ارزیابی روشهای محاسباتی تبخیر و تعرق پتانسیل با داده‌های لایسیمتر (مطالعه موردی دشت سیستان)

حلیمه پیری[۱]

تاریخ دریافت : ۹۰/۰۹/۰۱
تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۶/۲۵

چکیده

تبخیر و تعرق به‌طور مستقیم توسط لایسیمتر قابل اندازه‌گیری می‌باشد، اما این کار مستلزم صرف هزینه و وقت زیادی بوده و علاوه بر این بسیار دشوار می‌باشد. لذا در شرایط مختلف به برآورد این پارامتر پرداخته شده است. لذا در این تحقیق به مقایسه تبخیر و تعرق محاسبه شده به روش فائو پنمن مانتیث، بلینی کریدل، جنسن هیز، جنسن هیز اصلاحی و هارگریوز سامانی، مک کینگ و پریستلی تیلور با تبخیر و تعرق بدست آمده ازروش لایسیمتر در دشت سیستان پرداخته شده است تا بتوان روشی که بیشترین همبستگی را با این روش دارد شناسایی شده و در مواقع لزوم از آن استفاده کرد. نتایج نشان داد روش بلینی کریدل با ضریب ۰/۹۷۱ بیشتری همبستگی و روش هارگریوز سامانی با ضریب ۰/۶۹۴ کمترین همبستگی را با داده های لایسیمتری دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در منطقه زابل که جزء مناطق خشک کشور می‌باشد معادله بلینی کریدل برآورد بهتری از تبخیر و تعرق ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: بلینی کریدل، تبخیر و تعرق، دشت سیستان، لایسیمتر.

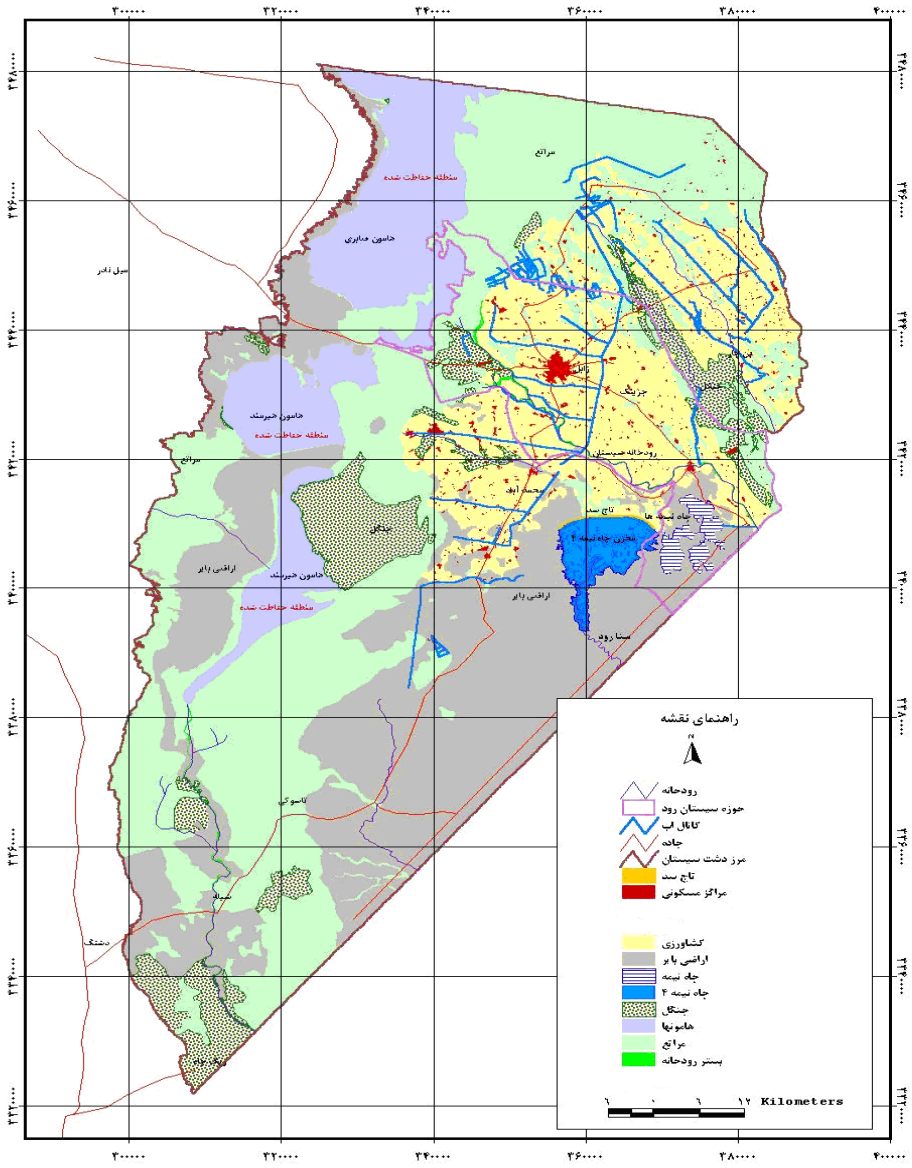
[۱] مربی، گروه مهندسی آب، دانشگاه، زابل، ایران ، ۰۹۱۵۳۴۵۴۹۱۷ H_piri2880@yahoo.com

