

EXTENDED ABSTRACT

Estimation of Sugar Cane Evapotranspiration Using Sybal Algorithm and Presly Taylor Method (Case Study of Amir Kabir Cultivation and Industry)

J. Jalali¹, F. Radmanesh^{2*}, A. A Naseri³, M. A. Akhond Ali⁴ and H. Zarei⁵

1- Graduated with a PhD in water resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2*- Corresponding Author, Associated Professor, Water resource management, Shahid Chamran university of Ahvaz (radmanesh@scu.ac.ir).

3- Professors of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.

4- Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

5- Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 20 April 2019

Revised: 11 September 2019

Accepted: 14 September 2019

Keywords:

Remote sensing; Irrigation;
Lysimeter; Landsat; Sentinel.

TO CITE THIS ARTICLE:

Jalali, J., Radmanesh, F., Naseri, A., Akhondali, M. A., Zarei, H. (2024). 'Estimation of Sugar Cane Evapotranspiration Using Sybal Algorithm and Presly Taylor Method (Case Study of Amir Kabir Cultivation and Industry)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(1), pp. 1-14. doi: 10.22055/jise.2019.27808.1813.

Introduction

Agricultural water management studies require accurate information on actual evapotranspiration. This information must have sufficient spatial detail to allow analysis on the farm or basin level (Sanchez et al., 2008). The methods used to estimate evapotranspiration are grouped into two main groups, which include direct methods and indirect or computational methods (Alizade and Kamali, 2007). Basics of the indirect methods are based on the relationship between meteorological parameters, which impedes the use of these data with a lack or impairment. On the other hand, this information is a point specific to meteorological stations, and their regional estimates are another problem of uncertainty of their own. To this end, the use of remote sensing technology can be a suitable approach to address these constraints. Real evapotranspiration can be estimated by satellite imagery that has short and long wavelengths and is estimated using surface energy equations (Chihda et al., 2010). Examples of such algorithms include SEBAL (Bastiaanssen et al., 1998 Bastiaanssen, 2000;), METRIC (Allen et al., 2007), SEBS (Su, 2002). Among the above mentioned algorithms, energy billing algorithms have been used (Bagheriharooni et al., 2013; Teixeira et al., 2009). Among the factors of superiority of the SEBAL algorithm, in comparison with other remote sensing algorithms, is a satellite imagery analysis algorithm based on physical principles and uses satellite simulation and requires minimum meteorological information from ground measurements or air models (Bastiaanssen et al., 2002).

Methodology

In this research, 24 images from Landsat 8 satellite and 60 Sentinel 2 satellite images were used during growth period of sugarcane in 2016 and 2017, respectively (from May 28 to October 17 of

each mentioned year). The study area is located in the Amir Kabir unit of Sugarcane Industry in the southern province of Khuzestan, one of the seven sugar cane cultivars and industries with local coordinates of 48 ° 16'49"E and 31 ° 2' 2"N. Amir Kabir Cultivation & Industry is located at Km 45 of Ahvaz - Khorramshahr Road, which is located south of Mirza Kuchak Khan's cultivation and is located in the east of Karoon's River. The total area of this farm was 15,000 hectares and its net area was 12,000 hectares, divided into several 25 hectares. The required meteorological information was extracted from the Amir Kabir Crop Production and Meteorological Station. This information includes: wind speed, sunshine hours, maximum and minimum temperatures, and rainfall.

Results and Discussion

The main objective of this study was to estimate the actual evapotranspiration of the sugarcane by using Landsat 8, Sentinel 2 and SEBAL algorithm. Finally, the results were compared with lysimetric data and analyzed. For statistical analysis of the results, the absolute difference indices and relative differences were used. In order to estimate evapotranspiration, as mentioned earlier, it was necessary to obtain the values of pure radiation and the heat flux for hot and cold pixels. The results are presented in Table 1, by separation of the evapotranspiration estimation method and the date of the images. Table (1) shows the potential evapotranspiration using the Taylor Presley method and the maximum values estimated by the SEBAL algorithm for Amir Kabir cultivation and industry. According to Table 1 the evapotranspiration rate calculated using the Taylor-Presley method is not significantly different from the evapotranspiration calculated by the SEBAL algorithm. In general, it can be stated that the method of using Landsat 8 and Sentinel 2 satellite images can calculate the amount of canopies evapotranspiration and transpiration with a small error value. the lysimeter gives the actual amount of evaporation and transpiration, by comparing the values of evapotranspiration calculated by the SEBAL algorithm and the values provided by the Lysimeter, the rate of error estimation indices represents less values. Therefore, according to Table (1), Sahbal algorithm is a suitable method for estimating the amount of evapotranspiration of cane sugar.

Table 1- Potential evapotranspiration using the Taylor Presley method and the maximum values estimated by Sybal algorithm for Amir Kabir cultivation and industry

(%)RMSE	(mm/day)MAE	SEBAL (mm/day)algorithm	Presley- Taylor	Date
5.1	0.21	4.78	4.51	2017/5/26
6.53	0.18	3.95	3.83	2017/6/27
3.12	0.27	2.83	2.65	2017/7/29
5.8	0.12	2.66	2.53	2017/8/30
9.87	0.16	3.65	3.56	2017/9/22
11.1	0.11	3.98	3.93	2017/9/10
7.82	0.09	5.98	5.93	2017/5/26
4.12	0.3	5.71	5.58	2017/6/27
6.32	0.25	4.86	4.55	2017/7/29
9.56	0.14	3.24	3.18	2017/8/30
2.33	0.1	4.98	4.91	2017/9/22
3.53	0.15	5.33	5.23	2017/9/10

The results showed that, despite the fact that the Sentinel 2 satellite does not have thermal bands, it is possible to calculate the actual evapotranspiration using the SEBAL algorithm by combining the satellite images with the Landsat satellite. Landsat satellite images are also challenging to estimate the water requirement, but according to the calculated indices, there is no significant difference with the lysimetric data. Compared to the combination of images, which have a precise accuracy in order to cover the time lag of Landsat 8 and Sentinel 2.

Conclusions

The SEBAL algorithm solves the energy balance equation to calculate the actual evapotranspiration of the plant, and the calculated parameters such as surface temperature, NDVI are defined in a certain range and are acceptable. The calculations showed that the results were consistent with the acceptable limits stated in the sources and statistics, and they confirmed this algorithm.

Also, in comparison with the Taylor-Presley method, it was observed that SEBAL has calculated the actual evapotranspiration with acceptable results, which is also the reason for this method in calculating evapotranspiration. Due to errors in collecting climatic data such as wind speed, air temperature, solar radiation, day time duration, humidity, and also lack of calibration of coefficients such as coefficient of evaporation pan, plant coefficients for estimating evapotranspiration in many common error methods has it. In this regard, it is possible to consider new methods, such as the use of satellite imagery, to calculate the evapotranspiration of the plant for a wide range of plains as well as a point scale. It is obvious that by using suitable spatial resolution with homogeneity of the field farms and at appropriate time intervals, it is possible to plot the actual evapotranspiration of the plant for each region during the growing season.

Acknowledgement

The financial support of this research has been provided by Grant number SCU.WH.1398.801 and we hereby thank the Honorable Vice Chancellor of Research from Shahid Chamran University, Ahvaz for their support.

