



## Estimating the amount of evapotranspiration in the area affected by flood spreading using METRIC algorithm

Ghobad Rostamizad<sup>1\*</sup>, Mojtaba Pakparvar<sup>2</sup>, Parviz Abdinejhad<sup>3</sup>, Zahra Abdollahi<sup>3</sup> and Jafar Khalafi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Professor Assistant of Soil Conservation and Watershed Management Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran

<sup>2</sup> Professor Assistant of Soil Conservation and Watershed Management Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Fars, Iran

<sup>3</sup> Professor Assistant of Soil Conservation and Watershed Management Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran

<sup>4</sup> Researcher of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 09 April 2023

Accepted: 24 June 2023

### Extended abstract

#### Introduction

Evapotranspiration (ET) is one of the most important factors in the hydrological cycle and is a key determinant of energy equations on the earth's surface. evapotranspiration estimates are important for hydrology, irrigation, forest and rangeland, and water resources management. The evapotranspiration drives the soil water-energy balance which is largely used in general circulation models and climate modelling. Consequently, river water flow forecasting, crop yield forecasting, irrigation management systems, river/lake water quality are all dependent on evapotranspiration levels. For this reason, it is essential to accurately estimate the water budget. Numerous models have been developed to estimate evapotranspiration using remote sensing methods. The review of recent research shows that remote sensing and the use of satellite images have a high ability to estimate the amount of actual evapotranspiration.

#### Material and method

The aim of this study is calibrating the METRIC algorithm in estimating evapotranspiration in the Sohrin-Qaracheryan Plain, which is affected by flood spreading. This method has been used by many researchers around the world to estimate evapotranspiration. On the other hand, estimating the actual evapotranspiration is of great importance in the plains affected by the flood, especially in the Sohrin-Qaracherian Plain's flood spreading. Therefore, in this research was conducted to estimate evapotranspiration using the metric algorithm in the Sohrin-Qaracherian Plain, for the optimization management of water resources in the region and regions with similar conditions. In this research, were used of the daily and hourly meteorological data of Zanjan Airport synoptic station from 2020 to 2021. These the data included minimum and maximum temperature, minimum and maximum humidity, wind speed average, sunshine hours and air pressure. To check the application of metric algorithm, were downloaded Landsat 8 images for 2020-2021 years and were done necessary corrections and preprocessing on them. Landsat images are available at 16-day intervals with a spatial resolution of 30 m and were obtained from the United States Geological Survey website (<http://glovis.usgs.gov>). After the images processing, is obtained the albedo, surface emissivity, land surface temperature, plant indicators, incoming-outgoing radiation fluxes, net radiation flux and the soil heat flux. Next, the sensible heat flux is calculated by determining the hot and cold pixels. Finally, evapotranspiration maps are plotted. In addition, for a better comparison of the results, were compared of the layers related to vegetation index include soil heat flux and

\* Corresponding author: gh.rostamizad@areeo.ac.ir

land surface temperature in the different stages of the growth period. After extracting these indices, the evapotranspiration map was extracted using ENVI software.

### **Result and discussion**

Results show that daily evapotranspiration increases is directly related with increase in vegetation density. at the initial of the growth period, the range of evapotranspiration is estimated between 0.08 and 4.97 mm.d<sup>-1</sup>, while this value in the middle and late of the growing season is estimated in the range of 0.086 to 5.56 and 0.59 to 9.57 mm.d<sup>-1</sup> respectively. Based on the results of this research evapotranspiration obtained from the soil water balance model and METRIC model were estimated as 24115 and 25648 m<sup>3</sup>, respectively. The results validation of evapotranspiration obtained from the metric model was compared with the actual evaporation and transpiration obtained from the soil water balance model, and the error coefficient was obtained equal to 5.97%.

### **Conclusion**

According to the results of this research, it was determined that the use of energy balance models using the science of remote sensing provides the possibility of estimating evaporation and transpiration regionally. On the other hand, the calculation error percentage shows that the metric algorithm is accurate enough to estimate ET in the studied area.

**Keywords:** Satellite images, Sohrin-Qaracheryan plain, Soil water balance model, Validation

Cite this article: Rostamizad, Gh., Pakparvar, M., Abdinejhad, P., Abdollahi, Z., Khalafi, J., 2024. Estimating the amount of evapotranspiration in the area affected by flood spreading using METRIC algorithm. Watershed Engineering and Management 16(1), 154-169.

© 2024, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



## برآورد مقدار تبخیر-تعرق محدوده متاثر از عرصه پخش سیلاب با استفاده از الگوریتم متریک

قباد رستمی‌زاد<sup>۱\*</sup>، مجتبی پاک پرور<sup>۲</sup>، پرویز عبدی‌نژاد<sup>۳</sup>، زهرا عبدالمهی<sup>۴</sup> و جعفر خلفی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، فارس، ایران  
<sup>۳</sup> استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران  
<sup>۴</sup> محقق بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰

### چکیده مبسوط

#### مقدمه

تبخیر و تعرق (ET)، یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در چرخه هیدرولوژیکی است و تعیین‌کننده اصلی معادلات انرژی در سطح زمین است. برآورد تبخیر و تعرق برای هیدرولوژی، آبیاری، جنگل و مرتع و مدیریت منابع آب مهم است. تبخیر و تعرق، بیلان آب و انرژی خاک را که عمدتاً در مدل‌های گردش عمومی و مدل‌سازی آب و هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد، تحت تاثیر قرار می‌دهد. در نتیجه، پیش‌بینی جریان آب رودخانه، پیش‌بینی عملکرد محصول، سامانه‌های مدیریت آبیاری، کیفیت آب رودخانه/دریاچه همگی به سطوح تبخیر و تعرق بستگی دارند. به همین دلیل، برآورد دقیق بیلان آب ضروری است. مدل‌های متعددی برای تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از روش‌های سنجش از دور توسعه یافته است. بررسی تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که سنجش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای توانایی بالایی در تخمین میزان تبخیر و تعرق واقعی دارد.

#### مواد و روش‌ها

هدف از این پژوهش، واسنجی الگوریتم METRIC در تخمین تبخیر و تعرق دشت سهرین-قره‌چریان است که تحت تاثیر پخش سیلاب قرار گرفته است. این روش به‌وسیله بسیاری از محققان در سراسر جهان برای تخمین تبخیر و تعرق استفاده شده است. از سوی دیگر، برآورد تبخیر و تعرق واقعی در دشت‌های متاثر از سیلاب، به‌ویژه پخش سیلاب بر آبخوان دشت سهرین-قره‌چریان از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا، این پژوهش با هدف تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از الگوریتم متریک در دشت سهرین-قره‌چریان به منظور مدیریت بهینه منابع آب در منطقه و مناطق با شرایط مشابه انجام شد. در این پژوهش، از داده‌های هواشناسی روزانه و ساعتی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه زنجان از سال ۲۰۲۰

تا ۲۰۲۱ استفاده شد که این داده‌ها شامل کمینه و بیشینه دما، کمینه و بیشینه رطوبت، میانگین سرعت باد، ساعات آفتابی و فشار هوا بود. برای بررسی کاربرد الگوریتم متریک، تصاویر Landsat 8 برای سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ دانلود و پیش‌پردازش و پردازش‌های لازم بر روی آن‌ها انجام شد. تصاویر Landsat در فواصل ۱۶ روزه با وضوح مکانی ۳۰ متر و از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (<http://glovis.usgs.gov>) به‌دست آمد. پس از پردازش تصاویر، شار خالص تشعشع سطح زمین و شار حرارتی زمین با استفاده از شارهای تشعشعی ورودی-خروجی از آلبدو، گسیل‌مندی، دمای سطح زمین و شاخص‌های گیاه به‌دست آمد. سپس، شار حرارتی محسوس با تعیین پیکسل‌های سرد و گرم محاسبه و در آخر، نقشه‌های تبخیر و تعرق استخراج شد.