مقدمه

استفاده بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی که حدود ۹۱ درصد منابع آب مصرفی را به خود اختصاص داده، بویژه برای مقابله با بحران خشکسالی ضروری است. پایه و اساس این مساله را تعیین دقیق نیاز آبی گیاهان (تبخیر و تعرق) تشکیل می‌دهد. (علیزاده، ۱۳۸۷) فرایند تبخیر و تعرق از عمده‌ترین اجزاء چرخه هیدرولوژیکی است که تخمین صحیح آن، در طراحی و مدیریت سیستمهای آبیاری، مطالعات منابع آب و موارد مشابه دیگر از اهمیت زیادی برخوردار است. (کوچک‌زاده و همکاران، ۱۳۸۴) همچنین تبخیر و تعرق یکی از مولفه های اصلی بیلان آبی هر منطقه و همچنین یکی از عوامل کلیدی برای برنامه ریزی درست و مناسب آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی در اراضی فاریاب می باشد. (لی، ۲۰۰۳) از طرف دیگر تیخیر و تعرق، نقش قابل ملاحظه ای در اقلیم جهانی از طریق چرخه هیدرولوژی ایفا کرده و تخمین آن کاربردهای مهمی در پیش بینی رواناب، پیش بینی عملکرد محصول، و طراحی کاربری اراضی (کاستاس و نورمن ، ۱۹۹۶) طراحی کانالهای آبیاری و ابنیه های تقسیم آب داشته، (باستیانسن و میکائیل، ۲۰۰۲) و همچنین روی بلایای طبیعی (نظیر خشکسالی) موثر است. (آگوا و همکاران،۱۹۹۹) تخمین بیش از حد آب مورد نیاز گیاه ضمن هدر دادن آب آبیاری، باعث ماندابی شدن اراضی، شستشوی مواد غذایی خاک، و آلوده نمودن منابع آب زیرزمینی می شود. ضمن آنکه تخمین کمتر نیز باعث اعمال استرس رطوبتی به گیاه شده و در نتیجه کاهش محصول را به همراه دارد (کای و همکاران ، ۲۰۰۷) بنابراین با توجه به اهمیت تبخیر و تعرق ، لازم است این پارامتر، حتی الامکان به طور دقیق برآورد شود. روشهای مختلفی برای تخمین تبخیر و تعرق وجود دارد که هر کدام با توجه به فرضیات و داده‌های مختلف هواشناسی مورد استفاده در آنها، اغلب نتایج متفاوتی بدست می دهند. اغلب این روش‌ها تحت واسنجی‌های محلی به‌دست آمده و معلوم شده است که از اعتبار جهانی محدودی بر خوردار است. (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۷) تبخیر و تعرق به‌طور مستقیم توسط لایسیمتر قابل اندازه‌گیری می‌باشد، اما این کار مستلزم صرف هزینه و وقت زیادی بوده و علاوه بر این بسیار دشوار می باشد. لذا در شرایط مختلف به برآورد این پارامتر روی آورده شده است. روشهای عددی بسیاری به منظور برآورد این مولفه ، بر مبنای داده های ورودی متنوع ، پیشنهاد شده اند. (پنمن، ۱۹۴۸؛ تورنت وایت ،۹۴۸ ؛ هارگریوز،۱۹۷۴) سازمان خوار و بار جهانی ملل متحد، فائو، در نشریه شماره ۵۶ آبیاری و زهکشی ، مدل فائو، پنمن، مانتیث را را به عنوان روش استاندارد برآورد تبخیر و تعرق پیشنهاد نموده است.(آلن و همکاران ، ۱۹۹۸) مطالعات زیادی نشان از برتری این معادله دارد. با وجود دقت بالای این روش ، ضعف آن وابستگی به پارامترهای متعدد هواشناسی است. متاسفانه تعداد ایستگاههای هواشناسی که متغیرهای هواشناسی مورد نیاز معادله فائو پنمن مانتیث، (دما، رطوبت نسبی، تشعشع و سرعت باد) را اندازه گیری کنند، محدود است و یا در صورت وجود ، خطاهای ناشی از اندازه گیری سیستماتیک و یا غیر عمدی متغیرهای هواشناسی رویهم رفته می تواند منجر به خطاهای معنی داری در تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از این معادله شود. بنابراین استفاده از این معادله در همه زمانها و مکانها میسر نمی گردد. در این راستا ضروریست تا معادلات تجربی که پارامترهای ورودی کمتری نیاز دارند، در مقایسه با ارقام بدست آمده از لایسیمتر ارزیابی شده و در مواقع لزوم، مناسبترین معادله استفاده گردد.(نصیری قیداری و همکاران، ۱۳۸۹) دروگرز و آلن(۲۰۰۲) نتیجه گرفتند که معادله هارگریوز - سامانی در مناطق نیمه خشک تخمین کمتری از مقدار واقعی و در مناطق مرطوب تخمین بیشتری از مقدار واقعی برای تبخیر و تعرق پتانسیل دارد. لی و همکاران(۲۰۱۰) در تحقیقی در شمال چین دقت روشهای تشت تبخیر و رگرسیون چند متغیره را بین پارامترهای موثر بر تبخیر -تعرق (دمای متوسط، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی) در مقایسه با روش فائو پنمن مانتیث پس از واسنجی روشهای فوق در پیش بینی سالانه تبخیر و تعرق پتانسیل مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که روش رگرسیون چند متغیره خطای کمتری نسبت به روش تشت تبخیر دارد. زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۹) روشهای مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع را ارزیابی و آن را در ایران پهنه بندی کردند. نتایج نشان داد از بین ۱۳روش محاسباتی در مقایسه با لایسیمتر، روشهای با پایه پنمن

