



## Estimation of actual evapotranspiration of agricultural and horticultural products using satellite processing

Zakaria Ebrahimi<sup>1</sup>, Javad Behmanesh<sup>2</sup>, Vahid Rezaverdinejad<sup>3</sup>

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Email:

[zakaryabraimi2@gmail.com](mailto:zakaryabraimi2@gmail.com)

2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Email:

[j.behmanesh@urmia.ac.ir](mailto:j.behmanesh@urmia.ac.ir)

3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Iran:

[v.verdinejad@urmia.ac.ir](mailto:v.verdinejad@urmia.ac.ir)

### Article Info

**Article type:** Research Article

### Article history:

**Received:** Jan. 6, 2024

**Revised:** June. 6, 2024

**Accepted:** Aug. 6, 2024

**Published online:** Nov. 2024

### Keywords:

Evapotranspiration,  
Remote Sensing,  
SEBAL,  
Water Requirement.

### ABSTRACT

This study was conducted to determine the actual evapotranspiration values and water supply status of different cultivation pattern in 341 hectares of agricultural lands of Deryas and Tut-Aghaj of Mahabad plain in West Azarbaijan, with pressurized irrigation systems using remote sensing tools and SEBAL algorithms. To carry out this research, 7 different images of Landsat 8 satellite were downloaded in the period from May to September of 2022 (plant growth season) and the amount of crop water requirement on the basis of the cultivation pattern was estimated in the study area and compared to the amount of water consumed in the irrigation network. On the basis of obtained results, the highest amounts of evapotranspiration in the growth season relates to apple, Peach, alfalfa, cherry, sour cherry, apricot, plum stencil, grape and wheat, respectively. Also, the amount of water consumption during the growing season on the 341 hectares of the study area was estimated to be 2060000 m<sup>3</sup>, while the water input into the network in the previous agricultural year was more than 2500000 m<sup>3</sup>, representing an 82% efficiency of the pressurized irrigation network in Daryas. It is mentioned that in most of the study area, unauthorized wells are also used for land irrigation. Based on the obtained results in this study, it is inevitable to control the condition of the irrigation network and the amount and method of water distribution.

Cite this article: Ebrahimi, Z., Behmanesh, J., & Rezaverdinejad, V. (2024) Estimation of actual evapotranspiration of agricultural and horticultural products using satellite processing, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (9), 1617-1632. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370619.669641>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370619.669641>



## EXTENDED ABSTRACT

### Background and purpose:

In the world, most of the freshwater resources are used for agricultural activities, but the reduction of these resources in the recent years has led to a significant focus on water efficiency in this sector. Nowadays, the agriculture sector has increasingly entered to competitive space with other sectors in obtaining more water with low price, especially during the peak consumption time. It is clear that, farmers economically need to achieve the most optimal crop yield per unit of consumed water by increasing irrigation efficiency. Therefore, developing the best irrigation scheduling to the crop pattern is essential so that the farmers can accurately be enable to estimate the required water for their fields. It is mentioned that the fundamental factor in achieving the best irrigation planning is to calculate the accurate volume of required water. For this purpose, measuring the water requirement or estimating crop evapotranspiration (ET) has vital role for water conservation in watershed level. Evapotranspiration is a phenomenon in which water losses are a combination of two processes including evaporation (directly from the soil) and transpiration (from plants). This process depends on the several factors including type of vegetation cover, soil characteristics, climate, topography, and land use. Therefore, estimating ET for a large and vast region is faced with important and significant challenge. In recent years, remote sensing technology has become an efficient tool for data collection and developing high-precision evapotranspiration estimation techniques which is as one of the most important factors in agricultural water resource management. This study aims to determine the actual evapotranspiration of the pressurized irrigation of Dryas and Tootaghaj network using the SEBAL algorithm. In this direction, the water requirement and irrigation efficiency of the study area was evaluated.

### Materials and methods:

This study was conducted in the pressurized irrigation network of Daris and Toot Aghaj in the southwest of the Lake Urmia basin. The crops in the study area include apple, pear, alfalfa, wheat, peach, apricot, cherry, plum, and sour cherry. In this research, 7 different Landsat 8 satellite images were utilized. The actual evapotranspiration in the study area was estimated using the SEBAL algorithm and the processed images were used with ENVI software.

### Findings:

The results of estimating actual evapotranspiration values in the study area indicate that the highest level of water loss through evapotranspiration was happened during the middle stages of the growing season, which corresponds to the period from mid-May to mid-July. The highest daily evapotranspiration value corresponds to the date of July 18, 2022, equal to  $12.39 \text{ mm day}^{-1}$ . Based on the results of this study, the highest amount of seasonal evapotranspiration is related to the apple with a value of 773.934 mm, after that peach with a value of 763.714 mm and alfalfa with a value of 701.778 mm in the study area. have. Based on estimates and calculations, the total water requirement within the study area is 2,060,000 cubic meters. However, due to the entry of approximately  $2,500,000 \text{ m}^3$  of water into the network and the unauthorized use of wells within the studied area, a significant amount of water resources is being loosed due to unsuitable management. Therefore, a review of land water resource management in the Daryas and Toot Aghaj plains is crucial.

### Conclusion:

In this study, an attempt was made to evaluate the water consumption and management of pressurized irrigation networks in Daryas and Tootaghaj plains using remote sensing methods. The actual evapotranspiration of this network in 2022 was estimated to be approximately  $2,060,000 \text{ m}^3$ , which is 18% higher compared to the water delivered to the network, which was  $2,500,000 \text{ m}^3$ . It should be noted that changes in cropping patterns in the recent years have led to increase the extraction of groundwater by farmers, which could potentially cause irreparable damage to environmental, economic, and social areas in the face of the country's water crisis in the future. Finally, the results obtained from remote sensing technology and satellite images showed that monitoring and assessing the agricultural land status at large scales using this method has been reasonably accurate. It is possible to improve the distribution and efficiency of water in irrigation and drainage networks by creating maps of evapotranspiration and water productivity.

### Author Contributions

Z.E.: Writing – original draft, Formal analysis, Conceptualization, Data curation, Methodology, Validation, Writing – review & editing. J.B.: Writing – review & editing. V. R.: Writing – review & editing.

### Data Availability Statement

Not applicable

**Acknowledgements**

The authors would like to thank Urmia University and West Azerbaijan province Jahad Keshavarzi for their kindley supports.

**Ethical considerations**

The study was approved by the Ethics Committee of the Urmia University. The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

**Conflict of interest**

The author declares no conflict of interest.

## برآورد تبخیر-تعرق واقعی محصولات زراعی و باغی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای

ذکریا ابراهیمی<sup>۱</sup>، جواد بهمنش<sup>۲\*</sup>، وحید رضوردی نژاد<sup>۳</sup>۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، رایانامه: [zakaryabrahimy2@gmail.com](mailto:zakaryabrahimy2@gmail.com)۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، رایانامه: [j.behmanesh@urmia.ac.ir](mailto:j.behmanesh@urmia.ac.ir)۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، رایانامه: [v.verdinejad@urmia.ac.ir](mailto:v.verdinejad@urmia.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	این مطالعه با هدف اندازه‌گیری مقادیر واقعی تبخیر-تعرق و وضعیت تامین آب اراضی کشاورزی روستاهای دریا س و توت‌آغاج در محدوده شهرستان مهاباد، استان آذربایجان غربی در الگوهای کشت مختلف، در ۳۴۱ هکتار از اراضی مورد مطالعه با سیستم آبیاری تحت فشار با استفاده از ابزارهای سنجش از دور و الگوریتم سیال انجام شد. برای انجام این تحقیق ۷ تصویر مختلف ماهواره لندست ۸، در بازه زمانی اردیبهشت تا شهریور ماه (فصل رشد) سال ۱۴۰۱ مورد بررسی قرار گرفت و حجم آب مورد نیاز گیاهان بر اساس الگوی کشت منطقه در طول فصل رشد برآورد و نیاز خالص آبیاری با مقادیر مصرف آب در شبکه آبیاری محدوده مورد مطالعه، مقایسه شد. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی بیشترین مقادیر تبخیر-تعرق در فصل رشد به ترتیب مربوط به محصول سیب، هلو، یونجه، گیلاس، آلبالو، زردآلو، شابلون، انگور و گندم است. همچنین در سطح محدوده مورد بررسی با توجه به الگوی کشت، مقدار مصرف آب در فصل رشد در سطح ۳۴۱ هکتار مورد مطالعه، برابر با ۲۰۶۰۰۰۰ مترمکعب برآورد شد که با توجه به اطلاعات موجود مقدار آب وارد شده به شبکه در سال زراعی گذشته بیش از ۲۵۰۰۰۰۰ مترمکعب بوده است که نمایانگر راندمان ۸۲ درصدی شبکه آبیاری تحت فشار دریا س و توت‌آغاج است. البته شایان ذکر است که در اکثر اراضی محدوده مورد مطالعه، از چاه‌های غیر مجاز نیز برای آبیاری اراضی استفاده به عمل می‌آید بر همین اساس بررسی دقیق وضعیت شبکه و اصلاح و بازنگری مقدار و نحوه توزیع آب اجتناب‌ناپذیر است.
واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق، سیال، سنجش از دور، نیاز آبی.	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۱۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۱۵	
تاریخ انتشار: آذر ۱۴۰۳	

استناد: ابراهیمی، ذکریا، بهمنش، جواد، رضوردی نژاد؛ وحید، (۱۴۰۳) برآورد تبخیر-تعرق واقعی محصولات زراعی و باغی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، مجله

تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۹)، ۱۶۳۲-۱۶۱۷. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370619.669641>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370619.669641>

## مقدمه

بیشتر منابع آب شیرین در کشور صرف فعالیت‌های کشاورزی می‌شود ولی کاهش این منابع در سال‌های اخیر موجب شده است تا بهره‌وری آب در این زمینه بسیار مورد توجه قرار گیرد. از همین رو کشاورزان طی سال‌های اخیر وارد رقابتی شدید برای مقدار دریافت آب و قیمت آن با دیگر بخش‌ها همانند صنعت به‌ویژه در فصل پیک مصرف گیاه شده‌اند. بدیهی است که از لحاظ اقتصادی کشاورزان باید با افزایش راندمان آبیاری به بهینه‌ترین برداشت محصول به ازای هر واحد آب مصرفی، دست پیدا کنند. از همین رو پیاده‌سازی بهترین برنامه ریزی آبیاری متناسب با الگوی کشت که موجب می‌شود تا کشاورز مقدار دقیق آب موردنیاز برای مزرعه را برآورد کند، ضروری است. شایان ذکر است که فاکتور اساسی برای رسیدن به بهترین برنامه‌ریزی آبیاری، محاسبه دقیق حجم آب مصرف شده می‌باشد که برای این امر اندازه‌گیری نیاز آبی یا به عبارتی دیگر، برآورد تبخیر - تعرق پس از تعیین الگوی کشت امری ضروری است (Zhao et al., 2020; Tan et al., 2021). از طرفی تبخیر - تعرق به‌عنوان فرایندی که سبب انتقال آب از سطح به اتمسفر می‌شود نقش مؤثری در شکل‌دادن ارتباط انرژی، آب و چرخه کربن دارد. با افزایش توجه به تغییرات اقلیمی و تأثیر این پدیده بر کشاورزی و محیط‌زیست، محاسبه مقادیر واقعی تبخیر - تعرق به منظور کاربردهای متعدد در مدیریت منابع آب اهمیت زیادی پیدا کرده است (Laipelt et al., 2021). دستیابی به داده‌ها و اطلاعات زمانی و مکانی مقادیر تبخیر - تعرق نه‌تنها برای اندازه‌گیری مقادیر هدررفت آب در شبکه‌های آبیاری مفید است بلکه می‌تواند اطلاعات مفید و کارآمدی در رابطه با الگوی کشت مطلوب و تخصیص و توزیع مناسب آب را در اختیار مدیران کشاورزی قرار دهد (Ghaderi et al., 2020). در سال‌های اخیر سنجش از دور به ابزاری کارآمد برای دستیابی به داده‌ها و توسعه تکنیک‌های برآورد دقیق مقادیر تبخیر - تعرق به‌عنوان فاکتور اصلی مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی تبدیل شده است (Faris Beg et al., 2016). در همین رابطه الگوریتم بیلان انرژی برای سطح (سبال) نقش کاربردی و مؤثری در تخمین توزیع مکانی تبخیر - تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای داشته است. Kamali و Nazari (2018) نیاز آبی محصول ذرت در استان مازندران را با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸ و الگوریتم سبال برآورد کرده و نقشه‌های نیاز آبی ذرت در استان مازندران را تولید و مقادیر نیاز آبی این محصول در استان مازندران را معادل ۳۴۵,۱۶ تا ۳۸۳,۹۹ میلی‌متر اندازه‌گیری نمودند که در مقایسه با مقادیر ذکرشده در کتاب مرجع آب (Farshi et al., 1997) ۲۰ درصد کمتر و در مقایسه با سند ملی آب ۴۱ درصد بیشتر است. ابراهیمی و یزدانی (۱۳۹۲) با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS و الگوریتم سبال مقادیر واقعی تبخیر - تعرق را در فضای سبز پارک ملت مشهد برآورد کرده و همبستگی روش سبال با روش پنمن مانیتث - فائو را در برآورد مقادیر تبخیر - تعرق بیش از ۷۵ درصد گزارش نمودند. بررسی سطوح مختلف تأمین آب در باغات پسته دشت سیرجان با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست ۸ و لندست ۷ نشان‌دهنده تأمین ناکافی آب و کم‌آبیاری به مقدار ۳۰ درصد در مرحله سوم رشد (انتهای تیر تا انتهای شهریور) درختان پسته به دلیل افزایش نیاز آبی بوده است و در مجموع نیز متوسط ۱۷ درصدی کم‌آبیاری در سطح باغات پسته این منطقه گزارش شد (بادیه نشین و همکاران، ۱۳۹۲). سنجش کارایی دو مدل سبال و متریک با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS در سطح شهرستان ملایر نشان‌دهنده اختلاف مقادیر تبخیر - تعرق واقعی به دست آمده از هر دو روش سبال و متریک با توجه به شار گرمای خاک محاسبه شده بوده و کارایی مطلوب هر دو مدل در برآورد مقدار تبخیر - تعرق واقعی متناسب با توزیع مکانی بر اساس شرایط پوشش گیاهی و توپوگرافی گزارش شد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۴). تعیین تبخیر - تعرق واقعی گیاهی ذرت در منطقه شمال خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و بر اساس معادل بیلان انرژی سطح (سبال)، مقدار واقعی تبخیر - تعرق ذرت را در مراحل ابتدای رشد، توسعه، مرحله میانی و پایانی به ترتیب ۵/۰۴، ۸/۲۳، ۵/۵۵، ۱/۴۶ میلی‌متر در روز گزارش نمود و نشان‌دهنده کارآمدی مطلوب الگوریتم سبال در سازماندهی منابع آب و بهینه‌سازی مصرف در تأمین نیاز آبی ذرت بود (خلیل ولیزاده و لنگ باف، ۱۳۹۷). در تحقیقی دیگر نیز که توسط (Awada et al., 2022) به منظور برآورد تبخیر - تعرق واقعی در اکوسیستم مدیترانه‌ای به کمک تصاویر ماهواره لندست ۸ و ۵ و با استفاده از الگوریتم سبال انجام گرفت، مقادیر  $MAE$ ،  $R^2$ ،  $RMSE$  به ترتیب برابر با ۰/۰۷۷، ۰/۰۷۷ و ۰/۰۵ برآورد گردید. به همین ترتیب (Fawzy et al., 2021) طی مطالعاتی که در دلتای رود نیل مصر برای محاسبه تبخیر - تعرق روزانه با استفاده از داده‌های ماهواره لندست و الگوریتم سبال انجام دادند، مشاهده کردند که مدل سبال تبخیر - تعرق منطقه را با دقت قابل قبولی تخمین زد. (Costa et al., 2019) طی پژوهشی دیگر، از سنسورهای OLI و TIRS و الگوریتم SEBAL برای محاسبه ET و ضریب گیاهی محصول قهوه استفاده کرد. نتایج حاکی از این تحقیق حاکی از آن بود که روش SEBAL پتانسیل بالایی در برآورد تبخیر - تعرق و محاسبه ضریب گیاهی محصول دارد. تخمین تبخیر - تعرق واقعی به کمک الگوریتم سبال در محدوده عین خوش ایلام، نمایانگر مقادیر خطای ۰/۴۶۶ میلی‌متر در روز برای  $RMSE$  و همبستگی ۰/۹۷ با معادله پنمن مانیتث بود (Ghaderi et al., 2020). در تحقیقی دیگر که توسط (Rawat et al.,



2017) در ناحیه بهوانی هاریانا هند انجام گرفت، مشاهده شد که ET برآورد شده توسط الگوریتم SEBAL همبستگی بالایی با داده‌های لایسیمتر دارد. در پژوهشی دیگر که از تصاویر ماهواره لندست ۸ در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ استفاده شد، تبخیر-تعرق به دست آمده از الگوریتم سبال با تبخیر-تعرق محاسبه شده از روش فائو-پنمن-مانتیت مقایسه شد. مقایسه نتایج نشان داد که تبخیر-تعرق به دست آمده از روش سبال، دارای مطابقت قابل قبولی با تبخیر-تعرق برآورد شده از روش پنمن مانیتیت است و اختلاف معناداری بین دو روش محاسبه شده وجود ندارد (رئیزی و همکاران، ۱۴۰۲). (مرشدی، ۱۴۰۲) طی تحقیقی دیگر در شهرکرد، اقدام به برآورد تبخیر-تعرق واقعی و نیاز آبی گل محمدی با استفاده از الگوریتم سبال نمود. در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۷ و لندست ۸ در قالب الگوریتم سبال در طول دوره رشد استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق نمایانگر کارایی مطلوب الگوریتم سبال در برآورد تبخیر-تعرق واقعی در سطح وسیع بود. (مقبلی دامنه و همکاران، ۱۴۰۱) در پژوهشی دیگر مقادیر تبخیر-تعرق واقعی را با استفاده از الگوریتم سبال و تکنیک سنجش از دور در منطقه فریمان استان خراسان رضوی در سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ برای ۸ روز و با استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۸ برآورد کردند. در این تحقیق با توجه به وسیع بودن منطقه مورد مطالعه و عدم امکان استفاده از وسایل اندازه‌گیری دقیق تبخیر-تعرق واقعی مانند لایسیمتر، برای صحت سنجی نتایج به دست آمده از الگوریتم سبال، از روش استاندارد فائو پنمن-مانتیت به عنوان مقادیر مرجع استفاده شد. مقایسه آماری مقادیر تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از الگوریتم سبال با خروجی‌های روش فائو پنمن-مانتیت نشان داد که ضریب تبیین ۰/۹۶ و میانگین مربعات خطا ۰/۵ میلی‌متر در روز است. این نتایج نشانگر دقت بالای الگوریتم سبال در برآورد تبخیر-تعرق واقعی در اقلیم‌های نیمه‌خشک است. در تحقیق دیگر که با هدف برآورد تبخیر-تعرق واقعی گیاه گندم با استفاده از الگوریتم سبال و مقایسه آن با داده‌های لایسیمتری در دو منطقه مطالعاتی تبریز و کرج انجام شد، مشاهده شد که تبخیر-تعرق واقعی برآورد شده توسط الگوریتم سبال در بیشتر موارد بیش از مقدار تبخیر-تعرق واقعی اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر بود ولی به دلیل مزایای بیشتر الگوریتم سبال توصیه شده بود که در سطح وسیع از این فناوری برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی گیاه گندم استفاده شود (مرشدی و همکاران، ۱۴۰۱). مطالعات متعدد انجام شده بیانگر کارایی مطلوب روش سبال در برآورد مقادیر واقعی تبخیر - تعرق در مقیاس منطقه‌ای و حوضه‌های وسیع است. لیکن مطالعات اندکی تا کنون در رابطه با مقادیر نیاز آبی براساس تنوع محصول و سطوح الگوی کشت و برآورد حجم آب موردنیاز در سطوح زیر کشت توسط الگوریتم سبال انجام شده است، بر همین اساس در این مطالعه که در محدوده اراضی دریاس - توت‌آغاج انجام شد. مقادیر تبخیر - تعرق واقعی به دست آمده از روش سبال براساس اختلاف الگوی کشت براساس اختلاف الگوی کشت محدوده مورد مطالعه به منظور برآورد نیاز واقعی شبکه آبیاری این منطقه با هدف مدیریت بهینه و جلوگیری از هدررفت آب مورد توجه و ارزیابی قرار گرفت.

