

ارزیابی برخی از روش‌های تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل در شهرستان امیدیه

علی عصاره*^۱ و حدیث داودی^۲

(۱) استادیار، گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

(۲) دانشجوی دکتری، گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: a.asareh@iauhvaz.ic.ir

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۲۹

چکیده

به منظور تعیین مقدار آب آبیاری لازم است مقدار نیاز آبی گیاه یا تبخیر و تعرق محاسبه شود. معادلاتی که برای محاسبه تبخیر و تعرق استفاده می‌شوند، پارامترهای اقلیمی یکسانی را به کار نمی‌گیرند و به دلیل ماهیت تجربی آن‌ها برای تمام شرایط اقلیمی مناسب نیستند. در تحقیق حاضر به منظور مقایسه‌ی روش‌های تبخیر - تعرق و تعیین مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر - تعرق پتانسیل در شهرستان امیدیه، روش ترکیبی فائو - پنمن - مانتیث (FP-M) به عنوان مرجع در نظر گرفته شد و دقت روش‌های بلانی کریدل (B-C)، تورنت وایت (TW) و هارگریوز - سامانی (H-S) که پارامترهای اقلیمی کم‌تری نیاز دارند با آن مقایسه شد. در این تحقیق از داده‌های ایستگاه سینوپتیک شهرستان امیدیه در دوره‌ی آماری ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ استفاده شد. نتایج نشان داد که روش بلانی - کریدل نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده با بیش‌ترین ضریب همبستگی و کم‌ترین میزان خطای استاندارد با روش فائو - پنمن - مانتیث از دقت بیش‌تری در برآورد تبخیر - تعرق پتانسیل شهرستان امیدیه برخوردار می‌باشد. همچنین روش بلانی - کریدل تبخیر - تعرق پتانسیل شهرستان را به‌طور متوسط ۲۲ درصد کم‌تر از روش مرجع تخمین زده است و دارای کم‌ترین اختلاف نسبت به روش مرجع می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر - تعرق پتانسیل، فائو - پنمن - مانتیث، بلانی - کریدل، تورنت وایت و هارگریوز - سامانی.

مقدمه

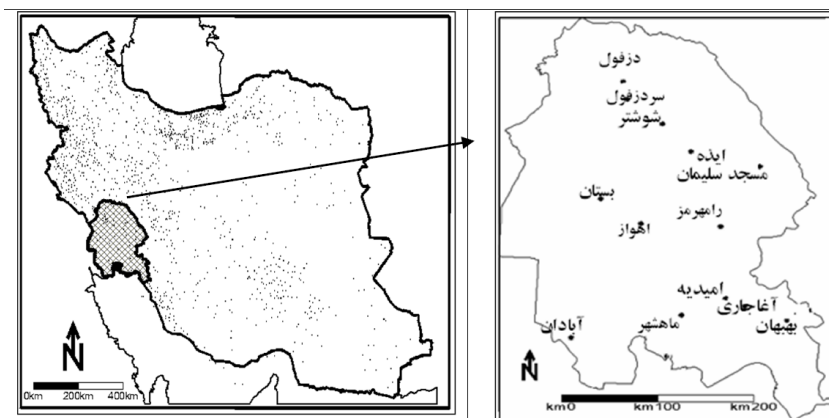
در زنجیره آب، خاک - گیاه - اتمسفر، آب مستقیماً از سطح خاک و یا توسط گیاه به اتمسفر وارد می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۸). تبخیر - تعرق واقعی و پتانسیل یکی از موضوعات مهم در علم اقلیم‌شناسی است. حدود ۷۵ درصد از کل بارندگی سالانه در سطح کره ی زمین دوباره به صورت تبخیر و تعرق به جو بر می‌گردد و رطوبت جو زمین را تامین می‌کند (کلانتری و همکاران، ۱۳۹۴). در بررسی بیلان هیدروکلیماتولوژی هر ناحیه، تبخیر و در اکثر موارد محاسبه‌ی تبخیر و تعرق اهمیت زیادی دارد، زیرا تبخیر همراه با جریان سطحی و نفوذ آب در خاک یکی از مولفه‌های بیلان هیدرولوژی است. مشاهده‌های مربوط به تبخیر از طریق تشت‌ها همواره دقت قابل قبول نداشته و همینطور شبکه‌ی متراکمی از ایستگاه‌های تبخیر سنجی در دست نیست (کلانتری و همکاران، ۱۳۹۴). لذا تا کنون مدل‌های مختلفی برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ارائه شده است که تفاوت عمده‌ی آنها در تعداد پارامترهای هواشناسی مورد نیاز می‌باشد. این مدل‌ها از معادله‌های ساده و تجربی مانند تورنت وایت و بلانی کریدل که تنها به پارامتر دمای هوا نیاز دارد تا معادله‌ی پیچیده‌تر مانند پنمن - مانتیث - فائو ۵۶ که علاوه بر دمای هوا به تابش خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی نیازمند می‌باشند متغیر است (Jensen *et al.*, 1999). از میان روش‌های مختلف تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل روش بلانی کریدل از اهمیت قابل توجهی برخوردار است، زیرا ضمن آن که از دقت نسبتاً خوبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک برخوردار است، به داده‌های هواشناسی کمی در مقایسه با سایر روش‌ها نیازمند می‌باشد. انجمن مهندسين عمران آمریکا مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل را با ۲۰ روش بطور ماهانه در مناطق مختلف با داده‌های لایسیمتر مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که پنمن - مانتیث - فائو بهترین انطباق را داراست (Allen *et al.*, 1998). انطباق خوب مطالعات متعدد بر روی روش پنمن - مانتیث - فائو باعث شد که فائو رابطه‌ی پنمن مانتیث فائو را به عنوان روشی استاندارد برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل و همچنین برای ارزیابی روش‌های دیگر معرفی نماید (Allen *et al.*, 1998). در تحقیقی که در فلوریدای آمریکا توسط Jacobs و همکاران (۲۰۰۲) بر روی یک چمنزار مرطوب انجام شد روش پنمن مانتیث کالیبره شده نتایج خوبی را برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل بدست داد ولی روش پرستلی تیلور مقدار را بیش از حد مجاز بیان نمود. علاوه بر آن روش تورک و ماکینگ مقادیر را بهتر از روش پنمن - مانتیث ارائه دادند. Rao و Castaneda (۲۰۰۵) طی تحقیقی چهار روش تورنت وایت، بلانی کریدل، تورک و ماکینگ را در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در جنوب کالیفرنیا استفاده و با روش فائو پنمن مانتیث مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد روش‌هایی که برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل بهتر ترجیح داده شدند بوسیله‌ی کالیبره‌ی مجدد برای استفاده در جنوب کالیفرنیا نیز مورد توصیه واقع شدند. هدف از انجام این تحقیق، مقایسه روش‌های بلانی کریدل (B-C)، تورنت وایت (TW) و هارگریوز - سامانی (H-S) به

