



## برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در منطقه فریمان با استفاده از روش پریستلی-تیلور و تکنیک سنجش ازدور

مصیب مقبلی دامنه<sup>۱</sup>، سیدحسین ثنائی نژاد<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

### مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۱۳ آذر ۱۳۹۶

پذیرش: ۲ آبان ۱۳۹۷

دسترسی اینترنتی: ۳۰ آبان ۱۳۹۷

واژه‌های کلیدی:

تبخیر و تعرق پتانسیل

پریستلی-تیلور

سنجش ازدور

خراسان رضوی

### چکیده

تبخیر و تعرق یکی از مؤلفه‌های مهم در بحث بیلان آب است که با روش‌های متعددی اندازه‌گیری و برآورد می‌گردد. از آنجاکه این روش‌ها عمدتاً شامل اندازه‌گیری به صورت نقطه‌ای بوده و نیازمند داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی زیادی می‌باشند، دارای محدودیت هستند. در این پژوهش، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش پریستلی-تیلور و تکنیک سنجش ازدور در منطقه فریمان در استان خراسان رضوی، برای ۸ روز در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ با استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۸ تخمین زده شد. جهت تعیین صحت برآورد به دست آمده، نتایج این مطالعه با روش فائو پنمن-مانتیت (روش مرجع برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل) مقایسه گردید. مقایسه نتایج به دست آمده از روش پریستلی-تیلور با روش فائو پنمن-مانتیت نشان می‌دهد که ضریب تبیین ( $R^2$ ) ۰/۹۱ و همچنین خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، ۰/۷۸ میلی‌متر در روز است. این نتایج بیانگر دقت بالای روش پریستلی-تیلور در تخمین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل در اقلیم نیمه‌خشک است.

\*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [sanaein@gmail.com](mailto:sanaein@gmail.com)

## مقدمه

تورنت وایت (۲۵) تبخیر-تعرق پتانسیل را چنین تعریف کرد: حداکثر مقدار آبی که می‌تواند از یک منطقه بزرگ یکنواخت و پوشیده شده از پوشش گیاهی بدون محدودیت در منابع جوی، تبخیر و تعرق شود (۸ و ۱۹). روش‌های زیادی برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل (بر اساس روش‌های تجربی و تئوری) وجود دارند، از جمله روش‌های پنمن-مانیت، تورنت وایت، پرستلی-تیلور، تورک و بلانی کرایدل که به روش‌های مختلف این پارامتر را تخمین می‌زنند (۱۵). کاربرد هر یک از این روش‌ها وابسته به هدف مطالعه و داده‌هایی است که در دسترس باشد. روش‌های سنتی اندازه‌گیری تبخیر-تعرق (لایسیمتر وزنی، تشتک تبخیر و ...) عمدتاً در مقیاس‌های محلی و مزرعه‌ای هستند. تخمین دقیق تبخیر-تعرق روی یک منطقه همگن می‌تواند با این روش‌ها صورت گیرد، اما بعضی از اندازه‌گیری‌ها به دلیل نیاز به انواع اندازه‌گیری‌های سطح زمین و پارامترهای آن، نمی‌تواند مستقیماً به یک مقیاس بزرگ گسترش پیدا کند (۱۳). تکنولوژی سنجش‌ازدور می‌تواند یک پوشش مکانی بزرگ و پیوسته را در عرض چند دقیقه فراهم کند. هزینه آن از روش‌های مرسوم کمتر بوده و برای نواحی فاقد آمار و یا در جاهایی که اندازه‌گیری دشوار باشد، تنها روش ممکن است (۲۲). در روش‌های تخمین تبخیر-تعرق با استفاده از سنجش‌ازدور، که معمولاً بر اساس معادله توازن انرژی سطح زمین می‌باشند، می‌توان پارامترهای موردنیاز را با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای به دست آورد. با ظهور تکنولوژی ماهواره‌های جدید، تبادلات انرژی بین خورشید، زمین و فضا می‌تواند به دقت اندازه‌گیری شوند. ابزارهای زمینی که برای تخمین شارهای انرژی استفاده می‌شوند، نتایج مطمئنی دارند. با این وجود اما ابزارهای زمینی عموماً قادر به ارائه تخمین‌های محلی هستند و استفاده از آن‌ها هزینه‌بر، زمان‌بر و نیازمند کار فشرده است (۱۷).

روش پرستلی-تیلور یک معادله ترکیبی مبتنی بر تابش است که پرستلی و تیلور برای تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل

ارائه نمودند (۲۱). این روش برخلاف بسیاری از روش‌های مبتنی بر تابش که معادلات تجربی هستند، پایه فیزیکی دارد و از تابش خالص به‌جای تابش خورشیدی برای تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل استفاده می‌کند (۱۴ و ۲۴).

لو و همکاران (۱۹) در تحقیقی در جنوب شرق آمریکا شش روش محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل را باهم مقایسه کردند. آن‌ها برای این کار سه مدل مبتنی بر دما (تورنت-ویت، هامون و هارگریوز-سامانی) را با سه مدل مبتنی بر تابش (تورک، مکینک و پرستلی-تیلور) مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که سه روش پرستلی-تیلور، تورک و هامون عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها داشتند. این روش همچنین توسط ژو و سینگ (۲۶) و اودین و همکاران (۲۰) با استفاده از ایستگاه‌های زمینی بررسی شده که همگی آن‌ها ثابت کردند این روش خروجی‌های معقول و قابل‌اعتمادی دارد. باریک (۵) در مطالعه‌ای در شمال حوزه رودخانه کولورادو جهت مدل‌سازی هیدرولوژیک از روش پرستلی-تیلور و تکنیک سنجش‌ازدور برای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل استفاده کرد. خالدی و همکاران (۱۶) نیز در تحقیقی در غرب الجزیره با استفاده از روش پرستلی-تیلور اقدام به محاسبه تبخیر-تعرق کردند که در نهایت نتایج آن‌ها نشان‌دهنده دقت بالای این روش در مقایسه با اندازه‌گیری‌های زمینی بود. همچنین لی سین و همکاران (۱۸) برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق پتانسیل در منطقه‌ای خشک در شمال غرب چین دقت شش روش متداول اندازه‌گیری تبخیر-تعرق پتانسیل (بلانی کرایدل، هارگریوز، پرستلی-تیلور، دالتون، پنمن و شاتلورث) را ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که سه روش پنمن، شاتلورث و پرستلی-تیلور بیشترین دقت را در اندازه‌گیری دارند. حسینی (۲) با بهره‌گیری از داده‌های سنجش‌ازدور در روش پرستلی-تیلور اقدام به تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل در مناطق مرکزی یزد نمود. ایشان به دلیل کمبود داده و با توجه به اینکه در روش پرستلی-تیلور، تنها پارامتر موردنیاز تابش خالص خورشید است، با استفاده از ۱۲ تصویر سنجنده لندست ۷ و تکنیک سنجش‌ازدور از این روش استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان