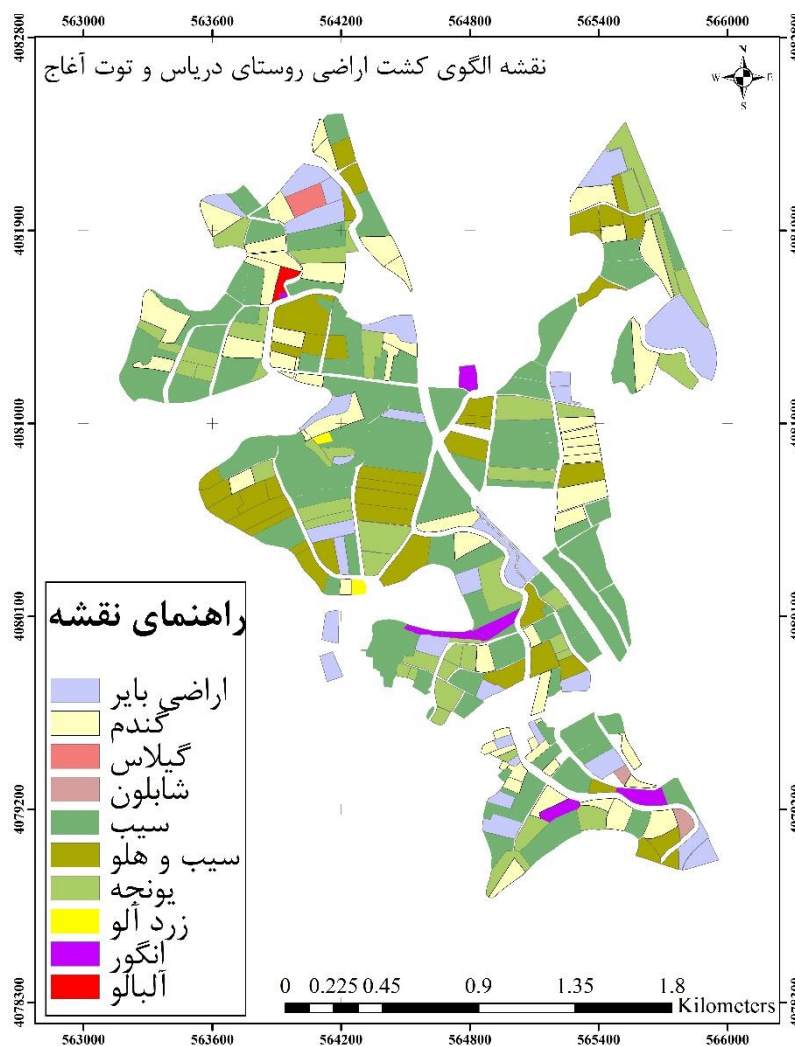
## مواد و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه اراضی کشاورزی روستای دریاس و توت‌آغاج در جنوب غربی حوضه آبریز دریاچه ارومیه و در محدوده حوضه آبریز مهاباد چای قرار دارد. دشت مهاباد با وسعت حدود ۲۷۵ کیلومترمربع در موقعیت طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۴۵ درجه ۵۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و دقیقه شمالی گسترش یافته است.

### تعیین الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد

در اراضی کشاورزی، تعیین و شناسایی دقیق و به هنگام الگوی کشت به منظور برآورد تبخیر-تعرق امری ضروری است. در این تحقیق به منظور برآورد سطح زیر کشت محصولات مختلف کشاورزی از روش فهرست برداری استفاده شد. بر همین اساس محصولات کشت شده در محدوده مورد مطالعه عبارتند از: سیب، انگور، یونجه، گندم، هلو، شابلون، گیلاس، زردآلو و آلبالو، الگوی کشت اراضی مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. الگوی کشت محدوده مورد مطالعه واقع در روستای دریاس و توت آغاج شهرستان مهاباد سال ۱۴۰۱

در حال حاضر آب مورد نیاز اراضی مورد نظر از کانال اصلی سمت چپ (LMC) شبکه آبیاری سطحی مهاباد (بند انحرافی یوسف کند) تأمین می‌گردد. آب مورد نیاز از کانال اصلی توسط ایستگاه پمپاژ شماره ۴ شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد آبیاری شده و با استفاده از شبکه آبیاری تحت فشار، آب مورد نیاز کل اراضی دریاس و توت آغاج را به مساحت ۳۴۱ هکتار تأمین می‌نماید. ایستگاه پمپاژ شماره ۴ دارای ۳+۱ پمپ با توان ۱۱۰ کیلووات و دبی ۹۲/۹۷ لیتر در ثانیه است که توانایی آبیاری ۲۸۵/۲ هکتار از اراضی محدوده طرح را دارد. مابقی اراضی به مساحت ۵۵/۸ هکتار توسط ایستگاه پمپاژ شماره ۵ که آب مورد نیاز آن توسط ایستگاه پمپاژ شماره ۴ تأمین می‌شود آبیاری می‌شود. این ایستگاه دارای ۱+۱ پمپ ۵۵ کیلووات با دبی ۵۵/۵ لیتر در ثانیه است.

#### استخراج، آماده‌سازی و پردازش تصاویر

در این تحقیق از تصاویر دریافتی از ماهواره لندست ۸ با درصد ابرناکی کمتر از ۱۰ استفاده شد. مشخصات و تاریخ تصاویر استفاده شده در جدول (۱) آورده شده است. تصاویر دریافتی از ماهواره لندست ۸ پس از تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک با نقشه‌های الگوی کشت شبکه، در نرم‌افزار ENVI تلفیق شدند.

#### الگوریتم سبال

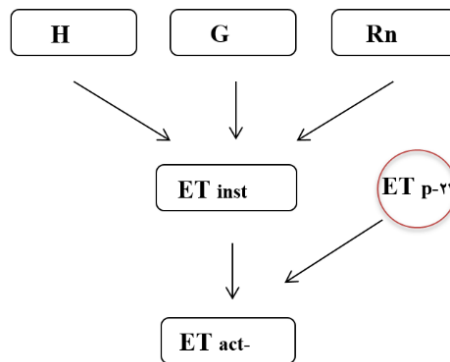
تبخیر- تعرق واقعی با به‌کارگیری الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین و استفاده از تبخیر-تعرق پتانسیل روزانه و نسبت تبخیر-تعرق واقعی لحظه‌ای به مقدار پتانسیل آن برآورد می‌شود. الگوریتم نمایش داده شده در شکل (۲) داده‌های مورد نیاز و روش محاسبه‌ی تبخیر-تعرق واقعی روزانه را نشان می‌دهد (اکبری، ۱۳۸۳).