منظور برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل شهرستان امیدیه و ارزیابی دقت روش های مورد استفاده بر اساس روش فائو- پنمن-مانتیت و در نتیجه تعیین مناسبترین روش جهت برآورد تبخیر و تعرق منطقه مذکور می باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان امیدیه با مساحت ۲۳۰۹ کیلومتر مربع در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۷ دقیقه و ارتفاع ۲۶ متری از سطح دریا، در جنوب غربی ایران و جنوب شرقی استان خوزستان واقع است (شکل ۱). آب و هوای منطقه گرم و در فصل گرما به عنوان یکی از گرمترین نقاط کشور معروف است. شهرستان امیدیه طبق طبقه بندی دومارتن جزء منطق خشک و نیمه خشک طبقه بندی می شود. این شهرستان از جنوب غربی به ماهشهر و هندیجان، از شمال و غرب به رامهرمز و اهواز و از شرق و جنوب شرقی به آغاچاری و بهبهان محدود شده است. جهت محاسبه تبخیر - تعرق پتانسیل از داده های ایستگاه سینوپتیک شهرستان امیدیه استفاده شد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان امیدیه در استان خوزستان

آمار و داده های مورد نیاز شامل میانگین حداکثر و حداقل درجه حرارت، درجه حرارت متوسط، متوسط رطوبت نسبی، سرعت متوسط باد و ساعات واقعی روزانه آفتاب، تشعشع برون زمینی، جهت پیشبرد اهداف پژوهش از ایستگاه سینوپتیک شهرستان امیدیه (جدول ۱) مربوط به یک دوره ی آماری ۹ ساله (۹۴-۱۳۸۵) جمع آوری شد (جدول ۲).

جدول ۱: مشخصات ایستگاه سینوپتیک امیدیه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	کد ایستگاه
امیدیه	۶۵٫۴۹	۷۶٫۳	۳۵	۴۰۸۳۰

تبخیر و تعرق پتانسیل به روش‌های بلانی کرایدل^۱، تورنت وایت^۲ و هارگریوز و سامانی^۳ محاسبه گردید. جهت بررسی دقت و تعیین مناسب‌ترین روش در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل شهرستان امیدیه به علت عدم داده‌های لایسیمتری در منطقه و توصیه‌ی به عمل آمده از طرف سازمان فائو، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه محاسبه شده با روش فائو - پنمن - مانیتث به عنوان مرجع در نظر گرفته شد. برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل به روش فائو - پنمن - مانیتث با استفاده از نرم افزار CropWat صورت گرفت. میزان همبستگی و خطای استاندارد هر یک از روش‌های مورد استفاده با روش مرجع محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد.

