

## مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل با روش فائو پنمن مانیتث (مطالعه موردی: منطقه سپیدان)

هدیه احمدپری<sup>۱</sup>، سیدابراهیم هاشمی گرم دره<sup>۲\*</sup>، کبری قلعه کهنه<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۶، تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۰۸)

### چکیده

تبخیر-تعرق پتانسیل یکی از عوامل مهم چرخه هیدرولوژی است که باید در طرح‌های آبیاری و زهکشی برآورد شود. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که در فقدان لایسیمتر، روش فائو-پنمن-مانیتث تخمین قابل قبولی از مقادیر تبخیر و تعرق ارائه می‌کند، ولی به دلیل نیاز به وجود پارامترهای زیاد هواشناسی دارای محدودیت است. از این رو روش‌های غیرمستقیم برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع که به داده‌های کمی احتیاج دارند باید برای شرایط اقلیمی هر منطقه مورد ارزیابی قرار گیرند. در این پژوهش تبخیر-تعرق گیاه مرجع به وسیله نرم‌افزار Ref-ET و با به کارگیری داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک سپیدان در طی سال‌های آماری ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ محاسبه شد. ارزیابی نتایج روش‌های مختلف با روش استاندارد فائو-پنمن-مانیتث صورت گرفت. کارایی روش‌های مورد مقایسه با استفاده از آماره‌های ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش‌های با پایه پنمن مانیتث (ASCE PM، ASCE PM rs، ASCE st PM) به ترتیب با RMSE حدود ۰/۰۳، ۰/۰۷۹، ۰/۰۷۹ و MAE حدود ۰/۰۲۱، ۰/۰۶۸، ۰/۰۶۹ مناسب‌ترین روش‌ها برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع به شمار می‌آیند و روش‌های FAO Pan و FAO 24Rd به ترتیب با RMSE حدود ۱/۴۲۶، ۲/۳۳۸ و MAE حدود ۱/۱۸۶، ۲/۰۷۲ دارای کمترین تطابق با روش فائو پنمن مانیتث هستند. بنابر این در صورت کمبود آمار مورد نیاز برای به کارگیری روش فائو-پنمن-مانیتث در منطقه سپیدان می‌توان روش‌های دارای بیشترین تطابق با روش مرجع را به عنوان بهترین شاخص برای اندازه‌گیری و بررسی تبخیر-تعرق پتانسیل و نیاز آبی گیاهان در نظر گرفت.

**کلمات کلیدی:** تبخیر-تعرق پتانسیل، منطقه سپیدان، نرم‌افزار Ref-ET، فائو-پنمن-مانیتث

### مقدمه

تبخیر-تعرق یکی از عوامل مهمی است که دانستن مقدار دقیق آن، برای برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سیستم‌های آبیاری ضروری است. روش‌های تخمین نیاز آبی گیاهان به دو گروه اصلی مستقیم و غیرمستقیم (محاسبه‌ای) تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های گوناگونی از جمله روش‌های لایسیمتری در قالب روش‌های مستقیم برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق پیشنهاد شده است، لیکن استفاده از لایسیمتر به دلیل هزینه‌بر بودن و زمان‌بر بودن داده‌برداری از آن در همه مناطق امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل محققین سعی در استفاده از روش‌های غیر مستقیم برآورد تبخیر و تعرق از مقادیر تشت تبخیر یا برخی داده‌های هواشناسی داشته‌اند. در همه‌ی روش‌های غیر مستقیم که برای تعیین میزان تبخیر-تعرق ارائه شده‌اند، مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل

تبخیر-تعرق یکی از پارامترهای مهم چرخه هیدرولوژی می‌باشد و به طور متوسط حدود ۶۴ درصد بارش سالانه زمین در اثر فرایند تبخیر و تعرق به جو بر می‌گردد (نیکم و همکاران، ۲۰۱۴) و برآورد دقیق آن در مطالعاتی از قبیل تغییر اقلیم جهانی، تکامل محیطی و کنترل منابع آب نقش مهمی بازی می‌کند (لیو و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به عدم استفاده بهینه از آب آبیاری، محدودیت منابع و نیازهای فزاینده‌ی بشری به آب و غذا، نیاز است که مهندسان آبیاری با اعمال شیوه‌های مدیریتی، به صرفه جویی در مصرف آب و افزایش بازده آبیاری اقدام کنند. از عوامل تعیین کننده‌ی برنامه‌ریزی برای رسیدن به محصول بیشتر تعیین دقیق مقدار آبی است که برای تبخیر-تعرق مصرف می‌شود. بنابراین

