

ارزیابی روش های مختلف بر آورد تبخیر و تعرق مرجع با روش تست تبخیر فائو در حوضه آبریز شرق و جنوب شرق کشور*

جواد خوشحال**

دانشیار دانشکده جغرافیای دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

حمید زارع ایبانه

دانشیار دانشکده مهندسی آب دانشگاه ابوعلی سینا همدان، همدان، ایران

علیرضا جوشنی

دانشجوی دکتری رشته اقلیم شناسی دانشکده جغرافیای دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۶/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۷

چکیده

برآورد تبخیر و تعرق مرجع جهت برآورد نیاز آبی گیاهان، مدیریت طرح های آبی و زهکشی و زمان آبیاری گیاهان از ضروریات بخش کشاورزی می باشد. لذا در این پژوهش به منظور یافتن بهترین مدل برآورد تبخیر و تعرق مرجع منطبق بر تبخیر و تعرق حاصل از داده های تست تبخیر برای حوضه آبریز شرق و جنوب شرقی کشور، از اطلاعات ۶۶ ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری مستقر در حوضه آبریز استفاده شد. سپس با تکیه بر روش خوشه بندی، ایستگاه ها بر اساس آزمون فیشر و توکی به ۳ خوشه تقسیم و تبخیر و تعرق مرجع حاصل از تست تبخیر این ۳ خوشه با مقادیر تبخیر و تعرق مستخرج از ۸ معادله تبخیر و تعرق بر اساس پارامترهای آماری $NRMSE$, MAE , MBE , D , T , R مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصله روش های هارگریوز - سامانی، بلانی کرایدل - فائو ۲۴، تورک و پریستلی، تیلور با توجه به ابعاد زمانی متفاوت، بهترین انطباق را با مقادیر تبخیر و تعرق مرجع حاصل از تست تبخیر داشتند. همچنین نتایج تحقیق نشان داد در مقیاس فصلی، فصل تابستان کمترین خطا و فصل زمستان بیشترین خطای برآورد ET_0 را دارا بودند. از طرفی مقیاس ماهانه کمترین خطا را نسبت به مقیاس فصلی داشت. این نتیجه بیانگر کاهش خطای برآورد ET_0 در مقیاس های زمانی کوچک می باشد.

واژگان کلیدی: خوشه بندی، هارگریوز - سامانی، بلانی کرایدل - فائو ۲۴، تورک، پریستلی - تیلور.

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت، نیاز به مواد غذایی بیشتر و استفاده منطقی از منابع محدود آب و خاک لزوم پایداری در توسعه کشاورزی را در شرایط اقلیمی ایران آشکار می سازد. بر همین اساس با عنایت به اهمیت بخش کشاورزی و آب مصرفی

* مقاله حاضر مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد می باشد

** نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۳۲۷۰۳۶۶

در این بخش، تعیین نیاز آبی گیاهان به عنوان یکی از عوامل چرخه هیدرولوژی از ضروریات اساسی در طرح‌های آبیاری و زهکشی است. لازمه تعیین نیاز آبی گیاهان، برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_0) سطوح گیاهی جهت برنامه‌ریزی آبیاری و افزایش عملکرد محصول‌های زراعی می‌باشد. تبخیر و تعرق پتانسیل معادل حداکثر مقدار تبخیر و تعرق از یک پوشش کامل گیاهی فاقد محدودیت آب مانند چمن در یک وضعیت آب و هوایی است (فائو ۵۶). روش‌های گوناگونی از جمله روش‌های لایسی‌متری در قالب روش‌های مستقیم برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق پیشنهاد شده است. لیکن استفاده از لایسی‌متر به دلیل هزینه بر بودن و زمان بر بودن، داده‌برداری از آن‌ها در همه مناطق امکان‌پذیر نمی‌باشد. به همین دلیل محققین سعی در استفاده از روش‌های غیرمستقیم برآورد ET_0 از مقادیر تشت تبخیر یا برخی داده‌های هواشناسی داشته‌اند. بنابراین آب اولین و مهم‌ترین عامل محدود کننده در افزایش تولیدات کشاورزی می‌باشد. اولین گام برای رسیدن به این هدف مهم، تعیین میزان نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی در مناطق مختلف کشور است (دادیور، ۲، ۱۳۸۹). با این مختصر می‌توان به اهمیت تبخیر و تعرق پتانسیل به عنوان یکی از مهم‌ترین فراسنج‌هایی که دانستن آن جهت برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سیستم‌های آبیاری، تأسیسات آبی و مطالعات زه‌کشی و هیدرولوژیکی ضروری است، پی برد. از این رو برخی برای برآورد تبخیر-تعرق، به وسایل اندازه‌گیری مانند تشت تبخیر، لایسی‌متر و برخی نیز به بررسی ارتباط موضوع تبخیر-تعرق با داده‌های جوی مشغول و در پی آن به ارایه روابطی در این خصوص همّت گمارده‌اند. زیرا تبخیر-تعرق گیاه مرجع، بازتاب تأثیر شرایط اقلیمی است (قمرنیا و سپهری، ۲، ۱۳۸۸، مهدی‌زاده و همکاران، ۱۷۳، ۱۳۸۹). حال این سؤال‌ها مطرح است که آیا در این منطقه از کشور که دارای اقلیم گرم و خشک است، روش‌های دمایی و تشعشعی بهتر با تشت تبخیر از خود تطابق نشان می‌دهند یا روش‌های ترکیب؟ و آیا میزان تطابق در دوره گرم سال بیشتر است یا دوره سرد سال؟. لذا اهمیت موضوع ما را برآن داشت تا به این موضوع روی آورده و به بررسی و صحت‌سنجی روش‌های محاسبه ارایه شده توسط این پژوهش‌گران، در زمینه تبخیر-تعرق بپردازیم. زیرا که هر یک از معادلات ارایه شده را با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه بایستی صحت‌سنجی کرد. در این پژوهش به ارزیابی و مقایسه روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق بر اساس داده‌های هواشناسی و تبخیر و تعرق حاصل از تشت تبخیر پرداخته می‌شود.

پژوهشگرانی در اقصی نقاط جهان به بررسی این فراسنج ترکیبی اقلیمی پرداخته‌اند که در بعضی از موارد منجر به ارایه مدل‌هایی جهت برآورد تبخیر-تعرق برای منطقه‌ای با شرایط آب و هوایی خاص شده است.

به عنوان نمونه صالح^۱ و سندیل^۲ (۱۹۸۴)، ۳۳ روش محاسبه تبخیر-تعرق را در قسمت‌های مرکزی عربستان مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها روش‌ها را در ۵ گروه روش‌های دمایی، روش بر مبنای رطوبت نسبی، روش‌های تابشی،

1- Salih

2 - Sendil

روش‌های ترکیبی و روش‌های تشتک تقسیم بندی کردند و نتیجه گرفتند که روش جنسن^۳ - هیز^۴ از گروه روش‌های تابشی در مکان دوم قرار می‌گیرند (به نقل از علیزاده و همکاران، ۱۳۸۳، ۱۰۰). اشنایدر و همکاران (۲۴۹، ۲۰۰۵)، از داده‌های تشت تبخیر برای محاسبه تبخیر - تعرق پتانسیل در مناطق خشک کالیفرنیا بهره یافتند. آن‌ها پس از به کارگیری ضریب تشت تعدیل یافته به محاسبه تبخیر - تعرق اقدام ورزیدند. نتایج تحقیقات نشان داد فرمول مستخرج، نسبت به فرمول‌هایی که از داده‌های رطوبت نسبی و سرعت باد بهره می‌جویند، نتایج بهتر و دقیق‌تری را به نمایش می‌گذارند. سینگ^۵ و همکاران (۲۰۰۸، ۱۳۴) مدل‌های برآورد ET_0 را با روش تشت تبخیر در یک ایستگاه ساحلی مرکز پژوهش‌های کشت سیب زمینی کانادا مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که مدل تشت تبخیر برآورد کمتری از ET_0 نسبت به روش‌های پنمن - مانتیث و پریستلی - تیلور داشت. تراجکوویچ و کولاکوویچ^۶ (۱۴۰، ۲۰۱۰) در ایتالیا اعتبار ساده سازی روش‌های مبتنی بر تشت تبخیر را بطور مستقیم برای برآورد ET_0 بدون نیاز به داده‌های رطوبت نسبی و سرعت باد مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش معادله‌های مبتنی بر تشت با داده‌های روزانه لایسی‌متر (گیاه چمن) مقایسه شدند. در این مطالعه موفقیت معادله اشنایدر در تخمین ET_0 نسبت به معادله پنمن - مانتیث گزارش شد. در سال ۲۰۱۲ کایا سباحتین^۷ و همکاران (۲۰۱۲، ۹۸۷)، در منطقه ایگدیر ترکیه تبخیر و تعرق پتانسیل برآوردی با معادلات گوناگون تشت تبخیر را در مقایسه با معادله فائو - پنمن - مانتیث مورد ارزیابی و برتری روش اشنایدر را در مقیاس ماهانه گزارش کردند. ناصری و همکاران (۴۶، ۱۳۷۸) با محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق از روش‌های مختلف تجربی در محل دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، نتایج آنها را با داده‌های لایسی‌متر مقایسه کردند. این مقایسه نشان داد که فرمول‌های تشت تبخیر و بلانی کریدل در برآورد ET_0 مناطقی که دارای اطلاعات تبخیر از تشت و یا دما هستند مناسب می‌باشد. برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه بر اساس دو روش تورنت وایت و بلانی کریدل در منطقه بلوچستان نشان داد روش تورنت وایت نتایج صحیحی برای فصول مختلف ارایه نمی‌دهد ولی روش بلانی کریدل همبستگی خوبی با روش اندازه‌گیری مستقیم (تشت) دارد (فرهودی و شمسی پور، ۱۰۵، ۱۳۷۹). جهانبخش اصل و همکاران (۵۱، ۱۳۸۰) با استفاده از آمار دراز مدت ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی تبریز تبخیر و تعرق پتانسیل را با استفاده از روش‌های ترکیبی، دمایی، تابشی، همبستگی چندگانه و رطوبتی محاسبه کرده و با روش تشت تبخیر مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آنان نشان داد روش کریستین - هارگریوز نسبت به سایر روش‌ها تطابق بهتری با روش تشت تبخیر دارد. شفیی فسقندیس و همکاران (۶۵، ۱۳۸۶)، به ارزیابی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق بالقوه برای منطقه اهر نسبت به تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه حاصل از تشت تبخیر اقدام کردند. بر اساس نتایج حاصل مشخص گردید روش‌های تورک،