جدول ۲: میانگین ماهانه و سالانه پارامترهای اقلیمی استفاده شده در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل

ماه	حداکثر دما	حداقل دما	میانگین دما	میانگین رطوبت نسبی (درصد)	سرعت متوسط باد (متر بر ثانیه)	ساعات واقعی روزانه آفتابی	حداکثر ساعات آفتابی روزانه	$\frac{n}{N}$	تشتعش برون زمینی
مهر	۴۳/۶۱	۱۴/۴۸	۲۹/۷۲	۳۳/۱۱	۷/۱۷	۹/۳۸	۱۱/۵	۰/۸۲	۱۱/۳
آبان	۳۶/۱۱	۸/۸۲	۲۲/۹۹	۴۶/۱۱	۷/۵۰	۷/۱۲	۱۰/۶	۰/۶۷	۹/۱
آذر	۲۶/۷۴	۳/۶۳	۱۵/۳۰	۶۲/۷۸	۸/۱۱	۶/۷۶	۱۰/۲	۰/۶۶	۷/۹
دی	۲۳/۷۹	۱/۵۹	۱۲/۷۳	۶۵/۶۷	۷/۶۱	۶/۲۰	۱۰/۴	۰/۶۰	۸/۵
بهمن	۲۶/۳۴	۲/۸۴	۱۵/۲۲	۵۹/۸۹	۸/۵۶	۶/۲۸	۱۱/۱۰	۰/۵۷	۱۰/۵
اسفند	۳۲/۸۹	۶/۳۸	۱۹/۳۳	۴۶/۵۶	۹/۰۶	۶/۹۱	۱۲/۰۰	۰/۵۸	۱۲/۷۰
فروردین	۳۸/۵۸	۹/۸۴	۲۴/۳۶	۳۷/۴۴	۱۰/۱۱	۷/۴۹	۱۲/۹۰	۰/۵۸	۱۴/۸۰
اردیبهشت	۴۳/۹۳	۱۶/۴۱	۳۰/۸۶	۲۸/۲۲	۸/۲۸	۷/۸۶	۱۳/۶۰	۰/۵۸	۱۶/۰۰
خرداد	۴۸/۵۴	۲۱/۵۸	۳۵/۶۸	۲۲/۱۱	۷/۹۴	۱۰/۲۱	۱۴/۰۰	۰/۷۳	۱۶/۵۰
تیر	۵۰/۹۶	۲۴/۴۷	۳۷/۳۴	۲۲/۳۳	۷/۶۷	۱۰/۴۸	۱۳/۹۰	۰/۷۵	۱۶/۲۰
مرداد	۵۰/۴۰	۲۴/۴۷	۳۷/۹۶	۲۸/۵۶	۶/۸۳	۱۰/۶۱	۱۳/۲۰	۰/۸۰	۱۵/۳۰
شهریور	۴۸/۴۰	۲۱/۲۶	۳۵/۴۲	۳۱/۰۰	۸/۷۲	۹/۶۷	۱۲/۴۰	۰/۷۸	۱۶/۵۰
میانگین سالیانه	۳۹/۱۹	۱۲/۹۸	۲۶/۴۱	۴۰/۳۱	۸/۱۳	۸/۲۵	۱۲/۱۵	۰/۶۸	۱۲/۶۹

روش‌های تخمین تبخیر و تعرق

روش بلانی - کرایدل

این روش یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تخمین تبخیر - تعرق پتانسیل می باشد که بعداً فرمول پیشنهادی آن‌ها توسط پروت (Pruitt) از اساتید دانشگاه کالیفرنیا مورد واسنجی قرار گرفت و برای تخمین تبخیر - تعرق گیاه مرجع چمن به صورت زیر ارائه شد (علیزاده، ۱۳۸۸):

$$ET_o = a + b[p(0.46T + 8.13)] \quad \text{رابطه ۱:}$$

^۱ Belany-Kridel

^۲ Thornth waite

^۳ Hargreaves-Samani

که در آن: ET_o : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) برحسب میلیمتر در روز، p : ضریب مربوط به طول روز یا درصد سالانه تابش آفتاب در ماه که به صورت روزانه توصیف شده است که برای ماه‌ها و عرض‌های جغرافیایی مختلف متفاوت خواهد بود، T : متوسط ماهانه درجه حرارت برحسب سانتیگراد و a و b : ضرایب اقلیمی.