گیاه مرجع (ET<sub>o</sub>) تخمین زده می‌شود و با استفاده از آن، نیاز آبی گیاه مورد نظر محاسبه می‌شود. روش‌های متعددی برای تخمین ET<sub>o</sub> پیشنهاد شده است که هر یک کم و بیش دارای محدودیت‌هایی بوده و در شرایط خاص قابل توصیه اند. کلیه‌ی این روش‌ها ترکیبی از مفاهیم نظری و نتایج تجربی هستند. سازمان خوار و بار جهانی فائو معادله فائو-پنمن-مانیت را به عنوان روش استاندارد تعیین تبخیر-تعرق گیاه مرجع توصیه نموده است (خرمی و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به اینکه در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی همه پارامترهای مورد نیاز این روش، از جمله تشعشع رسیده به سطح زمین اندازه‌گیری نمی‌شود، لذا باید به دنبال روش ساده‌تری بود که بتواند تبخیر و تعرق مرجع را با دقتی بالا برآورد کند و به پارامترهای ورودی کمتری نیاز داشته باشد. تحقیقات زیادی در رابطه با واسنجی معادلات مختلف صورت گرفته که در بعضی از آن‌ها نتایج به دست آمده با داده‌های لایسیمتری و تشت تبخیر مقایسه شده است. در اکثر موارد معادله فائو-پنمن-مانیت به عنوان روش مبنا در تخمین تبخیر و تعرق مرجع در نظر گرفته شده است (احمدی و فولادمند، ۲۰۰۸)، آلن و همکاران (۱۹۹۸)، دهقانی سانج و همکاران (۲۰۰۴) و فولادمند و حقیقت (۲۰۰۷). وایس و منزل (۲۰۰۸) تبخیر-تعرق پتانسیل را برای مناطق نیمه خشک در یک مقیاس جهانی به روش‌های پرستلی-تیلور (روش مبتنی بر تابش)، هارگریوز (روش مبتنی بر درجه حرارت)، پنمن-مانیت و پنمن-کیمبرلی (دو روش ترکیبی) محاسبه کردند و با نتایج به دست آمده از تشت تبخیر مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که روش پرستلی-تیلور دارای بیشترین تطابق با داده‌های تشت تبخیر می‌باشد. سامانی و پسا رکلی (۱۹۸۶) تبخیر-تعرق پتانسیل را برای منطقه آریزونا با روش‌های هارگریوز، جنسن-هیز، جنسن-هیز اصلاح شده، پنمن، بلانی-کریدل، هارگریوز-سامانی و تشت تبخیر محاسبه کردند و با نتایج به دست آمده از لایسیمتر مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که روش هارگریوز-سامانی دارای بیشترین تطابق با داده‌های لایسیمتری می‌باشد. لندرز و همکاران (۲۰۰۸) تبخیر-تعرق

مرجع شمال اسپانیا را با معادلات مختلفی محاسبه کردند و با نتایج به دست آمده از معادله فائو-پنمن-مانیت مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که معادله مک کینگ نسبت به سایر معادلات ارجحیت داشته است و معادله هارگریوز-سامانی دارای کمترین تطابق با روش فائو-پنمن-مانیت می‌باشد. سنتلس و همکاران (۲۰۱۰) تبخیر-تعرق مرجع را برای ایالت اونتاریو در کانادا با روش‌های مختلف محاسبه کردند و با نتایج به دست آمده از روش فائو-پنمن-مانیت مقایسه نمودند و نتیجه گرفتند که روش‌های پرستلی-تیلور و هارگریوز می‌توانند جایگزین مناسبی برای روش پنمن-مانیت-فائو باشند. تراکوویچ و کلوکوویچ (۲۰۰۹) تبخیر-تعرق مرجع را برای منطقه بالکان با روش‌های هارگریوز، تورنت وایت، تورک، پرستلی-تیلور و جنسن-هیز تحت شرایط آب و هوایی مرطوب محاسبه کردند و با نتایج به دست آمده از معادله فائو-پنمن-مانیت مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که در این منطقه مناسب‌ترین روش‌ها به ترتیب تورک، پرستلی-تیلور، جنسن-هیز، تورنت وایت و هارگریوز می‌باشند. کاستاندا و راثو (۲۰۰۵) تبخیر-تعرق مرجع را برای جنوب کالیفرنیا با روش‌های بلانی-کریدل، تورنت وایت، تورک و مک کینگ محاسبه کردند و با نتایج به دست آمده از معادله فائو-پنمن-مانیت مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که در این منطقه مناسب‌ترین روش‌ها به ترتیب تورک، مک کینگ، بلانی-کریدل و تورنت وایت می‌باشند. در ایران نیز مطالعاتی در زمینه تخمین ET<sub>o</sub> با روش‌های مختلف و مقایسه آن‌ها انجام شده است. به عنوان مثال غلامی و همکاران (۱۳۹۴) به منظور تعیین بهترین روش تجربی جهت تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل حوزه آبخیز کچیک استان گلستان، پنج روش تجربی بلانی-کریدل، جنسن-هیز، تورک، پرستلی-تیلور و هارگریوز-سامانی با روش ترکیبی فائو-پنمن-مانیت مقایسه کردند. نتایج نشان داد که روش تجربی پرستلی-تیلور بهترین تطابق را با روش ترکیبی فائو-پنمن-مانیت داشته و روش‌های تجربی بلانی-کریدل، هارگریوز-سامانی، جنسن-هیز و تورک در رتبه‌های بعدی قرار دارند. بزرگی و همکاران (۱۳۹۴) به

