



Case Study

## Calibration of SEBAL Surface Energy Balance Algorithm in Determining Evapotranspiration of Plains Affected by Flood Spreading (Qaracherian-Zanjan Province)

Ghobad Rostamizad<sup>1\*</sup>, Parviz Abdinejhad<sup>1</sup>, Mojtaba Pakparvar<sup>2</sup> and MirMasoud Kheairkhah Zarrkesh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran

<sup>2</sup>Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Fars, Iran

<sup>3</sup>Assoc. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tehran, Iran

### Article information

**Received:** November 29, 2022

**Revised:** January 01, 2023

**Accepted:** January 02, 2023

### Keywords:

Albedo

Evapotranspiration

Satellite Images

Sohrin Plain

\*Corresponding author:

[gh.rostamizad@areeo.ac.ir](mailto:gh.rostamizad@areeo.ac.ir)



### Abstract

Evapotranspiration is one of the most important elements of the hydrological cycle. Estimation of evapotranspiration is imperative for effective forest, irrigation, rangeland and water resources management as well as to increase yields and for better crop management. The aim of this study is to calibrate the SEBAL algorithm in estimating evapotranspiration in the Sohrin-Qaracheryan plain, which is affected by flood spreading. In this study, Landsat 8 satellite images were used in 2020-2021 to obtain the coefficients of the relevant bands. Then, the net radiation flux on the earth's surface and the earth's heat flux is obtained using incoming-outgoing radiation fluxes from albedo, surface emissivity, land surface temperature, and plant indicators. Next, the sensible heat flux is calculated by determining the hot and cold pixels. Finally, evapotranspiration maps are plotted. Based on the results of this research evapotranspiration obtained from soil water balance model and SEBAL algorithm were estimated as 24115 and 19642 m<sup>3</sup>, respectively. Also, the calibration of the results obtained from the SEBAL algorithm with reference evapotranspiration was done using R<sup>2</sup> and RMSE statistical indices, and were calculated the values of these two indices as 0.64 and 2.15, respectively.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



### 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 is a combination of two processes responsible for

water losses that include evaporation directly from the soil and transpiration from the plants. It is difficult to consider these two processes separately since they occur almost simultaneously at varied rates with high spatial variability. As a result, 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. Better and accurate evapotranspiration estimates would allow for effective irrigation planning and optimal water usage for other agricultural purposes. Numerous models have been developed to estimate evapotranspiration using remote sensing methods. Out of all the proposed models for estimating evapotranspiration, the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) algorithm has proven to be the most widely used amongst researchers in over 30 countries. This

model was developed by Bastiaanssen and then improved by Allen. The SEBAL model has proven to estimate evapotranspiration with better accuracy. Its registered accuracies of 85% at a farm-scale while more than 95% accuracy has been recorded on a regional scale. 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. This method has been used by many researchers around the world to estimate evaporation and transpiration. On the other hand, estimating the actual evapotranspiration is of great importance in the plains affected by the flood, especially the flood on the Sohrin-Qaracherian plain aquifer. Therefore, this research was conducted with the aim of estimating evapotranspiration using the Sebal algorithm in the Sohrin-Qaracherian Plain, for the optimal management of water resources in the region and regions with similar conditions.

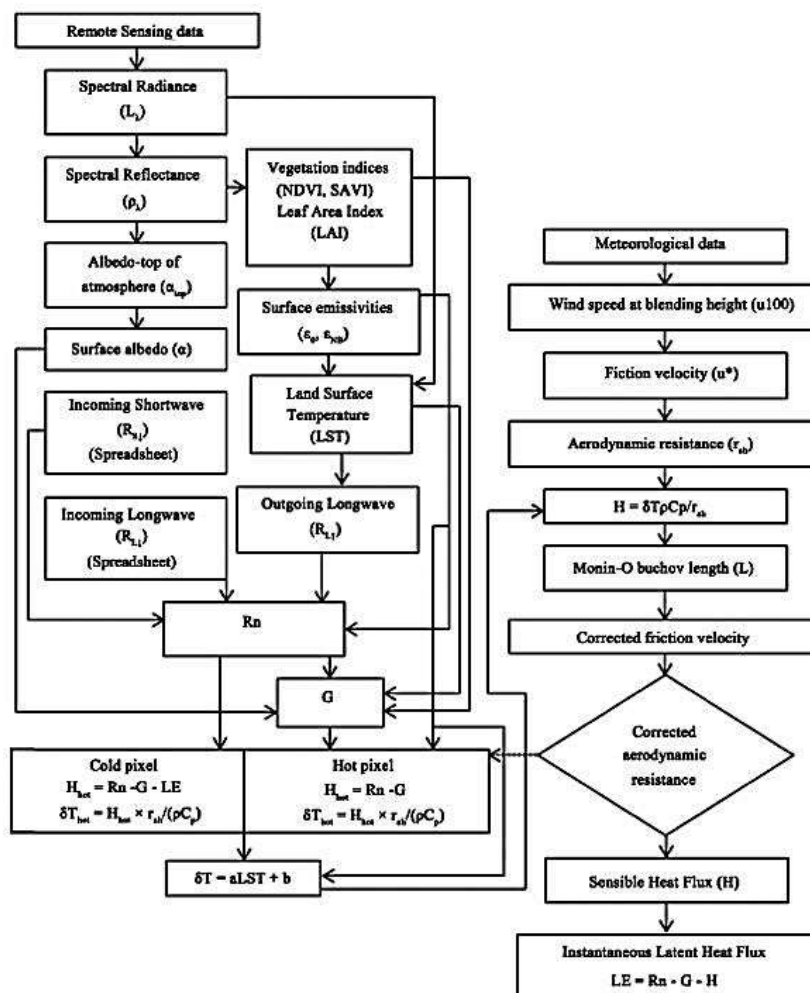


Fig. 1 Flowchart illustrating the SEBAL algorithm

**Material and Methods**

This research was carried out at Qaracherian research station, located 30 km northwest of

Zanjan city. About 215 ha of the station has been used for flood spreading and feeding the Sohrin-Qaracherian plain aquifer. 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, average wind speed, sunshine hours and pressure. The SEBAL algorithm was used to estimate the evapotranspiration in the Sohrin Qaracherian plain, which is affected by the flood spread on the Qaracherian aquifer. Using this algorithm, were calculated the evapotranspiration values during the satellite transmission time for each pixel. To check the application of SEBAL algorithm, were downloaded Landsat 8 images for 2020-2021 year and were done necessary corrections and preprocessing on them. These Landsat 8 satellite images are acquired by the Operational Terrain Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) on the satellites and are widely used for water resources applications. Landsat images are 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 processing the images, the net radiation flux on the earth's surface and the earth's heat flux is obtained using

incoming-outgoing radiation fluxes from albedo, surface emissivity, land surface temperature, and plant indicators. Next, the sensible heat flux is calculated by determining the hot and cold pixels. Finally, evapotranspiration maps are plotted. The flowchart of the SEBAL algorithm is illustrated in Fig. 1.

## Results

After radiometric and atmospheric correction of the images by using ENVI software, were obtained index values including Albedo, NDVI, vegetation percentage, LAI, plant height, LSE, and LST for each image and then were extracted their maps. In addition, for a better comparison of the results, were prepared and compared of the layers related to vegetation index, soil heat flux and land surface temperature in the different stages of the growth period. After extracting these indices, evapotranspiration map was extracted using Envi software. Fig. 2 shows the daily evapotranspiration changes, which clearly shows that at the initial of the growing season, when are low vegetation cover and NDVI, is also low of  $ET_{24}$ .

