



Geographic Notion

Vol. ۱۵. Spring ۲۰۱۴

Zanjan University

No. ۱۰۵

اندیشه جغرافیایی

سال هفتم، شماره پانزدهم، بهار ۱۳۹۳

دانشگاه زنجان

مقاله شماره ۱۰۵

ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع با روش تست تبخیر *FAO* در حوضه آبریز شرق و جنوب شرق کشور

علیرضا جوشنی^۱، جواد خوشحال^۲، حمید زارع ایبانه^۳

چکیده

برآورد تبخیر و تعرق مرجع جهت برآورد نیاز آبی گیاهان، مدیریت طرح‌های آبی و زهکشی و زمان آبیاری گیاهان از ضروریات بخش کشاورزی می‌باشد. لذا در این پژوهش به منظور یافتن بهترین مدل برآورد تبخیر و تعرق مرجع برای حوضه آبریز شرق و جنوب شرقی کشور، با تکیه بر روش خوشه بندی با لحاظ اطلاعات هواشناسی ۶۶ ایستگاه هواشناسی، تبخیر و تعرق مرجع حاصل از تست تبخیر 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 روش‌های هارگریوز-سامانی، بلانی کریدل-۲۴، تورک و پرستلی-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 مقیاس‌های زمانی کوچک می‌باشد.

واژگان کلیدی: خوشه بندی، هارگریوز-سامانی، بلانی کریدل-۲۴، تورک، پرستلی-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 می‌سازد. بر همین اساس با عنایت به اهمیت بخش کشاورزی و آب مصرفی در این بخش، تعیین نیاز آبی گیاهان به‌عنوان 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 محصولات 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 لایسمتری در قالب روش‌های مستقیم برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق پیشنهاد شده است. لیکن استفاده از لایسمتر 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 غیر مستقیم برآورد ET_0 از مقادیر تشت تبخیر یا برخی داده‌های هواشناسی داشته‌اند. در کانادا دو محقق مدل‌های برآورد ET_0 را با روش تشت تبخیر در یک ایستگاه ساحلی مرکز تحقیقات کشت سیب زمینی کانادا مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که مدل تشت تبخیر برآورد کمتری از ET_0 نسبت به رابطه‌های پنمن-مانتیث و پریستلی-تیلور داشت (سینگ^۱ و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۳۴). در ایتالیا نیز اعتبار ساده سازی روش-های مبتنی بر تشت تبخیر بطور مستقیم برای برآورد ET_0 بدون نیاز به داده‌های رطوبت نسبی و سرعت باد مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش معادله‌های مبتنی بر تشت با داده‌های روزانه لایسمتر (گیاه چمن) مقایسه شدند. در این مطالعه موفقیت معادله اشنایدر در تخمین ET_0 نسبت به معادله پنمن-مانتیث گزارش شد (تراجکویچ

۱. Xing, Z

و کولاکوویچ^۱، ۲۰۱۰: ۱۴۰). در منطقه ایگدیر ترکیه تبخیر و تعرق پتانسیل برآوردی با معادلات گوناگون تحت تبخیر در مقایسه با معادله فائو - پنمن - مانتیث مورد ارزیابی قرار گرفت و برتری روش شنایدر در مقیاس ماهانه گزارش گردید (کایا سباحتین و صالح^۲، ۲۰۱۲: ۹۸۷). مقادیر تبخیر و تعرق از روش‌های مختلف تجربی در محل دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا محاسبه و نتایج آنها با داده‌های لایسیمتر مقایسه شدند. این مقایسه نشان داد که فرمول‌های تحت تبخیر و بلانی کریدل در برآورد *ET* مناطقی که دارای اطلاعات تبخیر از تحت و یا دما هستند مناسب می‌باشند (ناصری و همکاران، ۱۳۷۸: ۴۶). 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 ارائه نمی‌دهد، ولی روش بلانی کریدل همبستگی خوبی با روش اندازه‌گیری مستقیم (تشت) دارد (فرهودی و شمسی پور، ۱۳۷۹: ۱۰۵). محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (ترکیبی، دمایی، تابشی، همبستگی چندگانه و رطوبتی) با استفاده از آمار دراز مدت ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی تبریز و مقایسه آن‌ها با روش تحت تبخیر نشان داد روش کریستین - هارگریوز نسبت به سایر روش‌ها تطابق بهتری با روش تحت تبخیر دارد (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۸۰: ۵۱). در منطقه اهر دو محقق به ارزیابی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق بالقوه نسبت به تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه حاصل از تحت تبخیر اقدام نمودند. بر اساس نتایج حاصل مشخص گردید روش‌های تورک، تورنت وایت، کریستین سن، هارگریوز و بلانی کریدل پس از اعمال ضرایب اصلاحی، بهترین تطابق را با مقادیر *ET* ماهانه حاصل از تحت تبخیر دارند (شفیعی فسقندیس و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۵). در استان خوزستان بررسی و مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه هوفل بر اساس روش‌های بلانی کریدل اصلاح شده، پنمن مانتیث، تورنت وایت و تحت تبخیر صورت پذیرفت. نتایج به دست آمده حاکی از این بود که تحت تبخیر نسبت به سایر روش‌ها ضریب همبستگی بیشتری با روش مرجع پنمن مانتیث دارد و اولویت