کینگ، تورک و روش تشعشی فائو محاسبه کردند و با نتایج به دست آمده از معادله فائو-پنمن-مانتیت مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که روش‌های پنمن-رایت، هارگریوز-سامانی و تشعشی فائو نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت داشته و روش‌های تورک و پرستلی-تیلور دارای کمترین تطابق با روش فائو-پنمن-مانتیت می‌باشند. سمعی و کرمی (۱۳۹۱) تبخیر-عرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک لار را با ۵ روش مختلف محاسبه کردند و با نتایج به دست آمده از معادله فائو-پنمن-مانتیت مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که روش‌های پنمن-کیمبرلی (۱۹۹۶)، هارگریوز (۱۹۹۶)، پنمن (۱۹۹۶)، پرستلی-تیلور به ترتیب روش‌های مناسبی برای برآورد تبخیر-عرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک لار می‌باشند. ایزدپناه و کرمی (۱۳۹۲) دقت ۴ روش برآورد تبخیر-عرق پتانسیل (بلانی-کریدل، هارگریوز-سامانی، تورنت-وایت و جنسن-هیز) برای ایستگاه سینوپتیک اهواز نسبت به روش فائو-پنمن-مانتیت مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که در ایستگاه سینوپتیک اهواز روش جنسن-هیز، بلانی-کریدل، هارگریوز-سامانی و تورنت-وایت به ترتیب روش‌های مناسب‌تری هستند. سمعی و برون (۱۳۹۰) تبخیر-عرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک شهرضا را با ۹ روش مختلف محاسبه کردند و با نتایج به دست آمده از معادله فائو-پنمن-مانتیت مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که در ایستگاه سینوپتیک شهرضا روش پنمن (۱۹۴۸)، پنمن فائو (۲۴)، هارگریوز (۱۹۸۵)، پنمن کیمبرلی (۱۹۹۶)، بلانی کریدل فائو، تشعشی-فائو (۲۴)، پرستلی-تیلور و ماکینگ (۱۹۵۷) به ترتیب روش‌های مناسب‌تری هستند. با توجه به پیشینه پژوهش به نظر می‌رسد مطالعه جامعی در زمینه ارزیابی روش‌های مختلف تبخیر-عرق در منطقه سپیدان بر مبنای روش فائو پنمن مانیت انجام نشده است. بنابراین، هدف از این تحقیق، مشخص کردن دقت روش‌های مختلف برآورد تبخیر-عرق گیاه مرجع در مقایسه با روش فائو-پنمن-مانتیت برای ایستگاه سینوپتیک سپیدان و معرفی روش‌های جایگزین احتمالی در شرایط محدودیت وجود داده‌های هواشناسی برای روش مرجع است.

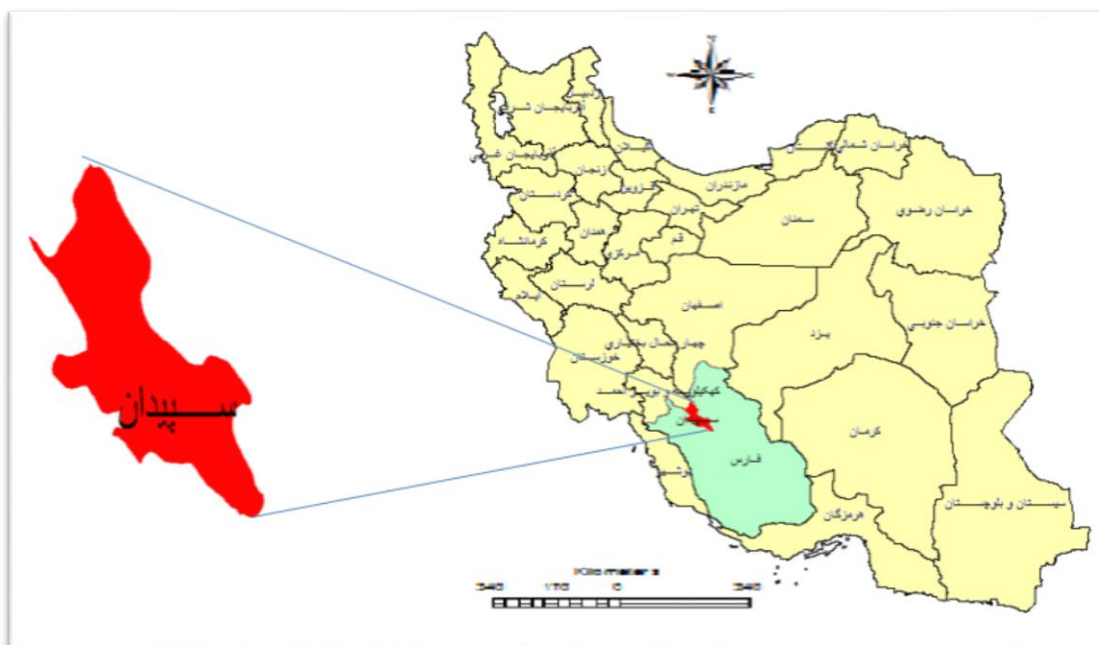
منظور تعیین بهترین روش تخمین تبخیر-عرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک فسا روش‌های پنمن کیمبرلی (۱۹۹۶)، پنمن (۱۹۴۸)، پنمن-فائو (۲۴)، تشعشی فائو (۲۴)، بلانی-کریدل فائو، هارگریوز (۱۹۸۵)، پرستلی-تیلور، ماکینگ (۱۹۵۷) با روش ترکیبی فائو-پنمن-مانتیت مقایسه کردند. نتایج نشان داد که روش پنمن (۱۹۴۸)، پنمن فائو (۲۴) هارگریوز (۱۹۸۵)، پنمن-کیمبرلی (۱۹۹۶)، بلانی-کریدل فائو، تشعشی فائو (۲۴)، پرستلی-تیلور و ماکینگ (۱۹۵۷) به ترتیب روش‌های مناسبی برای برآورد تبخیر-عرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک فسا هستند. قنبری و بذرافشان (۱۳۹۴) به منظور تعیین بهترین روش تجربی جهت تخمین تبخیر-عرق پتانسیل استان هرمزگان سه روش تجربی بلانی-کریدل، تورنت وایت و هارگریوز-سامانی با روش ترکیبی فائو-پنمن-مانتیت مقایسه کردند. نتایج نشان داد که روش هارگریوز-سامانی با کمترین میزان خطا و بیشترین میزان همبستگی مناسب‌ترین روش نسبت به دو روش بلانی-کریدل و تورنت-وایت برای برآورد تبخیر-عرق پتانسیل استان هرمزگان می‌باشد. خرمی و همکاران (۱۳۹۲) تبخیر-عرق ماهانه گیاه مرجع ایستگاه سینوپتیک چیتگر تهران را با ۱۰ روش مختلف که سه روش آن بر منطق فازی استوار بود محاسبه کردند و با نتایج به دست آمده از معادله فائو-پنمن-مانتیت مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که روش تورک دارای بیشترین تطابق با روش فائو-پنمن-مانتیت است و روش‌های فائو ۲۴ پنمن و پرستلی-تیلور دارای کمترین تطابق با روش فائو-پنمن-مانتیت می‌باشند. برون و همکاران (۱۳۹۱) تبخیر-عرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک نائین را با ۹ روش مختلف محاسبه کردند و با نتایج به دست آمده از معادله فائو-پنمن-مانتیت مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که در ایستگاه نائین مناسب‌ترین روش‌ها بترتیب پنمن (۱۹۴۸)، پنمن-کیمبرلی (۱۹۹۶)، هارگریوز (۱۹۸۵)، بلانی-کریدل-فائو، پنمن-فائو (۲۴)، تشعشی-فائو (۲۴)، پرستلی-تیلور و ماکینگ (۱۹۵۷) می‌باشند. عزیزی مبصر (۱۳۹۳) تبخیر-عرق مرجع دشت اردبیل را با روش‌های پنمن-رایت، هارگریوز-سامانی، بلانی-کریدل، پرستلی-تیلور، مک