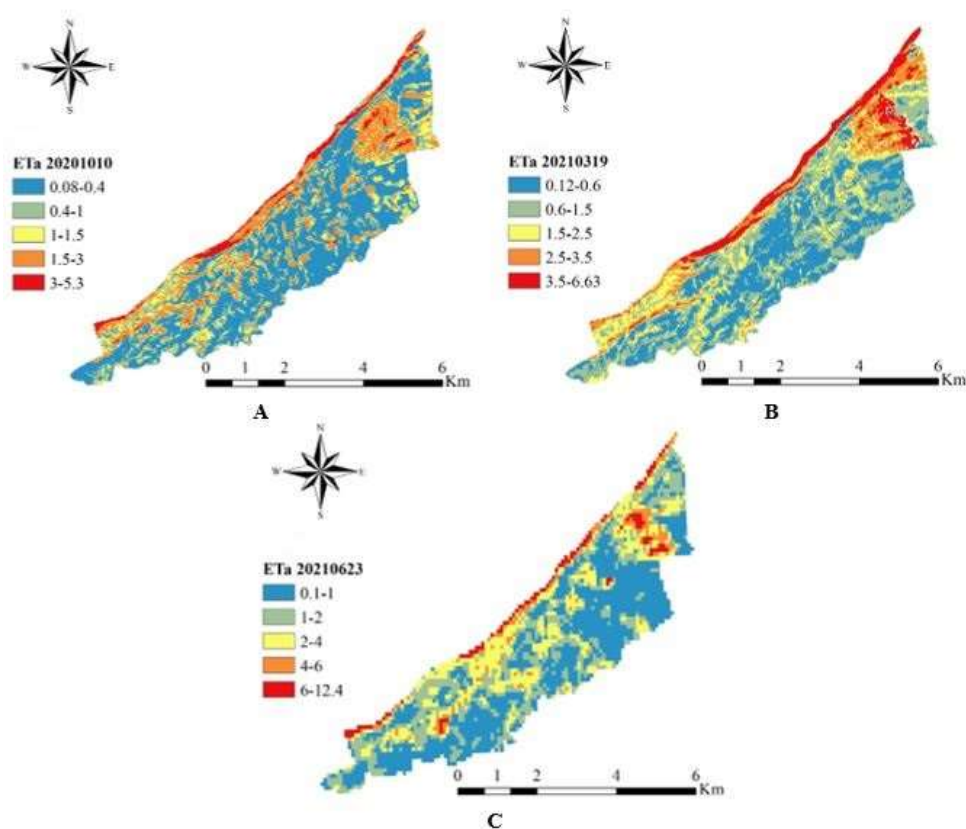


Fig. 2 Evapotranspiration map resulting from SEBAL algorithm in the different stages of the growth period: Initial (A), middle (B) and late (C)

On the other hand, with the increase in vegetation density, increases daily evapotranspiration. As it can be clearly seen in Fig. 2, at the initial of the growth period (fig2-A), the range of evapotranspiration is estimated between 0.08 and 5.3 mm/d, while this value in the middle and late of the growing season (fig5-B and C) is estimated in the range of 0.12 to 6.63 and 0.1 to 12.4 mm/d respectively. In other words, in the middle of the growth period, because is low the percentage of vegetation on the soil surface, is low evapotranspiration. However, as the late of the growth period approaches and vegetation increases, increases the amount of evapotranspiration. The results validity of the SEBAL algorithm was investigated in comparison with the actual evapotranspiration values of the soil water balance. Based on the results of this research, the evapotranspiration obtained from soil water balance model and SEBAL algorithm was estimated at 24115 and 19642 m<sup>3</sup>/year, respectively. Also, recalibration of the results obtained from the SEBAL algorithm with reference evapotranspiration (Fao Penman-Mantith) was done using R<sup>2</sup> and RMSE statistical indices, that the values of these indices were calculated as 0.64 and 2.15, respectively. Therefore, these results show that SEBAL algorithm is accurate enough to estimate evapotranspiration in the study area.

### Conclusions

Based on the research results, in the middle of the growth period, is less the amount of evaporation and transpiration, because is also low the percentage of vegetation on the soil

surface at this time. This is while approaching the late of the growth period and increasing vegetation, increases the rate of evapotranspiration. To validate the results of the SEBAL algorithm, these results were compared with the results of the soil water balance model that was obtained the error coefficient equal to 22%. This error percentage shows that SEBAL algorithm is accurate enough to estimate evapotranspiration in the study area. In addition, the validation results of the model showed that the SEBAL algorithm with acceptable accuracy can be correctly used to estimate the actual evapotranspiration in the study area and other areas with similar conditions.

### Acknowledgment

The present study was carried out in the form of a research project with the approved code of 0-29-29-027-970593 of the Soil Conservation and Watershed Research Institute. The authors hereby sincerely appreciate the support of those involved, especially the research and education center for agriculture and natural resources of Zanjan province, the research institute of soil and watershed management and the general meteorological office of Zanjan province.

### Data Availability

Data can be sent by the responsible author via email.

### Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

مطالعه موردی

## واسنجی مدل بیلان انرژی سطحی سبال در تعیین تبخیر-تعرق دشت‌های متأثر از پخش سیلاب (قره‌چریان-استان زنجان)

قباد رستمی‌زاد<sup>۱\*</sup>، پرویز عبدی‌نژاد<sup>۱</sup>، مجتبی پاک پرور<sup>۲</sup> و میرمسعود خیرخواه زرکش<sup>۳</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>دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

## اطلاعات مقاله

## چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۹/۰۸]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۱۰/۱۱]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۱۰/۱۲]

## واژه‌های کلیدی:

آلبیدو

تبخیر و تعرق

تصاویر ماهواره‌ای

دشت سهرین

\*نویسنده مسئول:

[gh.rostamizad@areeo.ac.ir](mailto:gh.rostamizad@areeo.ac.ir)

تبخیر و تعرق یکی از مهمترین عناصر چرخه هیدرولوژیکی است. برآورد تبخیر و تعرق برای مدیریت مؤثر جنگل، آبیاری، مرتع و منابع آب و همچنین افزایش عملکرد و مدیریت بهتر محصول ضروری است. هدف از این پژوهش واسنجی الگوریتم SEBAL در تخمین تبخیر و تعرق در دشت سهرین-قره‌چریان که متأثر از پخش سیلاب است، می‌باشد. در این مطالعه تصاویر ماهواره ای لندست ۸ در دوره یکساله ۱۳۹۹-۱۴۰۰ برای به‌دست آوردن ضرایب باندهای مربوطه استفاده شد. سپس شار خالص تشعشع سطح زمین و شار حرارتی زمین با استفاده از شارهای تشعشعی ورودی-خروجی از آلبیدو، ضرایب انتشار سطحی، دمای سطح زمین و شاخص‌های گیاهی برآورد شد. در مرحله بعد شار حرارتی محسوس با تعیین پیکسل‌های سرد و گرم محاسبه و در نهایت نقشه‌های تبخیر و تعرق استخراج شد. بر اساس نتایج این پژوهش تبخیر و تعرق حاصل از مدل بیلان آب خاک و مدل سبال به ترتیب معادل ۲۴۱۱۵ و ۱۹۶۴۲ m<sup>3</sup> در سال برآورد شد. همچنین واسنجی نتایج حاصل از مدل سبال با تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از شاخص‌های آماری R<sup>2</sup> و RMSE انجام شد که مقادیر این شاخص‌ها به ترتیب معادل ۰/۶۴ و ۲/۱۵ محاسبه شد.

## ۱- مقدمه

اصلی تلفات آب شامل تبخیر مستقیم از خاک و تعرق از گیاهان می‌باشد. در نظر گرفتن این دو فرآیند به طور جداگانه دشوار است زیرا آنها تقریباً به طور همزمان با

تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین عوامل در چرخه هیدرولوژیکی و یکی از عوامل تعیین کننده اصلی معادلات انرژی سطح زمین است. تبخیر و تعرق ترکیبی از دو فرآیند



ماهواره‌ای، امکان روش‌های جایگزین و قابل اعتماد را برای تخمین تبخیر و تعرق در مقیاس منطقه‌ای فراهم کرده است (Mao and Wang 2017).

مدل‌های متعددی برای تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از روش‌های سنجش از دور توسعه یافته است. از بین تمام مدل‌های پیشنهادی برای تخمین تبخیر و تعرق (Allen et al. 2007)، الگوریتم تعادل انرژی سطحی برای زمین (SEBAL) بیشترین استفاده را در بین محققان در بیش از ۳۰ کشور جهان داشته است. این مدل توسط Bastiaanssen et al. (1998) توسعه یافته و توسط آلن بهبود یافته است (Shamloo et al. 2021). در مطالعات پیشین ثابت شده است مدل SEBAL تبخیر و تعرق را با دقت بهتری تخمین می‌زند و دقت ثبت شده آن ۸۵٪ در مقیاس مزرعه و بیش از ۹۵٪ دقت در مقیاس منطقه‌ای ثبت شده است (Seneviratne et al. 2006). تخمین تبخیر و تعرق SEBAL با داده‌های لایسیمتر در مزارع گندم، سورگوم و پنبه در منطقه تالاب گزیرا، سودان مقایسه شده است که در آن دقت بالا و عملکرد خوب ذکر شده است (Bashir et al. 2008). مقایسه دیگری با اندازه‌گیری‌های لایسیمتر و روش فائو پنمن مانیتیت توسط Ramos et al. (2009) در منطقه فلومن در دشت ابرو، اسپانیا انجام شد. نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق حاصل از مدل SEBAL بر روی چمن تنها ۰/۳ mm و ۰/۳۶ mm در روز در مقایسه با اندازه‌گیری‌های لایسیمتر و روش فائو پنمن مانیتیت به ترتیب اختلاف داشته است. مطالعه‌ای توسط Rawat et al. (2017) جهت تخمین تبخیر و تعرق واقعی گندم در منطقه هاریانا، هند با استفاده از داده‌های SEBAL، لایسیمتر و فائو پنمن مانیتیت انجام شد. نتایج همبستگی خوبی بین SEBAL با داده‌های لایسیمتر (R=0.85) و خطای کم با روش فائو پنمن مانیتیت (RMSE = 0.56) نشان داد. تبخیر و تعرق ذرت با استفاده از الگوریتم سبال در استان خوزستان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد RMSE و MAE تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از الگوریتم سبال با روش فائو پنمن مانیتیت به ترتیب معادل ۰/۴۵ mm و ۰/۱۸ mm در روز است (Valizadeh Kamran and langbaf 2018). در مطالعه‌ای دیگر تبخیر و تعرق جنگل-های هیرکانی با استفاده از مدل سبال مورد ارزیابی قرار