References

- 1- Alizade, A. and Kamali, G., 2007. Water requirement of plants in Iran. *Emam Reza university publications*. Mashhad.
- 2- Allen, R.G., Tasumi, M. and Trezza, R., 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4), pp. 380-394 Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380).
- 3- Bagheriharooni, M.H., Arshad, S., Majnooni, A. and Morid, S., 2013. Comparing one source and two source remote sensing models for real evapotranspiration in Iran. *Journal of remote sensing and GIS in Iran*, 1(4), pp. 81-96.
- 4- Bastiaanssen, W., 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin. *Journal of Hydrology*, 229(1), pp. 87-100. Doi: 10.1016/S0022-1694(99)00202-4.
- 5- Bastiaanssen, W., Menenti, M., Feddes, R. and Holtslag, A., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 213, pp. 198-212. Doi: 10.1016/S0022-1694(98)00253-4.
- 6- Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D., and Chemin, Y., 2002. Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. *Water Resource Research*, 38(12), pp. 1-9. Doi: 10.1029/2001WR000386.
- 7- Chihda, Wu., Cheng, C., Lo, H. and Chen, Y., 2010. Study on estimating the evapotranspiration cover coefficient for stream flow simulation through remote sensing techniques. *Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(4), pp. 225-232. Doi: 10.1016/j.jag.2010.03.001.
- 8- Sanchez, J., Kustas, W., Caselles, V. and Anderson, M., 2008. Modelling surface energy fluxes over maize using a two-source patch model and radiometric soil and canopy temperature observations. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), pp. 1130-1143. Doi: 10.1016/j.rse.2007.07.018.

-
- 9- Su, Z., 2002. The Surface Energy Balance System(SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences.*,6(1), pp. 85-100.
- 10-Teixeira, A.H.C., Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D. and Bos, M.G., 2009. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle Sao Francisco River basin, Brazil: Part A: Calibration and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(3), pp. 462-476. Doi: 10.1016/j.agrformet.2008.09.016.



© 2024 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

برآورد تبخیر تعرق گیاه نیشکر با استفاده از الگوریتم سبال و روش پریسلی تیلور (مطالعه موردی کشت و صنعت امیرکبیر اهواز)

جمیل جلالی^۱، فریدون رادمنش^{۲*}، عبدعلی ناصری^۳، محمدعلی آخوندعلی^۴ و حیدر زارعی^۵

- ۱- دانش آموخته دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۲- نویسنده مسئول، استاد گروه منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. radmanesh@scu.ac.ir
- ۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
- ۴- استاد گروه منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
- ۵- استاد گروه منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۳

بازنگری: ۱۳۹۸/۰۶/۲۰

دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۳۱

چکیده

تبخیر یکی از پارامترهای مهم در مدیریت پیکره‌های آبی است، با توجه به محدودیت روش‌های فیزیکی و تجربی برآورد تبخیر، استفاده از فناوری سنجش از دور به دلیل امکان برآورد مکانی اطلاعات و همچنین حداقل نمودن استفاده از داده‌های هواشناسی می‌تواند کاربرد وسیعی در محاسبه تبخیر داشته باشد. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم سبال برای محاسبه آلبیدوی سطح، دمای سطحی و شاخص وضعیت پوشش گیاهی از داده‌های ماهواره‌ای لندست هشت و سنتینل دو چند طیفی و اطلاعات هواشناسی مانند درجه حرارت، ساعات آفتابی، باد و غیره استفاده شده و در نهایت تبخیر تعرق در کشت و صنعت نیشکر واحد امیرکبیر واقع در جنوب غربی خوزستان، محاسبه شد و نقشه‌های تبخیر تعرق برای سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ تهیه گردید. هم‌چنین تبخیر تعرق واقعی با استفاده از روش پریسلی تیلور محاسبه شد و با روش سبال مورد مقایسه قرار گرفت. میانگین تفاضل مطلق بین روش الگوریتم سبال و پریسلی تیلور برای سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به ترتیب برابر ۰/۱۷۵ و ۰/۱۷۱ میلی متر بر روز به دست آمد و میانگین تفاضل مطلق بین روش الگوریتم سبال و لایسیمتر برای سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به ترتیب برابر ۰/۱۸۵ و ۰/۲۳۶ به دست آمد. نتایج نشان داد که تبخیر تعرق محاسبه شده با این دو روش قابل قبول است و الگوریتم سبال توانایی بالایی در تعیین تبخیر تعرق برخوردار است.

کلید واژه‌ها: سنجش از دور، آبیاری، لایسیمتر، لندست، سنتینل.

مقدمه

تبخیر تعرق واقعی گیاه تبدیل می‌شود (Allen et al, 1998). روش‌های اندازه‌گیری تبخیر تعرق با استفاده از لایسیمتر برای کاربرد پیوسته در فاصله‌های مناسب در منطقه، بسیار پرخرج و وقت‌گیر است. هم‌چنین چون این اندازه‌گیری‌ها نقطه‌ای است، به خاطر شرایط متغیر آب و هوایی و منطقه‌ای، قابل تعمیم به حوضه‌های بزرگ نمی‌باشد، بنابراین تخمین به‌وسیله سنجش از دور در زمین‌های وسیع، بسیار کارآمدتر می‌باشد (Purmohammadi and Rahimian, 2010).

مبنای بیشتر روش‌های غیرمستقیم ارایه شده، بر پایه رابطه‌های بین پارامترهای هواشناسی است که کمبود و یا نقصان این داده‌ها، استفاده از آن‌ها را با محدودیت روبرو می‌کند. از طرفی این اطلاعات، نقطه‌ای و مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی است و برآورد منطقه‌ای آن‌ها مشکل دیگری است که عدم قطعیت‌های خاص خود را دارد.

بررسی‌های مدیریت آب کشاورزی به اطلاعات دقیقی از تبخیر تعرق واقعی نیاز دارد. این اطلاعات باید دارای جزئیات مکانی کافی باشد تا بتوان تحلیل‌ها را در سطح مزرعه و یا حوضه انجام داد (Sanchez et al., 2008). روش‌هایی که برای برآورد تبخیر تعرق به کار گرفته می‌شود در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند که عبارتند از: روش‌های مستقیم و روش‌های غیرمستقیم یا محاسباتی (Alizade and Kamali, 2007). معمول‌ترین روش مستقیم برآورد تبخیر تعرق استفاده از اصل بیلان جرمی در یک حجم کنترل شده از خاک است. از میان روش‌های غیرمستقیم تبخیر تعرق گیاه نیز می‌توان به روش ذکر شده در نشریه‌ی فائو ۵۶ اشاره کرد. در این روش ابتدا تبخیر تعرق پتانسیل با استفاده از روش استاندارد پنمن-مانتیت محاسبه شده و سپس با استفاده از ضریب گیاهی به

گندم، گیاهان مرتعی و نیزارها) تبخیر تعرق جداگانه‌ای را ارائه داد. در ضمن تبخیر تعرق به‌دست‌آمده از الگوریتم سبال با تبخیر تعرق مرجع محاسبه‌شده از معادله پنمن-مانتیت حدود ۸۵ درصد همبستگی نشان داد.