## مواد و روش‌ها

### الف-منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی در این تحقیق شهرستان سپیدان استان فارس می‌باشد که در ارتفاع ۲,۲۴۰ متری از سطح دریا واقع شده است. شهرستان سپیدان با وسعت حدود ۲,۸۳۹ کیلومتر مربع و میانگین بارندگی سالانه حدود ۸۰۰ میلی‌متر در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی قرار گرفته و مرکز این شهرستان شهر اردکان می‌باشد. این شهرستان از شمال و شمال غربی با شهرستان اقلید و استان کهگیلویه و بویراحمد، از شرق با شهرستان مرودشت، از جنوب با شهرستان شیراز و از غرب با شهرستان ممسنی مرز مشترک دارد. در حالت

کلی می‌توان گفت سپیدان، شهرستانی کوهستانی در زاگرس مرکزیست که جغرافیای آن بیش از همه تحت تأثیر ارتفاعات آن قرار دارد. بخش عمده ای از این شهرستان کوهستانی، پوشیده از جنگل، دارای تابستانی معتدل و زمستانی سرد و پوشیده از برف که با توجه به موقعیت آب و هوایی آن از مناطق با اهمیت کشاورزی فارس است. آب کشاورزی در این منطقه از رودها و چشمه‌ها تأمین می‌شود. محصولات زراعی و باغی این شهرستان شامل برنج، گندم، جو، حبوبات، گوجه فرنگی، پیاز، زعفران، گردو، سیب، زیتون، به، هلو و گیلاس می‌باشد. موقعیت این شهرستان در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان فارس

### ب-روش پژوهش

برای انجام این تحقیق و محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع، از آمار هواشناسی ماهانه مینیمم دما، ماکزیمم دما، متوسط دما، مینیمم رطوبت نسبی، ماکزیمم رطوبت نسبی، متوسط رطوبت نسبی، مقدار بارندگی، متوسط مقدار تبخیر، متوسط ساعات آفتابی و متوسط سرعت باد ایستگاه سینوپتیک هواشناسی سپیدان در طی سال‌های آماری ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ استفاده شده است. این ایستگاه در موقعیت عرض

جغرافیایی "30°14'03"، طول جغرافیایی "52°00'24" و ارتفاع ۲,۲۰۱ متری از سطح دریا قرار دارد. در این مطالعه برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع از نرم‌افزار Ref-ET بهره گرفته شده است. این نرم افزار با ۱۷ روش مختلف به محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع می‌پردازد. با توجه به آمار و داده‌های موجود ۱۶ روش انتخاب و محاسبات تبخیر-تعرق برای آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار Ref-ET انجام گرفت (جدول ۱).