سرعت‌های مختلف و با تنوع مکانی بالا رخ می‌دهند (Allen et al. 1998b). تبخیر و تعرق تعادل آب و انرژی خاک را که عمدتاً در مدل‌های گردش عمومی و مدل‌سازی آب و هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد، هدایت می‌کند. در نتیجه، پیش‌بینی جریان آب رودخانه، پیش‌بینی عملکرد محصول، سیستم‌های مدیریت آبیاری، کیفیت آب رودخانه یا دریاچه همگی به سطوح تبخیر و تعرق بستگی دارند (Yamac 2021). به همین دلیل، برآورد دقیق بیلان آب ضروری است. برآوردهای بهتر و دقیق تبخیر-تعرق امکان برنامه‌ریزی موثر آبیاری و استفاده بهینه از آب را برای سایر اهداف کشاورزی فراهم می‌کند (Sattari et al. 2021).

سرعت تبخیر و تعرق به عوامل زیادی مانند دما، تابش خورشید، رطوبت، باد و پوشش گیاهی بستگی دارد. اساساً، تبخیر و تعرق مرجع (ET<sub>0</sub>)<sup>۱</sup> با استفاده از تکنیک‌هایی مانند روش‌های فائو پنمن مانیتیت و هارگریوز و یا مستقیماً با استفاده از لایسیمتر اندازه‌گیری می‌شود (Valayamkunnath et al. 2018). تاکنون روش‌های مختلفی از جمله اندازه‌گیری‌های مستقیم یا میدانی و معادلات تجربی برای تخمین تبخیر و تعرق توسعه یافته‌اند. با این حال، ET<sub>0</sub> شامل یک ساختار پیچیده و غیر خطی است که به پارامترهای متعددی برای تخمین نیاز دارد. این ماهیت غیرخطی و چند پارامتری، روش‌های تخمین را کسل‌کننده و زمان‌بر می‌کند (Sattari et al. 2021). نقطه ضعف روش‌های مرسوم این است که تنها می‌توانند ارزیابی دقیق تبخیر و تعرق را از یک منطقه همگن ارائه دهند به شرطی که یک ایستگاه هواشناسی در مجاورت آن باشد. اشکال دیگر این است که ET<sub>0</sub> را نمی‌توان به سایت‌های مختلف تعمیم داد. در نتیجه شبکه‌های رصد سطحی توسعه یافته‌اند اما انجام اندازه‌گیری‌های هواشناسی در همه مکان‌هایی که مناطق وسیعی را پوشش می‌دهند ممکن نیست و مشاهدات هواشناسی تغییرات مکانی تبخیر و تعرق واقعی یک منطقه را ارائه نمی‌دهد (Liu et al. 2011; Antonopoulos and Antonopoulos 2017). از سوی دیگر فن‌های سنجش از دور امکان پر کردن شکاف در ارائه داده‌های مشاهده شده مکانی مورد نیاز را فراهم می‌کنند (Rawat et al. 2019). پیشرفت در تکنیک‌های سنجش از دور در سال‌های اخیر همراه با دسترسی به تصاویر

<sup>2</sup>Surface Energy Balance Algorithm for Land

<sup>1</sup>Reference Evapotranspiration

این پژوهش تلاش شد تا ضمن برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از مدل سیال در دشت سهرین - قره چریان که تحت تاثیر پخش سیلاب بر آبخوان قره چریان می باشد، جهت مدیریت بهینه منابع آب بتوان به بهترین برآورد تبخیر و تعرق واقعی رسید و به مناطق با شرایط مشابه تعمیم داد.

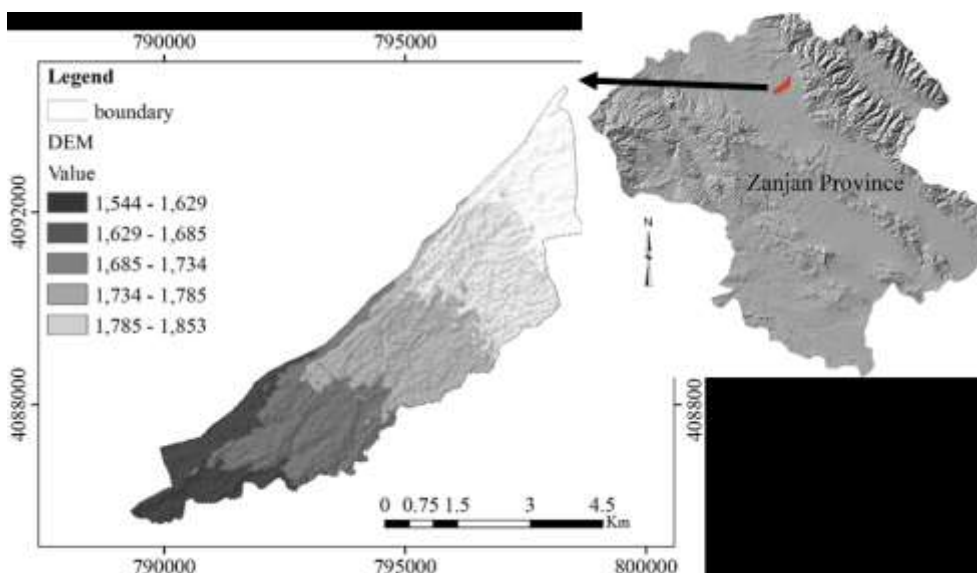
## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

ایستگاه تحقیقاتی و آبخوانداری قره چریان در سهرین-قره-چریان و در شمال غربی شهر زنجان به فاصله ۳۰ km از آن قرار دارد. این ایستگاه در سال ۱۳۷۵ در عرصه‌ای به مساحت ۴۱۵ ha احداث شده است که در حدود ۲۱۵ ha از آن جهت پخش سیلاب و تغذیه آبخوان مورد استفاده قرار می‌گیرد. آبدهی متوسط سالانه رودخانه قره چریان که سیلاب ورودی به ایستگاه از آن انحراف داده می‌شود، در حدود ۵۶۲/۳۷ l/s 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. حداکثر دبی رودخانه نیز مربوط به ماه‌های فروردین معادل ۱/۳۸ /۲۴۵۴ و اردیبهشت ۱/۱۶۵۱ است که بیش‌ترین حجم آب انحراف داده شده به ایستگاه نیز در این ماه‌ها صورت می‌گیرد.

گرفت. نتایج نشان داد MAE برآورد شده بین مقادیر تبخیر و تعرق روزانه سیال با روش فائو پنمن مانیتث معادل ۰/۶ و میانگین درصد خطای نسبی این دو پارامتر ۱۳/۵٪ به دست آمد (Abbasnezhad Alchin et al. 2020). برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سیال و مقایسه آن با تبخیر و تعرق استاندارد فائو 56، به منظور تعیین باغات پسته تحت تنش خشکی در استان یزد مورد ارزیابی قرار گرفت. در ابتدا، تبخیر و تعرق در دوره‌های پانزده روزه فنولوژی پسته به دست آمد و سپس، با جمع تبخیر و تعرق در دوره‌های پانزده روزه، میزان تبخیر و تعرق در چهار مرحله اصلی فنولوژی پسته و کل دوره رشد سالیانه تعیین شد. مقایسه نتایج با روش استاندارد فائو ۵۶ نشان داد این دو روش مطابقت خوبی با یکدیگر دارند ( Zare Khormizi et al. 2021).