### نتایج و بحث

نتایج نشان داد، با افزایش تراکم پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق روزانه نیز افزایش می‌یابد. در ابتدای دوره رشد، دامنه تبخیر و تعرق بین ۰/۰۸ تا ۴/۹۷ میلی‌متر در روز تخمین زده شد در حالی که این مقدار در اواسط و اواخر فصل رشد به ترتیب در محدوده ۰/۰۸۶ تا ۵/۵۶ و ۰/۵۹ تا ۹/۵۷ میلی‌متر در روز تخمین زده شد. بر اساس نتایج، این پژوهش تبخیر و تعرق حاصل از مدل بیلان آب خاک و مدل متریک به‌ترتیب معادل ۲۴۱۱۵ و ۲۵۶۴۸ متر مکعب در سال برآورد شد. اعتبارسنجی نتایج مقدار تبخیر و تعرق حاصل از مدل متریک با مقدار تبخیر و تعرق واقعی حاصل از مدل بیلان آب خاک مقایسه شد که ضریب خطا معادل ۵/۹۷ درصد به‌دست آمد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش، مشخص شد استفاده از مدل‌های بیلان انرژی با بهره‌گیری از علم سنجش از دور امکان برآورد تبخیر و تعرق را به‌صورت منطقه‌ای فراهم می‌کند. از طرفی، درصد خطای محاسباتی نشان می‌دهد الگوریتم متریک برای برآورد ET در منطقه مورد مطالعه از دقت لازم برخوردار است.

### واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی، تصاویر ماهواره‌ای، دشت سهرین-قره‌چریان، مدل بیلان آب خاک

### مقدمه

تبخیر و تعرق، دومین جز اصلی چرخه آب (بعد از بارش) است، زیرا بیش از ۶۰ درصد از آب در دسترس را به جو باز می‌گرداند و بیش از نیمی از انرژی خورشیدی جذب شده به‌وسیله سطح زمین را استفاده می‌کند (Mondal et al., 2022). ET واقعی مقدار آبی است که در یک روز معمولی تبخیر می‌شود و نه مجموع آبی که می‌تواند تبخیر شود به شرطی که خاک مقدار زیادی آب برای تبخیر داشته باشد. از دست دادن آب‌های سطحی از طریق تبخیر روشی است که از همکاری پیچیده بین شارهای آب و انرژی در معرض محیط‌های مختلف جوی، خاک و

تبخیر و تعرق (ET)<sup>۱</sup>، یکی از اساسی‌ترین عناصر بیلان انرژی آب سطح زمین و روش اصلی انتقال آب در سامانه هیدرولوژیکی است. در بسیاری از عوامل اکولوژیکی زمینی از جمله رطوبت خاک، چرخه کربن، تولید پوشش گیاهی و بیلان آب نقش دارد (Shukla and Dirmeyer, 1994; Mondal Pielke et al., 1998; Ball and Betts., 1997; He et al., 2018a; Mondal et al., 2020; et al., 2019; Talebmorad et al., 2020; He et al., 2018b; Fattahi Nafchi et al., 2021; Talebmorad et al., 2021).

<sup>1</sup> Evapotranspiration

محیط‌های کشاورزی استفاده شده‌اند، اما کاربرد آن‌ها در اکوسیستم‌های طبیعی هنوز بسیار محدود است. برای پردازش تصویر برای تخمین ET با استفاده از مدل METRIC به تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا مانند Landsat 8 OLI و داده‌های اقلیمی منطقه نیاز است (Ramírez-Cuesta et al., 2018؛ Askari et al., 2020؛ Malik et al., 2020؛ Cheng et al., 2016؛ Chen et al., 2018).

مدل متریک بر اساس مدل SEBAL به‌وسیله Bastiaanssen et al., (1998) توسعه داده شد. مدل SEBAL برای ارزیابی ET با کمینه اندازه‌گیری‌های مبتنی بر زمین توسعه داده شد که انرژی باقیمانده را محاسبه و به انتخاب دقیق دو پیکسل گرم و سرد نیاز دارد. این عامل مدل SEBAL را محدود می‌کند، اما در مدل METRIC نیاز به کالیبراسیون دمای سطح حذف شده است که از این نظر نسبت به مدل SEBAL برتری دارد و می‌تواند به‌طور گسترده برای مدیریت منابع آب و جامعه تحقیقات کشاورزی جهان اجرا و اعمال شود. (Bastiaanssen et al., 1998؛ Allen et al., 2000؛ Morse et al., 2000 and 1998) هر دو روش محاسباتی مفهومی و نظری مدل METRIC را گزارش و تایید کردند (Ostad-Askari et al., 2017؛ Vanani et al., 2017).

با توجه به مطالب ذکر شده، تحقیقات نشان می‌دهد که سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای قابلیت بالایی برای برآورد مقدار تبخیر و تعرق واقعی دارند و در سراسر جهان به‌وسیله محققین برای برآورد تبخیر و تعرق مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از طرفی، با توجه به اهمیت و ضرورتی که برآورد تبخیر و تعرق واقعی در دشت‌های متأثر از پخش سیلاب (مخصوصاً پخش سیلاب بر آبخوان دشت سهرین-قره‌چریان) دارد، در این پژوهش تلاش شد تا ضمن برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از مدل متریک در دشت سهرین-قره‌چریان که تحت تاثیر پخش سیلاب بر آبخوان قره‌چریان است، برای مدیریت بهینه منابع آب بتوان به بهترین برآورد تبخیر و تعرق واقعی رسید و نتایج حاصل را به مناطق با شرایط مشابه تعمیم داد.

از نقاط قوت این پژوهش می‌توان به این صورت بیان کرد که روش‌های زیادی برای تخمین دقیق تبخیر-تعرق

پوشش گیاهی ناشی می‌شود. تبخیر سطحی تحت تاثیر عوامل متعددی از جمله متغیرهایی شامل تابش خورشید، سرعت باد، دمای هوا و رطوبت قرار می‌گیرد.

در بیلان هیدرولوژیکی، ET اغلب به‌عنوان یک شار باقیمانده یکپارچه در نظر گرفته می‌شود. به‌طور متناوب، داده‌های ایستگاه‌های اقلیمی محلی به شکل غیرمستقیم از یک تخمین به‌دست می‌آیند. ویژگی‌های فیزیولوژیکی مانند عمق ریشه‌زایی، شاخص سطح برگ (LAI) و مقاومت روزنه‌ها در مناطق مختلف پوشش گیاهی در منطقه‌ای با پوشش گیاهی متنوع متفاوت است (Thakur et al., 2021). طبق گفته Parastatidis et al., (2017) محاسبه ET در مناطق وسیع دشوار است. بنابراین، لازم است تخمین‌های قابل اعتمادی از مقدار ET در انواع پوشش‌های زمین و جوامع گیاهی مختلف به منظور تعیین بیلان آب یا اجرای مدل‌ها وجود داشته باشد.

تخمین ET، با استفاده از مدل‌ها و الگوریتم‌های مختلف انجام می‌شود. چندین فن تخمین ET مبتنی بر زمین در سراسر جهان استفاده می‌شود که برخی از آن‌ها شامل ادی کوواریانس، سینتیلومتری، نسبت بوون و تکنیک‌های تجدیدشده مبتنی بر سطح هستند (Mondal et al., 2022). این تکنیک‌ها در مقیاس مکانی محلی با داشتن یک مکان نقطه‌ای کار می‌کنند و کار و هزینه زیادی دارند. به‌عنوان مثال، برج‌های شار کوواریانس لایسیمتر و ادی تخمین‌های نقطه‌ای ET هستند، با این حال هنگامی که بر اساس این نقاط در یک منطقه بزرگ برون‌یابی شوند، با تخمین‌هایی برای ایجاد یک لایه ET پیوسته، لایه تولید شده نادرست خواهد بود (Derakhshannia et al., 2020, 2021؛ Ostad-Ali and Shayannejad., 2020, 2021؛ Askari et al., 2021).