آنچه که مسلم است کارایی این الگوریتم در مدیریت بهینه منابع آب است. به‌طوری‌که با داشتن مقدار تبخیر تعرق واقعی به صورت مکانی، تصویر صحیحی از الگوی مصرف آب در هر منطقه (حتی در مقیاس وسیع) به‌دست می‌آید. براساس آن می‌توان اقدام به برنامه‌ریزی و تعیین مقدار آب مورد نیاز به هر منطقه نمود. هدف از پژوهش حاضر نیز تعیین میزان تبخیر تعرق واقعی به کمک الگوریتم سبال با استفاده از ماهواره لندست و سنتینل در واحد کشت و صنعت امیرکبیر است که با استفاده از اطلاعات لایسیمیتری و روش تجربی پریسلی تیلور به مقایسه کارایی الگوریتم سبال با این روش‌ها پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه

در این تحقیق از ۲۴ تعداد تصویر ارسال شده از ماهواره لندست ۸ و ۶۰ تصویر ماهواره سنتینل دو در دوره رشد رشد تا برداشت گیاه نیشکر در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ میلادی مصادف با سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ شمسی (۲۸ اردیبهشت تا ۱۷ مهرماه) استفاده شد. سری زمانی تصاویر ارسالی از ماهواره هر ۱۶ روز با شفافیت ۳۰ متر می‌باشد. در این دوره هیچ کدام از تصاویر مشکل ابری بودن را نداشتند. منطقه مورد مطالعه در کشت و صنعت نیشکر واحد امیرکبیر واقع در جنوب استان خوزستان، یکی از هفت شرکت توسعه‌ی کشت نیشکر و صنایع جانبی با مختصات محلی $48^{\circ} 16' 49'' E$ و $31^{\circ} 2' 2'' N$ می‌باشد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی کشت و صنعت توسعه نیشکر امیرکبیر را نشان می‌دهد. مساحت ناخالص اراضی این کشت و صنعت ۱۵۰۰۰ هکتار و مساحت خالص آن ۱۲۰۰۰ هکتار بوده که به چندین قطعه ۲۵ هکتاری تقسیم‌بندی شده است. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت امیرکبیر استخراج شد. این اطلاعات شامل: سرعت باد، ساعات آفتابی، دمای حداکثر و حداقل و بارش می‌باشند. داده‌های مذکور برای سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ همراه با شروع ارسال عکس‌های ماهواره landsat8 و Sentinel مورد استفاده قرار گرفتند.

بدین منظور استفاده از فناوری سنجش از دور و تصویرهای ماهواره‌ای، می‌تواند رویکرد مناسبی برای پاسخ به این محدودیت‌ها باشد. تبخیر تعرق واقعی را می‌توان با تصویرهای ماهواره‌ای که دارای طول موج‌های کوتاه و بلند هستند و با کاربرد معادله‌های بیلان انرژی سطحی برآورد کرد (Chihda et al., 2010). از نمونه الگوریتم‌های مطرح می‌توان به مدل‌های SEBAL، Bastiaanssen et al. (2000)، Bastiaanssen et al. (1998)، Metric، Allen et al. (2007)، SEBS، Su (2002) اشاره کرد. از بین الگوریتم‌های ذکرشده از الگوریتم بیلان انرژی استفاده‌ی بیشتری شده است (Bagheriharooni et al., 2013; Teixeira et al., 2009). از عوامل برتری الگوریتم سبال نسبت به دیگر الگوریتم‌های سنجش از دور این است که سبال شامل الگوریتم آنالیز تصاویر ماهواره‌ای بر مبنای اصول فیزیکی است و از شبیه‌سازی ماهواره‌ای استفاده می‌کند و نیاز به حداقل اطلاعات هواشناسی از اندازه‌گیری‌های زمینی یا مدل‌های هوایی دارد (Bastiaanssen et al. 2002).

Ogunjobi et al (2018) مقدار تبخیر تعرق واقعی را در دشت آکوره کشور نیجریه با استفاده از تصاویر لندست ۸ محاسبه کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد مقدار تبخیر تعرق واقعی در مقایسه با مقدار تبخیر تعرق حاصل از لایسیمتر تفاوت قابل توجهی ندارند. Li et al (2008) مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر NOAA و الگوریتم SEBAL روی میزان آب مصرفی و بهره‌وری آب گیاه گندم در دشت‌های شمال چین انجام داد. طبق نتایج به‌دست‌آمده خطای نسبی بین مقدار تبخیر تعرق فصلی با داده‌های لایسیمتری وزنی ۴/۲ درصد می‌باشد.

Bastiaanssen et al. (2005) به بررسی دقت سبال در شرایط مختلف آب و هوایی و در مقیاس مزرعه‌ای و حوزه‌ای پرداختند. برای شرایط رطوبت خاک و شرایط گیاهی رایج در منطقه، صحت در مقیاس مزرعه‌ای ۸۵ درصد برای دوره یک روزه و تا ۹۵ درصد برای دوره فصلی گزارش شده است. دقت تعیین تبخیر تعرق سالیانه نیز در حوزه‌های بزرگ به‌طور متوسط ۹۶ درصد بیان شده است.

در پژوهش Purmohammadi و Rahimiyan (2010) میزان تبخیر تعرق واقعی گیاهان تحت تنش‌های محیطی در دشت آزادگان واقع در استان خوزستان توسط الگوریتم سبال برآورد شد. نتایج این پژوهش برای هر یک از سایت‌های موجود در منطقه (گیاه

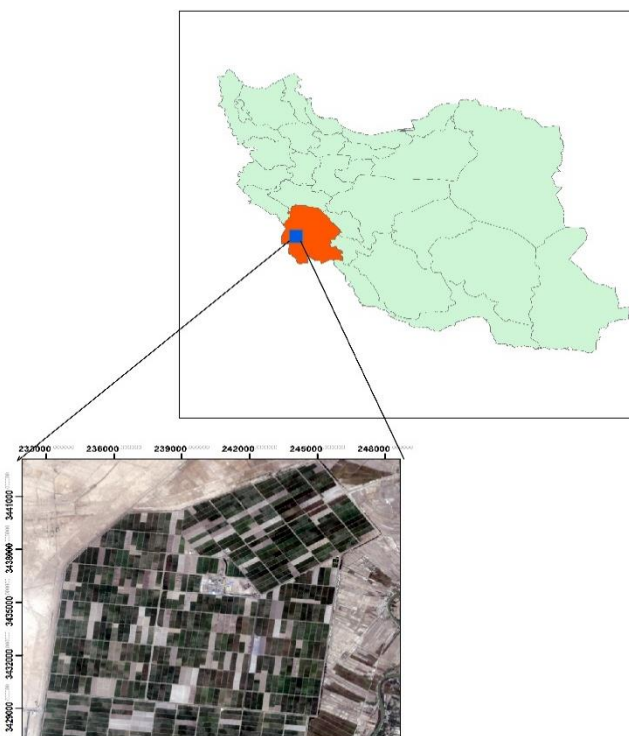


Fig. 1- location of Amir Kabir Sugarcane plantation and industry

شکل ۱- موقعیت کشت و صنعت توسعه نیشکر امیر کبیر

شامل: ارایه تصاویر چندطیفی با پوشش جهانی و دارای توان تفکیک مکانی و زمانی بالا ارایه تصاویری که مکمل داده‌های تصویری لندست و اسپات باشد. این تصاویر دارای توان تفکیک مکانی متغیر ۱۰ تا ۶۰ متر و شامل ۱۳ باند در محدوده طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه می‌باشند. علاوه بر این، سنتینل دو دارای عرض برداشت ۲۹۰ کیلومتر و توان تفکیک زمانی ۵ روز در استوا می‌باشد (Ezatabadipur, 2016).

