

## Evaluation of actual daily evapotranspiration with SEBAL algorithm, case study: Segzi Plain, Isfahan

Ahmad Mokhtari<sup>1\*</sup>, Korosh Shirani<sup>2</sup>, Navid Moslezadeh<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran

<sup>3</sup> MSc of Remote Sensing and Geographic Information System, Islamic Azad University, Lar Branch, Fars, Iran

Received: 03 March 2022

Accepted: 20 August 2022

### Extended abstract

#### Introduction

Segzai plain, 40 kilometers from Isfahan city, with an area of about 40,000 ha, is considered a serious threat to this historical city. This plain, which until a few decades ago was a relatively prosperous reed and meadow, has now become a huge danger in terms of nature destruction and environmental pollution. Two natural and human factors play a role in the desertification of this region. Among the natural factors are low rainfall, high evaporation, the presence of limiting layers in the soil and strong winds and from human factors, excessive grazing and overgrazing of livestock as well as bush-cutting, rapid population growth and excessive exploitation of existing resources decline Underground water and most importantly, exploitation of surface mines, especially gypsum mines, can be mentioned. The main goal of this research was to evaluate the effectiveness of the SEBAL model for estimating the actual evaporation and transpiration of the Segazi Plain, considering the arid and semi-arid location of the region using the landsat 8 image.

#### Materials and methods

To do this research, first, landsat 8 images were processed. Extraction of required information from satellite images in this research was done during three main stages, i.e. pre-processing, processing and post-processing. In other words, in the pre-processing stage, after performing atmospheric, geometric and other necessary corrections, the image was referred to the ground. In the area of data processing, different highlighting methods and statistical analyzes and remote sensing were done in order to achieve the information layers of the plan. In order to evaluate the results in the image processing stage, the post-processing of the data based on various analyzes was used to evaluate the reliable layers in terms of accuracy and precision. After that, the SEBAL algorithm was implemented. first the amount of net radiation ( $R_n$ ) was calculated according to the temperature of the earth's surface and vegetation and the amount of energy reaching the earth, then the heat flux of the soil ( $G$ ) was obtained to determine the amount of transfer capability The heat into the soil was determined, then it was determined to calculate the amount of sensible heat flux ( $H$ ), which determines the loss of energy from the soil to space. Finally, after determining the sensible heat flux, evaporation and transpiration were calculated. The SEBAL algorithm calculates the energy balance equation in order to calculate the actual evaporation and transpiration of the plant.

#### Results and discussion

Surface albedo parameters (the highest and lowest weighted values are around 0.85 and 0.16), soil surface temperature (the highest and lowest weighted values are around 326 and 299 degrees Kelvin), NDVI vegetation index (the highest and lowest weight values related to areas with good vegetation close to +1 and related to water and water bodies close to -1), the amount of net energy reaching the surface of the earth (the highest and lowest weight values are about 703 and 210  $Wm^{-2}$ , soil heat flux (the highest and lowest weight values are about 130 and 35  $Wm^{-2}$ ), sensible heat flux (the highest and lowest weight values are about 323 and 23  $Wm^{-2}$ ), momentary evaporation and transpiration (the highest and lowest weight values

\* Corresponding author: a.mokhtari@areeo.ac.ir

are about 0.842 and 0.225 mm) and daily transpiration evaporation (the highest and lowest weight values are about 20.2 and 5.4 mm) are among the most important effective parameters in this Sabal algorithm which were investigated in this research. Changes in actual transpiration evaporation (the highest weight values about 0.85 mm and the lowest weight values about 0.16 mm). The obtained results showed that the SEBAL model has well predicted evaporation and transpiration in areas that have vegetation, mostly agriculture and gardens, so that the amount of water loss through evaporation has been predicted close to the values found in the eastern synoptic station of Isfahan (airport Shahid Beheshti) is registered.

### Conclusion

The amount of error obtained in SEBAL calculation was 0.1%. The amount of real momentary evaporation and transpiration has been calculated in the range between 0.22 and 0.84 mm, according to the weather conditions of the region and the temperature of the air near the surface (27 to 50 degrees) and the amount of evaporation and transpiration recorded by the Penman-Monteith equation (30.0 mm in the east of Isfahan synoptic station), this value is in a reasonable range. Comparing the outputs of Sabal model with the amount of evaporation and transpiration obtained in the same station, which shows the root mean square error (RMSE) value of 0.1, indicates the suitability of this algorithm in calculating evaporation and transpiration in Segazi region. Considering the growing need of the country to prevent the wastage or excess consumption of water in the agricultural sector, either through changing the cultivation pattern or changing the irrigation methods, the application of the developed tool of the Sabal algorithm in this research can provide valuable information to the experts and managers of the water sector put agriculture. The results obtained from this implementation of this research showed that remote sensing has a good potential for estimating actual evapotranspiration (ETA) by having different algorithms such as SEBAL algorithm and minimum ground information.

**Keywords:** Cold pixel, Hot pixel, NDVI vegetation index, Surface albedo, Surface energy balance equation

Cite this article: Mokhtari, A., Shirani, K., Moslezadeh, N., 2023. Evaluation of actual daily evapotranspiration with SEBAL algorithm, case study: Segzi Plain, Isfahan. *Watershed Engineering and Management* 15 (2), 172–184.

© 2023, 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 Licence (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## ارزیابی تبخیر و تعرق واقعی روزانه با الگوریتم SEBAL، مطالعه موردی: دشت سگزی اصفهان

احمد مختاری<sup>۱\*</sup>، کورش شیرانی<sup>۲</sup> و نوید مسلمزاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان،

ایران

<sup>۲</sup> دانشیار پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لارستان، فارس، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۲

### چکیده مبسوط

#### مقدمه

دشت سگزی در ۴۰ کیلومتری شهر اصفهان با وسعت حدود ۴۰ هزار هکتار، عامل تهدیدی جدی برای این شهر تاریخی محسوب می‌شود. این دشت که تا چند دهه پیش نزار و مرغزاری نسبتاً آباد بوده، اکنون به خطری عظیم به لحاظ تخریب طبیعت و آلودگی محیط زیست تبدیل شده است. دو عامل طبیعی و انسانی در بیابان‌زایی این منطقه نقش دارند. از عوامل طبیعی، بارندگی کم، تبخیر زیاد، وجود لایه‌های محدود کننده در خاک و بادهای شدید و از عوامل انسانی، چرای بیش از حد دام، بوته‌کشی، رشد شدید جمعیت و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع موجود، افت آب‌های زیرزمینی و مهم‌تر از همه، بهره‌برداری از معادن سطحی موجود به‌ویژه معادن گچ را می‌توان نام برد. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی کارایی الگوریتم SEBAL برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی دشت سگزی با توجه به موقعیت خشک و نیمه‌خشک بودن منطقه با استفاده از تصاویر لندست ۸ بود.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، استخراج اطلاعات مورد نیاز از این تصاویر طی سه مرحله اصلی یعنی پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش صورت گرفت. در مرحله پیش‌پردازش، پس از انجام تصحیحات اتمسفریک، هندسی و سایر تصحیحات لازم، اقدام به زمین‌مرجع کردن تصاویر شد. در مرحله پردازش داده‌ها، روش‌های مختلف بارزسازی و تحلیل‌های آماری و سنجش از دوری به‌منظور دستیابی به لایه‌های اطلاعاتی صورت گرفت. به‌منظور ارزیابی نتایج در مرحله پردازش تصاویر، پس‌پردازش داده‌ها بر اساس تحلیل‌های مختلف ارزیابی لایه‌های قابل اعتماد از لحاظ صحت و دقت، انجام گرفت. در مرحله بعد، الگوریتم SEBAL اجرا شد که در این مرحله، ابتدا میزان تابش خالص ( $R_n$ ) با توجه به دمای سطح زمین و پوشش گیاهی و میزان انرژی‌های رسیده به زمین محاسبه شد. سپس، شار گرمایی خاک ( $G$ ) به‌دست آمد تا میزان قابلیت انتقال گرما به داخل خاک مشخص شود. سپس، میزان شار گرمای محسوس ( $H$ ) که تعیین‌کننده هدررفت انرژی از خاک به سمت فضا است، تعیین شد. در نهایت، پس از تعیین مقدار شار گرمای محسوس، تبخیر و تعرق محاسبه شد. الگوریتم SEBAL، معادله بیلان انرژی را به‌منظور محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه محاسبه می‌کند.

