

Evaluation of Pan Coefficient Estimation Methods to Calculate the Amount of Evapotranspiration (Case Study of Kurdistan Province)

HAMID ZARE ABIANEH¹, SOROR SMAEILI^{1*}

1. Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

(Received: Oct. 10, 2020- Revised: Jan. 12, 2021- Accepted: Jan. 20, 2021)

ABSTRACT

Plant water requirement or evapotranspiration (ET) is one of the main components of water balance and a key factor in irrigation planning to improve water use efficiency of agricultural lands. Different methods have been proposed to determine evapotranspiration directly using lysimeter and indirectly using computational methods. Evaporation pan is one of the indirect, simple and suitable methods for estimating the evapotranspiration of the reference plant and the main plant, which shows the combined effects of atmospheric parameters such as air temperature, air humidity, radiation and wind. In this study, using 20-year meteorological data (1999-2018) of the all synoptic stations in Kurdistan province, the value of pan coefficient was estimated using the methods: Cuenca (1989), Raghuwanshi & wallender (1998), Modified Snyder, Mohamed *et al* (2008), Allen and Pruitt (1991), Snyder (1992), Orang (1998), Pereira (1995), Christiansen (1990) and FAO-24 (1997). In order to evaluate the accuracy of estimating evapotranspiration obtained from pan evaporation method, the FAO Penman-Monteith 56 method was used. To evaluate the accuracy of the models and to select the best one, four indicators; (RMSE), (MAE), (MBE) and t-test were used. The final results showed that on a daily, monthly and seasonal basis, the methods of FAO-24 (1997) and Christiansen (1990) had the best performance and the methods of Raghuwanshi & Wallender (1998) and Allen and Perot (1991) had the worst performance.

Keywords: Reference Plant Evapotranspiration, Pan coefficient, FAO Penman Monteith, Kurdistan Province.

ارزیابی روش‌های برآورد ضریب تشت برای محاسبه مقدار تبخیر و تعرق (مطالعه موردی: استان کردستان)

حمید زارع ایبانه^۱، سرور اسمعیلی^{۱*}

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۱۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۱

چکیده

نیاز آبی گیاهان یا تبخیر و تعرق (ET) یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آب و عامل کلیدی در برنامه‌ریزی آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی اراضی فاریاب است. روش‌های متفاوتی برای تعیین تبخیر و تعرق به صورت مستقیم یا لایسیمیتری و غیرمستقیم یا محاسباتی پیشنهاد شده است. تشت تبخیر یکی از روش‌های غیرمستقیم، ساده و مناسب برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و گیاه اصلی است که نشان‌دهنده اثرات توأم پارامترهای جوی چون دمای هوا، رطوبت هوا، تابش و باد است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های هواشناسی ۲۰ ساله (۹۷-۱۳۷۸) کل ایستگاه‌های سینوپتیک استان کردستان، مقدار ضریب تشت با استفاده از روش‌های Cuenca (1989), Modified Snyder, Raghuwanshi & wallender (1998), Allen and Pruitt (1991), Mohamed et al. (2008), Christiansen (1990), Pereira (1995), Orang (1998), Snyder (1992), FAO-24 (1997) برآورد گردید. به منظور ارزیابی دقت تخمین تبخیر و تعرق حاصل از روش تشت تبخیر، از روش فائو پنمن مانیتیت ۵۶ استفاده شد. برای ارزیابی دقت مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل از ۴ شاخص خطاسنجی: (RMSE)، (MAE)، (MBE) و آزمون t استفاده شد. نتایج نهایی نشان داد که در مقیاس روزانه، ماهانه و فصلی روش‌های Christiansen (1990) و FAO-24 (1997) بهترین عملکرد و روش‌های Raghuwanshi & wallender (1998) و Allen and Pruitt بدترین عملکرد را داشتند.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق گیاه مرجع، ضریب تشت، فائو پنمن مانیتیت، استان کردستان.

مقدمه

مفهوم بحران آب در هر منطقه اقلیمی - جغرافیایی می‌تواند به معنای کمبود آب و یا بحران مدیریت آب باشد. آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به واسطه نیاز بخش کشاورزی به آن، نهاده‌ای با ارزش بوده و مدیریت منابع آب لازم و اساسی محسوب می‌گردد. برآورد نیاز آبی گیاهان و به تبع مصرف بهینه آب یکی از ابزارهای سودمند در مدیریت منابع آب است. نیاز آبی گیاهان یا تبخیر و تعرق (ET) یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آب و عامل کلیدی در برنامه‌ریزی آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی اراضی فاریاب است (Li et al., 2003). روش‌های متفاوتی برای تخمین تبخیر و تعرق به صورت مستقیم یا لایسیمیتری و غیرمستقیم یا محاسباتی پیشنهاد شده است. تشت تبخیر یکی از روش‌های غیرمستقیم، ساده و مناسب برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و گیاه اصلی است که نشان‌دهنده اثرات توأم پارامترهای جوی چون دمای هوا، رطوبت هوا، تابش و باد است (Irmak et al., 2002). برای دستیابی به مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET0) لازم است تا با توجه به تفاوت سطح آب آزاد با سطح گیاه، ضریب تجربی تشت (Kp) در مقدار تبخیر از تشت

(Ep) در قالب رابطه $ET_0 = E_p \times K_p$ اعمال گردد. به کارگیری Kp اولین بار از سوی Jensen (1974) طرح و محققانی نظیر (1989) Pereira (1995), Mohamed et al (2008), Cuenca Allen and (1991), Orang (1998), Christiansen (1990), FAO-24 (1997), Snyder (1992), Pruitt (1998) و Raghuwanshi & wallender روابط مختلفی را برای محاسبه Kp پیشنهاد دادند. (2008) Zainalzaade et al. ضمن برآورد تبخیر و تعرق به روش تشت تبخیر با اطلاعات ایستگاه سینوپتیک ارومیه و مقایسه با نتایج تبخیر و تعرق به روش پنمن مانیتیت فائو ۵۶ نشان دادند، نتایج روش محاسبه ضریب تشت Cuenca و Snyder بهتر از روش توصیه شده فائو است. Hosain zadeh et al. (2009) ضمن برآورد ضریب تشت تبخیر به روش‌های مختلف با استفاده از داده‌های ده‌ساله ایستگاه هواشناسی شیراز نشان دادند روش Cuenca برای برآورد ماهانه و روش Snyder برای برآورد فصلی تبخیر و تعرق مناسب است. (2010) Sorosh با بررسی کارایی داده‌های تشت تبخیر و روابط مختلف برآورد ضریب تشت در مقایسه با روش پنمن مانیتیت فائو ۵۶، ضریب تشت روش Cuenca را برای شهر کرمان با اقلیم بیابانی برتر معرفی نمود.

Gundekar *et al.* (2008) ضمن توصیه روش پنمن مانیتیت فائو ۵۶ به عنوان روش استاندارد در صورت فقدان داده‌های لایسیمتری، ضریب تشت را بر اساس معادلات ضریب تشت Snyder, Cuenca, Raghuwanshi & wallender و Orang محاسبه نمودند. نتایج آنان برای منطقه نیمه‌خشک در استان مازندران هندوستان نشان داد بیشترین دقت برآورد به معادله Snyder و کمترین دقت به معادله Cuenca تعلق داشت. Pradhan *et al.* (2013) ضریب تشت را از روش‌های Cuenca, Snyder, Orang, Pereira و Allen and Pruitt برای مرکز تحقیقاتی در هندوستان بر اساس داده‌های روزانه اقلیمی ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۱ رطوبت نسبی، دما و سرعت باد محاسبه و با نتایج روش استاندارد پنمن مانیتیت فائو ۵۶ مقایسه نمودند. نتایج آنان بیانگر دقت تبخیر و تعرق محاسبه شده به روش تشت با ضریب Snyder بر اساس کمتر بودن آماره‌های $RMSE=0/19$ و $MAE=0/16$ میلی‌متر در روز بود.

Heydari and Heydari (2014) تبخیر و تعرق گیاه مرجع را بر اساس روش تشت تبخیر با ۷ مدل ضریب تشت برای استان قم محاسبه و با برآوردهای پنمن مانیتیت فائو ۵۶ طی دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۷ مقایسه نمودند. نتایج آنان نشان داد میانگین تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش تشت تبخیر با ضریب تشت Cuenca برابر با $7/16$ و در روش پنمن مانیتیت فائو ۵۶ برابر $7/09$ میلی‌متر در روز به دست آمد که نسبت به ضرایب تشت (Orang(1998), Mohamed *et al.* (2008), Pereira(1995), Snyder (1992), Allen and Pruitt (1991) و Raghuwanshi & wallender(1998) کمترین اختلاف را داشت. Stan and Neculau (2015) ضمن مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق‌های برآوردی به روش تشت به کمک معادلات مختلف ضریب تشت با تبخیر و تعرق برآوردی از روش پنمن مانیتیت فائو ۵۶ نشان دادند که برآوردهای روش تشت با ضریب تشت Snyder در سه منطقه از رومانی به واسطه $R2=0/82$ نسبت به روابط Cuenca $R2=0/78$ ، Allen and Pruitt $R2=0/76$ و Orang $R2=0/81$ دارای دقت بهتری است.

Kar *et al.* (2017) با توصیف اهمیت تبخیر و تعرق در امر کشاورزی، ضریب تشت را با معادلات Cuenca(1989), Allen and Modified Pruitt (1991), Orang(1998) و Snyder, Raghuwanshi & wallender(1998) و Pereira(1995) محاسبه نمودند. متوسط ضریب تشت به روش Snyder(1992) در ایستگاه وارانسوی در هند با اقلیم نیمه مرطوب خشک $0/79$ به دست آوردند. آنان آماره ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) در برآورد

Zare-Abyaneh *et al.* (2009) در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، روش تعیین ضریب تشت اشنایدر را برای منطقه آمل توصیه نمودند. Ghamarnia *et al.* (2012) با انجام پژوهشی در زنجان به این نتیجه رسیدند که برای محاسبه مقادیر روزانه و ماهانه تبخیر و تعرق گیاه مرجع روش Orang مناسب است. Modaberi *et al.* (2013) بهترین روش برآورد ضریب تشت تبخیر در دشت مرداب گیلان را استفاده از معادله Snyder گزارش نمودند. Namdaryan *et al.* (2015) دقت روش‌های ضریب تشت Snyder و FAO نسبت به روش‌های Cuenca, Allen and Pruitt, Modified Snyder و Orang در برآورد تبخیر و تعرق گیاه نخود در منطقه لرستان مناسب گزارش کردند و نشان دادند روش پنمن مانیتیت فائو ۵۶ به عنوان روش استاندارد برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه قابل استفاده است. Estahbanati and Bakhtiari (2016) با مقایسه مقادیر ضریب تشت چهار روش Cuenca, Snyder, Allen and Pruitt, در اقلیم خشک کرمان و محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع از داده‌های روزانه تبخیر در بازه زمانی مرداد تا آذرماه در مقایسه با تبخیر و تعرق روش پنمن-مانیتیت استاندارد ASCE، روش Allen and Pruitt(1991) را پیشنهاد دادند.

Shokri *et al.* (2016) با به‌کارگیری معادلات Allen and Cuenca, Snyder, Orang, Pruitt برای داده‌های هواشناسی ۱۵ ساله منتهی به ۱۳۹۱ در ایستگاه اهواز نشان دادند روش Allen and Pruitt (1991) در بازه روزانه و فصلی و روش Snyder(1992) در بازه ده‌روزه برای محاسبه ضریب تشت، مناسب است. Ghamarnia and Soutani (2019) ضمن استفاده از روش پنمن-مانیتیت فائو به عنوان روش استاندارد برای ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق مبتنی بر تشت تبخیر نشان دادند که در اقلیم نیمه مرطوب روش‌های Allen Modified Snyder and Pruitt, و Pereira در اقلیم‌های مرطوب و بسیار مرطوب به ترتیب روش‌های Modified Snyder و FAO-56 مناسب‌ترین روش محاسبه ضریب تشت بودند. Soltani gard Faramarzi *et al.* (2019) نیز دقت بیشتر دو روش Cuenca و Snyder را برای محاسبه تبخیر و تعرق حاصل از تشت تبخیر در مقایسه با نتایج پنمن مانیتیت فائو برای شهرستان یزد پیشنهاد دادند.

Conceiao (2002) ضریب تشت تبخیر برای استان سائوپائولو در منطقه شمال غرب برزیل را برای ماه‌های بارانی دسامبر تا مارس $0/8$ و برای ماه‌های خشک آوریل تا نوامبر $0/7$ گزارش نمودند. آنان شیب همبستگی بین تبخیر و تعرق به روش تشت با ضریب Snyder و روش پنمن مانیتیت فائو ۵۶ را $1/05$ میلی‌متر بر روز و ضریب همبستگی را $0/87$ گزارش نمودند.

پیشنهاد داده‌اند. لذا در این تحقیق سعی بر این است تا تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش تشت تبخیر برای منطقه کردستان محاسبه گردد. بنابراین برآورد و مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل در منطقه کردستان یکی از اهداف و استفاده از چندین روش محاسبه ضریب تشت و معرفی بهترین آن‌ها برای منطقه کردستان در مقایسه با برآوردهای پنمن مانیتث فائو ۵۶ از دیگر اهداف کار است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان کردستان با مرکزیت سنندج، بین ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ با وسعت ۲۸۲۰۳ کیلومترمربع قرار دارد. اختلاف ارتفاع بین بلندترین و پست‌ترین نقاط استان به حدود ۲۴۰۰ متر می‌رسد و با متوسط بارندگی ۵۱۷ میلی‌متر از استان‌های پر آب و سرشاخه حوضه‌های آبریز مهم کشور به حساب می‌آید. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن بیشترین بخش استان کردستان دارای اقلیم نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای است و تنها قسمت محدودی از سطح استان در غرب دارای اقلیم نیمه مرطوب و مرطوب است (Hanafi and Hatami, 2013). موقعیت استان کردستان و ایستگاه‌های سینوپتیک آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

برای انجام این تحقیق از آمار و اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک استان کردستان که شامل: دمای حداقل هوا (T_{min})، دمای حداکثر هوا (T_{max})، میانگین رطوبت نسبی هوا (RH)، سرعت باد در ارتفاع دومتری (U)، ساعات آفتابی (n) و تبخیر تشت کلاس A (E_{pan}) در بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۳۷۸-۹۷) استفاده شد. مقادیر میانگین ۲۰ ساله داده‌های هواشناسی در جدول (۱) آمده است.