الگوریتم سبال

در این الگوریتم با استفاده از معادله توازن انرژی مقدار شار گرمای نهان تبخیر برای هر پیکسل از رابطه (۱) به دست می‌آید (Bastiaanssen et al, 2002):

$$\lambda_{ET} = R_n - G - H \quad (1)$$

که در آن:

λ_{ET} شار گرمای نهان تبخیر (W/m^2), R_n میزان تابش خالص خورشیدی (W/m^2), G شار گرمای خاک (W/m^2) و H شار گرمای محسوس می‌باشد.

اطلاعات لایسینتر

در این مطالعه از لایسینترهای زهکش‌دار شرکت کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر به عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی استفاده شد. داده‌های لایسینتر برای صحت‌سنجی داده‌های تبخیرتغرق استفاده شد. مساحت این لایسینترها ۱۲۰ مترمربع است و از ۱۰ لایسینتر کوچکتر با ابعاد ۶×۲ متر با کف شیب‌دار و عمق حدود دو متر و شیب ۰/۰۰۵ تشکیل شده است.

ماهواره‌های مورد استفاده در این پژوهش

از ماهواره لندست ۸ و سنتینل دو استفاده شد. ماهواره لندست ۸ در ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ راه‌اندازی شد که محصول همکاری بین ناسا و سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) است. ویژگی مهم لندست قابلیت مطالعه پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی در طول زمان است زیرا داده‌های تولیدی آن‌ها از لحاظ اخذ داده، کالیبراسیون، ویژگی‌های طیفی و در نهایت محصول خروجی سازگار هستند. سنتینل دو، بخشی از برنامه Copernicus است که توسط آژانس فضایی اروپا برای جمع‌آوری اطلاعات از زمین طراحی و ایجاد شده است. سنتینل دو، شامل دو ماهواره تصویربرداری به نام‌های سنتینل دو A و سنتینل دو B است. دو ماموریت اصلی سنتینل دو

در مناطق خشک و نیمه خشک تنک بودن پوشش گیاهی باعث می‌شود اثرات بازتاب خاک زمينه، اثر بازتاب پوشش گیاهی را تحت تاثیر قرار دهد و بر آن غلبه کند. SAVI شاخص تصحیح شده NDVI است که اثرات زمينه و رطوبت خاک را در شاخص NDVI کاهش می‌دهد و از رابطه (۶) به دست می‌آید (Bastiaanssen et al., 2002):

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_4 - \rho_3)}{\rho_4 + \rho_3 + L} \quad (6)$$

که در آن L فاکتور تصحیح اثرات خاک می‌باشد که دامنه‌ی آن صفر برای پوشش گیاهی متراکم تا یک برای پوشش گیاهی با تراکم کمتر متغیر است. مقدار L با استفاده از اطلاعات تصاویر و روابط (۷) و (۸) به دست می‌آید:

$$L = 1 - (2 \times a \times NDVI \times WDVI) \quad (7)$$

$$WDVI = \rho_4 - \gamma \rho_3 \quad (8)$$

که در آن γ ضریب خط خاک می‌باشد که در واقع شیب خط برازش داده شده بر نمودار طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک (باند ۴) و قرمز (باند ۳) است (Yang et al., 2006). WDVI شاخص وزنی (مادون قرمز نزدیک) اختلاف پوشش گیاهی و a برابر با شیب خاک بوده که مقدار آن برابر با ۱/۶ می‌باشد. مقدار آلبدو در بالای اتمسفر با استفاده از روابط (۹) تا (۱۱) به دست می‌آیند:

$$\alpha_{Toa} = \sum_{i=1}^n (W_{\lambda i} \times \rho_{\lambda i}) \quad (9)$$

$$W_{\lambda} = \frac{ESUN_{\lambda}}{\sum_{i=1}^n ESUN_{\lambda}} \quad (10)$$

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} \times \cos \theta \times d_r} \quad (11)$$

α_{Toa} تابش بالای اتمسفر، L_{λ} تابش طیفی ($W/m^2/sr/\mu m$)، θ زاویه میل خورشیدی، d_r معکوس فاصله نسبی زمین تا خورشید، W_{λ} ضریب وزنی برای هر باند، $ESUN_{\lambda}$ پتانسیل تابش خورشید در هر باند ($W/m^2/\mu m$) و ρ_{λ} میزان انعکاس در هر باند سنجنده در سطح (بدون بعد) می‌باشد.

اندازه‌گیری شار گرمای خاک (G) به‌طور مستقیم با استفاده از سنجش از دور امکان‌پذیر نیست اما مطالعه‌های بسیاری نشان دادند

مقدار تابش خالص از توازن چهار شار تابشی در سطح زمین به دست می‌آید که عبارتند از تابش طول موج کوتاه ورودی ($R_s \downarrow$)، بازتابش طول موج باند خروجی ($R_s \uparrow$)، تشعشع‌های طول موج بلند ورودی به اتمسفر ($R_L \downarrow$) و تشعشعات طول موج بلند گسیل شده از سطح ($R_L \uparrow$). تابش خالص با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Bastiaanssen et al., 1998):

$$R_n = (1 - \alpha) R_s \downarrow + R_L \downarrow - R_L \uparrow - (1 - \epsilon_0) R_L \uparrow \quad (2)$$

که در آن:

α آلبدوی سطح (بدون بعد) و ϵ_0 گسیلندگی سطح به دست آمده از طریق شاخص سطح برگ (LAI) می‌باشد. در الگوریتم سبال دو نوع گسیلندگی از سطح استفاده می‌شود که عبارتند از: ϵ_{NB} که برای محاسبه‌ی دمای سطح و ϵ_0 که برای محاسبه تشعشع‌های طول موج بلند گسیل یافته از سطح استفاده می‌شود. مقادیر ϵ_{NB} و ϵ_0 برای شرایطی که شاخص تعدیل شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) بزرگ‌تر از صفر باشد از روابط (۳) و (۴) به دست می‌آید:

$$\epsilon_{NB} = 0.97 + 0.0033 LAI \quad LAI < 3 \quad (3)$$

$$\epsilon_0 = 0.95 + 0.01 LAI \quad LAI > 3 \quad (4)$$

که در آن ϵ_0 قابلیت انتشار حرارتی سطح (بدون بعد)، ϵ_{NB} قابلیت انتشار تشعشع‌های طول موج بلند گسیل یافته از سطح (بدون بعد) و LAI شاخص سطح برگ (بدون بعد) می‌باشد. شاخص گیاهی NDVI، وضعیت پوشش گیاهی در سطح زمین را مشخص می‌کند. NDVI با استفاده از رابطه‌ی (۵) برای تصاویر لندست استفاده می‌شود (Bastiaanssen et al., 2002):

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (5)$$

که ρ_4 و ρ_3 بازتاب طیفی باندهای سه و چهار می‌باشند. شاخص گیاهی NDVI بین +۱ و -۱ است. زمین‌های شامل پوشش گیاهی متراکم دارای مقادیر مثبت ۰/۳ تا ۰/۸ هستند. برخلاف ابر، آب و برف طول موج بخش مرئی را بیشتر از طول موج مادون قرمز نزدیک انعکاس می‌دهند (Bastiaanssen, 2000). بنابراین، این پدیده‌ها دارای شاخص‌های منفی هستند. صخره‌ها و مناطق خاکی بدون پوشش، در هر دو باند انعکاس مشابهی داشته و در نتیجه شاخص پوشش گیاهی آن‌ها صفر خواهد بود.