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 توسط 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-قره چریان) دارد، در



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1 Location of the study area

از ۲۲ MCM آب به عرصه پخش سیلاب وارد شده است. با توجه به نفوذپذیری بالای رسوبات عرصه پخش سیلاب

بر اساس داده‌های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری موجود در ورودی ایستگاه تا تاریخ ۳۰ فروردین ۱۳۹۹ بیش

## ۲-۲- 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 حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت، میانگین سرعت باد، ساعات خورشید و فشار 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)	Sunshine (h)	Rh (%)			T (°C)		
			Max	Min	Med	Max	Min	Med
2020/09/24	7	10.5	60	10	35	30.4	11.6	21
2020/10/10	3	10.9	93	25	59	17.9	0.6	9.25
2020/12/13	2	7.0	95	57	76	6.8	-6.6	0.1
2021/01/30	15	6.5	84	35	59.5	6.2	1.4	3.8
2021/02/15	9	10.4	52	16	34	17.2	0.4	8.8
2021/03/19	9	11.6	65	21	43	13.8	-2.0	5.9
2021/04/04	4	10.7	87	34	60.5	14.6	-3.0	5.8
2021/04/20	7	8.6	57	15	36	27.2	7.6	17.4
2021/06/07	5	13.2	37	13	25	30.2	11.4	20.8
2021/06/23	12	12.7	20	7	13.5	36.8	20.4	28.6
2021/07/09	13	12.5	66	24	45	28.5	17.8	23.15
2021/07/25	12	12	69	21	45	35.4	19.5	27.45
2021/08/10	9	9	23	10	16.5	36.8	21.2	29
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	24.4

ایستگاه و شرایط جوی و تبخیر و تعرق بسیار کم منطقه، از این میزان حجم آبیگری، حداقل MCM ۶/۵ 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 تأمین می‌کند. موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

## ۲-۳- داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای

برای بررسی کاربرد مدل SEBAL، تصاویر Landsat 8 و برای سال آبی ۱۳۹۹ - ۱۴۰۰ دانلود و تصحیحات و پیش پردازش‌های لازم بر روی آنها انجام شد. این تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 به وسیله تصویرگر زمین عملیاتی (OLI)<sup>۱</sup> و سنسور حرارتی فروسرخ (TIRS)<sup>۲</sup> روی ماهواره‌ها به دست می‌آیند و به طور گسترده برای کاربردهای منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. سنسور OLI دارای ۹ باند و TIRS دارای دو باند حرارتی شماره ۱۰ و ۱۱ هستند. تصاویر لندست در فواصل ۱۶ روزه با وضوح مکانی ۳۰ m بوده و از وب سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده (<http://glovis.usgs.gov>) به دست آمد.

## ۲-۴- محاسبه تبخیر-تعرق

### ۲-۴-۱- روش فائو پنمن-مانتیت

روش‌های مختلفی برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع پیشنهاد شده است که هر کدام از نظر داده‌های مورد نیاز تا

حدودی با یکدیگر تفاوت دارند. فائو در سال ۱۹۸۸ (نشریه شماره ۵۶)، روش فائو-پنمن-مانتیت را به عنوان روش استاندارد برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع معرفی نمود. در پژوهش حاضر نیز بر مبنای اطلاعات اقلیمی تهیه شده مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع تعیین شد (رابطه ۱) (Heydarpour et al. 2007).

### ۲-۴-۲- الگوریتم تعادل انرژی سطحی SEBAL

در این مطالعه از مدل SEBAL برای تخمین تبخیر و تعرق در دشت سهرین قره‌چریان که متأثر از پخش سیلاب بر آبخوان قره‌چریان می‌باشد، با استفاده از تصاویر دیجیتال مبتنی بر ماهواره لندست استفاده شد. فلوجارت شماتیک الگوریتم SEBAL 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

<sup>1</sup>Operational Land Imager

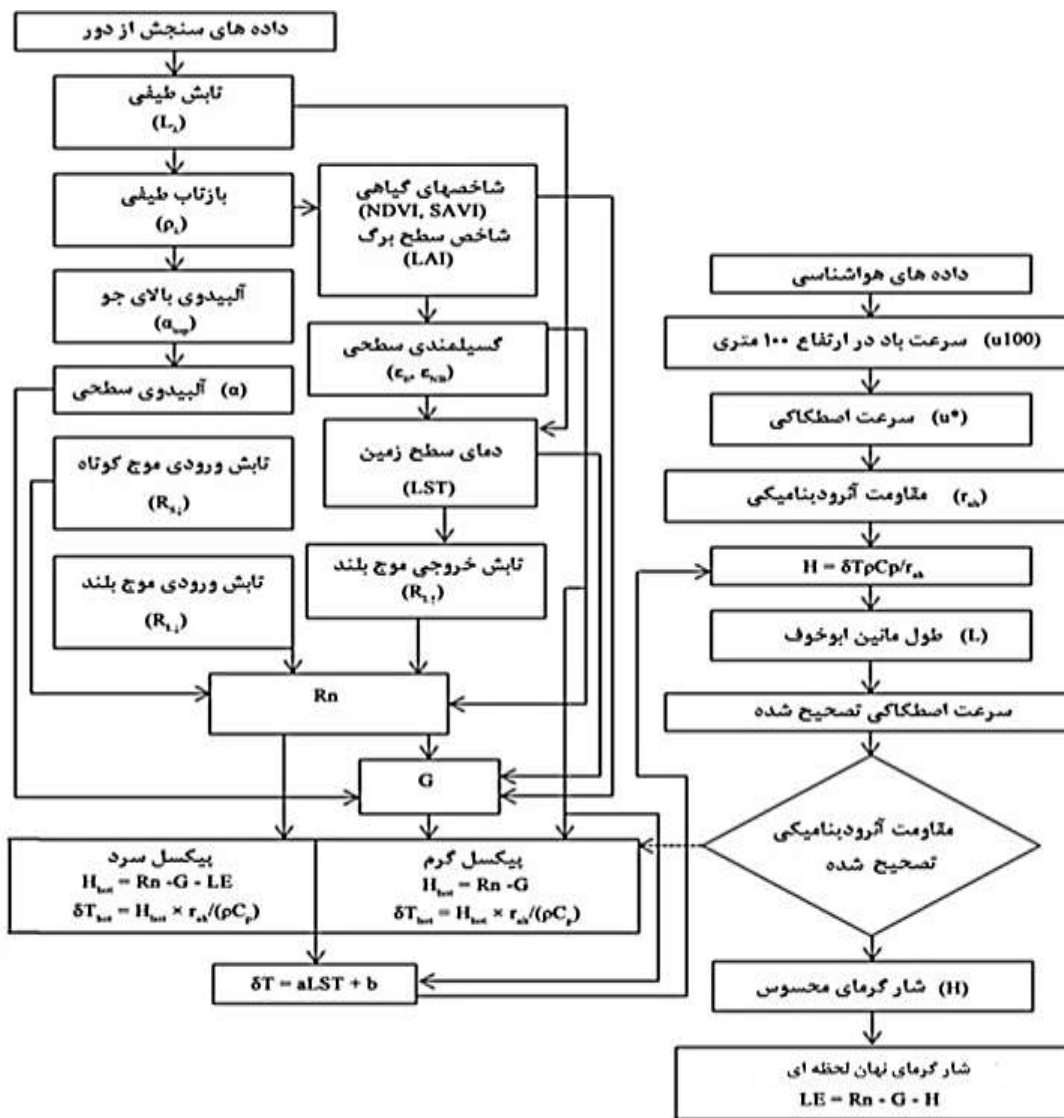
<sup>2</sup>Thermal Infrared Sensor



استفاده شد. در ادامه  $R_n$  برای هر پیکسل با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Allen et al. 1998a).

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

که،  $ET_0$  تبخیر-تعرق مرجع (mm/d)،  $R_n$  تابش خالص ورودی به سطح گیاه (MJ/m<sup>2</sup>/d)،  $G$  شار گرمای خاک (MJ/m<sup>2</sup>/d)،  $T$  میانگین روزانه دمای هوا (C°)،  $U_2$  سرعت روزانه باد در ارتفاع ۲ m (m/s)،  $e_a$  فشار بخار واقعی (kPa)،  $e_d$  فشار بخار اشباع (kPa)،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار (kPa/C) و  $\gamma$  ضریب ثابت رطوبتی (kPa/C) می‌باشد.



شکل ۲- فلوچارت محاسبه تبخیر-تعرق با استفاده از مدل سبیل (Bezerra et al. 2015)

Fig. 2 Flowchart of calculation of evapotranspiration using SEBAL algorithm (Bezerra et al. 2015)

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

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

که،  $\lambda ET$  شار گرمای نهان تبخیر (W/m<sup>2</sup>)،  $R_n$  شار تابش خالص،  $G$  شار گرمای خاک و  $H$  شار گرمای محسوس و در رابطه (۳):  $\alpha$  آلبیدو،  $R_{s\downarrow}$  تابش ورودی موج کوتاه،  $R_{l\downarrow}$  تابش ورودی موج بلند،  $R_{l\uparrow}$  تابش خروجی موج بلند و  $\epsilon$

آهنگ واقعی تبخیر و تعرق در لحظه انتقال ماهواره ( $ET_{inst}$ ) بر حسب mm/d با استفاده از رابطه (۶) به دست آمد (Waters et al. 2002).

$$ET_{inst} = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (۶)$$

که،  $ET_{inst}$  تبخیر و تعرق لحظه‌ای بر حسب mm/d،  $\lambda$  گرمای نهان تبخیر بر حسب J/Kg و ثابت ۳۶۰۰ ضریب تبدیل زمان (یعنی s/h) است.  $\lambda$  با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد (Allen et al. 2011).

$$\lambda = [2.501 - 0.00236(T_s - 273)] \times 10^6 \quad (۷)$$

مقادیر تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از کسر تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_r$ ) و مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $ET_{rF}$ ) محاسبه شد.  $ET_{rF}$  نسبت  $ET_{inst}$  محاسبه شده برای هر پیکسل به مرجع  $ET_r$  (یعنی  $ET_r$ ) به دست آمده از داده‌های هواشناسی به صورت رابطه (۸) است (Allen et al. 2011).

$$ET_{rF} = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (۸)$$

$ET_{rF}$  برای محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق ۲۴h استفاده شد و برای پیکسل‌های گرم به مقدار "۰" و برای پیکسل‌های سرد مقدار "۱" در نظر گرفته شد (Allen et al. 2007). مقادیر روزانه تبخیر و تعرق ( $ET_{24}$ ) اغلب کاربردی‌تر از مقادیر لحظه‌ای  $ET_{inst}$  هستند. در نهایت مقادیر تبخیر و تعرق روزانه به شرح رابطه (۹) محاسبه شد.

$$ET_{24} = ET_{rF} \times ET_r \quad (۹)$$

که،  $ET_{r-24}$  تبخیر و تعرق تجمعی را برای روز تصویربرداری نشان می‌دهد که با افزودن مقادیر ساعتی آن روز به دست می‌آید.

