خطای احتمالی در لایسی‌متر زهکش‌دار برای محاسبهٔ تبخیر و تعرق واقعی پیشنهاد می‌شود برای تعیین دقیق‌تر مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق برای منطقهٔ کاشان، تحقیقاتی با استفاده از لایسی مترهای دقیق وزنی در منطقه انجام گیرد.

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. FAO, Rome, Italy, pp. 300.
2. Allen, R.G., and Pruitt, W.O., 1991. FAO-24 Reference Evapotranspiration Factors. J. Irrig and Drain, ASCE 117 (5), 758-773.
3. Alizadeh, A., Khanjani, M.C. Teraz, H. and Rahnamoud, MR., 2006. Investigating correction effects of temperature data on calculation accuracy of the evapotranspiration and its comparison with the results obtained from weighing lysimeter, Journal of Geography and Regional Development Research, 19(2), 97-105.
4. Alizadeh, A. and Kamali, Gh., 2007. Water requirements of plants, 1th Edition, Astan Quds Razavi Press, first edition, pp. 228.
5. Alizadeh, 2013. Principles of applied hydrology, Astan Quds Razavi, Imam-Reza University Press, 928 p.
6. AL-Omran, F.S., Mohammad, H.M. AL-Ghobar and Alazba, A., 2004. Determination of transpiration of tomato and squash using lysimeters in central Saudi-Arabia, International Agricultural Engineering Journal, 182 (13), 27-36.
7. Biglouei, M.H. and Maghsoudi, A., 2004. Determining the most appropriate method for estimating reference crop evapotranspiration for the Rasht region. Proceedings of 8th

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, pp. 34-43.
8. Carvalho, D.F., Silva, L.D.B. Guerra, J.C.M Gruz, F.A. and Souza, A.P., 2007. Installation, calibration and operation of a weighing lysimeter. Eng. Agríc. [online]. 27 (2), 363-372.
9. Ghabaei Sough, M., Mosaedi, A. and Hezarjaribi, A., 2010. Evaluation and calibration of different methods to estimate evapotranspiration in three climate samples of Iran. Proceeding of 1st Iranian National Conference on Applied Research in Water Resources, 12-13/May/Spring, Kermanshah, Iran, pp. 239-248
10. Ghamarnia, H. and Soultani, N. 2019. Evaluating the Efficiency of Empirical Estimation of Reference Evapotranspiration (Pan Based Method) in Different Climate Conditions of Iran, Journal of Iran-Water Resources Research, 14(4), 174-193.
11. Jahanbakhsh Asl, S. Movahed danesh, A.A. and Molavi, A., 2002. Analyzing estimation models of evapotranspiration for synoptic station of Tabriz. Journal of Agricultural Science, 11, 51-66.
12. Jensen, D.T., Hargreaves, G.H., Temesgen, B. and Allen, R.G., 1997. Computation of ET0 under noni deal conditions, J. Irrig. and Drain. Engin. ASCE, 123(5), 394-400.
13. Liu, X., Xu, C., Zhong, X., Li, Y., Yuan, X. and Cao, J., 2017. Comparison of 16 models for reference crop evapotranspiration against weighing lysimeter measurement. Agricultural water management, 184, pp.145-155.
14. Mazaheri, M., 2006. Determining crop coefficient and zonning water requirement of potatoes in provinces of Khorasan and Semnan, MS.c Thesis, University of Mashhad Ferdowsi, pp. 40-50.
15. Marting, D.L., Klocke, N.L. and Dehaan, D.L., 1985. Measuring eevaporation using mini-lysimeters, Proceeding of the National Conference on Advances in Evapotranspiration, 231-240.
16. Nolz, R. and Cepuder, P., 2008. Evapotranspiration and percolation of a lysimeter, geophysical research abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-08433, 2008SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-08433EGU General Assembly 2008.
17. Poormohammadi, S., Dastorani, M.T Cheraghi, S.A.M. Mokhtari, M.H. and Rahimian, M.H., 2011. Evaluation and estimation of water Balance components in arid zone catchments using RS and GIS, Case study: Manshad catchment, Yazd province. Journal of Water and Wastewater, 3, 99-108.
18. Raoof, M. and Azizi Mobaser, J, 2018. Evaluation of eighteen reference evapotranspiration models under the Ardabil climate condition, Journal of Water and Soil Conservation, Vol. 24(6),227-241, 10.22069/jwsc.2017.12528.2723
19. Rahimi Khoob, A., Behbahani S.M.R. and Nazarifar, M.H.E., 2012. valuation of Using Minimum Meteorological Data for Penman Montieth Equation- Case Study Khuzestan Province Journal of Agriculture Science, 12(3), 591-600.
20. Seifi A, Mirlatifi S M, Riahi H (2011) Developing a
21. combined model of multiple linear regression-
22. principal component and factor analysis(MLR-PCA)
23. for estimation of reference evapotranspiration (Case study: Kerman station). Journal of Water and Soil, 24(6):1186-1196
24. Shahabifar, M., Assari, M. Kouchakzadeh, M. and Mirlotfi, S.M., 2010. Evaluating some computational methods of evapotranspiration for Grass reference crop using lysimeter data in greenhouse conditions. Journal of Water Research in Agriculture, 24(1), 13-19.
25. Shahabifar, M. and Rahimian, M.J., 2007. Measurement of sugar beet water requirements by lysimeter method in Mashhsd. Journal of sugar beet, 23(2), 174-177.
26. Silva, F.C., Folegatti, M.V. and Pereira, A.R., 1999. Usage of lysimeter devices for evapotranspiration reference determination Revista Barsileira de agrometeorologia. Santa Maria, 1, 19-23.
27. Xu, C.Y. and Chen, D., 2006. Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany. Hydrological Processes, 19, 3717-3734.