## جدول ۱- معادلات تبخیر و تعرق مورد استفاده جهت ارزیابی تبخیر

و تعرق

ASCE PM	ASCE Penman-Monteith (full) (grass, rs=f (time step))	FAO 24 BC	FAO 24 Blaney-Criddle
ASCE PMrs	ASCE Penman-Monteith (full) (grass w/user spec.rs)	FAO Pan	FAO 24 Pan Evaporation
ASCE stPM	ASCE Penman-Monteith Standardized	1985 Harg	1985 Hargreaves (Hargreaves and Samani)
1996 Kpen	1996 Kimberly Penman	Prs- Tylr	Priestley-Taylor (1972)
1972 Kpen	1972 Kimberly Penman	1957 Makk	Makkink (1957)
1948 Pen	1948 Penman	1961 Turc	Turc (1961)
FAO 24Pn	FAO 24 Corrected Penman	FAO 56 PM	FAO 56 Penman-Monteith
FAO 24 Rd	FAO 24 Radiation	FP17Pen	FAO Plant Protection Paper 17 Penman

میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۱</sup> و میانگین خطای مطلق (MAE)<sup>۲</sup> استفاده شده است. مقدار RMSE نشان می‌دهد که پیشبینی‌ها تا چه حد اندازه‌گیری‌ها را بیشتر یا کمتر تخمین زده‌اند و مقدار MAE بیانگر معرف دقت روش و مقدار متوسط خطاست که هر چه مقدار این شاخص‌ها به صفر نزدیک‌تر باشد (تفاوت مقادیر پیشبینی شده و اندازه‌گیری شده کمتر باشد)، بهتر است. روابط مربوط به شاخص‌های آماری یاد شده به صورت معادله ۱ و ۲ است.

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P-O)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P-O|}{n} \quad (2)$$

در روابط فوق  $p$  مقدار پیش‌بینی شده و  $o$  مقدار مشاهده شده  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد.

## نتیجه‌گیری و بحث

تبخیر-تعرق پتانسیل برای ایستگاه سینوپتیک سپیدان به ۱۶ روش ذکر شده به صورت ماهانه محاسبه شد. نتایج حاصله برای روش‌های مختلف در ماه‌های مختلف سال در جدول شماره ۲ و ۳ بر حسب میلی‌متر در روز ارائه شده است.

به منظور مقایسه بهتر نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف تبخیر-تعرق، مقادیر محاسبه شده توسط هر روش با نتایج حاصل از معادله فائو-پنمن-مانتیت به عنوان روش مرجع مقایسه شد. در شکل ۲ تبخیر-تعرق محاسبه شده توسط روش‌های مختلف با تبخیر-تعرق بدست آمده از معادله فائو-پنمن-مانتیت مقایسه شده است.

در بین این روش‌ها، جهت بررسی دقت و تعیین مناسب‌ترین روش در برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک سپیدان روش فائو-پنمن-مانتیت به عنوان روش مرجع انتخاب و دیگر روش‌ها با آن مقایسه گردیدند.

## پ-شاخص‌های آماری

در این تحقیق، برای مقایسه کمی نتایج حاصله از مدل‌های مختلف تبخیر و تعرق، از شاخص‌های آماری جذر

## جدول ۲- متوسط مقادیر تبخیر-تعرق ماهانه بدست آمده نیمسال اول برای گیاه مرجع با روش‌های مختلف

بر حسب میلی‌متر در روز

JUN	MAY	APR	MAR	FEB	JAN	Month
۶/۷۴	۵/۶۱	۴/۰۷	۳/۶۶	۲/۳۹	۲/۵۲	FAO56PM
۶/۸۷	۵/۶۹	۴/۱	۳/۶۹	۲/۳۸	۲/۵۶	ASCEPM
۶/۸۷	۵/۶۹	۴/۱	۳/۶۹	۲/۳۹	۲/۵۶	ASCEPMrs
۶/۷۴	۵/۵۹	۴/۰۵	۳/۶۳	۲/۳۶	۲/۵۲	ASCEstPM
۶/۹۷	۵/۲۸	۳/۶۷	۳	۲/۰۴	۲/۰۶	1996KPen