## ۲-۵- واسنجی مدل

برای ارزیابی سطح تفاوت بین داده‌های  $ET$  مرجع و مقادیر تخمینی حاصل از مدل SEBAL، میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین درصد مطلق خطا (MAPE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به صورت روابط (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) محاسبه شد.

$$MAE = N^{-1} \sum_{i=1}^N |ET_{Sim} - ET_{Obs}| \quad (۱۰)$$

$$MAPE = N^{-1} \sum_{i=1}^N \left| \frac{ET_{Sim} - ET_{Obs}}{ET_{Obs}} \right| \quad (۱۱)$$

$$RMSE = \left[ N^{-1} \sum_{i=1}^N (ET_{Sim} - ET_{Obs})^2 \right]^{0.5} \quad (۱۲)$$

تفاوت‌های گیاهی (NDVI)<sup>۱</sup>؛ شاخص گیاهی تنظیم‌شده خاک (SAVI)<sup>۲</sup> و شاخص سطح برگ (LAI)<sup>۳</sup> محاسبه شد. سپس دمای نزدیک به سطح ( $T_s$ ) و  $R_{tn}$  بر اساس  $\epsilon_0$  برآورد شد. پس از آن، شار حرارتی خاک ( $G$ ) با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (Waters et al. 2002).

$$\frac{G}{R_n} = \frac{(T_s - 273.15)}{a(0.0038a + 0.0074a^2)(1 - 0.98NDVI^4)} \quad (۴)$$

که،  $\alpha$  دمای سطح زمین (LST)<sup>۴</sup> بر حسب K است. اگر مقدار NDVI کمتر از صفر باشد، سطح آب در نظر گرفته می‌شود و نسبت  $G/R_n$  معادل ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. شار حرارتی محسوس، حرارتی است که توسط 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).

$$H = \frac{\rho \cdot C_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad (۵)$$

که در آن  $\rho$  چگالی هوا ( $kg/m^3$ )،  $C_p$  گرمای ویژه هوا در فشار ثابت ( $1004 J/kg/K$ )،  $dT$  اختلاف دمای بین دو ارتفاع ( $Z_2$  و  $Z_1$ ) بر حسب درجه‌ی کلون و  $r_{ah}$  مقاومت آیرودینامیکی بین دو ارتفاع سطح نزدیک برای انتقال گرما (s/m) می‌باشد. 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 SEBAL از دو پیکسل گرم و سرد و سرعت باد در ارتفاع معینی برای غلبه بر این مشکل در عین حال ساده کردن محاسبات استفاده می‌کند. ترکیبی از مقاومت آیرودینامیکی با حداکثر و حداقل 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.

<sup>1</sup>Normalized Difference Vegetation Index

<sup>2</sup>Soil Adjusted Vegetation Index

<sup>3</sup>Leaf Area Index

<sup>4</sup>Land Surface Temperature

مبنایی برای مقایسه با مقدار برآوردی مدل قرار گرفت. مقادیر ورودی آبیاری که در مزرعه انتخابی اندازه‌گیری شده، در اینجا مورد استفاده قرار گرفت. مقدار بارش مؤثر با استفاده از رابطه (۱۵) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (Qahari and Pakparvar 2021).

$$P_{eff} = 125 \frac{(125-0.2P)}{125} \text{ for } P \leq 250 \quad (15)$$

بر این اساس ابتدا مزرعه‌ای با کشت گندم و به مساحت ۵ ha 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، به وسیله آگر از عمق صفر تا ۱۵۰ cm با فواصل ۳۰ cm نمونه‌برداری خاک انجام و میزان رطوبت وزنی و نیز وزن مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شد. در این پژوهش چون عمق نفوذ به دلیل وجود سخت کفه کمتر از ۷۰ cm بود عملاً میزان آب برگشتی صفر بوده و میزان تبخیر و تعرق واقعی معادل مجموع آب حاصل از آبیاری و بارش مؤثر برآورد شد.

که،  $ET_{sim}$  و  $ET_{obs}$  به ترتیب مقادیر  $ET_a$  برآورد شده توسط SEBAL و روش فائو پنمن - مانیتث هستند.

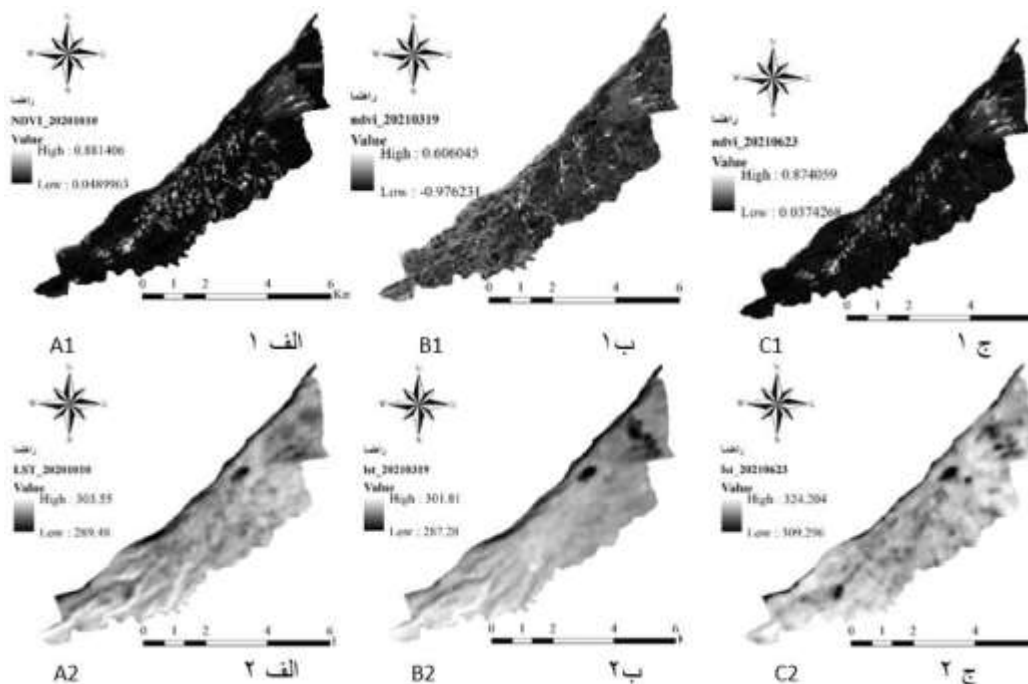
### ۲-۶- اندازه‌گیری تبخیر و تعرق با استفاده از بیلان آب خاک

بعد از محاسبه تبخیر و تعرق حاصل از مدل SEBAL، میزان تبخیر و تعرق واقعی زمینی نیز محاسبه گردید. میزان تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از معادله بیلان آب خاک (رابطه‌های ۱۳ و ۱۴) به دست آمد (Qahari and Pakparvar 2021).

$$\Delta S = P + I - R_o - RF - ET_a \quad (13)$$

$$ET_a = P_{eff} + I - RF \quad (14)$$

که،  $ET_a$  مقدار تبخیر-تعرق واقعی،  $P_{eff}$  مقدار بارندگی واقعی،  $I$  مقدار آبیاری،  $RF$  مقدار آب برگشتی کشاورزی،  $\Delta S$  تغییر در ذخیره رطوبت خاک و مقدار رواناب خروجی از مزرعه، و  $P$  مقدار باران ثبت شده در فصل کشت است. مقدار  $ET_a$  برآمده از این رابطه، واقعیت زمینی در نظر گرفته شده و



شکل ۳- تغییرات زمانی NDVI و LST به ترتیب در مراحل مختلف دوره رشد: اوایل (الف و الف ۲)، اواسط (ب و ب ۲) و اواخر (ج و ج ۲)

Fig. 3 Temporal changes of the NDVI and LST indices in the different stages of the growth period: Initial (A1, A2), middle (B1, B2) and late (C1, C2)

همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده است، از ۱۵ تصویر در بازه زمانی مهر تا شهریور سال آبی ۱۳۹۹ الی ۱۴۰۰ که میزان ابرناکی آنها کمتر از ۱۰٪ بود جهت برآورد تبخیر و

### ۳- یافته‌ها و بحث

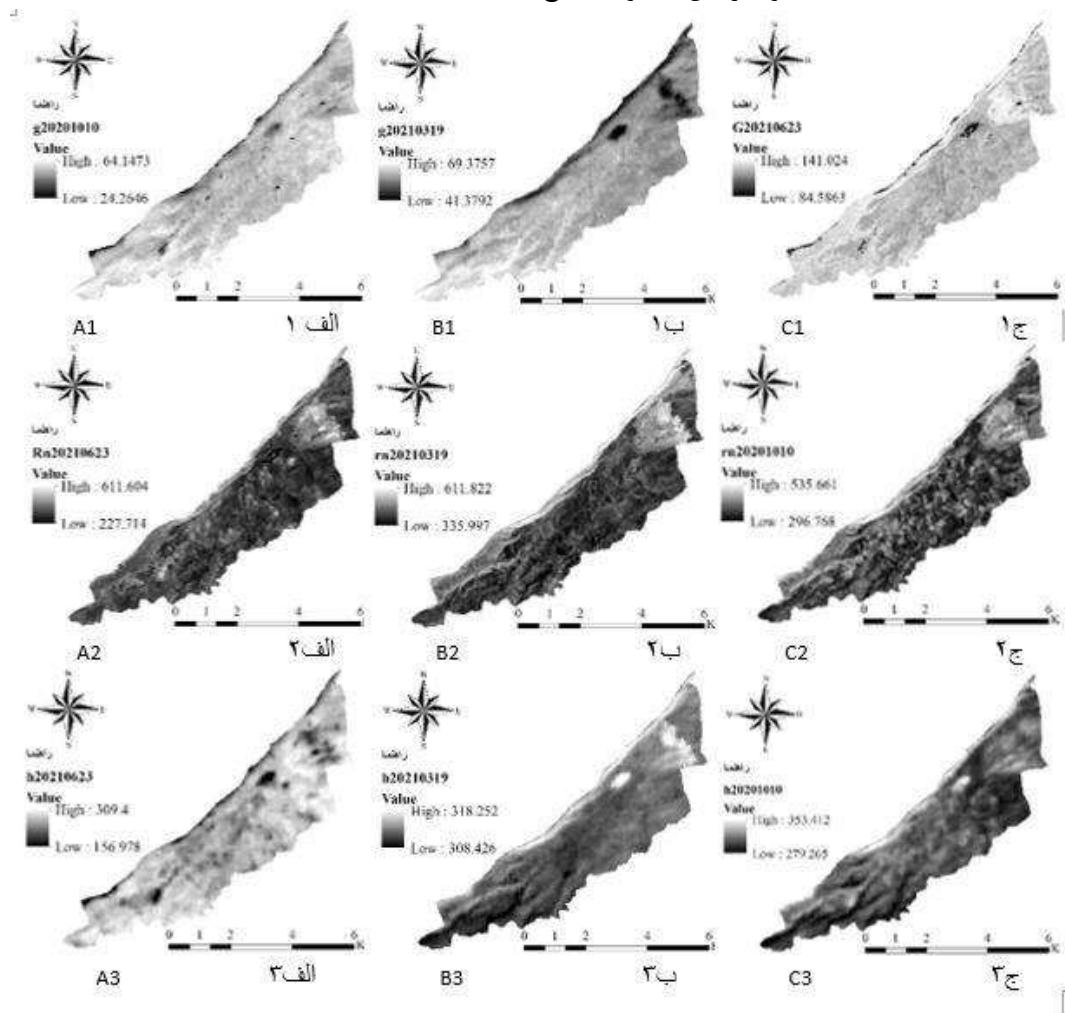
#### ۳-۱- شاخص‌های ورودی مدل بیلان انرژی

برای این روزها نسبتاً کم است و مقادیر بالای NDVI نشان دهنده جذب بالای تابش توسط پوشش گیاهی در این دوره است (شکل ۳).

به گفته (Allen et al (2000)، مقادیر خالص تشعشع باید بین  $700-1000 \text{ W/m}^2$  باشد. نتایج به دست آمده در شکل (۴) که به عنوان نمونه برای سه تصویر به ترتیب اول، اواسط و اواخر دوره رشد گیاه تهیه گردیده است، نشان داده شده است (۲۰۲۰/۱۰/۱۰، ۲۰۲۱/۰۳/۱۹ و ۲۰۲۱/۰۶/۲۳). به عبارتی مقادیر خالص تشعشع برای این سه تصویر به ترتیب بین دامنه  $296$  الی  $535$ ،  $335$  الی  $611$  و  $227$  الی  $611 \text{ W/m}^2$  به دست آمده است که با این محدوده مطابقت دارد (شکل ۴).

تعرق استفاده شد. بعد از تصحیح اتمسفری تصاویر، با استفاده از نرم افزار ENVI مقادیر NDVI، Albedo، درصد پوشش گیاهی، LAI، ارتفاع گیاه، انتشار سطحی، و LST برای هر تصویر بدست 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 در سه دوره اوایل رشد، اواسط رشد و اواخر رشد تهیه و مورد مقایسه قرار گرفت. این لایه‌ها به تفکیک تاریخ در شکل (۳) نشان داده شده است.

با نزدیک شدن به اواخر دوره رشد، نرخ تبخیر و تعرق بالاتر است که نشان دهنده افزایش سطح پوشش گیاهی یا نشان دهنده مرحله سبز شدن محصولات کشت شده در منطقه است (Allen et al. 1998a). علاوه بر این آلبدوی سطح



شکل ۴- تغییرات زمانی  $G$ ،  $Rn$  و  $H$  به ترتیب در مراحل مختلف دوره رشد: اوایل (الف و الف ۲ و الف ۳)، اواسط (ب ۱، ب ۲ و ب ۳) و اواخر (ج ۱، ج ۲ و ج ۳)

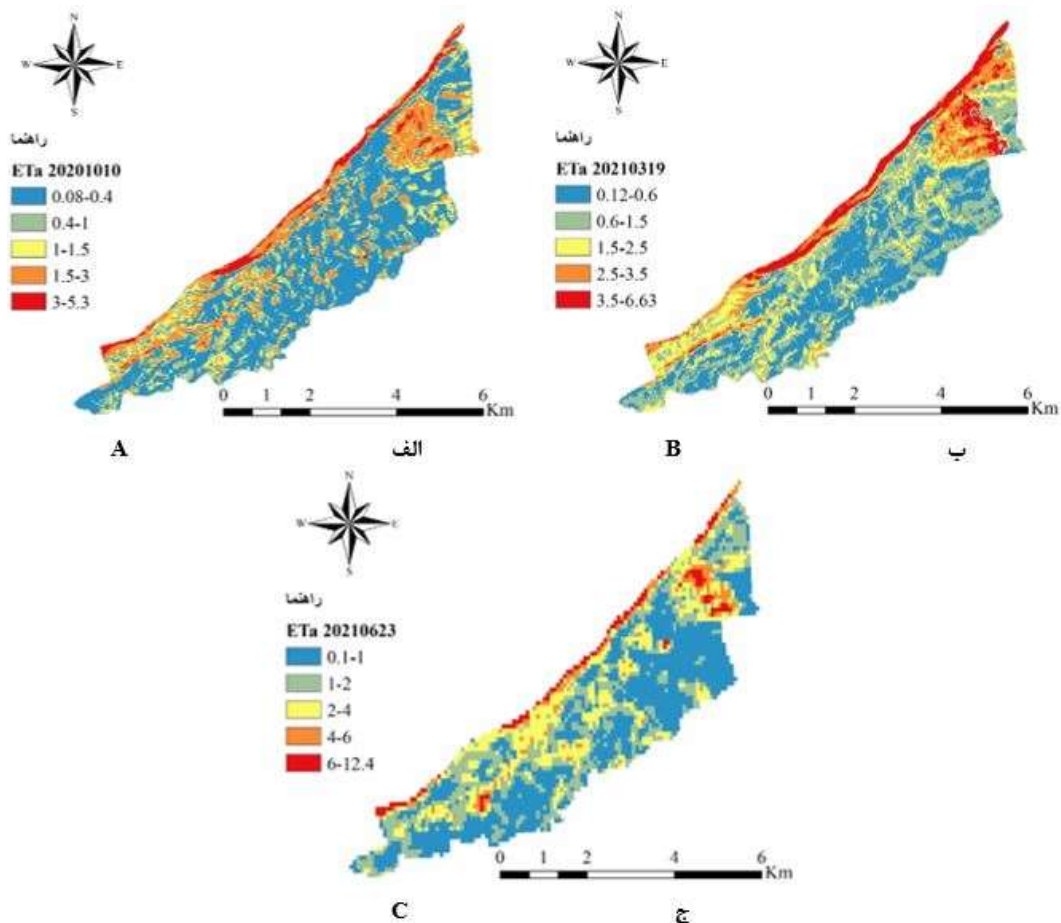
Fig. 4 Temporal changes of the  $G$ ,  $Rn$  and  $H$  indices in the different stages of the growth period: Initial (A1, A2, A3), middle (B1, B2, B3) and late (C1, C2, C3)