در اکثر نقاط ایران مناسبترین روش برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به شمار می آیند. بیگلویی و مقصودی(۱۳۸۲) چهارده روش را برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه طی سالهای ۱۳۸۰-۱۳۷۸ در رشت بکار بردند و نتیجه گرفتند که روشهای ترنت وایت ، بلینی کریدل اصلاح شده توسط اداره حفاظت خاک آمریکا و پنمن مانیث که بر اساس درجه حرارت هوا ، تبخیر و تعرق را اندازه گیری می کنند در مقایسه با برآورد آن بر اساس تشعشع خورشیدی، همخوانی بیشتری با داده های لایسیمتر دارند. علیزاده و میرشاهی(۱۳۸۰) روشهای فائو پنمن مانتیث ، هارگریوز –سامانی، هارگریوز-سامانی اصلاح شده و روش تشتک تبخیر را برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در خراسان بکار برده اند و نتیجه گرفتند که که گرچه روش فائو پنمن مانتیث بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل است ، اما بدلیل اینکه نیازمند داده های هواشناسی نسبتا زیادی می باشد، در مناطقی که فاقد این داده ها هستند ، قابل استفاده نمی باشد. در نهایت روش هارگریوز-سامانی واسنجی شده را توصیه کرده اند. آماتیا و همکاران (۱۹۹۵) نتیجه گرفتند که معادله تورک در مقایسه با سایر روشها تخمین بهتر و نزدیکتری به به معادله فائو پنمن مانتیث دارد. رادمنش و خاکسار(۱۳۸۶) به ارزیابی روشهای هارگریوز- سامانی، جنسن هیز اصلاح شده و پنمن مانتیث در استانهای خوزستان و هرمزگان پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که در ایستگاههای ساحلی استفاده از روش جنسن هیز برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با اختلاف برآوردی کمتر از ۱۰ درصد می تواند قابل قبول باشد. همچنین در ایستگاههای غیر ساحلی به دلیل اختلاف مقادیر برآورد شده توسط روش جنسن هیز نسبت به روش استاندارد ، که ناشی از رطوبت کم منطقه و در نتیجه اختلاف زیاد دمای حداکثر و حداقل می باشد، پیشنهاد می گردد حتما از ضریب اصلاحی استفاده گردد. بیات ورکشی و همکاران (۱۳۸۷) به ارزیابی روشهای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع در استان خوزستان و مقایسه آن با روش فائو پنمن مانتیث پرداختند. نتایج نشان داد، در تمامی ایستگاههای مطالعه شده با توجه به معیارهای خطا سنجی بعد از روش پنمن مانتیث سازمان عمران امریکا ، روش پنمن ۱۹۸۴ نسبت به سایر روشها، نتایج مناسبتری را ارائه داد. توشیح و سی و سه مرده (۱۳۸۲) مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع(چمن) را با لایسیمتر طی سه سال اندازه گیری کردند و با مقادیر حاصل از روشهای تجربی مقایسه نمودند و نتیجه گرفتند که روشهای تشت تبخیر کلاس A ، بلانی کریدل و تشعشع روشهای مناسب هستند. حقیقت جو و آخوند علی (۱۳۸۷) تبخیر و تعرق دشت سیستان را بر اساس داده های تشعشع خورشیدی اندازه گیری کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد، روشهای مبتنی بر درجه حرارت هوا ، تبخیر و تعرق دشت سیستان را بهتر برآورد می کند. محمد موسوی و همکاران(۱۳۸۸) تبخیر و تعرق گیاه مرجع را با حداقل داده های هواشناسی و ارائه ضرایب اصلاحی در استان خراسان رضوی انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد، نزدیکترین جوابهای حاصله با داده های لایسیمتر از معادله فائو-پنمن مانتیث با اعمال ضرایب ماهانه(ضریب تبیین ۰/۹۹) و پس از آن با ضرایب سالانه (ضریب تبیین ۰/۹۲) بدست آمده است.

همانطور که ذکر شد با توجه به اینکه هر معادله برآورد کننده تبخیر و تعرق در منطقه ای خاص و با شرایط آب و هوایی مربوط به آن محل استخراج شده است، لازم است کارایی این معادلات در مناطق دیگر ارزیابی شود، لذا در این تحقیق تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه دشت سیستان با استفاده از معادلات هارگریوز سامانی، جنسن هیز ، جنسن هیز اصلاح شده ، بلینی کریدل، پریستلی تیلور، مک کینگ و فائو پنمن مانتیث محاسبه و با مقادیر اندازه گیری شده توسط لایسیمتر مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است .



شکل(۱): موقعیت دشت سیستان

مواد و روش‌ها

دشت سیستان درشرق ایران در شمال استان سیستان و بلوچستان درَ۱۸ ˚۳۰ تا َ۲۰ ˚۳۱ شمالی وَ۱۰ ˚۶۱ تا َ۵۰ ˚۶۱ شرقی، نسبت به نیم روز گرینویچ با ارتفاع از سطح دریای آن ۴۷۸ متر و اقلیم گرم و خشک قرار دارد میانگین بارش سالانه آن ۵۹/۶ میلیمتر می باشد و دمای آن از ۹/۵- تا ۴۹ درجه سانتیگراد متغیر است. شکل ۱ موقعیت این منطقه را نشان می دهد.

در این تحقیق از آمار هواشناسی ماهانه ایستگاه هواشناسی زابل با دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۷۵ به دلیل آنکه داده های آن کاملتر بود، استفاده گردیده است. همچنین با توجه به نزدیکی دو شهر زابل و زهک و عدم تفاوت معنی دار در پارامترهای هواشناسی این دو شهر از داده های ایستگاه هواشناسی شهر زابل استفاده گردید.

داده های مربوط به اندازه گیری تبخیر و تعرق پتانسیل توسط لایسیمتر از مرکز تحقیقات کشاورزی زهک که طی سالهای ۷۲ تا ۷۵ بصورت ماهیانه اندازه گیری شده است، و فاصله آن تا ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه ۱۰ کیلومتر می باشد، تهیه گردید. برای تعیین نوع اقلیم منطقه از اقلیم نمای دومارتین استفاده شد. ابتدا با استفاده از فرمول ۱ ضریب دومارتین محاسبه شد سپس

مطابق با جدول (۱) نوع اقلیم شهر مورد مطالعه مشخص گردید.

$$I = \frac{P}{T + 10} \qquad (۱)$$

که در آن :

P:متوسط بارندگی سالانه (میلیمتر)

T:متوسط دمای سالانه(درجه سانتیگراد)

I: ضریب دومارتین

جدول (۱): طبقه بندی اقلیم بر اساس اقلیم نمای دومارتین

نوع اقلیم	محدوه ضریب
خشک	<۱۰
نیمه خشک	۱۰-۱۹/۹
مدیترانه ای	۲۰-۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴-۲۷/۹
مرطوب	۲۸-۳۴/۹
بسیار مرطوب	>۳۵

بر اساس اقلیم نمای دومارتین ، اقلیم منطقه خشک می باشد. پس از تعیین اقلیم با استفاده، از معادلات زیر در طول دوره آماری تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه گردید.

معادله فائو پنمن مانتیث

یکی از معتبرترین روشها جهت برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل می باشد که با استفاده از فرمول ۲ قابل اندازه گیری است.

$$ET0 = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma[^{890}/_{(T+273)}]U2(ea - ed)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U2)} \qquad (۲)$$

که در آن :

$ET0$: تبخیر تعرق گیاه مرجع (mm/day)

R_n :تابش خالص در سطح پوشش گیاهی$(MJm^{-2}d^{-1})$

T :متوسط دمای هوا در ارتفاع 2 متری از سطح زمین $(°C)$

U_2 : سرعت باد در ارتفاع 2 متری از زمین (m/s)

$e_a - e_d$: کمبود فشار بخار در ارتفاع 2متری (kpa)

Δ : شیب منحنی فشار بخار $(kpa°C^{-1})$

γ : ضریب رطوبتی $(kpa°C^{-1})$

G : شارگرما به داخل خاک $(MJm^{-2}d^{-1})$

در این مطالعه جهت محاسبه تبخیر و تعرق با این روش از نرم افزار Cropwat استفاده شد.