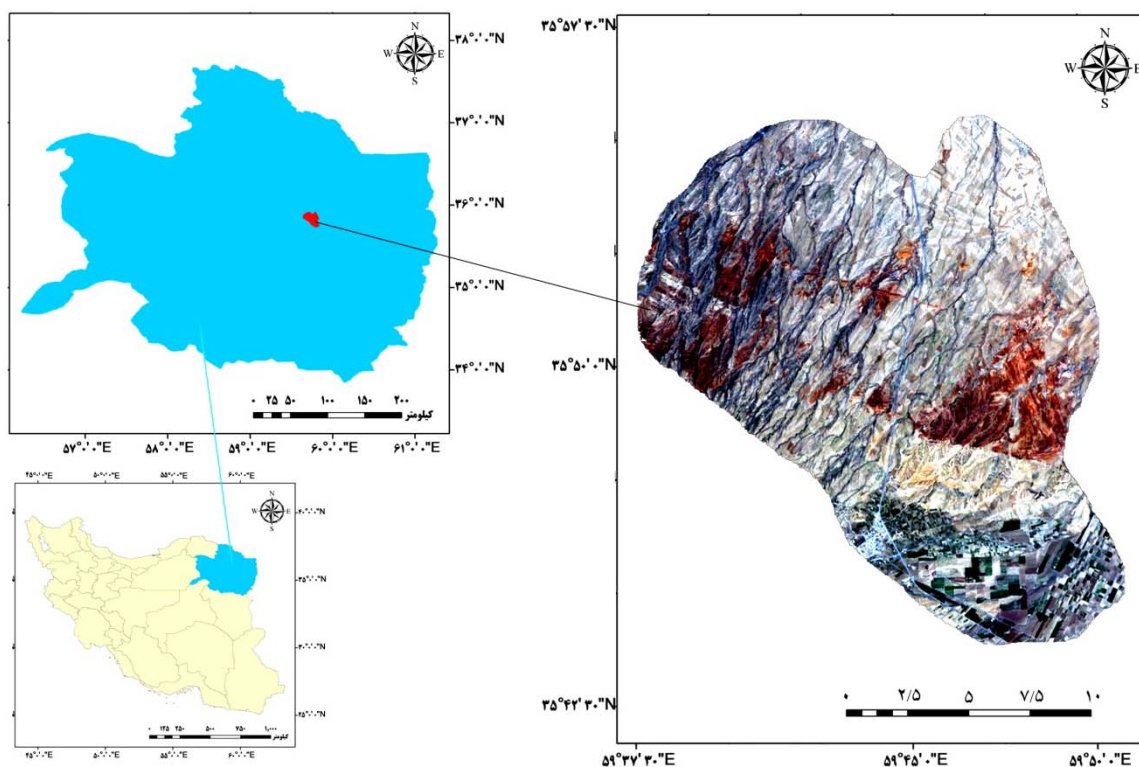
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعه با وسعتی بالغ بر ۲۷۳۷۱ هکتار بین عرض‌های جغرافیایی  $35^{\circ} 43'$  تا  $35^{\circ} 55'$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $59^{\circ} 37'$  تا  $59^{\circ} 50'$  شرقی در مجاورت شهر فرهادگرد از توابع شهرستان فریمان در استان خراسان رضوی است (شکل ۱)، که طبق گزارش اداره کل هواشناسی خراسان رضوی و بر اساس روش دومارتن، دارای شرایط اقلیمی نیمه‌خشک است. این منطقه دارای مساحت زیادی از کشت دیم و کشت غالب گندم دیم است. در اوایل تیرماه سال ۱۳۹۵ منطقه موردنظر جهت به دست آوردن اطلاعاتی نظیر وضعیت کشت دیم و مراتع به صورت کیفی مورد بازدید قرار گرفت.

نشان دادند که می‌توان با استفاده از روش پریستلی-تیلور در مناطقی که محدودیت داده و ایستگاه هواشناسی وجود دارد، تبخیر-تعرق پتانسیل را به دست آورد. بابامیری و همکاران (۱) هفت روش تخمین تبخیر-تعرق مبتنی بر تابش (دورنبوس- پرویت، پریستلی- تیلور، مکینگ، جنسن- هیز، تورک، آبتیو و مکگینز- بوردن) را با استفاده از اطلاعات ۱۰ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰، در حوزه دریاچه ارومیه ارزیابی کردند. آن‌ها نتایج روش‌های مذکور را با خروجی روش فائو پنمن-ماتیتث مقایسه کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که دو روش دورنبوس-پرویت و پریستلی-تیلور مناسب‌ترین روش‌ها برای حوزه مذکور می‌باشند.

هدف از این پژوهش برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از روش پریستلی-تیلور با کمک تکنولوژی سنجش از دور است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

## روش تحقیق

داده‌های زمینی مورد استفاده در این پژوهش برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع شامل سرعت باد، درجه حرارت خشک، رطوبت نسبی حداقل، رطوبت نسبی حداکثر، حداقل دمای هوا، حداکثر دمای هوا، ساعات آفتابی و دمای سطح زمین از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرستان فریمان، در بازه زمانی روزانه برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ تهیه گردید. تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در این مطالعه نیز مربوط به تاریخ‌های ۱۸ بهمن سال ۱۳۹۳، ۲۳ فروردین، ۹ و ۲۵ خرداد و ۷ اسفندماه سال ۱۳۹۴، ۱۱ اردیبهشت، ۱۲ و ۲۸ خردادماه سال ۱۳۹۵ برای سنجنده لندست ۸ بودند که از وبسایت USGS در فرمت ژئوتیف (GeoTIFF) دانلود شدند. دقت زمانی سنجنده لندست ۸ به صورت هر ۱۶ روز یکبار از منطقه مورد نظر است که با توجه به این محدودیت و همچنین وضعیت پوشش ابر در آسمان، تاریخ‌های فوق برای تصاویر انتخابی در نظر گرفته شد.

