

Estimation of actual evapotranspiration and water requirement of rose (*Rosa damascena* Mill.) using SEBAL algorithm

Ali Morshedi^{1*} 

¹ Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shahrekord, Iran

Abstract

Introduction

In determining the evapotranspiration (ET) of a crop species, factors such as type, crop density, growth stage, climate of the region, physicochemical characteristics and soil fertility, have a significant effect. Therefore, it has a significant complexity. In recent years, new technologies are used to estimate ET, such as surface energy balance algorithm for land (SEBAL), which estimates actual evapotranspiration, using satellite data and some ground data. The purpose of this research is to estimate the actual ET and water requirement of *Rosa damascena* using SEBAL during three crop growth years in a part of the Shahrekord high plain.

Materials and Methods

The studied farm with an area of 16.38 ha is located in the Shahrekord plain, Karoun watershed. The remote sensing data included 42 cloud-free images of Landsat 7 and Landsat 8 satellites (2017, 2018, and 2019). The growth period lasted from the beginning of April to the end of November of each crop year. Images were processed in ERDAS Imagine 2015 software for radiometric correction and subsequent calculations using SEBAL algorithm. In order to estimate the actual evapotranspiration, the energy balance equation is used. For this purpose, all energy fluxes such as, R_n : the net incoming radiation flux to the considered surface, H : the sensible heat flux, G_0 : the soil heat flux and λET : the latent heat flux of evapotranspiration should be taken into account. The first step in the SEBAL process is to calculate the net radiation flux of the R_n . The second, soil heat flux G_0 that is the rate of heat capacity in the soil and vegetation resulting from heat conduction or heat energy used to heat or cools the volume of the soil mass. The third is to calculate sensible heat flux (H) is the rate of heat loss to the air by conduction and convection phenomena, which is caused by the thermal difference. In SEBAL process, two "anchor" pixels are used to create boundary conditions for energy balance. These include as "cold (wet)" and "warm (dry)" pixels that are determined in the study area. A cold pixel is selected at the surface of open water or the surface covered by a well-watered alfalfa crop. It is assumed that the temperature of the surface and the temperature of the air near the surface are the same in this pixel. The "warm" pixel is selected in dry agricultural lands and its ET is considered zero. It is necessary for SEBAL model to establishing a linear equation between the surface temperature (T_s) and the air-surface temperature difference (dT) for each pixel using hot (dry) and cold (wet) pixels.

Results and Discussion

Based on the results of three years of research in a 16.38 hectare Golmohammadi farm in the Shahrekord plain, using the Sabal algorithm and the number of 42 images on the days of Landsat 7 and Landsat 8 satellites passing, as well as using the modified Penman-Mantith-Fao mathematical relationship. It was found that the amount of evaporation and transpiration of hollyhocks in the studied area was on average 1043.8 mm during the growth period. According to the results of other researchers, which have been conducted using lysimeter data and field studies, it necessarily requires higher costs than remote sensing methods. In this research, the ability of the Sabal algorithm (as one of the best remote sensing algorithms) to estimate evaporation And the actual transpiration and determination of the water requirement of the chrysanthemum plant with a low cost and an easy method compared to the results of other researchers, which were done with difficult and expensive lysimetric methods, were proved and it is suitable to be used for other plant species and in other geographical areas. Results showed

that actual evapotranspiration value of rose crop (ET_C) obtained from the SEBAL during the three years of experiment were 1089.4, 1021.3, and 1020.6 mm per growth period. In the same period, reference crop evapotranspiration (ET_0) values were 1214.8, 1100.5, and 1135.5 mm during the growth period, respectively. In other words, average value for ET_C was 1043.8 mm in growth period.

Conclusion

Based on the results of three years of research in a 16.38 hectare Golmohammadi farm in the Shahrekord plain, using the Sabal algorithm and the number of 42 images on the days of Landsat 7 and Landsat 8 satellites passing, as well as using the modified Penman-Mantith-Fao mathematical relationship. It was found that the amount of evaporation and transpiration of hollyhocks in the studied area was on average 1043.8 mm during the growth period. According to the results of other researchers, which have been conducted using lysimeter data and field studies, it necessarily requires higher costs than remote sensing methods. In this research, the ability of the Sabal algorithm (as one of the best remote sensing algorithms) to estimate evaporation And the actual transpiration and determination of the water requirement of the chrysanthemum plant with a low cost and an easy method compared to the results of other researchers, which were done with difficult and expensive lysimetric methods, were proved and it is suitable to be used for other plant species and in other geographical areas.

Keywords: Latent heat flux, Net heat flux, Sensible heat flux, Surface energy balance

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: a.morshedi@areeo.ac.ir

Citation: Morshedi, A. (2023). Estimation of actual evapotranspiration and water requirement of rose (*Rosa damascena* Mill.) using SEBAL algorithm. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(3), 20-36.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11400.1127

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.2.4

Received: 31 August 2022, Received in revised form: 22 September 2022, Accepted: 22 September 2022, Published online: 23 September 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 3, pp. 20-36

Publisher: University of Mohagheh Ardabili

© Author(s)





برآورد تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) با استفاده از الگوریتم سبال

علی مرشدی^{*۱}

^۱ استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

چکیده

این مطالعه با هدف برآورد تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی گیاه گل محمدی با استفاده از الگوریتم سبال در یک مزرعه ۱۶/۳۸ هکتاری در بخشی از دشت مرتفع شهرکرد در طول سه سال زراعی (از آغاز سال زراعی ۱۳۹۶ تا پایان سال زراعی ۱۳۹۹) اجرا شد. در این پژوهش به منظور برآورد مقدار تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی گل محمدی از تصاویر ماهواره‌های لندست ۷ و لندست ۸ در قالب الگوریتم توازن انرژی برای سطح (سبال SEBAL) در طول دوره رشد استفاده شد. برای جلوگیری از بروز خطا، برنامه آبیاری مزرعه گل محمدی به گونه‌ای تنظیم شد که قبل از گذر ماهواره، دارای شرایط رطوبتی مشابه یا نزدیک به شرایط استاندارد (شرایط پتانسیل، بدون تنش رطوبتی و به طور مطلوب آبیاری شده) باشد و الگوریتم سبال، تبخیر و تعرق واقعی را به طور صحیح برآورد کند. مقدار تبخیر و تعرق واقعی به دست آمده از الگوریتم سبال (ET_c) در طول دوره رشد، در هر سال پژوهش برابر با ۱۰۸۹/۴، ۱۰۲۱/۳ و ۱۰۲۰/۶ میلی‌متر بود. در دوره مشابه، مقادیر ET₀ نیز به ترتیب برای سال‌های ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ برابر با ۱۲۱۴/۸، ۱۱۰۰/۵ و ۱۱۳۵/۵ میلی‌متر در طول دوره رشد به دست آمد. به عبارت دیگر، مقدار تبخیر و تعرق واقعی گل محمدی (ET_c) تا انتهای دوره رشد، در پژوهش حاضر به طور متوسط ۱۰۴۳/۸ میلی‌متر به دست آمد. در مجموع با توجه به مزایای فراوان الگوریتم سبال، پیشنهاد می‌شود برای دیگر مناطق کشور و در سطح وسیع از این فناوری برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی گیاه گل محمدی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بیلان انرژی سطح، شار گرمای محسوس، شار گرمای نهان، شار گرمای خالص