معادله جنسن- هیز

از فرمول ۳ جهت اندازه گیری تبخیر و تعرق با این روش استفاده شد (Rosenberg, et al.,1983)

$$ET_p = R_S(0.025T_a + 0.08) \qquad (۳)$$

که:

Ta: درجه حرارت متوسط روزانه هوا(درجه سانتیگراد)

Rs:مجموع روزانه تشعشع خورشیدی رسیده بر تراز افقی در سطح زمین(میلیمتر آب)

ETp: تبخیر و تعرق پتانسیل(میلیمتر در روز)

معادله جنسن هیز اصلاح شده

این معادله به شکل زیر است(James,1988)

$$ET_0 = C_T(T - T_x)R_S \qquad (۴)$$

که در آن

C_T و T_x : مقادیر ثابتی هستند و بستگی به ارتفاع ایستگاه از سطح دریا و متوسط درجه حرارتهای حداکثر و حداقل ماهانه در گرمترین ماه سال دارند

T: درجه حرارت متوسط روزانه هوا(درجه سانتیگراد)

ET0: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلیمتر در روز)

معادله هارگریوز-سامانی

این روش به درجه حرارت(ماکزیمم و مینیمم دمای هوا) و تشعشع (تابش برون زمینی) بستگی دارد، که معمولا در بیشتر ایستگاههای هواشناسی سراسر دنیا وجود دارد.(دروگرز و آلن، ۲۰۰۲). هارگریوز و سامانی(۱۹۸۵) رابطه تجربی زیر را که مبتنی بر درجه حرارت است برای تعیین تبخیر و تعرق گیاه پتانسیل ارائه نمودند:

$$ET_0 = 0.0023R_a(T_a + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad (۵)$$

که:

R_a : تابش برون زمینی $(MJm^{-2}day^{-1})$

T_{min} : حداقل دمای روزانه هوا (درجه سانتیگراد)

T_{max} :حداکثر دمای روزانه هوا (درجه سانتیگراد)

معادله بلینی کریدل

یکی از قدیمی ترین روشهای تبخیر و تعرق پتانسیل است که فرمول پیشنهادی آنها توسط پروت از اساتید دانشگاه کالیفرنیا مورد واسنجی قرار گرفت و بصورت زیر ارائه گردید:

$$ET_0 = a + b[P(0.046T + 8.13)] \quad (۶)$$

$$a = 0.0043(RH_{min}) - (n/N) - 1.41 \quad (۷)$$

$$b = 0.819 - 0.0041(RH_{min}) + 1.07(n/N) + 0.066(U_2) - 0.006(RH_{min})n/N - 0.006(RH_{min})U_2 \quad (۸)$$

ET_0: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)

P:درصد سالانه تابش آفتاب در ماه

T: متوسط ماهانه درجه حرارتی(درجه سانتیگراد)

a وb:ضرایب اقلیمی

RHmin:حداقل رطوبت نسبی هوا

n/N: نسبت تعداد ساعات آفتابی واقعی به تعداد ساعات آفتابی پتانسیل هر منطقه

U2: سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین(متر بر ثانیه)

معادله تورک۱۱۲۳۱

تورک در سال ۱۹۶۱ معادله زیر را برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل پیشنهاد کرد.

(۹)

$$ET_0 = a_T \times 0.013\left(\frac{T_{mean}}{T_{mean} + 15}\right)\left(\frac{23.8856 \times R_s + 50}{\lambda}\right)$$

که در آن:

ET_0: تبخیر و تعرق پتانسیل (mm/day)

T_{mean}: دمای متوسط روزانه(درجه سانتیگراد)

a_T: برابر ۱ برای رطوبت نسبی بیشتر از ۵۰ درصد و برای رطوبت نسبی کمتر از ۵۰ درصد برابر است با:

$$a_T = 1 + (50 - RH_{mean})$$

Rs:تشعشع خورشیدی $(MjM^{-2}d^{-1})$

λ: گرمای نهان تبخیر($MjKg^{-1}$)

معادله مک کینک

در سال ۱۹۵۷ مک کینگ معادله زیر را برای محاسبه تبخیر و تعرق برای چمن در دوره های ده روزه بدست آورد.

$$ET_0 = 0.61\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\frac{R_s}{58.5} - 0.12 \quad (۱۰)$$

این روش بر اساس اندازه گیری تشعشع خورشیدی و دما استوار است. وی اعتقاد دارد که هر چه دما بیشتر شود مقادیر بیشتری از انرژی خورشید در تبخیر و تعرق مصرف می شود. دورنباس و پروئیت در سال ۱۹۷۷ معادله مک کینک را تصحیح کردند و بصورت زیر در آوردند.

$$ET_0 = a + b\left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\right]\frac{R_s}{\lambda}$$

$$a = -0.3$$

$$b = 1.0656 - 0.0012795 \times RH + 0.044953 \times Ud - 0.0002033 \times RH \times Ud - 0.000031508 \times RH2 - 0.0011026 \times Ud2$$

که در آن:

ET_0 و $\frac{R_s}{\lambda}$ بر حسب میلیمتر در روز می باشد.