برای حل مشکل فوق، از مدل‌های سنجش از راه دور تعادل انرژی سطحی مانند بیلان انرژی دو منبع (TSEB)، الگوریتم تعادل انرژی سطحی زمین (SEBAL) و تراز انرژی سطحی ساده (SSEB) استفاده می‌شود که ET را به صورت مکانی و پیوسته در یک منطقه جغرافیایی بزرگ محاسبه می‌کنند (SEBAL., 2002). این مدل‌ها می‌توانند ET واقعی و پتانسیل را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تخمین بزنند و به‌طور گسترده برای تخمین ET در

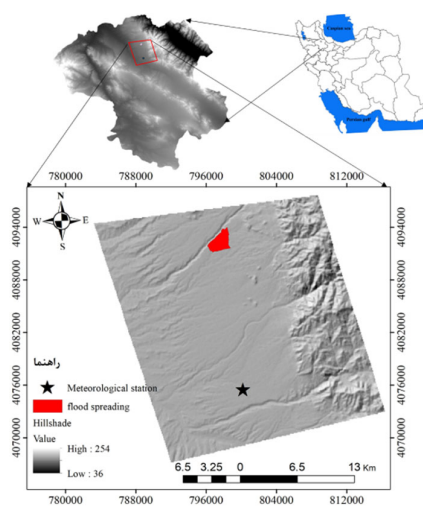
نقطه‌ای وجود دارد که شامل لایسیمترهای وزنی<sup>۱</sup>، روش نسبت بوون<sup>۲</sup> و روش ادی کوواریانس<sup>۳</sup> هستند. اما نقطه ضعف روش‌های ذکر شده این است که این روش‌ها تبخیر-تعرق را فقط برای یک مکان خاص برآورد می‌کنند و قادر به برآورد تبخیر-تعرق منطقه‌ای نیستند. علاوه بر این، هزینه زیادی باید برای نصب و راه‌اندازی آن‌ها صرف شود. در عوض، مدل متریک، یک روش مبتنی بر سنجش از دور است که تبخیر-تعرق واقعی را به‌عنوان باقیمانده معادله بیلان انرژی سطح محاسبه می‌کند و قادر است تبخیر و تعرق را به صورت منطقه‌ای برآورد کند.

سیلاب ورودی به ایستگاه از آن انحراف داده می‌شود، در حدود ۵۶۲/۳۷ لیتر در ثانیه است. شروع آبیگری بر اساس سنوات گذشته از اسفندماه آغاز شده و با توجه به پتانسیل بارندگی منطقه و ایجاد رواناب‌ها تا اواخر خردادماه ادامه می‌یابد. بیشینه دبی رودخانه نیز مربوط به ماه‌های فروردین معادل ۲۴۵۴/۳۸ و اردیبهشت ۱۶۵۱ لیتر در ثانیه است که بیشترین حجم آب انحراف داده شده به ایستگاه نیز در این ماه‌ها صورت می‌گیرد. بر اساس داده‌های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری موجود در ورودی ایستگاه تا تاریخ ۳۰ فروردین ۱۳۹۹ بیش ۲۲ میلیون متر مکعب آب به عرصه پخش سیلاب وارد شده‌است. با توجه به نفوذپذیری بالای رسوبات عرصه پخش سیلاب ایستگاه و شرایط جوی و تبخیر و تعرق بسیار کم منطقه، از این میزان حجم آبیگری، کمینه ۶/۵ میلیون مترمکعب آب در سفره آب زیرزمینی یا آبخوان منطقه ذخیره‌سازی شده است. این حجم آب ذخیره شده مصارف آب کشاورزی و شرب و سایر نیازهای آبی ۱۳ روستای منتفع از آن را تامین می‌کند. موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱، نشان داده شده است.

منطقه مورد مطالعه: ایستگاه تحقیقاتی و آبخوانداری قره چریان، در دشت سهرین-قره‌چریان و در شمال غربی شهر زنجان به فاصله ۳۰ کیلومتر از آن قرار دارد. این ایستگاه در سال ۱۳۷۵ در عرصه‌ای به مساحت ۴۱۵ هکتار احداث شده است که در حدود ۲۱۵ هکتار از آن جهت پخش سیلاب و تغذیه آبخوان مورد استفاده قرار می‌گیرد. آبدهی متوسط سالانه رودخانه قره‌چریان که

### مواد و روش‌ها

موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Location of the study area

<sup>3</sup> Eddy covariance

<sup>1</sup> Weighing lysimeter

<sup>2</sup> Bowen ratio technique

**داده‌های هواشناسی:** در این پژوهش، از داده‌های هواشناسی روزانه و ساعتی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه زنجان از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ استفاده شده است. داده‌ها شامل کمینه و بیشینه دما، کمینه و بیشینه رطوبت، میانگین سرعت باد، ساعات آفتابی و فشار هوا بود. جدول ۱، ویژگی‌های آماری متغیرهای هواشناسی را در روزهای تصویربرداری نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات متغیرهای هواشناسی در روزهای تصاویر ماهواره‌ای

Table 1. Characteristics of meteorological variables in the days of satellite images

Date	Wind speed (m/s)	Sun shine (h)	Rh (%)			T (°C)		
			Max	Min	Med	Max	Min	Med
2020/09/24	7	10.5	60	10	35	30.4	11.6	21.00
2020/10/10	3	10.9	93	25	59	17.9	0.6	9.25
2020/12/13	2	7.00	95	57	76	6.8	-6.6	0.10
2021/01/30	15	6.50	84	35	59.5	6.2	1.4	3.80
2021/02/15	9	10.4	52	16	34	17.2	0.4	8.80
2021/03/19	9	11.6	65	21	43	13.8	-2.0	5.90
2021/04/04	4	10.70	87	34	60.5	14.6	-3.0	5.80
2021/04/20	7	8.60	57	15	36	27.2	7.6	17.40
2021/06/07	5	13.2	37	13	25	30.2	11.4	20.80
2021/06/23	12	12.7	20	7	13.5	36.8	20.4	28.60
2021/07/09	13	12.5	66	24	45	28.5	17.8	23.15
2021/07/25	12	12.0	69	21	45	35.4	19.5	27.45
2021/08/10	9	9.00	23	10	16.5	36.8	21.2	29.00
2021/08/26	5	12.1	48	8	28	32.6	13.5	23.05
2021/09/11	8	11.0	43	6	24.5	32.8	16	24.40

شده مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع تعیین شد (رابطه ۱) (Allen., 1998).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma[900/(T+273)] U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

که در آن،  $ET_0$  تبخیر-تعرق مرجع ( $\text{mm d}^{-1}$ )،  $R_n$  تابش خالص ورودی به سطح گیاه ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )،  $G$  شار گرمای خاک ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )،  $T$  میانگین روزانه دمای هوا ( $^{\circ}\text{C}$ )،  $U_2$  سرعت روزانه باد در ارتفاع دو متر ( $\text{ms}^{-1}$ )،  $e_a$  فشار بخار واقعی ( $\text{kPa}$ )،  $e_d$  فشار بخار اشباع ( $\text{kPa}$ )،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) و  $\gamma$  ضریب ثابت رطوبتی ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) است.