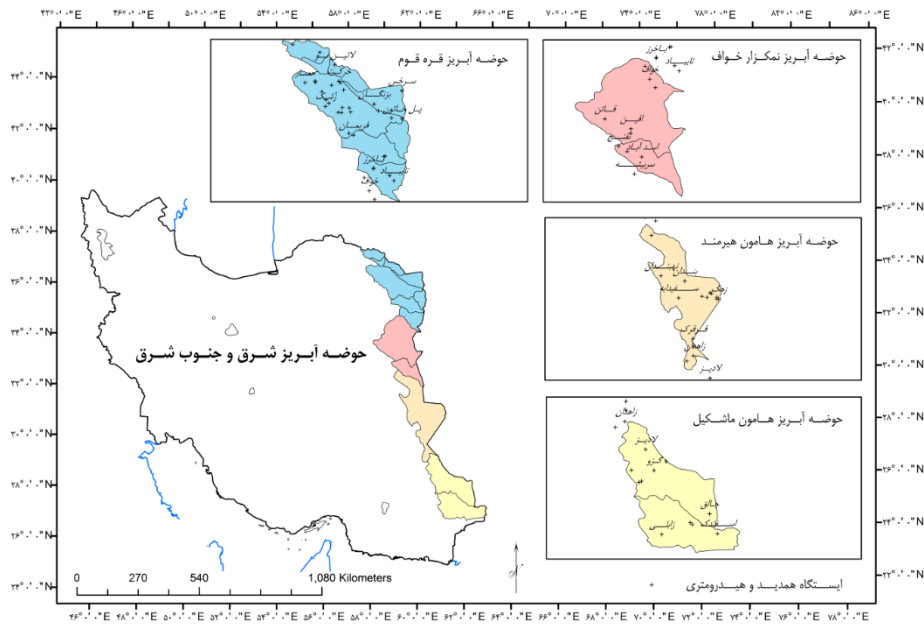
^۱ Trajkovic, S., Kolakovic, S

^۲ Kaya, S., Salih, E

روش‌های دیگر نسبت به پنمن مانیتث به ترتیب تورنت وایت و بلانی کریدل بود (شاهین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷: ۷). در منطقه کرمان نیز برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع و مقایسه آن با تبخیر از تشت تبخیر انجام و نتایج حاکی از ضریب همبستگی بالا بین میزان تبخیر و تعرق حاصل از روش پنمن مانیتث و تشت تبخیر بود (کریمی گوغری و رضایی، ۱۳۹۰: ۱). بررسی منابع بیان‌گر اهمیت برآورد تبخیر و تعرق با حداقل داده‌های قابل دسترس می‌باشد. لذا در این تحقیق اولاً با توجه به اهمیت موضوع که در اوایل این قسمت مطرح گردید و ثانیاً به دلیل اینکه در ایران مقایسه روش‌های تجربی با برآورد تبخیر و تعرق به روش تشت تبخیر خیلی محدود (از نظر تعداد ایستگاه و وسعت حوضه) صورت پذیرفته، بر آن شدیم تا به ارزیابی و مقایسه روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق بر اساس داده‌های هواشناسی و تبخیر و تعرق حاصل از تشت تبخیر پردازیم.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه یکی از حوضه‌های آبریز هشت‌گانه کشور در منطقه شرق ایران است که بین محدوده‌های طول $58^{\circ}10'59''E$ تا $63^{\circ}18'23''E$ و عرض $26^{\circ}43'10''N$ 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 می‌گردد (وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، ۱۳۸۴: ۱) شکل ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه جنوب شرق ایران را به همراه پراکنش ایستگاه‌های مستقر در حوضه‌های آبریز نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه های آبریز شرق - جنوب شرق و ایستگاه های 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، رطوبت نسبی حداقل - حداکثر - میانگین، دمای تر روزانه، دمای خشک روزانه، دمای نقطه شبنم روزانه، متوسط سرعت روزانه باد در ارتفاع ۲ متری، داده های تشت تبخیر، ساعات آفتابی و بارش سالانه می باشد. مختصات و ویژگی های اقلیمی ایستگاه های مستقر در این حوضه در جدول (۱) درج گردیده است.