3- Jensen

4 - Haise

5- Xing, Z

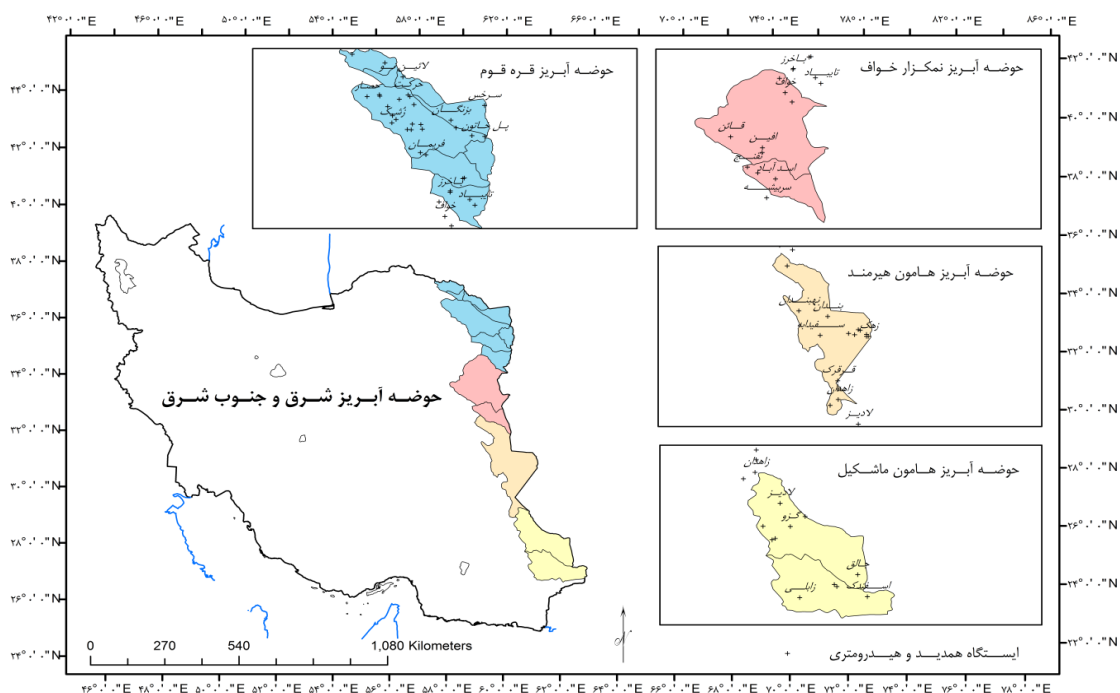
6- Trajkovic, S., Kolakovic, S

7- Kaya, S

تورنت وایت، کریستین سن، هارگریوز و بلانی کریدل پس از اعمال ضرایب اصلاحی، بهترین تطابق را با مقادیر ET_0 ماهانه حاصل از تشت تبخیر دارند. شاهین‌زاده و همکاران (۷، ۱۳۸۷)، به بررسی و مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه هوفل استان خوزستان بر اساس روش‌های بلانی کریدل اصلاح شده، پنمن مانیت، تورنت وایت و تشت تبخیر پرداختند. نتایج به دست آمده حاکی از این بود که تشت تبخیر نسبت به سایر روش‌ها ضریب همبستگی بیشتری با روش مرجع پنمن - مانیت دارد و اولویت روش‌های دیگر نسبت به پنمن - مانیت به ترتیب تورنت وایت و بلانی کریدل بود. کریمی گوغری و رضایی (۱، ۱۳۹۰) به برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع و مقایسه آن با تبخیر از تشت تبخیر پرداخته و بیان داشتند بین میزان تبخیر و تعرق حاصل از روش پنمن - مانیت و تشت تبخیر ضریب همبستگی بالایی وجود دارد. با توجه به این که در کشور ما بخش کشاورزی ۹۴ درصد کل آب مصرفی را به خود اختصاص داده است لذا با بهبود مدیریت مصرف آب در این بخش و افزایش راندمان مصرف آن، می‌توان به نحو قابل ملاحظه‌ای در مصرف آب صرف جویی کرد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۰، ۵۲). یکی از راه‌های کاهش بحران آب در کشاورزی به واسطه پایین بودن راندمان مصرف آن و استفاده بیش از حد منابع موجود، مدیریت آب در تأمین نیاز آبی گیاهان زراعی است. در این زمینه تبخیر - تعرق در واقع شاخص تعیین کننده‌ای در فرآیند رشد است که معادل آب مورد نیاز گیاهان قلمداد می‌شود (زارع‌ایبانه، ۹۶، ۱۳۸۹).

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه یکی از حوضه‌های آبریز شش‌گانه اصلی کشور در شرق ایران است که بین محدوده‌های طول $59^{\circ}10'59''E$ تا $63^{\circ}18'23''E$ و عرض $37^{\circ}43'10''N$ تا $37^{\circ}42'26''N$ قرار دارد. حوضه آبریز فوق شامل چهار زیر حوضه قره‌قوم (44502 Km^2)، نمک‌زار خواف (35000 Km^2)، هامون - هیرمند (34437 Km^2) و هامون - ماشکیل (36875 Km^2) می‌باشد. این حوضه آبریز از شمال و شمال شرق به مرز کشور ترکمنستان، از شرق به کشورهای افغانستان و پاکستان، از جنوب به حوضه آبریز دریای عمان و خلیج فارس و از غرب و شمال غرب به حوضه آبریز مرکزی محدود می‌شود (وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، ۱۳۸۴). شکل ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را به همراه پراکنش ایستگاه‌های مستقر در حوضه‌های آبریز نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه‌های آبریز شرق - جنوب شرق و ایستگاه‌های مستقر در منطقه

در مجموع در این مطالعه اطلاعات ۱۵ ایستگاه همدید و ۵۱ ایستگاه وزارت نیرو (تبخیرسنجی - باران سنجی) از بدو تاسیس تا سال ۱۳۸۸ انتخاب گردید متغیرهای هواشناسی به کار گرفته شده در این پژوهش شامل دمای حداقل - حداکثر - میانگین هوا، رطوبت نسبی حداقل - حداکثر - میانگین روزانه، دمای تر روزانه، دمای خشک روزانه، دمای نقطه شبنم روزانه، متوسط سرعت روزانه باد در ارتفاع ۲ متری، داده‌های تشت تبخیر، ساعات آفتابی و بارش سالانه می‌باشد. مختصات و ویژگی‌های اقلیمی ایستگاه‌های مستقر در این حوضه در جدول (۱) درج گردیده است.