گیاهی و NDVI کم است، ET24 نیز کم است. از طرفی با افزایش تراکم پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق روزانه نیز افزایش می‌یابد. همانطور که در شکل شماره (۵-الف) به وضوح قابل ملاحظه است در ابتدای دوره رشد دامنه تبخیر و تعرق بین ۰/۰۸ تا ۵/۳ mm/d برآورد شده است. در صورتیکه این مقدار در اواسط (۵-ب) و اواخر دوره رشد (۵-ج) به ترتیب در دامنه ۰/۱۲ الی ۶/۶۳ و ۰/۱ الی ۱۲/۴ برآورد شده است. به عبارتی در اواسط دوره رشد چون درصد پوشش گیاهی سطح خاک کم بوده تبخیر و تعرق نیز کم می‌باشد اما با نزدیک شدن به اواخر دوره رشد و افزایش پوشش گیاهی، میزان تبخیر و تعرق نیز افزایش می‌یابد. این نتایج با یافته‌های (Shamloo و Elkatory et al. (2020) و (et al. (2021) مطابقت دارد.

تابش خالص خورشیدی مستقیماً به امواج بلند و موج کوتاه ورودی بستگی دارد که هر دو مستقیماً بر دمای سطح تأثیر 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 به طور معکوس با albedo، درخشندگی و دمای سطحی مرتبط است که با نتایج سایر مطالعات مطابقت دارد (Shamloo et al. 2021؛ Firozjaei et al. 2019).

### ۲-۳- تبخیر و تعرق

مقادیر بالاتر NDVI نشانه افزایش سبزی پوشش گیاهی است، بنابراین اساساً افزایش تبخیر و تعرق انتظار می‌رود. شکل (۵) تغییرات تبخیر و تعرق روزانه را نشان می‌دهد که به وضوح نشان می‌دهد در آغاز فصل رشد، زمانی که پوشش



شکل ۵- نقشه تبخیر و تعرق حاصل از الگوریتم سبال در مراحل مختلف دوره رشد: الف- ابتدا، ب- اواسط و ج) اواخر دوره رشد  
 Fig. 5 Evapotranspiration map resulting from SEBAL algorithm in the different stages of the growth period: a) Initial, b) middle, and c) late

رشد محاسبه و مقایسه شد (شکل ۴). همانطور که در شکل شماره (۴) نشان داده شده است در مناطقی که NDVI بالاتری ثبت شده است مقادیر دمای سطحی کمتری به ثبت

برای تأیید 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

### ۳-۴- واسنجی مدل

برآورد تبخیر-تعرق واقعی روزانه با استفاده از الگوریتم سیال تنها در روزهایی که تصاویر آن گرفته شده بود به دست آمد. جهت تعیین تبخیر-تعرق واقعی سایر روزها تبخیر و تعرق مرجع (ET<sub>0</sub>) با استفاده از روش پنمن مانیتیت محاسبه گردید (جدول ۲). سپس برای روزهای متناظر تبخیر و تعرق برآوردی از مدل سیال و روش پنمن مانیتیت، ضریب گیاهی (K<sub>c</sub>) برآورد شد. بدین صورت که اعداد بین دو عدد ET<sub>a</sub> استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای محاسبه و ET<sub>0</sub> تصاویر مد نظر نیز با استفاده از فرمول فائو پنمن مانیتیس اندازه‌گیری و میان‌یابی شد. سپس از تقسیم ET<sub>a</sub> و ET<sub>0</sub> عدد واقعی ضریب گیاهی (K<sub>c</sub>) به دست آمد. در ادامه برای سایر روزها با استفاده از درون‌یابی ضریب گیاهی محاسبه و در نهایت تبخیر و تعرق واقعی برای کل روزهای سال برآورد شد. علاوه بر این واسنجی نتایج حاصل از مدل سیال با تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از سه شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدرمطلق خطا (MSE) و میانگین اریبی خطا (MAD) مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر این سه شاخص به ترتیب معادل ۲/۱۵، ۴/۶۲ و ۱/۳۴ محاسبه شد (جدول ۲).

### جدول ۲- محاسبه شاخص‌های آماری ارزیابی نتایج مدل سیال

Table 2- Calculation of statistical indicators for evaluating the results of the SEBAL algorithm

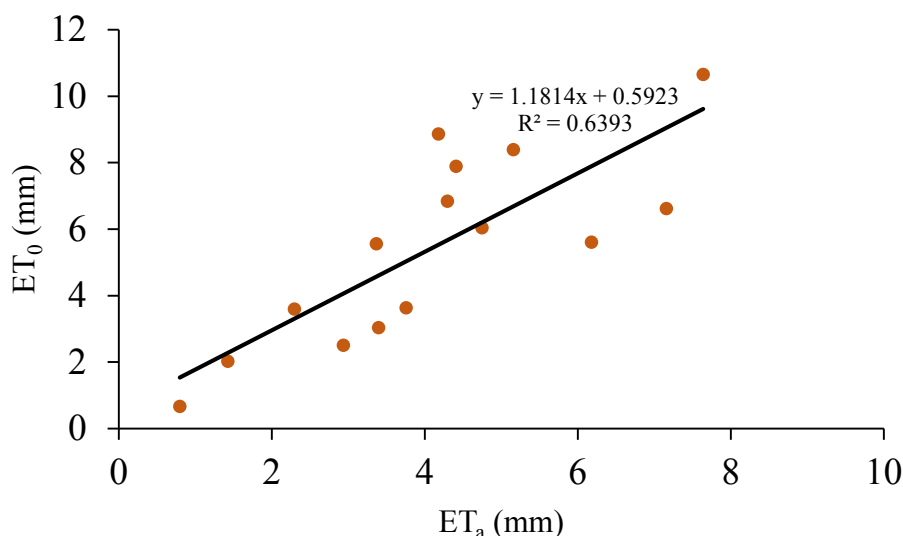
Id	Date	Kc	ET <sub>0</sub>	ET (SEBAL)	R <sup>2</sup>	MAD	MSE	RMSE
1	2020/09/24	0.61	5.56	3.37				
2	2020/10/10	1.17	2.50	2.94				
3	2020/12/13	1.20	0.67	0.80				
4	2021/01/30	0.71	2.02	1.43				
5	2021/02/15	0.64	3.59	2.30				
6	2021/03/19	1.04	3.63	3.76				
7	2021/04/04	1.12	3.04	3.40				
8	2021/04/20	1.10	5.60	6.18	0.64	1.34	4.62	2.15
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				

می‌دهد که بین مقادیر تخمین زده شده بوسیله این الگوریتم و روش فائو پنمن-مانیتیت ضریب تبیین (R<sup>2</sup>=0.64) قابل قبولی وجود دارد. این نتایج نشان می‌دهد که مدل سیال دقت خوبی در برآورد تبخیر و تعرق واقعی داشته و برای برآورد ET<sub>a</sub> در منطقه مورد مطالعه و مناطق دیگر با شرایط مشابه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این

رسیده است. به عبارتی هرچه درصد پوشش گیاهی بیشتر باشد، دمای سطحی کمتر خواهد بود. علاوه بر این مناطق با مقادیر NDVI بالا (که نشان دهنده 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، 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 شکل (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 تأیید می‌کنند که تغییرات مکانی و زمانی 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 SEBAL مورد بررسی و واسنجی قرار دادند، مطابقت دارد. آنها دریافتند که تنوع توزیع مکانی مطابق با دوره رشد گیاه است.

بعد از برآورد تبخیر و تعرق متناظر مربوط به مدل سیال (ET) و روش فائو پنمن مانیتیت (ET<sub>0</sub>)، رابطه رگرسیون بین این دو پارامتر برقرار شد که نتیجه حاکی از ضریب تبیین بالا (R<sup>2</sup>=0.64) بین این دو می‌باشد (شکل ۶). مقایسه بین مقادیر تخمین زده شده بوسیله الگوریتم سنجنش از دور سیال و تبخیر و تعرق پتانسیل فائو پنمن-مانیتیت نشان

نتایج با یافته سایر محققان مطابقت دارد ( Valizadeh (2021).  
Zare Khormizi et al. ;Kamran and langbaf 2018



شکل ۶ - رابطه بین ET<sub>0</sub> و ET<sub>a</sub>  
Fig. 6 Relationship between ET<sub>0</sub> and ET<sub>a</sub>

ارزیابی و واسنجی تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از مدل SEBAL و سنجش از دور مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای محصول گندم دیم در محدوده پخش سیلاب بر آبخوان دشت سهرین - قره‌چریان واقع در شمال غربی استان زنجان انجام شد. بطور کلی و با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که:

۱- در ابتدای دوره رشد دامنه تبخیر و تعرق بین ۰/۰۸ تا ۵/۳ mm/d برآورد شد. در صورتیکه این مقدار در اواسط و اواخر دوره رشد به ترتیب در دامنه ۰/۱۲ الی ۶/۶۳ و ۰/۱ الی ۱۲/۴ mm/d به دست آمد.