$$a = 0.0043(RH_{min}) - \frac{n}{N} - 1.41 \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$b = 0.82 - 0.0041(RH_{min}) + 1.07\left(\frac{n}{N}\right) + 0.066(U_{day}) - 0.006(RH_{min})\frac{n}{N} - 0.0006(RH_{min})(U_{day}) \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$U_{2m} = U_z \left[\frac{20}{Z} \right]^{0.15} \quad \text{رابطه ۴:}$$

که در آن: n : تعداد ساعات واقعی آفتاب، N : حداکثر ساعات ممکن تابش آفتاب، RH_{min} : حداقل رطوبت نسبی (درصد)، U_{day} : سرعت باد در طول روز در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، U_{2m} : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، U_z : سرعت باد در ارتفاع Z و Z : ارتفاعی است که سرعت باد در آن اندازه گیری شده است.

روش تورنت وایت

این روش ابتدا برای شرق آمریکا توسعه یافت و تنها از میانگین دمای ماهانه جهت تعیین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده می نماید (Safavi et al., 2015):

$$PET = 16N_m \left(\frac{10T_m}{I} \right)^a \quad \text{رابطه ۵:}$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} i_m \quad \text{رابطه ۶:}$$

$$i_m = \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.51} \quad \text{رابطه ۷:}$$

$$a = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.792 \times 10^{-2})I + 0.492 \quad \text{رابطه ۸:}$$

که در آن: ET_o : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) برحسب میلیمتر در روز، PET : تبخیر و تعرق پتانسیل برحسب میلیمتر، I : نمایه حرارتی سال که از جمع نمایه‌های حرارتی ماهانه طی سال بدست می‌آید، i_m : نمایه حرارتی هر ماه، N_m : ضریب اصلاحی ماهانه که در عرض‌های مختلف جغرافیایی متفاوت است، T_m : میانگین دمای هوا برحسب سانتیگراد و a : ثابت تجربی می‌باشد. برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) برحسب میلی‌متر در روز (ET_o)، مقادیر بدست آمده PET بر ۳۰ تقسیم می‌شود. همچنین در روش تورنت وایت فرض اساسی بر این است که بین دما با

تشعشعات خورشیدی، رطوبت هوا و باد همبستگی خوبی برقرار است، لذا فقط دما جهت تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده شده است.

روش فائو - پنمن - مونتیث

در ماه مه سال ۱۳۹۰ میلادی، در گردهمایی کارشناسان سازمان خواربار و کشاورزی (فائو) بر استفاده از روش ترکیبی پنمن - مونتیث به عنوان یک روش استاندارد روزآمد برای برآورد تبخیر - تعرق مرجع توافق شد. روش فائو - پنمن - مونتیث به صورت زیر برآورد می شود (Safavi et al., 2015):

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{9000}{T + 273} U_{2m}(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_{2m})}$$

رابطه ۹:

که در آن: ET_o : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) برحسب میلی‌متر در روز، R_n : تابش خالص ورودی به سطح گیاه (مگاژول برمترمربع بر روز)، G : شار گرمای خاک (مگاژول برمترمربع بر روز)، U_{2m} : میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، T : میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع ۲ متری، e_s : فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، e_a : فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال)، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، Δ : شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، γ : ضریب ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) می باشد.

روش هارگریوز - سامانی

در این روش فقط به داده‌های دمای هوا نیاز می‌باشد. در این روش لازم است برای دوره مورد نیاز دمای متوسط هوا (T) و تفاوت متوسط حداکثر و حداقل دما در دوره مورد نظر محاسبه شود. سپس با داشتن تابش خورشیدی، مقدار تبخیر و تعرق به صورت زیر محاسبه می‌شود (علیزاده ۱۳۸۹):

$$ET_o = 0.0023R_a(T + 17.8)\sqrt{TR}$$

رابطه ۱۰:

که در آن: ET_o : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) برحسب میلی‌متر در روز، TR : اختلاف حداکثر و حداقل دما و R_a : تابش برون زمینی که برای عرض‌های جغرافیایی مختلف، متفاوت می‌باشد. برای ارزیابی بهترین روش تخمین تبخیر و تعرق از پارامترهای آماری زیر استفاده شد.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ET_o - \overline{ET})^2}{n - 1}}$$

رابطه ۱۱:

که در آن: SE : خطای استاندارد، ET_o : مقادیر تبخیر - تعرق از روش فائو - پنمن - مانتیث، \overline{ET} : مقادیر تبخیر - تعرق از هر یک از روش‌های مورد استفاده و n : تعداد کل می‌باشد.

$$R = \frac{N * \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{N * \sum X^2 - (\sum X^2) * N(\sum y^2 - (\sum y^2))}} \quad \text{رابطه ۱۲:}$$

به این صورت که خطای استاندارد کم و ضریب همبستگی بالا بر تطابق میان تبخیر و تعرق برآورده شده با روش مرجع دلالت دارد.