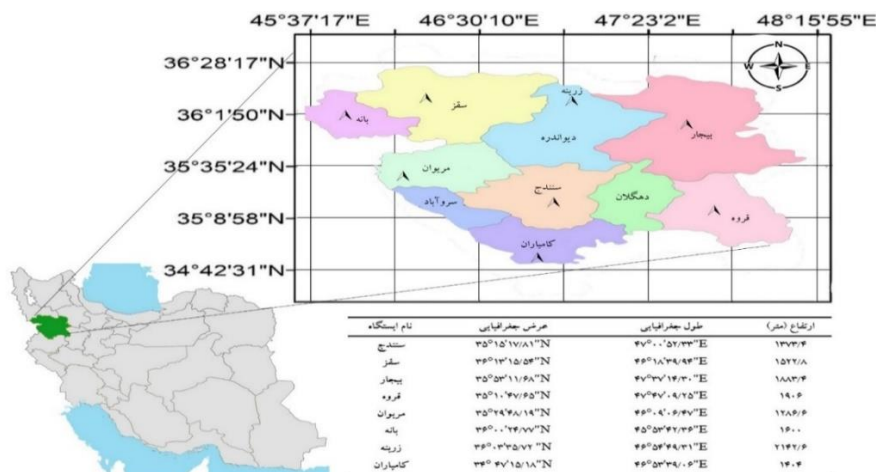
در این مطالعه، برای تعیین ضریب تشت از ۱۰ روش آمده در جدول (۲) برای محاسبه ضریب تشت (Kp) استفاده شد. برای این منظور اطلاعات هواشناسی روزانه، ماهانه و فصلی هر هشت ایستگاه سنندج، مریوان، بیجار، سقز، قروه، بانه، زرینه و کامیاران در روابط جدول (۲) جایگذاری و Kp محاسبه گردید.

تبخیر و تعرق به روش Snyder را در مقایسه با دیگر روش‌ها به ترتیب ۰/۳ و ۰/۲۴ میلی‌متر در روز گزارش نمودند. (2017) Ganji et al. بر اساس اطلاعات مرکز تحقیقاتی اردوخان در هرات افغانستان، تبخیر و تعرق را به روش‌های مبتنی بر تشعشعی با طول موج بلند، تشعشعی با طول موج کوتاه، تورنت‌وایت، هارگریوز، هومان و تشت تبخیر با ضریب تشت (Pereira 1995) برآورد نمودند. آنان نتایج تمامی روش‌ها را برای یافتن بهترین روش برآورد به صورت دو به دو با نتایج روش پنمن مانیتث فائو ۵۶ مقایسه نمودند و نشان دادند با وجود بادهای ۱۲۰ روزه، روش تشت تبخیر کمترین اختلاف را نشان داد. در پژوهشی دیگر and (Kajisa Ganji 2019) تبخیر و تعرق به روش تشت را با ضرایب Snyder, Allen and Pruitt, Orang, Cuenca و Modified Snyder برای مرکز تحقیقاتی اردوخان در هرات افغانستان محاسبه و با مقادیر برآوردی از روش پنمن مانیتث فائو ۵۶ مقایسه نمودند. نتایج نشان داد دقت روش Modified Snyder با $R2=0/87$ و $RMSE=1/7$ میلی‌متر در روز نسبت به دیگر روش‌ها مناسب‌تر بود. (Ditthakit and Kaewthong 2020) تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش تشت تبخیر را بر اساس ضرایب تشت Allen و Raghuwanshi & wallender, Snyder, Cuenca and Pruitt برای تشت کلاس A محاسبه و با برآوردهای چندین روش کامپیوتری مقایسه نمودند. نتایج آنان نشان داد روش ماشین بردار پشتیبان ۱ (SVR) برآوردهای بهتری از تبخیر و تعرق گیاه مرجع تشت کلاس A در دو حالت محصور در پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی و برآوردهای روش Raghuwanshi & wallender(1998) در رتبه بعد از روش‌های کامپیوتری قرار گرفت.

در استان کردستان اندازه‌گیری مستقیم تبخیر و تعرق به دلایل زمان‌بر بودن، هزینه‌بر بودن و گستردگی استان به جزء در موارد محدود تحقیقاتی، در هیچ‌یک از ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری نمی‌شود. در عین حال روش پنمن مانیتث فائو ۵۶ برای بسیاری از نقاط دنیا مناسب و به‌عنوان استاندارد برای دیگر روش‌ها از جمله روش تشت تبخیر است (Idlan Muhammad et al., 2019). کمیته بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID) و سازمان خواربار جهانی (FAO) نیز روش پنمن مانیتث فائو ۵۶ را برای محاسبه ET_0 از داده‌های اقلیمی و برای ارزیابی داده‌های تجربی

جدول ۱- ميانگين پارامترهاي هواشناسي در موقعيت مطالعاتي در بازه زماني (۱۳۷۸-۹۷)

ايستگاه	پارامتر	فروردين	اردبهبشت	خرداد	تير	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دي	بهمن	اسفند
سنندج	متوسط دما (°C)	۱۱/۵۹	۱۶/۳۴	۲۲/۲۳	۲۷/۴۳	۲۸/۳۳	۲۳/۹۴	۱۹/۰۵	۱۲/۶۱	۷/۲۱	۳/۱۶	۲/۶۸	۷/۳۷
	سرعت باد (ms^{-1})	۱/۹۸	۱/۸۳	۱/۷۳	۱/۷۶	۱/۷۳	۱/۴۲	۱/۳۸	۱/۲۶	۱/۲۰	۱/۳۲	۱/۵۴	۱/۹۴
	رطوبت نسبي (%)	۵۲/۰۱	۴۹/۵۰	۳۰/۹۵	۲۴/۰۲	۲۳/۷۷	۲۷/۰۹	۳۷/۳۶	۶۱/۰۳	۶۷/۴۹	۶۹/۰۷	۶۸/۴۲	۵۵/۴۰
	ساعات آفتابي (hr)	۷/۳۵	۸/۸۱	۱۱/۴۱	۱۱/۷۶	۱۱/۱۶	۱۰/۷۱	۹/۱۱	۶/۳۲	۵/۳۲	۵/۲۴	۵/۴۷	۶/۹۳
	تبخير (mmd^{-1})	۵/۷۶	۷/۳۷	۱۱/۱۴	۱۴/۷۰	۱۵/۲۰	۱۱/۱۳	۴/۹۱	۲/۵۰	۲/۷۴	۲/۱۲	۲/۹۵	۵/۰۸
پابان	متوسط دما (°C)	۱۰/۷۷	۱۵/۱۱	۲۰/۲۱	۲۴/۶۶	۲۵/۳۸	۲۲/۱۹	۱۶/۹۷	۱۰/۳۹	۴/۴۶	۱/۴۴	۱/۷۶	۶/۴۸
	سرعت باد (ms^{-1})	۱/۸۰	۱/۵۵	۱/۴۱	۱/۳۷	۱/۴۴	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۱۹	۱/۰۸	۱/۰۲	۱/۲۵	۱/۶۵
	رطوبت نسبي (%)	۶۱/۱۷	۵۸/۲۵	۴۱/۸۵	۳۳/۴۴	۳۰/۳۱	۳۰/۴۵	۴۰/۳۸	۶۴/۷۴	۷۲/۵۷	۷۷/۳۴	۷۷/۷۴	۶۷/۲۵
	ساعات آفتابي (hr)	۶/۹۳	۸/۵۵	۱۱/۳۰	۱۱/۸۶	۱۱/۳۶	۱۰/۶۵	۸/۸۱	۶/۳۱	۴/۸۵	۴/۹۶	۴/۹۰	۶/۰۳
	تبخير (mmd^{-1})	۳/۵۴	۶/۲۳	۹/۹۴	۱۱/۵۶	۱۱/۶۲	۱۰/۱۵	۶/۶۰	۴/۹۳	۳/۱۴	۲/۲۹	۱/۸۰	۴/۳۰
تنگ	متوسط دما (°C)	۸/۹۱	۱۳/۱۹	۱۷/۹۵	۲۲/۹۹	۲۳/۸۶	۲۰/۷۲	۱۵/۱۱	۸/۳۶	۲/۱۲	۱/۴۸	۰/۲۵	۴/۴۴
	سرعت باد (ms^{-1})	۲/۵۰	۲/۲۵	۱/۹۸	۱/۹۹	۲/۰۳	۱/۸۰	۱/۷۸	۱/۶۵	۱/۳۶	۱/۳۷	۱/۶۹	۲/۳۲
	رطوبت نسبي (%)	۵۹/۲۵	۵۶/۶۴	۴۳/۱۹	۳۳/۴۹	۲۹/۵۱	۲۹/۹۴	۳۹/۳۵	۶۳/۱۲	۷۲/۲۶	۷۶/۰۶	۷۴/۲۸	۶۴/۶۷
	ساعات آفتابي (hr)	۷/۳۶	۸/۸۵	۱۱/۴۹	۱۱/۹۱	۱۱/۲۷	۱۰/۸۰	۹/۱۳	۶/۲۵	۵/۱۰	۴/۹۵	۵/۳۹	۶/۶۴
	تبخير (mmd^{-1})	۴/۸۶	۶/۰۸	۹/۱۲	۱۱/۷۴	۱۲/۲۵	۹/۹۰	۳/۴۶	۴/۲۸	۲/۳۰	۲/۸۵	۳/۴۶	۴/۲۸
زرنج	متوسط دما (°C)	۵/۶۵	۱۰/۵۳	۱۵/۸۹	۲۱/۰۷	۲۱/۹۳	۱۸/۵۵	۱۲/۶۲	۵/۲۶	-۰/۱۰	-۴/۰۵	-۲/۷۴	-۰/۳۵
	سرعت باد (ms^{-1})	۳/۹۶	۳/۶۰	۳/۲۰	۲/۹۷	۲/۷۹	۲/۹۴	۳/۰۴	۲/۷۶	۲/۵۹	۲/۵۰	۲/۹۹	۳/۶۰
	رطوبت نسبي (%)	۶۴/۲۸	۵۸/۲۴	۴۰/۷۰	۳۴/۱۵	۳۰/۸۷	۳۱/۸۵	۴۲/۷۱	۶۸/۷۲	۷۱/۹۵	۷۳/۹۸	۷۵/۴۱	۷۱/۷۷
	ساعات آفتابي (hr)	۷/۴۹	۸/۹۹	۱۱/۵۹	۱۱/۷۶	۱۱/۳۱	۱۰/۷۹	۹/۱۹	۶/۲۷	۵/۵۴	۵/۶۱	۵/۸۴	۶/۹۳
	تبخير (mmd^{-1})	۴/۴۲	۵/۸۸	۸/۶۳	۱۰/۸۸	۱۱/۴۰	۹/۶۳	۶/۲۰	۳/۰۸	۳/۰۱	۲/۸۵	۲/۰۵	۳/۲۵
تنگ	متوسط دما (°C)	۱۰/۱۶	۱۵/۱۳	۲۱/۳۵	۲۶/۱۶	۲۷/۵۷	۲۴/۱۹	۱۸/۱۹	۱۰/۵۱	۴/۳۱	۱/۵۲	۱/۶۴	۵/۶۳
	سرعت باد (ms^{-1})	۳/۴۷	۳/۲۸	۳/۳۴	۳/۱۴	۳/۰۳	۳/۰۲	۲/۸۷	۲/۵۸	۲/۴۱	۲/۳۷	۲/۴۶	۲/۹۶
	رطوبت نسبي (%)	۵۲/۵۱	۴۶/۱۲	۲۹/۴۱	۲۴/۹۷	۲۱/۵۹	۲۳/۲۹	۳۳/۳۱	۵۴/۹۵	۶۳/۰۲	۶۷/۴۶	۶۸/۳۳	۶۰/۱۲
	ساعات آفتابي (hr)	۶/۵۶	۸/۱۵	۱۱/۰۴	۱۱/۷۲	۱۱/۳۱	۱۰/۶۹	۸/۶۶	۶/۰۷	۶/۰۳	۴/۹۹	۴/۸۳	۵/۵۷
	تبخير (mmd^{-1})	۴/۱۶	۵/۶۲	۶/۳۱	۶/۲۵	۶/۵۲	۶/۳۱	۶/۳۷	۴/۸۳	۳/۳۶	۳/۸۷	۱/۹۳	۳/۹۵
تنگ	متوسط دما (°C)	۹/۰۷	۱۳/۹۹	۱۹/۹۴	۲۴/۵۵	۲۵/۱۰	۲۱/۹۵	۱۵/۹۲	۷/۹۶	۱/۸۳	-۱/۳۲	-۱/۰۷	۴/۲۶
	سرعت باد (ms^{-1})	۳/۷۲	۳/۴۰	۲/۹۷	۲/۵۵	۲/۳۴	۲/۴۱	۲/۶۶	۲/۳۶	۲/۲۹	۲/۲۹	۲/۸۵	۳/۴۶
	رطوبت نسبي (%)	۴۷/۷۹	۴۴/۵۳	۲۹/۸۶	۲۷/۸۸	۲۵/۶۱	۲۶/۳۵	۳۴/۱۴	۵۹/۳۱	۶۵/۴۴	۶۷/۹۸	۶۸/۷۳	۵۵/۴۹
	ساعات آفتابي (hr)	۷/۳۹	۸/۸۱	۱۱/۳۶	۱۱/۴۳	۱۱/۲۶	۱۰/۶۳	۸/۹۶	۶/۱۸	۵/۴۸	۵/۶۹	۵/۰۶	۷/۰۵
	تبخير (mmd^{-1})	۵/۳۲	۷/۱۰	۱۰/۱۸	۱۲/۰۵	۱۲/۰۹	۱۰/۳۶	۷/۰۲	۵/۱۵	۴/۴۰	۳/۵۳	۲/۹۰	۴/۷۶
فروغ	متوسط دما (°C)	۹/۴۲	۱۴/۳۵	۲۰/۱۰	۲۵/۰۳	۲۵/۶۵	۲۲/۲۱	۱۷/۲۱	۱۰/۵۱	۵/۰۴	-۰/۵۶	-۰/۳۴	۵/۰۸
	سرعت باد (ms^{-1})	۲/۹۹	۲/۷۴	۲/۳۴	۲/۱۶	۲/۱۲	۲/۰۵	۲/۱۱	۲/۰۳	۱/۸۸	۱/۸۷	۲/۲۹	۲/۹۰
	رطوبت نسبي (%)	۴۸/۳۵	۴۴/۱۳	۲۹/۷۳	۲۵/۴۹	۲۳/۳۶	۲۴/۲۷	۳۲/۸۱	۵۷/۷۵	۶۴/۷۳	۶۷/۲۶	۶۸/۴۴	۵۳/۵۷
	ساعات آفتابي (hr)	۷/۹۲	۹/۰۸	۱۱/۷۰	۱۱/۷۲	۱۱/۲۱	۱۰/۸۶	۹/۳۲	۶/۳۳	۵/۶۸	۵/۶۲	۶/۱۷	۷/۴۶
	تبخير (mmd^{-1})	۴/۶۰	۶/۴۲	۹/۲۸	۱۰/۹۷	۱۰/۴۰	۹/۲۷	۶/۱۲	۴/۲۸	۳/۱۲	۱/۷۵	۲/۲۸	۳/۷۲
کامياران	متوسط دما (°C)	۱۰/۶۷	۱۵/۵۷	۲۱/۲۲	۲۶/۶۲	۲۲/۷۳	۲۳/۹۰	۱۸/۱۱	۱۰/۹۷	۵/۰۹	۲/۱۰	۲/۹۰	۶/۹۷
	سرعت باد (ms^{-1})	۲/۴۳	۲/۱۷	۲/۱۶	۲/۲۵	۲/۱۴	۲/۱۹	۲/۰۲	۱/۷۵	۱/۶۵	۱/۶۸	۱/۹۴	۲/۴۰
	رطوبت نسبي (%)	۵۳/۶۷	۴۹/۸۴	۳۰/۳۱	۲۲/۲۸	۲۰/۶۴	۲۱/۷۳	۲۹/۴۷	۵۶/۴۷	۶۲/۸۴	۶۷/۵۲	۶۷/۸۴	۵۷/۰۷
	ساعات آفتابي (hr)	۷/۴۹	۸/۷۷	۱۱/۵۱	۱۱/۹۸	۱۱/۴۰	۱۰/۷۵	۹/۲۵	۶/۴۴	۶/۰۳	۵/۵۴	۵/۵۱	۶/۷۹
	تبخير (mmd^{-1})	۴/۴۶	۵/۱۹	۷/۵۹	۹/۲۱	۱۰/۱۵	۸/۷۲	۵/۵۱	۳/۱۵	۲/۹۵	۱/۸۴	۲/۳۵	۳/۹۵