**الگوریتم تعادل انرژی سطحی METRIC:** در این مطالعه از مدل METRIC برای تخمین تبخیر و تعرق در دشت سهرین قره‌چریان که متاثر از پخش سیلاب بر آبخوان قره‌چریان است، با استفاده از تصاویر رقومی مبتنی بر ماهواره لندست استفاده شد. فلوجارت شماتیک الگوریتم METRIC در شکل ۲، نشان داده شده است. با استفاده از این الگوریتم، مقادیر تبخیر و تعرق در طول زمان انتقال ماهواره برای هر پیکسل محاسبه شد. معادله تعادل انرژی مانند رابطه (۲) برای محاسبه سطح تبخیر و تعرق استفاده

**داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای:** برای بررسی کاربرد مدل METRIC، تصاویر Landsat 8 برای سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ دانلود و تصحیحات و پیش پردازش‌های لازم بر روی آن‌ها انجام شد. این تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 به‌وسیله تصویرگر زمین عملیاتی (OLI)<sup>۱</sup> و سنجنده حرارتی فروسرخ (TIRS)<sup>۲</sup> روی ماهواره‌ها به‌دست می‌آیند و به‌طور گسترده برای کاربردهای منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. سنسور OLI دارای نه نوار و TIRS دارای دو نوار حرارتی شماره ۱۰ و ۱۱ هستند. تصاویر لندست در فواصل ۱۶ روزه با وضوح مکانی ۳۰ متر بوده، از سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده (<http://glovis.usgs.gov>) به‌دست آمده است.

**محاسبه تبخیر-تعرق، روش فائو پنمن-مانتیت:** روش‌های مختلفی برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع پیشنهاد شده است که هرکدام از نظر داده‌های مورد نیاز تا حدودی با یکدیگر تفاوت دارند. فائو در سال ۱۹۸۸ (نشریه شماره ۵۶)، روش فائو-پنمن-مانتیت را به‌عنوان روش استاندارد برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع معرفی کرد. در پژوهش حاضر نیز بر مبنای اطلاعات اقلیمی تهیه

<sup>2</sup> Thermal Infrared Sensor<sup>1</sup> Operational Land Imager

استفاده از شاخص‌های نرمال شده تفاوت‌های گیاهی<sup>۱</sup>، شاخص گیاهی تنظیم‌شده خاک<sup>۲</sup> و شاخص سطح برگ<sup>۳</sup> محاسبه شد. سپس دمای نزدیک به سطح (Ts) و R<sub>l↑</sub> بر اساس ε<sub>0</sub> برآورد شد. پس از آن، شار حرارتی خاک (G) با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (Waters et al., 2002).  

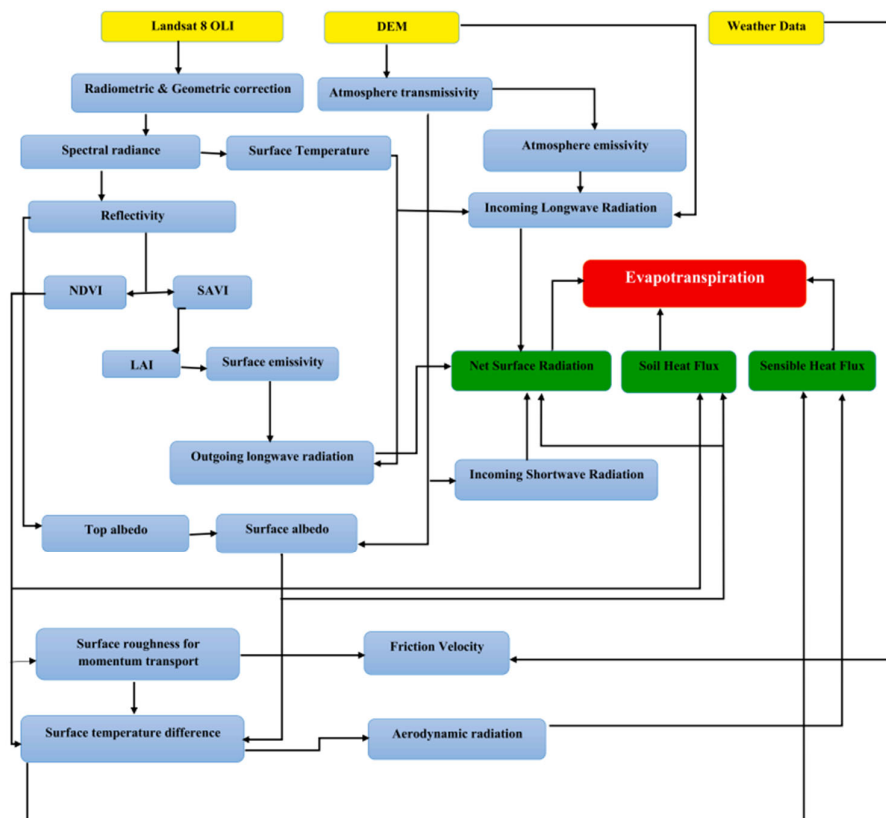
$$\frac{G}{R_n} = \frac{(T_s - 273.15)}{a(0.0038a + 0.0074a^2)(1 - 0.98NDVI^4)} \quad (4)$$
 که در آن، α آلبدوی سطح است، T<sub>S</sub> دمای سطح بر حسب کلونین است. اگر مقدار NDVI کمتر از صفر باشد، سطح آب در نظر گرفته می‌شود و نسبت G/R<sub>n</sub> معادل ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

شد. در ادامه R<sub>n</sub> برای هر پیکسل با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Allen., 1998).

$$\lambda ET = R_n - G \quad (2)$$

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{l\downarrow} - R_{l\uparrow} - (1 - \epsilon_0)R_{l\downarrow} \quad (3)$$

که در رابطه (۲)، λET شار گرمای نهان تبخیر (W.m<sup>2</sup>)، R<sub>n</sub> شار تابش خالص، G شار گرمای خاک و H شار گرمای محسوس و در رابطه (۳)، α آلبیدو، R<sub>s↓</sub> تابش ورودی موج کوتاه، R<sub>l↓</sub> تابش ورودی موج بلند، R<sub>l↑</sub> تابش خروجی موج بلند و ε گسیلمندی است (Sun et al., 2011). آلبیدوی سطحی (α)، با استفاده از تابش تصحیح شده از تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شد. گسیلمندی (ε<sub>0</sub>) با



شکل ۲- فلوجارت محاسبه گرمای نهان تبخیر با استفاده از مدل متریک (Mondal et al., 2022)

Fig. 2. Flowchart for calculating the latent heat of evaporation using the metric model (Mondal et al., 2022)

<sup>3</sup> Leaf Area Index (LAI)

<sup>1</sup> Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

<sup>2</sup> Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)



مقدار برآوردی مدل قرار گرفت. مقادیر ورودی آبیاری که در مزرعه انتخابی اندازه‌گیری شده، در اینجا مورد استفاده قرار گرفت. مقدار بارش موثر با استفاده از رابطه (۱۲) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (Qahari and Pakparvar, 2021).

$$P_{eff} = 125 \frac{(125-0.2P)}{125} \text{ for } P \leq 250 \quad (12)$$

که در آن،  $P_{eff}$  باران موثر و  $P$  مقدار باران ثبت شده در فصل کشت است. بر این اساس ابتدا مزرعه‌ای با کشت گندم و به مساحت پنج هکتار در بالادست عرصه پخش سیلاب بر آبخوان قره‌چریان انتخاب شد. پیش از شروع آبیاری و در حالت خاک خشک، در سه نقطه ابتدا، وسط و انتهای مزرعه در امتداد مسیر آبیاری با دو تکرار، به‌وسیله اگر از عمق صفر تا ۱۵۰ سانتی‌متر با فواصل ۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری خاک انجام و میزان رطوبت وزنی و جرم مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شد. در این پژوهش، چون عمق نفوذ به‌دلیل وجود سخت‌کفه کمتر از ۷۰ سانتی‌متر بود عملاً میزان آب برگشتی صفر بوده، میزان تبخیر و تعرق واقعی معادل مجموع آب حاصل از آبیاری و بارش موثر در نظر گرفته شد.