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.morshedi@areeo.ac.ir

استناد: مرشدی، علی (۱۴۰۱). برآورد تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) با استفاده از الگوریتم سبال. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۲۰-۳۶.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11400.1127

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.2.4

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۳۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۷/۰۱

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۳، صفحه ۲۰ تا ۳۶

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

ایران به‌عنوان خواستگاه گل محمدی گزارش شده است (Chevallier, 1996). در تاریخ آمده است که گل محمدی به‌عنوان یک گیاه دارویی از مسیر افغانستان به هند و دمشق و سپس به اروپا (جاده ابریشم) راه یافته و به همین دلیل به نام داماسک رز یا رز دمشقی شناخته شده است. هم‌اکنون، کشت و پرورش گل محمدی در بلغارستان، ایران، ترکیه، هند، چین، فرانسه، مراکش، ایتالیا، روسیه، لیبی و اوکراین انجام می‌گیرد (Rao et al., 2002). سابقه کشت گل محمدی در مناطق مختلف ایران، مانند آذربایجان، اصفهان، تهران، چهارمحال و بختیاری، سمنان، شیراز، کرمان، کرمانشاه، همدان و یزد وجود دارد. در حال حاضر، سطح زیر کشت گل محمدی در کل کشور بالغ بر ۲۶۰۰۰ هکتار بوده که مناطق عمده کشت آن در استان‌های فارس، کرمان، اصفهان و آذربایجان شرقی است (Ebadzadeh et al., 2019). گل محمدی درختچه‌ای است چند ساله با شاخه‌هایی با انشعاب زیاد و خاردار که با نام علمی *Rosa damascena* Mill. متعلق به خانواده Rosaceae شناخته می‌شود (Khatamsaz et al., 1992). ارتفاع گیاه گل محمدی از یک تا دو متر و دارای گل‌آذینی به شکل دیپهم و با ۳ تا ۹ گل و گاهی بیش‌تر است (Carins, 2003). گل محمدی دارای گلبرگ‌های بسیار بزرگ و اغلب، صورتی رنگ و معطر است (Mir Heydar, 1995). گل‌های گل محمدی بر شاخه‌های سال اول تشکیل شده و پس از خاتمه دوره گل‌دهی، رشد و نمو گیاه با ایجاد شاخه‌های جدید برای تولید گل در سال آینده ادامه می‌یابد. گل محمدی از دوره گل‌دهی کوتاهی برخوردار است و به‌طور معمول یک بار در سال گل می‌دهد، اما بعضی از واریته‌ها دارای گل‌دهی بیش‌تری در طول سال هستند (Carins, 2003). دوره گل‌دهی تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد (Ma et al., 2004). زمان شروع و طول دوره گل‌دهی در اروپا به‌طور عمده در ماه‌های خرداد و تیر، در هندوستان از اسفند تا فروردین و در ایران از اوایل اردیبهشت تا اواخر خرداد متغیر است (Scarman, 1996). پراکندگی جنس رز (*Rosa L.*) گل محمدی در شمال‌غربی و شرق ایران (از دامنه‌های البرز تا زاگرس) و در مناطق جنوبی (بلوچستان) مشاهده شده است (Ghahraman, 1993).

در ارتباط با تعیین نیاز آبی گیاهان دارویی، پژوهش‌های قابل‌توجهی انجام نشده است. اگرچه موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، نیاز آبی تعدادی از گیاهان زراعی و باغی را گزارش و برآورد نموده است (Farshi et al., 1997). در مرحله اول تعیین نیاز آبی یک گیاه، برآورد تبخیر و تعرق گیاه از اهمیت ویژه برخوردار است. در تعیین و محاسبه تبخیر و تعرق یک گونه

گیاهی، عوامل مهمی مانند نوع و تراکم گیاه، مرحله رشد، اقلیم منطقه، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حاصلخیزی خاک، رقابت علف‌های هرز، وجود آفات و بیماری‌های گیاهی تأثیر چشم‌گیری دارند (Doorenbos and Pruitt, 1977). بنابراین، تعیین نیاز آبی و تبخیر و تعرق گیاهان از پیچیدگی قابل‌توجهی برخوردار بوده و از نظر علمی و عملی ممکن است قرار دادن همه عوامل در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مقدور نباشد (Farshi et al., 1997; Sharifi Ashoorabadi et al., 2015). تعیین نیاز آبی و یا برآورد مقدار مصرف آب در گیاهان به شناخت از سایر علوم مانند هیدرولوژی، هواشناسی، فیزیولوژی گیاهی و علوم خاک نیاز است تا به برنامه‌ریزی آبیاری، اجرای پروژه‌های آبیاری و مدیریت و نگهداری آن‌ها ختم شود.

دقیق‌ترین روش برای تعیین نیاز آبی گیاهان، روش اندازه‌گیری مستقیم است، اما روش‌های فراوانی برای تعیین غیرمستقیم نیاز آبی گیاهان بر اساس داده‌ها و آمار هواشناسی وجود دارند. روش‌های مستقیم، پرهزینه و زمان‌بر بوده و اغلب برای واسنجی و یا اصلاح معادلات تجربی استفاده می‌شوند (Burman et al., 1981). به‌منظور برآورد میزان تبخیر و تعرق در گیاهان مختلف از تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن و یا یونجه) در شرایط متعارف استفاده می‌شود. بدین‌منظور، تبخیر و تعرق گیاه مرجع از یک سطح گسترده و پوشیده از چمن سبز با ارتفاع یکنواخت ۸ تا ۱۵ سانتی‌متر و یا یونجه با ارتفاع یکنواخت ۵۰ سانتی‌متر که بدون کمبود آب و دارای رشد مناسب و سایه‌اندازی کامل بر زمین باشد، مبنا قرار می‌گیرد (Farshi et al., 1997).