جدول ۱. مشخصات تصاویر Landsat8 استفاده شده در این مطالعه

سطر و ستون	زمان تصویربرداری (میلادی)	زمان تصویربرداری شمسی
۰۳۴-۱۶۸	۲۰۲۲/۰۵/۱۶ ۷:۳۲:۲۱	۱۴۰۱/۰۲/۲۶
۰۳۴-۱۶۸	۲۰۲۲/۰۶/۰۱ ۷:۳۲:۲۵	۱۴۰۱/۰۳/۱۱
۰۳۴-۱۶۸	۲۰۲۲/۰۶/۱۷ ۷:۳۲:۳۷	۱۴۰۱/۰۳/۲۷
۰۳۴-۱۶۸	۲۰۲۲/۰۷/۱۹ ۷:۳۲:۴۲	۱۴۰۱/۰۴/۲۸
۰۳۴-۱۶۸	۲۰۲۲/۰۸/۰۴ ۷:۳۲:۵۲	۱۴۰۱/۰۵/۱۳
۰۳۴-۱۶۸	۲۰۲۲/۰۸/۲۰ ۷:۳۲:۵۷	۱۴۰۱/۰۵/۲۹
۰۳۴-۱۶۸	۲۰۲۲/۰۹/۰۵ ۷:۳۲:۵۸	۱۴۰۱/۰۶/۱۴



شکل ۲. الگوریتم محاسبه تبخیر- تعرق با روش بیلان انرژی سبال

تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه (Et p - 24) با توجه به جریان گرمای نهان تبخیر ( $\lambda$ ) و جرم حجمی آب ( $\rho$ ) و  $Rn$  توسط رابطه‌ی زیر برآورد می‌گردد (Allen et al., 2002):

$$Et\ p-24 = \frac{Rn}{\lambda \cdot \rho} 86400 * 10^3 = 2.501 - 0.002361 * T_o \lambda \quad \text{رابطه (۱)}$$

$\lambda$  گرمای نهان تبخیر ( $\rho, j/kg$ ) جرم حجمی آب ( $kg/m^3$ )،  $T_o$  دمای هوا (c) است. تشعشع خالص روزانه‌ی خورشیدی در سطح زمین نیز از تفاضل تشعشع ورودی و خروجی روزانه محاسبه می‌گردد.

نسبت تبخیر-تعرق واقعی لحظه‌ای (Et inst) با استفاده از میزان تبخیر-تعرق واقعی و مقدار پتانسیل آن در زمان تصویربرداری از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002):

$$Et\ inst = \frac{\lambda E}{Rn - G}, \quad \lambda ET = Rn - G - H \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن  $\lambda ET$  گرمای نهان تبخیر- تعرق (انرژی مورد استفاده جهت تبخیر-تعرق)،  $Rn$  تشعشع خالص در سطح زمین،  $G$  جریان گرمایی زمین و  $H$  جریان گرمایی محسوس است.

#### تشعشع خالص در سطح زمین (Rn):

اصلی‌ترین منبع انرژی برای پدیده تبخیر از سطح آب، انرژی تابشی خورشید است. این مقدار، نتیجه بیلان تشعشعات ورودی و خروجی در سطح زمین است. (Allen et al., 2002).

$$Rn = (1 - \alpha) RS \downarrow - RL \uparrow + RL \downarrow - (1 - \epsilon) RL \downarrow \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن  $\alpha$  آلیدوی سطحی  $\epsilon$  گسیلمندی سطحی،  $RS \downarrow$  تابش ورودی طول موج کوتاه،  $RL \uparrow$  تابش خروجی طول موج بلند،  $RL \downarrow$  تابش ورودی طول موج بلند می‌باشند.

#### شار گرمایی خاک (G):

در طول روز، بخشی از انرژی رسیده به سطح زمین باعث گرم شدن خاک و جریان حرارتی در خاک، بوسیله یک گرادیان حرارتی باعث



گرم شدن لایه پایینی خاک می‌گردد. این مقدار با توجه به میزان پوشش گیاهی تفاوت می‌کند زیرا وجود پوشش گیاهی مانع رسیدن نور به سطح زمین می‌گردد.

بنابراین معمولاً  $G$  را به  $R_n$  و رطوبت خاک ارتباط می‌دهند. روابط به دست آمده برای تعیین  $G$  تجربی می‌باشند. رابطه‌ی پیشنهادی توسط Bastiaanssen (1998)، در الگوریتم سبال برای هر پیکسل بر روی زمین مطابق رابطه‌ی (۴) است که بعد از پردازش تصاویر و تولید نقشه‌های رقومی به صورت لایه‌های اطلاعاتی به دست می‌آید:

$$G = R_n \cdot \left\{ \frac{(T_s - 273)}{\alpha_s} \cdot [0.0032 \cdot (c_1 \cdot \alpha_s) + 0.0062 \cdot (c_1 \cdot \alpha_s)^2] \cdot (1 - 0.978 \cdot NDVI^4) \right\} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن  $R_n$  تابش خالص خورشیدی ( $Mj \ m^{-2} \ day^{-1}$ )،  $T_s$  دمای سطح زمین (کلوین)،  $\alpha$  ضریب آلیبدو در سطح زمین (بدون بعد)،  $NDVI$  شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (بدون بعد) و  $C1$  فاکتور تبدیل مقادیر لحظه‌ای آلیبدو به میانگین روزانه است.

### شار حرارتی محسوس (H):

شار گرمای محسوس بخشی از تابش خالص خورشیدی است که صرف گرم کردن هوا می‌گردد. انتقال حرارت از سطح به اتمسفر، روندی آیرودینامیک است. روش سبال جهت برآورد شار گرمای محسوس از دو پیکسل شاخص برای مشخص کردن شرایط مرزی در معادله‌ی بیلان انرژی استفاده می‌کند. این دو پیکسل شاخص، تحت عنوان پیکسل‌های سرد و گرم نامیده می‌شوند و در منطقه‌ی مورد مطالعه باید انتخاب گردند. پیکسل سرد از مزارع با پوشش گیاهی کامل و کاملاً آبیاری شده انتخاب شده که در آن دمای سطحی و دمای هوای نزدیک به سطح برابر فرض می‌شوند و پیکسل گرم از اراضی بدون پوشش و خشک انتخاب می‌گردد.

در مدل سبال از پیکسل سرد برای برآورد میزان گرمای محسوس برای منطقه‌ای با پوشش گیاهی کامل که به طور کامل نیز آبیاری شده باشند استفاده می‌گردد. فرض بر این است که در این گونه مناطق بیشینه انرژی برای تبخیر-تعرق صرف می‌شود. اثر این بیشینه‌ی تبخیر، کاهش بیشینه‌ی دمای این منطقه در مقایسه با مناطقی با تبخیر-تعرق کمتر است. بنابراین پیکسل سرد بایستی به گونه‌ای انتخاب شود که معرف منطقه‌ای با پوشش انبوه گیاهی با ضریب پوشش سطح برگ ( $LAI$ ) بیشتر از ۳ که به خوبی نیز آبیاری شده است باشد (Bastiaanssen et al., 2003). رابطه کلی برای محاسبه شار گرمای محسوس به صورت زیر است (رابطه ۵):

$$H = \frac{\rho_{air} \cdot C_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

مقادیر  $\rho_{air}$  و  $C_p$  که مقادیر ثابتی هستند. اما  $dT$  اختلاف بین دمای هوا و دمای آئروودینامیک (بر حسب کلوین) و  $r_{ah}$  مقاومت آیرودینامیکی برای انتقال گرما ( $s/m$ ) به محاسبات پیچیده‌ای نیاز دارند. برای محاسبه مقاومت آیرودینامیکی از روابط ارائه شده توسط Bastiaanssen (2000) استفاده می‌شود.

همان‌طور که اشاره شده، الگوریتم SEBAL از دو پیکسل شاخص برای مشخص کردن شرایط مرزی در معادله بیلان انرژی استفاده می‌کند. این دو پیکسل، تحت عنوان پیکسل‌های سرد و گرم بوده و در منطقه مورد مطالعه قرار دارند. پیکسل سرد از مزارع با پوشش گیاهی متراکم و کاملاً آبیاری شده انتخاب می‌شود. پیکسل گرم از اراضی بدون پوشش و خشک انتخاب می‌شود که در آن میزان تبخیر-تعرق ناچیز است. انتخاب این دو پیکسل به مهارت و تمرین نیاز دارد و کیفیت محاسبات  $ET$  به انتخاب دقیق این دو پیکسل وابسته است. با مشخص کردن پیکسل‌های سرد و گرم، اختلاف دمای هوا و دمای آئروودینامیک نیز قابل برآورد است. بدین صورت که بین دمای سطحی ( $T_s$ ) متعلق به دو پیکسل سرد و گرم و اختلاف دمای آنها ( $dT_{hot}$  و  $dT_{cold}$ )، یک رابطه رگرسیونی برقرار نموده ( $dT = b + aT_s$ ) و با پیدا کردن ضرایب رگرسیونی و مشخص کردن  $dT$  کل، مقدار  $H$  را با داشتن  $r_{ah}$  برآورد می‌کنند.  $dT$  برای دو پیکسل سرد و گرم از طریق رابطه ارائه شده توسط Bastiaanssen (2000) محاسبه می‌گردد.

پس از محاسبه تمام بیلان‌های انرژی در نهایت تبخیر-تعرق واقعی روزانه برحسب میلی‌متر بر روز با استفاده از الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین از تبخیر-تعرق پتانسیل روزانه و نسبت تبخیر-تعرق لحظه‌ای به شرح زیر محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002):

$$Et_{act-24} = Et_{inst} \times Et_{p-24} \quad \text{رابطه (۶)}$$



در رابطه بالا،  $E_t \text{ act-24}$  تبخیر-تعرق واقعی روزانه (mm/day)،  $E_t \text{ inst}$  تبخیر-تعرق واقعی لحظه‌ای (mm)،  $E_t \text{ p-24}$  تبخیر-تعرق پتانسیل روزانه (mm/day).