## نتایج و بحث

پارامترهای آلبیدوی سطحی (بیشترین و کمترین مقادیر وزنی ۰/۸۵ و ۰/۱۶)، دمای سطح خاک (بیشترین و کمترین مقادیر وزنی ۳۲۶ و ۲۹۹ درجه کلوین)، شاخص پوشش گیاهی NDVI (بیشترین و کمترین مقادیر به ترتیب مربوط به نواحی با پوشش گیاهی خوب با +۱ و پیکره‌های آبی با -۱)، میزان انرژی خالص رسیده به سطح زمین (بیشترین و کمترین مقادیر وزنی حدود ۷۰۳ و ۲۱۰ وات بر متر مربع)، شار گرمایی خاک (بیشترین و کمترین مقادیر وزنی حدود ۱۳۰ و ۳۵ وات بر متر مربع)، شار گرمای محسوس (بیشترین و کمترین مقادیر وزنی حدود ۳۲۳ و ۲۳ وات بر متر مربع)، تبخیر و تعرق لحظه‌ای (بیشترین و کمترین مقادیر وزنی حدود ۰/۸۴۲ و ۰/۲۲۵ میلی‌متر) و تبخیر و تعرق روزانه (بیشترین و کمترین مقادیر وزنی حدود ۲۰/۲ و ۵/۴ میلی‌متر) از جمله مهم‌ترین پارامترهای موثر در الگوریتم SEBAL بود که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند. یافته‌های پژوهش در رابطه با نتیجه کاربرد الگوریتم SEBAL با داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ نشان داد که الگوریتم SEBAL تبخیر و تعرق را در محدوده‌هایی که دارای پوشش گیاهی غالباً کشاورزی و باغ هستند، به خوبی پیش‌بینی کرده است، به طوری که میزان هدررفت آب از طریق بخار را نزدیک به مقادیر ثبت شده ایستگاه سینوپتیک شرق اصفهان (فرودگاه شهید بهشتی) پیش‌بینی کرده است. میزان خطای به دست آمده در محاسبه الگوریتم SEBAL، ۰/۱ درصد بوده است. میزان تبخیر و تعرق لحظه‌ای واقعی در محدوده بین ۰/۲۲ تا ۰/۸۴ میلی‌متر محاسبه شده است که با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و دمای هوای نزدیک به سطح (۲۷ تا ۵۰ درجه کلوین) و مقدار تبخیر و تعرق ثبت شده به روش پنمن-مانتیت (۰/۳ میلی‌متر در ایستگاه سینوپتیک شرق اصفهان)، این مقدار در محدوده معقولی قرار دارد.

## نتیجه‌گیری

مقایسه خروجی‌های الگوریتم SEBAL با مقدار تبخیر و تعرق به دست آمده در ایستگاه سینوپتیک شرق اصفهان که RMSE مقدار ۰/۱ را نشان می‌دهد، بیانگر مناسب بودن این الگوریتم در محاسبه تبخیر و تعرق در منطقه سگزی است. با توجه به نیاز روزافزون کشور برای جلوگیری از هدررفت یا مصرف مازاد آب در بخش کشاورزی، چه از طریق تغییر الگوی کشت و چه تغییر در روش‌های آبیاری، به کارگیری الگوریتم SEBAL در این پژوهش، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در اختیار متخصصین و مدیران بخش آب و کشاورزی قرار دهد. نتایج به دست آمده از اجرای این پژوهش، نشان داد که سنجش از دور با در دست داشتن الگوریتم‌های متفاوت از جمله الگوریتم SEBAL و کمینه اطلاعات زمینی، دارای پتانسیل مناسبی برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی است.

## واژه‌های کلیدی: آلبیدوی سطحی، پیکسل سرد، پیکسل گرم، شاخص NDVI، معادله توازن انرژی سطح

### مقدمه

جمله همبستگی ادی<sup>۲</sup>، نسبت باون و لایسیمتر وزنی، برای کاربرد پیوسته در فاصله‌های مناسب در منطقه، بسیار پر هزینه و وقت‌گیر است (Miryaghoubzadeh et al., 2014; Zamansani et al., 2017).

همچنین، این اندازه‌گیری‌ها به دلیل شرایط متغیر منطقه‌ای نقطه‌ای هستند و قابل تعمیم به حوضه‌های بزرگ نیستند (Miryaghoubzadeh et al., 2014). این محدودیت موجب استفاده از داده‌های دورسنجی و تصاویر ماهواره‌ای برای برآورد تبخیر و تعرق در مناطق پهناور شده است. مزیت اصلی دورسنجی در برآورد

تخمین و برآورد تبخیر و تعرق در طرح‌های آبیاری، کمبود آب مخازن، محاسبه بیلان، تعیین رواناب و مطالعات هواشناسی، ضروری است (Abolhasani and Zareei, 2016). تبخیر و تعرق، تابعی از ویژگی‌های خاک، آب و هوا، کاربری اراضی، وضعیت گیاهی و توپوگرافی منطقه است که این پارامترها در زمان و مکان متغیر هستند. بنابراین، تخمین و یا تعیین مقادیر شاخص این پارامترها در یک منطقه مشکل است. روش‌های اندازه‌گیری تبخیر و تعرق از سطح زمین از

<sup>2</sup> Eddy Covariance Method

مشهد با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و به کارگیری الگوریتم SEBAL، با احتساب توپوگرافی نتیجه گرفتند، تصاویر سنجنده MODIS و الگوریتم SEBAL قادر هستند مقدار تبخیر و تعرق واقعی را در مقیاس روزانه و در زیرحوزه آبخیز مشهد به خوبی برآورد کنند.

Poormohammadi et al., (2011)، ضمن برآورد بیلان آبی در حوضه خشک و کوهستانی منشاد واقع در استان یزد در سال آبی ۸۶-۸۵، اقدام به برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و روش الگوریتم SEBAL کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، الگوریتم SEBAL در برآورد مقدار تبخیر و تعرق در حوضه مذکور نزدیک به داده‌های واقعیت زمینی بوده است. Bastiaanssen et al., (1998)، ضمن معرفی مدل جدیدی برای تخمین توزیع مکانی انرژی سطح با پوشش گوناگون با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و تصاویر مادون قرمز حرارتی در قدرت تفکیک مختلف، اقدام به محاسبه تبخیر و تعرق کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، شار تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از الگوریتم SEBAL قابل استفاده در مقیاس بزرگ است و هرچه مقیاس بزرگ‌تر باشد، صحت داده‌های به دست آمده بیشتر می‌شود.