1- Root mean square error

2- Mean Absolute Error

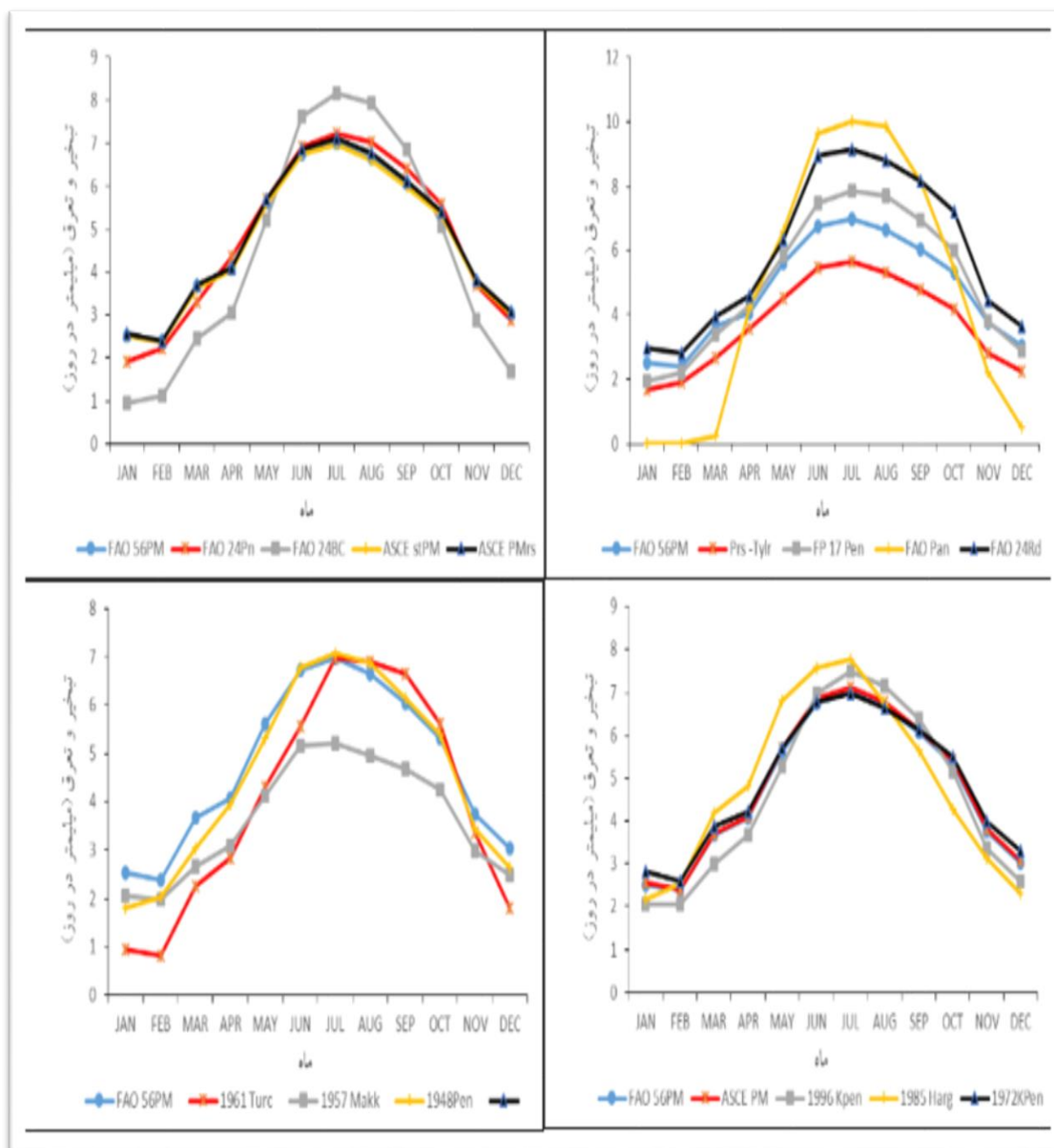
ادامه جدول ۲

JUN	MAY	APR	MAR	FEB	JAN	Month
۶/۷۷	۵/۷	۴/۲	۳/۸۸	۲/۵۹	۲/۸۱	1972KPen
۶/۷۷	۵/۳۲	۳/۹۵	۳/۰۵	۲/۰۲	۱/۸	1948Pen
۶/۹۱	۵/۶۸	۴/۳۶	۳/۳۱	۲/۲۳	۱/۹۲	FAO 24Pn
۷/۴۸	۵/۸۵	۴/۳۱	۳/۳۷	۲/۲۲	۱/۹۴	FP 17 Pen
۸/۹۷	۶/۳۴	۴/۵۸	۳/۹۴	۲/۸۱	۲/۹۸	FAO24Rd
۷/۶۳	۵/۲۲	۳/۰۴	۲/۴۵	۱/۱۱	۰/۹۴	FAO24BC
۹/۶۳	۶/۶	۴/۲۳	۰/۲۵	۰	۰	FAO Pan
۷/۵۸	۶/۸۱	۴/۸۱	۴/۱۹	۲/۵۴	۲/۱۷	1985 Harg
۵/۴۶	۴/۵۱	۳/۵۶	۲/۶۷	۱/۹۲	۱/۶۸	Prs -Tylr
۵/۱۶	۴/۱۳	۳/۰۹	۲/۶۵	۱/۹۷	۲/۰۵	1957Makk
۵/۵۶	۴/۳	۲/۸۴	۲/۲۶	۰/۸۲	۰/۹۳	1961 Turc

جدول ۳- متوسط مقادیر تبخیر-تعرق ماهانه بدست آمده نیمسال دوم برای گیاه مرجع با روشهای مختلف

بر حسب میلی متر در روز

DEC	NOV	OCT	SEP	AUG	JUL	Month
۳/۰۳	۳/۷۵	۵/۳۱	۶/۰۵	۶/۶۵	۶/۹۹	FAO56PM
۳/۰۸	۳/۸۱	۵/۴۱	۶/۱۱	۶/۷۶	۷/۱۲	ASCE PM
۳/۰۸	۳/۸۱	۵/۴۱	۶/۱۱	۶/۷۶	۷/۱۲	ASCEPMrs
۳/۰۳	۳/۷۵	۵/۳۱	۵/۹۸	۶/۶	۶/۹۶	ASCEstPM
۲/۵۹	۳/۳۶	۵/۱۶	۶/۳۸	۷/۱۴	۷/۴۸	1996KPen
۳/۳	۳/۹۸	۵/۴۸	۶/۱۲	۶/۶۲	۶/۹۶	1972KPen
۲/۶۴	۳/۴۳	۵/۳۹	۶/۱۵	۶/۸۸	۷/۰۷	1948Pen
۲/۸۹	۳/۷۱	۵/۵۸	۶/۳۹	۷/۰۲	۷/۲۳	FAO 24Pn
۲/۸۹	۳/۷۹	۵/۹۹	۶/۹۴	۷/۷۲	۷/۸۷	FP 17 Pen
۳/۶۳	۴/۴۳	۷/۲۱	۸/۱۶	۸/۸۲	۹/۱۳	FAO 24Rd
۱/۶۹	۲/۸۹	۵/۰۶	۶/۸۷	۷/۹۵	۸/۱۸	FAO24BC
۰/۴۹	۲/۲۱	۵/۴۲	۸/۱۵	۹/۸۵	۱۰	FAO Pan
۲/۳۱	۳/۱۲	۴/۲۸	۵/۶۴	۶/۷۵	۷/۷۶	1985 Harg
۲/۲۶	۲/۸	۴/۱۷	۴/۷۸	۵/۳۱	۵/۶۴	Prs -Tylr
۲/۴۸	۲/۹۸	۴/۲۵	۴/۶۷	۴/۹۶	۵/۲	1957Makk
۱/۸	۳/۳۷	۵/۶۱	۶/۶۴	۶/۹	۶/۹۸	1961 Turc