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک استان کردستان

جدول ۲- روش‌های مختلف محاسبه ضریب تشش (Kp)

رابطه	روش	شماره
$K_{pan}=0.475-(0.000245 \times U_2)+(0.00516 \times RH)+(0.00118 \times F)-(0.000016 \times RH)-(0.00000101 \times F^2)-(0.000000008 \times RH^2 \times U_2)-(0.00000001 \times (RH^2) \times F)$	Cuenca (1989)	۱
$K_{pan}=0.108-(0.000331 \times U_2)+(0.0422 \times \ln(F))+(0.1434 \times (\ln(RH)))-[0.000631 \times (\ln(F))^2 \times \ln(RH)]$	Allen and Pruitt (1991)	۲
$0.482+[0.024 \times \ln(F)]-(0.000376 \times U_2)+(0.0045 \times RH) = K_{pan}$	Snyder (1992)	۳
$K_{pan}=0.51206-(0.000321 \times U_2)+(0.02889 \times RH)+(0.03188 \times (\ln(F))-(0.000107 \times RH \times \ln(F))$	Orang (1998)	۴
$K_{pan}=0.5321-(0.0003 \times U_2)+(0.0249 \times \ln(F))+(0.0025 \times RH)$	Modified Snyder	۵
$K_{pan}=0.61+(0.00341 \times RH)-(0.000162 \times U_2 \times RH)-(0.00000959 \times U_2 \times F)+(0.00327 \times U_2 \times \ln(F))-(0.00289 \times U_2 \times \ln(86.4 \times U_2))-(0.0106 \times \ln(86.4 \times U_2) \times \ln(F))+(0.00063 \times (\ln(F))^2 \times \ln(86.4 \times U_2))$	FAO-24 (1997)	۶
$K_{pan}=0.85 \times (\Delta + \gamma) / ((\Delta + \gamma) \times (1 + 0.33 \times U_2))$	Pereira (1995)	۷
$K_{pan}=0.62407-(0.0266 \times \ln(F))-(0.00028 \times U_2^2)+(0.0026 \times (RH))$	Mohamed et al. (2008)	۸
$ET_0=0.755 \times E_{pan} \times Ct \times Cu \times Ch \times Cs$ $Ct=0.862+0.179 \times (T/T_0)-0.041 \times (T/T_0)^2$ $Cu=1.189+0.240 \times (U/U_0)-0.051 \times (U/U_0)^2$ $Ch=0.499+0.620 \times (RH/RH_0)-0.119 \times (RH/RH_0)^2$ $Cs=0.904+0.008 \times (S/S_0)-0.088 \times (S/S_0)^2$	Christiansen (1990)	۹
$K_{pan}=0.5944+0.0242 \times X_1-0.0583 \times X_2-0.1333 \times X_3-0.2083 \times X_4+0.0812 \times X_5+0.1344 \times X_6$ $X_1=\ln(F); X_2, X_3, X_4=0$ if $U_2 < 175$; $X_2=1$ if $175 \leq U_2 < 425$; $X_3=1$ if $425 \leq U_2 < 700$; $X_4=1$ if $U_2 > 700$ (Km.d ⁻¹); $X_5, X_6=0$ if $RH < 40\%$; $X_5=1$ if $40\% \leq RH < 70\%$; $X_6=1$ if $RH \geq 70\%$	Raghuwansi & wallender (1998)	۱۰

که در آن؛ K_{pan} ضریب تشش، U_2 سرعت باد در ارتفاع دومتری ($Km \cdot h^{-1}$)، F فاصله سبزی‌نگی از جهت وزش باد به سمت تشش (m)، RH رطوبت نسبی (%).
شیب منحنی فشار بخار γ ($KPa \cdot ^\circ C^{-1}$)، ضریب رطوبت T ($KPa \cdot ^\circ C^{-1}$)، متوسط دمای هوا T_0 (%).
دمای مبنا برابر $20^\circ C$ است.

خاک ($MJ \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$)، e_a و e_s به ترتیب فشار بخار واقعی و فشار بخار اشباع (KPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار آب نسبت به دما ($KPa \cdot ^\circ C^{-1}$)، γ ثابت سایکرومتری ($KPa \cdot ^\circ C^{-1}$)، T_a متوسط دمای هوا ($^\circ C$)، U_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری ($m \cdot s^{-1}$) است.

به منظور ارزیابی دقت تخمین تبخیر و تعرق حاصل از اعمال ضرایب تشش در روش تشش تبخیر با مقادیر تبخیر و تعرق استاندارد به روش PMF56 ضمن ترسیم نتایج در قالب مدل رگرسیون خطی درجه ۱ از ۴ شاخص خطاسنجی ریشه میانگین مربعات خطا^۱ ($RMSE$) رابطه ۱۲، میانگین قدر مطلق خطا^۲ (MAE) رابطه ۱۳، میانگین اربیی خطا^۳ (MBE) رابطه ۱۴ و آزمون t رابطه ۱۵ نیز استفاده شد.

مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع در پایه تشش تبخیر، با اعمال K_p های محاسباتی از روابط جدول (۲)، در روش تشش تبخیر طی دوره آماری (۱۳۷۸-۱۳۹۷) برآورد گردید. برای مقایسه تبخیر و تعرق‌های حاصل از روش تشش تبخیر اقدام به برآورد تبخیر و تعرق از روش استاندارد پنمن‌مانتیت فائو ۵۶ (PMF56) براساس رابطه ۱۱ شد. تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش PMF56 برای هر یک از هشت ایستگاه هواشناسی و در سه مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و فصلی برآورد گردید.

رابطه ۱۱) $ET = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$
که در آن، ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm \cdot day^{-1}$)، R_n تابش خالص خورشیدی ($MJ \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$)، G شار حرارتی

۳ Mean bias error

۱ Root mean of square error

۲ Mean absolute error

از آنجا که دور آبیاری برای تأمین آب مورد نیاز گیاهان زراعی و در برنامه ریزی آبیاری حائز اهمیت است و از طرف دیگر معمولاً دور آبیاری محصولات مختلف و عمده منطقه کمتر از ده روز است، لذا ابتدا مقادیر تبخیر و تعرق مرجع روزانه مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از پارامترهای آماری نتایج حاصل از روشهای تشت تبخیر در مقابل مقادیر تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شده از روش فائو پنمن مانیتیت برای ایستگاههای سینوپتیک کردستان (سقز، سنندج، بیجار، قروه، بانه، کامیاران، میوان و زرینه) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل در جدول (۳) آورده شده است. با توجه به اینکه ایستگاههای سینوپتیک مورد نظر از نظر اقلیمی بسیار به هم نزدیک بوده نتایج بدست آمده هم در یک راستا است به همین دلیل در این پژوهش برای ارزیابی میزان خطای روشهای برآورد ضریب تشت تبخیر از میانگین گیری مقدار RMSE استفاده شد. ارزیابی مقدار میانگین خطای بدست آمده برای تک تک روشهای برآورد ضریب تشت تبخیر در کل ایستگاههای مذکور نشان داد که در مقیاس روزانه، روشهای (1997) FAO-24 و (1990) Christiansen به ترتیب با مقادیر ۱/۳۱ و ۱/۵۷ میلیمتر بر روز کمترین خطا و روشهای (1991) Allen and Pruitt و (1998) Raghuwanshi & wallender به ترتیب با مقادیر ۱/۸۱ و ۱/۸۵ میلیمتر بر روز بیشترین خطا را به خود اختصاص داده اند.

به طور کلی ارزیابی نتایج مندرج در جدول (۳) و در نظر گرفتن میانگین ضریب جا کویدز (t) برای کل روشهای برآورد ضریب تشت تبخیر در کل ایستگاههای مذکور، به ترتیب بیانگر مناسب بودن روشهای (1997) FAO-24، (1990) Pereira Christiansen, (1995) Mohamed et al., (2008) Snyder, (1998) Orang, Modified Snyder, (1991) Allen and Pruitt و (1998) Raghuwanshi & wallender جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس روزانه است. در پژوهشی که سلطانی و قمرنیا، ۱۲ روش برآورد ضریب تشت تبخیر برای کل کشور ایران مورد ارزیابی قرار دادند برای اقلیم نیمه خشک دو روش (1997) FAO-24 و (1990) Christiansen مناسبترین و روشهای (1998) Raghuwanshi & wallender و (1991) Allen and Pruitt را نامناسبترین روشهای برآورد تبخیر و تعرق معرفی کردند که دقیقاً مطابق با نتایج این پژوهش است.

با توجه به یکسان بودن شرایط اعتبارسنجی روشهای برآورد ضریب تشت تبخیر در ایستگاههای مورد نظر، نتایج حاصل از نظر ظاهری بسیار به هم شبیه بوده و برای جلوگیری از تکرار؛ مقادیر تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شده از روش فائو پنمن مانیتیت به عنوان نمونه، برای ایستگاه سنندج ترسیم و نسبت به خط ۱:۱ و بهترین خط برازش داده شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ET_{0m} - ET_{0PMF56})^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |ET_{0m} - ET_{0PMF56}|}{n} \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{0m} - ET_{0PMF56})}{n} \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