Bastiaanssen (2000)، عملکرد الگوریتم SEBAL در تعیین تبخیر و تعرق و شار گرمایی محسوس را با مقادیر به دست آمده از روش‌های همبستگی ادی و سوسونج<sup>۸</sup>، مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که دقت الگوریتم SEBAL مورد تایید است. Bastiaanssen et al., (2005)، برای مدیریت صحیح منابع آب، اطلاعات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق واقعی را بسیار کارا و مفید معرفی کردند و نتیجه گرفتند در مقیاس مزرعه‌ای صحت داده‌های الگوریتم SEBAL، ۸۵ درصد در مقیاس روزانه، در مقیاس فصلی ۹۵ درصد و در مقیاس مکانی یک حوزه آبخیز بزرگ به طور سالانه

مقادیر تبخیر و تعرق در آن است که می‌تواند بدون محاسبات پیچیده هیدرولوژیکی آن را محاسبه کرد. تبخیر و تعرق در مکان و زمان متغیر است که متغیر بودن مکانی آن به دلیل تنوع مکانی گسترده بارش، ویژگی‌های هیدرولیک خاک و تراکم و نوع پوشش گیاهی است. متغیر بودن زمانی آن نیز به دلیل تنوع اقلیمی است. تصاویر ماهواره‌ای قادر هستند ساختار زمانی و مکانی تبخیر و تعرق را شناسایی کرده و به صورت نقشه نمایش دهند.

الگوریتم توازن انرژی سطح<sup>۳</sup> یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های شار انرژی برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از سنجنش از دور است. آنچه که باعث ارجحیت الگوریتم SEBAL نسبت به الگوریتم‌های دیگر شده است، عدم نیاز به برداشت‌های میدانی گسترده، نقشه کاربری اراضی، داده‌های مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژی و مرحله‌ای بودن شیوه کار است (McShane et al., 2017). Abdoli (2010)، با استفاده از الگوریتم SEBAL، تصاویر ماهواره لندست ۷، سنجنده ETM<sup>+</sup>، ماهواره ترا<sup>۴</sup> و سنجنده MODIS<sup>۶</sup> در اراضی حوزه آبخیز رودخانه زاینده‌رود، دشت گلپایگان و منطقه دامنه فریدن استان اصفهان، اقدام به برآورد تبخیر و تعرق کرد. در این پژوهش، نتایج نقشه تبخیر و تعرق واقعی<sup>۷</sup> حاصل از پردازش تصاویر ETM<sup>+</sup> با مقادیر محاسبه شده از روش پنمن-مانتیث فائو (با در نظر گرفتن ضرایب گیاهی) اختلاف اندکی را نشان دادند.

همچنین، برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از هر دو سنجنده ETM<sup>+</sup> و MODIS نزدیک به هم به دست آمده است، ولی در مقیاس مزرعه‌ای، نتایج تصاویر MODIS به علت تفکیک مکانی کمتر، از صحت پایین تری نسبت به تصاویر لندست ۷ برخوردار بوده‌اند.

Sanaei Nejad et al., (2011)، با بررسی توزیع مکانی تبخیر و تعرق واقعی روزانه در زیرحوزه آبخیز

<sup>۸</sup> سوسونج (Scintillometer) یا آشکارساز سوسونج (Scintillation detector) نوعی آشکارساز تابش است که در آن تابش یوننده تبدیل به فوتون‌های دیدنی می‌شود و این فوتون‌ها با افزایش فوتونی به صورت سیگنال‌های قابل شمارش تغییر می‌کنند.

<sup>۳</sup> Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)

<sup>۴</sup> The Enhanced Thematic Mapper Plus

<sup>۵</sup> TERRA

<sup>۶</sup> Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

<sup>۷</sup> Actual Evapotranspiration (ETA)

به دست آوردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تبخیر واقعی با استفاده از الگوریتم SEBAL از دقت قابل قبولی برخوردار است.

بنا به اهمیت موضوع و با توجه به سابقه پژوهش‌های انجام گرفته و کاربرد موفق الگوریتم SEBAL و به کارگیری انواع تصاویر ماهواره‌ای نظیر ETM<sup>+</sup> و MODIS در برآورد تبخیر و تعرق واقعی، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی تبخیر و تعرق واقعی روزانه با الگوریتم SEBAL و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در منطقه دشت سگزی اصفهان که از مناطق خشک شرق شهر اصفهان محسوب می‌شود، است. به کارگیری تصاویر OLI لندست ۸ با کمک الگوریتم SEBAL و اصلاح آستانه‌های پارامترهای سنجش از دوری در این پژوهش، از جمله مواردی است که نوآوری تحقیق را نسبت به پژوهش‌های پیشین بارز می‌کند.

#### مواد و روش‌ها

دشت سگزی در ۴۰ کیلومتری شرق اصفهان در طول جغرافیایی "۵۱°۵۳'۵۸" تا "۵۲°۰۴'۱۸" شرقی و عرض جغرافیایی "۳۲°۲۹'۰۷" تا "۳۲°۴۸'۴۵" شمالی واقع شده است. این دشت که به صورت خط‌چین در شکل ۱، قابل ملاحظه است، یکی از کانون‌های بحران آب در استان اصفهان است که سالانه بیشترین هدررفت آب را دارد. مرتفع‌ترین نقطه این منطقه با ارتفاع ۲۱۲۰ متر و پست‌ترین نقطه این منطقه با ۱۵۵۰ متر از سطح آب‌های آزاد با شیب متوسط ۱/۰۸ درصد است.

طبق اطلاعات ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شرق اصفهان ( Isfahan Meteorological Organizatio, 2021)، متوسط بارش سالیانه منطقه ۱۰۶ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۱۵/۲ درجه سانتی‌گراد و همچنین، میانگین تبخیر و تعرق سالیانه در منطقه ۲۲۰۱/۵ میلی‌متر است.

این منطقه طبق طبقه‌بندی دمارتن دارای اقلیمی خشک است. سرعت باد به‌طور میانگین ۱۱/۲ متر بر ثانیه است که تاثیر زیادی بر شرایط اقلیمی منطقه گذاشته است.

۹۶ درصد، قابل قبول بوده است و استفاده از الگوریتم SEBAL در مقیاس وسیع زمانی و مکانی را توصیه کرده‌اند.

(Nouri and Faramarzi, 2017) با استفاده از الگوریتم SEBAL و ترکیب دو سنجنده MODIS و لندست ۸ به‌طور هم‌زمان در شهرستان ملایر، اقدام به بررسی و مقایسه دقت برآورد تبخیر و تعرق واقعی کاربری‌های مختلف اراضی در مقایسه با مقدار محاسبه شده به روش پنمن-مانتیت فائو کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در برآورد تبخیر و تعرق روزانه، به‌طور میانگین ۰/۴۳ درصد اختلاف میان الگوریتم SEBAL و روش پنمن-مانتیت فائو وجود دارد. بنابراین، می‌توان تبخیر و تعرق ساعتی و روزانه را برای منطقه مورد مطالعه با دقتی مناسب برآورد کرد.