پس از جمع آوری داده ها اقدام به بررسی و کنترل کیفیت داده ها شد. بدین منظور در هر ایستگاه هر یک از پارامترهای مورد استفاده از نظر همگنی، نرمال بودن، قرار داشتن در جایگاه درست، حدهای بالا و پایین، مقایسه با ایستگاه های مجاور، مورد بررسی قرار گرفتند. در خصوص داده های 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 تشت تبخیر بر اساس جدول شماره ۴ مندرج در صفحه ۷۶۲ نشریه ۲۴ فائو، ضرایب تشت بزرگتر از یک و مقادیر تبخیر از تشت برابر با صفر از مجموعه داده‌ها حذف گردیدند. سپس ایستگاه‌های انتخابی بر اساس مقدار تبخیر تشت تبخیر، با استفاده از روش آماری تحلیل خوشه‌ای، خوشه‌بندی شدند. برای انجام گروه‌بندی ایستگاه‌ها بر اساس فاصله آن‌ها (مجذور فاصله اقلیدسی) از روش سلسله مراتبی و قاعده اتصال وارد (Ward) استفاده گردید. سپس با استفاده از تحلیل واریانس یکطرفه (آزمون فیشر - نشاندهنده 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 (جداول ۲، ۳). پردازش داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای Surfer، Matlab، Excel، SPSS انجام گرفت.

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

میانگین پارامترهای هواشناسی				موقعیت جغرافیایی				نام ایستگاه
سرعت باد (متر بر ثانیه)	ساعات تابش (ساعت)	تبخیر (میلیمتر بر روز)	بارش (میلیمتر ماه)	دما (درجه سانتیگراد)	نسبت رطوبت (%)	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی (درجه)	
۱/۷	-	۶/۲	۲۲/۸	۵۴/۵	۱۳/۶	۱۳۲۰	۳۶/۲۹	ارداک (بندساروج)
۲/۶	-	۱۲/۹	۷/۸	۳۸/۲	۲۳/۶	۱۰۷۳	۲۷/۱۲	اسفندق
۲/۳	-	۸/۸	۱۵/۸	۴۲	۱۴/۸	۱۴۱۵	۲۳/۵۲	افین
-	-	۵/۹	۲۱/۳	۴۷	۱۲	۱۲۰۲	۶۳/۸۳	امامزاده
۱/۶	-	۱۰/۷	۵/۷	۳۴/۸	۲۳/۲	۷۴۹	۳۱/۰۲	امور آب سیستان
۲/۶	-	۷/۹	۱۷/۱	۷۴/۱	۱۴/۱	۹۱۴	۳۶/۲۵	النک اسدی
-	-	۶	۲۳/۴	۴۷/۸	۱۶	۸۷۱	۳۶/۰۰	آق دربند
۲	-	۷/۳	۱۴/۷	۴۳/۵	۱۴/۳	۱۳۰۶	۳۴/۹۹	باخرز بالا
۰/۹	-	۵/۴	۲۹/۲	۴۸/۵	۱۲/۹	۱۶۱۸	۳۶/۴۶	باراربه
۱/۶	-	۷/۷	۱۴/۱	۴۳	۱۵/۶	۹۳۸	۳۵/۲۲	باغ سنگان
۳/۱	-	۷/۲	۲۵/۵	۴۹	۱۴/۹	۱۰۰۹	۳۶/۳۰	بزنگان
۳/۶	-	۱۴/۶	۵	۲۸/۹	۲۳/۱	۷۲۳	۳۱/۳۶	بندان
۲/۱	۷/۹	۱۰/۲	۱۳/۷	۳۵/۵	۱۶/۴	۱۴۹۱	۳۲/۸۷	بیرجند
۱/۲	-	۷/۳	۲۴/۲	۴۹/۴	۱۷/۶	۴۰۶	۳۶/۰۰	پل خاتون
۳/۱	۸/۷	۹/۹	۱۳/۹	۴۷/۱	۱۵/۵	۹۵۰	۳۵/۲۳	ترت جام
۰/۶	-	۷/۶	۱۲/۵	۳۳	۱۸/۹	۱۴۲۰	۲۸/۱۹	تصفیه خانه خاش
۱/۳	-	۱۲/۴	۳/۶	۳۵/۳	۲۳/۵	۷۴۸	۲۸/۶۳	تلخ آب (تهلاب)
۲/۸	-	۱۶/۹	۶/۷	۴۱/۸	۲۴/۸	۸۵۲	۲۷/۵۳	جالتی
۲/۴	۷/۸	۷/۴	۱۴/۶	۵۳	۱۲/۳	۱۳۵۰	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	۵۳/۴	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	درگر - وزارت نیرو
-	-	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	۴۸۹/۲	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	ژشک
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 طرق
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	۳۳/۶	۴۵/۶	۱۱	نیمه خشک	۱۴۲۳	۵۹/۳۰	۳۶/۲۷	شاندیز
-	-	۵/۴	۲۸/۴	۶۰	۹/۶	نیمه خشک	۱۴۸۹	۵۸/۴۵	۳۷/۵۹	شمخال
۳/۳	-	۱۲/۹	۴/۱	۳۶/۴	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 باخوز
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	۳۵/۴۰	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	۲۱/۱	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	۲۱۲۱	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	۵۳/۲	۱۹/۷	خشک	۱۰۰۰	۶۱/۴۹	۲۸/۴۴	کزو
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 آباد
۱/۷	-	۶/۷	۱۵/۲	۳۴/۳	۱۱/۵	خشک	۲۱۱۱	۵۹/۵۳	۳۳/۱۴	نقج
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

به منظور برآورد ET از روش های تعریف شده در نرم افزار Ref-ET استفاده شد.