در پژوهش‌های متعددی نیاز آبی گیاهان مختلف به‌طور خاص برآورد شده است. به‌طور مثال، نیاز آبی بومادران در دوره گل‌دهی ۱۴۹/۷۲ میلی‌متر ذکر شده است (Sharifi Ashoorabadi et al., 2012). هم‌چنین، در پژوهشی دیگر، میزان تبخیر و تعرق گل محمدی در طول دوره گل‌دهی (اول فروردین تا اول خرداد)، برابر با ۱۱۱/۵ میلی‌متر به‌دست آمد (Sharifi Ashoorabadi et al., 2015). در همین پژوهش، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع تا انتهای دوره رشد با استفاده از لایسیمتر به میزان ۱۲۴۷ میلی‌متر تعیین شد. در یک پژوهش دیگر گزارش شد که میزان آب خالص مورد نیاز گل محمدی با روش‌های لایسیمتری و محاسباتی در منطقه جنوب کرج معادل ۱۱۴۷۰ متر مکعب از ابتدا تا انتهای دوره رشد بود (Sharifi Ashoorabadi et al., 2012). در سال‌های اخیر از فن‌آوری‌های نوین در برآورد تبخیر و تعرق استفاده می‌شود که از جمله می‌توان

واقع در حوضه آبریز کارون قرار دارد (شکل ۱). این دشت از شمال و شمال غرب به ارتفاعات کلاه‌قازی، قراول‌خانه، چهل‌دختران و از نواحی جنوب به ارتفاعات جهان‌بین و تفه از شرق به ارتفاعات کوه سینه و برات و از غرب به ارتفاعات کوه قلنگان و ارتفاعات مشرف به جاده فارسان منتهی می‌شود.

منطقه دارای میانگین دمای سالانه ۱۲/۰۲ درجه سانتی‌گراد است که میانگین آن در مناطق کوهستانی ۷/۲ و در دشت ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. متوسط بارندگی سالانه در کل حوضه آبریز ۴۰۰ میلی‌متر و اقلیم منطقه مطالعاتی بر اساس طبقه‌بندی کریمی، نیمه‌مرطوب معتدل سرد، بر اساس طبقه‌بندی کوپن، معتدل سرد با تابستان‌های گرم و خشک و بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، نیمه‌خشک و سرد است (Mahdavi et al., 2011). پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در این پژوهش شامل دماهای کمینه و بیشینه، دمای تر و خشک هوا در لحظه گذر، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی هوا، سرعت باد، ساعات آفتابی، فشار هوا، فشار بخار هوا، مقدار تبخیر از تشتک و بارندگی هستند که از ایستگاه هواشناسی هم‌دید تحقیقات کشاورزی فرخ‌شهر تهیه شد. میانگین‌های مربوط به داده‌های هواشناسی در طول دوره رشد در جدول ۱ ارائه شده است.

داده‌های سنجش از دور شامل تصاویر ماهواره‌های لندست ۷ و لندست ۸ برای سال‌های ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ بود. با توجه به بازه زمانی ۱۶ روزه برای هر گذر ماهواره لندست، با ترکیب هر دو ماهواره، قدرت تفکیک زمانی ۸ روزه به‌دست آمد. دوره رشد بیستم اسفند هر سال تا پایان آبان سال زراعی بعد ادامه داشت. آبیاری مزرعه گل محمدی به گونه‌ای تنظیم شده بود که هر هشت روز یک بار و قبل از تاریخ گذر ماهواره صورت پذیرد تا در زمان گذر ماهواره از شرایط رطوبتی ایده‌آل (رطوبت مزرعه‌ای) برخوردار باشد. به این ترتیب برای هر سال پژوهش از ۱۸، ۱۳ و ۱۱ تصویر بدون ابر (در کل ۴۲ تصویر) استفاده شد. این تصاویر از وبسایت <https://earthexplorer.usgs.gov> به‌صورت تصحیح شده از نظر هندسی و رادیومتریک فراخوانی شد و در نرم‌افزار ERDAS Imagine 2015 پردازش شدند.

منظور از تصحیح هندسی یک تصویر، تغییر دستگاه مختصات اجزای سازنده تصویر و انطباق آن با نقشه‌های نظیر و یا تصویری است که قبلاً بر روی آن تصحیح هندسی صورت گرفته است.

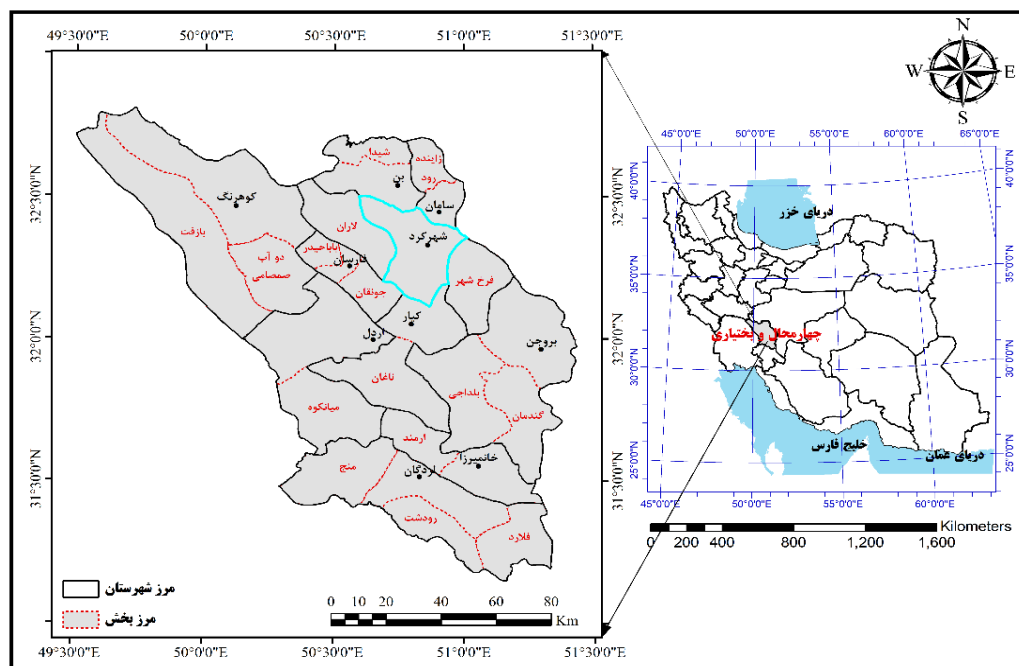
به الگوریتم سبال اشاره کرد که بر اساس رابطه‌های تجربی، ریاضی و فیزیکی، میزان تبخیر و تعرق واقعی را به کمک داده‌های ماهواره‌ای و برخی داده‌های زمینی برآورد می‌کند. این الگوریتم، اولین بار توسط (Bastiaanssen et al., 1998a) ارائه و در سال ۲۰۰۷ توسط (Allen et al., 2007) اصلاح شد. الگوریتم سبال در برآورد تبخیر و تعرق در شرایط اقلیمی متنوعی در بیش از ۳۰ کشور جهان مورد ارزیابی قرار گرفته است (Bastiaanssen et al., 2000; Bastiaanssen et al., 2005; Bastiaanssen et al., 1998b). تبخیر و تعرق گیاه مرجع توسط الگوریتم سبال توسط (Teixeira et al., 2009a, b) در منطقه‌ای نیمه‌خشک در برزیل بررسی و مثبت ارزیابی شده است.