$$t = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

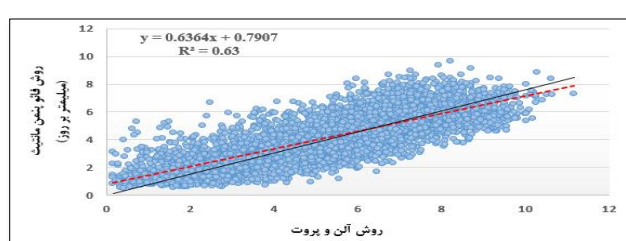
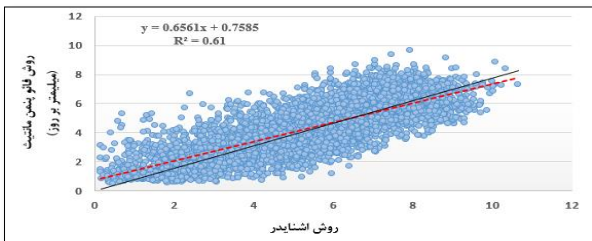
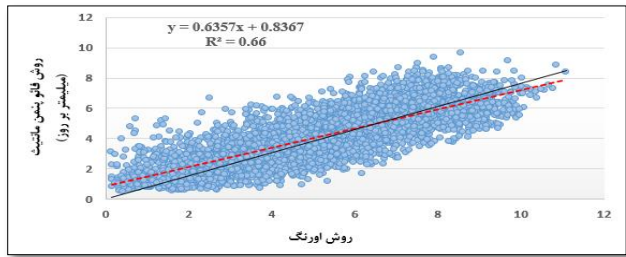
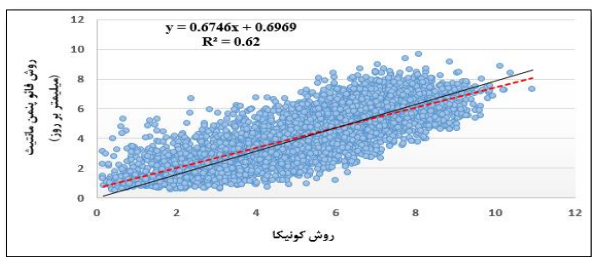
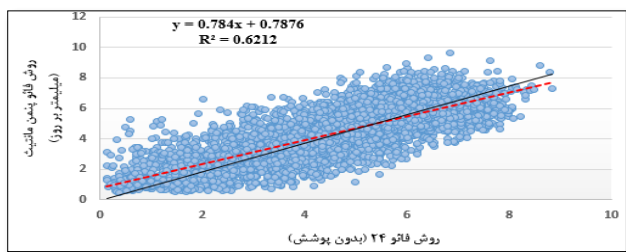
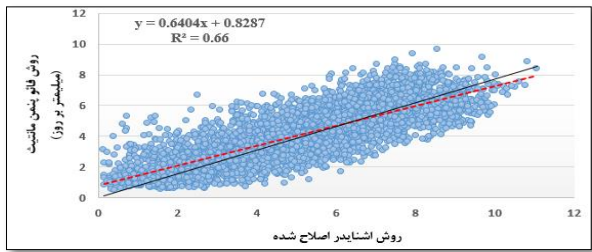
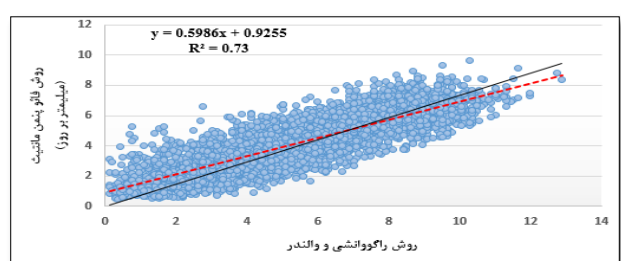
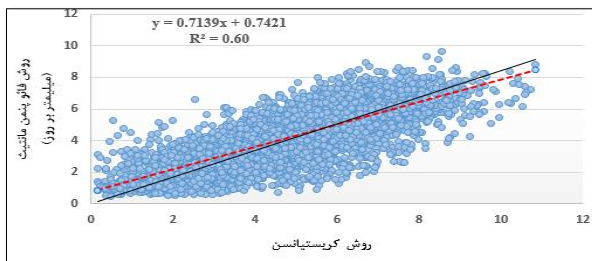
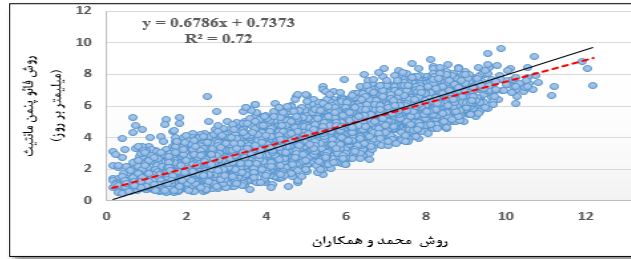
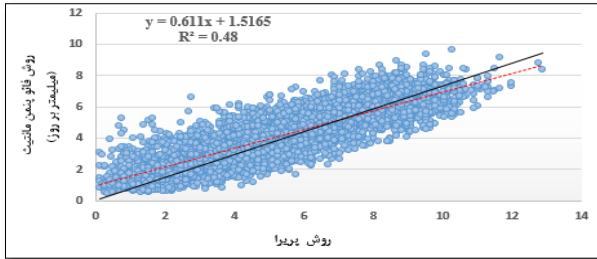
که در روابط بالا ET_{0m} مقادیر تبخیر و تعرق حاصل از مدل های ضریب تشت تبخیر، ET_{0PMF56} مقادیر تبخیر و تعرق حاصل از روش فائو پنمن مانیتیت و n تعداد کل داده ها است. پارامتر RMSE نشان دهنده این است که مقادیر تبخیر و تعرق حاصل از مدل های ضریب تشت تبخیر تا چه حد به مقادیر تبخیر و تعرق حاصل از روش فائو پنمن مانیتیت نزدیک بوده اند. هر چه مقدار این شاخص به صفر نزدیکتر باشد نشان دهنده وجود خطای کمتر در مدل است. پارامتر MAE نشان دهنده میانگین قدر مطلق خطای تبخیر و تعرق محاسباتی به روش تشت تبخیر نسبت به روش پنمن مانیتیت فائو ۵۶ است مقدار MAE نزدیک به صفر بیانگر عدم انحراف مقادیر برآوردی و MAE نزدیک به صفر انحراف کمتر تبخیر و تعرق برآوردی نسبت به تبخیر و تعرق استاندارد است. پارامتر MBE نشان دهنده مقدار بیش برآوردی و کم برآوردی تبخیر و تعرق محاسباتی به روش تشت نسبت به روش پنمن مانیتیت فائو ۵۶ است. مقدار MBE صفر بیانگر عدم انحراف مقادیر برآوردی و MBE نزدیک به صفر انحراف کمتر تبخیر و تعرق برآوردی نسبت به تبخیر و تعرق استاندارد است. ضریب همبستگی (R^2) نشان دهنده میزان ارتباط مقادیر برآورد شده با مقادیر محاسبه شده است که مقدار نزدیک به یک آن نشانه اختلاف کمتر برآوردها با مقدار استاندارد است. با توجه به این موضوع که در برخی موارد ممکن است نتایج یک مدل دارای ضریب همبستگی (R^2) بالا بوده، اما نمایه های MBE و RMSE خطای زیادی را نشان دهند، و برای مدل دیگری برعکس، R^2 کمتر ولی خطاهای MBE و RMSE قابل قبول باشند، لذا تصمیم گیری در انتخاب مدل بهینه دشوار است بنابراین عدم کفایت آماره های MBE و RMSE برای انتخاب بهترین روش تعیین ضریب تشت، موجب به کارگیری آزمون t، بنا به توصیه جا کویدز (Jacovides, 1997) گردید. پارامتر t ترکیبی از دو آماره MBE و RMSE است، که مقدار کمتر آن بیانگر دقت بهتر تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط ضرایب تشت در مقایسه با روش پنمن مانیتیت فائو ۵۶ است. در این تحقیق تبخیر و تعرق توسط روشهای مختلف بر پایه تشت تبخیر برای تمام ایستگاههای سینوپتیک کردستان محاسبه شد و براساس معیارهای آماری ذکر شده مناسبترین روش مشخص گردید.

نتایج و بحث

تبخیر و تعرق روزانه

ضریب تشت تبخیر در مقیاس روزانه برای ایستگاه سنندج برابر با ۰/۶۳ است که نشان‌دهنده این است که روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر برای برآورد مقدار تبخیر و تعرق در مقیاس روزانه با داده‌های فائو پنمن مانیت، همبستگی مناسبی دارند.

با توجه به شکل (۲) در ایستگاه سنندج روش Pereira با $R^2 = 0.48$ و روش Raghuwanshi & wallender با $R^2 = 0.72$ کمترین و بیشترین مقدار همبستگی را به خود اختصاص داده‌اند به طور کلی متوسط ضریب همبستگی در تمام روش‌های برآورد



شکل ۲- نمودار همبستگی بین مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده از روش فائو پنمن مانیت و روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر به صورت روزانه، در بازه زمانی (۹۷-۱۳۷۸) در ایستگاه سینوپتیک سنندج (خط ممتد بیانگر خط ۱:۱ و خط نقطه‌چین بیانگر خط رگرسیونی)

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های آماری حاصله از مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق روزانه از روش‌های محاسبه ضریب تشت و روش فائو پنمن مانیت بر حسب $(mm.day^{-1})$

روزانه ایستگاه سنندج					روزانه ایستگاه مریوان					روش
MBE	RMSE	MAE	t	R ²	MBE	RMSE	MAE	t	R ²	
۰/۶۷	۱/۳۷	۰/۶۷	۵۴/۱۸	۰/۶۲	۱/۰۵	۱/۶۷	۰/۵۰	۱/۲۹	۰/۵۰	Cuenca (1989)

روزانه ايستگاه زرينه	روزانه ايستگاه سقز	روش
Allen & pruit (1991)	Allen & pruit (1991)	Allen & pruit (1991)
Snyder (1992)	Snyder (1992)	Snyder (1992)
Orang (1998)	Orang (1998)	Orang (1998)
Modified Snyder	Modified Snyder	Modified Snyder
FAO-24 (Dry)	FAO-24 (Dry)	FAO-24 (Dry)
Pereira (1995)	Pereira (1995)	Pereira (1995)
Mohamed <i>et al.</i> (2008)	Mohamed <i>et al.</i> (2008)	Mohamed <i>et al.</i> (2008)
Christiansen(1990)	Christiansen(1990)	Christiansen(1990)
Raghuwanshi & wallender(1998)	Raghuwanshi & wallender(1998)	Raghuwanshi & wallender(1998)

روزانه ايستگاه زرينه							روزانه ايستگاه سقز							روش
شيب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE	RMSE	MBE	شيب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE	RMSE	MBE	
0.164	1/15	0.47	32/35	1/33	1/68	0.175	0.161	0.180	0.57	63/02	1/58	1/92	1/33	Cuenca (1989)
0.163	1/17	0.51	34/27	1/33	1/67	0.179	0.158	0.189	0.60	65/48	1/67	2/03	1/43	Allen & pruit (1991)
0.163	1/23	0.46	28/36	1/31	1/66	0.167	0.159	0.187	0.57	61/62	1/60	1/94	1/33	Snyder (1992)
0.166	1/11	0.55	30/18	1/24	1/56	0.168	0.159	0.190	0.62	61/11	1/56	1/90	1/30	Orang (1998)
0.166	1/10	0.55	30/18	1/24	1/55	0.168	0.160	0.189	0.62	60/69	1/54	1/88	1/28	Modified Snyder
0.179	1/14	0.51	11/38	1/08	1/33	-0.24	0.172	0.189	0.58	13/54	1/00	1/26	-1/07	FAO-24 (Dry)
0.171	2/03	0.40	44/35	1/44	1/79	-1/02	0.158	1/71	0.44	19/15	1/18	1/52	-1/36	Pereira (1995)
0.165	0.186	0.63	52/58	1/39	1/74	1/10	0.163	0.172	0.70	66/24	1/46	1/77	1/26	Mohamed <i>et al.</i> (2008)
0.160	1/31	0.41	30/10	1/17	1/48	0.178	0.164	0.178	0.56	52/69	1/35	1/71	1/07	Christiansen(1990)
0.163	0.199	0.67	51/52	1/35	1/67	1/07	0.158	0.193	0.70	67/46	1/66	2/01	1/44	Raghuwanshi & wallender(1998)

روزانه ايستگاه کامياران							روزانه ايستگاه قروه							روش
شيب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE	RMSE	MBE	شيب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE	RMSE	MBE	
0.164	1/22	0.48	24/63	1/21	1/53	0.165	0.166	1/20	0.50	23/04	1/15	1/47	0.48	Cuenca (1989)
0.163	1/25	0.52	26/19	1/23	1/55	0.170	0.163	1/28	0.51	27/72	1/21	1/55	0.60	Allen & pruit (1991)
0.163	1/30	0.47	21/66	1/20	1/52	0.158	0.164	1/30	0.50	22/98	1/15	1/51	0.49	Snyder (1992)
0.165	1/21	0.55	23/18	1/15	1/45	0.158	0.163	1/26	0.56	28/12	1/19	1/51	0.60	Orang (1998)
0.165	1/19	0.55	23/07	1/14	1/44	0.157	0.164	1/24	0.56	28/21	1/18	1/49	0.59	Modified Snyder
0.178	1/23	0.51	13/68	1/02	1/27	-0.32	0.178	1/27	0.52	13/29	1/05	1/32	-0.35	FAO-24 (Dry)
0.169	1/09	0.40	38/52	1/40	1/73	-1/02	0.159	2/20	0.37	23/95	1/33	1/68	-0.57	Pereira (1995)
0.166	0.193	0.64	39/35	1/22	1/53	0.192	0.167	1/01	0.66	36/17	1/15	1/41	0.68	Mohamed <i>et al.</i> (2008)
0.160	1/37	0.42	24/17	1/25	1/62	0.167	0.167	1/29	0.46	18/43	1/11	1/44	0.29	Christiansen(1990)
0.163	1/09	0.67	38/59	1/26	1/58	0.193	0.160	1/20	0.66	46/62	1/34	1/69	0.97	Raghuwanshi & wallender(1998)

روزانه ايستگاه بيجار							روزانه ايستگاه بانه							روش
شيب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE	RMSE	MBE	شيب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE	RMSE	MBE	
0.161	1/49	0.45	23/18	1/39	1/72	0.159	0.164	0.184	0.57	51/24	1/43	1/79	1/09	Cuenca (1989)
0.158	1/58	0.44	26/79	1/46	1/80	0.168	0.160	0.190	0.59	57/21	1/57	1/93	1/27	Allen & pruit (1991)
0.159	1/61	0.43	21/70	1/42	1/75	0.155	0.162	0.189	0.56	52/63	1/49	1/85	1/15	Snyder (1992)
0.160	1/48	0.51	27/57	1/40	1/73	0.167	0.161	0.193	0.61	54/97	1/51	1/88	1/20	Orang (1998)
0.161	1/46	0.51	27/35	1/38	1/71	0.166	0.175	0.192	0.61	54/17	1/49	3/28	1/17	Modified Snyder
0.173	1/51	0.47	15/04	1/20	1/49	-0.33	0.158	0.191	0.57	11/16	1/00	1/29	0.23	FAO-24 (Dry)
0.156	2/57	0.30	29/95	1/59	1/96	-0.12	0.166	0.161	0.49	13/14	1/27	1/63	0.32	Pereira (1995)
0.163	1/14	0.63	44/21	1/41	1/73	0.197	0.160	0.182	0.68	51/10	1/30	1/62	0.99	Mohamed <i>et al.</i> (2008)
0.162	1/43	0.45	23/20	1/35	1/69	0.157	0.166	0.195	0.53	34/59	1/19	1/59	0.74	Christiansen(1990)
0.158	1/31	0.64	48/18	1/58	1/95	1/17	0.158	0.198	0.69	61/19	1/65	2/02	1/38	Raghuwanshi & wallender(1998)