در این نرم افزار روش های محاسباتی با توجه به نوع داده های 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 تشعشی و سه روش ترکیبی تشعشی دمایی است. در این مطالعه از دو روش ترکیبی پنمن-مانتیت-فائو ۵۶ و کیمبرلی-پنمن (۱۹۸۲)، دو روش دمایی بلانی-کریدل-فائو ۲۴ و هارگریوز-سامانی و سه روش تشعشی-دمایی شامل معادلات پرستلی-تیلور، مکینک (۱۹۵۷)، تورک (۱۹۶۱) و روش تشعشی فائو ۲۴ استفاده شد. در نهایت روش تشت تبخیر FAO-۲۴ نیز بعنوان معادله محاسبه ET_0 مورد استفاده قرار گرفت. روش محاسبه هر کدام از روش‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

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

ردیف	نام روش محاسبه	شکل معادله
	ET_0	
۱	تشت تبخیر فائو ۲۴	$ET_0 = k_p \cdot E_{pan}$
۲	هارگریوز-سامانی	$ET_0 = 0.0023R_n (T_{mean} + 17.8)T_D^{0.5}$
۳	بلانی-کریدل-فائو ۲۴	$ET_0 = a + b[P(0.46T_{mean} + 8.13)]$
۴	مکینک	$ET_0 = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_s}{2.45} - 0.12$
۵	تورک - ۱۹۶۱	$ET_0 = a_T \times 0.013 \frac{T_{mean}}{T_{mean} + 15} \times \frac{23.8856R_s + 50}{\lambda}$
۶	پرستلی-تیلور	$ET_0 = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n - G}{\lambda}$
۷	پنمن-مانتیت-فائو ۵۶	$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{890}{T + 273} \right) [u_2(e_a - e_d)]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$
۸	معادله اصلاح شده پنمن توسط کیمبرلی ۱۹۸۲	$ET_0 = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + k_w \frac{\gamma}{\gamma + \Delta} (a_w + b_w u_2)(e_s - e_a) / \lambda$
۹	تابشی-فائو ۲۴	$ET_0 = a + b \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot R_s \right)$

پارامترهای مورد استفاده در معادلات و واحد اندازه‌گیری آنها

ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن (mm/day)

P : فشار هوا (k_p)

k_p : ضریب تشت

Δ : شیب منحنی فشار بخار	λ : گرمای نهان تبخیر ($\frac{MJ}{kg}$)
$(\frac{kp_a}{^{\circ}C})$	G : جریان حرارتی زمین ($\frac{MJ}{m^2 \cdot day}$)
$e_a - e_d$: کمبود فشار بخار	T_{mean} : میانگین درجه حرارت روزانه ($^{\circ}C$)
در ارتفاع ۲ متری (kp_a)	T_D : اختلاف درجه حرارت حداکثر و حداقل روزانه ($^{\circ}C$)
u_2 : سرعت باد در طول روز	R_n : تشعشعات خالص خورشیدی بر حسب میلی متر آب تبخیر پذیر
در ارتفاع دو متری از سطح	k_w : ضریب ثابت برابر ۶/۴۳ برای ET_0 بر حسب ($\frac{mm}{day}$)
زمین ($\frac{m}{s}$)	P : متوسط ساعت روشنایی هر روز در ماه مورد نظر تقسیم بر کل ساعات روشنایی سال ضربدر ۱۰۰
R_{nl} : تابش طول موج بلند	a_w و b_w : ضرایب تجربی می باشند که بنا بر پیشنهاد اولیه پنمن در صورتی که سرعت باد بر حسب
خالص خروجی	$(\frac{m}{s})$ باشد مقادیر عددی آنها به ترتیب برابر واحد و ۰/۵۳۷ می باشد.
$(\frac{MJ}{m^2 \cdot day})$	R_s : تشعشع خورشیدی رسیده به زمین (موج کوتاه) ($\frac{MJ}{m^2 \cdot day}$)

آماره های عملکرد مدل ها

به منظور مقایسه روش های برآورد ET_0 ، نتایج حاصل از هر یک از روش ها 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، روش های مذکور مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در تجزیه و تحلیل نتایج از آماره های ضریب همبستگی پیرسون (r)، ضریب تعیین (R^2) و آزمون معنی داری این آماره ها، میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین خطای سوگیری (MBE)، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال ($NRMSE$)، شاخص توافق ویلموت (d) و معیار t (شاخص ژاکویدز ۱۹۹۷، به نقل از رام کاران سینگ، ۲۰۱۱: ۷۸۶۴) بهره گیری شد (روابط ۱ تا ۶).