## نتایج و بحث

**شاخص‌های ورودی مدل بیلان انرژی:** همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، از ۱۵ تصویر در بازه زمانی مهر تا شهریور سال آبی ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ که میزان ابرناکی آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد بود برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده شد. بعد از تصحیح اتمسفری تصاویر، با استفاده از نرم افزار ENVI مقادیر NDVI، Albedo، درصد پوشش گیاهی، LAI، LSE، LST<sup>۱</sup> برای هر تصویر به‌دست آمده و نقشه آن‌ها استخراج شد. علاوه بر این، برای مقایسه بهتر نتایج، لایه‌های مربوط به شاخص پوشش گیاهی، شار گرمای خاک و دمای سطح زمین به تفکیک هر تصویر تهیه و مورد مقایسه قرار گرفت. این لایه‌ها در شکل ۳، نشان داده شده است.

شار حرارتی محسوس، حرارتی است که به‌وسیله انتقال مولکولی گرما به هوا منتقل می‌شود، در نتیجه تفاوت دمایی بین هوا و سطح، همان‌طور که در رابطه (۵) آمده است محاسبه می‌شود (Bastiaanssen et al., 2005).

$$H = \frac{\rho \cdot C_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad (5)$$

که در آن،  $\rho$  چگالی هوا ( $\text{kgm}^{-3}$ )،  $C_p$  گرمای ویژه هوا در فشار ثابت ( $1004 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )،  $dT$  اختلاف دمای بین دو ارتفاع ( $Z_2$  و  $Z_1$ )<sup>۱</sup> (درجه کلونین) و  $r_{ah}$  مقاومت آیرودینامیکی بین دو ارتفاع سطح نزدیک برای انتقال گرما ( $\text{sm}^{-1}$ ) است. پارامترهای موجود در رابطه فوق تابعی از گرادیان دما، زبری سطح و سرعت باد هستند. از آنجایی که در رابطه فوق دو پارامتر مجهول وجود دارد، یعنی  $r_{ah}$  و  $dT$ ، حل رابطه مشکل خواهد بود. بنابراین، الگوریتم METRIC از دو پیکسل گرم و سرد و سرعت باد در ارتفاع معینی برای غلبه بر این مشکل و در عین حال ساده کردن محاسبات استفاده می‌کند. ترکیبی از مقاومت آیرودینامیکی با بیشینه و کمینه نوسانات دما بر روی سطوح ویژه انتخاب شده زمین (پیکسل‌های سرد و پیکسل‌های گرم) امکان ارزیابی دامنه تفاوت دمای هوا در نزدیکی سطح را فراهم می‌کند. سپس، مقادیر قابل اعتماد  $H$  با فرض رابطه خطی بین دمای سطح و شیب‌های انتقال حرارت در دو پیکسل بالا محاسبه شد و پس از آن، مقادیر  $dT$  در این دو پیکسل برآورد شد.

از آنجایی که شار خالص تشعشع  $R_n$ ، شار گرمای محسوس  $H$ ، و شار دمای زمین  $G$  مقادیر لحظه‌ای در نقطه عبور ماهواره هستند، مقادیر شار گرمای نهان نیز لحظه‌ای هستند. نرخ واقعی تبخیر و تعرق در لحظه انتقال ماهواره ( $ET_{inst}$ ) بر حسب میلی‌متر در روز با استفاده از رابطه (۶) به‌دست آمد (Waters et al., 2002).

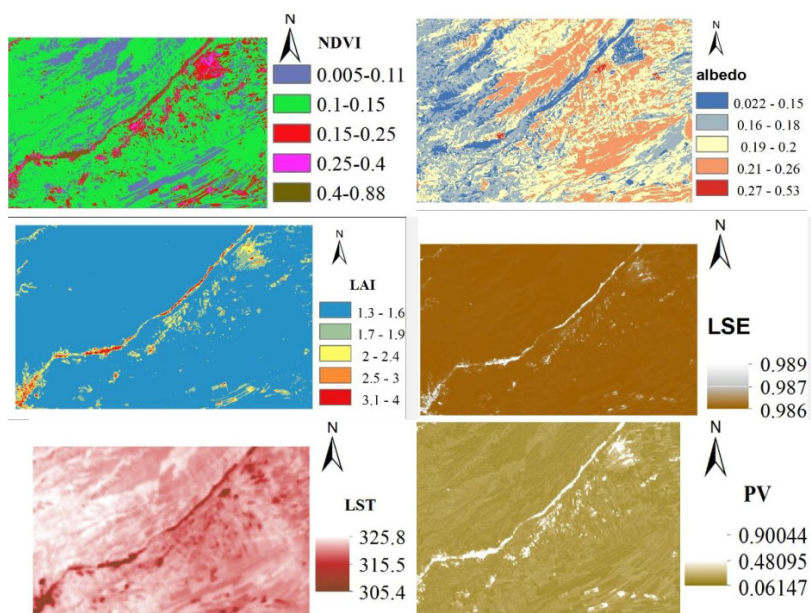
$$ET_{inst} = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (6)$$

خروجی از مزرعه است. مقدار  $ET_a$  برآمده از این رابطه، واقعیت زمینی در نظر گرفته شده، مبنایی برای مقایسه با

<sup>3</sup> Land Surface Temperature

<sup>1</sup>  $Z_1 = 0.1\text{m}$      $Z_2 = 10\text{m}$

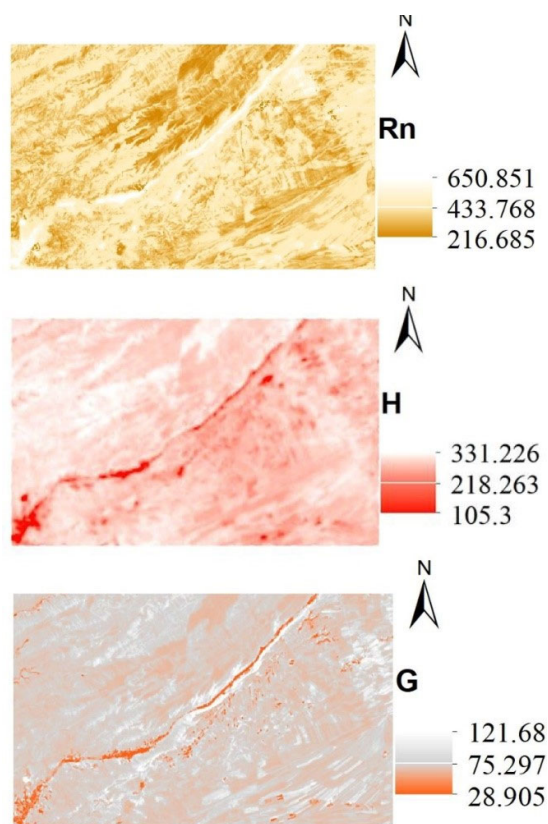
<sup>2</sup> Land Surface Emissivity



شکل ۳- تهیه شاخص‌های اولیه RS حاصل از پردازش تصاویر  
**Fig. 3.** Preparation of initial RS indices resulting from image processing

شده است، نشان داده شده است. به عبارتی، مقادیر خالص تشعشع برای کل تصاویر به ترتیب بین دامنه ۱۰۰ تا ۷۰۰ وات بر متر مربع به دست آمده است که با این محدوده مطابقت دارد (شکل ۴). علاوه بر پارامتر تشعشع خالص به تفکیک پارامترهای شار گرمای خاک (G) و شار گرمای محسوس (H) نیز برای هر تصویر برآورد شد که در شکل ۴، به عنوان نمونه برای یک تصویر نشان داده شده است.