تبخیر و تعرق ماهانه

در این قسمت از پژوهش به برآورد و ارزیابی مقدار تبخیر و تعرق ماهانه با استفاده از روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر در ایستگاه‌های سینوپتیک کردستان (سقز، سنندج، بیجار، قروه، بانه، کامیاران، مریوان و زرینه) پرداخته شد. با استناد به مقادیر موجود در جدول (۴) و مقدار پارامترهای آماری MBE و RMSE که بیانگر میزان خطا در برآورد مقدار تبخیر و تعرق مرجع توسط روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر در مقیاس ماهانه است. مقدار میانگین خطای بدست آمده برای تک تک روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر در کل ایستگاه‌های مذکور نشان داد که در مقیاس ماهانه؛ روش‌های (1997) FAO-24 و (1990) Christiansen به ترتیب با مقادیر ۲۲/۵ و ۲۸/۹۷ میلی‌متر بر ماه، کمترین خطا و روش‌های (1991) Allen and Pruitt و (1998) Raghuwanshi & wallender به ترتیب با مقادیر ۴۱/۸۳ و ۴۹/۶۱ میلی‌متر بر ماه، بیشترین خطا را به خود اختصاص داده‌اند. به طور کلی ارزیابی نتایج مندرج در جدول (۴) و در نظر گرفتن میانگین ضریب جاکویدز (t) برای کل روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر در کل ایستگاه‌های مذکور، به ترتیب بیانگر مناسب بودن روش‌های (1997) FAO-24، (1990) Christiansen،

(1995) Snyder, (1989) Cuenca, (1992) Modified Snyder, (1991) Orang, (1998) Mohamed et al (2008) Snyder و Allen and Pruitt (1998) Raghuwanshi & wallender جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس ماهانه است. با توجه به یکسان بودن شرایط اعتبارسنجی روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر در ایستگاه‌های موردنظر، نتایج حاصل از نظر ظاهری بسیار به هم شبیه بوده و برای جلوگیری از تکرار؛ مقادیر تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شده از روش فائو پنمن مانیتیت به عنوان نمونه، برای ایستگاه سنندج ترسیم و نسبت به خط ۱:۱ و بهترین خط برازش داده شده مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به شکل (۲) در ایستگاه سنندج روش (1995) Pereira با (R2=۰/۸۵) و روش (1998) Raghuwanshi & wallender با (R2=۰/۹۲) کمترین و بیشترین مقدار همبستگی را به خود اختصاص داده‌اند به طور کلی متوسط ضریب همبستگی در تمام روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر در مقیاس روزانه برای ایستگاه سنندج برابر با ۰/۸۸ است که نشان‌دهنده این است که روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر برای برآورد مقدار تبخیر و تعرق در مقیاس ماهانه با داده‌های فائو پنمن مانیتیت، همبستگی مناسبی دارند.

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های آماری حاصله از مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق ماهانه از روش‌های محاسبه ضریب تشت و روش فائو پنمن مانیتیت بر حسب (mm. month⁻¹)

روش	ماهانه ایستگاه سنندج						ماهانه ایستگاه مریوان							
	MBE	RMSE	MAE	t	R ²	عرض از مبدا	شیب	MBE	RMSE	MAE	t	R ²	عرض از مبدا	شیب
Cuenca (1989)	۲۹/۱۱	۳۷/۲۱	۳۲/۸۷	۱۳/۷۰	۰/۸۷	۲۸/۹۶	۰/۶۷	۲۸/۹۶	۳۲/۸۷	۲۹/۱۱	۱۳/۷۰	۰/۸۷	۲۸/۹۶	۰/۶۷
Allen & pruit (1991)	۳۵/۳۴	۴۴/۲۰	۳۹/۲۵	۱۴/۵۲	۰/۸۸	۳۳/۵۰	۰/۶۲	۳۳/۵۰	۳۹/۲۵	۳۵/۳۴	۱۴/۵۲	۰/۸۸	۳۳/۵۰	۰/۶۲
Snyder (1992)	۳۱/۱۵	۳۹/۶۰	۳۵/۰۴	۱۳/۹۰	۰/۸۷	۳۱/۰۱	۰/۶۵	۳۱/۰۱	۳۵/۰۴	۳۱/۱۵	۱۳/۹۰	۰/۸۷	۳۱/۰۱	۰/۶۵
Orang (1998)	۳۳/۷۸	۴۳/۴۷	۳۸/۴۰	۱۳/۴۷	۰/۸۹	۳۶/۸۶	۰/۶۱	۳۶/۸۶	۳۸/۴۰	۳۳/۷۸	۱۳/۴۷	۰/۸۹	۳۶/۸۶	۰/۶۱
Modified Snyder	۳۲/۸۸	۴۲/۵۴	۳۷/۵۷	۱۳/۲۹	۰/۸۹	۳۶/۶۸	۰/۶۱	۳۶/۶۸	۳۷/۵۷	۳۲/۸۸	۱۳/۲۹	۰/۸۹	۳۶/۶۸	۰/۶۱
FAO-24 (Dry)	۰/۶۸	۱۷/۷۴	۱۴/۳۶	۰/۴۲	۰/۸۸	۳۲/۹۹	۰/۷۷	۳۲/۹۹	۱۴/۳۶	۰/۶۸	۰/۴۲	۰/۸۸	۳۲/۹۹	۰/۷۷
Pereira (1995)	۳/۵۹	۲۴/۷۳	۲۰/۳۹	۱/۶۰	۰/۸۵	۴۷/۶۵	۰/۶۶	۴۷/۶۵	۲۰/۳۹	۳/۵۹	۱/۶۰	۰/۸۵	۴۷/۶۵	۰/۶۶
Mohamed et al.(2008)	۲۷/۶۷	۳۶/۸۴	۳۲/۵۶	۱۲/۴۰	۰/۹۱	۳۴/۹۹	۰/۶۷	۳۴/۹۹	۳۲/۵۶	۲۷/۶۷	۱۲/۴۰	۰/۹۱	۳۴/۹۹	۰/۶۷
Christiansen(1990)	۱۶/۷۸	۲۵/۸۵	۲۱/۷۷	۹/۳۱	۰/۸۴	۲۲/۰۶	۰/۷۶	۲۲/۰۶	۲۱/۷۷	۱۶/۷۸	۹/۳۱	۰/۸۴	۲۲/۰۶	۰/۷۶
Raghuwanshi & wallender(1998)	۴۱/۵۹	۵۲/۰۵	۴۶/۶۴	۱۳/۷۸	۰/۹۲	۴۲/۹۶	۰/۵۵	۴۲/۹۶	۴۶/۶۴	۴۱/۵۹	۱۳/۷۸	۰/۹۲	۴۲/۹۶	۰/۵۵

روش	ماهانه ایستگاه سقز						ماهانه ایستگاه زرینه							
	MBE	RMSE	MAE	t	R ²	عرض از مبدا	شیب	MBE	RMSE	MAE	t	R ²	عرض از مبدا	شیب
Cuenca (1989)	۴۱/۹۷	۵۰/۳۶	۴۴/۴۸	۱۶/۴۵	۰/۸۸	۲۹/۳۷	۰/۶۰	۲۹/۳۷	۴۴/۴۸	۴۱/۹۷	۱۶/۴۵	۰/۸۸	۲۹/۳۷	۰/۶۰
Allen & pruit (1991)	۴۵/۶۱	۵۵/۳۱	۴۸/۸۰	۱۵/۹۱	۰/۸۹	۳۴/۱۷	۰/۵۶	۳۴/۱۷	۴۸/۸۰	۴۵/۶۱	۱۵/۹۱	۰/۸۹	۳۴/۱۷	۰/۵۶
Snyder (1992)	۴۲/۱۴	۵۰/۹۹	۴۵/۰۲	۱۶/۰۱	۰/۸۸	۳۱/۱۴	۰/۵۹	۳۱/۱۴	۴۵/۰۲	۴۲/۱۴	۱۶/۰۱	۰/۸۸	۳۱/۱۴	۰/۵۹
Orang (1998)	۴۱/۳۷	۵۱/۶۷	۴۵/۲۸	۱۴/۵۸	۰/۹۰	۳۶/۱۸	۰/۵۶	۳۶/۱۸	۴۵/۲۸	۴۱/۳۷	۱۴/۵۸	۰/۹۰	۳۶/۱۸	۰/۵۶
Modified Snyder	۴۰/۷۰	۵۰/۹۳	۴۴/۶۲	۱۴/۵۱	۰/۹۰	۳۵/۹۸	۰/۵۷	۳۵/۹۸	۴۴/۶۲	۴۰/۷۰	۱۴/۵۱	۰/۹۰	۳۵/۹۸	۰/۵۷
FAO-24 (Dry)	۱۰/۳۹	۲۲/۷۹	۱۸/۶۸	۵/۵۹	۰/۸۸	۳۳/۰۳	۰/۷۰	۳۳/۰۳	۱۸/۶۸	۱۰/۳۹	۵/۵۹	۰/۸۸	۳۳/۰۳	۰/۷۰

۰/۹۵	۳۸/۷۷	۰/۸۵	۲۰/۳۳	۳۴/۱۲	۳۷/۹۳	-۳۲/۴۲	۰/۶۵	۴۶/۸۶	۰/۸۷	۶/۷۵	۱۸/۹۶	۲۴/۰۹	۱۱/۶۵	Pereira (1995)
۰/۶۷	۲۵/۷۱	۰/۸۹	۱۳/۲۵	۳۵/۰۹	۴۰/۵۱	۳۱/۲۸	۰/۵۹	۳۳/۵۱	۰/۹۱	۱۵/۱۳	۴۳/۲۵	۴۹/۳۸	۴۰/۰۶	Mohamed et al.(2008)
۰/۷۵	۱۹/۸۷	۰/۸۳	۹/۷۷	۲۵/۷۲	۳۱/۵۹	۲۱/۰۷	۰/۶۹	۲۴/۲۵	۰/۸۴	۱۴/۸۶	۳۴/۵۶	۴۰/۳۸	۳۲/۵۵	Christiansen(1990)
۰/۶۴	۳۱/۸۵	۰/۹۲	۱۲/۰۶	۳۵/۴۳	۴۱/۷۵	۳۰/۹۶	۰/۵۲	۴۱/۷۰	۰/۹۲	۱۴/۰۷	۵۰/۹۹	۵۹/۲۴	۴۶/۸۲	Raghuwanshi & wallender(1998)

ماهانة ايستگاه كامياران						ماهانة ايستگاه قروه						روش		
شيب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE	RMSE	MBE	شيب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE		RMSE	MBE
۰/۷۰	۳۱/۴۲	۰/۸۸	۵/۶۵	۲۲/۹۱	۲۷/۹۹	۱۴/۷۵	۰/۶۶	۴۴/۵۷	۰/۸۰	۵/۰۸	۲۰/۶۸	۲۶/۷۰	۱۱/۲۸	Cuenca (1989)
۰/۷۲	۲۷/۰۵	۰/۹۳	۵/۹۲	۲۴/۹۶	۳۰/۳۳	۱۶/۵۴	۰/۶۲	۴۷/۷۴	۰/۸۰	۶/۲۹	۲۳/۹۱	۳۰/۳۷	۱۵/۱۶	Allen & pruit (1991)
۰/۷۰	۳۲/۸۴	۰/۸۸	۴/۸۷	۲۱/۸۸	۲۶/۹۴	۱۲/۷۰	۰/۶۴	۴۷/۲۷	۰/۸۰	۵/۰۶	۲۱/۶۶	۲۷/۹۵	۱۱/۷۷	Snyder (1992)
۰/۶۸	۳۶/۱۶	۰/۹۰	۴/۸۲	۲۲/۴۵	۲۷/۶۲	۱۲/۹۲	۰/۶۰	۵۰/۷۳	۰/۸۳	۶/۳۵	۲۵/۰۷	۳۱/۷۴	۱۵/۹۶	Orang (1998)
۰/۶۸	۳۵/۹۹	۰/۹۰	۴/۷۸	۲۲/۲۲	۲۷/۳۶	۱۲/۷۲	۰/۶۱	۵۰/۴۰	۰/۸۳	۶/۱۹	۲۴/۵۸	۳۱/۱۶	۱۵/۳۸	Modified Snyder
۰/۸۴	۳۴/۰۲	۰/۸۹	۴/۰۸	۱۸/۶۱	۲۲/۱۲	-۱۱/۲۵	۰/۷۵	۴۸/۷۲	۰/۸۱	۴/۵۹	۲۰/۹۷	۱۹/۰۴	-۱۲/۴۹	FAO-24 (Dry)
۰/۸۸	۴۷/۳۱	۰/۸۹	۹/۴۵	۳۵/۹۸	۳۹/۱۵	-۳۵/۴۵	۰/۶۴	۶۸/۶۹	۰/۷۴	۱۰/۱۰	۲۹/۲۹	۳۴/۴۴	-۲۲/۰۷	Pereira (1995)
۰/۶۶	۳۲/۳۷	۰/۹۲	۸/۲۳	۳۰/۲۲	۳۴/۳۶	۲۵/۰۴	۰/۶۳	۴۴/۱۰	۰/۸۶	۸/۱۶	۲۵/۰۸	۳۰/۷۸	۱۸/۴۴	Mohamed et al.(2008)
۰/۷۲	۲۸/۲۳	۰/۸۵	۵/۸۳	۲۳/۳۵	۲۸/۳۰	۱۵/۲۴	۰/۷۴	۳۶/۶۵	۰/۷۶	۱۰/۹۷	۱۷/۱۵	۲۲/۰۲	۱۳/۹۱	Christiansen(1990)
۰/۶۲	۳۸/۶۷	۰/۹۳	۷/۴۸	۳۲/۵۳	۳۷/۵۶	۲۳/۸۲	۰/۵۵	۵۲/۹۰	۰/۸۶	۹/۸۵	۳۵/۸۶	۴۲/۲۳	۲۸/۹۸	Raghuwanshi & wallender(1998)