شکل ۲- مقایسه بین نتایج تبخیر-تعرق بدست آمده از روش فائو-پنمن-مانتیت و روش‌های مورد بررسی

محاسباتی برخی روش‌ها در بعضی ماه‌ها دارای بیش برآورد و کم برآورد می‌باشند. روش FAO 24Rd در تمامی ماه‌های سال بیش برآورد و روش‌های Prs-Tylr و Makk (1957) در تمامی ماه‌های سال کم برآورد نسبت به روش مرجع می‌باشند. از آنجا که روش‌های Prs-Tylr و Makk

بررسی میزان تبخیر-تعرق پتانسیل برآوردی ماهانه به روش فائو-پنمن-مانتیت نشان می‌دهد که کمترین تبخیر-تعرق پتانسیل برآوردی مربوط به ماه ژانویه (دی ماه) بوده و بیشترین میزان تبخیر-تعرق مربوط به ماه ژوئیه (تیر ماه) می‌باشد. همانطور که از شکل ۲ بر می‌آید، تبخیر-تعرق



استفاده از داده‌های دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی و با دقت بهتری برآورد نمایند ولی در صورت عدم دسترسی به این اطلاعات می‌توان از روش تجربی هارگریوز که فقط به داده‌های دمایی نیاز دارد استفاده نمود. نتایج این مطالعه نشان داد که در صورت عدم دسترسی به اطلاعات هواشناسی کامل مورد نیاز روش‌های پنمن، می‌توان با استفاده از روش تجزیه هارگریوز در منطقه سپیدان میزان تبخیر و تعرق را با خطای کمتری نسبت به سایر روش‌های تجربی برآورد نماید. همچنین توصیه می‌شود مطالعه مشابه این تحقیق برای دیگر مناطق کشور نیز صورت گیرد.

#### جدول ۴- نتایج شاخص‌های آماری RMSE و MAE بر حسب

میلی‌متر برای روش‌های مختلف در مقایسه با روش پنمن-مانیتث-فائو

RMSE	MAE	Evapotranspiration equations
۰/۰۳۰	۰/۰۲۱	ASCE stPM
۰/۰۷۹	۰/۰۶۸	ASCE PMrs
۰/۰۷۹	۰/۰۶۹	ASCE PM
۰/۱۷۳	۰/۱۴۷	1972KPen
۰/۲۹۳	۰/۲۵۳	FAO 24Pn
۰/۳۴۸	۰/۲۷۸	1948Pen
۰/۴۱۳	۰/۳۹۳	1996 KPen
۰/۵۹۹	۰/۴۹۷	FP 17 Pen
۰/۶۹۹	۰/۶۲۳	1985 Harg
۱/۰۴۲	۰/۹۲۰	1961 Turc
۱/۰۷۰	۱/۰۰۱	Prs -Tylr
۱/۰۷۹	۱/۰۱۲	FAO 24BC
۱/۱۹۲	۱/۰۹۸	1957 Makk
۱/۴۲۶	۱/۱۸۶	FAO 24Rd
۲/۳۳۸	۲/۰۷۲	FAO Pan

#### منابع

۱- ایزدپناه، ز. و گرمی، ا. (۱۳۹۲)، ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه سینوپتیک اهواز، چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- برون، م. اسفندیاری بیات، م. و کیهان فرد، م. (۱۳۹۱)،