علاوه بر استخراج شاخص‌های اولیه حاصل از پردازش تصاویر، سه پارامتر اصلی رابطه بیلان انرژی نیز تهیه شد. البته به منظور برآورد هر یک از این عوامل نیاز بود که پارامترهای زیادی محاسبه و برآورد شود که برآورد هر کدام از آن‌ها به صورت گام به گام در محیط نرم افزار ENVI انجام شد. به گفته (Allen et al., 2000)، مقادیر خالص تشعشع باید بین ۷۰۰-۱۰۰ وات بر متر مربع باشد. نتایج به دست آمده در شکل ۴ که به عنوان نمونه برای یک تصویر تهیه



شکل ۴- لایه‌های Rn، H و G به ترتیب در تاریخ ۲۰۲۱/۰۶/۲۳

Fig. 4. Layers G, Rn and H respectively on 06/23/2021

در ابتدای دوره رشد دامنه تبخیر و تعرق بین ۰/۰۸ تا ۴/۹۷ میلی‌متر در روز برآورد شده است. در صورتی که این مقدار در اواسط و اواخر دوره رشد به ترتیب در دامنه ۰/۰۸۶ تا ۵/۵۶ و ۰/۵۹ تا ۹/۵۷ میلی‌متر در روز برآورد شده است. به عبارتی، در اواسط دوره رشد چون درصد پوشش گیاهی سطح خاک کم بوده تبخیر و تعرق نیز کم است اما با نزدیک شدن به اواخر دوره رشد و افزایش پوشش گیاهی، میزان تبخیر و تعرق نیز افزایش می‌یابد. این نتایج با یافته‌های (Elkatoury et al., 2020) و (Shamloo et al., 2021) مطابقت دارد.

برای تایید بیشتر نتایج، مقایسه شاخص پوشش گیاهی (شکل ۳)، شار گرمای خاک، دمای سطح زمین و شار حرارتی محسوس برای سه دوره اوایل، اواسط و اواخر دوره رشد محاسبه و با هم مقایسه شد (شکل ۴). همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، در مناطقی که NDVI بالاتری دارند، مقادیر دمای سطحی کمتری به ثبت رسیده است.

تابش خالص خورشیدی، مستقیماً به امواج بلند و موج کوتاه ورودی بستگی دارد که هر دو مستقیماً بر دمای سطح تاثیر می‌گذارند. بنابراین، مناطق با دمای سطح بالاتر، تابش خالص خورشیدی بالاتری دارند. علاوه بر این شار خالص تشعشع رابطه مستقیمی با پارامترهای NDVI، سبزشدگی و رطوبت دارد و به‌طور معکوس با albedo، درخشندگی و دمای سطحی مرتبط است که با نتایج سایر مطالعات مطابقت دارد (Bashir، Shamloo et al., 2021)؛ (et al., 2008).

**تبخیر و تعرق:** بعد از تهیه لایه‌های ورودی مدل متریک و برآورد پارامترهای اصلی بیلان انرژی، نقشه تبخیر و تعرق روزانه به تفکیک برای هر یک از تصاویر به‌دست آمد (شکل ۵). نتایج این پژوهش نشان داد تغییرات تبخیر و تعرق روزانه در آغاز فصل رشد، زمانی که پوشش گیاهی و NDVI کم است، ET<sub>24</sub> نیز کم است. از طرفی با افزایش تراکم پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق روزانه نیز افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۵ به وضوح قابل ملاحظه است،

دادند، مطابقت دارد. آن‌ها دریافتند که تغییرات مکانی تبخیر و تعرق مطابق با دوره رشد گیاه متغیر است. **اعتبارسنجی:** تبخیر و تعرق واقعی روزانه، با استفاده از الگوریتم متریک تنها در روزهایی که تصاویر آن در دسترس بود به دست آمد. بنابراین، برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی سایر روزها، ابتدا تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_0$ ) با استفاده از روش پنمن-مانتیت محاسبه شد. سپس، برای روزهای متناظر تبخیر و تعرق برآوردی از مدل متریک و روش پنمن-مانتیت ضریب گیاهی ( $K_c$ ) برآورد شد. بدین صورت که اعداد بین دو عدد  $ET_a$  استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای محاسبه و  $ET_0$  تصاویر مد نظر نیز با استفاده از فرمول فائو پنمن-مانتیت اندازه‌گیری و میان‌یابی شد. سپس، از تقسیم  $ET_a$  و  $ET_0$  عدد واقعی ضریب گیاهی ( $K_c$ ) به دست آمد. در ادامه، برای سایر روزها با استفاده از درون‌یابی ضریب گیاهی و در آخر تبخیر و تعرق واقعی برای کل سال برآورد شد (جدول ۲).

به عبارتی، هرچه درصد پوشش گیاهی بیشتر باشد، دمای سطحی کمتر خواهد بود. علاوه بر این مناطق با مقادیر NDVI بالا (که نشان‌دهنده تراکم پوشش گیاهی بیشتر است) مقادیر شار حرارتی خاک ( $G$ ) کمتری را ثبت کردند. در نتیجه، در مناطق با NDVI کم، مقادیر شار حرارتی خاک بالاتر بود. علاوه بر این، دمای سطح ( $LST$ ) با تراکم پوشش گیاهی نسبت معکوس دارد. بنابراین، با افزایش شاخص NDVI، تبخیر و تعرق در آن ناحیه افزایش یافت که باعث کاهش دمای سطح شد. این موضوع در شکل‌های ۳ و ۴، نیز به وضوح قابل مشاهده است که مقدار  $H$  نیز با تراکم پوشش گیاهی نسبت معکوس دارد. علاوه بر این، نقشه‌های تبخیر و تعرق استخراج شده منطقه تایید می‌کنند که تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق به عناصر هواشناسی و ویژگی‌های گیاه مربوطه در طول دوره رشد بستگی دارد. این نتایج با یافته‌های (Shamloo et al., 2021)؛ (Rawat et al., 2019) و (Bashir et al., 2008) که برآورد میزان تبخیر و تعرق را با استفاده از مدل METRIC مورد بررسی و واسنجی قرار

جدول ۲- محاسبه ضریب  $K_c$  در روزه تصویربرداری ماهواره

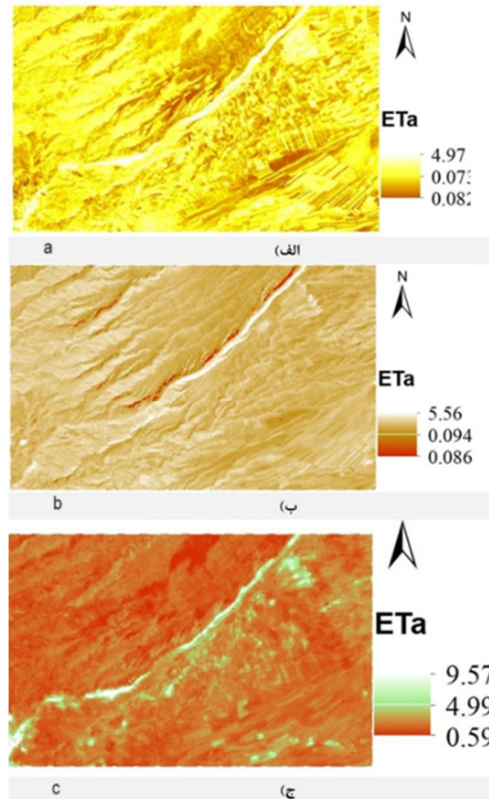
Table 2. Calculation of  $K_c$  coefficient on the day of satellite imaging