جدول ۱: مختصات جغرافیایی و ویژگی‌های اقلیمی ایستگاه‌های مستقر در حوضه آبریز

میانگین پارامترهای هواشناسی						نوع اقلیم (دمارتن)	موقعیت جغرافیایی			نام ایستگاه
سرعت باد (متر بر ثانیه)	ساعت آفتابی	تبخیر (میلی متر بر روز)	بارش (میلی - متر بر ماه)	رطوبت نسبی (%)	دما (درجه سانتی - گراد)		ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	
۱/۷	-	۶/۲	۲۲/۸	۵۴/۵	۱۳/۶	۱۳۲۰	۵۹/۳۹	۳۶/۲۹	ارداک (بندساروج)	
۲/۶	-	۱۲/۹	۷/۸	۳۸/۲	۲۳/۶	۱۰۷۳	۶۲/۸۴	۲۷/۱۲	اسفندک	
۲/۳	-	۸/۸	۱۵/۸	۴۲	۱۴/۸	۱۴۱۵	۵۹/۷۹	۲۳/۵۲	افین	
-	-	۵/۹	۲۱/۳	۴۷	۱۲	۱۲۰۲	۵۸/۹۸	۶۳/۸۳	امامزاده	
۱/۶	-	۱۰/۷	۵/۷	۳۴/۸	۳۳/۲	۷۴۹	۶۱/۴۹	۳۱/۰۲	امور آب سیستان	
۲/۶	-	۷/۹	۱۷/۱	۷۴/۱	۱۴/۱	۹۱۴	۵۹/۸۱	۳۶/۲۵	التک اسدی	
-	-	۶	۲۳/۴	۴۷/۸	۱۶	۸۷۱	۶۰/۸۵	۳۶/۰۰	آق دربند	
۲	-	۷/۳	۱۴/۷	۴۳/۵	۱۴/۳	۱۳۰۶	۶۰/۳۲	۳۴/۹۹	باخرز بالا	
۰/۹	-	۵/۴	۲۹/۲	۴۸/۵	۱۲/۹	۱۶۱۸	۵۸/۷۱	۳۶/۴۶	باراریه	
۱/۶	-	۷/۷	۱۴/۱	۴۳	۱۵/۶	۹۳۸	۶۰/۵۵	۳۵/۲۲	باغ سنگان	

۳/۱	-	۷/۲	۲۵/۵	۴۹	۱۴/۹	نیمه خشک	۱۰۰۹	۶۰/۴۴	۳۶/۳۰	بزنگان
۳/۶	-	۱۴/۶	۵	۲۸/۹	۲۳/۱	خشک	۷۲۳	۶۰/۷۷	۳۱/۳۶	بندان
۲/۱	۷/۹	۱۰/۲	۱۳/۷	۳۵/۵	۱۶/۴	خشک	۱۴۹۱	۵۹/۲۰	۳۲/۸۷	بیرجند
۱/۲	-	۷/۳	۲۴/۲	۴۹/۴	۱۷/۶	نیمه خشک	۴۰۶	۶۱/۱۱	۳۶/۰۰	پل خاتون
۳/۱	۸/۷	۹/۹	۱۳/۹	۴۷/۱	۱۵/۵	خشک	۹۵۰	۶۰/۶۳	۳۵/۲۳	تریت جام
۰/۶	-	۷/۶	۱۲/۵	۳۳	۱۸/۹	خشک	۱۴۲۰	۶۱/۱۸	۲۸/۱۹	تصفیه خانه خاش
۱/۳	-	۱۲/۴	۳/۶	۳۵/۳	۲۳/۵	خشک	۷۴۸	۶۱/۷۵	۲۸/۶۳	تلخ آب (تهلاب)
۲/۸	-	۱۶/۹	۶/۷	۴۱/۸	۲۴/۸	خشک	۸۵۲	۶۲/۶۷	۲۷/۵۲	جالق
۲/۴	۷/۸	۷/۴	۱۴/۶	۵۳	۱۲/۳	خشک	۱۳۵۰	۵۹/۱۴	۳۶/۶۱	چناران
-	-	۵/۶	۲۵/۵	۴۹/۳	۱۲/۶	نیمه خشک	۱۳۱۰	۵۸/۷۳	۳۶/۸۱	حصار (شغل آباد)
۲/۵	۹/۳	۱۰/۴	۱۲/۶	۳۰/۷	۱۹/۹	خشک	۱۴۳۰	۶۱/۲۳	۲۸/۲۲	خاش
۱/۲	-	۵/۵	۴۰	۵۲/۴	۷	مدیترانه ای	۱۴۵۰	۵۹/۵۸	۳۶/۸۰	خرکت
۴/۴	۹/۱	۱۲/۸	۶/۷	۴۰/۳	۱۸/۱	خشک	۹۹۸	۶۰/۱۸	۳۴/۵۵	خواف
-	-	۸/۱	۱۳/۴	۴۶/۴	۱۵/۵	خشک	۸۹۱	۶۰/۰۹	۳۴/۸۲	خیرآباد خاف
۰/۷	-	۵/۲	۲۲/۴	۶۵/۳	۱۶/۵	نیمه خشک	۵۰۰	۵۹/۱۳	۳۷/۴۱	درگز
-	-	۷/۷	۱۹/۵	۵۵/۸	۱۳/۸	خشک	۱۲۶۳	۶۰/۳۳	۳۵/۰۱	ده منج
۳/۹	۸/۷	۱۴/۳	۴/۹	۳۸/۷	۲۲	خشک	۴۸۹/۳	۶۱/۵۳	۳۱/۰۰	زابل
۱/۹	-	۱۱	۱۱/۶	۴۲/۵	۲۲	خشک	۱۲۸۳	۶۱/۶۶	۲۷/۱۰	زابلی
۲/۸	۸/۸	۱۰/۲	۷/۵	۳۱/۶	۱۸/۴	خشک	۱۳۷۰	۶۰/۸۸	۲۹/۴۷	زاهدان
۱/۲	-	۵/۳	۳/۹	۵۰/۹	۱۱/۹	خشک	۱۸۸۰	۵۹/۲۱	۳۶/۳۱	زک
۳/۶	۹/۲	۱۲/۹	۴	۳۵/۳	۲۲/۷	خشک	۴۹۵	۶۱/۷۲	۳۰/۸۵	زهک
۱/۸	-	۱۲/۳	۴/۷	۳۵/۴	۲۲/۲	خشک	۴۸۸	۶۱/۶۸	۳۰/۹۰	سد زهک
۰/۶	-	۴/۸	۲۴	۵۶/۴	۱۴/۱	نیمه خشک	۱۲۴۰	۵۹/۶۱	۳۶/۱۶	سد طرک
۰/۷	-	۵	۲۳/۳	۵۸/۷	۱۲/۶	نیمه خشک	۱۲۶۵	۵۹/۶۹	۳۶/۶۲	سد کارده
۳	-	۱۳/۲	۴/۴	۳۸/۱	۲۳/۴	خشک	۵۰۶	۶۱/۶۷	۳۰/۸۵	سدچاه نیمه
۲/۶	۹/۴	۱۱/۹	۸/۹	۲۸/۸	۲۲	خشک	۱۱۹۵	۶۲/۳۱	۲۷/۳۱	سراوان
۲/۱	-	۹/۳	۱۵/۷	۴۴/۷	۱۲/۶	خشک	۱۸۳۳	۵۸/۸۶	۳۲/۵۶	سربیشه
۱/۷	۹	۸/۴	۱۵/۵	۴۹/۵	۱۷/۹	خشک	۲۷۳	۶۱/۱۶	۳۶/۵۳	سرخس
۲	-	۱۲/۵	۸/۶	۲۷/۱	۲۳/۱	خشک	۸۴۴	۶۰/۵۶	۳۰/۹۴	سفیدابه
۳/۵	-	۱۰/۸	۹/۱	۳۶/۱۳	۱۹/۱	خشک	۸۸۴	۶۰/۳۱	۳۴/۳۷	سنگان
۱/۳	-	۷	۳۲/۶	۴۵/۶	۱۱	نیمه خشک	۱۴۲۳	۵۹/۳۰	۳۶/۳۷	شاندیز
-	-	۵/۴	۲۸/۴	۶۰	۹/۶	نیمه خشک	۱۴۸۹	۵۸/۴۵	۳۷/۵۹	شمخال
۳/۳	-	۱۲/۹	۴/۱	۲۶/۴	۲۲/۵	خشک	۴۷۰	۶۱/۳۹	۳۰/۹۱	شهرک علی اکبر
-	-	۱۴/۳	۱۳/۹	۳۳/۳	۲۳/۵	خشک	۸۷۶	۶۰/۳۷	۳۴/۸۳	شهرنو باخرز
۰/۳	-	۵/۶	۲۲/۸	۴۶/۱	۱۱/۸	نیمه خشک	۱۵۰۰	۵۹/۷۶	۳۵/۴۰	فرهادگرد
۳/۳	۸/۴	۷/۹	۰/۶	۵۳	۱۱/۳	خشک	۱۴۰۰	۵۹/۷۴	۳۵/۷۰	فریمان
۱/۷	۹/۱	۹/۸	۱۳/۸	۴۰/۷	۱۴/۳	خشک	۱۴۴۶	۵۹/۲۳	۳۳/۷۱	قائن
۲/۲	-	۷	۱۷/۹	۵۳/۸	۱۳/۴	خشک	۱۱۷۵	۵۹/۰۰	۳۶/۸۱	قدیرآباد
-	-	۹/۹	۴/۳	۲۸/۲	۳۱/۱	خشک	۹۴۸	۶۰/۹۰	۲۹/۸۹	قرقرک
-	-	۵/۷	۲۳/۹	۵۶/۳	۱۳/۴	نیمه خشک	۱۲۵۵	۵۹/۵۲	۳۶/۱۷	کرتیان
۲/۴	-	۹/۸	۱۸/۱	۳۲/۴	۱۶/۴	خشک	۲۱۳۱	۶۱/۰۲	۲۸/۴۵	کوشه خاص
۳/۴	-	۱۱	۸	۴۸/۵	۱۷/۸	خشک	۴۷۰	۶۱/۲۵	۳۰/۹۵	کوه خواجه
۲/۱	-	۱۰/۹	۱۲/۹	۵۲/۲	۱۹/۷	خشک	۱۰۰۰	۶۱/۴۹	۲۸/۴۴	گزو
۲/۴	۷/۸	۷/۴	۱۵/۳	۵۲/۹	۱۲/۳	خشک	۱۱۷۶	۵۹/۲۶	۳۶/۴۴	گل مکان
۲/۴	-	۹/۴	۱۳/۳	۳۱/۹	۱۷/۹	خشک	۱۷۵۵	۶۰/۶۸	۲۹/۳۴	گوربند
۱/۴	-	۱۰/۱	۵	۳۰/۲	۲۰/۴	خشک	۱۲۰۸	۶۱/۳۲	۲۸/۸۸	لادیز
۱/۷	-	۱۱/۱	۶/۸	۴۵/۱	۱۸/۹	خشک	۱۱۴۵	۶۰/۹۰	۲۹/۷۱	لار پایین
-	-	۴/۲	۲۶/۲	۶۶/۱	۱۶/۳	نیمه خشک	۸۶۴	۵۹/۴۹	۳۷/۱۳	لایین نو
۱/۶	-	۶/۳	۲۶/۷	۴۷/۳	۱۰	نیمه خشک	۱۸۱۸	۵۹/۶۲	۳۶/۷۰	مارشک