بعد از اندازه گیری تبخیر و تعرق با روشهای فوق ، به منظور ارزیابی دقت تخمین هر یک از روشها ، نتایج آنها با نتایج لایسیمتر و روش مرجع فائو پنمن مانتیث مورد مقایسه قرار گرفت. جهت انجام این کار از چهار آماره خطا سنجی RMSE، MBE، MAE و R^2 استفاده گردید. RMSE متوسط خطای مربع نامیده می شود . کوچکترین مقدار این پارامتر بهترین مدل را معرفی می کند. در این آماره کوچکترین خطا در مجموع اختلاف باعث افزایش معنی داری در مقدار آن می شود. شاخص MBE خطای سیستماتیک را نشان می دهد در حالیکه RMSE خطای غیر سیستماتیک را نشان می دهد. مقادیر مثبت MBE خطای فرابرآورد و مقادیر منفی آن خطای فروبرآورد را نشان می دهد. MAE درصد خطای واقعی و اختلاف بین مدل مبنا و مدل مورد نظر را نشان می دهد و مقدار بالای آن معرف خطای بیشتر مدل مورد

نظر است. R^2 ضریب همبستگی بین مبنا و مدل مورد نظر را نشان می دهد و مقدار بالای آن نزدیک بودن مدل مورد نظر را به مدل مبنا نشان می دهد. معادلات آماره های فوق بصورت زیر می باشد.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(ET_{method} - ET_L)^2}{n}\right]^{1/2}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|ET_{method} - ET_L|}{n}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(ET_{method} - ET_L)}{n}$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum(ET_L - \overline{ET}_L)(ET_{method} - \overline{ET}_{method})}{\sqrt{\sum(ET_L - \overline{ET}_L)^2 \sum(ET_{method} - \overline{ET}_{method})^2}}\right)^2$$

که:

ET_L : تبخیر و تعرق اندازه گیری شده به روش لایسیمتر

ET_{method} : تبخیر و تعرق اندازه گیری شده به روشهای ذکر شده

n:تعداد داده ها

نتایج و بحث

نتایج تبخیر و تعرق اندازه گیری شده با استفاده از هرکدام از روشهای مذکور و شاخصهای آماری بدست آمده در جداول ۳ تا ۵ آورده شده است.

جدول(۳): مقادیر حاصل از برآورد تبخیر و تعرق روزانه بر اساس روشهای مختلف با استفاده از متوسط داده ها در دوره آماری مورد مطالعه

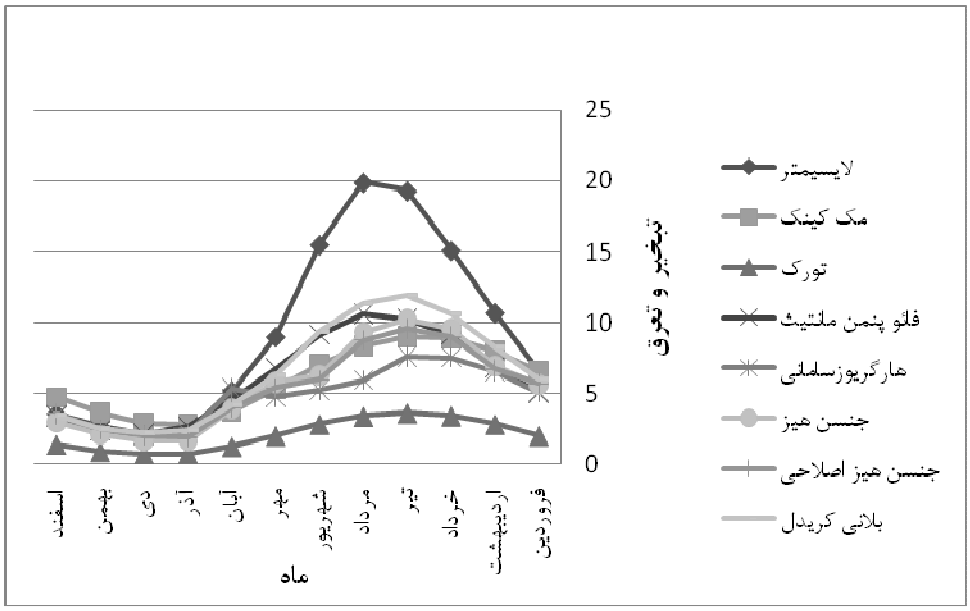
روش / ماه	فائو پنمن مانتیث (mm/day)	بلانی کریدل (mm/day)	جنسن هیز (mm/day)	جنسن هیز اصلاحی (mm/day)	هارگریوز سامانی (mm/day)	مک کینک (mm/day)	تورک (mm/day)	لایسیمتر (mm/day)
فروردین	۵/۰۵	۵/۹۵	۵/۶	۵/۶۸	۵/۰۷	۶/۵۸	۲	۶/۶
اردیبهشت	۶/۸۷	۸/۲۲	۷/۹۵	۷/۷۱	۶/۶۴	۸	۲/۸۳	۱۰/۷
خرداد	۹/۱۷	۱۰/۵۷	۹/۵۶	۹	۷/۵۱	۸/۹	۳/۴۱	۱۵/۱
تیر	۱۰/۲۲	۱۱/۹۲	۱۰/۲۵	۹/۶	۷/۵۵	۹	۳/۶۱	۱۹/۳
مرداد	۱۰/۶۴	۱۱/۳۸	۹/۳۴	۸/۷	۶/۹۳	۸/۳۵	۳/۳۸	۱۹/۹
شهریور	۹/۱۷	۹/۳۶	۶/۲	۶/۹۵	۶/۱	۷	۲/۸۳	۱۵/۵
مهر	۶/۸	۶/۲۹	۵/۸	۴/۷۶	۴/۷	۵/۳	۲	۹
آبان	۴/۶	۴/۱۷	۳/۹	۳	۳/۲۸	۳/۷	۱/۲۳	۵/۲
آذر	۲/۶۵	۲/۳۹	۱/۶۵	۱/۹	۲/۱۵	۲/۷۶	۰/۷۳	۲/۴۶
دی	۲/۱۱	۲/۲	۱/۶۵	۱/۸	۲	۲/۸۶	۰/۷	۲/۱۵
بهمن	۲/۳۸	۲/۴۷	۲/۰۹	۲/۴۵	۲/۳	۳/۶	۰/۸۸	۲/۷
اسفند	۳/۳۴	۳/۴۴	۳	۳/۶۴	۳/۵	۴/۷	۱/۳۷	۳/۶