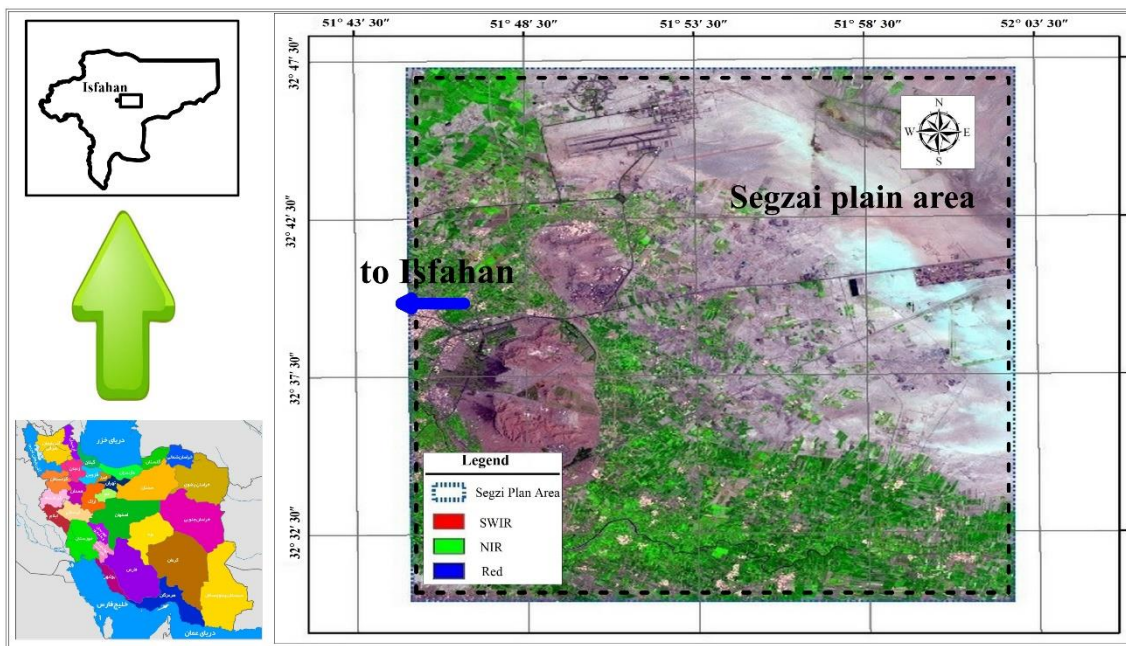
(Almhab et al., 2008) در حوضه صنعا اقدام به برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر سنجنده TM<sup>۱</sup> و AVHRR، الگوریتم SEBAL و اطلاعات مدل رقومی ارتفاع<sup>۱۰</sup> کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که داده‌های سنجنده TM به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالاتر نسبت به سنجنده AVHRR، دارای اختلاف کمتر بوده است و مقادیر قابل قبول‌تری ارائه می‌کند. (Jassas et al., 2015). با استفاده از الگوریتم SEBAL، داده‌های ماهواره‌ای لندست ۵، داده‌های DEM و روش بیلان آبی، اقدام به ارزیابی زمانی-مکانی تبخیر و تعرق واقعی در حوضه الخیر گومال کردند که نتایج آن‌ها نشان داد، الگوریتم SEBAL نتایج بهتری را ارائه کرده است.

(Teixeira et al., 2009) به منظور تعیین نیاز آبی گیاهان در مناطق نیمه‌خشک برزیل با استفاده از الگوریتم SEBAL، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و داده‌های هواشناسی، اقدام به محاسبه و برآورد تبخیر و تعرق کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از الگوریتم SEBAL برای تعیین نیاز آبی گیاهان باغی که عمده‌ترین مصرف‌کننده آب در این منطقه هستند و به‌منظور مدیریت منابع آبی کارآمد است.

(Mokhtari and Shirani, 2020) با استفاده از الگوریتم SEBAL و داده‌های ماهواره‌ای ETM<sup>+</sup>، برآوردی از تبخیر و تعرق واقعی به‌صورت ماهانه و روزانه

<sup>10</sup> Digital Elevation Model (DEM)

<sup>9</sup> Thematic Mapper



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig 1. Location of the study area

که در آن،  $\alpha$  آلبیدوی سطحی،  $RS_{\downarrow}$  تابش موج کوتاه ورودی  $0.3/3$  تا  $3$  میکرومتر ( $w.m^{-2}$ )،  $RL_{\downarrow}$  تابش موج بلند ورودی سه تا  $100$  میکرومتر ( $w.m^{-2}$ )،  $RL_{\uparrow}$  تابش موج بلند خروجی ( $w.m^{-2}$ ) و  $\epsilon_0$  گسیل‌مندی سطحی پهن نوار است (Bastiaanssen et al., 1998).

**شار گرمای خاک (G):** شار گرمای خاک میزان ذخیره گرمای داخل خاک و پوشش گیاهی در اثر هدایت مولکولی است (Sauer and Horton, 2005). در الگوریتم SEBAL، ابتدا نسبت  $\frac{G}{R_n}$  برای نیمه‌روز با استفاده از رابطه تجربی (۳) که توسط Bastiaanssen et al., (1998) توسعه یافته است، محاسبه می‌شود.

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s(0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)}{1 - 0.98NDVI^4} \quad (3)$$

در این رابطه،  $T_s$  دمای سطح (درجه سانتی‌گراد)،  $\alpha$  آلبدوی سطحی،  $NDVI$  شاخص پوشش گیاهی و  $R_n$  تابش خالص خورشیدی است.

**شار گرمای محسوس (H):** شار گرمای محسوس عبارت است از میزان هدررفت گرما به هوا به وسیله همرفت و هدایت مولکولی و بر اثر اختلاف دما است. در این روش، ابتدا دو پیکسل آستانه انتخاب می‌شود (Gao et al., 2017; Zolfaghari et al., 2016) که یکی از این پیکسل‌ها که پیکسل سرد نامیده می‌شود، مربوط به

**الگوریتم SEBAL:** این الگوریتم، مقدار تبخیر و تعرق واقعی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و کمینه داده‌های زمینی مورد نیاز و بر اساس معادله توازن انرژی محاسبه می‌کند. از آنجایی که ماهواره‌ها تنها می‌توانند در زمان گذر اطلاعات را ارائه دهند، لذا الگوریتم SEBAL قابلیت محاسبه تبخیر و تعرق در زمان گذر ماهواره (۱۰ و ۳۰ دقیقه صبح) را دارد. همان طوری که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، معادله توازن انرژی سطح به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Allen et al., 2001).

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

که در آن،  $ET$  شار گرمای نهان (انرژی که برای تبخیر آب به کار می‌رود) ( $w.m^{-2}$ ) و  $R_n$  تشعشع خالص در سطح ( $w.m^{-2}$ ) و  $G$  شار گرمای خاک ( $w.m^{-2}$ ) و  $H$  شار گرمای محسوس به هوا ( $w.m^{-2}$ ) است.