حالت معادله پنمن حد پایینی برای مقدار تبخیرتغرق از سطح مرطوب را به دست می‌دهد که تبخیرتغرق تعادلی نامیده می‌شود و به صورت رابطه (۱۴) محاسبه می‌گردد:

$$E_e = \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \frac{R_n}{\lambda} \quad (14)$$

در این رابطه E_e تبخیرتغرق تعادلی (میلی‌متر در روز)، R_n تابش خالص (مگاژول بر مترمربع در روز)، λ گرمای ویژه آب (مگاژول بر کیلوگرم)، γ ضریب ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) است. Priestley و Taylor (1972) مفهوم تبخیرتغرق تعادلی را به‌عنوان پایه‌ای برای ایجاد معادله‌ای تجربی که تبخیر از یک سطح مرطوب تحت شرایط حداقل تغییرات را به دست می‌دهد، استفاده کردند. در این روش تبخیرتغرق مرجع با استفاده از ضریب α به صورت مستقیم از تبخیر تعادلی در رابطه (۱۵) به دست می‌آید:

$$ET_0 = \alpha E_e \quad (15)$$

ET_0 تبخیرتغرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز)، E_e تبخیرتغرق تعادلی، α ضریب تجربی است که Priestley و Taylor (1972) مقادیر آن را بین ۱/۰۸ و ۱/۳۴ با مقدار متوسط ۱/۲۶ به دست آوردند. در این تحقیق مقدار متوسط ۱/۲۶ برای α استفاده شده است. به منظور یافتن دقت الگوریتم سبال، نتایج به دست آمده با داده‌های تبخیرتغرق لایسیمتر و روش Priestley و Taylor (1972) با استفاده از روش‌های آماری مقایسه شدند. برای این منظور از پارامترهای تفاضل مطلق (MAE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) به ترتیب رابطه (۱۶) و (۱۷) استفاده شدند:

$$MAE = \sum |ET_0 - ET_e| / n \quad (16)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(ET_0 - ET_e)^2}{n}} \quad (17)$$

برای محاسبه تبخیرتغرق با استفاده از الگوریتم سبال نیاز به محاسبه‌ی پیکسل‌های سرد و گرم با استفاده از باندهای حرارتی است. اما ماهواره سنتینل دو دارای باندهای حرارتی نمی‌باشد ولی دارای قدرت تفکیک مکانی بالایی است و از نظر زمانی هر پنج روز عکس‌برداری را انجام می‌دهد. با توجه به این مزایا نسبت به ماهواره لندست ۸ در این پژوهش برای محاسبه شاخص‌های مدنظر موجود در الگوریتم سبال از تصاویر ماهواره سنتینل دو استفاده شد و فقط برای محاسبه پیکسل‌های سرد و گرم از باند حرارتی ماهواره لندست ۸ استفاده شد.

که بین مقدار (G/R_n) و پارامترهایی چون NDVI، دمای سطح (T_s) و آلبیدو رابطه‌ای وجود دارد (Bastiaanssen, 2000).

مهم‌ترین و مشکل‌ترین قسمت در الگوریتم سبال محاسبه شار گرمای محسوس (H) براساس انتقال گرما است که مقدار آن از رابطه‌ی (۱۲) به دست می‌آید:

$$H = \frac{\rho C_p dT}{r_{ah}} \quad (12)$$

که در آن ρ چگالی هوا (Kg/m^3)، C_p گرمای ویژه هوا ($\text{J/Kg}^\circ\text{K}$)، dT اختلاف دما (K°) بین دو ارتفاع r_{ah} و مقاومت آیرودینامیکی برای انتقال گرما است.

چگالی هوا با توجه به نقشه ارتفاعی و دمای سطحی برای هر پیکسل محاسبه می‌گردد. این محاسبات تابعی از گرادیان دما، زبری سطح و سرعت باد می‌باشند. با این وجود حل رابطه (۱۲) به دلیل دو عامل ناشناخته dT و r_{ah} مشکل است. در الگوریتم سبال برای برآورد شار گرمای محسوس، ابتدا دو پیکسل آستانه انتخاب می‌شود یکی از پیکسل‌ها که پیکسل سرد نامیده می‌شود مربوط به منطقه‌ای است که به طور کامل پوشیده از گیاهان آبیاری شده است و دمای سطح زمین در این پیکسل نزدیک به دمای هوا می‌باشد. پیکسل دوم که پیکسل گرم نامیده می‌شود که زمین کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک می‌باشد که تبخیرتغرق در آن صفر فرض می‌شود. در این تحقیق از NDVI و دمای سطحی تصحیح‌شده برای تعیین پیکسل سرد و گرم استفاده شد، به طوری که در پیکسل گرم NDVI حداقل دمای سطحی حداکثر بوده و در پیکسل سرد NDVI حداکثر و دما حداقل بودند (Bastiaanssen et al., 1998). تبخیرتغرق براساس بیلان انرژی در لحظه گذر ماهواره محاسبه می‌شود. این مقدار باید به تبخیرتغرق روزانه تبدیل گردد. برای این منظور جز تبخیری (ET_{rf}) برای هر پیکسل تصویر از رابطه‌ی (۱۳) محاسبه می‌شود (Bastiaanssen et al., 2002):

$$ET_{rf} = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (13)$$

که در آن ET_{inst} تبخیرتغرق لحظه‌ای (mm/hr) و ET_r تبخیرتغرق گیاه مرجع است.

روش پریسلی-تیلور

در روش پیشنهادی Priestley و Taylor (1972) تبخیرتغرق گیاه مرجع با استفاده از ضریب α به تبخیرتغرق تعادلی ارتباط داده می‌شود. هنگامی که هوا در تماس با یک سطح مرطوب گسترده باشد، در صورت عدم وجود جریان افقی، ممکن است به حالت اشباع رسیده باشد و قدرت تبخیری هوا از بین برود. در این

نتایج و بحث

سبال اختلاف قابل توجهی ندارد. به طور کلی می‌توان بیان نمود که در روش استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل دو می‌توان میزان تبخیر تعرق گیاه نیشکر را با مقدار خطای کمی محاسبه نمود. نتایج تبخیر تعرق واقعی روزانه در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر با استفاده از روش لایسیمتر و مقادیر تخمین زده شده به وسیله الگوریتم سبال ارائه شده است. با توجه به این که لایسیمتر مقدار واقعی تبخیر تعرق را می‌دهد، با مقایسه مقادیر تبخیر تعرق محاسبه شده توسط الگوریتم سبال و مقادیر ارائه شده توسط لایسیمتر، میزان شاخص‌های برآورد خطا مقادیر کمتری را نشان می‌دهند. بنابراین با توجه به جداول (۱) و (۲) الگوریتم سبال روش مناسبی برای برآورد مقدار تبخیر تعرق گیاه نیشکر است.