۲/۹	-	۷/۷	۱۷/۶	۴۹/۲	۱۴/۷	خشک	۹۱۷	۶۰/۵۳	۳۶/۱۶	مزدوران
۱/۸	۷/۸	۷/۸	۲۱	۵۴/۷	۱۴/۱	نیمه خشک	۹۹۹/۲	۵۹/۶۳	۳۶/۲۷	مشهد
۱/۹	-	۸/۹	۱۳/۹	۳۸	۱۳/۲	خشک	۱۹۲۱	۵۹/۷۱	۳۳/۰۳	منصور اباد
۱/۷	-	۶/۷	۱۵/۲	۳۴/۳	۱۱/۵	خشک	۲۱۱۱	۵۹/۵۳	۳۳/۱۴	نقنچ
۲/۱	۹/۲	۱۱	۱۰/۴	۳۳/۱	۱۹/۷	خشک	۱۲۱۱	۶۰/۰۸	۳۱/۵۳	نهبندان
۱	۸/۵	۸/۲	۱۹/۵	۵۰/۳	۱۴/۲	خشک	۱۲۱۳	۵۸/۸۰	۳۶/۲۷	نیشابور
۱/۱	-	۹/۷	۸	۴۰/۸	۲۱/۲	خشک	۱۱۷۸	۶۲/۲۶	۲۷/۳۵	هوشک سراوان

پس از جمع آوری داده‌ها اقدام به بررسی و کنترل کیفیت داده‌ها شد. بدین منظور در هر ایستگاه هریک از پارامترهای مورد استفاده از نظر همگنی، نرمال بودن، قرار داشتن در جایگاه درست، حدهای بالا و پایین، مقایسه با ایستگاه‌های مجاور و رسم نمودار، مورد بررسی قرار گرفتند. در خصوص داده‌های پرت، مشاهداتی که قدر مطلق مقدار استاندارد شده آن‌ها بزرگتر از ۳ بودند، به عنوان مشاهده دور افتاده (پرت) در نظر گرفته شد (عساکره، ۱۳۹۰، ۱۴۸). همچنین در مورد ضرایب تشتت تبخیر بر اساس جدول ۴، مندرج در صفحه ۷۶۲ در نشریه ۲۴ فائو، ضرایب تشتت بزرگتر از یک و مقادیر تبخیر از تشتت برابر با صفر از مجموعه داده‌ها حذف گردیدند. سپس ایستگاه‌های انتخابی بر اساس مقدار تبخیر تشتت تبخیر، با استفاده از روش آماری تحلیل خوشه‌ای، خوشه‌بندی شدند. برای انجام گروه‌بندی ایستگاه‌ها بر اساس فاصله آن‌ها (مجدور فاصله اقلیدسی) از روش سلسله مراتبی و قاعده اتصال وارد (Ward) استفاده گردید. سپس با استفاده از تحلیل واریانس یک طرفه (آزمون فیشر، نشان دهنده نسبت واریانس بین گروهی به واریانس درون گروهی، مومنی، ۱۳۸۹، ۷۲)، آزمون Tukey و LSD (بازگو کننده وجود تفاوت‌های معنی‌دار به صورت دو به دو بین گروه‌های مختلف، مومنی، ۱۳۸۹، ۸۲)، تعداد خوشه‌ها و اعضای آنها شناسایی شدند (جدول ۵، ۴، ۳). پردازش داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای Surfer، Matlab، Excel، SPSS انجام گرفت. به منظور برآورد ET_0 از روش‌های تعریف شده در نرم‌افزار Ref-ET استفاده شد. در این نرم افزار روش‌های محاسباتی با توجه به نوع داده‌های ورودی- (دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین روزانه، رطوبت نسبی حداقل، رطوبت نسبی حداکثر، میانگین رطوبت نسبی روزانه، سرعت باد، میزان بارش، ارتفاع و مختصات جغرافیایی هر ایستگاه) شامل ۷ روش ترکیبی بر پایه پنمن، دو روش دمایی، یک روش تشعشعی و سه روش ترکیبی تشعشعی دمایی است. در این مطالعه از دو روش ترکیبی پنمن، مانتیت- فائو ۵۶ و کیمبرلی- پنمن (۱۹۸۲)، دو روش دمایی بلانی، کريدل، فائو ۲۴ و هارگریوز، سامانی و سه روش تشعشعی- دمایی شامل معادلات پریستلی- تیلور، مکینک (۱۹۵۷)، تورک (۱۹۶۱) و روش تشعشعی فائو ۲۴ استفاده شد. در نهایت روش تشتت تبخیر FAO-24 نیز به عنوان روش مرجع برآورد ET_0 مورد استفاده قرار گرفت. روش محاسبه هر کدام از روش‌ها در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۲: روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق مرجع و پارامترهای مورد نیاز

شکل معادله	نام روش محاسبه ET _o	ردیف
$ET_o = k_p \cdot E_{pan}$	تشت تبخیر فائو ۲۴	۱
$ET_o = 0.0023R_n (T_{mean} + 17.8)T_D^{0.5}$	هارگریوز - سامانی	۲
$ET_o = a + b[P(0.46T_{mean} + 8.13)]$	بلانی - کریدل - فائو ۲۴	۳
$ET_o = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_s}{2.45} - 0.12$	مکینک	۴
$ET_o = a_T \times 0.013 \frac{T_{mean}}{T_{mean} + 15} \times \frac{23.8856R_s + 50}{\lambda}$	تورک - ۱۹۶۱	۵
$ET_o = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n - G}{\lambda}$	پریستلی - تیلور	۶
$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{890}{T + 273} \right) [u_2(e_a - e_d)]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$	پنمن - مانتیث - فائو ۵۶	۷
$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + k_w \frac{\gamma}{\gamma + \Delta} (a_w + b_w u_w)(e_s - e_a) / \lambda$	معادله اصلاح شده پنمن توسط کیمبرلی ۱۹۸۲	۸
$ET_o = a + b \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot R_s \right)$	تابشی - فائو ۲۴	۹
پارامترهای مورد استفاده در معادلات و واحد اندازه‌گیری آنها		
<p>ET_o: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی متر بر روز)</p> <p>λ: گرمای نهان تبخیر (مگا ژول بر کیلو گرم)</p> <p>G: جریان حرارتی زمین (مگاژول بر متر مربع بر روز)</p> <p>T_{mean}: میانگین درجه حرارت روزانه (درجه سانتی گراد)</p> <p>T_D: اختلاف درجه حرارت حداکثر و حداقل روزانه (درجه سانتی گراد)</p> <p>R_n: تشعشعات خالص خورشیدی بر حسب میلی‌متر آب تبخیر پذیر</p> <p>k_w: ضریب ثابت برابر ۶/۴۳ بر حسب (میلی متر بر روز)</p> <p>P: متوسط ساعت روشنایی هر روز در ماه مورد نظر تقسیم بر کل ساعات روشنایی سال ضریدر ۱۰۰</p> <p>R_s: تشعشع خورشیدی رسیده به زمین (موج کوتاه) (مگاژول بر متر مربع بر روز)</p>	<p>P: فشار هوا (کیلو پاسکال)</p> <p>k_p: ضریب تشت</p> <p>Δ: شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سانتی گراد)</p> <p>$e_a - e_d$: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (کیلو پاسکال)</p> <p>u_2: سرعت باد در طول روز در ارتفاع دو متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)</p> <p>R_{nl}: تابش طول موج بلند خالص خروجی (مگاژول بر متر مربع بر روز)</p> <p>a_w و b_w: ضرایب تجربی می‌باشند که بنابر پیشنهاد اولیه پنمن در صورتی که سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه باشد مقادیر عددی آنها به ترتیب برابر واحد و ۰/۵۳۷ می‌باشد.</p>	