در طی سالیان اخیر و در کشور ایران نیز، مطالعات متعددی به‌منظور ارزیابی صحت و کارایی الگوریتم سبال و یا به‌طور کلی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق بر پایه داده‌های سنجش از دور با استفاده از نتایج لایسیمتری و یا در مقایسه با محاسبات حاصل از مدل‌های ریاضی معتبر و مناسب با مناطق مورد مطالعه انجام شده است. به‌طور مثال، استفاده از تصاویر ماهواره MODIS و Landsat نتایج خوبی را در این زمینه ارائه داده‌اند (Abbasnezhad Alchin et al., 2020; Morshedi et al., 2017; Nouri and Faramarzi, 2022). تاکنون به پژوهش‌های مبتنی بر تعیین و یا برآورد نیاز آبی گیاه گل محمدی با استفاده از الگوریتم سبال پرداخته نشده و به‌طور مثال، در بیش‌تر موارد به گیاهان زراعی، مانند یونجه (Morshedi et al., 2013; Zeyliger and Ermolaeva, 2013)، گندم (Zwart and Bastiaanssen, 2007; al., 2022) ذرت (Sun et al., 2011) و برنج (Kamali and Nazari, 2018) توجه شده است. لذا، نیاز بود که علی‌رغم مشکلات بسیار زیادی که در انجام چنین مطالعاتی وجود دارد بررسی مقدماتی آغاز شود. هدف از این پژوهش، برآورد تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی گل محمدی با استفاده از الگوریتم سبال اصلاح شده در طول سه سال زراعی در بخشی از دشت مرتفع شهرکرد با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

مزرعه گل محمدی مورد مطالعه به مساحت ۱۶/۳۸ هکتار بین مختصات جغرافیایی از ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه و ۲۵ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه و ۲۹ ثانیه شمالی و ۵۱ درجه و ۱ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۱ دقیقه و ۳۸ ثانیه شرقی در دشت شهرکرد



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری و ایران
Figure 1- Location of Study Area in Chaharmahal-va-Bakhtiari Province and Iran

جدول ۱- مقادیر میانگین‌های داده‌های هواشناسی در طول دوره پژوهش
Table 1- Average values of meteorological data during the research period

| فشار هوا Pressure | ساعت آفتابی Sun.Hr | تبخیر Evaporation | متوسط سرعت باد Wind.avg | بارش Precipitation | بیشینه رطوبت نسبی RH.max | کمینه رطوبت نسبی RH.min | دمای بیشینه Tmax | دمای کمینه Tmin |
|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|
| KPa | hr | mm | m.hr ⁻¹ | mm | % | % | °C | °C |
| 794.8 | 8.8 | 7.1 | 2.9 | 0.6 | 51.5 | 23.7 | 26.3 | 9.0 |
| 794.5 | 9.3 | 8.0 | 2.8 | 0.7 | 50.7 | 20.8 | 26.2 | 7.9 |
| 794.4 | 9.5 | 8.6 | 3.0 | 0.5 | 47.1 | 21.0 | 26.1 | 7.8 |

۲-۲- معادله موازنه انرژی

به منظور برآورد تبخیر و تعرق واقعی با در نظر گرفتن شارهای انرژی از معادله موازنه انرژی استفاده می‌شود. رابطه (۱) توازن انرژی سطح تبخیر را نشان می‌دهد:

$$\lambda ET_{inst} = R_n - G_0 - H \quad (1)$$

در این رابطه R_n شار تابش ورودی خالص به سطح مورد نظر، H شار گرمای محسوس، G_0 شار گرمای خاک^۱ و λET شار گرمای نهان تبخیر (W/m^2) هستند. در رابطه ۱ تنها شار قائم در نظر گرفته و از شارهای افقی انرژی صرف نظر شده است (Waters et al., 2002).

۲-۳- محاسبه شار تابش خالص سطح^۲ R_n

تصحیح هندسی علاوه بر حذف و کاهش خطاهای هندسی یک دستگاه مختصات مشخص را به تصویر اعمال می‌کند و خصوصیات یک نقشه را از نقطه نظر هندسی به تصویر می‌دهد. تصحیح رادیومتریکی به حذف و یا اصلاح اعوجاج در مقدار انرژی الکترومغناطیس ثبت شده به وسیله آشکارسازها گفته می‌شود. عوامل مختلفی می‌تواند باعث ایجاد چنین اعوجاجی در مقادیر پیکسل‌های تصویر باشد که می‌تواند اثر یکنواخت (مانند اتمسفر)، نواری (خارج از واسنجی آشکارسازها) تصادفی (خطاهای غیر سیستماتیک در عمل سنجنده و انتقال) داده‌ها داشته باشد. تصحیح رادیومتریکی، یکی از پیش‌پردازش‌های لازم برای استخراج درجه حرارت سطح زمین است که مقادیر عددی رقوم را به مقادیر تابش^۱ و انعکاس^۲ تبدیل می‌کند (Liang, 2018).

^۱Sensible Heat Flux, H

^۲Soil Heat Flux, G_0

^۳Net Radiation, R_n

^۱Radiance

^۲Reflectance

۲-۴- محاسبه شار گرمای خاک G_0

شار گرمای خاک G_0 عبارت است از نرخ گنجایش گرما در خاک و پوشش گیاهی ناشی از هدایت گرمایی یا انرژی گرمایی مورد استفاده برای گرم کردن یا سرد شدن حجم توده خاک. مدل SEBAL ابتدا نسبت G_0/R_n را با استفاده از رابطه تجربی زیر برای نیمروز محاسبه می‌کند (Bastiaanssen et al., 2005).

$$\frac{G_0}{R_n} = T_s / \alpha (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2) (1 - 0.98NDVI^4) \quad (9)$$

در این رابطه T_s دمای سطح ($^{\circ}C$)، α سپیدی سطح و NDVI شاخص گیاهی است. G_0 در ادامه با ضرب نمودن مقدار G_0/R_n در مقدار محاسبه شده R_n به دست می‌آید.