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

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

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

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

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

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

در روابط فوق، P_i : مقدار برآورد شده تبخیر و تعرق، O_i : مقدار اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر، N : تعداد مشاهدات \bar{O} : میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق توسط تشت تبخیر، t شاخص ژاکویدز می‌باشند.

حالت بهینه آماره‌های ذکر شده بدین صورت است:

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

$$d, r \rightarrow 1$$

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 را 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، ۱۳۸۱: ۱۷۸)، تعداد ۳ خوشه در نظر گرفته شد. همان‌گونه که در 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. مشخصات اعضای هر یک از خوشه‌ها در جدول ۵ آورده شد.



جدول ۳ - تحلیل واریانس یک طرفه

تعداد خوشه	مقدار خطا	مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	تعداد خوشه
۲	۰/۰۰۰	۱۵۴/۶۳۷	۳۸۰/۱۶۰	۱	۳۸۰/۱۶۰	میان گروهی
			۲/۴۵۸	۶۴	۱۵۷/۳۳۸	درون گروهی
				۶۵	۵۳۷/۴۹۸	کل
۳	۰/۰۰۰	۱۹۴/۱۲۴	۲۳۱/۲۳۸	۲	۴۶۲/۴۵۷	میان گروهی
			۱/۱۹۱	۶۳	۷۵/۰۴۲	درون گروهی
				۶۵	۵۳۷/۴۹۸	کل
۴	۰/۰۰۰	۲۶۴/۱۷۶	۱۶۶/۱۶۷	۳	۴۹۸/۵۰۰	میان گروهی
			۰/۶۲۹	۶۲	۳۸/۹۹۸	درون گروهی
				۶۵	۵۳۷/۴۹۸	کل
۵	۰/۰۰۰	۳۳۶/۴۷۶	۱۲۸/۵۴۸	۴	۵۱۴/۱۹۴	میان گروهی
			۰/۳۸۲	۶۱	۲۳/۳۰۵	درون گروهی
				۶۵	۵۳۷/۴۹۸	کل

جدول ۴ - تست توکی

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

*: معنی داری در سطح ۰/۰۵

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 مرجع حاصل از داده‌های تشت تبخیر کلاس A به تفکیک سه خوشه مورد مطالعه در جداول ۶، ۷ و ۸ آورده شد.

جدول ۵ - اسامی ایستگاه‌های متعلق به هر یک از خوشه‌ها

خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳
قرقرک	افین	مشهد
کوشه خاص	امور آب سیستان	شاندیز
کوه خواجه	بیرجند	شمخال
گرو	تربت جام	فرهادگرد
گوربند	خاش	فریمان
لادیز	زابلی	قدیرآباد
لار پایین	زاهدان	کریتان
منصور آباد	سربیشه	گل مکان
نهبندان	سنگان	لائین نو
هوشک سراوان	قائن	مارشک
***	***	مزدوران
***	سفيدابه	درگز- وزارت نیرو
***	شهرک علی اکبر	***
***	شهرنو باخرز	***

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 کربدل - 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 تشعشی قابل اعتمادتر بوده و خطای کمتری دارند. مطلوبیت روش‌های دمایی و تشعشی این مناطق در مطالعات نساجی زواره و صادقی فر (۱۳۸۶: ۵) و زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۹: ۱۰۱) نیز اشاره شده است که با نتیجه تحقیق حاضر مبنی بر توصیه روش‌های دمایی و تشعشی هم‌خوانی دارد. به‌طوری 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 می باشد. به طوری که کمترین خطا در فصل تابستان ($NRMSE=0/20$) و بیشترین خطا معادل ۰/۴۳ در فصل زمستان ملاحظه می گردد. متوسط خطای سالانه خوشه ۱ برابر ۰/۳۶ است. بنابراین می توان اظهار داشت تبخیر و تعرق برآوردی در مقیاس ماهانه دقت بیشتری نسبت به مقیاس های فصلی و سالانه دارد. به عبارت دیگر با کوچک تر شدن مقیاس زمانی، تبخیر و تعرق های برآوردی قابل اعتمادتر بوده و اختلاف کمتری با تبخیر و تعرق پتانسیل دارد.