در سال ۱۹۷۲ پرستلی و تیلور یک معادله ساده شده از مدل پنمن - مانتیث پیشنهاد دادند. در این مطالعه از این مدل برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از تکنیک سنجنش‌زدور استفاده شد (۲۱). از مزایای استفاده از این روش این است که، به تعداد کمی پارامتر برای تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل نیاز دارد و همچنین خطای دمای سطح به دست آمده از سنجنش‌زدور را که باعث ایجاد خطا در تخمین تبخیر-تعرق در روش‌هایی می‌شود که مستقیماً برای تخمین تبخیر-تعرق از دمای سطح زمین استفاده می‌کنند، نخواهد داشت. در این روش شار تبخیر-تعرق پتانسیل ( $MJ.M^{-2}.day^{-1}$ ) با استفاده از رابطه ۱ تخمین زده می‌شود (۱۶ و ۱۹).

$$\lambda PET = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_{n,daily} - G_{daily}) \quad [1]$$

در این رابطه؛  $\alpha$  پارامتر اصلاح شده پرستلی - تیلور است که جایگزین مقاومت سطح و مقاومت آئرو دینامیک در روش پنمن - مانتیث شده و مقدار آن بستگی به میزان رطوبت خاک

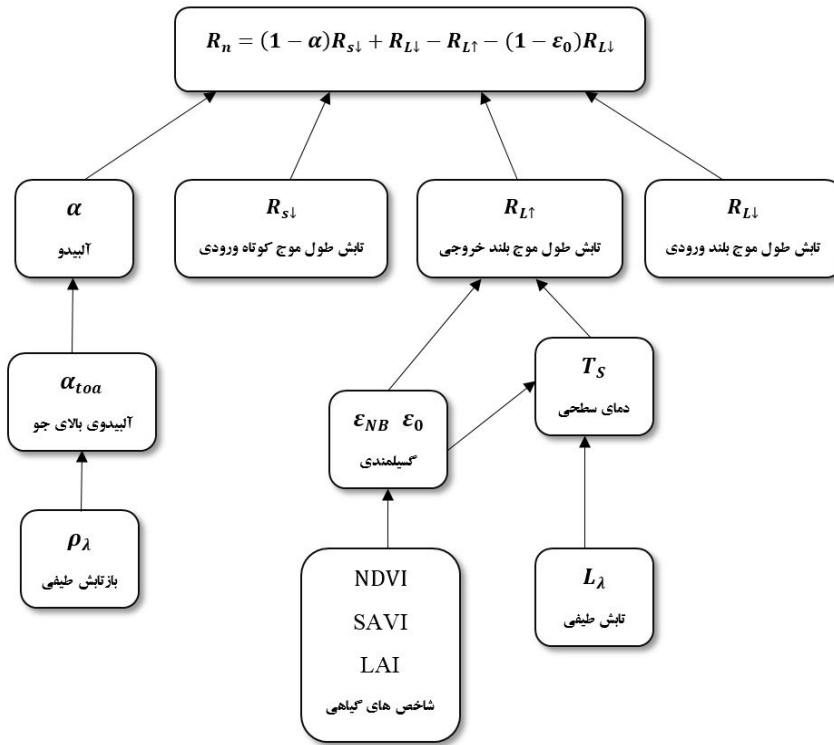
دارد و بین صفر تا ۲ متغیر است (۱۰ و ۲۳).  $\Delta$  شیب منحنی دما - فشار بخار اشباع ( $Kpa. ^\circ C^{-1}$ )، ضریب سایکرومتریک ( $Kpa. ^\circ C^{-1}$ )،  $R_{n,daily}$  و  $G_{daily}$  به ترتیب میانگین روزانه شار تابش خالص و شار گرمای خاک ( $MJ.M^{-2}.day^{-1}$ ) می‌باشند. میانگین روزانه شار گرمای خاک صفر (شار گرمای خاک انرژی است که باعث گرم شدن خاک می‌شود به عبارت دیگر زمانی که خاک در حال گرم شدن است،  $G$  مثبت و زمانی که در حال سرد شدن است، مقدار آن منفی است به همین دلیل در محاسبات روزانه در نظر گرفته نمی‌شود). میانگین روزانه شار تابش خالص ( $W.m^{-2}$ ) که در این پژوهش با استفاده از تکنیک سنجنش‌زدور تخمین زده شد، طبق رابطه ۲ با توجه به لحظه گذر ماهواره و زمان طلوع و غروب خورشید به دست آمد.

$$R_{n,daily} = R_{inst} \times \frac{2}{\pi \times \sin \left[ \left( \frac{t_i - t_{sunrise}}{t_{sunset} - t_{sunrise}} \right) \times \pi \right]} \quad [2]$$

در این رابطه؛  $R_{inst}$  شار تابش خالص لحظه‌ای ( $W.m^{-2}$ )،  $t_i$  زمان عبور ماهواره،  $t_{sunrise}$  زمان طلوع خورشید و  $t_{sunset}$  زمان غروب خورشید است (۵، ۷ و ۱۲). شار تابش خالص لحظه‌ای در سطح زمین با استفاده از روش ارائه شده توسط باستین سن و همکاران (۶) به دست آمد. در این روش شار تابش خالص در سطح زمین با استفاده از تمامی شارهای تابشی ورودی به سطح زمین و خروجی از این سطح به دست می‌آید.

$$R_n = (1 - \alpha) R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0) R_{L\downarrow} \quad [3]$$

در این رابطه؛  $\alpha$  آلبدوی سطحی (بی بعد)،  $R_{S\downarrow}$  تابش با طول موج کوتاه (۰/۳ تا ۳ میکرومتر) رسیده به سطح زمین ( $W.m^{-2}$ )،  $R_{L\downarrow}$  تابش با طول موج بلند (۳ تا ۱۰۰ میکرومتر) رسیده به سطح زمین ( $W.m^{-2}$ )،  $R_{L\uparrow}$  تابش با طول موج بلند خروجی از سطح زمین ( $W.m^{-2}$ ) و  $\epsilon_0$  گسیلمندی حرارتی سطحی (بی بعد) می‌باشند. نمودار این فرایند در شکل ۲ نشان داده شده است. پارامتر آلفا نیز از رابطه ۴ محاسبه گردید.