(1957) مقدار تبخیر-تعرق را به میزان قابل توجهی کمتر برآورد می‌کنند، چنانچه از این داده‌ها استفاده شود احتمال به وجود آمدن تنش آبی برای گیاه بالا خواهد رفت. روش FAO 24Rd در تمامی ماه‌های سال مقدار تبخیر-تعرق را بیشتر از حد نیاز برآورد می‌کند که باعث هدررفت آب خواهد شد. بررسی شکل ۲، نشان می‌دهد که روش‌های ASCE stPM، ASCE PMrs، ASCE PM، Pen (1948) و FAO 24Pan، KPen فائو-پنمن-مانیتث دارند. به منظور ارزیابی دقت روش‌ها و مقایسه نسبی نتایج آن‌ها با مقادیر بدست آمده از روش مرجع (روش فائو-پنمن-مانیتث)، از پارامترهای آماری MAE و RMSE استفاده شده است که هر چه تفاوت بین مقدار تبخیر-تعرق محاسباتی ناشی از روش‌های فوق‌الذکر با روش مبنا کمتر باشد، مقدار شاخص‌ها به صفر نزدیک‌تر شده و بیانگر دقت بالای روش به کار برده شده می‌باشد. جدول ۴ نتایج حاصل از جذر میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق، با استفاده از روش‌های مختلف، در مقایسه با روش مبنای فائو-پنمن-مانیتث برای منطقه سپیدان را نشان می‌دهد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد که روش‌های ASCE st PM، ASCE PM rs، ASCE PM، KPen و FP17 Pen (1972)، FAO 24Pn، KPen (1996)، Harg (1985) با کمترین MAE و RMSE به ترتیب دارای بیشترین تطابق با روش استاندارد فائو-پنمن-مانیتث می‌باشند. همچنین روش‌های FAO Pan، FAO 24Rd، KPen 1972، FAO 24Pn، Pen 1948، KPen 1996، Makk 1957، FAO 24BC، Prs-Tylr و 1961 Turc با بیشترین MAE و RMSE به ترتیب دارای کمترین تطابق با مقادیر حاصل از معادله فائو-پنمن-مانیتث هستند. مطابق با نتایج به دست آمده در ایستگاه سینوپتیک سپیدان، روش‌های با پایه پنمن (PM، ASCE PM rs، ASCE PM)، KPen 1972، FAO 24Pn، Pen 1948، KPen 1996، FP17 Pen و روش هارگریوز (Harg 1985) برآورد نزدیک‌تری به روش فائو-پنمن-مانیتث دارند. اگرچه معادلات بر پایه پنمن می‌توانند میزان تبخیر و تعرق را با



- ۹- قنبری، ع. و بذرافشان، ا. (۱۳۹۴)، ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در استان هرمزگان، اولین همایش بین‌المللی و سومین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار، همدان، دبیرخانه دائمی همایش.
- 10- Ahmadi, S. H., & Fooladmand, H. R. (2008). Spatially distributed monthly reference evapotranspiration derived from the calibration of Thorn Thwaite equation: a case study, South of Iran. *Irrigation Science*, 26(4), 303-312.
- 11- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.
- 12- Castaneda, L., & Rao, P. (2005). Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration in Southern California. *Journal of environmental hydrology*, 13.
- 13- DehghaniSanij, H., Yamamoto, T., & Rasiah, V. (2004). Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. *Agricultural water management*, 64(2), 91-106.
- 14- Fooladmand, H. R., & Haghghat, M. (2007). Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ETo based on Penman-Monteith method. *Irrigation and Drainage*, 56(4), 439-449.
- 15- Landeras, G., Ortiz-Barredo, A., & López, J. J. (2008). Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain). *Agricultural water management*, 95(5), 553-565.
- 16- Liu, S., Bai, J., Jia, Z., Jia, L., Zhou, H., & Lu, L. (2010). Estimation of evapotranspiration in the Mu Us Sand land of China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(3), 573-584.
- 17- Nikam, B. R., Kumar, P., Garg, V., Thakur, P. K., & Aggarwal, S. P. (2014). Comparative Evaluation Of Different Potential Evapotranspiration Estimation Approaches. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(06), 544-552.
- 18- Samani, Z. A., & Pessarakli, M. (1986). Estimating potential crop evapotranspiration with minimum data in Arizona. *Transactions of the ASAE*, 29(2), 522-524.
- 19- Sentelhas, P. C., Gillespie, T. J., & Santos, E. A. (2010). Evaluation of FAO Penman-Monteith ایستگاه سینوپتیک نائین، اولین همایش ملی بیابان، تهران، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران.
- ۳- بزرگی، ا. احمد پور، ع. افراسیاب، پ. و شیبانیان، ع. (۱۳۹۴)، ارزیابی روش‌های تجربی برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک فسا توسط مدل REF-ET، دومین کنگره ملی زیست‌شناسی و علوم طبیعی ایران، تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار و موسسه آموزش عالی مهر اروند.
- ۴- خرمی، م. شیاسی، م. انصاری، ح. و مرادی، ح. (۱۳۹۲)، ارزیابی تطابق نتایج روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق با روش فائو-پنمن-مانتیث، دومین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.
- ۵- سمیعی، م. و کرمی، م. (۱۳۹۱)، ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه سینوپتیک لار، اولین همایش ملی حفاظت و برنامه ریزی محیط زیست، همدان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، شرکت هم‌اندیشان محیط زیست فردا.
- ۶- سمیعی، م. و برون، م. (۱۳۹۰)، ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه سینوپتیک شهرضا، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.
- ۷- عزیزی مبصر، ج. (۱۳۹۳)، ارزیابی روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در مقایسه با روش استاندارد ۵۶ FAO، دومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند، گروه ترویجی دوست‌داران محیط زیست و انجمن حمایت از طبیعت ایران.
- ۸- غلامی، ز. واحد بردی، ش. و سعدالدین، ا. (۱۳۹۴)، ارزیابی بهترین روش تجربی جهت تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کچیک استان گلستان)، سومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند، گروه ترویجی دوست‌داران محیط زیست.

- 21- Trajkovic, S., & Kolakovic, S. (2009). Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. *Water Resources Management*, 23(14), 3057-3067.
- 22- Weiß, M., & Menzel, L. (2008). A global comparison of four potential evapotranspiration equations and their relevance to stream flow modelling in semi-arid environments. *Advances in Geosciences*, 18, 15-23.
- and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management*, 97(5), 635-644.
- 20- Temesgen, B., Eching, S., Davidoff, B., & Frame, K. (2005). Comparison of some reference evapotranspiration equations for California. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 131(1), 73-84.