به منظور تحلیل آماری نتایج از شاخص‌های تفاضل مطلق و تفاضل نسبی استفاده شده است. برای برآورد تبخیر تعرق لازم بود مقادیر تابش خالص و شار گرمای خاک برای پیکسل‌های سرد و گرم به دست آید. نتایج به تفکیک روش برآورد تبخیر تعرق و تاریخ تصاویر ارائه شده است (جداول ۱ و ۲). نتایج تبخیر تعرق پتانسیل با استفاده از روش Priestley و Taylor (1972) و حداکثر مقادیر تخمین زده شده به وسیله الگوریتم سبال برای کشت و صنعت امیرکبیر ارائه شده است (جدول ۱). مطابق جدول (۱) با توجه به شاخص‌های محاسبه شده میزان تبخیر تعرق محاسبه شده با استفاده از روش Priestley و Taylor (1972) با تبخیر تعرق محاسبه شده توسط الگوریتم

جدول ۱- تبخیر تعرق پتانسیل با استفاده از روش پریسلی تیلور و حداکثر مقادیر تخمین زده شده به وسیله الگوریتم سبال برای کشت و صنعت امیرکبیر

Table 1- Potential evapotranspiration by Priestly-Taylor and maximum estimated evapotranspiration by SEBAL for Amir Kabir plantation and industry

Date	Priestly-Taylor	SEBAL algorithm(mm/day)	MAE(mm/day)	RMSE(%)	Mean absolute difference (mm/day)
5/18/2017	4.51	4.78	0.21	5.1	0.175
5/26/2017	3.83	3.95	0.18	6.53	
6/27/2017	2.65	2.83	0.27	3.12	
7/29/2017	2.53	2.66	0.12	5.8	
8/30/2017	3.56	3.65	0.16	9.87	
10/09/2017	3.93	3.98	0.11	11.1	
5/18/2018	5.93	5.98	0.09	7.82	
5/26/2018	5.58	5.71	0.3	4.12	
6/27/2018	4.55	4.86	0.25	6.32	
7/29/2018	3.18	3.24	0.14	9.56	
8/30/2018	4.91	4.98	0.1	2.33	0.171
9/22/2018	5.23	5.33	0.15	3.53	

جدول ۲- تبخیر تعرق واقعی روزانه در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر با استفاده از روش لایسیمتر و مقادیر تخمین زده شده به وسیله الگوریتم سبال

Table 2- Potential evapotranspiration by lysimeter and maximum estimated evapotranspiration by SEBAL for Amir Kabir plantation and industry

Date	Lysimeter	SEBAL algorithm(mm/day)	MAE(mm/day)	RMSE(%)	Mean absolute difference (mm/day)
5/18/2017	4.56	4.78	0.18	13.34	0.185
5/26/2017	3.89	3.95	0.12	5.87	
6/27/2017	2.76	2.83	0.24	9.98	
7/29/2017	2.63	2.66	0.16	15.45	
8/30/2017	3.66	3.65	0.1	6.85	
10/09/2017	3.98	3.98	0.31	2.96	
5/18/2018	5.96	5.98	0.22	4.36	
5/26/2018	5.65	5.71	0.19	4.87	
6/27/2018	4.82	4.86	0.27	8.95	
7/29/2018	3.23	3.24	0.23	12.66	
8/30/2018	4.98	4.98	0.34	3.23	0.236
9/22/2018	5.36	5.33	0.17	5.12	

حداکثر و حداقل تبخیرتغرق برابر $7/2$ و $2/6$ میلی‌متر در روز می‌باشد. شکل (۴) نیز میزان تبخیرتغرق واقعی محاسبه شده توسط الگوریتم سبال برای ماه مرداد را نشان می‌دهد که میزان حداکثر و حداقل میزان تبخیرتغرق در این ماه به ترتیب 12 و $0/3$ میلی‌متر در روز بوده است. شکل (۵) میزان تبخیرتغرق واقعی ماه مهر را نشان می‌دهد که میزان حداکثر و حداقل تبخیرتغرق به ترتیب برابر 10 و $2/1$ است.

شکل (۳) و (۴) به ترتیب مقایسه مقدار تبخیرتغرق با روش Priestley و Taylor (1972) و تبخیرتغرق با مدل سبال و مقایسه تبخیرتغرق واقعی با روش لایسیمتر و تبخیرتغرق با مدل سبال را نشان می‌دهند.

شکل (۲) مقادیر تبخیرتغرق محصول نیشکر با استفاده از الگوریتم سبال با استفاده از تصاویر لندست ۸ و سنتینل دو را نشان می‌دهند. بررسی پارامترها و شاخص‌های مهم قابل استخراج از تصاویر ماهواره‌ای تبخیرتغرق واقعی روزانه برحسب میلی‌متر بر روز با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست ۸ و سنتینل دو (شکل ۲) نشان می‌دهد که تبخیرتغرق واقعی حاصل از تصاویر لندست ۸، سنتینل دو و الگوریتم سبال دارای حداقل و حداکثر مقدار تبخیرتغرق صفر و $6/98$ میلی‌متر در روز در ماه اردیبهشت می‌باشد. هم‌چنین در شکل (۲) تبخیرتغرق واقعی حاصل از تصاویر لندست ۸، سنتینل دو و الگوریتم سبال نشان می‌دهد که حداقل و حداکثر مقدار تبخیرتغرق در $2/6$ و $7/2$ میلی‌متر در روز در ماه خرداد می‌باشد. شکل (۳) میزان تبخیرتغرق گیاه نیشکر برای ماه تیر را نشان می‌دهد که میزان