شکل ۲. نمودار فرایند محاسبه تابش خالص

در این رابطه‌ها؛  $T_a$  میانگین روزانه دمای هوا ( $^{\circ}\text{C}$ )،  $C_p$  گرمای ویژه هوا ( $1004 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) و  $P$  فشار هوا (KPa) است. در نهایت مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل از رابطه ۸ محاسبه گردید.

$$PET = \frac{\lambda PET}{\lambda} \quad [8]$$

در این رابطه؛ PET تبخیر - تعرق پتانسیل روزانه ( $\text{mm.day}^{-1}$ ) و  $\lambda$  گرمای نهان تبخیر ( $\text{MJ.Kg}^{-1}$ ) که با استفاده از رابطه ۹ به دست می‌آید.

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3}) \times T_s \quad [9]$$

در این رابطه؛  $T_s$  میانگین روزانه دمای سطح زمین ( $^{\circ}\text{C}$ ) به دست آمده از ایستگاه هواشناسی است. در نهایت مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل به دست آمده از این روش در منطقه مورد مطالعه با مقادیر تبخیر-تعرق مرجع به دست آمده از روش

$$\alpha = \frac{\Delta + \gamma}{\Delta(1 + \beta)} \quad [4]$$

در این رابطه؛  $\beta$  نسبت باون است که از رابطه ۵ قابل محاسبه و مقدار متوسط آن برای مناطق مختلف ۰/۶ است (۱۱ و ۲۷).

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} \quad [5]$$

در این رابطه؛  $H$  شار گرمای محسوس و  $\lambda E$  شار گرمای نهان است. شیب منحنی دما - فشار بخار اشباع و ضریب سایکرومتریک نیز با استفاده از رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه می‌گردد.

$$\Delta = \frac{2504 \times \exp\left(\frac{17.27 \times T_a}{T_a + 237.3}\right)}{(T_a + 237.3)^2} \quad [6]$$

$$\gamma = \frac{C_p \times P}{0.622 \times 10^7 \times (2.501 - (2.361 \times 10^{-3}) \times T_a)} \quad [7]$$

تصاویر، در شکل ۳ برای دو تصویر منتخب نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده در قسمت شار تابش خالص لحظه‌ای (مقادیر به دست آمده در بازه ۳۰۰ تا ۷۰۰ وات بر مترمربع) و مقایسه آن با تحقیقات مؤذنزاده و همکاران (۴) و همچنین داسیلوا و همکاران (۹) نشان از صحت مقادیر به دست آمده دارد. همچنین مقادیر شار تابش خالص روزانه در مقایسه با نتایج به دست آمده در تحقیق داسیلوا و همکاران (۹) در محدوده صحیحی می‌باشند. از مهم‌ترین عواملی که بر روی شار تابش خالص دریافتی در یک منطقه مؤثر است می‌توان به پوشش گیاهی، جنس و رطوبت خاک، عرض جغرافیایی، شیب و جهت شیب اشاره نمود. نقشه‌های شیب و جهت شیب با استفاده از نقشه مدل ارتفاع رقومی منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار ERDAS ساخته و مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌های نهایی پس از خروجی از نرم‌افزار ENVI در محیط ArcGIS به صورت بصری تهیه شدند. با توجه به توپوگرافی منطقه مورد مطالعه مقادیر تابش خالص روزانه در بازه ۱۰۰ تا ۴۰۰ وات بر مترمربع به دست آمد. بیشترین مقادیر این پارامتر مربوط به زمین‌های کشاورزی (جنوب منطقه مورد مطالعه) به دلیل مسطح بودن زمین و وجود پوشش متراکم گیاه است.

پنمن-مانیت فائو که با استفاده از نرم‌افزار Ref-ET و داده‌های ایستگاه هواشناسی فریمان به دست آمد مقایسه شد. لازم به ذکر است که بیشتر مراحل انجام کار پردازش تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد. همچنین از دو شاخص کمی ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ریشه میانگین مربع خطاها (RMSE) برای ارزیابی نتایج به دست آمده استفاده شد.