Id	Date	$K_c$	$ET_0$	ET (METRIC)
1	2020/09/24	0.61	5.56	3.37
2	2020/10/10	1.17	2.50	2.94
3	2020/12/13	1.20	0.67	0.80
4	2021/01/30	0.71	2.02	1.43
5	2021/02/15	0.64	3.59	2.30
6	2021/03/19	1.04	3.63	3.76
7	2021/04/04	1.12	3.04	3.40
8	2021/04/20	1.10	5.60	6.18
9	2021/06/07	1.08	6.62	7.16
10	2021/06/23	0.72	10.65	7.64
11	2021/07/09	0.56	7.89	4.41
12	2021/07/25	0.47	8.86	4.18
13	2021/08/10	0.62	8.38	5.16
14	2021/08/26	0.79	6.04	4.75
15	2021/09/11	0.63	6.84	4.30

شدند. این مقادیر به ترتیب برای مدل متریک و مدل بیلان آب خاک معادل ۲۵۶۴۸ و ۲۴۱۱۵ متر مکعب برآورد و ضریب خطا معادل ۵/۹۷ درصد به دست آمد. این درصد خطا نشان می‌دهد که الگوریتم متریک برای برآورد  $ET$  در منطقه مورد مطالعه از دقت لازم برخوردار است. لازم به ذکر است در منطقه مورد مطالعه با توجه به عدم نفوذ

برای اعتبارسنجی، نتایج لازم بود که این نتایج با داده‌های واقعی زمینی مقایسه شود. بر همین اساس، برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی زمینی از معادله بیلان آب خاک استفاده شد (رابطه ۱۰). در ادامه مقدار تبخیر و تعرق حاصل از مدل متریک و مقدار تبخیر و تعرق حاصل از مدل بیلان آب خاک برای سطح مزرعه برآورد و با هم مقایسه

عمقی آب حاصل از آبیاری به دلیل وجود سخت کفه آهکی و نبود آب برگشتی، میزان تبخیر و تعرق واقعی معادل مجموع آب حاصل از آبیاری و بارش موثر در نظر گرفته شد.



شکل ۵- نقشه تبخیر و تعرق حاصل از مدل متریک در اوایل (الف)، اواسط (ب) و اواخر (ج) دوره رشد

Fig. 5. Evaporation and transpiration map resulting from metric model in early (a), middle (b) and late (c) growth period

## نتیجه گیری

پوشش گیاهی بیشتر باشد، دمای سطحی کمتر خواهد بود. علاوه بر این، مناطق با مقادیر NDVI بالا، مقادیر شار حرارتی خاک (G) کمتری را ثبت کردند. در نتیجه، در مناطق با NDVI کم، مقادیر شار حرارتی خاک بالاتر بود. علاوه بر این، دمای سطح (LST) با تراکم پوشش گیاهی نسبت معکوس دارد. بنابراین همان طور که انتظار می رفت با افزایش شاخص NDVI، تبخیر و تعرق در آن ناحیه افزایش یافت که باعث کاهش دمای سطح شد. علاوه بر این، نقشه های تبخیر و تعرق تایید می کنند که تغییرات مکانی و زمانی به عناصر هواشناسی و ویژگی های گیاه مربوطه در طول دوره رشد بستگی دارد. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که تغییرات مکانی تبخیر و تعرق مطابق با دوره رشد گیاه نیز متغیر است. بر اساس نتایج پژوهش، در ابتدای

با توجه به افزایش جمعیت و کمبود منابع آبی به ویژه در بخش کشاورزی، پژوهشگران به دنبال راه هایی برای مدیریت بهتر منابع آبی هستند. مقدار تبخیر و تعرق، یکی از مهم ترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی جهانی است و تاثیر قابل توجهی بر تعادل انرژی و اقلیم دارد. این مطالعه با هدف ارزیابی و واسنجی تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از مدل METRIC و سنسجش از دور مبتنی بر تصاویر ماهواره ای لندست ۸ برای محصول گندم در محدوده پخش سیلاب بر آبخوان دشت سهرین-قره چریان واقع در شمال غربی استان زنجان انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد، در مناطقی که NDVI بالاتری دارند، مقادیر دمای سطحی کمتری به ثبت رسیده است. به عبارتی، هرچه درصد

پردازش داده‌ها، واسنجی و اصلاح شود. از دیگر محدودیت‌های این مدل نیاز به تصاویر ماهواره بدون ابر در منطقه است، زیرا حتی یک لایه ابر نازک می‌تواند انرژی تابش گرمای محاسبه شده را کاهش دهد و در نتیجه خطای قابل توجهی در برآورد نتایج ایجاد کند. از طرفی، کارایی روش‌های ترکیبی با سنجش از دور می‌تواند در مطالعات آبی مورد استفاده قرار گیرد. این امکان، ارزیابی دقیق‌تری از میزان تبخیر و تعرق و تهیه نقشه‌های ضریب گیاهی از مناطق مختلف را فراهم می‌کند. این برآورد دقیق از نیاز آبی گیاه، مدیریت آب در بخش کشاورزی و سلامت گیاه را بهتر و کارآمدتر می‌کند.

### تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر در قالب پروژه تحقیقاتی با کد مصوب ۹۷۰۵۹۴-۹۷۰۲۸-۲۹-۵۰-پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسید. نویسندگان بدین‌وسیله از دست‌اندرکاران به ویژه از پشتیبانی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و اداره کل هواشناسی استان زنجان صمیمانه قدردانی می‌کنند.

### تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مساله مورد تایید همه نویسندگان است.

دوره رشد دامنه تبخیر و تعرق بین ۰/۰۸ تا ۴/۹۷ میلی‌متر در روز برآورد شده است. در صورتی که این مقدار در اواسط و اواخر دوره رشد، به ترتیب در دامنه ۰/۰۸۶ تا ۵/۵۶ و ۰/۵۹ تا ۹/۵۷ میلی‌متر در روز برآورد شده است. به عبارتی، در اواسط دوره رشد چون درصد پوشش گیاهی سطح خاک کم بوده مقدار تبخیر و تعرق نیز پایین است اما با نزدیک شدن به اواخر دوره رشد و افزایش پوشش گیاهی، میزان تبخیر و تعرق نیز افزایش می‌یابد.

نتایج اعتبارسنجی مدل نشان داد، مدل متریک و مدل بیلان آب خاک معادل ۲۵۶۴۸ و ۲۴۱۱۵ متر مکعب مصرف آب را برآورد کردند که داری ضریب خطای معادل ۵/۹۷ هست. این درصد خطا نشان می‌دهد که الگوریتم متریک برای برآورد ETa در منطقه مورد مطالعه از دقت لازم برخوردار است. لازم به ذکر است در منطقه مورد مطالعه با توجه به عدم نفوذ عمقی آب حاصل از آبیاری به دلیل وجود سخت کفه آهکی و نبود آب برگشتی، میزان تبخیر و تعرق واقعی معادل مجموع آب حاصل از آبیاری و بارش موثر در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است در منطقه مورد مطالعه با توجه به عدم نفوذ عمقی آب حاصل از آبیاری به دلیل وجود سخت کفه آهکی و نبود آب برگشتی، میزان تبخیر و تعرق واقعی معادل مجموع آب حاصل از آبیاری و بارش موثر در نظر گرفته شد. از محدودیت‌های مدل METRIC این است که برخی روابط تجربی در طول تخمین تبخیر و تعرق ممکن است باعث ایجاد خطا شود. از این‌رو لازم است ضرایب برای هر منطقه در طول پیش

### منابع مورد استفاده

- Allen, R.G. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56.
- Allen, R.G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R. 2005. A landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. *Irrig. Drainage Syst.* 19(3-4), 251-268.
- Allen, R.G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R. 2007. Satellite-based energy balance for Mapping Evapotranspiration With Internalized Calibration (METRIC) model. *J. Irrig. Drain. Eng.* 133 (4), 380-394.
- Bastiaanssen, W.G.M. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *J. Hydrol.* 229(1-2), 87-100.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M. 1998. A remote sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): 1. Formulation. *J. Hydrol.* 212-213, 198-212.