آماره‌های عملکرد مدل‌ها

به منظور مقایسه روش‌های برآورد ET_o، نتایج حاصل از هر یک از روش‌ها نسبت به روش تشت تبخیر، رسم گردید. سپس با رگرسیون گیری بین مقادیر تبخیر و تعرق مرجع بدست آمده از هر روش و مقادیر تبخیر و تعرق حاصل از تشت تبخیر، روش‌های مذکور مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در تجزیه و تحلیل نتایج از آماره‌های ضریب همبستگی پیرسون (r)، ضریب تعیین (R²) و آزمون معنی داری این آماره‌ها، میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین خطای سوگیری (MBE)، مجذور میانگین مربع‌های خطای نرمال (NRMSE)، شاخص توافق ویلموت (d) و معیار t (شاخص ژاکویدز ۱۹۹۷، به نقل از رام کاران سینگ، ۷۸، ۶۴، ۲۰۱۱) بهره‌گیری شد (روابط ۱ تا ۶).

$$1) \quad NRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}}{O}$$

$$2) \quad MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |P_i - O_i|}{N}$$

$$3) \quad d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

$$4) \quad t = \sqrt{\frac{(N-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}}$$

$$5) \quad MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N}$$

$$6) \quad R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}) \right]^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}$$

در روابط فوق، P_i : مقدار برآورد شده تبخیر و تعرق، O_i : مقدار اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر، N : تعداد

مشاهده‌ها، \bar{O} : میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق توسط تشت تبخیر، t : شاخص ژاکوبز می‌باشند.

$RMSE, MAE, MBE, t \rightarrow 0$

حالت بهینه آماره‌های ذکر شده بدین صورت است:

$d, r \rightarrow 1$

یافته‌ها

به منظور تعیین تعداد خوشه‌های مناسب جهت تحلیل برآورد تبخیر و تعرق، از تحلیل واریانس یک‌طرفه (آزمون فیشر) و آزمون توکی (نشانه تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها) استفاده شد (جداول ۳ و ۴). جدول ۳ نتایج آزمون تحلیل واریانس یک-طرفه در شناسایی تعداد خوشه‌ها نشان می‌دهد. در این جدول تعداد ۲، ۳، ۴ و ۵ خوشه مورد ارزیابی قرار گرفت. در مجموع با توجه به مقدار F و با در نظر گرفتن این نکته که مناسبترین مرحله برای انتخاب تعداد خوشه‌ها مرحله‌ای است که مقدار F افزایش ناگهانی پیدا می‌کند (علیجانی، ۱۷۸، ۱۳۸۱)، تعداد ۳ خوشه در نظر گرفته شد. همان‌گونه که در بخش مواد و روش آورده شد برای انجام گروه‌بندی ایستگاه‌ها از روش سلسله مراتبی و قاعده اتصال وارد (Ward) استفاده گردید. در نهایت تعداد ایستگاه‌های هر خوشه انتخاب شد. نتایج آزمون توکی در جدول ۴ بیان‌گر معنی‌دار بودن اختلاف تبخیر بین خوشه‌ها می‌باشد. اسامی اعضای هر یک از خوشه‌ها در جدول ۵ آورده شد.

جدول ۳: تحلیل واریانس یک طرفه

تعداد خوشه		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار معنی داری
۲	میان گروهی	۳۸۰/۱۶۰	۱	۳۸۰/۱۶۰	۱۵۴/۶۳۷	./...
	درون گروهی	۱۵۷/۳۳۸	۶۴	۲/۴۵۸		
	کل	۵۳۷/۴۹۸	۶۵			
۳	میان گروهی	۴۶۲/۴۵۷	۲	۲۳۱/۲۳۸	۱۹۴/۱۲۴	./...
	درون گروهی	۷۵/۰۴۲	۶۳	۱/۱۹۱		
	کل	۵۳۷/۴۹۸	۶۵			
۴	میان گروهی	۴۹۸/۵۰۰	۳	۱۶۶/۱۶۷	۲۶۴/۱۷۶	./...
	درون گروهی	۳۸/۹۹۸	۶۲	۰/۶۲۹		
	کل	۵۳۷/۴۹۸	۶۵			
۵	میان گروهی	۵۱۴/۱۹۴	۴	۱۲۸/۵۴۸	۳۳۶/۴۷۶	./...
	درون گروهی	۲۳/۳۰۵	۶۱	۰/۳۸۲		
	کل	۵۳۷/۴۹۸	۶۵			

جدول ۴: تست توکی

متغیر وابسته: مقدار تبخیر از تشت						
	روش وارد (۱)	روش وارد (۲)	میانگین اختلاف (۱-۲)	خطای استاندارد	معنی داری	حد بالا / حد پایین
تست Tukey	۱	۲	* -۳/۲	۰/۳۹	۰/۰۰۰	-۴/۲ / ۴/۳
		۳	* ۳/۵	۰/۳۱	۰/۰۰۰	۲/۸ / ۴/۲
	۲	۱	* ۳/۲	۰/۳۹	۰/۰۰۰	۲/۳ / ۷/۶
		۳	* ۶/۸	۰/۳۶	۰/۰۰۰	۵/۹ / -۲/۸
	۳	۱	* -۳/۵	۰/۳۱	۰/۰۰۰	-۴/۳ / -۵/۹
		۲	* -۶/۸	۰/۳۶	۰/۰۰۰	-۷/۶ / -۲/۵
تست LSD	۱	۲	* -۳/۲	۰/۳۹	۰/۰۰۰	-۴/۰ / ۴/۱
		۳	* ۳/۵	۰/۳۱	۰/۰۰۰	۲/۹ / ۴/۰
	۲	۱	* ۳/۲	۰/۳۹	۰/۰۰۰	۲/۵ / ۷/۵
		۳	* ۶/۸	۰/۳۶	۰/۰۰۰	۶/۰ / -۲/۹
	۳	۱	* -۳/۵	۰/۳۱	۰/۰۰۰	-۴/۱ / -۶/۰
		۲	* -۶/۸	۰/۳۶	۰/۰۰۰	-۷/۵ / -۴/۰

• معنی داری در سطح ۰/۰۵

جدول ۵: اسامی ایستگاه‌های متعلق به هر یک از خوشه‌ها

خوشه ۳		خوشه ۲		خوشه ۱	
مشهد	شاندیز	ارداک (بندساروج)	اسفندک	افین	قرقرک
نقج	شمخال	النک اسدی	بندان	امور آب سیستان	کوشه خاص
نیشابور	فرهادگرد	امامزاده	تلخ آب (تهلاب)	بیرجند	کوه خواجه
زُشک	فریمان	آق دربند	جالق	ترت جام	گزو
سد طرق	قدیرآباد	باخرز بالا	خواف	خاش	گوربند
سد کارده	کرتیان	باراریه	زابل	زابلی	لادیز
سرخس	گل مکان	باغ سنگان	زهک	زاهدان	لار پایین
چناران	لایتین نو	بزنگان	سد زهک	سربیشه	منصور آباد
حصار (شغل آباد)	مارشک	پل خاتون	سدچاه نیمه	سنگان	نهبندان
خرکت	مزدوران	تصفیه خانه خاش	سراوان	قائن	هوشک سراوان
خیرآباد خاف	درگز	ده منج	سفیدابه	***	***
***	***	***	شهرک علی اکبر	***	***
***	***	***	شهرنو باخرز	***	***

پس از شناسایی خوشه‌ها، اقدام به برآورد تبخیر و تعرق ایستگاه‌های هر خوشه شد. نتایج آماره‌های خطاسنجی و مقایسه روش‌های دمایی، تشعشعی و ترکیبی برآورد تبخیر و تعرق مرجع با تبخیر و تعرق حاصل از داده‌های تشت تبخیر کلاس A به تفکیک سه خوشه مورد مطالعه در جداول ۶، ۷ و ۸ آورده شد.

بررسی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق در خوشه ۱ مشتمل بر ۲۰ ایستگاه (جدول ۴) در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه در جدول ۶ بیانگر آن است که در مقیاس ماهانه دو روش بلانی کریدل - فائو ۲۴ و هارگریوز - سامانی به ترتیب اولویت، تطابق بهتری با تبخیر و تعرق برآوردی از تشت تبخیر دارند. کمترین خطای NRMSE در ماه تیر

معادل ۰/۱۷/ اتفاق افتاده است که معمولاً گرم‌ترین ماه سال در منطقه می‌باشد. این نتیجه بیان‌گر آن است که در ماه‌های گرم مناطق با اقلیم خشک، تبخیر و تعرق برآوردی از روش‌های دمایی و تشعشعی قابل اعتمادتر بوده و خطای کمتری دارند. مطلوبیت روش‌های دمایی و تشعشعی این مناطق در مطالعات نساجی زواره و صادقی فر (۵، ۱۳۸۶) و زارع ایبانه و همکاران (۱۰۱، ۱۳۸۹) نیز اشاره شده است که با نتیجه پژوهش حاضر مبنی بر توصیه روش‌های دمایی و تشعشعی هم‌خوانی دارد. به طوری که جدول ۶ نشان می‌دهد در ماه‌های خرداد، مرداد و شهریور نیز که دمای بیشتری دارند خطا نسبت به ماه‌های دیگر کمتر می‌باشد ($NRMSE = 0/18$). بیشترین خطا در ماه دی برابر ۰/۴۶ قابل مشاهده است. نتایج مقیاس فصلی نیز همسو با مقیاس ماهانه می‌باشد. به طوری که کمترین خطا در فصل تابستان ($NRMSE = 0/20$) و بیشترین خطا معادل ۰/۴۳ در فصل زمستان ملاحظه می‌گردد. متوسط خطای سالانه خوشه ۱ برابر ۰/۳۶ است. بنابر این می‌توان اظهار داشت تبخیر و تعرق برآوردی در مقیاس ماهانه دقت بیشتری نسبت به مقیاس‌های فصلی و سالانه دارد. به عبارت دیگر با کوچکتر شدن مقیاس زمانی، تبخیر و تعرق‌های برآوردی قابل اعتمادتر بوده و اختلاف کمتری با تبخیر و تعرق پتانسیل تحت تبخیر دارد.