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]

Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020

Comparing Empirical Methods in Evapotranspiration Estimation based on Lysimeter Data: A Case Study of Kashan plain

Seyed Javad Sadatinezhad[1], Leila Nazari[2]*, Hoda Ghasemieh[3], Salman Arefkhaneh Kalate[4]

Received: 06/04/2013 Accepted: 27/06/2020

Extended Abstract

Introduction: Estimation of evapotranspiration at a regional level is an important element in efficient management of water resources. Evapotranspiration includes the evaporation from the surface of soil and water and also, the transpiration by the plant that is very important in arid and semi-arid areas. There are many empirical methods for evapotranspiration estimation of reference plants, but these methods don't produce the same results for all areas. Lysimeter studies are carried out to determine the most suitable method in each area.

Material and Methods: The study area in this research is located in Kashan University, based in the center of Kashan plain with geographical coordinates of ° 45 ′21 ° 51 east longitude and ″ 18 ′00 ° 34 northern latitudes. Then, to measure the evapotranspiration of the reference grass plant, three drained lysimeters of the grass plant and one control lysimeter were made and used in the research site for 6 months within the statistical year of 2012-2013. Moreover, empirical methods of evapotranspiration estimation and evaporation pan were compared based on lysimeter data.

Results: Using lysimeter in the project area, the estimation results for monthly evapotranspiration were reported as being 24.49, 38.39, 51.52, 73.87, 119.77, and 180 mm in January, February, March, April, May, and June, respectively. Moreover, from among the methods investigated, Thornthwaite turned out to be the most accurate ones with R2 = 0.95, R=0.97, NSC= 0.986, RMSE=4.29, and MBE= -1.15, being considered as the most suitable method for evapotranspiration estimation in the study area. After that, modified Jensen Hayes, Blaney –Criddle, Jensen-Hayes, Hargreaves-Samani, evaporation pan, and FA0-Penman-Monteith were considered as other useful methods in that regard though with lower accuracy. Finally, the Penman method with R2 = 0.58 was found to have the least accuracy from among the relevant methods considered.

Discussion and Conclusion: Kashan is one of Iran's arid regions which faced a severe shortage of water resources. Therefore, careful planning and efficient management of water resources is required to avoid any serious problem in providing water for different purposes. The evapotranspiration parameter is considered as an important criterion in determining the extent of drought in different areas. Experimental methods for estimating

1. Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran
2. MSC Student, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan; L.nazari67@yahoo.com
3. Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan
4. Ph.D. Student Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45

www.SID.ir

Archive of SID

evapotranspiration including the Penman and FAO-Penman-Monteith require many meteorological parameters. Penman method has been introduced for humid climates of England and is not suitable for the arid and semi-arid conditions of Kashan. As it considers a large number of climatic parameters in its calculation of evapotranspiration, this method has acceptable accuracy, but as all the required information is not calculated, it cannot provide a good estimate. In this study, the appropriate evapotranspiration method for the Kashan region was obtained, using the data gathered over six months in the statistical year of 2012-2013. Therefore, to ensure the accuracy of the results obtained, it is recommended that this research continues for at least the next two or three years. On the other hand, due to a possible error in the drainage lysimeter when calculating the actual evapotranspiration, it is recommended that the research get conducted in the region via accurate weight lysimeters so that it could identify the most appropriate method of estimating evapotranspiration in Kashan more accurately.

Keywords: Evaporation pan, Experimental methods, Thornthwaite, Grass reference plant, Drainage lysimeter.

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.45]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:58 +0330 on Tuesday November 24th 2020
www.SID.ir