جدول ۶ - نتایج برآورد مدل های بهینه برآورد تبخیر و تعرق در مقایسه با روش تشت تبخیر در خوشه ۱

t	d	MBE	MAE	NRMSE	r_{max}	روش محاسبه ET_0	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 کرایدل- فائو ۲۴	خرداد
۰/۰۰۰۰	۰/۶۲	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۱۷	-۰/۵۲	بلانی کرایدل- فائو ۲۴	تیر
۰/۰۰۰۰	۰/۵۷	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۱۸	-۰/۴۷	بلانی کرایدل- فائو ۲۴	مرداد
۰/۰۰۰۰	۰/۵۸	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۱۸	-۰/۴۸	بلانی کرایدل- فائو ۲۴	شهریور
۰/۰۰۰۰	۰/۳۳	۰/۰۰	۰/۱۷	۰/۲۵	-۰/۲۸	بلانی کرایدل- 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 کرایدل- 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 کرایدل- 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 مقیاس های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در جدول ۷ ارائه شده است. بررسی روش ها بیانگر آن است که در مقیاس ماهانه روش های پرستلی- تیلور، بلانی کرایدل - فائو ۲۴، تورک ۱۹۶۱، تابشی فائو ۲۴ و هارگریوز - سامانی به ترتیب اولویت، تطابق بهتری با تبخیر و تعرق برآوردی از تشت تبخیر دارند. کمترین خطای $NRMSE$ در ماه اردیبهشت معادل ۰/۱۳ اتفاق افتاده است. این نتیجه بیان گر آن است که در ماه های گرم مناطق با اقلیم خشک، تبخیر و تعرق برآوردی از روش های دمایی و تشعشعی قابل

اعتمادتر بوده و خطای کمتری دارند. بیشترین خطا در ماه دی برابر ۰/۲۹ 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 می‌گردد. متوسط خطای سالانه این خوشه برابر ۰/۳۶ 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 فصلی و سالانه تعلق دارد.

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	پرستلی- تیلور	+0/55	0/16	0/12	0/0	0/66	0/0000
اردیبهشت	پرستلی- 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، تایشی 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	+0/34	0/32	0/24	0/0	0/44	0/0000
دی	بلانی کریدل- فائو ۲۴	+0/58	0/29	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	هار گریوز- سامانی	+0/67	0/19	0/13	0/0	0/78	0/0000
بهار	هار گریوز- 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	پرستلی- 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	هار گریوز- 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 ($NRMSE = 0/22 - 0/26$) و ماه‌های سرد سال بیشترین مقدار $NRMSE$ ($0/48 - 0/25$) را به خود اختصاص داده‌اند. به طوری که روش هارگریوز- سامانی در ماه خرداد کمترین خطا و بیشترین دقت ($NRMSE = 0/22$) 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 ۰/۴۱ با ضریب همبستگی ۰/۷۸ قابل مشاهده است.

جدول ۸ - نتایج برآورد مدل‌های بهینه برآورد تبخیر و تعرق در مقایسه با روش تشت تبخیر در خوشه ۳

t	d	M B E	M A E	M _{max} S E	روش محاسبه ET_0	ز م ا ن ف ر و ر د ن ا ر ه ش ت خ ر ت م ر د ش ه و
۰	۶	۰	۱	۲	۵	هار گریوز- سامانی
۰	۵	۰	۹	۶	۳	
۰	/	/	/	/	/	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	
/					+	
۰						
۰	۶	۰	۱	۲	۵	هار گریوز- سامانی
۰	۷	۰	۹	۵	۵	
۰	/	/	/	/	/	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	
/					+	
۰						
۰	۵	۰	۱	۲	۴	هار گریوز- سامانی
۰	۸	۰	۸	۲	۶	
۰	/	/	/	/	/	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	
/					+	
۰						
۰	۳	۰	۱	۲	۲	هار گریوز- سامانی
۰	۴	۰	۸	۲	۶	
۰	/	/	/	/	/	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	
/					+	
۰						
۰	۰	۰	۱	۲	۱	هار گریوز- سامانی
۰	۰	۰	۸	۲	۸	
۰	/	/	/	/	/	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	
/					+	
۰						
۰	۳	۰	۱	۲	۲	هار گریوز- سامانی
۰	۶	۰	۸	۲	۸	
۰	/	/	/	/	/	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	
/					+	