۲-۵- محاسبه شار گرمای محسوس H

شار گرمای محسوس H نرخ تلفات حرارت به سوی هوا توسط پدیده‌های رسانش (conduction) و همرفت (convection) است که ناشی از تفاوت حرارتی است. این پارامتر به کمک رابطه ۱۰ برای انتقال حرارت حل محاسبه شد:

$$H = \frac{\rho \cdot c_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad (10)$$

در این رابطه ρ عبارت است از وزن مخصوص هوا (kg/m^3)، C_p گرمای ویژه هوا (1004 j/kg/K)، dT برحسب (K) تفاوت دمای ($T_1 - T_2$) بین دو ارتفاع (Z_1, Z_2) و r_{ah} مقاومت آئرودینامیکی برای انتقال گرما (s/m) است (Bastiaanssen et al., 2005). در نهایت، H با استفاده از رابطه ۱۰ و تخمین پارامتر r_{ah} با استفاده از محاسبات چرخشی تا حصول یک مقدار ثابت برای H در نرم‌افزار اکسل حل شد (Waters et al., 2002).

۲-۶- انتخاب پیکسل‌های "گرم" و "سرد"

در اجرای الگوریتم سبال دو پیکسل معیار آمورد استفاده قرار می‌گیرد تا شرایط مرزی برای حل رابطه توازن انرژی پدید آید. این مرزها عبارتند از: پیکسل‌های "سرد (تر)" و "گرم (خشک)" که در منطقه مورد مطالعه تعیین می‌شوند. پیکسل اول یا پیکسل سرد در منطقه‌ای کاملاً پوشیده از گیاه یونجه که خوب آبیاری شده است، انتخاب می‌شود. دمای سطح زمین در این پیکسل نزدیک به دمای هوا و تبخیر و تعرق آن معادل تبخیر و تعرق گیاه مرجع است. دارا بودن بیش‌ترین شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، آلبیدوی سطح حدود ۰/۲۳ و کم‌ترین دمای سطح از ویژگی‌های پیکسل سرد محسوب می‌شود (Bastiaanssen et

اولین مرحله در الگوریتم سبال محاسبه شار تابش خالص سطح R_n با استفاده از رابطه (۲) است (Waters et al., 2002).

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (2)$$

ضریب بازتاب سطح، $R_{s\downarrow}$ تابش خورشیدی ورودی به سطح زمین در محدوده موج کوتاه (W/m^2)، $R_{s\downarrow}$ تابش خورشیدی موج کوتاه ورودی (W/m^2)، $R_{L\downarrow}$ تابش خورشیدی ورودی موج بلند (W/m^2) و $R_{L\uparrow}$ تابش خورشیدی خروجی موج بلند (W/m^2) هستند. در شرایط آسمان صاف، برای زمان تصویربرداری به کمک رابطه (۳) محاسبه شد:

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} * \cos\theta * d_r * \tau_{sw} \quad (3)$$

در این رابطه، G_{sc} عبارت است از ثابت خورشیدی برابر $1367 \text{ (W/m}^2\text{)}$ ، θ زاویه تابش خورشیدی در زمان گذر ماهواره، d_r عکس مربع فاصله نسبی زمین تا خورشید و τ_{sw} ضریب عبور جو است. مقادیر $R_{s\downarrow}$ تابع زمان و موقعیت تصویر ماهواره است (Waters et al., 2002).

تابش خورشیدی موج بلند خروجی $R_{L\uparrow}$ با استفاده از رابطه (۴) (استفان - بولتزمن) محاسبه شد:

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 * \sigma * T_s^4 \quad (4)$$

در این رابطه ϵ_0 تابندگی "باند پهن" سطح (بدون بعد)، σ ثابت استفان-بولتزمن ($5/67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{/K}$) دمای سطح (K) بود. تابش موج بلند ورودی ($R_{L\downarrow}$) عبارت است از تابش خورشیدی رو به پایین از جو (W/m^2). این شار نیز با استفاده از رابطه استفان-بولتزمن به دست آمد:

$$R_{L\downarrow} = \epsilon_a * \sigma * T_a^4 \quad (5)$$

در این رابطه ϵ_a تابندگی جو (بدون بعد)، ϵ ثابت استفان-بولتزمن و T_a دمای هوای نزدیک به سطح (k) است و با استفاده از رابطه (۶) به دست آمد (Bastiaanssen et al., 2005).

$$\epsilon_a = 0.85(-\ln \tau_{sw})^{0.09} \quad (6)$$

τ_{sw} ضریب عبور جو بوده که با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد. این پدیده برای تابش‌های ورودی و خروجی رخ می‌دهد. τ_{sw} در بردارنده قابلیت انتقال برای هر دو تابش مستقیم خورشیدی و پراکنده (متفرق) به سطح است. τ_{sw} در هوای صاف و بدون ابر و تا حدودی خشک به صورت است:

$$\tau_{sw} = 0.75 + 2 * 10^{-5} * Z \quad (7)$$

در این رابطه Z (بر حسب متر) عبارت است از ارتفاع ایستگاه هواشناسی از سطح دریا (Bastiaanssen et al., 2005).

با جایگذاری رابطه (۷) در رابطه (۶) و استفاده از T_{cold} یا دمای پیکسل "سرد" به جای T_a خواهیم داشت:

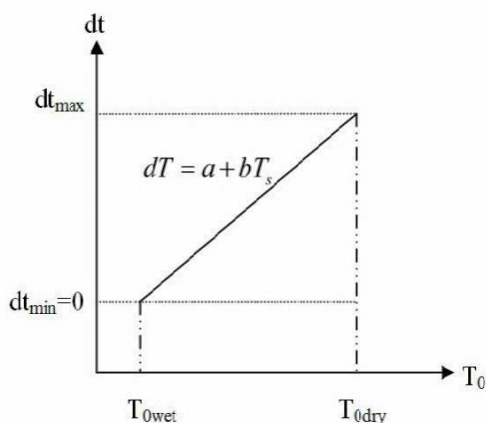
$$R_{L\downarrow} = 0.85 * (0.85(-\ln \tau_{sw})^{0.09} * \sigma * T_{cold}^4) \quad (8)$$

مقادیر مربوط به ($R_{L\downarrow}$) به عنوان تابعی از زمان و مکان برداشت تصویر است.

¹Sensible Heat Flux, H

²anchor

³Normalized Difference Vegetation Index, NDVI



شکل ۲- چگونگی برقراری رابطه خطی دمای سطح و تفاوت دمای هوا-سطح
Figure 2- How to establish the linear equation of surface temperature and air-surface temperature difference

در این پژوهش، مطابق پیش فرض‌های الگوریتم سبال، پیکسل سرد از پیکسل‌های مربوط به یک مزرعه یونجه با شرایط استاندارد از نظر پوشش کامل گیاهی و خوب آبیاری شده در نزدیکی مزرعه گل محمدی استفاده شد. پیکسل گرم نیز در اراضی کشاورزی بایر و خشک مجاور مزرعه گل محمدی انتخاب شد.