۲- مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از مدل سبال داری ضریب تبیین ( $R^2=0/64$ ) و همچنین خطا ( $RMSE=2/14$ ) می‌باشد. این نتایج نشان داد که مدل سبال با دقت قابل قبول می‌تواند به درستی برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه ای، در محدوده زمانی مربوطه استفاده شود.

۳- نتایج مقدار تبخیر و تعرق حاصل از مدل سبال با مقدار تبخیر و تعرق واقعی حاصل از مدل بیلان آب خاک مقایسه شد که ضریب خطا معادل ۲۲٪ به دست آمد. این درصد

### ۳-۴-۱- اعتبار سنجی

برای اعتبارسنجی نتایج لازم بود که این نتایج با داده‌های واقعی زمینی مقایسه شود. بر همین اساس جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی زمینی از معادله بیلان آب خاک استفاده شد (رابطه ۱۴). در ادامه مقدار تبخیر و تعرق حاصل از مدل سبال و مقدار تبخیر و تعرق حاصل از مدل بیلان آب خاک برای سطح مزرعه برآورد و مقایسه شد. این مقادیر به ترتیب برای مدل سبال و مدل بیلان آب خاک معادل ۱۹۶۴۲ و ۲۴۱۱۵ برآورد و ضریب خطا معادل ۲۲٪ به دست آمد. این درصد خطا نشان می‌دهد که الگوریتم سبال برای برآورد ET<sub>a</sub> 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.

### ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش جمعیت و کمبود منابع آبی به ویژه در بخش کشاورزی، پژوهشگران به دنبال راه‌هایی برای مدیریت بهتر منابع آبی هستند. مقدار تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی جهانی است و تأثیر قابل توجهی بر تعادل انرژی و اقلیم دارد. این مطالعه این مطالعه، با هدف

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.

### دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال می‌باشد.

### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

خطا نشان می‌دهد الگوریتم سبال برای برآورد ET در منطقه مورد مطالعه از دقت لازم برخوردار است

از محدودیت‌های مدل SEBAL 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 پردازش داده‌ها کالیبره 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

## References

- Achite, M., Samadianfard, S., Elshaboury, N., & Sharafi, M. (2022). Modeling and optimization of coagulant dosage in water treatment plants using hybridized random forest model with genetic algorithm optimization. *Environ. Develop. Sustain.*, 1-19. DOI: [10.1007/s10668-022-02523-z](https://doi.org/10.1007/s10668-022-02523-z)
- Alipour, A., Yarahmadi, J., & Mahdavi, M. (2014). Comparative study of M5 model tree and artificial neural network in estimating reference evapotranspiration using MODIS products. *J. Climat.*, 2014. DOI: [10.1155/2014/839205](https://doi.org/10.1155/2014/839205)
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrig. Drain., paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learn.*, 45(1), 5-32. DOI: [10.1023/a:1010933404324](https://doi.org/10.1023/a:1010933404324)
- Douna, V., Barraza, V., Grings, F., Huete, A., Restrepo-Coupe, N., & Beringer, J. (2021). Towards a remote sensing data based evapotranspiration estimation in Northern Australia using a simple random forest approach. *J. Arid Environ.*, 191, 104513. DOI: [10.1016/j.jaridenv.2021.104513](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104513)
- Falamarzi, Y., Palizdan, N., Huang, Y. F., & Lee, T. S. (2014). Estimating evapotranspiration from temperature and wind speed data using artificial and wavelet neural networks (WNNs). *Agri. Water Manage.*, 140, 26-36. DOI: [10.1016/j.agwat.2014.03.014](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.014)
- Feng, Y., Cui, N., Zhao, L., Hu, X., & Gong, D. (2016). Comparison of ELM, GANN, WNN and empirical models for estimating reference evapotranspiration in humid region of Southwest China. *J. Hydrol.*, 536, 376-383. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2016.02.053](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.053)
- Hashemi, S., Samadianfard, S., & Sadraddini, A. A. (2022). Evaluation of random forest-genetic algorithm hybrid model in estimating daily solar radiation. *Environ. Water Eng.*, 8(3), 636-653. [In Persion]. DOI: [10.22034/jewe.2022.312038.1654](https://doi.org/10.22034/jewe.2022.312038.1654)
- Hobbins, M. T. (2016). The variability of ASCE standardized reference evapotranspiration: A rigorous, CONUS-wide decomposition and attribution. *Trans. ASABE*, 59(2), 561-576. DOI: [10.13031/trans.59.10975](https://doi.org/10.13031/trans.59.10975)
- Holland, J. H. (1992). Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. MIT press.
- Khotbehsara, E. M., Daemei, A. B., & Malekjahan, F. A. (2019). Simulation study of the eco green roof in order to reduce heat transfer in four different climatic zones. *Result. Eng.*, 2, 100010. DOI: [10.1016/j.rineng.2019.100010](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2019.100010)
- Khoshkhoo, Y., & Nikmehr, S. (2021). Application of land surface temperature extracted from satellite images for zoning



- reference evapotranspiration. *Environ. Water Eng.*, 7(4), 708-722. DOI: [10.22034/jewe.2021.293156.1591](https://doi.org/10.22034/jewe.2021.293156.1591)
- Maeda, E. E., Wiberg, D. A., & Pellikka, P. K. (2011). Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in Kenya. *Appl. Geogra.*, 31(1), 251-258. DOI: [10.1016/j.apgeog.2010.05.011](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.05.011)
- Moore, R., & Hansen, M. (2011). Google Earth Engine: a new cloud-computing platform for global-scale earth observation data and analysis. AGU Fall Meeting Abstracts. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2011AGUFMIN43C..02M/abstract>
- Pagano, T. S., & Durham, R. M. (1993). Moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS). Proc. SPIE 1939, Sensor Systems for the Early Earth Observing System Platforms. DOI: [10.1117/12.152835](https://doi.org/10.1117/12.152835)
- Tyrallis, H., Papacharalampous, G., & Langousis, A. (2019). A brief review of random forests for water scientists and practitioners and their recent history in water resources. *Water*, 11(5), 910. DOI: [10.3390/w11050910](https://doi.org/10.3390/w11050910)
- Valipour, M. (2015). Temperature analysis of reference evapotranspiration models. *Meteorol. Appl.*, 22(3), 385-394. DOI: [10.1002/met.1465](https://doi.org/10.1002/met.1465)
- Wang, S., Lian, J., Peng, Y., Hu, B., & Chen, H. (2019). Generalized reference evapotranspiration models with limited climatic data based on random forest and gene expression programming in Guangxi, China. *Agri. Water Manage.*, 221, 220-230. DOI: [10.1016/j.agwat.2019.03.027](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.027)
- Wang, W., Liang, S., & Meyers, T. (2008). Validating MODIS land surface temperature products using long-term nighttime ground measurements. *Remote Sens. Environ.*, 112(3), 623-635. DOI: [10.1016/j.rse.2007.05.024](https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.05.024)
- Ye, X., Dong, L.-A., & Ma, D. (2018). Loan evaluation in P2P lending based on random forest optimized by genetic algorithm with profit score. *Electron. Commerce Res. Appl.*, 32, 23-36. DOI: [10.1016/j.elerap.2018.10.004](https://doi.org/10.1016/j.elerap.2018.10.004)
- Yu, W., Nan, Z., Wang, Z., Chen, H., Wu, T., & Zhao, L. (2015). An effective interpolation method for MODIS land surface temperature on the Qinghai-Tibet Plateau. *IEEE J. Select. Topic. Appl. Earth Observ. Remote Sens.*, 8(9), 4539-4550. DOI: [10.1109/JSTARS.2015.2464094](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2464094)
- Zhang, Z., Gong, Y., & Wang, Z. (2018). Accessible remote sensing data based reference evapotranspiration estimation modelling. *Agri. Water Manage.*, 210, 59-69. DOI: [10.1016/j.agwat.2018.07.039](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.039)

### How to cite this paper:

Rostamizad, G., Abdinejad, P., Pakparvar, M. and Kheairkhan Zarrkesh, M. (2023). Calibration of SEBAL surface energy balance algorithm in determining evapotranspiration of plains affected by flood spreading (Qaracherian-Zanjan Province). *Environ. Water Eng.*, 9(4), 563-579. DOI: [10.22034/ewe.2023.374790.1829](https://doi.org/10.22034/ewe.2023.374790.1829)