پس از محاسبه تبخیر-تعرق واقعی روزانه، با استفاده از روش میان یابی، تبخیر-تعرق واقعی برای هر محصول در کل دوره رشد محاسبه گردید. در نهایت کل حجم تبخیر-تعرق واقعی برای هر محصول با استفاده از فرمول (۷) محاسبه گردید.

$$E_t \text{ actT} = E_t \text{ act} \times A \quad (\text{رابطه ۷})$$

### تبخیر و تعرق گیاه مرجع

تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل بدون برآورد تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_0$ ) امکان‌پذیر نمی‌باشد، از این رو محاسبه دقیق آن دارای اهمیت زیادی برای محققین است. روش فائو پنمن مانتیت یک روش استاندارد برای تبخیر و تعرق مرجع است که بیش از یک دهه قبل توسط نشریه ۵۶ ارائه شد. معادله (۸) نحوه محاسبه  $ET_0$  با استفاده از معادله فائو پنمن مانتیت را نشان می‌دهد.

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left[ \frac{900}{T + 273} \right] U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)} \quad (\text{رابطه ۸})$$

در این معادله  $ET_0$  تبخیر و تعرق پتانسیل بر حسب میلی‌متر بر روز،  $R_n$  تابش خالص در سطح پوشش گیاهی برحسب مگاژول بر مترمربع بر روز،  $G$  شار گرمای واردشده به خاک برحسب مگاژول بر مترمربع بر روز،  $T$  دمای متوسط هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین برحسب درجه سلسیوس،  $U_2$  سرعت متوسط باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین برحسب متر بر ثانیه،  $e_s$  فشار بخار اشباع برحسب کیلوپاسکال،  $e_a$  فشار بخار واقعی برحسب کیلوپاسکال،  $e_s - e_a$  کمبود فشار بخار اشباع برحسب کیلوپاسکال،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار اشباع برحسب کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس و  $\gamma$  ضریب رطوبتی برحسب کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس می‌باشند.

برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل نیز مطابق با فرمول زیر انجام گرفت:

$$E_t \text{ p} = ET_0 \times K_c \quad (\text{رابطه ۹})$$

### نتایج و بحث

در تحقیق حاضر نتایج بدست آمده برای مقادیر تبخیر-تعرق اراضی محصولات مختلف یونجه، گندم، سیب، هلو، انگور، زردآلو، شابلون و آلبالو به منظور تعیین نیاز آبی واقعی بر اساس الگوی کشت در شبکه آبیاری دریا و توت‌آغاچ مورد استفاده قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

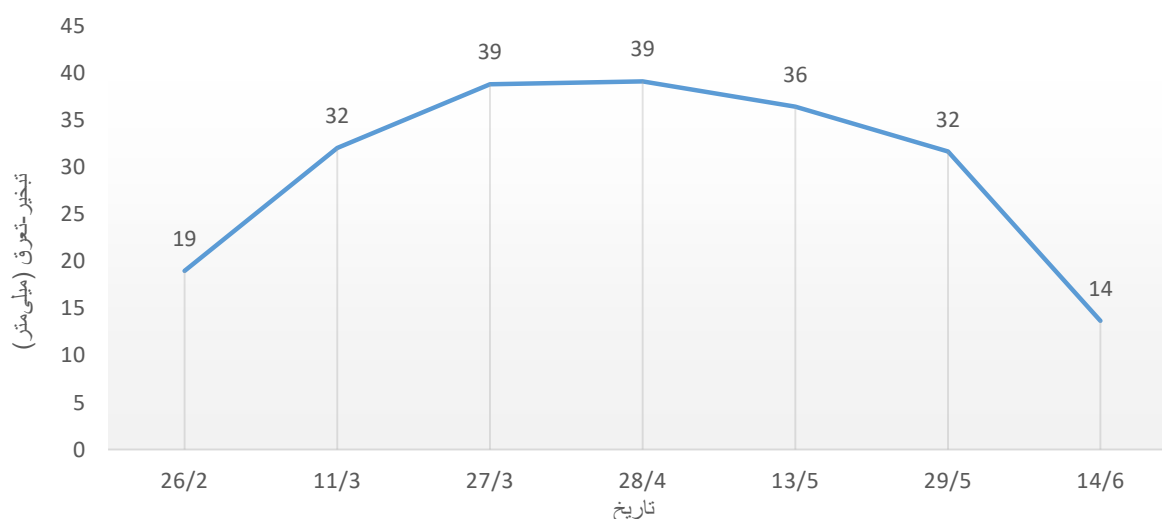
جدول ۲. مقادیر تبخیر-تعرق واقعی اراضی کشاورزی روستای دریا و توت‌آغاچ به تفکیک محصولات مختلف در بازه‌های زمانی تصویربرداری شده توسط تصاویر ماهواره لندست ۸

محصول	سیب	انگور	آلبالو	گندم	گیلاس	شابلون	هلو	یونجه	زردآلو	جمع کل (میلی‌متر در روز)
	(میلی‌متر تعرق روزانه تبخیر متراثر بر روز)	(میلی‌متر تعرق روزانه تبخیر متراثر بر روز)	(میلی‌متر تعرق روزانه تبخیر متراثر بر روز)	(میلی‌متر تعرق روزانه تبخیر متراثر بر روز)	(میلی‌متر تعرق روزانه تبخیر متراثر بر روز)	(میلی‌متر تعرق روزانه تبخیر متراثر بر روز)	(میلی‌متر تعرق روزانه تبخیر متراثر بر روز)	(میلی‌متر تعرق روزانه تبخیر متراثر بر روز)	(میلی‌متر تعرق روزانه تبخیر متراثر بر روز)	
تاریخ										
۱۴۰۱/۰۲/۲۶	۲/۳۷۵	۱/۸۸۴	۲/۳۹۵	۰/۹	۲/۷۹۱	۲/۱۵۰	۲/۴۳۸	۲/۱۷۶	۱/۸۹۱	۱۹
۱۴۰۱/۰۳/۱۱	۴/۰۲۷	۲/۷۹۱	۴/۰۴۴	۲/۲۳۳	۳/۵۸۸	۳/۳۷۹	۴/۷۳۲	۳/۹۲۸	۳/۳۰۴	۳۲/۰۲۶
۱۴۰۱/۰۳/۲۷	۴/۸۳۱	۳/۵۲۵	۳/۸۹۶	۳/۲۵۴	۴/۷۷۶	۴/۱۴۱	۵/۳۸۴	۵/۱۰۲	۳/۸۸۹	۳۸/۷۹۸
۱۴۰۱/۰۴/۲۸	۵/۲۳۷	۳/۹۸۴	۴/۰۷۲	۲/۷۵۹	۴/۷۵۰	۴/۲۸۴	۴/۹۹۱	۵/۲۹۸	۳/۷۰۹	۳۹/۱۲
۱۴۰۱/۰۵/۱۳	۵/۰۵۹	۳/۸۴۲	۴/۵۶۵	۲/۲۸۱	۴/۵۵۸	۳/۴۳۲	۴/۵۹۲	۴/۷۰۰	۳/۴۰۷	۳۶/۴۴۶
۱۴۰۱/۰۵/۲۹	۴/۵۵۳	۳/۲۰۷	۴/۱۸۱	-	۳/۷۲۹	۲/۶۷۰	۵/۰۷۱	۴/۵۹۹	۳/۶۵۴	۳۱/۶۶۴
۱۴۰۱/۰۶/۱۴	۴/۹۷۴	-	-	-	-	-	۴/۰۲۷	۴/۶۷۷	-	۱۳/۶۷۸

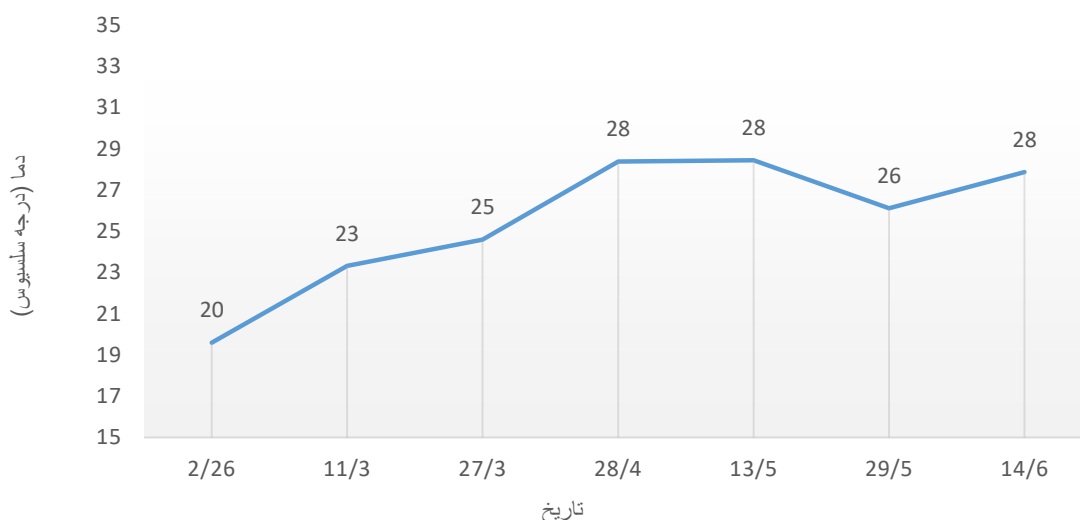
برداشت محصولات انگور، آلبالو، گیلاس، شابلون و زردآلو در منطقه مورد نظر قبل از شهریور ماه و گندم در تیر ماه به پایان رسیده است. به همین دلیل محاسبه تبخیر-تعرق محصولات فوق‌الذکر در جدول (۲) ارائه نشده است.