جدول (۴): مقایسه روشهای مختلف برآورد تبخیر و تعرق بر مبنای داده های لایسیمتر

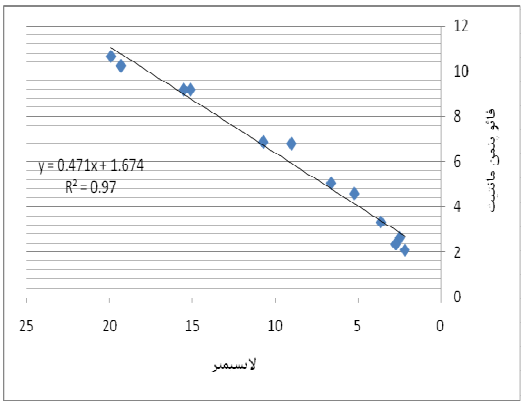
روش / آماره	فائو پنمن مانتیث	بلانی کریدل	جنسن هیز	جنسن هیز اصلاحی	هارگریوز سامانی	مک کینک	تورک
RMSE(mm/day)	۴/۷	۴/۰۸	۵/۳	۵/۶	۶/۶	۵/۵۹	۹/۰۲
MBE(mm/day)	-۳/۲۶	-۲/۸۲	-۳/۸۴	-۳/۹۳	-۴/۵	-۳/۴۵	-۷/۲۷
MAE(mm/day)	۳/۲۹	۲/۸۲	۳/۸۴	۳/۹۳	۴/۵۵	۳/۹۵	۷/۲۷
R^2	۰/۹۷	۰/۹۷۱	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۶۹	۰/۸۲	۰/۹۲

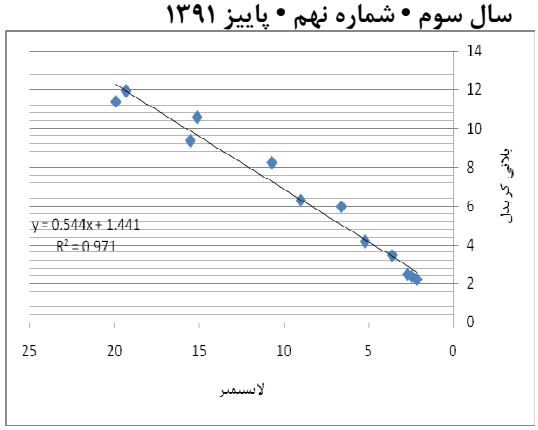
مقایسه آماری تبخیر و تعرق اندازه گیری شده با استفاده از معادلات تجربی و روش لایسیمتر (جدول ۴) نشان داد ، RMSE از ۴/۰۸ تا ۹/۰۲ متغیر است. بیشترین مقدار آن مربوط به معادله تورک و کمترین آن مربوط به روش بلینی کریدل است،که نشان می دهد روش بلینی کریدل نسبت به روشهای تجربی دیگر برآورد بهتری از تبخیر و تعرق در این منطقه دارد. پارامتر MBE در همه معادلات منفی بدست آمده است که حاکی از برآورد کمتر تبخیر و تعرق توسط معادلات تجربی نسبت به لایسیمتر است. از بین معادلات تحربی معادله بلینی کریدل با MAE برابر ۲/۸۲ کمترین و معادله تورک با MAE برابر ۴/۵۵ بیشترین اختلاف را با مقادیر بدست آمده از لایسیمتر دارند. در شکل ۲میانگین روزانه برآورد تبخیر و تعرق به روشهای مختلف در دوره آماری مورد بررسی آورده شده است.

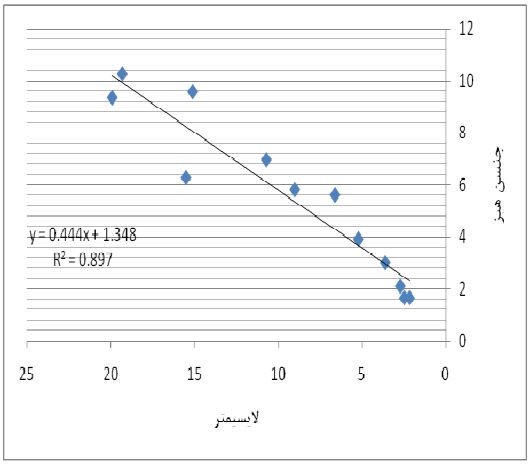
همانطور که در شکلها دیده می شود تبخیر و تعرق در ماههای خرداد، تیر و مرداد از دیگر ماهها بیشتر و در ماههای آذر ، دی و بهمن از ماههای دیگر کمتر است. همچنین می توان مشاهده کرد هم در فصول گرم و هم در فصول سرد معادله بلانی کریدل تبخیر و تعرق را نزدیکتر به مقدار واقعی لایسیمتر برآورد می کند. شکل ۳ نتایج برآورد روشهای مختلف را در تعیین تبخیر و تعرق در مقایسه با لایسیمتر ارائه میدهد.

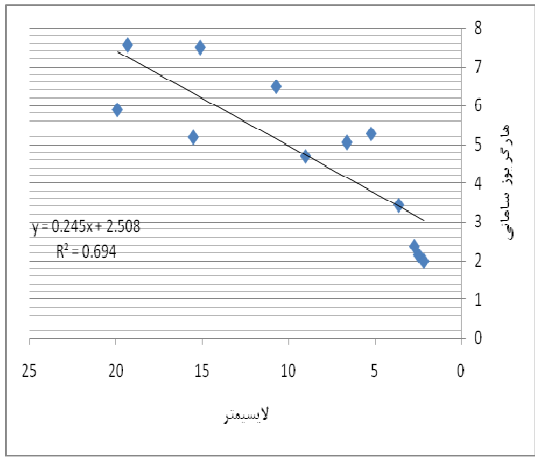


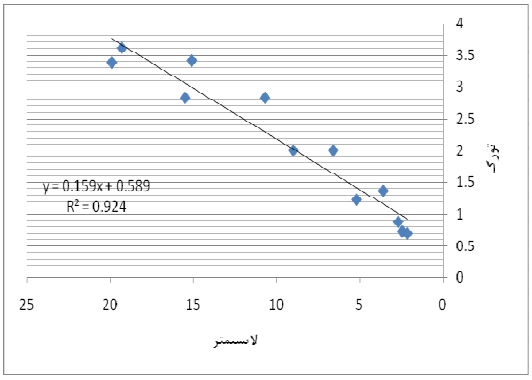
شکل۲- تغییرات روزانه تبخیر و تعرق با استفاده از روشهای مختلف در مقایسه با لایسیمتر