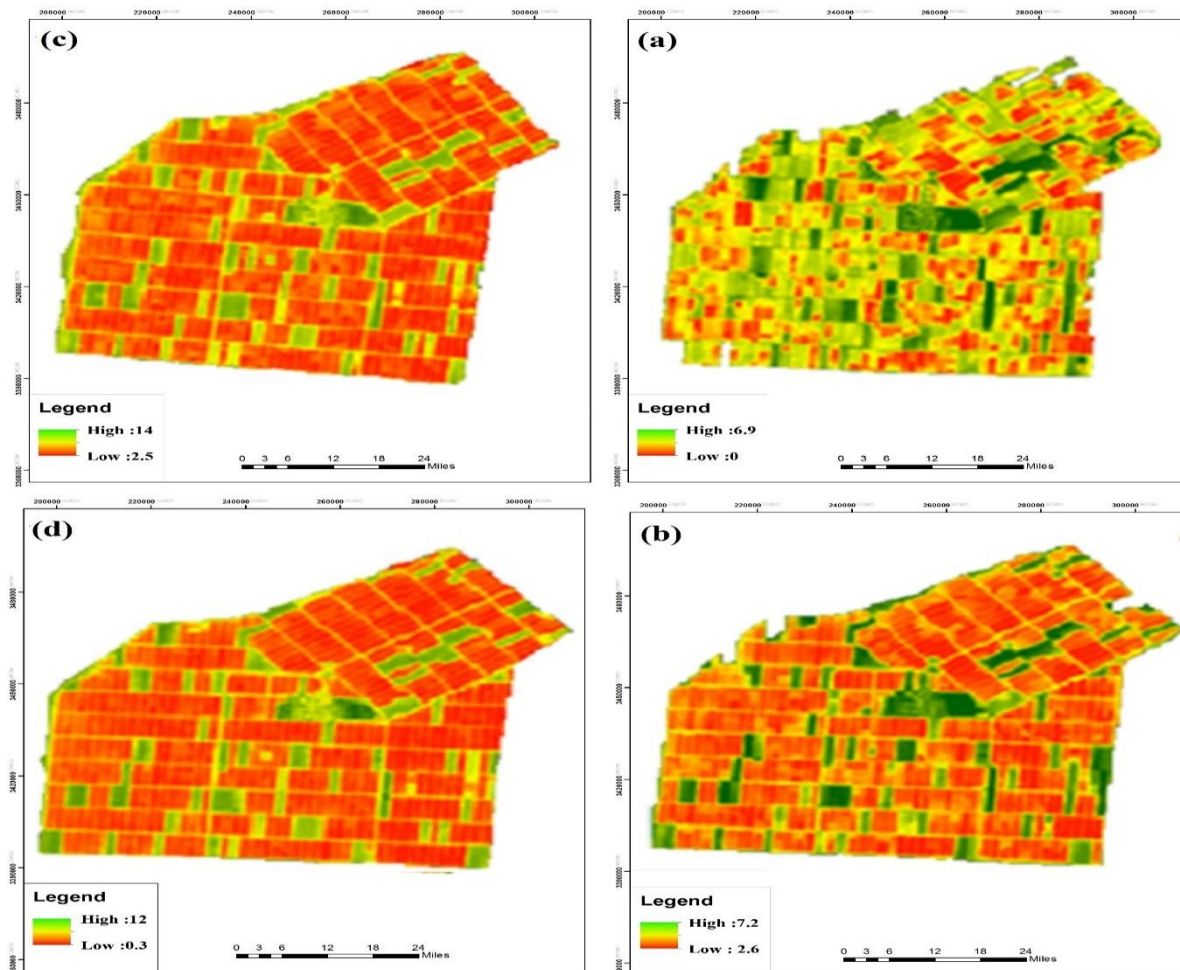


Fig. 2- Calculated evapotranspiration by SEBAL : (a) 18 May 2018; (b) 26 May 2018; (c) 27 June 2018; (d) 29 July 2018

شکل ۲- تبخیرتغرق محاسبه شده با استفاده از الگوریتم سبال برای ماه‌های مختلف: (a) ۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۷؛ (b) ۵ خرداد ۱۳۹۷؛ (c) ۶ تیر ۱۳۹۷؛ (d) ۷ مرداد ۱۳۹۷

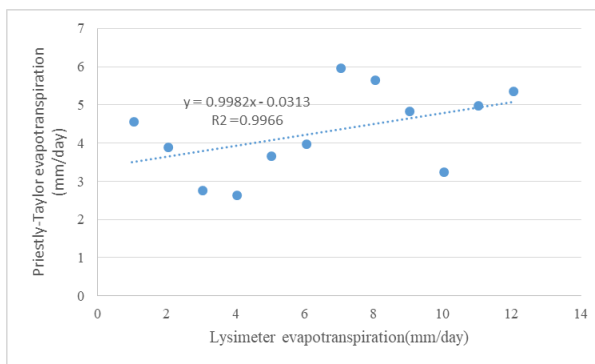


Fig. 3- Comparing evapotranspiration by Priestly-Taylor and SEBAL algorithm

شکل ۳- مقایسه مقدار تبخیر تعرق با روش پریسلی تیلور و تبخیر تعرق با پریسلی تیلور

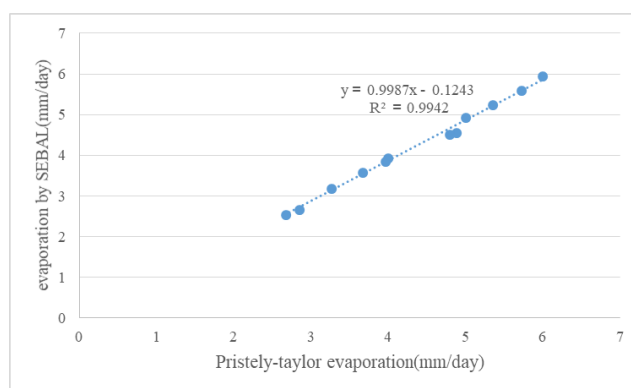


Fig. 4- Comparing evapotranspiration by Lysimeter and SEBAL algorithm

شکل ۴- مقایسه تبخیر تعرق واقعی با روش لایسیمتر و تبخیر تعرق با مدل سبال

۰/۲ تا ۰/۸ میلی‌متر در ساعت می‌باشد. برای ارزیابی دقت نهایی روش، از تحلیل میانگین مربع خطا RMSE و داده‌های سینوپتیک منطقه با مقدار متوسط ۰/۸ استفاده شد. نتایج نهایی حاصل شده حکایت از قابلیت خوب کاربرد تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در تعیین تبخیر تعرق واقعی در منطقه مورد مطالعه دارد.

نتایج نشان دادند که علی‌رغم این که ماهواره سنتینل دو دارای باندهای حرارتی نمی‌باشد اما با تلفیق تصاویر این ماهواره با ماهواره لندست ۸ می‌توان میزان تبخیر تعرق واقعی را با استفاده از الگوریتم سبال محاسبه نمود. همچنین تصاویر ماهواره لندست به لحاظ زمانی جهت برآورد نیاز آبی چالش برانگیز هستند اما با توجه به شاخص‌های محاسبه شده تفاوت چندانی با داده‌های لایسیمتری نشان نمی‌دهد و دارای دقت مناسبی است.

نتیجه گیری

الگوریتم سبال معادله کامل بیلان انرژی را به منظور محاسبه تبخیر تعرق واقعی گیاه، حل می‌کند و پارامترهای محاسبه شده در آن از جمله دمای سطحی، NDVI در محدوده خاصی تعریف شده‌اند و قابل قبول هستند. محاسبات نشان داد که نتایج حاصل از الگوریتم

با توجه به شکل (۳) و (۴) محاسبه تبخیر تعرق با روش سبال همبستگی بالاتری با روش محاسبه شده به روش لایسیمتر نسبت به روش Priestley و Taylor (1972) دارد. در روش Priestley و Taylor وجود برخی فرضیه‌ها و متغیرها باعث ایجاد خطا و بروز همبستگی کمتر نسبت به روش لایسیمتر می‌شود.