۲-۷- تبدیل داده‌های رقومی هر پیکسل تصویر ماهواره‌ای

پرتو تابش (تابش) طیفی برای هر باند (L_λ) عبارت است از انرژی تابشی خارج شده از باند مورد نظر که در بالاترین نقطه جو توسط ماهواره مشاهده می‌شود. واحد (L_λ) عبارت است از ($W/m^2/sr/\mu m$) و با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$L_\lambda = (Gain * DN) + Bias \quad (12)$$

در این رابطه Gain و Bias از اطلاعات موجود در فایل همراه هر تصویر ماهواره‌ای به دست می‌آید. انعکاس هر باند (ρ_λ) تحت عنوان نسبت شار تابشی بازتاب شده به شار تابشی ورودی تعریف می‌شود. این پارامتر توسط رابطه زیر محاسبه شد: (Waters et al., 2002).

$$\rho_\lambda = \frac{\pi \cdot L_\lambda}{ESUN_\lambda \cdot \cos \theta \cdot d_r} \quad (13)$$

در این رابطه $ESUN_\lambda$ عبارت است از متوسط تابش خورشیدی در خارج از جو برای هر باند برحسب ($W/m^2/\mu m$)، $\cos \theta$ کسینوس زاویه تابش خورشیدی (نسبت به حالت قائم) و d_r عکس مربع فاصله نسبی زمین تا خورشید است. مقادیر مربوط به $ESUN_\lambda$ در جداول مربوطه آمده است. کسینوس θ با استفاده از داده‌های هدر فایل و براساس زاویه ارتفاعی خورشید (β) محاسبه

(al., 2005). پیکسل دوم که پیکسل گرم نامیده می‌شود، در زمین‌های کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک انتخاب می‌شود. فرض به کار رفته در مورد پیکسل گرم این است که شار گرمای نهان منتشر نمی‌کند. به عبارتی دیگر مقدار تبخیر و تعرق آن نزدیک به صفر است.

یکی از موارد ضروری در الگوریتم سبال، برقراری رابطه خطی (شکل ۲) بین دمای سطح T_s و تفاوت دمای هوا-سطح (dT) برای هر پیکسل با استفاده از پیکسل‌های گرم (خشک) و سرد (تر) است (Waters et al., 2002).

مقدار تفاوت دمای هوا-سطح (dT) را می‌توان از یک رابطه نسبتاً خطی با T_s تخمین زد، یعنی:

$$dT = aT_s + b \quad (11)$$

در این رابطه a و b ضرایب تجربی بوده که از نقاط یا پیکسل‌های مرجع (نقاط خشک و تر) به دست می‌آیند. در پیکسل‌های (گرم) خشک، شار گرمای نهان به مقدار صفر در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین مقدار dT برای هر پیکسل تصویر، الگوریتم سبال بر این فرض استوار است که یک رابطه خطی بین dT و دمای رادیومتریک سطح (T_s) وجود دارد به تعبیر بهتر $dT = aT_s + b$. در این رابطه dT عبارت است از تفاوت دمای نزدیک به سطح، T_s دمای رادیومتریک سطح و a و b ضرایب تجربی که از پیکسل‌های معیار به دست آمده، هستند. دمای سطح با استفاده از رادیانس حرارتی تصحیح شده محاسبه شد (Waters et al., 2002).

به طور کلی پیکسل‌های معیار نماینده شرایط تبخیر در دو آستانه حداقل و حداکثر هستند. در پیکسل سرد (تر) فرض بر این است که میزان تبخیر و تعرق برابر با تفاضل شار تابش خالص و شار گرمای خاک ($R_n - G_0$) است. در پیکسل سرد، شار گرمای محسوس (H) و دمای رادیومتریک سطح (T_s) صفر در نظر گرفته می‌شوند؛ در نتیجه تفاوت دمای هوا-سطح (dT) برابر با صفر یا نزدیک به صفر در خواهد بود. در پیکسل گرم (خشک) مقدار تبخیر و تعرق (ET)، برابر یا نزدیک به صفر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، همه انرژی موجود در این پیکسل به گرمای محسوس تبدیل می‌شود (Waters et al., 2002). در نهایت با استفاده از مقادیر جفت مؤلفه‌های dT و T_s در پیکسل‌های سرد و گرم، ضرایب a و b به دست می‌آیند.

۸-۲- مقادیر روزانه تبخیر و تعرق (ET₂₄)

الگوریتم سبال مقدار روزانه تبخیر و تعرق (ET₂₄) را با استفاده از رابطه‌های ۲۱، ۲۲ و ۲۳ محاسبه می‌کند:

$$ET_{pot-24} = \frac{R_{n-24}}{\lambda \cdot \rho_w} (86400 * 10^3) \quad (21)$$

$$R_{n-24} = (1 - \alpha)(R_{a-24} / \cos \theta_{slope}) * \tau_{day} - (110 * \tau_{day}) \quad (22)$$

$$ET_{24} = ET_{pot-24} * ET_F \quad (23)$$

در این رابطه‌ها ET_{pot-24} تبخیر و تعرق پتانسیل ۲۴ ساعته (mm/day)، R_{n-24} تابش خالص ۲۴ ساعته (W/m²)، α آلبیدوی سطح، R_{a-24} تابش فرازمینی ۲۴ ساعته (W/m²)، COS_{slope} کسینوس شیب هر پیکسل، τ_{day} ضریب عبور جوی روزانه و ET₂₄ مقدار تبخیر و تعرق واقعی (mm/day) است.

۹-۲- تبخیر و تعرق واقعی در بازه زمانی ماهانه و فصل رشد

تبخیر و تعرق واقعی در بازه‌های زمانی ماهانه و فصل رشد، با کمک داده‌های تبخیر و تعرق واقعی در بازه مورد نظر و تبخیر و تعرق گیاه مرجع در همان بازه به‌دست می‌آید (Mokhtari, 2005).

$$ET_{a_Period} = \frac{(ET_{F-Period})_i}{(ET_0)_i} * \sum_1^n (ET_0)_n \quad (24)$$

در این رابطه ET_{F-period} نماینده ET_F در بازه زمانی مورد نظر است، ET₀ عبارت است از تبخیر و تعرق مرجع استاندارد شده روزانه (رابطه پنمن-مانتیث-فانو از رابطه ۲۴) و n تعداد روزهای هر دوره است. همه واحدها بر حسب mm/day است. محاسبه ET فصلی با جمع کردن همه مقادیر ET_{period} در طول کل دوره رشد به‌دست می‌آید (رابطه ۲۵).