جدول ۶: نتایج برآورد مدل‌های بهینه برآورد تبخیر و تعرق در مقایسه با روش تحت تبخیر در خوشه ۱

t	d	MBE	MAE	NRMSE	Γ_{max}	روش محاسبه ET _o	زمان
۰/۰۰۰۰	۰/۷۷	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۶۶	هارگریوز- سامانی	فروردین
۰/۰۰۰۰	۰/۶۶	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۵۴	هارگریوز- سامانی	اردیبهشت
۰/۰۰۰۰	۰/۵۲	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۱۸	-۰/۴۲	بلانی کریدل- فائو ۲۴	خرداد
۰/۰۰۰۰	۰/۶۲	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۱۷	-۰/۵۲	بلانی کریدل- فائو ۲۴	تیر
۰/۰۰۰۰	۰/۵۷	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۱۸	-۰/۴۷	بلانی کریدل- فائو ۲۴	مرداد
۰/۰۰۰۰	۰/۵۸	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۱۸	-۰/۴۸	بلانی کریدل- فائو ۲۴	شهریور
۰/۰۰۰۰	۰/۳۳	۰/۰۰	۰/۱۷	۰/۲۵	-۰/۲۸	بلانی کریدل- فائو ۲۴	مهر
۰/۰۰۰۰	۰/۳۲	۰/۰۰	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۲۶	هارگریوز- سامانی	آبان
۰/۰۰۰۰	۰/۵۲	۰/۰۰	۰/۲۲	۰/۳۰	۰/۴۱	هارگریوز- سامانی	آذر
۰/۰۰۰۰	۰/۷۸	۰/۰۰	۰/۲۷	۰/۴۶	۰/۶۸	تورک- ۱۹۶۱	دی
۰/۰۰۰۰	۰/۸۱	۰/۰۰	۰/۲۳	۰/۳۷	۰/۷۱	تورک- ۱۹۶۱	بهمن
۰/۰۰۰۰	۰/۷۳	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۶۱	هارگریوز- سامانی	اسفند
۰/۰۰۰۰	۰/۸۳	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۷۳	هارگریوز- سامانی	بهار
۰/۰۰۰۰	۰/۵۶	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۲۰	-۰/۴۶	بلانی کریدل- فائو ۲۴	تابستان
۰/۰۰۰۰	۰/۷۸	۰/۰۰	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۶۸	هارگریوز- سامانی	پاییز
۰/۰۰۰۰	۰/۶۵	۰/۰۰	۰/۲۹	۰/۴۳	۰/۵۵	بلانی کریدل- فائو ۲۴	زمستان
۰/۰۰۰۰	۰/۷۸	۰/۰۰	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۶۷	هارگریوز- سامانی	سالانه

نتایج برآوردهای تبخیر و تعرق در خوشه ۲ مشتمل بر ۱۳ ایستگاه (جدول ۴) به تفکیک مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در جدول ۷ ارائه شده است. بررسی روش‌ها بیانگر آن است که در مقیاس ماهانه روش‌های پریستلی-تیلور، بلانی کریدل - فائو ۲۴، تورک ۱۹۶۱، تابشی فائو ۲۴ و هارگریوز - سامانی به ترتیب اولویت، تطابق بهتری با تبخیر و تعرق برآوردی از تحت تبخیر دارند. کمترین خطای NRMSE در ماه اردیبهشت معادل ۰/۱۳ اتفاق افتاده است. این نتیجه بیان‌گر آن است که در ماه‌های گرم مناطق با اقلیم خشک، تبخیر و تعرق برآوردی از روش‌های دمایی و

تشعشی قابل اعتمادتر بوده و خطای کمتری دارند. بیشترین خطا در ماه دی برابر $0/29$ قابل مشاهده است. نتایج مقیاس فصلی نیز همسو با مقیاس ماهانه می‌باشد. به طوری که کمترین خطا در فصل تابستان ($NRMSE = 0/18$) و بیشترین خطا معادل ($NRMSE = 0/30$) در فصل زمستان ملاحظه می‌شود. متوسط خطای سالانه این خوشه برابر $0/36$ است. نتایج این خوشه نیز همسو با خوشه ۱ می‌باشد. به طوری که بیشترین دقت برآورد تبخیر و تعرق به مقیاس زمانی ماهانه و کمترین دقت به مقیاس سالانه تعلق دارد. دلیل این امر را می‌توان خطای بیشتر اندازه‌گیری در مقیاس زمانی بزرگتر دانست. لیکن در مقیاس زمانی کوتاه، دقت اندازه‌گیری پارامترها افزایش می‌یابد و این امر می‌تواند منجر به تخمین دقیق‌تر تبخیر و تعرق گردد.

جدول ۷: نتایج برآورد مدل‌های بهینه برآورد تبخیر و تعرق در مقایسه با روش تست تبخیر در خوشه ۲

زمان	روش محاسبه ET_0	r_{max}	NRMSE	MAE	MBE	d	t
فروردین	پریستلی - تیلور	0/55	0/16	0/12	0/0	0/66	0/0000
اردیبهشت	پریستلی - تیلور	0/59	0/13	0/10	0/0	0/70	0/0000
خرداد	بلانی کریدل - فائو ۲۴	-0/61	0/14	0/11	0/0	0/72	0/0000
تیر	بلانی کریدل - فائو ۲۴	-0/56	0/16	0/12	0/0	0/66	0/0000
مرداد	تورک - ۱۹۶۱، تابشی فائو ۲۴	-0/57	0/17	0/13	0/0	0/68	0/0000
شهریور	تورک - ۱۹۶۱	-0/61	0/14	0/11	0/0	0/72	0/0000
مهر	تورک - ۱۹۶۱	-0/59	0/15	0/12	0/0	0/70	0/0000
آبان	تورک - ۱۹۶۱	-0/20	0/27	0/20	0/0	0/24	0/0000
آذر	بلانی کریدل - فائو ۲۴	0/33	0/32	0/24	0/0	0/44	0/0000
دی	بلانی کریدل - فائو ۲۴	0/58	0/39	0/21	0/0	0/70	0/0000
بهمن	بلانی کریدل - فائو ۲۴	0/57	0/25	0/19	0/0	0/70	0/0000
اسفند	هارگریوز - سامانی	0/67	0/19	0/13	0/0	0/78	0/0000
بهار	هارگریوز - سامانی	0/71	0/21	0/15	0/0	0/81	0/0000
تابستان	بلانی کریدل - فائو ۲۴	-0/52	0/18	0/14	0/0	0/62	0/0000
پاییز	پریستلی - تیلور	0/77	0/29	0/20	0/0	0/86	0/0000
زمستان	بلانی کریدل - فائو ۲۴	0/67	0/30	0/23	0/0	0/78	0/0000
سالانه	هارگریوز - سامانی	0/76	0/36	0/29	0/0	0/85	0/0000

جدول ۸، مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق در خوشه ۳ با بیشترین تعداد ایستگاه (۳۳ عدد) را نشان می‌دهد. در این خوشه، مانند دو خوشه ۱ و ۲، ماه‌های گرم سال کمترین خطا ($NRMSE = 0/26 - 0/22$) و ماه‌های سرد سال بیشترین مقدار $NRMSE$ ($0/25 - 0/48$) را به خود اختصاص داده‌اند. به طوری که روش هارگریوز - سامانی در ماه خرداد کمترین خطا ($NRMSE = 0/22$) و بیشترین دقت و روش بلانی کریدل - فائو ۲۴ در ماه بهمن به عنوان روش بهینه برآورد تبخیر و تعرق این ماه، بیشترین خطا ($NRMSE = 0/57$) را دارد. در مقیاس فصلی نیز فصل تابستان کمترین خطا و فصل زمستان بیشترین خطای برآورد ET_0 را دارا می‌باشند. لیکن میانگین خطا در مقیاس فصلی به مراتب بیش از مقیاس ماهانه است. در مقیاس سالانه میانگین خطا $0/41$ با ضریب همبستگی $0/78$ قابل مشاهده است. به منظور تحلیل نتایج هر یک از خوشه‌ها، روش‌های بهینه برآورد ET_0 هر یک از خوشه‌ها در سه مقیاس زمانی در جدول ۹ به همراه میانگین پارامترهای هواشناسی هر یک از خوشه‌ها نیز ارائه شده است.