نتایج و بحث

جدول ۳ میانگین تبخیر- تعرق پتانسیل ماهانه و سالانه با استفاده از روش‌های فائو - پنمن - مانتیث (FP-M)، بلانی کریدل (B-C)، تورنت وایت (TW) و هارگریوز - سامانی (H-S) را با استفاده از داده‌های هواشناسی منطقه نشان می‌دهد.

جدول ۳: تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از روش‌های مختلف بر حسب میلی‌متر

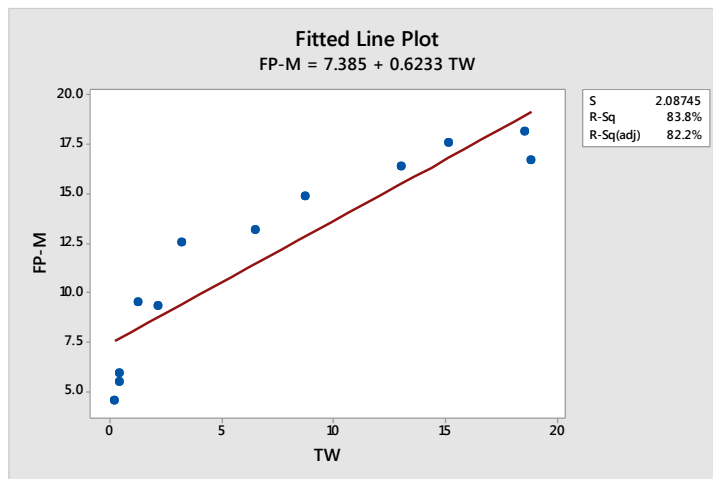
ماه	فائو - پنمن - مانتیث	هارگریوز - سامانی	تورنت وایت	بلانی کریدل
مهرماه	۱۳/۱۶	۶/۲۲	۶/۵۲	۹/۶۶
آبان ماه	۹/۳۳	۴/۱۸	۲/۲۱	۶/۴۹
آذرماه	۵/۴۷	۲/۸۶	۰/۴۷	۴/۴۲
دی ماه	۴/۵۱	۲/۹۹	۰/۲۵	۳/۸۷
بهمن ماه	۵/۹۱	۳/۹۴	۰/۴۶	۴/۹۳
اسفندماه	۹/۵۳	۵/۷۵	۱/۳۳	۶/۹۱
فروردین	۱۲/۵۱	۷/۶۸	۳/۲۴	۹/۵۰
اردیبهشت	۱۴/۸۶	۹/۳۹	۸/۸۰	۱۱/۳۱
خرداد	۱۷/۶۰	۱۰/۵۴	۱۵/۲۰	۱۴/۲۲
تیرماه	۱۸/۱۲	۱۰/۵۷	۱۸/۵۷	۱۴/۲۵
مردادماه	۱۶/۷۰	۹/۹۷	۱۸/۸۴	۱۳/۷۶
شهریورماه	۱۶/۳۵	۸/۶۱	۱۳/۰۴	۱۲/۷۲
سالانه	۱۲/۰۰	۶/۸۹	۷/۴۱	۹/۳۴

تبخیر و تعرق محاسبه شده به روش‌های بلانی کریدل (B-C)، تورنت وایت (TW) و هارگریوز - سامانی (H-S) با نتایج حاصل از محاسبه تبخیر و تعرق به روش فائو - پنمن - مانتیث (FP-M) مقایسه شد و بین حاصل از محاسبه به هر یک از روش‌ها (X)، نسبت به روش فائو - پنمن - مانتیث (Y) رگرسیون خطی زده شد. جدول ۴ ضریب همبستگی و خطای استاندارد هر یک از روش‌ها نسبت به روش فائو - پنمن - مانتیث و شکل ۲ الی شکل ۴ همبستگی این روش‌ها را با روش فائو - پنمن - مانتیث نشان می‌دهد.