**تابش خالص خورشید ( $R_n$ ):** تابش خالص خورشید بیان‌کننده میزان انرژی تابشی واقعی موجود در سطح زمین است که بر اساس بقای انرژی تعیین می‌شود. بر این اساس، اختلاف بین میزان شار ورودی و خروجی از سطح زمین بیان‌کننده تابش خالص است (Blonquist et al., 2010).

$$R_n = (1 - \alpha) \times R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} \quad (2)$$

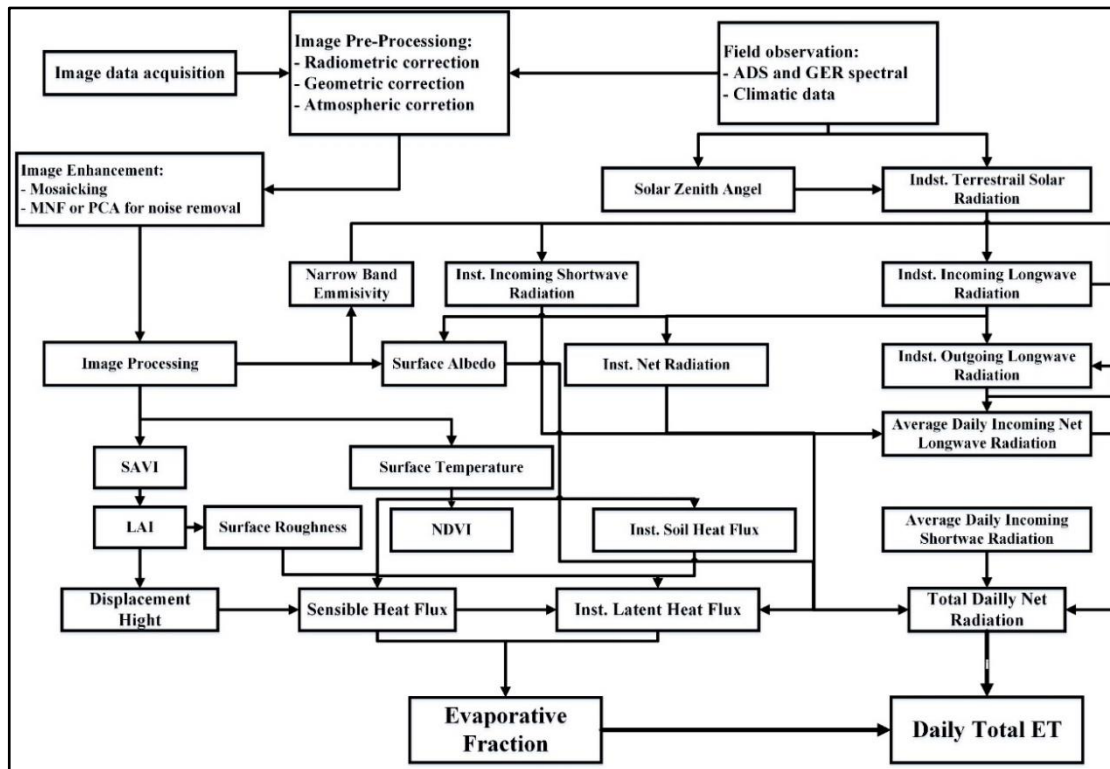
گرمای محسوس به صورت رابطه (۴) محاسبه می شود (Bastiaanssen et al., 1998).

$$H = \frac{\rho \cdot c_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad (4)$$

در این رابطه،  $p$  چگالی هوا ( $\text{Kg m}^{-3}$ )،  $c_p$  گرمای ویژه هوا ( $1004 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )،  $dT$  اختلاف دما ( $T_1 - T_2$ ) (K) بین دو ارتفاع ( $Z_1 - Z_2$ ) و  $r_{ah}$  مقاومت آئرو دینامیکی برای انتقال گرما ( $\text{s.m}^{-1}$ ) است. در رابطه (۴)  $dT$  و  $r_{ah}$  مجهول بوده و برای آن‌ها دو پارامتر پیکسل سرد و گرم و سرعت باد استفاده می شود.

منطقه‌ای کاملاً پوشیده از گیاه و آبیاری شده است. دمای سطح در این پیکسل نزدیک به دمای هوا و تبخیر و تعرق، میانگین تبخیر و تعرق مرجع است.

پیکسل دوم که پیکسل گرم نام دارد، زمین کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک است که مقدار شار گرمای نهان تبخیر در این پیکسل صفر فرض می شود. در الگوریتم SEBAL، ابتدا شار گرمای محسوس برای این دو پیکسل محاسبه می شود، سپس برای سایر پیکسل‌ها تخمین زده می شود. مقدار شار



شکل ۲- نمودار گردش فرایند شبیه‌سازی تبخیر و تعرق در الگوریتم SEBAL  
 Fig 2. The flowchart of the evapotranspiration simulation process in the SEBAL algorithm

شده و شاخص پوشش گیاهی بین ۰/۴ تا ۰/۶ باشد و همچنین، میزان آلبیدوی آن بین ۰/۲۲ تا ۰/۲۴ باشد. از طرفی دیگر، منظور از پیکسل گرم، زمین تقریباً بدون پوشش را شامل می شود که میزان پوشش گیاهی آن بین صفر تا ۰/۴ و آلبیدوی آن بین ۰/۱ تا ۰/۲ باشد. **دمای سطح زمین ( $T_s$ ):** برای محاسبه دمای سطح زمین در لندست ۸ از شاخص دمای درخشندگی استفاده می شود. با توجه به این که در تصاویر لندست ۸ دو نوار حرارتی ۱۰ و ۱۱ وجود دارد، برای نوارهای ذکر

**انتخاب پیکسل سرد و گرم:** اجرای صحیح الگوریتم SEBAL وابسته به انتخاب دقیق پیکسل‌های سرد و گرم است (Laipelt et al., 2020) که این مرحله از پژوهش، خروجی مناسب و مورد نظر تبخیر و تعرق را تحت شعاع خود قرار می دهد. به طوری که در صورت کوچک‌ترین خطایی در انتخاب این دو پیکسل، مقادیر تبخیر و تعرق خلاف واقعیت را نشان می دهد. منظور از پیکسل سرد و گرم، بیشترین و کمترین دما نیست، بلکه منظور از پیکسل سرد، پیکسلی است که اخیراً آبیاری



نوار ۱۱ لندست ۸،  $B11rad$  رادیانس تصحیح شده نوار ۱۱ لندست ۸، مقدار  $K1\_CONSTANT\_BAND\_11$  برابر با  $744/8853$  و مقدار  $K2\_CONSTANT\_BAND\_11$  برابر با  $1321/0789$  است (Shawash, 2015).

دمای سطح زمین از طریق رابطه (۷) محاسبه می‌شود (Vali et al., 2019).

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon N B K_1}{R_c} + 1\right)} \quad (7)$$

که در آن،  $R_c$  تابش گرمایی اصلاح‌شده،  $K_1$  و  $K_2$  مقادیر ثابتی هستند که  $K_1$  برابر  $774/89$  و  $K_2$  برابر  $1321/08$  است (Shawash, 2015). این پارامترها در محاسبه انرژی خالص ورودی به سطح زمین نیز موثر هستند. در شکل ۳، پارامترهای مذکور نشان داده شده است.

شده، معادله دمای سطح به صورت مجزا محاسبه می‌شود و در آخر، دمای سطح به دست آمده حاصل از دو نوار، از همدیگر میانگین‌گیری می‌شود (Pahlevanzadeh et al., 2019).