نتایج حاصل از برآورد مقادیر تبخیر-تعرق واقعی در محدوده مورد مطالعه نشان‌دهنده بیشترین میزان هدررفت آب از طریق تبخیر-تعرق در مراحل میانی فصل رشد که مربوط به بازه زمانی اواسط خرداد تا اواسط مرداد است اتفاق می‌افتد (شکل ۳) و (شکل ۳). بیشترین مقدار تبخیر-تعرق روزانه مربوط به تاریخ تصویربرداری ۲۸ تیر ۱۴۰۱ برابر با ۳۹/۱۲ میلی‌متر در روز است (جدول ۲). دلیل افزایش تبخیر و تعرق در دوره میانی رشد گیاهان از نظر زمانی این است که در این مرحله انرژی تابشی خورشید بیشتر می‌شود. عدم تطابق شیب منحنی‌های تبخیر-تعرق واقعی و تغییرات دمایی در شکل (۳) و شکل (۴) می‌تواند ناشی از برداشت تعدادی از محصولات الگوی کشت پس از مرداد ماه باشد.

مقادیر بالاتر تبخیر-تعرق در دوره میانی رشد توسط خلیل ولیزاده و لنگ باف برای محصول ذرت نیز گزارش شده است (۱۳۹۷). همچنین کارایی الگوریتم سبال به منظور اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی محصولات هم‌چون گندم تایید و مقادیر بالاتر تبخیر-تعرق در مراحل میانی رشد گیاه گزارش شده است (زمان ثانی و همکاران، ۱۳۹۶) که دلیل این امر می‌تواند افزایش انرژی تابشی خورشید در این دوره باشد. (کاویانی و همکاران، ۱۳۹۰) مقدار تبخیر-تعرق روزانه ترکیب کشت محصولات در دشت قزوین را با استفاده از الگوریتم سبال بین ۳/۴ تا ۴/۶ برای تصاویر ماهواره MODIS و بین ۴/۳ تا ۵/۳ برای تصاویر AVHRR تخمین زدند. (نظری و کاویانی، ۱۳۹۵) مقادیر تبخیر-تعرق واقعی روزانه ترکیب کشت محصولات در اراضی دشت قزوین را با الگوریتم سبال و متریک و با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ بین ۲ تا ۴ میلی‌متر در روز برای اردیبهشت ماه برآورد کردند. این در حالی است که (فیروزی نظام‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۷) مقدار تبخیر-تعرق واقعی روزانه در دشت قزوین را با الگوریتم سبال و با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس بین ۲ تا ۸ میلی‌متر در روز در ماه‌های خرداد تا مهر تخمین زدند. این تفاوت‌ها بین مقادیر تبخیر-تعرق واقعی گیاه می‌تواند ناشی از زمان تصویربرداری، الگوی کشت، بازه زمانی مورد مطالعه و دقت در دریافت تصاویر به خصوص دقت در تعیین پیکسل‌های سرد باشد. محدوده مورد مطالعه طیف گسترده‌ای از تنوع پوشش گیاهی سطح زمین و فیزیولوژی محصولات کشاورزی را پوشش می‌دهد به همین جهت بازه زمانی انتخاب‌شده پوشش‌دهنده طیف گسترده دوره رشد محصولات کشاورزی منطقه بود و نتایج بدست آمده با مقادیر مصرف روزانه آب برای چمن و اراضی کشاورزی ساوان‌های برزیل که به ترتیب ۲ تا ۳/۲ میلی‌متر در روز گزارش شد (Laipelt et al., 2020) مشابهت دارد و تأیید‌کننده کارایی مطلوب الگوریتم سبال برای تخمین مقادیر تبخیر-تعرق در محدوده دریا و توت‌آغاج است.



شکل ۳. نمودار تبخیر-تعرق واقعی روزانه حاصل از تصاویر دریافتی



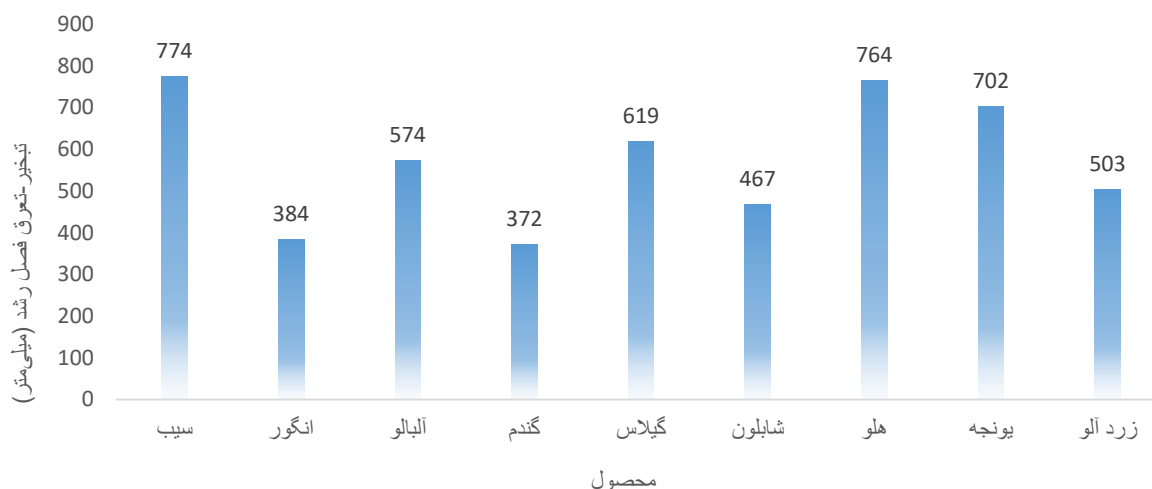
شکل ۴. نمودار تغییرات دمایی

بر اساس نتایج حاصل از این بررسی بیشترین مقدار تبخیر-تعرق مربوط به سیب با مقدار  $773/9$  میلی‌متر است و پس از آن هلو با مقدار  $763/7$  میلی‌متر و یونجه با مقدار  $701/8$  میلی‌متر در محدوده مورد مطالعه بیشترین تبخیر-تعرق را دارند. (شکل ۳). براساس برآورد و محاسبات انجام شده مجموع نیاز آبی محدوده مورد مطالعه برابر  $2060000$  مترمکعب است که با توجه به حدود  $2500000$  مترمکعب آب وارد شده به شبکه و همچنین استفاده از چاه‌های غیرمجاز در محدوده مورد مطالعه، مقدار قابل توجهی از منابع آب به واسطه مدیریت نادرست هدر می‌رود و لذا بازنگری در مدیریت منابع آب اراضی دریاس و توت‌آغاج بسیار مهم است (جدول ۳). در همین راستا (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵) متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری در کشور را  $66/6$  درصد تخمین زدند.

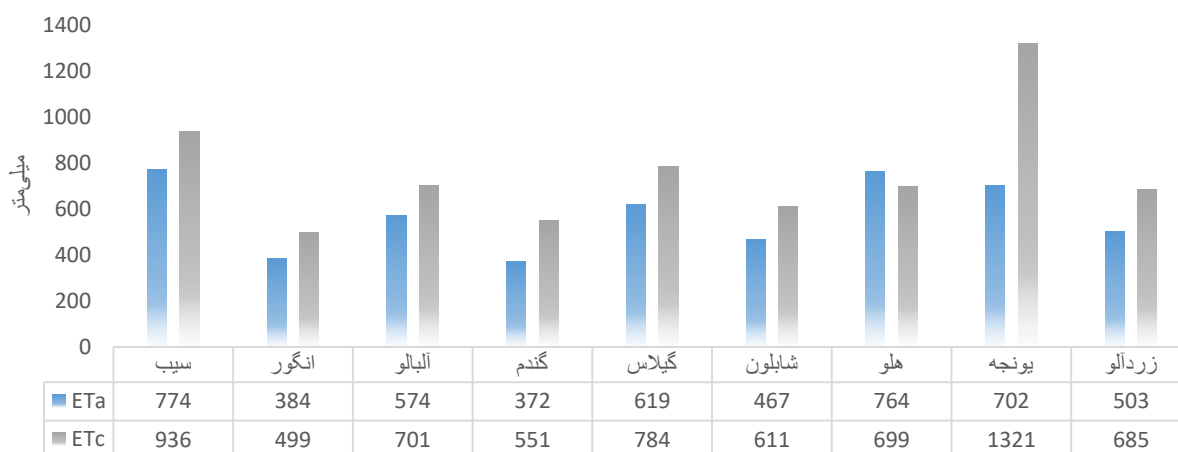
تفاوت مقادیر نیاز آبی محصولات مختلف علاوه بر اینکه تحت تأثیر مقادیر آبیاری و خصوصیات فیزیکی خاک است توسط عواملی همچون زمان آبیاری، کوددهی و تناوب کشت قرار دارد و به همین دلیل اندازه‌گیری مقادیر تبخیر-تعرق در مقیاس‌های بزرگ ضروری است (Bastiaanssen & Zwart, 2007). مقادیر تبخیر-تعرق بدست آمده از طریق کاربرد فناوری‌های سنسجش از دور و الگوریتم سبال داده‌های کاربردی‌تر و قابل‌اعتمادتری نسبت به روش‌های هواشناسی فراهم می‌آورد زیرا روش‌های مبتنی بر داده‌های هواشناسی مقادیر تبخیر-تعرق را در سطوح وسیع بدون در نظر گرفتن اثر ناهمگنی پوشش گیاهی که تأثیر زیادی در شار انرژی و چرخه آب دارد برآورد می‌کنند. با در نظر گرفتن این نکته تحقیق حاضر بر محاسبه تبخیر-تعرق واقعی بر اساس سطوح با الگوهای کشت مختلف توجه ویژه داشت و نتایج بدست آمده بیانگر تفاوت قابل توجه در مقادیر نیاز آبی در بخش‌های مختلف شبکه دریاس-توت‌آغاج در نتیجه تفاوت الگوی کشت منطقه بوده است و الگوریتم سبال امکان برآورد مقادیر واقعی تبخیر-تعرق در سطوح محدود و مقیاس مزرعه را فراهم آورده است. با این حال یکی از اساسی‌ترین محدودیت‌ها در استفاده از فناوری سنسجش از دور و الگوریتم سبال در برآورد نیاز آبی واقعی مزارع و باغات فقدان وجود تصاویر بدون ابر در طول دوره رشد است.