جدول ۹ - خلاصه روش‌های بهینه برآورد ET_0 هر یک از خوشه‌ها

خوشه ۳	خوشه ۲	خوشه ۱	
هار گریوز - سامانی	پریستلی - تیلور	هار گریوز - سامانی	فروردین
هار گریوز - سامانی	پریستلی - تیلور	هار گریوز - سامانی	اردیبهشت
هار گریوز - سامانی	بلانی کریدل - فائو ۲۴	بلانی کریدل - فائو ۲۴	خرداد
هار گریوز - سامانی	بلانی کریدل - فائو ۲۴	بلانی کریدل - فائو ۲۴	تیر
هار گریوز - سامانی	تورک، تابشی فائو ۲۴	بلانی کریدل - فائو ۲۴	مرداد
هار گریوز - سامانی	تورک - ۱۹۶۱	بلانی کریدل - فائو ۲۴	شهریور
هار گریوز - سامانی	تورک - ۱۹۶۱	بلانی کریدل - فائو ۲۴	مهر
هار گریوز - سامانی، بلانی کریدل - فائو ۲۴	تورک - ۱۹۶۱	هار گریوز - سامانی	آبان
بلانی کریدل - فائو ۲۴	بلانی کریدل - فائو ۲۴	هار گریوز - سامانی	آذر
بلانی کریدل - فائو ۲۴	بلانی کریدل - فائو ۲۴	تورک - ۱۹۶۱	دی
بلانی کریدل - فائو ۲۴	بلانی کریدل - فائو ۲۴	تورک - ۱۹۶۱	بهمن
هار گریوز - سامانی	هار گریوز - سامانی	هار گریوز - سامانی	اسفند
هار گریوز - سامانی	هار گریوز - سامانی	هار گریوز - سامانی	بهار
هار گریوز - سامانی	بلانی کریدل - فائو ۲۴	بلانی کریدل - فائو ۲۴	تابستان
هار گریوز - سامانی	پریستلی - تیلور	هار گریوز - سامانی	پاییز
بلانی کریدل - فائو ۲۴	بلانی کریدل - فائو ۲۴	بلانی کریدل - فائو ۲۴	زمستان
بلانی کریدل - فائو ۲۴	هار گریوز - سامانی	هار گریوز - سامانی	سالانه
۱۳/۱	۲۲/۷	۱۸/۱	دمای هوا (°C)
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 هار گریوز - سامانی است. در خوشه ۱، به جز دو ماه دی و بهمن، در کلیه مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه دو روش هار گریوز - 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 بنابراین 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 داده اند که حاصل آن در مطالعات سان و سونگ (۲۰۰۸: ۳۵۲)، رحیمی خوب (۲۰۰۹: ۲۹۵)، گانگ و همکاران (۲۰۰۶: ۶۲۰) و فیشر و پرینگل (۲۰۱۳: ۵۱) منتشر شده است. اما همان گونه که سبزی پرور و همکاران (۱۳۸۷: ۳۲۹) نیز اظهار داشتند روش مناسب برآورد *ET* در هر منطقه بستگی به اقلیم حاکم بر منطقه دارد. مطالعه کمار و همکاران (۲۰۰۸: ۵۳۱)، شاهین زاده و همکاران (۱۳۸۷)، دادپور و همکاران (۱۳۸۷: ۵)، بختیاری و همکاران (۲۰۱۱: ۲۳۷)، علیزاده و همکاران (۱۳۸۳: ۱۰۴) نیز بیان گر برتری روش های دمایی و تشعشی در مناطق با اقلیم خشک بود. با توجه به مطالب اشاره شده در فوق پیشنهاد می گردد در مکان هایی از این حوضه که داده های تشت تبخیر در اختیار نیست می توان از معادلات تجربی (دمایی و تشعشی) مورد قبول در این مقاله با توجه به بعد زمانی و مقدار خطای ارائه شده بهره جست.

منابع و ماخذ

۱. جهانبخش اصل، سعید و موحد دانش، علی اصغر (۱۳۸۰). تحلیل مدل های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل برای ایستگاه هواشناسی تبریز، مجله دانش کشاورزی، ۱۱(۲)، تبریز.
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 و بیات ورکشی، مریم و سبزی پرور، علی اکبر و معروفی، صفر و قاسمی، عادل (۱۳۸۹). ارزیابی روش های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و پهنه بندی آن در ایران، مجله پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴. تهران.
۴. سبزی پرور، علی اکبر و زارع ایبانه، حمید، تفضلی، فرزین و موسوی بایگی، محمد و غفوری، محمد و محسنی موحد، اسدالله و مریانجی، زهره (۱۳۸۷). مقایسه چند مدل برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه خشک، به منظور استفاده بهینه از مدل های تابش، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۲، شماره ۲، مشهد.

۵. شاهین زاده، شیدا و پاپن، پیوند و رادمنش، فریدون (۱۳۸۷). مقایسه روش‌های تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل به روش‌های پنمن، تورنت وایت، بلانی کریدل و تشت تبخیر در منطقه هوفل در جنوب خوزستان، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
۶. شفیعی فسقندیس، ابراهیم و ساری صراف، بهروز (۱۳۸۶). ارزیابی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق بالقوه برای منطقه اهر، مجله فضای جغرافیایی، سال هفتم، شماره ۲۰، اهر.
۷. عساکره، حسین (۱۳۹۰). مبانی اقلیم‌شناسی آماری، دانشگاه زنجان، چاپ اول، زنجان.
۸. علیزاده، امین و کمالی، غلام‌علی (۱۳۸۳). ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق در مناطق خشک، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۳، اصفهان.
۹. فرهودی، رحمت‌ا... و شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱۳۷۹). برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه بلوچستان جنوبی، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۲۹، تهران.
۱۰. کریمی‌گوغری، شهرام و رضایی، نسیم (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، کرمان.
۱۱. مومنی، منصور (۱۳۸۹). تحلیل‌های آماری با استفاده از SPSS، چاپ سوم، تهران، انتشارات کتاب‌نو.
۱۲. ناصری، عبدعلی و محسنی‌موحد، اسد... (۱۳۷۸). ارزیابی روش‌های تجربی برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در منطقه همدان. مجله پژوهش کشاورزی، شماره ۱، همدان.
۱۳. نساجی زواره، مجتبی و صادقی فر، رحیم (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، کرمان.
۱۴. فرهنگ جغرافیایی رودهای کشور - حوضه وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح (۱۳۸۴). ۱۴. آبریز شرق ایران و قره‌قوم، جلد پنجم، چاپ اول، تهران، انتشارات سازمان جغرافیایی.
۱۵. Bakhtiyari, B., and Ghahreman, N (۲۰۱۱). Evaluation of Reference Evapotranspiration models for a Semiarid Environment Using Lysimeter measurements. J. Agr. Sci. Tech. Vol. ۱۳, ۲۲۳-۲۳۷. England.
۱۶. Fisher, D.K., and Pringle. H.C (۲۰۱۳). Evaluation of Alternative Methods for Estimating Reference