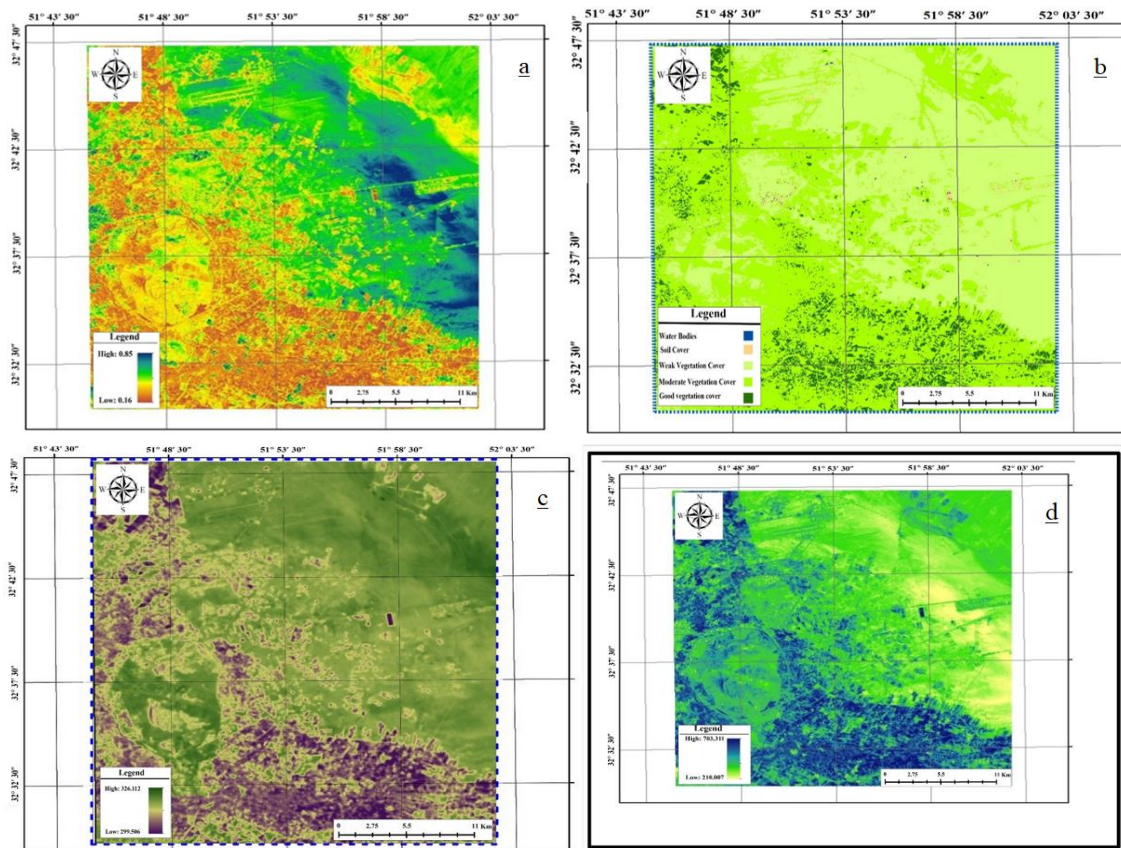
برای به دست آوردن دمای درخشندگی از رابطه (۵) و (۶) استفاده می‌شود.

$$BT_{Band10} = \frac{K2\_CONSTANT\_BAND_{10}}{\log\left(\frac{K1\_CONSTANT\_BAND_{10} + 1}{B10rad}\right)} \quad (5)$$

که در آن،  $BT\_Band10$  دمای درخشندگی برای نوار ۱۰ لندست ۸،  $B10rad$  رادیانس تصحیح شده باند ۱۰ لندست ۸، مقدار  $K1\_CONSTANT\_BAND_{10}$  برابر با  $744/88$  و مقدار  $K2\_CONSTANT\_BAND_{10}$  برابر با  $1321/08$  است.

$$BT_{Band11} = \frac{K2\_CONSTANT\_BAND_{11}}{\log\left(\frac{K1\_CONSTANT\_BAND_{11} + 1}{B11rad}\right)} \quad (6)$$

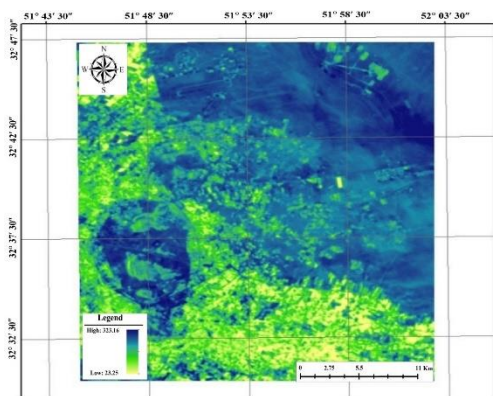
که در آن،  $BT\_Band11$  دمای درخشندگی برای



شکل ۳- آلبیدوی سطحی (a)، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) (b)، دمای سطح (°K) (c) و انرژی خالص رسیده به زمین (w.m<sup>-2</sup>) (d)  
**Figure 3.** Surface albedo (a), Normalized Different Vegetation Index (NDVI) (b), Surface temperature (°K) (c) and Net radiation flux (w.m<sup>-2</sup>) (d)

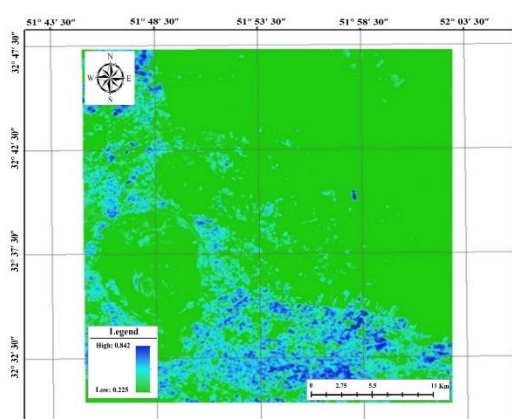
## نتایج و بحث

منطقه که انرژی هدر می‌رود و به سمت آسمان انتقال می‌یابد، محدوده‌هایی هستند که زمین بدون پوشش بوده و خاک لخت است و از طرفی دیگر، پوشش گیاهی در جلوگیری از هدررفت انرژی نقش مهمی بازی می‌کند.



شکل ۵- گرمای محسوس خاک ( $w.m^{-2}$ )  
Fig 8. Sensible heat flux ( $w.m^{-2}$ )

بیشترین تبخیر و تعرق محاسبه شده در منطقه در بخش‌های جنوبی و حاشیه شمال غربی دشت بوده است، جایی که پوشش گیاهی بیشتری دارد و در این محدوده میزان تبخیر و تعرق لحظه‌ای  $0.18$  (شکل ۶) و میزان تبخیر و تعرق روزانه  $20$  میلی‌متر است (شکل ۷). در حالی که در مناطق بدون پوشش و خاک لخت در شمال شرقی محدوده، میزان تبخیر و تعرق لحظه‌ای  $0.12$  و روزانه پنج میلی‌متر محاسبه شده است.

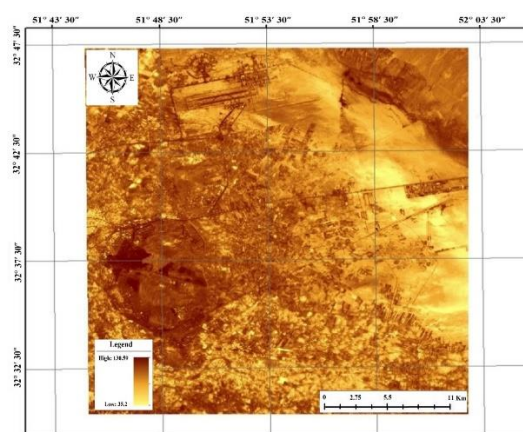


شکل ۶- تبخیر و تعرق لحظه‌ای ( $mm.h^{-1}$ )  
Fig 9. Instantaneous evapotranspiration ( $mm.h^{-1}$ )

در ارزیابی دقت مدل، از داده‌های میانگین تبخیر و تعرق سه ساعته ایستگاه سینوپتیک شرق اصفهان، به دلیل در دسترس نبودن داده‌های تبخیر و تعرق ساعتی

شاخص‌های موثر در تبخیر و تعرق شامل آلبیدوی سطحی، دمای سطح، شاخص پوشش گیاهی NDVI، تابش ورودی و خروجی موج کوتاه هستند. کمترین مقدار آلبیدو مربوط به مناطق دارای پوشش گیاهی مترکم است که در منطقه به صورت باغ و کشاورزی قابل مشاهده است که دمای سطحی به دست آمده در این محدوده بین  $20$  تا  $50$  درجه سانتی‌گراد است. کمترین مقادیر آلبیدو مربوط به محدوده‌هایی است که دارای پوشش گیاهی بوده و بیشترین این مقدار مربوط به مناطق لخت و بدون پوشش است. از شاخص‌های دیگر در محاسبه تبخیر و تعرق، میزان شار گرمای خاک و میزان شار گرمای محسوس است که شکل‌های ۴ تا ۷، این دو پارامتر و تبخیر و تعرق روزانه و لحظه‌ای را نشان می‌دهد. آلبیدوی سطحی به دست آمده که نسبتی از تشعشع انعکاس یافته عوارض زمین نسبت به تشعشع رسیده از خورشید است، بین  $0.12$  تا  $0.185$  بوده است.