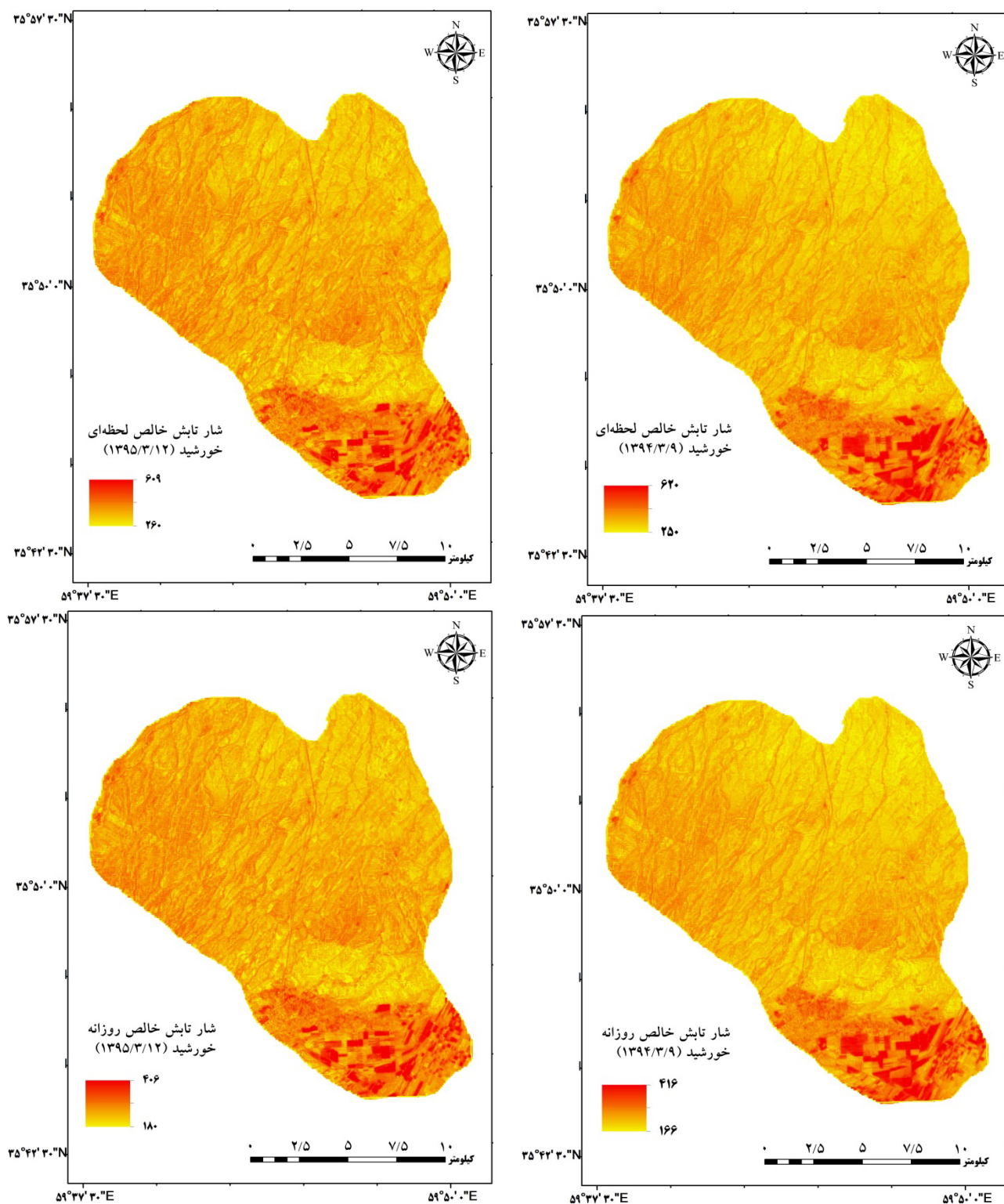
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad [10]$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i)(O_i - \bar{O}_i))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i)^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad [11]$$

در این رابطه‌ها؛  $P_i$  مقادیر برآورد شده و  $O_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده است.

## نتایج

در ابتدا میزان تابش خالص لحظه‌ای در لحظه گذر ماهواره برای تمامی روزهای مورد بررسی به دست آمد. سپس تابش خالص روزانه خورشیدی با استفاده از رابطه سینوسی پیشنهاد شده توسط بیشت و همکاران (۷) برای تمام پیکسل‌های تصاویر محاسبه شد. این نتایج به دلیل حجم بالای



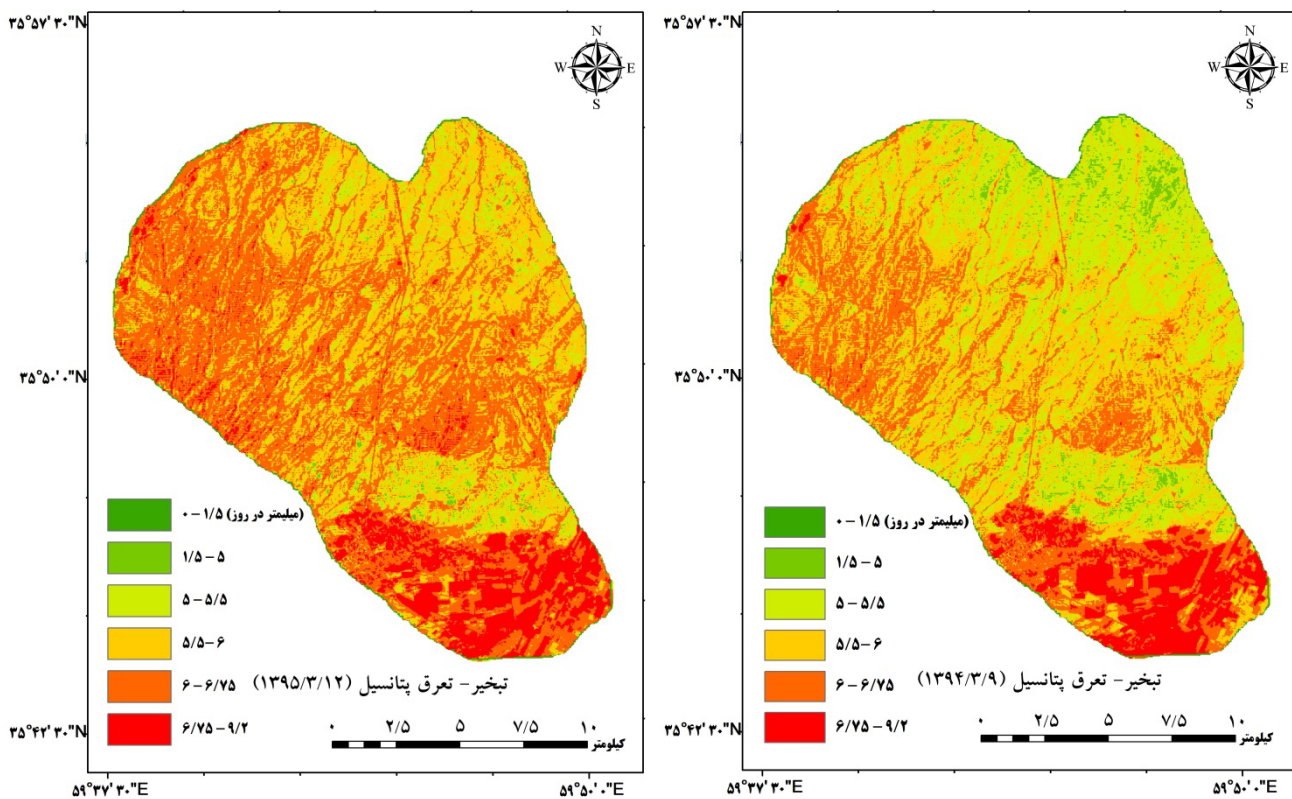
شکل ۳. نقشه مقادیر شار تابش خالص لحظه‌ای و روزانه خورشید

شد، که نتایج آن در جدول ۱ و شکل ۴ آورده شده است. در این شکل‌ها مناطقی که در تصاویر به رنگ سبز دیده می‌شوند

برای به دست آوردن تبخیر-تعرق پتانسیل از روش پریستلی-تیلور (رابطه ۸) و تابش حاصل از تصاویر استفاده

زده شده است که دلیل آن عدم محدودیت آب و در نتیجه وجود خاک مرطوب و نیز مسطح بودن زمین (که منجر به جذب بیشتر انرژی و دریافت تابش خالص بیشتر می شود) دانست.