در شکل (۶) اطلاعات مربوط به میزان تبخیر-تعرق واقعی و تبخیر-تعرق پتانسیل محصولات مختلف ارائه شده است. بر اساس داده‌های محصول سیب، مشاهده شد که تبخیر-تعرق پتانسیل به میزان ۱۹ درصد بیشتر از تبخیر-تعرق واقعی بوده است. بررسی نتایج مربوط به اراضی یونجه نشان داد که میزان تبخیر-تعرق پتانسیل ۶۱ درصد بیشتر از تبخیر-تعرق واقعی بوده و بر همین اساس می‌توان نتیجه گرفت که در این اراضی آبیاری متناسب با نیاز گیاه انجام نشده است. در همین راستا نتایج مربوط به اراضی گندم نشان داد که تبخیر-تعرق واقعی ۳۹ درصد کمتر از نیاز آبی گیاه بوده است که این امر نشان‌دهنده مدیریت نامناسب منابع آبی در این اراضی بوده است. در اراضی مربوط به باغات انگور نیز مشاهده شد که تبخیر-تعرق واقعی در حدود ۲۶ درصد کمتر از تبخیر-تعرق پتانسیل بوده است. بر اساس داده‌های مربوط به اراضی هلو نیز می‌توان نتیجه گرفت که تبخیر-تعرق واقعی در حدود ۹ درصد بیشتر از میزان تبخیر-تعرق پتانسیل بوده است که این امر می‌تواند ناشی از ترکیب کشت هلو، سیب و یونجه در اراضی مربوطه باشد. بررسی داده‌های مربوط به اراضی آلبالو، گیلاس، شابلون و زردآلو نیز نشان می‌دهد که به ترتیب تبخیر-تعرق پتانسیل به مقدار ۲۰، ۲۴، ۲۷ و ۳۱ بیشتر از تبخیر-تعرق واقعی

بوده است که نمایانگر کم‌آبیری در اراضی مذکور است.



شکل ۵. نمودار تبخیر-تعرق واقعی فصل رشد به تفکیک محصولات مختلف



شکل ۶. مقایسه میزان تبخیر-تعرق واقعی و تبخیر-تعرق پتانسیل به تفکیک محصولات مختلف

(جدول ۳). میزان تبخیر-تعرق واقعی فصل رشد به تفکیک محصولات مختلف در محدوده دریا و توت‌آغاج شهرستان مهاباد

پارامتر تبخیر-تعرق	سیب	انگور	آلبالو	گندم	گیلاس	شابلون	هلو	یونجه	زردآلو
تبخیر-تعرق فصل رشد (میلی‌متر)	۷۷۳/۹۳۴	۳۸۳/۶۶۷	۵۷۳/۸۲۵	۳۷۲/۰۶۴	۶۱۸/۹۸۵	۴۶۷/۰۶۵	۷۶۳/۷۱۴	۷۰۱/۷۷۸	۵۰۳/۲۰۶
مساحت (مترمربع)	۱۳۶۳۰۴۱/۰۵۲	۵۵۹۲۱/۷۰۲	۸۲۴۳/۹۳	۵۴۹۵۸۳/۰۹	۱۷۵۸۹/۰۶	۱۲۱۲۹/۸۹۶	۵۰۱۴۲۲/۴۷۴	۵۱۵۰۷۱/۹۳۱	۱۱۳۰۶
تبخیر-تعرق (مترمکعب)	۱۰۵۴۹۰۴/۳۴۵	۲۸۱۴۰/۱۶۶	۴۷۳۰/۵۷۷	۲۱۰۸۵/۰۹۱	۱۰۸۸۷/۳۷۳	۴۵۱۳/۰۹۷	۳۸۲۹۴۳/۲۸۸	۳۶۱۴۶۶/۲۰۲	۵۲۸۰/۶۳۷
مجموع تبخیر-تعرق واقعی شبکه	۲۰۶۳۷۲۲/۷۸								

## نتیجه‌گیری

اهمیت استفاده بهینه از منابع آب کشاورزی به دلیل محدودیت منابع آب شیرین کشور از یک طرف و افزایش نیاز به تولیدات کشاورزی از طرف دیگر، بیش از پیش نمایان شده است. با توجه به نقش غیرقابل انکار شبکه‌های آبیاری تحت فشار در مصرف بهینه آب کشاورزی، ارائه راهکارهایی به منظور افزایش راندمان این شبکه‌ها و بهره‌برداری صحیح و اصولی از آن‌ها، امری ضروری است. شبکه آبیاری تحت فشار در یاس و توت‌آغاج با ۳۴۱ هکتار مساحت زیر کشت و به دلیل برخورداری از اراضی مستعد، شبکه آبیاری مدرن و آب حاصل از سد مهاباد، از کشاورزی پر رونقی برخوردار است. به همین دلیل مدیریت منابع و مصرف آب می‌تواند نقش مهمی در بهره‌وری شبکه داشته باشد. در این مطالعه سعی بر آن شد تا با استفاده از روش‌های سنجش از دور، مقدار مصرف آب و مدیریت منابع در این شبکه مورد ارزیابی قرار گیرد. مجموع تبخیر-تعرق واقعی شبکه آبیاری تحت فشار در یاس و توت‌آغاج در سال ۱۴۰۱ حدود ۲۰۶۰۰۰۰ مترمکعب برآورد شد که در مقایسه با آب تحویل داده شده به شبکه که برابر با ۲۵۰۰۰۰۰ مترمکعب بود، ۱۸ درصد بیشتر است. البته باید توجه داشت که تغییرات الگوی کشت در سالیان اخیر موجب افزایش برداشت آب‌های زیرزمینی توسط کشاورزان شده است که با توجه به بحران کم‌آبی در کشور، طی سالیان آتی می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیری عرصه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی بر جای بگذارد. در نهایت نتایج به دست آمده از فناوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که پایش و بررسی وضعیت اراضی کشاورزی در سطوح وسیع با استفاده از این روش به دلیل آن که از دقت قابل قبولی برخوردار بوده می‌توان با ایجاد نقشه‌های تبخیر و تعرق میزان توزیع و بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی را بهبود بخشید.

## "هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## منابع

- ابراهیمی، حسن، یزدانی، وحید، (۱۳۹۱). برآورد تبخیر-تعرق فضای سبز با مدل سبال (مطالعه موردی: پارک ملت، مشهد). مجله تحقیقات حفاظت آب و خاک، دوره ۲۰، شماره ۳، صفحه ۱۳۳-۱۵۱
- امان ثانی، الناز، خورانی، اسدالله، صادقی لاری، عدنان، سدیدی، جواد، (۱۳۹۵). ارزیابی برآورد تبخیر و تعرق گیاه گندم با استفاده از الگوریتم سبال (مطالعه موردی: ایستگاه تحقیقات کشاورزی حاجی‌آباد). تحقیقات جغرافیای طبیعی، دوره ۴۹، شماره ۴، صفحات ۶۶۷-۶۸۱
- بدیع نشین، علیرضا، پارسا نژاد، مسعود، نوری، حمید، (۱۳۹۷). بررسی سطوح مختلف تامین آب در باغ‌های کم ارتفاع با استفاده از الگوریتم سبال (مطالعه موردی دشت سیرجان). مجله منابع آب و خاک، سال نهم، شماره ۱، صفحه ۶۵-۸۴
- خلیل ولی زاده، کامران، لنگباف، مریم، (۱۳۹۶). برآورد تبخیر و تعرق واقعی ذرت با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و مدل سبال در منطقه خوزستان. مجله علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال بیست و دوم، شماره ۶۵، صفحه ۱-۱۳
- رئییسی، احمد، مظفری، غلامعلی، غفاریان مالگیری، حمیدرضا، (۱۳۹۲). ارزیابی و مقایسه تخمین تبخیر و تعرق گیاه گندم با استفاده از الگوریتم سبال و روش پنمن-مانیتیت در منطقه چاه سیستان و بلوچستان، فصلنامه جغرافیای طبیعی، دوره: ۱۶، شماره: ۶۰
- عباسی، فریبرز و سهراب، فرحناز و عباسی، نادر، (۱۳۹۴). ارزیابی راندمان آب آبیاری در ایران. فصلنامه تحقیقاتی مهندسی آبیاری و زهکشی، دوره: ۱۷، شماره: ۶۷
- قربانی، اردوان، فرامرزی، محمد، کرمی، جلال، غلامی، نبی‌الله، سبحانی، بهروز، (۱۳۹۳). ارزیابی مقایسه‌ای الگوریتم سبال و متریک در تخمین تبخیر و تعرق (مطالعه موردی: شهرستان ملایر). برنامه‌ریزی و آماده‌سازی فضا، جلد نوزدهم، شماره ۲، صفحه ۱۵۳-۱۸۴
- کاویانی عباس، پیمان، دانشکار آراسته، (۱۳۹۰). برآورد تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب با استفاده از الگوریتم SEBAL و مقایسه با داده‌های لایسومتر. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۲۰۱۱؛ (۲)۵: ۱۶۵-۱۷۵
- مرشدی، علی، (۱۳۹۲). برآورد تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی گل رز (*Rosa damascena Mill.*) با استفاده از الگوریتم سبال فصلنامه مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، دوره: ۳، شماره: ۳
- مقبلی دامنه، مصیب، سنایی نژاد، حسین، کفاش، مرتضی (۱۳۹۱). ارزیابی الگوریتم SEBAL برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر Landsat 8 در منظر کاربری چندگانه (مطالعه موردی: منطقه فریمن) مجله تحقیقات اقلیم ۱۶۵۱
- مرشیدی، علی و جعفری، حسین و عنابی میلانی، آژدار، (۱۳۹۱). برآورد تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از الگوریتم سبال در مقایسه با نتایج لایسِمتری در شرایط استاندارد در ایستگاه‌های تحقیقاتی تبریز و کرج. فصلنامه تحقیقات آب در کشاورزی، دوره: ۳۶، شماره: ۱
- نظری رستا، کاویانی عباس، (۱۳۹۵). ارزیابی نتایج تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن با استفاده از مدل‌های METRIC و SEBAL در دشت قزوین. مجله تحقیقات آب در کشاورزی. ۲۰۱۶؛ (۲)۳۰: ۱۸۷-۱۹۹