شکل ۴، نشان می‌دهد که بخش‌هایی از منطقه که قابلیت کمتری در انتقال گرما به داخل خاک دارند، محدوده‌هایی هستند که دارای پوشش گیاهی بوده و خاک پوشش بیشتری دارد. به این دلیل که پوشش گیاهی مانع از انتقال گرمای خاک به داخل زمین می‌شود.

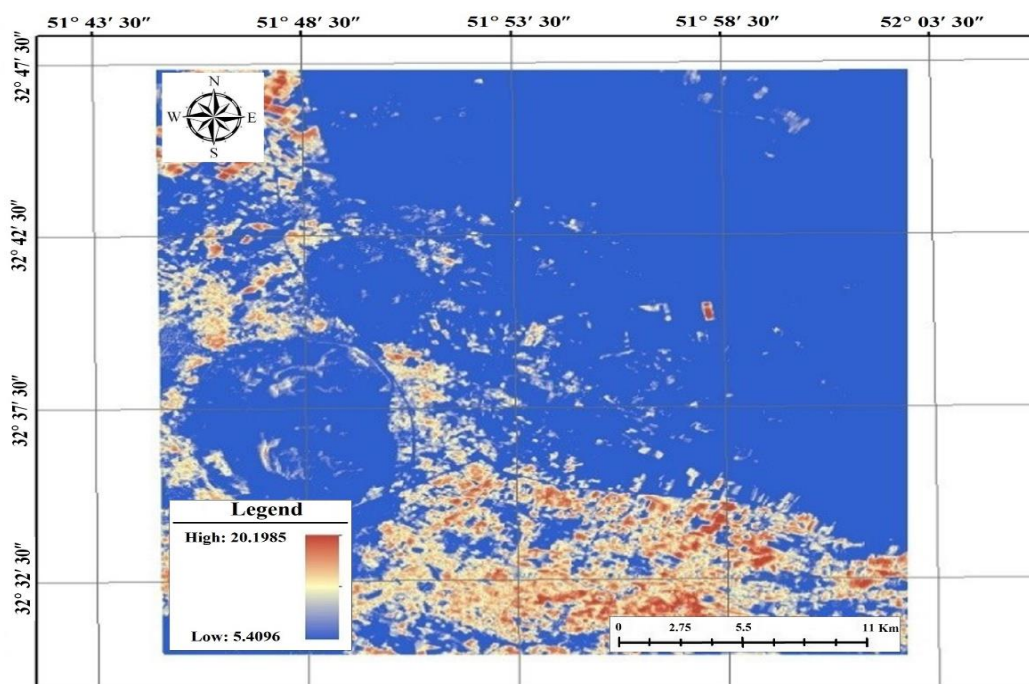


شکل ۴- شار گرمایی خاک ( $w.m^{-2}$ )  
Fig 7. Soil heat flux ( $w.m^{-2}$ )

در مقابل، شکل ۵ نشان می‌دهد که خاک بدون پوشش، نقش مهمی در هدررفت و انتقال گرمای زمین به سمت هوا دارد، به طوری که بیشترین بخش‌هایی از

الگوریتم SEBAL برای بررسی و محاسبه تبخیر و تعرق در منطقه است.

استفاده شده است. مقدار خطای جذر میانگین مربعات<sup>۱۱</sup> به میزان ۰/۱ به دست آمد که نشان از کارایی و قابلیت



شکل ۷- تبخیر و تعرق روزانه (mm.day<sup>-1</sup>)

Fig 10. Daily actual ET (mm.day<sup>-1</sup>)

لحظه‌ای واقعی در محدوده بین ۰/۲۲ تا ۰/۸۴ میلی‌متر محاسبه شده است که با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و دمای هوای نزدیک به سطح (۲۷ تا ۵۰ درجه) و مقدار تبخیر و تعرق ثبت شده به روش پنمن-مانیت و (۰/۳ میلی‌متر در ایستگاه سینوپتیک شرق اصفهان)، این مقدار در محدوده معقولی قرار دارد. همچنین، مقایسه خروجی‌های الگوریتم SEBAL با مقدار تبخیر و تعرق به دست آمده در همین ایستگاه که میزان RMSE مقدار ۰/۱ را نشان می‌دهد، بیانگر مناسب بودن این الگوریتم در محاسبه تبخیر و تعرق در منطقه سگری است. به‌طور مشخص، با توجه به نیاز روز افزون کشور برای جلوگیری از هدررفت یا مصرف مازاد آب در بخش کشاورزی چه از طریق تغییر الگوی کشت و چه تغییر در روش‌های آبیاری، به‌کارگیری ابزار توسعه داده شده الگوریتم SEBAL در این پژوهش، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در اختیار متخصصین و مدیران بخش آب و کشاورزی قرار دهد.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش انجام شده، به‌منظور تخمین تبخیر و تعرق واقعی روزانه دشت سگری از الگوریتم SEBAL و داده‌های تبخیر و تعرق روزانه ایستگاه سینوپتیک شرق اصفهان (تشت تبخیر طبقه A) استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد، الگوریتم SEBAL تبخیر و تعرق را در محدوده‌هایی که دارای پوشش گیاهی غالباً کشاورزی و باغ هستند، به‌خوبی پیش‌بینی کرده است. به‌طوری‌که میزان هدررفت آب از طریق بخار را نزدیک به مقادیری پیش‌بینی کرده است که در ایستگاه سینوپتیک شرق اصفهان (فرودگاه شهید بهشتی) ثبت شده است. خروجی‌های نهایی اجرای این پژوهش با نتایج Jafari et al., (2017), Ziaee et al., (2016), Jaber et al., (2016), Simaei et al., (2013) و Ghamarnia and Rezvani (2018) مطابقت دارد. میزان خطای به دست آمده در محاسبه الگوریتم SEBAL ۰/۱ درصد بوده است. میزان تبخیر و تعرق

<sup>11</sup> Root Mean Square Error (RMSE)