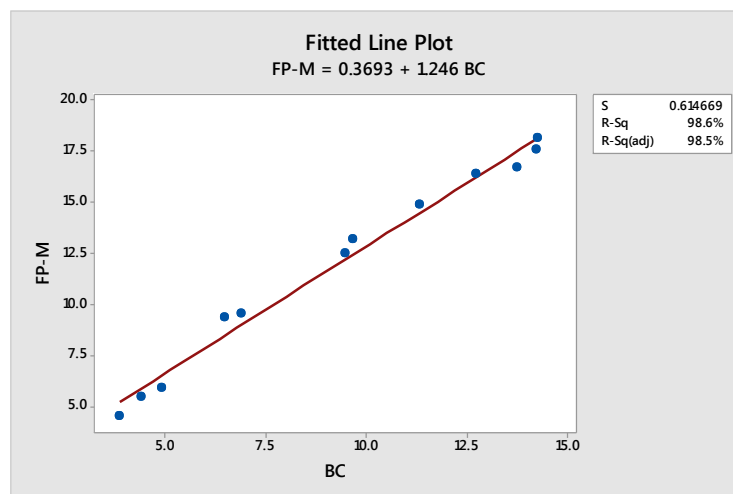
جدول ۴: مقایسه روش‌های مختلف نسبت به روش فائو - پنمن - مانیتث

روش	R^2	SE
بلانی کریدل	۰/۹۸۶	۰/۶۱
هارگریوز - سامانی	۰/۹۴۰	۱/۲۷
تورنت وایت	۰/۸۳۸	۲/۰۸

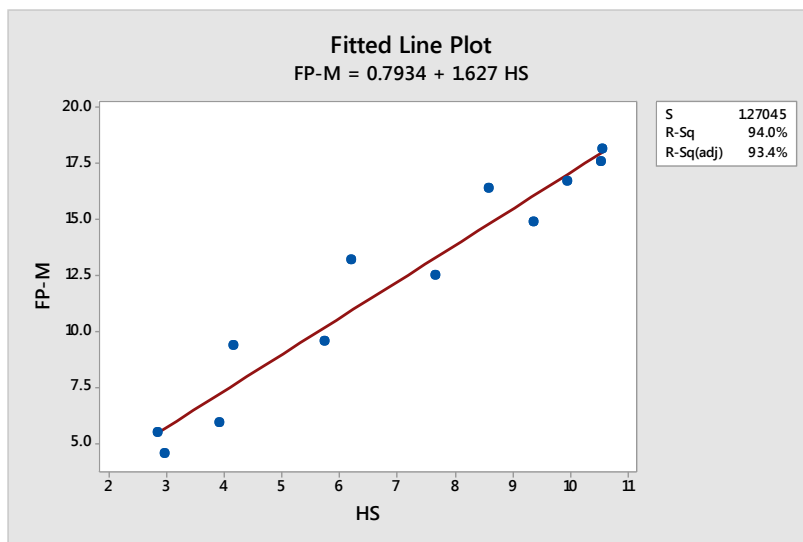
نتایج ارائه شده در جدول ۴ و شکل ۳ نشان داد روش بلانی کریدل با ضریب همبستگی و میزان خطای استاندارد به ترتیب ۰/۹۸۶ و ۰/۶۱، بیش‌ترین ضریب همبستگی، کم‌ترین میزان خطای استاندارد و نزدیک‌ترین شیب به یک، بهترین روش و روش تورنت وایت با ضریب همبستگی و میزان خطای استاندارد به ترتیب برابر ۰/۸۳۸ و ۲/۰۸ کم‌ترین ضریب همبستگی، بیش‌ترین میزان خطای استاندارد و کمترین شیب بدترین روش برای تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل به حساب می‌آید.