جدول ۸: نتایج برآورد مدل های بهینه برآورد تبخیر و تعرق در مقایسه با روش تشت تبخیر در خوشه ۳

T	D	MBE	MAE	NRMSE	r_{max}	روش محاسبه ETo	زمان
./۰۰۰۰	۰/۶۵	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۵۳	هارگریوز- سامانی	فروردین
./۰۰۰۰	۰/۶۷	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۵۵	هارگریوز- سامانی	اردیبهشت
./۰۰۰۰	۰/۵۸	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۴۶	هارگریوز- سامانی	خرداد
./۰۰۰۰	۰/۳۴	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۲۶	هارگریوز- سامانی	تیر
./۰۰۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۱۸	هارگریوز- سامانی	مرداد
./۰۰۰۰	۰/۳۶	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۲۸	هارگریوز- سامانی	شهریور
./۰۰۰۰	۰/۵۱	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۴۰	هارگریوز- سامانی	مهر
./۰۰۰۰	۰/۵۷	۰/۰۰	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۴۵	هارگریوز- سامانی، بلانی کریدل- فائو ۲۴	آبان
./۰۰۰۰	۰/۶۲	۰/۰۰	۰/۳۲	۰/۴۵	۰/۵۱	بلانی کریدل- فائو ۲۴	آذر
./۰۰۰۰	۰/۷۳	۰/۰۰	۰/۳۸	۰/۵۱	۰/۶۲	بلانی کریدل- فائو ۲۴	دی
./۰۰۰۰	۰/۷۰	۰/۰۰	۰/۳۶	۰/۴۸	۰/۵۷	بلانی کریدل- فائو ۲۴	بهمن
./۰۰۰۰	۰/۷۲	۰/۰۰	۰/۲۵	۰/۳۴	۰/۶۰	هارگریوز- سامانی	اسفند
./۰۰۰۰	۰/۸۸	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۷۹	هارگریوز- سامانی	بهار
./۰۰۰۰	۰/۱۷	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۱۳	هارگریوز- سامانی	تابستان
./۰۰۰۰	۰/۸۷	۰/۰۰	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۷۸	هارگریوز- سامانی	پاییز
./۰۰۰۰	۰/۷۰	۰/۰۰	۰/۳۸	۰/۴۹	۰/۵۹	بلانی کریدل- فائو ۲۴	زمستان
./۰۰۰۰	۰/۸۶	۰/۰۰	۰/۳۱	۰/۴۱	۰/۷۸	بلانی کریدل- فائو ۲۴	سالانه

جدول ۹: خلاصه روش های بهینه برآورد ETo هر یک از خوشه ها

خوشه ۳	خوشه ۲	خوشه ۱			
هارگریوز- سامانی	پریستلی- تیلور	هارگریوز- سامانی	فروردین	مقیاس زمانی	
هارگریوز- سامانی	پریستلی- تیلور	هارگریوز- سامانی	اردیبهشت		
هارگریوز- سامانی	بلانی کریدل- فائو ۲۴	بلانی کریدل- فائو ۲۴	خرداد		
هارگریوز- سامانی	بلانی کریدل- فائو ۲۴	بلانی کریدل- فائو ۲۴	تیر		
هارگریوز- سامانی	تورک، تابشی فائو ۲۴	بلانی کریدل- فائو ۲۴	مرداد		
هارگریوز- سامانی	تورک- ۱۹۶۱	بلانی کریدل- فائو ۲۴	شهریور		
هارگریوز- سامانی	تورک- ۱۹۶۱	بلانی کریدل- فائو ۲۴	مهر		
هارگریوز- سامانی، بلانی کریدل- فائو ۲۴	تورک- ۱۹۶۱	هارگریوز- سامانی	آبان		
بلانی کریدل- فائو ۲۴	بلانی کریدل- فائو ۲۴	هارگریوز- سامانی	آذر		
بلانی کریدل- فائو ۲۴	بلانی کریدل- فائو ۲۴	تورک- ۱۹۶۱	دی		
بلانی کریدل- فائو ۲۴	بلانی کریدل- فائو ۲۴	تورک- ۱۹۶۱	بهمن		
هارگریوز- سامانی	هارگریوز- سامانی	هارگریوز- سامانی	اسفند		
هارگریوز- سامانی	هارگریوز- سامانی	هارگریوز- سامانی	بهار		
هارگریوز- سامانی	بلانی کریدل- فائو ۲۴	بلانی کریدل- فائو ۲۴	تابستان		
هارگریوز- سامانی	پریستلی- تیلور	هارگریوز- سامانی	پاییز		
بلانی کریدل- فائو ۲۴	بلانی کریدل- فائو ۲۴	بلانی کریدل- فائو ۲۴	زمستان		
بلانی کریدل- فائو ۲۴	هارگریوز- سامانی	هارگریوز- سامانی	سالانه		
۱۳/۱	۲۲/۷	۱۸/۱	دمای هوا (°C)		میانگین پارامترهای هواشناسی
۵۱/۵	۳۵/۲	۳۸/۴	رطوبت نسبی (%)		
۲۰/۴	۶/۴	۱۱	بارش (mm)		
۶/۴	۱۳/۴	۱۰/۱	تبخیر (mm)		
۸/۲	۹/۱	۸/۸	ساعت آفتابی (hr)		
۱/۶	۲/۷	۲/۲	سرعت باد (m/s)		

بررسی روش‌های بهینه در خوشه ۱، نشان از برتری دو روش بلانی کریدل - فائو ۲۴ و هارگریوز- سامانی است. در خوشه ۱، به جز دو ماه دی و بهمن، در کلیه مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه دو روش هارگریوز- سامانی و بلانی کریدل - فائو ۲۴ مناسب‌ترین روش می‌باشد. این امر در خوشه ۲ و ۳ نیز حاکم است لیکن در خوشه ۲، روش‌های تشعشی تورک و پریستلی تیلور نیز مشهود می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان بالا بودن ساعات آفتابی در این خوشه به میزان ۹/۱ ساعت در روز دانست که نسبت به دو خوشه دیگر بیشترین مقدار را دارد. خوشه ۲ بالاترین دمای هوا و ساعات آفتابی را دارد بنابر این برتری روش‌های تشعشی - دمایی در این خوشه منطقی به نظر می‌رسد. نکته قابل توجه در جدول ۹، عدم برتری روش‌های ترکیبی در همه خوشه‌ها است. به عبارت دیگر روش‌های ترکیبی پنمن در مقایسه با روش‌های دمایی و تشعشی بیشترین اختلاف را در برآورد تبخیر و تعرق از تشت تبخیر دارند. این در حالی است که محققان زیادی روش پنمن مانیتث را به دلیل جامع بودن آن، به عنوان روشی مناسب در بیشتر مناطق دنیا پیشنهاد داده‌اند که حاصل آن در مطالعات (سان و سونگ، ۲۰۰۸، ۳۵۲)، (رحیمی خوب، ۲۰۰۸، ۲۹۵)، (گانگ^۹ و همکاران، ۲۰۰۶) و فیشر و پرینگل^{۱۰} (۲۰۱۳، ۵۱) منتشر شده است. اما همان‌گونه که سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۸۷، ۳۲۸) نیز اظهار داشتند روش مناسب برآورد ET_0 در هر منطقه بستگی به اقلیم حاکم بر منطقه دارد. مطالعه کمار^{۱۱} و همکاران (۲۰۰۸) نیز بیان‌گر برتری روش‌های دمایی و تشعشی در مناطق با اقلیم خشک بود.

نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر با تکیه بر روش خوشه‌بندی، روابط مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع بررسی شدند. در این مطالعه، تبخیر و تعرق مرجع ۶۶ ایستگاه هواشناسی واقع در حوضه آبریز شرق و جنوب شرق کشور، به کمک ۹ روش تعریف شده در نرم‌افزار Ref-ET برآورد گردید. براساس نتایج حاصله، روش‌های هارگریوز- سامانی، بلانی کریدل - فائو ۲۴، تورک و پریستلی - تیلور بیشترین تطابق را با تبخیر و تعرق حاصل از اطلاعات تشتک تبخیر داشتند و از طرفی همین روش‌های دمایی و تشعشی نیز در ابعاد زمانی متفاوت و خوشه‌های مورد بررسی نتایج متفاوتی را ارائه می‌دهند. همچنین نتایج تحقیق نشان داد در مقیاس فصلی، فصل تابستان کمترین خطا و فصل زمستان بیشترین خطای برآورد ET_0 را دارا بودند. از طرفی مقیاس ماهانه کمترین خطا را نسبت به مقیاس زمانی فصلی داشت. این نتیجه بیان‌گر کاهش خطای برآورد ET_0 در مقیاس‌های زمانی کوچک می‌باشد.