## منابع مورد استفاده

- Abdoli, H. 2010. Estimation of evapotranspiration using Surface Energy Balance Algorithm for Ground (SEBAL) and satellite image. MSc Thesis, Isfahan University of Technology, 90 pages (in Persian).
- Abolhasani, K. and H. Zareei. 2016. Spatial interpolation and reference evapotranspiration using geostatistical methods and geographic information system. *Journal of Water Science Engineering*, 6(13): 7-21 (in Persian).
- Allen, R., A. Morse, M. Tasumi, W.G.M. Bastiaanssen, W.J. Kramber and H. Anderson. 2001. Evapotranspiration from landsat (SEBAL) for water rights management and compliance with multi-state water compacts (Vol. 2). *Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Australia.
- Almhab, A. and I. Busu. 2008. Estimation of evapotranspiration with modified SEBAL model using landsat-TM and NOAA-AVHRR images in arid mountains area. *Proceedings of the Second Asia International Conference on Modelling and Simulation*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Bastiaanssen, W.G.M. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 229(1): 87-100.
- Bastiaanssen, W.G.M., E.J.M. Noordman, H. Pelgrum, G. Davids, B.P. Thoreson and R.G. Allen. 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(1): 85-93.
- Bastiaanssen, W.G.M., M. Menenti, R.A. Feddes and A.A.M. Holtslag. 1998. A remote sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL), 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212-213: 198-212.
- Bdoli, H. 2010. Estimation of evapotranspiration using Surface Energy Balance Algorithm for Ground (SEBAL) and satellite image. MSc Thesis, Isfahan University of Technology, 384 pages (in Persian).
- Blonquist, J.M., R.G. Allen and B. Bugbee. 2010. An evaluation of the net radiation sub-model in the ASCE standardized reference evapotranspiration equation: implications for evapotranspiration prediction. *Agricultural Water Management*, 97(7): 1026-1038.
- Bolhasani, K. and H. Zareei. 2016. Spatial interpolation and reference evapotranspiration using geostatistical methods and geographic information system. *Journal of Water Science Engineering*, 6(13): 7-21 (in Persian).
- Gao, Z., E.S. Russell, J.E. Missik, M. Huang, X. Chen, C.E. Strickland, R. Clayton, E. Arntzen, Y. Ma and H. Liu. 2017. A novel approach to evaluate soil heat flux calculation: an analytical review of nine methods. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(13): 6934-6949.
- Ghamarnia, H. and Z. Niazi. 2018. Evaluation and comparison of different methods of reference evapotranspiration based on mass transmission methods in Iran and its zoning by using GIS. *Iran-Water Resources Research*, 14(3): 318-338 (in Persian).
- Isfahan Meteorological Organization. 2021. Isfahan weather forecast organisation. Available online at: [http://esfahanmet.ir/ShowPage.aspx?page\\_=form&order=show&lang=1&sub=0&PageId=5884&codeV=1&tempname=newskins](http://esfahanmet.ir/ShowPage.aspx?page_=form&order=show&lang=1&sub=0&PageId=5884&codeV=1&tempname=newskins)
- Jaber, H., S.B. Mansor, B. Pradhan and A. Noordin. 2016. Evaluation of SEBAL model for evapotranspiration mapping in Iraq using remote sensing and GIS. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(6): 3950-3955.
- Jafari, H., P. Afrasiab, M. Delbari and M. Taheri. 2017. Determination of evapotranspiration and crop coefficient of olive in different growth stages using remote sensing techniques and moisture balance in Tarom Zanjan. *Irrigation and Water Engineering*, 7(27): 120-134 (in Persian).
- Jassas, H., W. Kanoua and B. Merkel. 2015. Actual evapotranspiration in the Al-Khazir Gomal Basin (Northern Iraq) using the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and water balance. *Geosciences*, 5(2): 141-159.
- Laipelt, L., A.L. Ruhoff, A.S. Fleischmann, R.H. Kayser, E.D. Kich, H.R. da Rocha and C.M. Neale. 2020. Assessment of an automated calibration of the SEBAL algorithm to estimate dry-season surface-energy partitioning in a forest-savanna transition in Brazil. *Remote Sensing*, 12(7): 1108.
- McShane, R.R., K.P. Driscoll and R. Sando. 2017. A review of surface energy balance models for estimating actual evapotranspiration with remote sensing at high spatiotemporal resolution over large extents (2017-5087). *Scientific Investigations Report*, 30 pages.
- Miryaghoubzadeh, M., K. Solaimani, M. Habibnejad Roshan, K. Shahedi, K. Abbaspour and S. Akhavan. 2014. Estimation and assessment of actual evapotranspiration using remote sensing data, case study: Tamar Basin, Golestan Province, Iran. *Irrigation and Water Engineering*, 4(15): 89-102 (in Persian).

- Mokhtari, A. and K. Shirani. 2020. Evaluation of actual daily evapotranspiration with SEBAL algorithm, case study: Segzi Plain, Isfahan. Proceedings of the Third National Conference on Development of Water Science Technology, Watershed Management and River Engineering, Tehran, Iran.
- Niazi, Z. 2018. Evaluation and comparison of different methods of reference evapotranspiration based on mass transmission methods in Iran and its zoning by using GIS. *Iran-Water Resources Research*, 14(3): 263-267.
- Nouri, H. and M. Faramarzi. 2017. Investigating actual evapotranspiration in different land uses in mountainous areas using SEBAL algorithm and a combination of MODIS and Landsat 8 satellite images. *Geography and Environmental Planning*, 28(2): 39-56 (in Persian).
- Pahlevanzadeh, N., M. Janalipou, N. Aabbaszadeh Teharni and F. Farhanj. 2019. Accuracy improvement of land surface temperature extracted from thermal bands of landsat satellite using linear regression and ground observations. *Geography and Environmental Planning*, 30(3): 59-78.
- Poormohammadi, S., M.T. Dastorani, S.A.M. Cheraghi, M.H. Mokhtari and M.H. Rahimian. 2011. Evaluation and estimation of water balance components in arid zone catchments using RS and GIS, case study: Manshad Catchment, Yazd Province. *Water and Wastewater*, 22(3): 99-108 (in Persian).
- Sanaei Nejad, S.H., S. Noori and S.M. Hasheminia. 2011. Estimation of evapotranspiration using satellite image data in Mashhad area. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, 25(3): 540-547 (in Persian).
- Sauer, T.J., and R. Horton. 2005. Soil heat flux. *Micrometeorology in Agricultural Systems*, Publications from USDA-ARS/UNL Faculty, 154 pages.
- Shawash, S. 2015. Actual crop evapotranspiration estimation using SEBAL model. *A Manual for Regional Coordination on Improved Water Resources Management and Capacity Building*, Ministry of Water and Irrigation, Amman, Jordan.
- Simaie, E., M. Homae and A. Norouzi. 2013. Evaluating SEBAL model to estimate evapotranspiration using MODIS and TM sensors data. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 2(4): 29-40 (in Persian).
- Teixeiraa, A.H.de C., W.G.M. Bastiaanssen, M.D. Ahmad and M.G. Bos. 2009. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the low-middle São Francisco River Basin, Brazil, Part B: application to the regional scale. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(3): 477-490.
- Vali, A., A. Ranjbar, M. Mokarram and F. Taripanah. 2019. An investigation of the relationship between land surface temperatures, geographical and environmental characteristics and biophysical indices from landsat images. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(3): 35-58 (in Persian).
- Zamansani, E., A. koorani, A. Sadeghi-E-Lari and J. Sadidi. 2017. Evaluation of evapotranspiration of wheat using SEBAL algorithm, case study: agricultural research station of Haji Abad. *Physical Geography Research Quarterly*, 49(4): 667-681 (in Persian).
- Ziaee, R., M. Moghaddasi, S. Paimozd and M. Bagher. 2019. Comparison of SEBS and SEBAL algorithms in evaporation estimation from open water surface with the assessment of the salinity effect. *Journal of Water and Soil Science*, 22: 317-329 (in Persian).
- Zolfaghari, H., J. Sahraei, J. Masoompoor Samakoosh and F. Borzoi. 2016. Study of sensible heat flux and its relationship with temperature changes and wind during warm periods of year in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(3): 431-450 (in Persian).