ماهانة ايستگاه بيجار						ماهانة ايستگاه بانہ						روش		
شيب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE	RMSE	MBE	شيب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE		RMSE	MBE
۰/۶۱	۵۲/۸۱	۰/۷۲	۵/۵۱	۲۹/۱۴	۳۴/۸۴	۱۵/۷۰	۰/۶۷	۲۸/۴۸	۰/۸۷	۱۳/۲۲	۳۲/۵۳	۳۶/۹۲	۲۸/۷۷	Cuenca (1989)
۰/۵۷	۵۶/۷۵	۰/۷۱	۶/۱۰	۳۱/۸۵	۳۸/۴۶	۱۸/۷۸	۰/۶۳	۳۳/۱۴	۰/۸۷	۱۴/۰۲	۳۸/۸۶	۴۲/۸۳	۳۴/۹۳	Allen & pruit (1991)
۰/۵۹	۵۶/۸۷	۰/۷۰	۴/۸۵	۲۹/۷۴	۳۵/۸۰	۱۴/۵۵	۰/۶۵	۳۰/۶۲	۰/۸۷	۱۳/۴۳	۳۴/۷۲	۳۹/۳۴	۳۰/۸۴	Snyder (1992)
۰/۵۷	۵۸/۴۰	۰/۷۴	۶/۰۹	۳۲/۰۶	۳۹/۰۴	۱۹/۰۲	۰/۶۱	۳۶/۵۰	۰/۸۹	۱۳/۰۲	۳۸/۰۲	۴۲/۱۲	۳۳/۴۰	Orang (1998)
۰/۵۷	۵۷/۸۴	۰/۷۵	۶/۰۴	۳۱/۶۵	۳۸/۵۱	۱۸/۶۶	۰/۶۲	۳۶/۳۰	۰/۸۹	۱۲/۸۴	۳۷/۱۸	۴۲/۱۹	۳۲/۵۰	Modified Snyder
۰/۷۱	۵۶/۵۹	۰/۷۳	۵/۷۳	۲۳/۹۰	۲۹/۴۴	-۱۳/۱۶	۰/۷۷	۳۲/۶۱	۰/۸۷	۰/۳۲	۱۴/۴۲	۱۶/۸۲	۰/۵۳	FAO-24 (Dry)
۰/۵۹	۸۲/۲۹	۰/۵۹	۹/۳۶	۳۷/۷۸	۴۴/۸۸	-۲۹/۲۳	۰/۶۶	۴۷/۶۲	۰/۸۴	۱/۶۲	۲۰/۶۲	۲۴/۹۷	۳/۷۶	Pereira (1995)
۰/۶۰	۴۶/۵۶	۰/۸۳	۹/۵۱	۳۶/۰۷	۴۱/۸۱	۲۹/۰۱	۰/۶۵	۳۴/۲۹	۰/۹۱	۱۱/۹۸	۳۱/۹۶	۳۶/۱۹	۲۲/۰۸	Mohamed et al.(2008)
۰/۶۹	۴۰/۶۰	۰/۷۴	۵/۹۹	۲۵/۶۰	۲۹/۸۱	۱۴/۸۶	۰/۷۷	۲۰/۳۱	۰/۸۴	۸/۹۱	۲۱/۳۴	۲۵/۴۵	۱۶/۲۲	Christiansen(1990)
۰/۵۳	۵۶/۳۳	۰/۸۱	۱۰/۵۰	۴۴/۰۵	۵۲/۰۲۳	۳۶/۱۰	۰/۵۶	۴۲/۷۵	۰/۹۲	۱۳/۲۶	۴۶/۱۱	۵۲/۴۵	۴۰/۹۲	Raghuwanshi & wallender(1998)

تبخير و تعرق فصلی

در این قسمت از پژوهش جهت تعیین مقدار تبخیر و تعرق در مقیاس زمانی طولانی به برآورد و ارزیابی مقدار تبخیر و تعرق فصلی با استفاده از روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر در ایستگاه‌های سینوپتیک کردستان (سقز، سنندج، بیجار، قروه، بانه، کامیاران، مریوان و زرینه) پرداخته شد. با استناد به مقادیر موجود در جدول (۵) و مقدار پارامترهای آماری MBE و RMSE که بیانگر میزان خطا در برآورد مقدار تبخیر و تعرق مرجع توسط روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر در مقیاس فصلی است. مقدار میانگین خطای بدست آمده برای تک تک روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر در کل ایستگاه‌های مذکور نشان داد که در مقیاس فصلی؛ روش‌های (1997) FAO-24 و (1990) Christiansen به ترتیب با مقادیر ۲۲/۵ و ۲۸/۹۷ میلی‌متر بر ماه، کمترین خطا و روش‌های (1991) Allen and Pruitt و (1998) Raghuwanshi & wallender به ترتیب با مقادیر ۴۱/۸۳ و ۴۹/۶۱ میلی‌متر بر

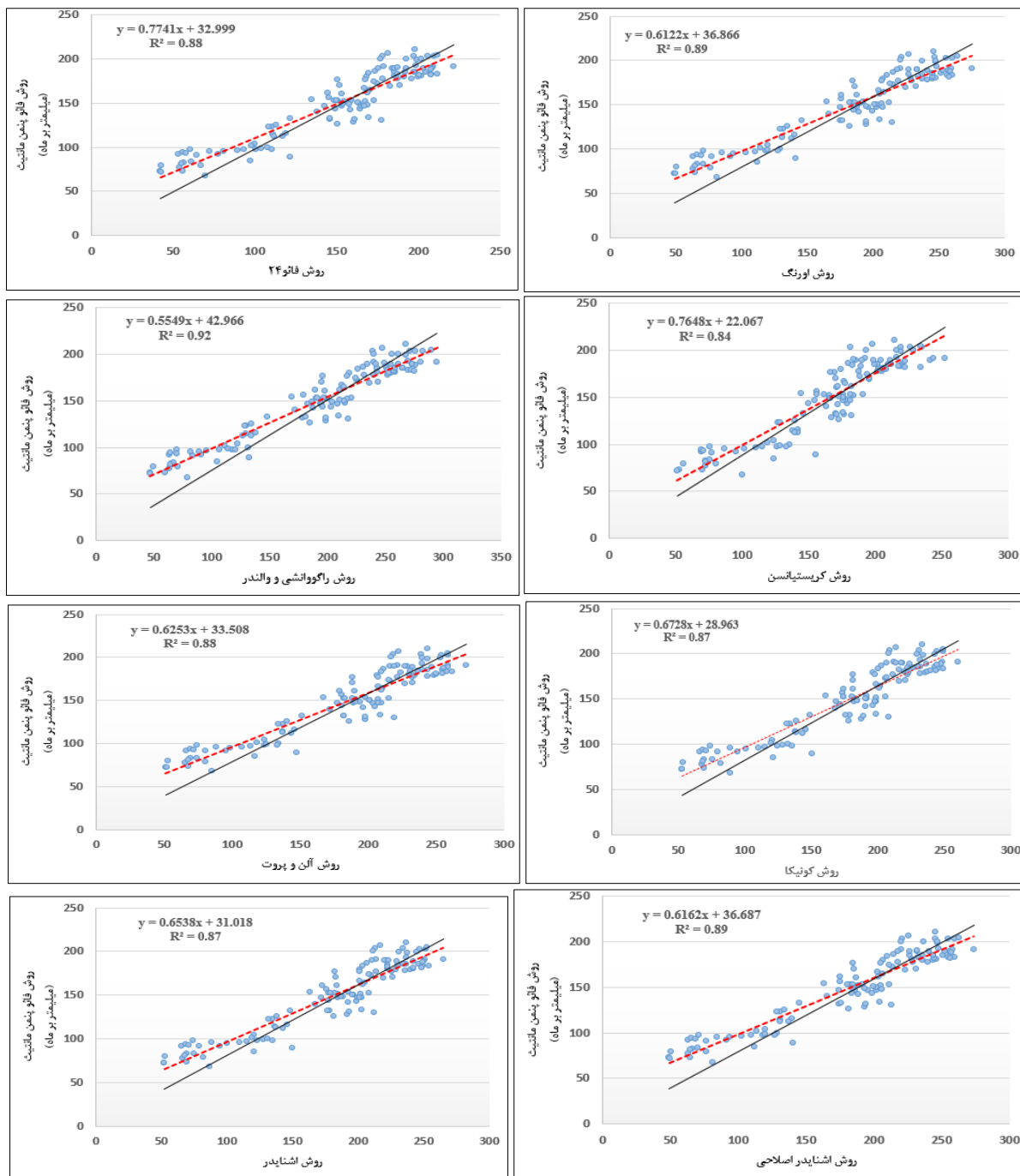
ماه، بیشترین خطا را به خود اختصاص داده‌اند.

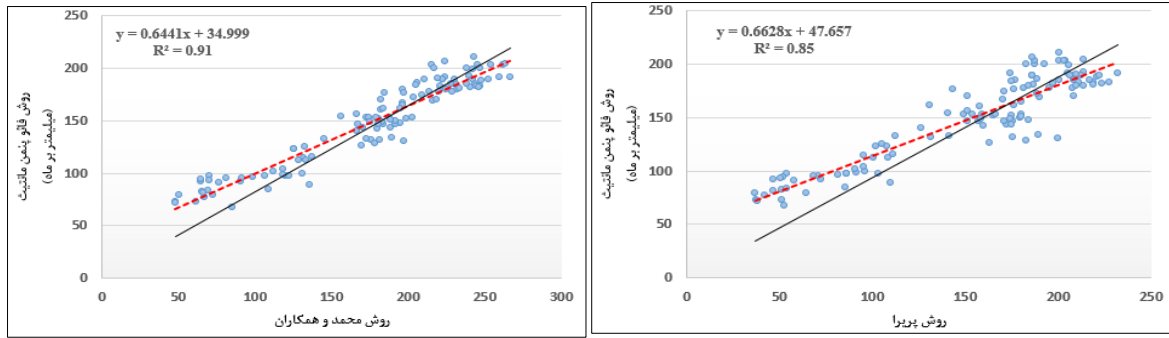
به طور کلی ارزیابی نتایج مندرج در جدول (۵) و در نظر گرفتن میانگین ضریب جاکویدز (t) برای کل روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر در کل ایستگاه‌های مذکور، به ترتیب بیانگر مناسب بودن روش‌های (1997) FAO-24, (1990) Christiansen, (1989) Cuenca, (1992) Modified Snyder, (1995) Pereira, (2008) Mohamed et al, (1998) Orang, (1991) Allen and Pruitt و (1998) Raghuwanshi & wallender جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس فصلی است.

با توجه به اینکه در جداول (۳، ۴ و ۵) مقدار ضریب جاکویدز (t) در بازه زمانی روزانه، ماهانه و فصلی به ترتیب به صورت نزولی کاهش پیدا کرده و مقدار ضریب همبستگی (R²) به صورت صعودی افزایش یافته است می‌توان به این رویکرد دست یافت که روش‌های برآورد ضریب تشت تبخیر جهت برآورد مقدار

داده‌اند به طور کلی متوسط ضریب همبستگی در تمام روش‌های برآورد ضریب تشمت تبخیر در مقیاس روزانه برای ایستگاه سنجد برابر با ۰/۸۹ است که نشان‌دهنده این است که روش‌های برآورد ضریب تشمت تبخیر برای برآورد مقدار تبخیر و تعرق در مقیاس فصلی با داده‌های فائو پنمن مانیت، همبستگی مناسبی دارند.

تبخیر و تعرق در بازه زمانی طولانی عملکرد مناسبی دارند و مطابق با نتایج پژوهش (yazdani et al, 2011) است. با توجه به شکل (۴) در ایستگاه سنجد روش Pereira با $R^2=0/87$ و روش Raghuwanshi & wallender با $R^2=0/93$ کمترین و بیشترین مقدار همبستگی را به خود اختصاص





شکل ۳- نمودار همبستگی بین مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده از روش فائو پنمن مانیتیت و روش های برآورد ضريب تشت تبخیر به صورت ماهانه، در بازه زمانی (۹۷-۱۳۷۸) در ایستگاه سینوپتیک سندنجد (خط ممتد بیانگر خط ۱:۱ و خط نقطه چین بیانگر خط رگرسیون)