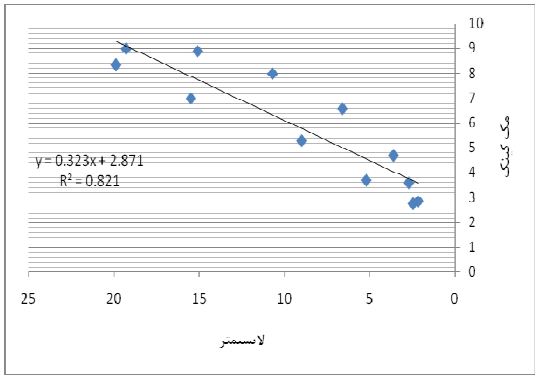


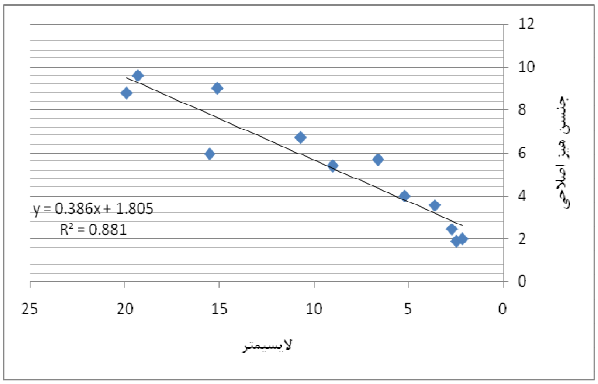












شکل(۳): شکل ۳- مقایسه بین تبخیر و تعرق برآورد شده از معادلات تجربی در مقایسه با لایسیمتر

مقدار ضریب تبیین بالا نشان دهنده همبستگی بیشتر روشهای مختلف در برآورد تبخیر و تعرق در مقایسه با روش لایسیمتر است. از بین روشهای ذکر شده همانطور که در شکل ۳ مشاهده می کنید معادله بلانی کریدل با ضریب همبستگی ۰/۹۷۱ بالاترین همبستگی و روش هارگریوز با ۰/۶۹کمترین همبستگی را با روش لایسیمتر دارد. بنابراین می توان نتیجه گرفت در منطقه زابل که جزء مناطق خشک کشور می باشد معادله بلانی کریدل برآورد بهتری از تبخیر و تعرق ارائه می دهد. که با نتایج صمدی و مجد زاده همخوانی دارد. صمدی و مجد زاده (۱۳۸۲) ضمن اندازه گیری تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) توسط لایسیمتر در کرمان تعدادی از روشهای محاسباتی (بلانی کریدل، تورت وایت و پنمن فائو) را مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که معادله بلانی کریدل مناسبترین روش برای مناطق خشک است. (صمدی و مجد زاده،۱۳۸۲،ص۱۹) همچنین بر اساس نتایج بدست آمده از تحقیقی که توسط علی حوری و همکاران(۱۳۸۹) راجع به مقایسه روشهای مختلف برآورد نیاز آبی نخل خرما در مرحله استقرار و رشد رویشی در خوزستان انجام شد، روش بلانی کریدل بیشترین و روش تشت تبخیر کمترین مطابقت را با روش فائو- پنمن مانتیث دارد. روش جنسن هیز اصلاح شده و هارگریوز سامانی در اولویتهای دوم و سوم قرار دارند. روشهای جنسن هیز و حنسن هیز اصلاح شده تبخیر و تعرق را بر اساس داده های مربوط به تشعشع خورشیدی بدست می آورند که کمتر از مقدار تبخیر و تعرق بدست آمده از لایسیمتر و معادله فائو پنمن مانتیث است، لذا می توان گفت که معادلاتی که مبتنی بر درجه حرارت هوا هستند، برآورد بهتری از تبخیر و تعرق دارند.(علی حوری و همکاران، ۱۳۸۹) نتایج این تحقیق نشان داد روش بلینی کریدل به دلیلی دارا بون بالاترین ضریب همبستگی (R^2) و کمترین میانگین ریشه دوم خطا (RMSE) نسبت به روشهای دیگر از مطلوبیت بیشتری جهت محاسبه تبخیر و تعرق برخوردار است.

نتیجه‌گیری

تبخیر و تعرق به طور مستقیم توسط لایسیمتر قابل اندازه گیری می باشد، اما این کار مستلزم صرف هزینه و وقت زیادی بوده و علاوه بر این بسیار دشوار می باشد. لذا در شرایط مختلف به برآورد این پارامتر به روشهای مختلف پرداخته شده است. یکی از این روشها، روش فائو پنمن مانتیث می باشد. علیرغم اینکه روش فائو پنمن مانتیث معتبرترین روش جهت برآورد تبخیر و تعرق در کشور است اما به دلیل اینکه نیازمند استفاده از داده های هواشناسی بسیاری است ، و در مناطقی که همه داده ها وجود نداشته باشند، قابل استفاده نیست. بنابراین در این مناطق می توان از روشهای تخمینی ساده تری استفاده کرد. در این مطالعه به ارزیابی و مقایسه روشهای بلینی کریدل، جنسن هیز ، جنسن هیز اصلاحی و هارگریوز سامانی، مک کینگ، تورک و فائو پنمن مانتیث در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مقایسه با روش لایسیمتر در دشت زابل پرداخته شد. نتایج نشان داد روش بلینی کریدل به دلیل دارا بون بالاترین ضریب همبستگی (R^2) با داده های بدست آمده از لایسیمتر و کمترین میانگین ریشه دوم خطا (RMSE) نسبت به روشهای دیگر از مطلوبیت بیشتری جهت محاسبه تبخیر و تعرق برخوردار است. بنابراین توصیه می شود جهت اندازه گیری تبخیر و تعرق پتانسیل در دشت سیستان در مواقعی که امکان استفاده از لایسیمتر نباشد، از معادله بلانی کریدل جهت برآورد تبخیر و تعرق استفاده گردد.

منابع

۱. بیات‌ورکشی، م.، ص. معروفی، ح. زارع‌ابیانه، بیات ورکشی، م ؛ ص. معروفی ؛ ح.زارع ابیانه ؛ ع. قاسمی. ۱۳۸۷. ارزیابی روشهای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع در استان خوزستان و مقایسه آن با روش فائو پنمن مانتیث. دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی ، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۰-۸ بهمن.

۲.بیگلویی، م.ح ؛ ا. مقصودی. ۱۳۸۲. تعیین مناسبترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه برای منطقه رشت. مجموعه مقالات هشتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان،۳۴-۴۳.