Simaie et al (2013) در تحقیق خود کارایی مدل SEBAL در برآورد میزان تبخیر تعرق حوضه آبخیز زنگان رود را بررسی کردند و آن‌ها در تحقیق خود از ماهواره‌های MODIS و LANDSAT-5 برای کشت گندم آبی و دیم استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که دقت تصاویر سنجنده TM دو و نیم برابر بیشتر از تصاویر MODIS می‌باشد و به این نتیجه رسیدند تصاویر سنجنده TM دقت بیشتری برای تخمین تبخیر تعرق نسبت به سنجنده MODIS دارند.

Mokhtari و Moslemzadeh (2015) کارایی کاربرد تصاویر ماهواره لندست برای تخمین تبخیر تعرق دشت سگزی را بررسی کردند. پس از تعیین مقدار شار گرمای محسوس، تبخیر تعرق محاسبه گردید. نتایج به دست آمده ناشی از خروجی‌های تحلیل‌های مکانی نشان داد که تبخیر تعرق واقعی به دست آمده در محدوده بین

ماهواره‌ای، را مد نظر داشت و تبخیرتعرق گیاه را برای دشت‌های مختلف در مقیاس وسیع و هم‌چنین مقیاس نقطه‌ای محاسبه نمود. واضح است که با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی مناسب با وسعت و همگنی مزارع منطقه و در فواصل زمانی مناسب، می‌توان اقدام به ترسیم نقشه‌های تبخیرتعرق واقعی گیاه برای هر منطقه، در طول فصل رشد نمود.

تقدیر و تشکر

حمایت‌های مالی این تحقیق از محل اعتبار پژوهشی شماره پژوهانه SCU.WH.1398.801 صورت گرفته است. بدینوسیله از حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تقدیر می‌شود.

سبال با روش Priestley و Taylor (1972) مطابقت داشته است و میانگین تفاضل مطلق بین روش الگوریتم سبال و Priestley و Taylor (1972) برای سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به ترتیب برابر ۰/۱۷۵ و ۰/۱۷۱ میلی‌متر بر روز به دست آمد که نشان می‌دهد مقدار خطا نیز بسیار کم بوده است. میانگین تفاضل مطلق بین روش الگوریتم سبال و لایسیمتر برای سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به ترتیب برابر ۰/۱۸۵ و ۰/۲۳۶ به دست آمد در نتیجه با مقایسه‌ی میزان خطا بین الگوریتم سبال و لایسیمتر نیز در حد قابل قبول بوده است. برآورد تبخیرتعرق به روش‌های معمول خطای بسیاری دارد که شامل خطاهای موجود در جمع‌آوری داده‌های آب و هوایی از جمله سرعت باد، دمای هوا، تشعشع خورشیدی، طول روز، رطوبت هوا و هم‌چنین عدم کالیبره کردن ضرایبی مانند ضریب تشتک تبخیر است که برای کاهش خطا می‌توان روش‌های نوینی همانند استفاده تصاویر

References

- 1- Alizade, A. and Kamali, G., 2007. *Water requirement of plants in Iran*. Emam Reza University Publications. Mashhad.
- 2- Allen, R.G., Tasumi, M. and Trezza, R., 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4), pp. 380-394. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380). Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380).
- 3- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. *FAO Irrigation and Drainage, Paper No 56*. Doi: 10.3178/jjshwr.16.589.
- 4- Bagheriharooni, M.H., Arshad, S., Majnooni, A. and Morid, S., 2013. Comparing one source and two source remote sensing models for real evapotranspiration in Iran. *Journal of Remote Sensing and GIS in Iran*, 1(4), pp. 81-96.
- 5- Bastiaanssen, W., 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin. *Journal of Hydrology*, 229(1), pp. 87-100. Doi: 10.1016/S0022-1694(99)00202-4.
- 6- Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D. and Chemin, Y., 2002. Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. *Water Resource Research*, 38(12), pp. 1-9. Doi: 10.1029/2001WR000386.
- 7- Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J.M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B.P. and Allen, R.G., 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(1), pp. 55-93. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(85)
- 8- Bastiaanssen, W., Menenti, M., Feddes, R. and Holtslag, A., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 213, pp. 198-212. Doi: 10.1016/S0022-1694(98)00253-4.
- 9- Chihda, Wu., Cheng, C., Lo, H. and Chen, Y., 2010. Study on estimating the evapotranspiration cover coefficient for stream flow simulation through remote sensing techniques. *Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(4), pp. 225-232. Doi: 10.1016/j.jag.2010.03.001.

- 10-Ezatabadipur, H., 2016. Introducing Sentinel2 Satellite. *Third International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning*.Iran.
- 11-Li, H., Li, Z., Yuping, L., Chunqiang, L., Zhijun, L. and Shengwei, Z., 2008. Estimation of water consumption and crop water productivity of winter wheat in north china plain using remote sensing technology. *Agricultural Water Management*.95(11), pp. 1271-1278. Doi: 10.1016/j.agwat.2008.05.003.
- 12- Moslemzadeh, N. and Mokhtari, A., 2015. Estimating daily evapotranspiration by using SEBAL algorithm and Landsat8 satellite. 1st international conference of water, *environment and sustainable development*. *Civil Engineering Group*. Tehran. Iran.
- 13-Ogunjobi, K.O., Daramola, M.T. and Akinsanola, A.A., 2018. Estimation of surface energy fluxes from remotely sensed data over Akure, Nigeria. *Spatial Information Resources*. 26(1), p.p.77–89.
- 14-Priestley, C.H.B. and Taylor R.J., 1972. On the assessment of surface heat and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100, pp. 81-92. Doi: 10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2.
- 15-Purmohammadi, S. and Rahimiyan, M.H., 2010. Suppling water requirement for natural and agricultural ecosystem balance by using Sebal algorithm (Azadegan plain). In *6th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering and 4th National Congress of Fertilizers and Sediments*. *Department of Watershed Management, Faculty of Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University*.
- 16-Sanchez, J., Kustas, W., Caselles, V. and Anderson, M., 2008. Modelling surface energy fluxes over maize using a two-source patch model and radiometric soil and canopy temperature observations. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), pp. 1130-1143. Doi: 10.1016/j.rse.2007.07.018.
- 17-Su, Z., 2002. The surface energy balance system (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences*. 6(1), pp. 85-100
- 18-Simaie, E., Homaei, M. and Norouzi, A.A., 2013. Evaluating SEBAL model to estimate evapotranspiration using MODIS and TM sensors data. *Water and Soil Resources Conservation Journal*, 4(2), 29-40.
- 19-Teixeira, A.H.C., Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D. and Bos, M.G., 2009. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle Sao Francisco River basin, Brazil: Part A: Calibration and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(3), pp. 462-476. Doi: 10.1016/j.agrformet.2008.09.016.
- 20-Yang, W., Shabanov, N.V., Huang, D., Wang, W., Dickinson, R.E., Nemani, R.R., Knvazikin, Y., and Myneni, R.B., 2006. Analysis of leaf area index products from combination of MODIS Terra and Aqua data. *Remote Sensing of Environment*, 104, pp. 297-312. Doi: 10.1016/j.rse.2006.04.016.