$$ET_{a_season} = \sum_1^n (ET_{a-Period})_i \quad (25)$$

۱۰-۲- تبخیر و تعرق مرجع ET₀

مبنای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع ET₀ رابطه (۲۶) بود:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - C_1) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{[\Delta + \gamma(1 + C_a U_2)]} \quad (26)$$

در این رابطه ET₀ تبخیر و تعرق مرجع استاندارد شده (میلی‌متر بر روز)، شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دمای هوا (کیلو پاسکال بر سانتی‌گراد)، R_n تابش خالص محاسبه شده در سطح گیاه (مگاژول بر مترمربع بر روز)، T میانگین دمای روزانه هوا در ارتفاع ۲/۵-۱/۵ متر، U₂ میانگین سرعت باد روزانه در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، es فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، ea فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)، γ ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال)، ضرایب C_n و C_d به‌ترتیب برابر با ۰/۳۸ و ۱۶۰۰ هستند که با

شد که در آن θ = (90° - β) است. پارامتر d_r به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$d_r = 1 / (d_{es})^2 \quad (14)$$

که در آن d_{es} عبارت است از فاصله نسبی بین زمین تا خورشید در واحد نجومی. d_r با استفاده از رابطه ۱۵ محاسبه شد (Bastiaanssen et al., 2005).

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \theta \left(\frac{DOY}{365} \right) \quad (15)$$

در این رابطه DOY عبارت است از شماره روز متوالی از سال است. مقادیر d_r دامنه‌ای بین ۰/۹۷ تا ۱/۰۳ داشته و بدون بعد است.

ضریب بازتاب بالاترین نقطه جو α_{toa} به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$\alpha_{toa} = \sum (\omega_\lambda * \rho_\lambda) \quad (16)$$

ω_λ ضریب وزنی مربوط به هر باند بوده و به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$\omega_1 = \frac{ESUN_\lambda}{\sum ESUN_\lambda} \quad (17)$$

ضریب بازتاب سطح به‌صورت زیر و پس از تصحیح α_{toa} محاسبه شد:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path_radiance}}{\tau_{sw}^2} \quad (18)$$

در این رابطه α_{path_radiance} عبارت است از جزء میانگین همه تابش‌های خورشیدی ورودی در تمامی باندها به سوی ماهواره و τ_{sw} نیز عبارت است از ضریب عبور جو. مقادیر مربوط به α_{path_radiance} دامنه‌ای بین ۰/۲۵ و ۰/۰۴ داشته و برای الگوریتم سبال به میزان ۰/۰۳ پیشنهاد شده است (Allen et al., 2007; Bastiaanssen et al., 2000; Bastiaanssen et al., 2005).

برای الگوریتم سبال، جزء تبخیر و تعرق (ET_F) طبق تعریف نسبت شار گرمای نهان تبخیر (λET) برای هر پیکسل به تفاضل شار تابش خالص (R_n) و شار گرمای خاک (G₀) است،

$$ET_F = \frac{\lambda ET}{R_n - G_0} = \frac{R_n - G_0 - H}{R_n - G_0} \quad (19)$$

ET_F مشابه با ضریب شناخته شده K_C یا ضریب گیاهی است. ET_F به‌منظور برون‌یابی ET در زمان برداشت تصویر برای دوره‌های زمانی ۲۴ ساعته و یا بیش‌تر است.

مقدار لحظه‌ای ET به‌صورت رابطه (۲۰) محاسبه شد (Morse et al., 2000)، در این رابطه ET_{inst} عبارت است از تبخیر و تعرق لحظه‌ای (mm/hr)، عدد 3600 تبدیل ثانیه به ساعت و λ گرمای نهان تبخیر یا گرمای جذب شده برای تبخیر یک کیلوگرم آب (J/kg) است.

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (20)$$

از بیشینه پیکسل سرد ET_{cold} ($۸/۴۰$ میلی‌متر بر روز) به دست آمد. برای شاخص آماری کمینه، هر سه متغیر از مقادیر نزدیک به یکدیگر برخوردار هستند ($۲/۰۴$ ، $۱/۳۷$ و $۱/۴۰$ میلی‌متر بر روز). همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد تبخیر و تعرق در دوره‌های ده‌روزه، ماهانه و کل دوره رشد با استفاده از رابطه‌های ۲۳ ، ۲۴ و ۲۵ به دست آمد.

تغییرات کمینه و بیشینه دما در شکل ۳ و میانگین مقادیر تبخیر و تعرق گیاه گل محمدی توسط الگوریتم سبال در بازه زمانی ده روزه در شکل ۴ ارائه شده است. بیشینه تبخیر و تعرق در تیر و مرداد مشاهده شد. در بازه ده روزه، مقادیر ET_0 نسبت به ET_C بالاتر بود که طبیعی است، زیرا حاصل ضرب ET_0 در ET_{period} که همان ضریب گیاهی K_C است، برابر است با ET_C . به عبارت بهتر:

$$ET_C = ET_0 * K_C \quad (۲۷)$$

مقدار ماهانه تبخیر و تعرق گل محمدی (ET_C) در مقایسه با تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) در شکل ۵ ارائه شده است. همین‌طور، مقدار کل تبخیر و تعرق گل محمدی (ET_C) در مقایسه با تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) در شکل ۶ ارائه شده است. بدین ترتیب، مقدار ET_C در طول دوره رشد بر اساس رابطه ۲۵ و در هر سال پژوهش برابر است با $۱۰۸۹/۴$ ، $۱۰۲۱/۳$ و $۱۰۲۰/۶$ میلی‌متر. در دوره مشابه، مقادیر ET_0 نیز به ترتیب برای سال‌های ۱۳۹۷ ، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ برابر با $۱۲۱۴/۸$ ، $۱۱۰۰/۵$ و $۱۱۳۵/۵$ میلی‌متر در طول دوره رشد به دست آمد (شکل ۶).

مقدار تبخیر و تعرق ET_0 و ET_C در هر سه بازه زمانی روزانه، ده‌روزه و ماهانه در سال اول پژوهش (۱۳۹۷) در سه ماه آغازین و تا حدودی در سه ماه پایانی بیش‌تر از دوره مشابه در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ بود (شکل‌های ۴، ۵ و ۶) و به همین ترتیب، مقدار کل تبخیر و تعرق نیز در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ بالاتر به دست آمد (شکل ۶).