شکل ۲: مقایسه نتایج روش تورنت وایت با روش فائو - پنمن - مانیتث

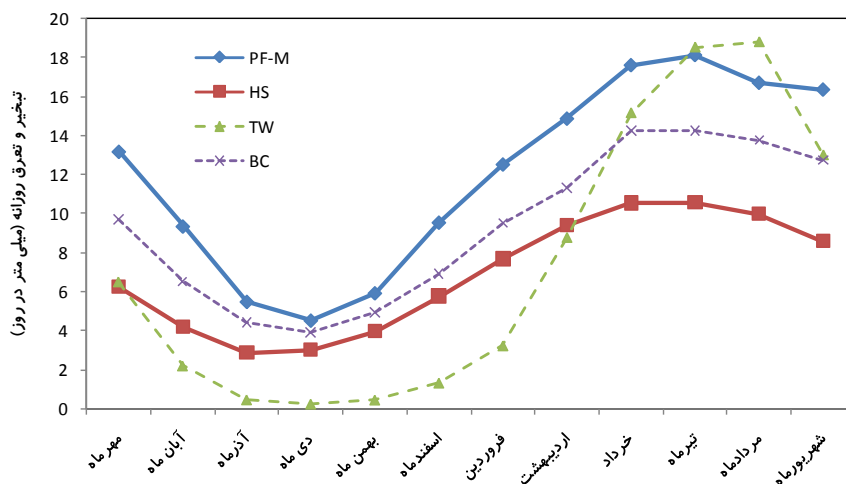


شکل ۳: مقایسه نتایج روش بلانی کریدل با روش فائو - پنمن - مانیتث



شکل ۴: مقایسه نتایج روش هارگریوز - سامانی با روش فائو - پنمن - مانیتث

شکل ۵ تغییرات متوسط تبخیر و تعرق محاسبه شده با ۴ روش مذکور را در دوره آماری نشان می دهد. با توجه به شکل ، بیش ترین تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده در شهرستان امیدیه از هر ۴ روش مربوط به تیر ماه بود و کم ترین میزان تبخیر و تعرق در روش های فائو- پنمن- مانیتث، بلانی- کریدل و تورنت وایت مربوط به دی ماه و در روش هارگریوز- سامانی مربوط به آذر ماه می باشد.



شکل ۵: مقایسه گرافیکی روش های بلانی کریدل، تورنت وایت و هارگریوز - سامانی نسبت به روش فائو - پنمن - مانیتث

مانیتث

برای تعیین وجود همبستگی بین مقادیر محاسبه شده از روش های مختلف تخمین تبخیر و تعرق و روش استاندارد

(FP-M) از آزمون فرض صفر و رابطه ۱۳ استفاده شد.

$$H_0: r=0$$

$$H_1: r \neq 0$$

$$t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{1-r^2}$$

رابطه ۱۳:

در این روابط H_0 فرض صفر، H_1 ادعا، t_0 آماره آزمون، r ضریب همبستگی خطی است و n تعداد زوج داده‌های مورد بررسی است. این آزمون r را مورد بررسی قرار می‌دهد که قابل تعمیم برای r^2 است. برای ساده‌تر شدن محاسبات ابتدا از جدول t_{student} مقدار بحرانی t استخراج شد. بر اساس این جدول $t_{0.025,106}$ برابر $1/98$ است. سپس این مقدار به جای t_0 و در رابطه فوق قرار گرفت و مقدار بحرانی r در سطح ۹۵ درصد برابر $0/185$ محاسبه شد. ضریب همبستگی جدول ۵ در همه‌ی معادلات تبخیر-تعرق در تمام مدل‌ها بزرگتر از مقدار بحرانی بود. بنابراین می‌توان پذیرفت در سطح احتمال ۹۹ درصد بین تمام مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده همبستگی وجود دارد.

جدول ۵: ضرایب همبستگی پیرسون بین معادلات تبخیر-تعرق در تمام مدل‌ها

	ET-HS	ET-BC	ET-TW	ET-FP_M
ET-HS	۱			
ET-BC	$0/9507^{**}$	۱		
ET-TW	$0/8908^{**}$	$0/9282^{**}$	۱	
ET-FP_M	$0/8329^{**}$	$0/8768^{**}$	$0/7799^{**}$	۱

**معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، *معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد.

بر اساس نتایج بدست آمده از جدول ضرایب همبستگی پیرسون (جدول ۵)، بین معادلات تبخیر-تعرق در تمام مدل‌ها مشخص است. بیش‌ترین همبستگی بین دو مدل ET-BC و ET-HS وجود دارد، علاوه بر این مدل ET-BC بیش‌ترین همبستگی را با مدل ET-FP_M (شاهد) دارد. در جدول ۶ خلاصه نتایج آنالیز واریانس برای روش‌های مختلف محاسبه تبخیر-تعرق استاندارد گیاه چمن در مقایسه با مدل ET-FP_M (شاهد) در محیط SAS نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، تفاوت معنی‌داری بین مدل‌های مختلف محاسبه تبخیر-تعرق استاندارد برای داده‌های ۹ ساله وجود دارد.