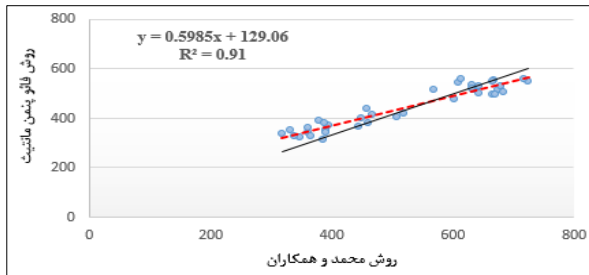
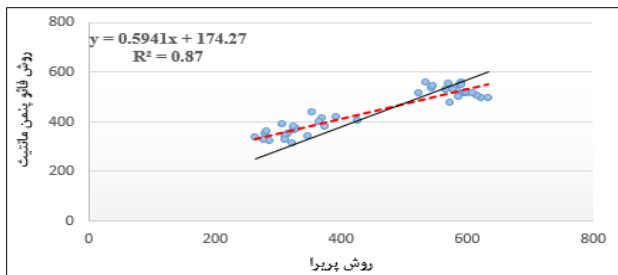
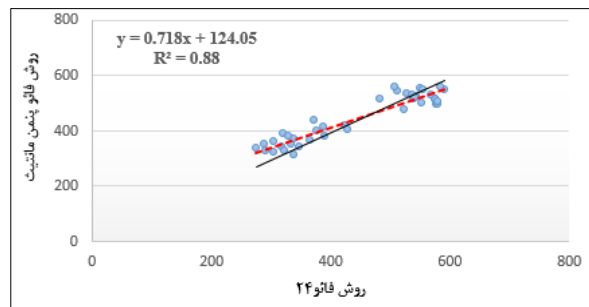
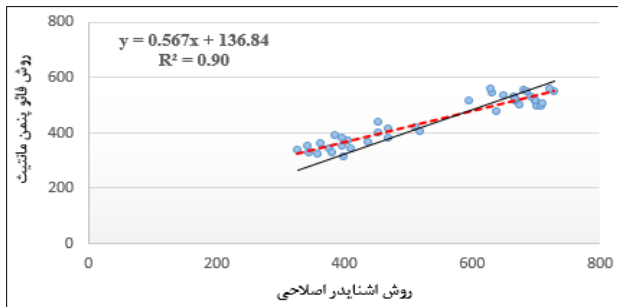
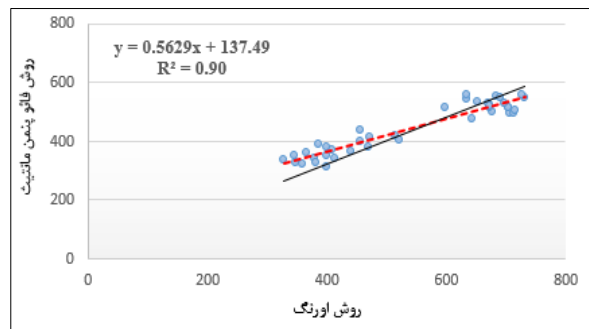
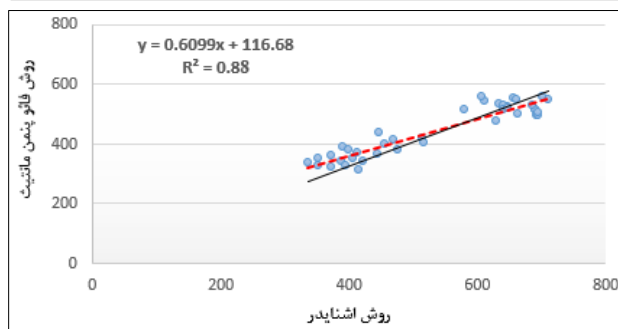
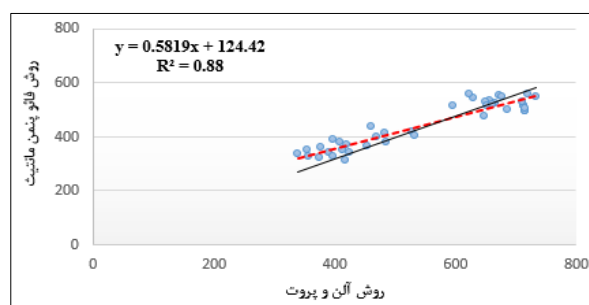
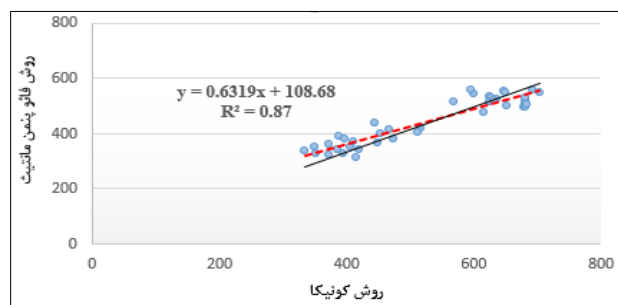
جدول ۵- مقادیر شاخص های آماری حاصله از مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق فصلی از روش های محاسبه ضريب تشت و روش فائو پنمن مانیتیت (mm. Season⁻¹)

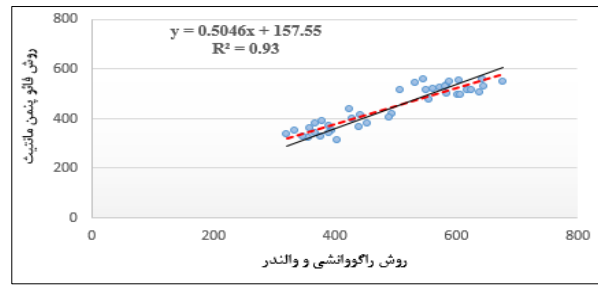
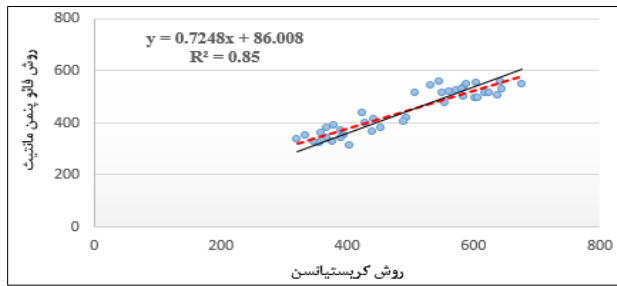
فصلی ایستگاه مریوان						فصلی ایستگاه سندنجد						روش		
شیب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE	RMSE	MBE	شیب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE		RMSE	MBE
۰/۶۸	۶۳/۳۶	۰/۸۳	۹/۴۹	۱۰۶/۲۹	۱۱۸/۵۰	۹۸/۹۷	۰/۶۳	۱۰۸/۶۸	۰/۸۷	۹/۹۹	۸۷/۵۱	۱۰۲/۹۵	۸۷/۳۱	Cuenca (1989)
۰/۶۲	۸۱/۴۰	۰/۸۴	۹/۵۱	۱۰۹/۰۲	۱۳۵/۲۸	۱۱۳/۰۸	۰/۵۸	۱۲۴/۴۲	۰/۸۷	۱۰/۴۱	۱۰۵/۹۸	۱۲۳/۵۸	۱۰۵/۹۸	Allen & pruit (1991)
۰/۶۶	۷۰/۲۸	۰/۸۳	۹/۴۵	۱۱۰/۸۸	۱۲۴/۲۷	۱۰۳/۶۸	۰/۶۰	۱۱۶/۶۸	۰/۸۸	۱۰/۰۳	۹۲/۵۷	۱۱۰/۰۶	۹۳/۴۲	Snyder (1992)
۰/۶۳	۸۷/۰۳	۰/۸۶	۸/۵۶	۱۰۷/۱۰	۱۲۲/۵۲	۹۸/۹۸	۰/۵۶	۱۳۷/۴۹	۰/۹۰	۹/۴۲	۱۰۲/۱۱	۱۲۱/۵۵	۱۰۱/۳۱	Orang (1998)
۰/۶۳	۸۶/۴۲	۰/۸۶	۸/۴۵	۱۰۴/۸۱	۱۱۹/۸۴	۹۶/۳۸	۰/۵۶	۱۳۶/۸۴	۰/۹۰	۹/۳۰	۹۹/۶۴	۱۱۸/۸۰	۹۸/۶۲	Modified Snyder
۰/۶۰	۳۱/۳۰	۰/۷۴	۳/۱۵	۶۱/۴۶	۷۵/۴۱	۳۳/۹۶	۰/۷۱	۱۲۴/۰۵	۰/۸۸	۰/۳۰	۳۴/۷۹	۴۲/۱۷	۲/۰۵	FAO-24 (Dry)
۰/۵۶	۱۵۰/۰۵	۰/۷۶	۲/۸۳	۷۴/۱۸	۸۷/۶۹	۳۶/۱۶	۰/۵۹	۱۷۴/۲۷	۰/۸۷	۱/۱۰	۵۱/۷۴	۶۲/۱۵	۱۰/۷۸	Pereira (1995)
۰/۶۸	۷۹/۶۰	۰/۸۹	۷/۴۹	۸۳/۰۵	۹۴/۷۲	۷۶/۷۶	۰/۶۰	۱۲۹/۰۶	۰/۹۰	۸/۷۵	۸۵/۳۸	۱۰۱/۹۶	۸۲/۹۸	Mohamed et al.(2008)
۰/۶۷	۸۲/۶۲	۰/۷۷	۶/۶۷	۷۸/۱۶	۹۱/۸۶	۶۷/۰۷	۰/۷۲	۸۶/۰۰	۰/۸۹	۷/۱۵	۵۴/۹۳	۶۶/۷۸	۵۰/۳۰	Christiansen(1990)
۰/۵۹	۱۰۵/۴۰	۰/۹۰	۷/۹۱	۱۰۹/۰۶	۱۲۸/۶۶	۱۰۰/۹۸	۰/۵۰	۱۵۷/۵۵	۰/۹۳	۹/۴۶	۱۲۵/۵۲	۱۴۹/۵۰	۱۲۴/۷۶	Raghuwanshi & wallender(1998)

فصلی ایستگاه زرینه						فصلی ایستگاه سقز						روش		
شیب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE	RMSE	MBE	شیب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE		RMSE	MBE
۰/۷۰	۸۸/۶۹	۰/۸۷	۶/۳۳	۶۴/۶۸	۸۰/۶۹	۵۷/۴۴	۰/۶۴	۱۲۱/۳۵	۰/۸۹	۸/۰۶	۷۷/۳۸	۹۶/۰۰	۷۵/۸۹	Cuenca (1989)
۰/۶۶	۱۰۱/۹۲	۰/۹۰	۶/۲۸	۶۸/۴۹	۸۵/۳۹	۶۰/۵۳	۰/۵۸	۱۴۴/۶۲	۰/۹۰	۷/۷۶	۸۹/۶۱	۱۱۱/۴۵	۸۶/۸۱	Allen & pruit (1991)
۰/۷۰	۹۴/۳۵	۰/۸۸	۵/۵۰	۵۹/۹۴	۷۴/۹۲	۴۹/۵۲	۰/۶۲	۱۳۰/۲۸	۰/۹۰	۷/۷۰	۷۸/۶۸	۹۸/۳۷	۷۶/۴۱	Snyder (1992)
۰/۶۶	۱۱۰/۴۰	۰/۹۱	۵/۲۵	۶۳/۸۲	۷۸/۸۷	۵۰/۷۳	۰/۵۷	۱۵۶/۷۴	۰/۹۲	۶/۴۵	۸۱/۵۶	۱۰۳/۱۴	۷۴/۰۹	Orang (1998)
۰/۶۷	۱۰۹/۶۵	۰/۹۱	۵/۲۴	۶۳/۴۷	۷۸/۳۵	۵۰/۳۶	۰/۵۸	۱۵۶/۰۰	۰/۹۱	۶/۳۵	۷۹/۹۲	۱۰۱/۰۹	۷۲/۰۸	Modified Snyder
۰/۸۳	۱۰۱/۲۸	۰/۹۰	۵/۳۷	۴۴/۷۴	۵۲/۳۶	-۳۴/۱۵	۰/۷۳	۱۴۰/۴۶	۰/۹۰	۲/۶۷	۴۱/۴۲	۴۷/۹۵	-۱۸/۸۴	FAO-24 (Dry)
۰/۸۷	۱۳۸/۵۸	۰/۸۷	۱۹/۲۸	۹۳/۷۲	۹۸/۵۱	-۹۳/۷۲	۰/۸۹	۱۹۶/۲۲	۰/۸۹	۴/۸۶	۶۲/۶۰	۷۳/۳۵	-۴۵/۰۳	Pereira (1995)
۰/۶۳	۱۰۱/۸۵	۰/۸۹	۸/۲۲	۹۲/۸۵	۱۱۲/۸۳	۸۹/۸۳	۰/۵۹	۱۴۸/۸۹	۰/۹۲	۶/۵۴	۷۷/۶۱	۹۷/۰۰	۷۰/۱۳	Mohamed et al.(2008)
۰/۷۲	۷۸/۴۰	۰/۸۶	۶/۶۹	۶۵/۱۶	۸۱/۳۴	۵۹/۴۵	۰/۷۰	۱۰۶/۴۲	۰/۸۶	۵/۸۹	۵۲/۹۱	۶۹/۳۷	۴۷/۶۰	Christiansen(1990)
۰/۵۹	۱۲۴/۸۸	۰/۹۳	۷/۱۴	۹۵/۳۶	۱۱۷/۱۱	۸۸/۱۳	۰/۵۲	۱۸۲/۹۳	۰/۹۳	۶/۲۷	۱۰۱/۵۰	۱۲۷/۶۲	۹۰/۴۲	Raghuwanshi & wallender(1998)

فصلی ایستگاه کامیاران						فصلی ایستگاه قره						روش		
شیب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE	RMSE	MBE	شیب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE		RMSE	MBE
۰/۷۱	۹۲/۷۹	۰/۹۱	۴/۲۶	۵۰/۴۶	۶۶/۷۱	۴۲/۳۱	۰/۶۱	۱۵۸/۸۳	۰/۷۷	۳/۳۱	۴۹/۱۹	۶۶/۸۴	۳۱/۳۲	Cuenca (1989)
۰/۶۷	۱۰۸/۹۶	۰/۹۲	۴/۲۷	۵۶/۳۹	۷۵/۱۱	۴۷/۶۷	۰/۵۷	۱۷۰/۱۵	۰/۷۷	۴/۱۴	۵۷/۳۷	۷۷/۸۲	۴۲/۹۸	Allen & pruit (1991)
۰/۷۰	۹۹/۹۳	۰/۹۰	۳/۵۸	۴۸/۰۳	۶۳/۷۸	۳۶/۱۶	۰/۵۹	۱۶۹/۵۶	۰/۷۶	۳/۲۷	۵۲/۲۰	۷۰/۷۸	۳۲/۸۰	Snyder (1992)
۰/۶۷	۱۱۵/۴۵	۰/۹۳	۳/۳۹	۵۲/۴۸	۶۸/۰۸	۳۷/۱۷	۰/۵۴	۱۸۳/۵۵	۰/۸۰	۴/۰۶	۶۲/۸۳	۸۳/۲۵	۴۵/۳۸	Orang (1998)
۰/۶۷	۱۱۴/۵۷	۰/۹۳	۳/۳۶	۵۱/۹۲	۶۷/۲۶	۳۶/۵۶	۰/۵۵	۱۸۲/۳۸	۰/۸۰	۳/۹۶	۶۱/۷۲	۸۱/۵۷	۴۳/۶۴	Modified Snyder
۰/۸۴	۱۰۶/۱۳	۰/۹۲	۶/۴۶	۵۰/۶۸	۵۶/۸۸	-۴۴/۳۳	۰/۶۹	۱۷۵/۸۸	۰/۷۷	۶/۱۶	۶۱/۱۶	۶۹/۷۳	-۴۸/۹۵	FAO-24 (Dry)
۰/۷۸	۱۶۰/۹۴	۰/۹۱	۱۰/۵۳	۸۸/۵۸	۹۵/۳۴	-۸۵/۵۰	۰/۵۵	۲۴۴/۰۱	۰/۷۰	۶/۰۹	۸۵/۸۷	۹۸/۳۲	-۶۸/۶۷	Pereira (1995)
۰/۶۶	۱۰۰/۲۰	۰/۹۴	۶/۰۲	۷۰/۱۴	۸۸/۷۴	۶۷/۱۵	۰/۵۸	۱۶۰/۲۸	۰/۸۳	۵/۳۴	۶۴/۷۸	۸۱/۲۶	۵۲/۷۹	Mohamed et al.(2008)
۰/۷۳	۸۱/۸۹	۰/۸۹	۴/۵۷	۵۰/۰۰	۶۵/۹۸	۴۳/۵۶	۰/۷۲	۱۱۹/۶۵	۰/۷۸	۱/۲۵	۳۴/۵۱	۴۶/۹۸	۹/۲۱	Christiansen(1990)
۰/۶۰	۱۲۸/۰۷	۰/۹۵	۵/۰۳	۷۷/۰۲	۹۹/۶۵	۶۹/۳۱	۰/۴۹	۱۹۲/۱۶	۰/۸۴	۶/۳۶	۹۳/۲۲	۱۱۸/۲۸	۸۴/۴۱	Raghuwanshi & wallender(1998)