^۸- Sun, Li., Song, C

^۹- Gong, L

^{۱۰}- Fisher, D.K., Pringle. H.C

^{۱۱}- Kumar, M

منابع

- ۱- جهانبخش اصل، سعید و علی اصغر موحد دانش(۱۳۸۰): تحلیل مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل برای ایستگاه هواشناسی تبریز، مجله دانش کشاورزی، ۱۱(۲)، صص ۶۵-۵۱.
- ۲- دادپور، مسعود(۱۳۸۷): گزارش نهایی تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع(چمن) به روش لایسیمتری در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک، مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی، شماره مصوب ۰۲۱-۸۱-۱۵-۱۲۱، موسسه تحقیقات خاک و آب.
- ۳- زارع ایبانه، حمید، بیات ورکشی، مریم، سبزی پرور، علی اکبر، معروفی، صفر و عادل قاسمی(۱۳۸۹): ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و پهنه بندی آن در ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، صص ۹۵-۱۱۰.
- ۴- سبزی پرور، علی اکبر، زارع ایبانه، حمید، تفضلی، فرزین، موسوی بایگی، محمد، غفوری، محمد، محسنی موحد، اسد... و زهره مریانجی(۱۳۸۷): مقایسه چند مدل برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه خشک به منظور استفاده بهینه از مدل‌های تابش، مجله آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۲، شماره ۲، صص ۳۴۰-۳۲۸.
- ۵- شاهین زاده، شیدا، پاپن، پیوند و فریدون رادمش(۱۳۷۸): مقایسه روش‌های تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل به روش‌های پنمن، تورنت وایت، بلانی کریدل و تشت تبخیردر منطقه هوفل در جنوب خوزستان، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۶- شفیع فسقدیس، ابراهیم و بهروز ساری صراف(۱۳۸۶): ارزیابی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق بالقوه برای منطقه اهر، مجله فضای جغرافیایی، سال هفتم، شماره ۲۰، صص ۶۴-۴۶.
- ۷- عساکره، حسین(۱۳۹۰): مبانی اقلیم شناسی آماری، چاپ اول، زنجان، دانشگاه زنجان.
- ۸- علیزاده، امین(۱۳۸۴): اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ هجدهم، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۹- علیزاده، امین و غلامعلی کمالی(۱۳۸۶): نیاز آبی گیاهان در ایران، چاپ اول، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۱۰- علیزاده، امین و بابک میرشاهی(۱۳۸۰): بررسی دقت و عملکرد تبخیر- تعرق پتانسیل محاسبه شده به روش‌های هارگریوز و سامانی و تشت تبخیر در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان، مجله نیوار، شماره ۴۲ و ۴۳، صص ۷۰-۵۱.
- ۱۱- علیزاده، امین، کمالی، غلامعلی، خانجانی، محمد جواد و محمد رضا رهنورد(۱۳۸۳): ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر - تعرق در مناطق خشک ایران، مجله تحقیقات جغرافیایی، سال ۱۳۸۳، شماره ۷۳، صص ۹۷-۱۰۵.
- ۱۲- علیزاده، امین(۱۳۸۹): طراحی سیستم‌های آبیاری، چاپ چهارم، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۱۳- علیزاده، امین و غلامعلی کمالی(۱۳۸۳): ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق در مناطق خشک، فصل نامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۷۳، صص ۹۷-۱۰۵.
- ۱۴- فرهودی، رحمت... و علی اکبر شمسی پور(۱۳۷۹): برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه بلوچستان جنوبی، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۲۹، صص ۱۱۴-۱۰۵.
- ۱۵- قمرنیا، هوشنگ و سالومه سپهری(۱۳۸۸): محاسبه آب مورد نیاز الگوی کشت‌های مختلف با روش پنمن- مانیتث و مقایسه آن با نتایج سند ملی آب ایران، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، شیراز.
- ۱۶- دادپور، مسعود، اکبری، محمود، محسنی موحد، سیدا سدا... و محمد علی خود شناس(۱۳۸۹): مقایسه دقت مدل‌های معمول برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن با لایسی متر، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- ۱۷- کریمی گوغری، شهرام و نسیم رضایی(۱۳۹۰): برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع و مقایسه آن با تبخیر از تشت تبخیر در استان کرمان، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر.
- ۱۸- مومنی، منصور(۱۳۸۹): تحلیل‌های آماری با استفاده از SPSS، چاپ سوم، تهران، انتشارات کتاب نو.
- ۱۹- مهدی‌زاده، سعید، بهمنش، جواد و جعفر نیکبخت(۱۳۸۹): برآورد تبخیر- تعرق مرجع با سطوح احتمال وقوع مختلف (مطالعه موردی: ارومیه)، مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۰/۱، شماره ۴، صص ۱۸۳- ۱۷۱.
- ۲۰- ناصری، عبدعلی و سیدا سدا... محسنی موحد(۱۳۷۸): ارزیابی روش‌های تجربی برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در منطقه همدان، مجله پژوهش کشاورزی، شماره ۱، صص ۳۹-۲۴.
- ۲۱- نساجی زواره، مجتبی و رحیم صادقی‌فر(۱۳۸۶): برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش‌های مختلف (مطالعه موردی ایستگاه هواشناسی کرج)، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر.
- ۲۲- وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح(۱۳۸۴): فرهنگ جغرافیایی رودهای کشور- حوضه آبریز شرق ایران و قره قوم، چاپ اول، تهران، انتشارات سازمان جغرافیایی، جلد پنجم.

- 23- Allen, R.G., Pruitt, W.O (1991): FAO -24 Reference Vapotranspiration Factors, *J.Irrig. Drain. Eng.*, 117(5), 758-773.
- 24- Allen, R.C. Pereira, L.S (1998): *Crop Evapotranspiration Guideline for Computing Crop Water Requirements*, FAO Irrigation and Drainage, Pp.56, Rom, Italy.
- 25- Bakhtiyari, B., Ghahreman, N (2011): Evaluation of Reference Evapotranspiration Models for a Semiarid Environment Using Lysimeter Measurements, *J.Agr.Sci.Tech.Vol.13*.223-237.
- 26- Dinpashoh, Y (2006): Study of Reference Crop Evapotranspiration in I.R. of Iran, *Agricultural Water Management* 84, 123-129.
- 27- Eagleman, J.R (1967): Pan Evaporation Potential and Actual Evapotranspiration, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 6.
- 28- Fisher, D. K., Pringle. H.C (2013): Evaluation of Alternative Methods for Estimating Reference Evapotranspiration, *Agricultural Sciences .Vol.4, No.8A*, 51-60.
- 29- Gong, L, Xu., Chong-yu, C., Deliang, C., Sven, H., Yongqin, D,C (2006): Sensitivity of the Penman-Monteith Reference Evapotranspiration to Key Climatic Variables in the Changjiang (Yangtze River) Basin, *Journal of Hydrology*, 329: 620- 629
- 30- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A (1994): Evapotranspiration Estimates in Extremely Arid Areas, *J.Irrig.Drain*, Vol. 115(5):301:308
- 31- Kaya, S., Salih, E (2012): Evaluation of Pan Coefficient for Reference Crop Evapotranspiration for Igridir Region of Turkey, *Journal of food Agricultural & Environment*, Vol. 10(3-4),987-991.
- 32- Kumar M., Bandyopadhyay A., Raghuwanshi N.S., Singh R, (2008): Comparative study of conventional and artificial neural network-based ETO estimation models, *J. Irrigation Science*. 26 (6), 531-545.
- 33- Rahimikhob, A. (2009): An Evaluation of Common Pan Coefficient Equations to Estimate Reference Evapotranspiration in a Subtropical Climate (North of Iran), *Irrig Sci*, Vol. 27.289-296.
- 34- Sabziparvar, A. A., and Tabari, H. (2010): Evaluation of Class A Pan Coefficient Models for Estimation of Reference Crop Evapotranspiration in Cold Semi-Arid Warm Arid Climates, *Water Resource Management*, 24, 909-920.
- 35- Salih, A., Sendil, U. (1984), Evapotranspiration under Extremely Arid Climates, *J. Irrig. Drain. Eng.* 110 (3): 289 – 303.
- 36- Singh, K. R., Pauer, P.S(2011): Comparative Study of Reference Crop Evapotranspiration (ETo) By Different Energy Based Method With FAO56 Penman-Monteith Method at New Delhi, India, *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 3, No.10, 7861-7868.
- 37- Snyder, R. L., Orang, M., and Matyac, S., Grismer, M., ASCE. M. (2005): Simplified Estimation of reference Evapotranspiration from Pan Evaporation data in California, *Jourand of Irrigation and Drainage Engineering*, 131: 3(249 – 253).
- 38- Sun, Li and Song, Changchun (2008): Evapotranspiration from a Freshwater Marsh in the Sanjiang Plain, Northeast China, *Journal of Hydrology*, 352, 202– 210.
- 39- Trajkovic, S., Kolakovic, S. (2010): Comparison of Simplified Pan -Based Equations for Estimating Reference Evapotranspiration, *J.Irrig. Drain. Eng.*, 136 (2), 137-140.
- 40- Xing, Z., Chow, L., Meng, F., Rees, H.W., Monteith, J., Lionel, S. (2008): Testing Reference Evapotranspiration Estimation Methods Using Evaporation Pan and Modeling in Maritime Region of Canada, *J.Irrig. Drain. Eng.*, 134(4), 417-424.