- Betts, A.K., Ball, J.H. 1997. Albedo over the boreal forest. *J. Geophys. Res., Atmosph.* 102(D24), 28901-28909.
- Chen, Y., He, L., Li, J., Zhang, S. 2018. multi-criteria design of shale-gas-water supply chains and production systems towards optimal life cycle economics and greenhouse gas emissions under uncertainty. *Compute. Chem. Eng.* 109, 216-235.
- Cheng, X., He, L., Lu, H., Chen, Y., Ren, L. 2016. Optimal water resources management and system benefit for the Marcellus shale-gas reservoir in Pennsylvania and West Virginia. *J. Hydrol.* 540, 412-422.
- Derakhshannia, M., Dalvand, S., Asakereh, B., Ostad-Ali-Askari, K. 2020. Corrosion and deposition in Karoon River, Iran, based on hydrometric stations. *Internat. J. Hydrol. Sci. Technol. Inderscience Publishers.* 10(4), 334-345.
- Dirmeyer, P.A., Shukla, J. 1994. Albedo as a modulator of climate response to tropical deforestation. *J. Geophys. Res.* 99(D10), 20863-20877.
- Elkatoury, A., Alazba, A., Abdelbary, A. 2020. Evaluating the performance of two SEB models for estimating ET based on satellite images in arid regions. *Arab. J. Geosci.* 13(2), 1-19.
- Fattahi Nafchi, R., Raeisi Vanani, H., Noori Pashae, K. 2021. Investigation on the effect of inclined crest step pool on scouring protection in erodible river beds. *Nat. Hazards* 110, 1495-1505.
- He, L., Chen, Y., Li, J. 2018b. A three-level framework for balancing the tradeoffs among the energy, water, and air-emission implications within the life-cycle shale gas supply chains. *Resour. Conserv. Recycle.* 133, 206-228.
- He, L., Chen, Y., Zhao, H., Tian, P., Xue, Y., Chen, L. 2018a. Game-based analysis of energy-water nexus for identifying environmental impacts during Shale gas operations under stochastic input. *Sci. Total Environ.* 627, 1585-1601.
- Javadinejad, S., Eslamian, S., Askari, K.O.A. 2021. The analysis of the most important climatic parameters affecting performance of crop variability in a changing climate. *IJHST* 1 (1), 1.
- Malik, A., Kumar, A., Kim, S.K., Karimi, M.H., Sharafati, V., Ghorbani, A., Al-Ansari, M.A., Salih, N., Yaseen, S.Q., Chau, Z.M. 2020. Modeling monthly pan evaporation process over the Indian central Himalayas: Application of multiple learning artificial intelligence model. *Eng. Appl. Compute. Fluid Mech.* 14(1), 323-338.
- Mondal, I., Thakur, S., Bandyopadhyay, J. 2019. Delineating lateral channel migration and risk zones of Ichamati River, West Bengal, India. *J. Cleaner Product. Elsevier* 244, 118740.
- Mondal, I., Thakur, S., De. A., De, T.K. 2022. Application of the METRIC model for mapping evapotranspiration over the Sundarban Biosphere Reserve, India. *Ecol. Indic.* 136, 108553.
- Mondal, I., S. Thakur, M. Juliev, J. Bandyopadhyay and T.K. De. 2020. Spatio-temporal modelling of shoreline migration in Sagar Island, West Bengal, India, *J. Coastal Conserv. Springer.*
- Morse, A., Tasumi, M., Allen, R.G., Kramber, W.J. 2000. Application of the SEBAL methodology for estimating consumptive use of water and streamflow depletion in the Bear River Basin of Idaho through remote sensing. Idaho Department of Water Resources, Boise.
- Ostad-Ali-Askari, K., Su, R., Liu, L. 2018. Water resources and climate change. *IWA Publishing* 9(2), 239.
- Ostad-Ali-Askari K., Shayannejad, M., Eslamian, S. 2017. Deficit irrigation: optimization models. management of drought and water scarcity. *Handbook of Drought and Water Scarcity*, 3, 373-389.
- Ostad-Ali-Askari, K., Shayannejad, M. 2020. Impermanent changes investigation of shape factors of the volumetric balance model for water development in surface irrigation. In: *Modeling Earth Systems and Environment. Springer Nature Switzerland AG*, 1573-1580.
- Ostad-Ali-Askari, K., Shayannejad, M. 2021. Quantity and quality modeling of groundwater to manage water resources in Isfahan-Borkhar Aquifer. *Environ. Dev. Sustain. Springer Nature Switzerland AG.* 23(11), 15943-15959.
- Parastatidis, D., Mitraka, Z., Chrysoulakis, N., Abrams, M. 2017. Online global land surface temperature estimation from landsat. *Remote Sens.* 9(12), 1208.
- Pielke, R.A., Avissar, R., Raupach, M., Dolman, A.J., Zeng, X., Denning, A.S. 1998. Interactions between the atmosphere and terrestrial ecosystems: influence on weather and climate. *Glob. Change Biol.* 4 (5), 461-475.
- Qahari, Gh., Pakparvar, M. 2021. Determining the water consumption of different types of vegetation with energy balance models and remote sensing in Dasht Garbaigan. Final Report of The Research Project, 92 pages (in Persian).
- Ramirez-Cuesta, J.M., Allen, R.G., Intrigliolo, D.S., Kilic, A., Robison, C.W., Trezza, R., Santos, C.L. 2020. METRIC-GIS: an advanced energy balance model for computing crop evapotranspiration in a GIS environment. *Environ. Modell. Software* 104770(121).

- Rawat, K.S., Singh, S.K., Bala, A., Szabó, S. 2019. Estimation of crop evapotranspiration through spatially distributed crop coefficient in a semi-arid environment. *Agric. Water Manag.* 213, 922-933.
- SEBAL. 2002. Surface energy balance algorithms for land, idaho implementation, advanced training and user's manual.
- Shamloo, N., Taghi Sattari, M., Apaydin, H., Valizadeh Kamran, K., Prasad, R. 2021. Evapotranspiration estimation using SEBAL algorithm integrated with remote sensing and experimental methods. *Int. J. Digit. Earth* 14(11), 1638-1658 (in Persian).
- Sun, Z., Wei, B., Su, W., Shen, W., Wang, C., You, D., Liu, Z. 2011. Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. *Math. Comput. Model.* 54(3-4), 1086-1092.
- Talebmorad, H., Ahmadnejad, A., Eslamian, S., Ostad-Ali-Askari, K., Singh, V.P. 2020. Evaluation of uncertainty in evapotranspiration values by FAO56-Penman-Monteith&Hargreaves-Samani methods. *Int. J. Hydrol. Sci. Technol.* 10(2), 135-147.
- Talebmorad, H., Koupai, J.A., Eslamian, S., Mousavi, S.F., Akhavan, S., Askari, K.O.A., Singh, V.P. 2021. Evaluation of the impact of climate change on reference crop evapotranspiration in Hamedan-Bahar Plain. *IJHST* 11(3), 333.
- Thakur, S., Maity, D., Mondal, I., Basumatary, G., Ghosh, P.B., Das, P., De, T.K. 2021. Assessment of changes in land use, land cover, and land surface temperature in the mangrove forest of Sundarbans, northeast coast of India. *Environ. Dev. Sustain.* 23(2), 1917-1943.
- Vanani, H.R., Shayannejad, M., Soltani Tudeshki, A.R., Ostad-Ali-Askari, K., Eslamian, S., Haeri-Hamedani, M., Jabbari, H. 2017. Development of a new method for determination of infiltration coefficients in furrow irrigation with natural non-uniformity of slope. *Sustain. Water Resour. Manag.* 3(2), 163-169.
- Waters, R., Allen, R.G., Bastiaanssen, W., Tasumi, M., Trezza, R. 2002. "Sebal." Surface Energy Balance Algorithms for Land. Idaho Implementation. Idaho: Advanced Training and Users Manual.