دارای کمترین مقدار تبخیر-تعرق و مناطق قرمز رنگ دارای بالاترین مقادیر آن می باشند. همان گونه که در تصاویر دیده می شود در مناطق کشاورزی فاریاب (جنوب منطقه مورد مطالعه) مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل بیشتری تخمین



شکل ۴. نقشه مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل

جدول ۱. مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل به دست آمده از روش پرستیلی-تیلور برای کل منطقه مورد مطالعه

تاریخ تصویر	میانگین مقادیر	حداکثر مقادیر	حداقل مقادیر
۱۳۹۳/۱۱/۱۸	۳/۸	۵/۳	۰/۰۳
۱۳۹۴/۰۱/۲۳	۶	۷/۸	۳
۱۳۹۴/۰۳/۰۹	۶/۲	۹/۱	۱/۵
۱۳۹۴/۰۳/۲۵	۶/۴	۹/۳	۲/۹
۱۳۹۴/۱۲/۰۷	۴/۳	۵/۸	۰/۰۲
۱۳۹۵/۰۲/۱۱	۶/۴	۸/۷	۳/۵
۱۳۹۵/۰۳/۱۲	۶/۵	۸/۹	۳/۸
۱۳۹۵/۰۳/۲۸	۶/۶	۹/۲	۳/۵

منظور از میانگین، حداکثر و حداقل، مقادیر پیکسل های تصویر برای هر تاریخ است.

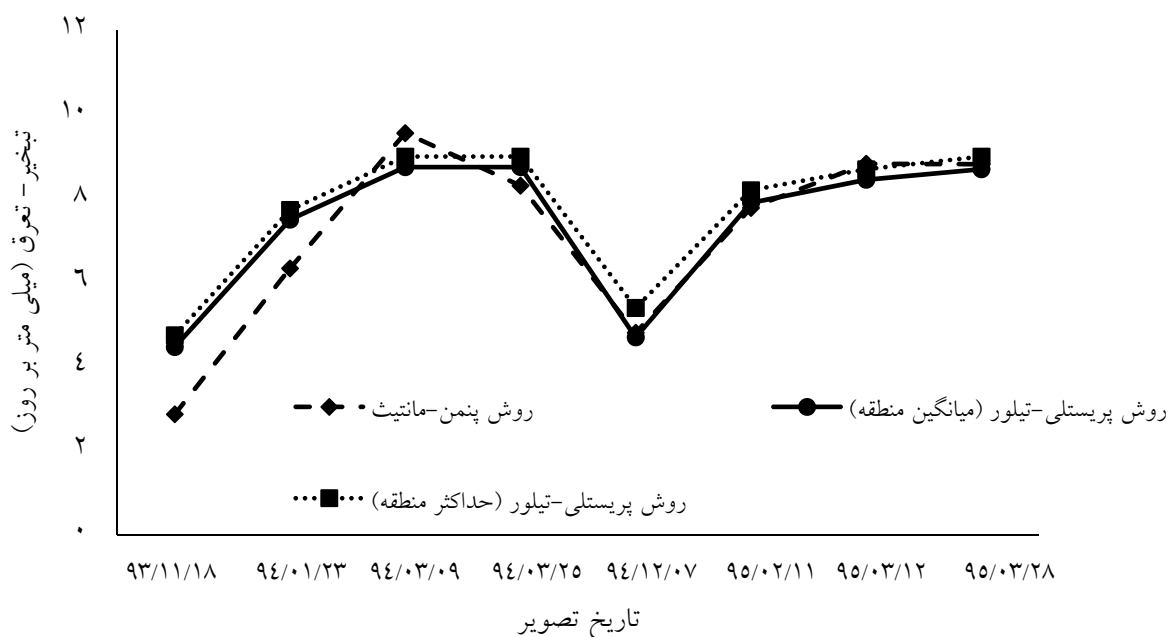


مرجع را دارا است انتخاب و مقادیر حداکثر و میانگین آن با مقادیر حاصل از روش پنمن-مانتیت به عنوان روش مرجع مقایسه شد که نتایج قابل قبول بود (جدول ۲ و شکل ۵). همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، روند تغییرات مقادیر تبخیر-تعرق در دو روش در طول دوره مورد مطالعه از هم پیروی می کنند که این امر نشان دهنده دقت قابل قبول روش مورد بررسی است.

با توجه به متفاوت بودن پوشش گیاهی و به طور کلی پوشش سطح زمین در منطقه مورد مطالعه، عملاً مقایسه میانگین مقادیر تبخیر-تعرق به دست آمده برای کل منطقه با مقدار تبخیر-تعرق مرجع از روش پنمن-مانتیت که شرایط خاص گیاه مرجع را دارا است مقایسه صحیحی نیست. لذا به منظور صحت سنجی روش مذکور، بخشی از تصویر با پوشش گیاهی متراکم و یکنواخت (از زمین های کشاورزی و همچنین زمین های متفاوت برای هر سال) که شرایطی نزدیک به گیاه

جدول ۲. مقادیر تبخیر-تعرق به دست آمده از روش پرستلی-تیلور (منطقه صحت سنجی) و روش پنمن-مانتیت فائو (میلی متر در روز)