۳. توشیح،و؛ م .سی و سه مرده.۱۳۸۲. تعیین تبخیر و تعرق بالقوه گیاه مرجع (چمن) و مقایسه آن با معادله های تجربی. مجموعه مقالات سمینار سراسری لایسیمتر، جهاد دانشگاهی کرمان، صفحه ص۲۴۰-۲۳۰.

۴. رادمنش، ف ؛ ا . مادح خاکسار.۱۳۸۶. ارزیابی روشهای هارگریوز سامانی و حنسن هیز اصلاح شده در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در مقایسه با روش فائو-پنمن- مانتیث در دو استان خوزستان و هرمزگان . نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر ، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ص ۴۵۸-۴۶۵.

۵. زارع ابیانه، ح؛ م. بیات ورکشی ؛ ع ا. سبزی پروری ؛ ص.معروفی ؛ ع. قاسمی. ۱۳۸۹. ارزیابی روشهای مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و پهنه بندی آن در ایران . مجله پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، ص ۱۱۰-۹۵.

۷. علیزاده، ا. ۱۳۸۷.رابطه آب، خاک و گیاه، مشهد، دانشگاه امام رضا(ع).

۸. علیزاده، ا ؛ غ ع. کمالی ؛ م ج. خانجانی ؛ م ر .رهنورد . ۱۳۸۳. ارزیابی روشهای برآورد تبخیر و تعرق در مناطق خشک ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی ، شماره ۱۹، ص ۱۰۵-۹۷.

۹. علیزاده، ا ؛ ب. میر شاهی.۱۳۸۰. بررسی دقت و عملکرد تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده به روشهای هارگریوز- سامانی و تشتک تبخیر در ایستگاههای سینوپتیک استان خراسان. مجله نیوار، شماره ۴۲و ۴۳، ص۷۰-۵۱.

۱۰. علی حوری، م؛ ح. علی حوری ؛ ع .محبی.۱۳۸۹. مقایسه روشهای مختلف برآورد نیاز آبی نخل خرما در مرحله استقرار و رشد رویشی در خوزستان.سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی ، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۲-۱۰ اسفند.

۱۲. مجد زاده، ب ؛ ح ع. صمدی.۱۳۸۲. مقایسه تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه شده بوسیله فرمولهای تجربی با لایسیمتر در کرمان. مجموعه مقالات هشتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان،۲۲-۱۹.

۱۳. موسوی بایگی، م ؛ م. عرفانیان ؛ م . سرمد .۱۳۸۸. استفاده از حداقل داده های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع و ارائه ضریب اصلاحی آن(مطالعه موردی استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک، شماره ۲۳،ص۹۱-۹۹.

۱۴. نصیری قیداری. ا؛ آ. علی پور ؛ ح.اوجاقلو ؛ ت .سهرابی. ۱۳۸۹. ارزیابی و مقایسه روشهای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از حداقل داده های هواشناسی(مطالعه موردی استان مازندران) . سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی ، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۲-۱۰ اسفند.

15. Allen, R.G,; L.S. Pereira; D. Raes; M.Smith. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

16. Amatya, D.M; R.W.Skaggs ; J. D. Gregory. 1995. Comparison of methods for estimating REF-ET .J. Irrig. Drain Eng., 121(6):427–435.

17.Cai ,J; Y.Liu ; T .Lei ; L.S. Pereira . 2007. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages, Agricultural and Forest Meteorology ,145 :35-22

18. Droogers, P; R.G. Allen. 2002. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. Irrig Drain Syst, 16:33–45.

19. Hargreaves, G.H. 1974. Estimation of potential and crop evapotranspiration. Trans. ASAE 17 (4):701–704

20.James, L. G. 1988. Principles of farm irrigation system design, John Wiley and Sons. Inc. 543 pages

21.Kustas, W. P; J. M. Norman. 1996: Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surfaces. Journal of Science Hydrology 41: 495-516.

22.. Li, Y. L; J. Y. Cui; T. H. Zhang; H .Zhao. 2003. Measurement of evapotranspiration of irrigated spring wheat and maize in a semi- arid region of North China. Agricultural Water Management 61: 1-12

23. Li, Y; R.Horton ; T.Ren ; C.Chen. 2010. Prediction of annual reference evapotranspiration using climatic data. Agric.Water Manage. 97: 300-308

24. Michael,M . G ; W. G. M. Bastiaanssen. 2002. A new simple method to determine crop coefficients for water allocation planning from satellites: results from Kenya. Irrigation and Drainage Systems 14: 237-256.

25. Rosenberg N. J ; B. L. Blad ; S. B. Verma . 1983. Microclimate the biological environment, 2nd Ed , John Wiley and Sons inc. N.Y. 495 pages.

26.Ogawa, S; T.Murakaml ; N.Ishitsuka ; G. Saito . 1999. Evapotranspiration estimates from fine–resolution NDVI. National Institute of Agro- Environmental Science (Japan).

27. Penman, H.L.1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc., R. Soc., Ser. A 193: 454-465.

28. Thornthwaite,C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev. 38: 55–94.

Assesment of Computational Methods of Estimation of Potential Evapotranspiration Using Lysimeter Data (Case Study: Sistan Plain)

Halimeh piri[1]

abstract

Evapotranspiration can be measured directly using lysimeter measurements , of course lysimetry is time and labor consuming and sometimes cost effective but it is not difficult. Therefore, in different situations has been to estimate this parameter .Therefore, this study has been to compared the evapotranspiration computed using FAO Penman Mantys,Blany Cridle, Jensen Hayes, Jensen Hayes reform ,Hargreaves Samani, Mac King, and Prystly Taylor to measured evapotranspiration the technique Lysimeter in Sistan Plain to method be correlated more with this method has been identified and it was use in necessary situation.The results showed Blany Cridle with factor of o.971 has the most correlation coefficient and the Hargreaves Samani with 0.694 has the lowest correlation with the data Lysimeter.It can be concluded that in Zabol is any arid region, Blany Cridle equation is better estimate of the evapotranspiration .

Keywords: Blany Cridle, evapotranspiration, Sistan Plain, Lysimeter.

[1] Msc-Faculty member of Zabol¬ University- Wetlands International Institute hamoun