جدول ۶: جدول تجزیه واریانس مدل‌های مختلف محاسبه تبخیر-تعرق استاندارد

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Pr>F
مدل	۳	۷۵۸/۸۱۱	۳/۳۰	۰/۰۲۹
مدل(ماه)	۴۴	۲۳۰/۰۹۱	۸۵/۱۵	۰/۰۰۰۱
خطای آزمایشی	۳۸۴	۲/۷۰۲		

در جدول ۷ نیز نتایج مقایسه میانگین روش های مختلف برآورد تبخیر - تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن با استفاده از آزمون دانکن، ارائه شده است که در سطح اعتماد ۵ درصد بیان شده است. همانطور که مشاهده می شود میانگین داده های محاسباتی، برای معادله ET-BC در آزمون دانکن اختلاف معنی داری با معادله ET-FP_M ندارد، در صورتی که برای بقیه معادلات این اختلاف معنی دار است. بنابراین بهترین معادله در مقایسه داده های ET-FP_M، معادله ET-BC است که رابطه ی خطی آن با داده های ET-FP_M در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۷: نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ برای مدل های مختلف محاسبه تبخیر - تعرق

استاندارد

مدل	تعداد مشاهده	میانگین	گروه بندی
ET-FP_M	۱۰۸	۱۲/۷۴۶	A
ET-BC	۱۰۸	۹/۳۳۶	B A
ET-TW	۱۰۸	۷/۴۱۱	B
ET-HS	۱۰۸	۶/۸۹۳	B

نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده در شهرستان امیدیه از هر ۴ روش مربوط به تیر ماه بوده و کمترین میزان تبخیر و تعرق با توجه به روش های فائو- پنمن- مانیتث، بلانی- کریدل، تورنت وایت مربوط به دی ماه و با توجه به روش هارگریوز- سامانی مربوط به آذر ماه می باشد. همچنین نتایج نشان می دهد که روش بلانی کریدل مقدار متوسط سالیانه تبخیر و تعرق پتانسیل را در ایستگاه سینوپتیک امیدیه ۲۲ درصد کم تر از میزان تبخیر و تعرق سالیانه به روش فائو- پنمن- مانیتث برآورد نموده است. مقادیر تبخیر و تعرق سالیانه برآورد شده توسط روش تورنت وایت برای ایستگاه سینوپتیک امیدیه ۳۸ درصد کم تر از تبخیر و تعرق محاسبه شده به روش فائو- پنمن- مانیتث است. روش هارگریوز سامانی نیز با کمترین میزان دقت در برآورد تبخیر و تعرق سالیانه ایستگاه سینوپتیک امیدیه، تبخیر و تعرق را برای ایستگاه سینوپتیک امیدیه ۴۳ درصد کم تر از میزان تبخیر و تعرق برآورد شده به روش فائو- پنمن- مانیتث برآورد نموده است. در مجموع با توجه به مقادیر خطای استاندارد، ضریب همبستگی و میزان اختلاف در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل می توان چنین بیان کرد که محاسبه تبخیر و تعرق از روش بلانی کریدل بسیار نزدیک به تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط روش فائو- پنمن- مانیتث می باشد که با نتایج شاهدهی و زارعی (۱۳۹۰) مطابقت دارد. بنابراین

می‌توان در صورت کمبود آمار مورد نیاز برای به‌کارگیری روش فائو- پنمن- مانتیث در شهرستان امیدیه، روش بلانی کریدل را بهترین شاخص برای اندازه‌گیری و بررسی تبخیر و تعرق پتانسیل و نیاز آبی گیاه در منطقه در نظر گرفت.

منابع

شاهدی، ک. و زراعی، م. (۱۳۹۰). ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر - تعرق پتانسیل در استان مازندران. فصلنامه علمی پژوهشی هندسی آبیاری و آب. سال اول. شماره ۳، ص ۲۱-۱۱.

علیزاده، ا. (۱۳۸۸). رابطه ی آب و خاک و گیاه. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه امام رضا.

علیزاده، ا. (۱۳۸۹). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

کلانتری، س.، صادق پناه، ر.، اسدی، م.، امیری دوماری، س. و زهیری، زه. (۱۳۹۴). بررسی میزان تبخیر - تعرق پتانسیل منطقه ی طبس واقع در استان یزد، سومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.

Allen, R. G., Pereira, L. S. Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998, ISBN.

Castaneda, L. and Rao, P . (2005). Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration in southern California. Journal of Environmental Hydrology, 13(14) pp1-10.

Jacobs, J. M., Mergelsberg, S.L., Lopera, A. F. and Myers, D. A. (2002). Evaporation from a wet prairie wetland under drought conditions. Paynes Prairie Preserve, Florida, USA, Wetlands, 22(2), pp. 374–385.

Jensen, M. E., Burman, R. D. and Allen R. G. (1999). Evapotranspiration and water requirements. ASCE manuals and reports on engineering practices No. 70. American society of civil engineers, New York, ISBN 0-87262-763-2, 360 P.

Safavi, M. Asareh, A. and Zeynivand, N. (2015). Evaluating estimation methods of potential evaporation- transpiration in Deylam city. Walia Journal 31(s4), pp.80-84.