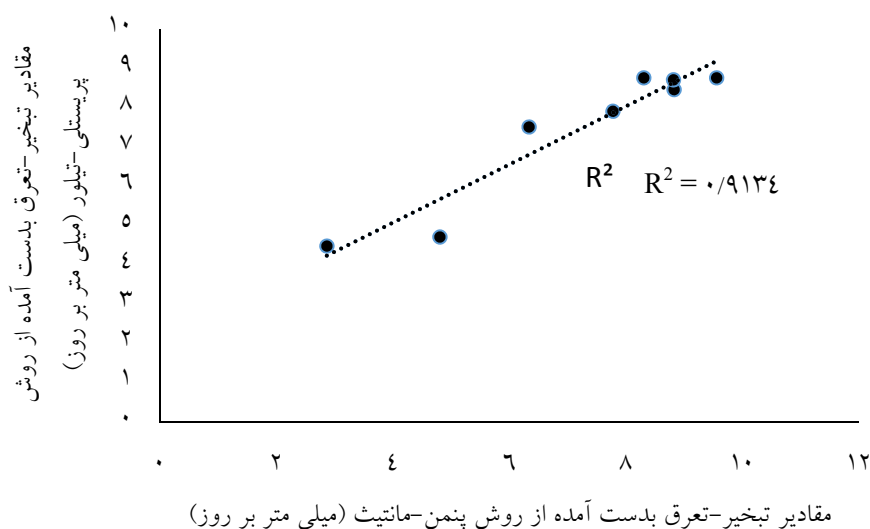
تاریخ تصویر	تبخیر-تعرق مرجع پنمن-مانتیت	میانگین مقادیر تبخیر-تعرق پرستلی-تیلور	حداکثر مقادیر تبخیر-تعرق پرستلی-تیلور	حداقل مقادیر تبخیر-تعرق پرستلی-تیلور
۱۳۹۳/۱۱/۱۸	۲/۸۷	۴/۴۷	۴/۷۵	۳/۸
۱۳۹۴/۰۱/۲۳	۶/۳۴	۷/۵	۷/۷۳	۷
۱۳۹۴/۰۳/۰۹	۹/۵۶	۸/۷۵	۹	۸/۲
۱۳۹۴/۰۳/۲۵	۸/۳۱	۸/۷۵	۹	۸/۲۳
۱۳۹۴/۱۲/۰۷	۴/۸۱	۴/۷	۵/۴	۴/۲۳
۱۳۹۵/۰۲/۱۱	۷/۷۸	۷/۹	۸/۲	۷/۶
۱۳۹۵/۰۳/۱۲	۸/۸۳	۸/۴۵	۸/۷	۸
۱۳۹۵/۰۳/۲۸	۸/۸۲	۸/۷	۹	۷/۹



شکل ۵. مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق به دست آمده از روش پرستلی-تیلور (منطقه صحت سنجی) و روش پنمن-مانتیت فائو

به دست آمده برای منطقه صحت سنجی (۷/۴ میلی متر در روز) نیز نشان دهنده دقت بالای روش پرستلی-تیلور در تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل در این منطقه است (شکل ۶).

پراکنش مقادیر میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل حاصل از روش پرستلی-تیلور در مقابل تبخیر-تعرق مرجع نشان داد که ضریب تبیین ( $R^2$ ) به دست آمده ۰/۹۱ و ریشه میانگین مربع خطاها (RMSE)، ۰/۷۸، در مقایسه با میانگین مقادیر



شکل ۶. مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق به دست آمده از روش پرستلی-تیلور و روش پنمن-مانیت فائو

اما در پژوهشی که توسط حسینی انجام شد نتیجه این بود که روش پرستلی-تیلور نسبت به روش مرجع پنمن-مانیت مقداری کم برآورد دارد که در این رابطه باید داده‌های بیشتری مورد بررسی قرار گیرد (۲). همچنین در این پژوهش میانگین مربعات خطا ۰/۷۸ میلی متر در روز به دست آمد که در مقایسه با نتیجه پژوهش عصاره مستقیم و همکاران (میانگین مربعات خطا ۱/۳۳ میلی متر در روز) قابل قبول است (۳). در نهایت با عنایت به نتایج به دست آمده می‌توان عنوان کرد که در این منطقه و طبیعتاً در مناطق با اقلیم مشابه آن، می‌توان با استفاده از روش پیشنهادی این مقاله با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، تبخیر-تعرق پتانسیل را با دقت قابل قبولی برآورد نمود. در آخر پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی در این زمینه برای بالا بردن میزان دقت تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل، برای به دست آوردن پارامتر آلفا به صورت پیکسل به پیکسل روش‌هایی جایگزین شود تا بتوان مقدار این پارامتر را برای هر پیکسل

## بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور و روش پرستلی-تیلور تخمین زده شد. تکنیک سنجش‌ازدور کمک می‌کند تا در زمان اندکی تبخیر-تعرق پتانسیل را برای مناطق وسیع و نیز مناطقی که داده‌های هواشناسی آن‌ها در دسترس نیست تخمین زده شود. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، این پارامتر در مقایسه با تبخیر-تعرق مرجع به دست آمده از روش پنمن-مانیت فائو نتایج قابل قبولی به دست آمده داد که با نتایج ژو و سینگ (۲۶)، اودین و همکاران (۲۰)، خالدی و همکاران (۱۶)، بابامیری و همکاران (۱) و لی سین و همکاران (۱۸) مطابقت دارد. همچنین مشاهده شد که میزان انحراف مقادیر به دست آمده از این روش در مقایسه با روش مرجع (پنمن-مانیت) روند مشخصی ندارد، به این معنی که در بعضی روزها مقدار بسیار اندکی بیش برآورد و در بعضی روزهای دیگر کم برآورد دارد.