## REFERENCES

- Abbasi, Fariborz and Sohrab, Farhanaz and Abbasi, Nader, 2014, evaluation of irrigation water efficiency in Iran. *Irrigation and Drainage Engineering Research Quarterly*, Volume: 17, Number: 67. [IN PERSIAN]
- Allen RG, Morse A, tasumi M, and Trezza R (2002). Evapotranspiration from a satellite-based surface energy balance for the Snake Plain Aquifer in Idaho. Pp. 167-178. Proc USCID Conference, July 2002. San Luis Obispo.
- Aman Thani, Elnaz, Khorani, Asadullah, Sadeghi Lari, Adnan, Sadidi, Javad, (2015). Evaluation of estimation of evaporation and transpiration of wheat plant using Sabal algorithm (case study: Hajiabad Agricultural Research Station). *Natural Geography Research*, Volume 49, Number 4, Pages 667-681. [IN PERSIAN]
- Amir Ghaderi, Mehdi Dasineh, Maryam Shokri, John Abraham (2020). Estimation of Actual Evapotranspiration Using the Remote Sensing Method and SEBAL Algorithm: A Case Study in Ein Khosh Plain, Iran. *Hydrology*, 7(2):36. <https://doi.org/10.3390/hydrology7020036>
- Awada, H., Di Prima, S., Sirca, C., Giadrossich, F., Marras, S., Spano, D., Pirastu, M. (2022). A remote sensing and modeling integrated approach for constructing continuous time series of daily actual evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, 260, 107320.
- Ayad Ali Faris Beg, Ahmed H. Al-Sulttani, Adrian Ochtyra, Anna Jarocińska and Adriana Marcinkowska (2016) Estimation of Evapotranspiration Using SEBAL Algorithm and Landsat-8 Data—A Case Study: Tatra Mountains Region. *Journal of Geological Resource and Engineering*, 6:257-270. <https://doi.org/10.17265/2328-2193/2016.06.002>
- Badieneshin, Alireza, Parsinejad, Masoud, Nouri, Hamid, (2017). Investigating different levels of water supply in low-altitude gardens using the Sabal algorithm (case study of Sirjan Plain). *Journal of Water and Soil Resources*, Year 9, Number 1, Page 65-84. [IN PERSIAN]
- Bastiaanssen W.G.M., Samia (2003). A new crop yield forecasting model base of satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan, *Agriculture Ecosystems and Environment* Volum: (94) pp: 321-340.
- 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):213-229.
- Costa, J. de O., Coelho, R. D., Wolff, W., Jose, J. V., Folegatti, M. V., Ferraz, S. F. de B. (2019). Spatial variability of coffee plant water consumption based on the SEBAL algorithm. *Scientia Agricola*, 76(2), 93–101.
- Ebrahimi, Hassan, Yazdani, Vahid, (1391). Estimation of evaporation-transpiration of green space with Sabal model (case study: Mellat Park, Mashhad). *Journal of Water and Soil Conservation Research*, Volume 20, Number 3, Pages 133-151 [IN PERSIAN]
- Fawzy, H. E. D., Sakr, A., El-Enany, M., Moghazy, H. M. (2021). Spatiotemporal assessment of actual evapotranspiration using satellite remote sensing technique in the Nile Delta, Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 1421–1432.
- Ghorbani, Ordvan, Faramarzi, Mohammad, Kerami, Jalal, Gholami, Nabiullah, Sobhani, Behrouz, (2013). Comparative evaluation of Sabal and metric algorithm in estimation of evaporation and transpiration (case study: Malayer city). *Space planning and preparation*, volume 19, number 2, page 153-184. [IN PERSIAN]
- Kaviani Ali, Sohrabi, Academician of Arrest, (2010). Estimation of evaporation and transpiration and water productivity using SEBAL algorithm and comparison with lysimeter data. *Irrigation and Drainage Journal of Iran*. 2011; 5(2): 165-175. [IN PERSIAN]
- Khalil Valizadeh, Kamran, Langbaf, Maryam, (2016). Estimation of real corn evaporation and transpiration using satellite image processing and Sabal model in Khuzestan region. *Scientific-research journal of geography and planning*, year 22, number 65, page 1-13. [IN PERSIAN]
- Laipelt, Leonardo, Anderson Luis Ruhoff, Ayan Santos Fleischmann, Rafael Henrique Bloedow Kayser, Elisa de Mello Kich, Humberto Ribeiro da Rocha, and Christopher Michael Usher 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. <https://doi.org/10.3390/rs12071108>
- Leonardo Laipelt, Rafael Henrique Bloedow Kayser, Ayan Santos Fleischmann, Anderson Ruhoff, Wim Bastiaanssen, Tyler A. Erickson, Forrest Melton (2021) Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 178: 81-96. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.05.018>
- Mohammad Ismaeil Kamali, Rouzbeh Nazari, (2018) Determination of maize water requirement using remote





- sensing data and SEBAL algorithm. *Agricultural Water Management*, 209:197-205, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.035>.
- Morshedi, Ali, (2012), estimation of actual evaporation and transpiration and water requirement of rose (*Rosa damascena* Mill.) using Sebal Algorithm, *Water and Soil Modeling and Management Quarterly*, Volume: 3, Number: 3. [IN PERSIAN]
- Murshidi, Ali and Jafari, Hossein and Annabi Milani, Azhdar, (2012), estimation of real wheat evapotranspiration using Sabal algorithm compared to lysimetry results in standard conditions in Tabriz and Karaj research stations. *Quarterly Journal of Water Research in Agriculture*, Volume: 36, Number: 1. [IN PERSIAN]
- Moqbli Doman, Musyeb, Sanainejad, Hossein, Kafash, Morteza (2012), Evaluation of SEBAL Algorithm for Estimating Real Evaporation and Transpiration Using Landsat 8 Images in Multiple Use Landscape (Case Study: Freeman Region) *Journal of Climate Research* 1651. [IN PERSIAN]
- Nazari Reza, Kaviani Ali, (2015). Evaluating the results of estimating evaporation and transpiration of grass reference plant using METRIC and SEBAL models in Qazvin Plain. *Journal of Water Research in Agriculture*. 2016; 30(2): 187-199. [IN PERSIAN]
- Raisi, Ahmed, Mozafari, Gholamali, Ghaffarian Malmiri, Hamidreza, (2013), evaluation and comparison of estimation of wheat plant evaporation and transpiration using Sabal algorithm and Penman-Mantith method in Chah area of Sistan and Baluchistan, *Natural Geography Quarterly*, Volume: 16 , number: 60. [IN PERSIAN]
- Rasp, S.; Pritchard, M.S.; Gentine, P. (2018). Deep learning to represent subgrid processes in climate models. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 115: 9684–9689.
- Rawat, K. S., Bala, A., Singh, S. K., Pal, R. K. (2017). Quantification of wheat crop evapotranspiration and mapping: A case study from Bhiwani District of Haryana, India. *Agricultural Water Management*, 187(2), 200-209.
- Sander J. Zwart, Wim G.M. (2007) Bastiaanssen, SEBAL for detecting spatial variation of water productivity and scope for improvement in eight irrigated wheat systems, *Agricultural Water Management*, 89 (3):287-296
- Tan, L., Zheng, K., Zhao, Q., Wu, Y. (2021). Evapotranspiration estimation using remote sensing technology based on a SEBAL model in the upper reaches of the Huaihe river basin. *Atmosphere*, 12(12), 1599.
- Zhao, R., Wang, H., Chen, J., Fu, G., Zhan, C., Yang, H. (2020). Quantitative analysis of nonlinear climate change impact on drought based on the standardized precipitation and evapotranspiration index. *Ecological Indicators*, 121(5895), 107107.