فصلی ایستگاه بیجار							فصلی ایستگاه بانه					روش		
شیب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE	RMSE	MBE	شیب	عرض از مبدا	R ²	t	MAE		RMSE	MBE
۰/۶۴	۱۵۲/۰۹	۰/۷۳	۳/۳۳	۶۰/۸۲	۷۸/۵۹	۳۷/۰۲	۰/۷۶	۵۰/۹۰	۰/۹۰	۱۰/۶۹	۷۳/۳۴	۸۴/۱۴	۷۳/۱۳	Cuenca (1989)
۰/۶۰	۱۶۷/۸۷	۰/۷۲	۳/۸۰	۶۸/۶۴	۸۸/۹۷	۴۶/۲۵	۰/۷۰	۷۰/۳۹	۰/۹۱	۱۱/۳۳	۹۱/۶۱	۱۰۳/۹۷	۹۱/۶۱	Allen & pruit (1991)
۰/۶۱	۱۶۹/۰۸	۰/۷۱	۲/۸۲	۶۲/۶۷	۸۱/۵۳	۳۳/۵۷	۰/۷۴	۶۱/۵۳	۰/۹۱	۱۰/۷۶	۷۹/۵۰	۹۱/۱۴	۷۹/۳۴	Snyder (1992)
۰/۵۸	۱۷۶/۷۰	۰/۷۵	۳/۷۶	۷۰/۰۹	۹۱/۱۸	۴۶/۹۹	۰/۶۷	۹۰/۳۱	۰/۹۲	۸۷/۸۵	۸۷/۸۵	۱۰۲/۳۸	۸۷/۰۲	Orang (1998)
۰/۵۹	۱۷۴/۵۵	۰/۷۵	۳/۷۲	۶۸/۹۱	۸۹/۶۸	۴۵/۹۰	۰/۶۸	۸۹/۵۰	۰/۹۲	۹/۶۶	۸۵/۳۹	۹۹/۶۳	۸۴/۳۱	Modified Snyder
۰/۷۳	۱۶۸/۹۷	۰/۷۳	۵/۵۴	۶۶/۶۱	۷۹/۱۳	-۵۲/۵۲	۰/۸۶	۷۱/۳۹	۰/۹۱	۲/۱۷	۲۸/۶۴	۳۴/۴۶	۱۱/۵۸	FAO-24 (Dry)
۰/۵۳	۲۷۴/۷۱	۰/۵۹	۶/۸۵	۱۰۴/۸۷	۱۲۵/۴۷	-۹۲/۶۹	۰/۷۱	۱۳۳/۵۶	۰/۹۰	۴/۲۳	۴۰/۷۹	۴۹/۱۲	۱۰/۸۶	Pereira (1995)
۰/۶۳	۱۲۹/۹۰	۰/۸۲	۷/۳۵	۸۰/۹۴	۱۰۰/۹۶	۷۶/۹۳	۰/۷۱	۸۱/۰۶	۰/۹۲	۸/۷۷	۷۰/۵۷	۸۲/۸۱	۶۸/۰۵	Mohamed <i>et al.</i> (2008)
۰/۷۵	۱۰۰/۳۷	۰/۷۸	۳/۵۸	۵۰/۲۱	۶۳/۲۲	۳۱/۴۶	۰/۸۹	۱۷/۷۷	۰/۸۸	۶/۰۹	۴۰/۳۵	۵۰/۱۳	۳۵/۴۸	Christiansen(1990)
۰/۵۵	۱۶۹/۳۷	۰/۸۲	۷/۲۱	۱۰۳/۳۳	۱۲۹/۹۴	۹۸/۱۹	۰/۶۰	۱۱۸/۵۲	۰/۹۲	۹/۵۴	۱۱۰/۳۹	۱۲۹/۹۸	۱۰۵/۵۹	Raghuwanshi & wallender(1998)





شکل ۴- نمودار همبستگی بین مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده از روش فائو پنمن مانیتث و روشهای برآورد ضریب تشت تبخیر به صورت فصلی، در بازه زمانی (۹۷-۱۳۷۸) در ایستگاه سینوپتیک سنندج (خط ممتد بیانگر خط ۱:۱ و خط نقطه چین بیانگر خط رگرسیونی)

ماهانه و فصلی بهترین عملکرد را داشته‌اند اما روش‌های (1991) Allen and Pruitt و (1998) Raghuwanshi & wallender از نظر پارامترهای آماری دارای دقت قابل قبولی برای محاسبه ضریب تشت تبخیر در این منطقه نمی‌باشند. در پایان پیشنهاد می‌شود با توجه به متغیر بودن مقدار ضریب تشت تبخیر در بازه‌های زمانی (روزانه، ماهانه و فصلی) و در شرایط آب و هوایی مختلف تشت تبخیر برای مناطق مختلف تعیین شود و در یک بازه زمانی مناسب برای هر منطقه مطالعاتی بهترین روش معرفی گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

نتیجه‌گیری

با توجه به نمودارها، جداول و بررسی‌های به‌عمل آمده می‌توان نتیجه گرفت که با تصحیح مقادیر تبخیر از تشت توسط هر یک از معادله‌های تجربی می‌توان مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع را برآورد نمود، لیکن باید معادله‌ای را انتخاب کرد که تبخیر و تعرق قابل قبولی را برآورد نماید. از آنجا که در منطقه مورد مطالعه، آمار تبخیر و تعرق مرجع لایسیمیتری وجود ندارد لذا از روش فائو پنمن مانیتث به عنوان روش استاندارد و قابل قبول برای ارزیابی مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع بدست آمده از روش تشت تبخیر استفاده گردید. نتایج پارامترهای آماری نشان داد که دو روش (1997) FAO-24 و (1990) Christiansen در مقیاس روزانه،

REFERENCES

- Abdel-Wahed Mohamed, H. and Snyder Richar L. (2008) Simple Equation to Estimate Reference Evapotranspiration from Evaporation Pans Surrounded by Fallow Soil. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(4), 425-429.
- Allen, R. G. and Pruitt, W. O. (1991) FAO-24 reference evapotranspiration factors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 110(3), 289-303.
- Conceiao, M. A. F. (2002) Reference evapotranspiration based on class Pan Evaporation. *Scientia Agricola*, 59 (3), 417-420.
- Cuenca, R.H. (1989) *Irrigation System design an engineering approach*. New Jersey: Prentice Hall.
- Ditthakit, P. and Kaewthong, N. (2020) Estimating Pan Coefficient Using Soft Computing Methods. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 11(3), 51-62.
- Estahbanati, S. and Bakhtiari, B. (2016) Comparing evapotranspiration obtained from some of pan evaporation equations using ASCE Standard Penman-Monteith model in an arid climate. *Journal Irrigation and water Engineering*. 6(4), 90-102. (In Farsi)
- Ganji, H., Kajisa, T., Kondo, M., Ito, R. and Rostami, B. (2017) Re- Examining the validity of reference evapotranspiration estimation in Herat, Afghanistan. *International Journal of Geomate*. 12 (30), 61-68.
- Ghamarnia, H. and Soltani, N. (2019) Evaluating the Efficiency of Empirical Estimation of Reference Evapotranspiration (Pan Based Method) in Different Climate Conditions of Iran. *Iran-Water Resources Research*, 14(4), 174-193. (In Farsi).
- Ghamarnia, H., Dai chin, S., Jalili, Z and Farmani fard, M. (2012) Comparison of Evaporation Panel Estimation Methods for Calculating Evapotranspiration of Reference Plant (Case Study: Zanjan Synoptic Station). *Third National Conference on Comprehensive Water Resources Management*, 24-30. (In Farsi).
- Gundekar, H. G., Sarkar, S. and Rai, R. K. (2008) Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region. *Irrigation Science*, 26, 169-175.
- Hanafi, A. and Hatami, A. (2013) Preparation of climate map of Kurdistan province using geographic information systems. *Sepehr Magazine*, 22(87), 24-28. (In Farsi)
- Heydari, M. and Heydari, M. (2014) Evaluation of pan coefficient equations for estimating reference crop evapotranspiration in the arid region. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(5), 715-731.
- Idlan Muhammad, M.K., Nashwan, M.S. Shahid, S. Ismail, T.B. Hoon Song, Y. and Chung, E.S. (2019) Evaluation of empirical reference evapotranspiration models using compromise

- programming: A case study of Peninsular Malaysia. Sustainability.
- Irmak S, Haman D Z, and Jones J W. (2002) Valuation of class pans coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE 128(3):153-159.
- Jacovides, C.P. (1997) Reply to comment on Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration models, *Agriculture water Management*.
- Jensen, M. E. (1974) Consumptive use of water and irrigation water requirements. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. ASCE, 89, 15-41.
- Kajisa, T. and Ganji, H. (2019) Assessing reference evapotranspiration using Penman Monteith and Pan Methods in the west region of Afghanistan. *International Journal of Geomate*. 16 (56), 209 – 216.
- Kar, K.S., Nema, A.K., Mishra, C.D. and Sinha, B.L. (2017) Evaluation of Class-A Pan Coefficient Models for Estimation of Reference Crop Evapotranspiration for Dry Sub-humid Climates. *Journal of Agricultural Engineering*. 54 (3), 67-74.
- Li, Y.L., Cui, J.Y., Zhang, T.H. and Zhao, H.L. (2003) Measurement of evapotranspiration of irrigation spring wheat and maize in a semi-arid region of North china. *Agricultural Water Management*, 61, 1-12.
- Modaberi, H., Asari, M., Rahimipoor, M.A. and Moghadami, SH. (2013) Estimation of Evaporation and Transpiration of the Reference Plant Best Evaporation Plate Coefficient and Rice Plant Coefficients Using Measurement of Evaporation Plate Data in Rice Plant Growth Period Case Study of Guilan Swamp Plain. *Conference on Agricultural and Environmental Sciences*. (In Farsi).
- Namdaryan, K., Naseri, A., Izadpanah, Z. and Maleki, A. (2015) Comparison of FAO Penman Monthith method and Class A evaporation pan with lysimetric data in estimating evapotranspiration of chickpea in Khorramabad region. *Iranian Journal of pulses Research*, 6(1),92-99. (In Farsi).
- Orang, M. (1998) Potential accuracy of the popular non-linear regression equation for estimating pan coefficient values in the original and FAO-24 tables. Unpublished California Departments of Water Resources Report, Sacramento, Calif
- Pereira, A.R., Villanova, N., Pereira, A.S. and Baebieri, V.A. (1995) A model for the class-A pan coefficient. *Agricultural Water Management*, volume 76, 75-82.
- Pradhan, S., Sehgal, V.K., Das, D.K., Bandyopadhyay, K.K. and Singh, R. (2013) Evaluation of pan coefficient methods for estimating FAO-56 reference crop evapotranspiration in a semi-arid environment. *Journal of Agrometeorology*. 15 (1), 90-93.
- Raghuwanshi, N.S. and Wallender, W.W. (1998) Converting from pan evaporation to evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, volume 118.
- Shokri, S., Hooshmand, A. and Ghorbani, M. (2016) The Estimation evaporation pan coefficient for calculating reference evapotranspiration in Ahvaz. *Journal of Irrigation Science and Engineering*. 40(1), 1-12. (In Farsi).
- Snyder, R.L. (1992) Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 118(6), 977-980.
- Soltani gard faramarzi, S. and Ahlalsadaj, M. (2019) Evaluation of Evaporation Panel Estimation Methods (Case Study: Yazd Synoptic Station). 15th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, 1-11. (In Farsi).
- Sorosh, F. (2010) Evaluation of pan evaporation coefficient models for estimating reference plant evapotranspiration in a desert climate. 15th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction.
- Stan, N.L. and Neculau, G. (2015) Estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation data in Romania. *Romanian Journal of meteorology*. 12 (1), 65-73.
- Yazdani, V., Liaghat, A., Noori H. and Zare Abianeh, H. (2011) A Determination of the best model for calculation of pan coefficient in Amol as based on sensitivity analysis. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 42(1), 9-17 (In Farsi).
- Zainalzadae, K., Habib zadeh, B. and Adl, F. (2008) Assessment of the most appropriate pan coefficient in estimating evapotranspiration potential Case study: Urmia plain. *Proceedings of the Second National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management*, 15-22. (In Farsi).
- Zare-Abyaneh, H., shabani, M., Marofi, M. and Hosain zadeh talaii, P (2009). Assessment of the most appropriate coefficient of evaporator class-A pan in estimating potential evapotranspiration in Shiraz. *National Conference on Water Crisis in Agriculture and Natural Resources*, 11-18. (In Farsi)