- watershed. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 135: 42-49.
10. Flint AL, Childs SW. 1991. Use of the Priestley-Taylor evaporation equation for soil water limited conditions in a small forest clearcut. *Agricultural and Forest Meteorology*, 56(3-4): 247-260.
  11. Holtslag A, Van Ulden A. 1983. A simple scheme for daytime estimates of the surface fluxes from routine weather data. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22(4): 517-529.
  12. Hwang K, Choi M, Lee SO, Seo J-W. 2013. Estimation of instantaneous and daily net radiation from MODIS data under clear sky conditions: a case study in East Asia. *Irrigation science*, 31(5): 1173-1184.
  13. Idso SB, Jackson RD, Reginato RJ. 1975. Estimating evaporation: a technique adaptable to remote sensing. *Science*, 189(4207): 991-992.
  14. Jensen ME, Haise HR. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 89: 15-41.
  15. Karlsson E, Pomade L. 2013. Methods of estimating potential and actual evaporation. Salt Lake City: Department of Water Resources Engineering: 1-11.
  16. Khaldi A, Hamimed A. 2014. Using the Priestley-Taylor expression for estimating actual evapotranspiration from satellite Landsat ETM+ data. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 364: 398-403.
  17. Kustas W, Li F, Jackson T, Prueger J, MacPherson J, Wolde M. 2004. Effects of remote sensing pixel resolution on modeled energy flux variability of croplands in Iowa. *Remote sensing of Environment*, 92(4): 535-547.
  18. Li S, Kang S, Zhang L, Zhang J, Du T, Tong L, Ding R. 2016. Evaluation of six potential evapotranspiration models for estimating crop potential and actual evapotranspiration in arid regions. *Journal of Hydrology*, 543: 450-461.
  19. Lu J, Sun G, McNulty SG, Amatya DM. 2005. A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern united states 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 41(3): 621-633.
  20. Oudin L, Hervieu F, Michel C, Perrin C, Andréassian V, Anctil F, Loumagne C. 2005. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model?: Part 2-Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 303(1-4): 290-306.
  21. Priestley C, Taylor R. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2): 81-92.
- به صورت جداگانه به دست آورد. همچنین پیشنهاد می شود کارایی و دقت این روش در سایر اقلیم ها مورد بحث و بررسی قرار گیرد.
- ### منابع مورد استفاده
۱. بابامیری، ا.، ی. دین پژوه و ا. اسدی. ۱۳۹۲. واسنجی و ارزیابی هفت روش تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع مبتنی بر تابش خورشیدی در حوزه آبریز دریاچه ارومیه. نشریه دانش آب و خاک، ۲۳(۴): ۱۴۳-۱۵۸.
  ۲. حسینی، ا. ۱۳۹۳. تعیین تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از تصاویر ماهواره ای در مناطق مرکزی یزد. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه یزد. ۱۱۰ صفحه.
  ۳. عصاره مستقیم، م.، ع. رحیمی خوب و ل. عصاره مستقیم. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر و تعرق مزارع نیشکر با استفاده از مدل های تجربی تابشی جهت مدیریت منابع آب. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان-دانشگاه شهید باهنر، ۱۸ الی ۲۰ بهمن ماه. ۲۶۰۰ صفحه.
  ۴. مؤذن زاده، ر. ۱۳۹۲. پایش سیستم هیدرولوژیک حوزه آبریز نیشابور با استفاده از تکنیک سنجش از دور. پایان نامه دکتری مهندسی آب. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۷۵ صفحه.
  5. Barik MG. 2014. Remote sensing-based estimates of potential evapotranspiration for hydrologic modeling in the upper Colorado River basin region. PhD degree in Civil Engineering, UCLA, University of California, 131 pp.
  6. Bastiaanssen WG, Menenti M, Feddes R, Holtslag A. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212: 198-212.
  7. Bisht G, Venturini V, Islam S, Jiang L. 2005. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. *Remote Sensing of Environment*, 97(1): 52-67.
  8. Brutsaert W. 2013. *Evaporation into the Atmosphere: Theory, History and Applications*. Springer Science & Business Media, Netherlands, 302 pp.
  9. Da Silva BB, Montenegro SMGL, da Silva VdPR, da Rocha HR, Galvıncio JD, de Oliveira LMM. 2015. Determination of instantaneous and daily net radiation from TM-Landsat 5 data in a subtropical

22. Rango A. 1994. Application of remote sensing methods to hydrology and water resources. *Hydrological Sciences Journal*, 39(4): 309-320.
23. Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. 2002. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79(2-3): 213-224.
24. Tegos A, Efstratiadis A, Koutsoyiannis D. 2013. A parametric model for potential evapotranspiration estimation based on a simplified formulation of the Penman-Monteith equation. In: *Evapotranspiration-An Overview*. InTech, DOI: 10.5772/52927.
25. Thornthwaite CW. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1): 55-94.
26. Xu C-Y, Singh V. 2002. Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland. *Water Resources Management*, 16(3): 197-219.
27. Zhang Y, Liu C, Yu Q, Shen Y, Kendy E, Kondoh A, Tang C, Sun H. 2004. Energy fluxes and the Priestley-Taylor parameter over winter wheat and maize in the North China Plain. *Hydrological Processes*, 18(12): 2235-2246.



## Estimate of potential evapotranspiration in Freiman using the priestley-taylor method and remote sensing technique

M. Moqbeli Dameneh <sup>1</sup>, S. H. Sanaeinejad <sup>2\*</sup>

1. PhD Student of Agricultural Meteorology, Department of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2. Assoc. Prof. College of Water Engineering, Department of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

### ARTICLE INFO

#### **Article history:**

Received 4 December 2017

Accepted 24 October 2018

Available online 21 November 2018

#### **Keywords:**

Potential evapotranspiration

Priestley-Taylor

Remote sensing

Khorasan Razavi

### ABSTRACT

Evapotranspiration is one of the important components of water balance which is measured and estimated by several methods. Since these methods mainly involve point-by-point measuring and requiring a large amount of grounded data, so they have limitations. In this study, potential evapotranspiration for 8 days in 2014, 2015 and 2016 was estimated using the Priestley-Taylor method and remote sensing technique in Fariman area in Khorasan Razavi province using Landsat 8 Operational Land Imager (OLI). To determine the accuracy of the estimates, the results of this study were compared with the FAO Penman-Monteith method (the reference method for estimating potential evapotranspiration). Comparison of the obtained results by the Priestley-Taylor method with the FAO Penman-Monteith method showed that the  $R^2$  and Root Mean Square Error (RMSE) are 0.91 and 0.78 mm/d, respectively. This result indicates that the high accuracy of this method in estimating potential evapotranspiration in a semi-arid climate.

\* Corresponding author e-mail address: [sanaein@gmail.com](mailto:sanaein@gmail.com)