- Evapotranspiration. Agricultural Sciences. Vol. ۴, No. ۸A, ۵۱-۶۰. Berlin Germany.
۱۷. Gong, Lebing, Xu, Chong-yu, Chen, Deliang, Halldin, Sven and Chen, Yongqin David (۲۰۰۶). Sensitivity of the Penman-Monteith Reference Evapotranspiration to Key Climatic Variables in the Changjiang (Yangtze River) Basin, Journal of Hydrology, ۳۲۹: ۶۲۰- ۶۲۹. America.
 ۱۸. Kaya, S., and Salih, E (۲۰۱۲). Evaluation of Pan coefficient for reference crop evapotranspiration for igdir region of Turkey .Journal of food, Agricultural & environment Vol. ۱۰ (۳-۴), ۹۸۷-۹۹۱. Finland.
 ۱۹. Kumar M., Bandyopadhyay A., Raghuwanshi N.S., and Singh R (۲۰۰۸). Comparative study of conventional and artificial neural network-based ET_c estimation models. J. Irrigation Science. ۲۶ (۶). ۵۳۱-۵۴۵. Springer Berlin Heidelberg.
 ۲۰. Rahimikhob, A (۲۰۰۹). An evaluation of common pan coefficient equations to estimate reference evapotranspiration in a subtropical climate (north of Iran). Irrig Sci. Vol. ۲۷, ۲۸۹-۲۹۶. Springer Berlin Heidelberg.
 ۲۱. Singh, K.R., and Pauer, P.S (۲۰۱۱). Comparative study of reference crop evapotranspiration (ET_c) by different energy based method with FAO۵۶ Penman-Monteith method at New Delhi, India, International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. ۳, No. ۱۰, ۷۸۶۱-۷۸۶۸. Singapore.
 ۲۲. Sun, Li and Song, Changchun (۲۰۰۸). Evapotranspiration from a Freshwater Marsh in the Sanjiang Plain, Northeast China, Journal of Hydrology, ۳۵۲, ۲۰۲- ۲۱۰. America.
 ۲۳. Trajkovic, S., Kolakovic, S (۲۰۱۰). Comparison of Simplified Pan -Based Equations for Estimating Reference Evapotranspiration. J. Irrig. Drain. Eng., ۱۳۶ (۲), ۱۳۷-۱۴۰. America.

۲۴. Xing, Z., Chow, L., Meng, F., Rees, H.W., Monteith, J., and Lionel, S (۲۰۰۸). Testing Reference Evapotranspiration Estimation Methods Using Evaporation Pan and Modeling in Maritime Region of Canada. *J.Irrig. Drain. Eng.*, ۱۳۴(۴), ۴۱۷-۴۲۴. America.

Assessment of Different Methods of the Estimation of Reference Evapotranspiration by FAO's Evaporation Pan method in Catchment Basin of East And South Eastern of The Country

Abstract

Assessment of reference evapotranspiration to estimate aqueous Plants' needs, to Manage aquatic and drainage plans and irrigation timing of plants are some necessities of agriculture section. So in this research to find the best model for estimation of reference evaporation and transpiration for catchment basin of East And South Eastern of the Country, relying on clustering method and considering data made by ۶۶ weather stations, reference evaporation and transpiration made by evaporation basin was assessed and compared to evaporation and transpiration measures of \wedge equations based on statistical parameters: r, t, d, MAE, MBE, NRMSE.

Based on the results, considering the different time dimensions, the methods Hargreaves - Samani, Blaney - Criddle - FAO ۲۴, Turk and Priestley - Taylor, have the best conformity with reference evapotranspiration values resulted by evaporation pan. Also the results of research show that in seasonal scale, summer had the minimum and winter had the maximum estimation error of ET_0 . On the other hand, monthly scale had the minimum error compared to seasonal scale. This result show decrease in ET_0 error in small time scales.

Keywords: Clustering, Hargreaves - Samani, Blaney Criddle - FAO ۲۴, Turk, Priestley - Taylor