در شکل ۷، تغییرات مقادیر تبخیر و تعرق ماهانه گیاه گل محمدی (ET_C) در مقابل تغییرات مقادیر تبخیر و تعرق ماهانه گیاه مرجع (ET_0) برای سه سال پژوهش به‌طور مجزا رسم شده است. ملاحظه می‌شود که در مراحل آغازین و توسعه‌ای رشد و نمو، مقادیر ET_0 بالاتر از ET_C قرار گرفته و این امر، برای سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۹ مشهودتر است. سپس روند تغییرات در مرحله میانی، نزدیک به حالت افقی و در ادامه (مرحله پایانی رشد) به حالت نزولی قرار می‌گیرد. این تغییرات به دلیل افزایش و سپس کاهش رشد و نمو گیاه (تغییر مراحل فنولوژیک گیاه) و افزایش و کاهش دمای هوا قابل توجیه است.

تغییر گیاه مرجع و دوره زمانی تغییر می‌کنند (Doorenbos and Pruitt, 1977).

۳- نتایج و بحث

مقادیر برآورد شده توسط الگوریتم سبال در روزهای عبور ماهواره در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ در جدول ۲ نشان داده شده است. بر پایه اطلاعات موجود در جدول ۲ در طول سه سال پژوهش، مجموع روزهای عبور ماهواره بر فراز منطقه مطالعاتی برابر با ۴۲ گذر (بدون ابر) بود. دوره رشد گیاه گل محمدی برابر با ۲۵۵ روز (از ۲۰ اسفند هر سال تا پایان آبان هر سال) در نظر گرفته شد (Majd et al., 2014). در جدول ۲ مقادیر تبخیر و تعرق مربوط به گیاه مرجع بر اساس رابطه پنمن-مانتیت-فائو (رابطه ۲۵)، تبخیر و تعرق پیکسل سرد بر اساس الگوریتم سبال و تبخیر و تعرق گیاه گل محمدی بر اساس الگوریتم سبال نمایه شده است. میانگین درصد تفاوت بین مقادیر تبخیر و تعرق گیاه گل محمدی نسبت به تبخیر و تعرق پیکسل سرد در روزهای گذر ماهواره، برابر با $۱۹/۳۸$ درصد و میانگین اختلاف عددی برابر با $۱-۲/۴۴$ میلی‌متر بر روز به دست آمد (جدول ۲). بنابراین، می‌توان با توجه به اختلاف اندک بین میانگین‌های تفاوت مقادیر بین دو متغیر مورد اشاره، نتیجه گرفت که شرایط رطوبتی خاک (مقدار آب خاک) و لذا مقدار تبخیر و تعرق از مزرعه گل محمدی نسبت به پیکسل سرد با شرایط ایده‌آل از نظر رطوبتی در روزهای گذر ماهواره از مقدار مشابهی برخوردار بوده و به نظر می‌رسد مزرعه گل محمدی دچار تنش آبی نبوده است. به عبارت بهتر، به دلیل اینکه پیکسل سرد (تر) باید در شرایط رطوبتی ایده‌آل و بدون تنش و با پوشش گیاهی مطلوب باشد، اختلاف اندک در تبخیر و تعرق مزرعه گل محمدی، حاکی از شرایط مطلوب از نظر آبیاری به موقع و کافی در قیاس با شرایط ایده‌آل رطوبتی در پیکسل سرد (تر) است.

آمار توصیفی برای داده‌های جدول ۲ در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس مندرجات جدول ۳، مقدار میانگین (MEAN) تبخیر و تعرق گل محمدی ET_C ($۴/۸۴$ میلی‌متر بر روز) در روزهای گذر ماهواره کمتر از مقادیر مربوط به گیاه مرجع ET_0 ($۵/۰۸$ میلی‌متر بر روز) به دست آمد؛ زیرا ET_0 گیاه مرجع در شرایط پتانسیل، ولی ET_C گل محمدی، تابع ضریب گیاهی K_C است و بایستی در اغلب دوره‌های فنولوژیک، کمتر از ET_0 باشد. میانگین تبخیر و تعرق پیکسل سرد برابر با $۶/۰۸$ میلی‌متر بر روز به دست آمد. با توجه به اینکه پیکسل سرد (تر) مربوط به یونجه با شرایط استاندارد و به دور از هرگونه تنش است، ملاحظه می‌شود که ET_0 به خوبی قادر به برآورد بیشینه تبخیر و تعرق در شرایط واقعی ET_{cold} نبود. بیشینه ET_0 ($۶/۵۷$ میلی‌متر بر روز) نیز کم‌تر

جدول ۲- مقادیر تبخیر و تعرق گیاه گل‌محمدی توسط الگوریتم سبال و تبخیر و تعرق گیاه مرجع در روزهای گذر ماهواره

Table 2- Evapotranspiration values of rose by SEBAL algorithm and evapotranspiration of the reference crop at satellite pass-days

| ستون 1 | ستون 2 | ستون 3 | ستون 4 | ستون 5 | ستون 6 | ستون 7 | ستون 8 |
|--------|-------------|-------------------|----------------|--|---|--|--|
| ردیف | نوع ماهواره | تاریخ گذر ماهواره | روز ژولیوسی | تبخیر و تعرق گیاه مرجع پنمن-مانتیث-فانو (mm/day) | تبخیر و تعرق پیکسل سرد الگوریتم سبال (mm/day) | تبخیر و تعرق گیاه گل‌محمدی الگوریتم سبال (mm/day) | تفاوت (ستون‌های 6 با 7) (mm/day) (درصد) |
| 1 | Landsat 8 | 1397/1/2 | 81 | 4.50 | 4.70 | 3.16 | -1.54 |
| 2 | Landsat 8 | 1397/3/4 | 145 | 5.65 | 5.30 | 5.23 | -0.07 |
| 3 | Landsat 8 | 1397/3/20 | 161 | 6.13 | 4.60 | 5.39 | 0.79 |
| 4 | Landsat 7 | 1397/3/28 | 169 | 6.50 | 7.40 | 5.74 | -1.66 |
| 5 | Landsat 8 | 1397/4/5 | 177 | 5.75 | 6.20 | 5.89 | -0.31 |
| 6 | Landsat 7 | 1397/4/13 | 185 | 6.22 | 8.00 | 5.78 | -2.22 |
| 7 | Landsat 8 | 1397/4/21 | 193 | 6.18 | 6.20 | 6.09 | -0.11 |
| 8 | Landsat 7 | 1397/4/29 | 201 | 5.91 | 6.40 | 6.28 | -0.12 |
| 9 | Landsat 8 | 1397/5/6 | 209 | 6.10 | 8.30 | 5.94 | -2.36 |
| 10 | Landsat 8 | 1397/5/14 | 217 | 5.20 | 7.60 | 5.54 | -2.06 |
| 11 | Landsat 8 | 1397/5/22 | 225 | 5.92 | 7.30 | 5.50 | -1.80 |
| 12 | Landsat 7 | 1397/5/30 | 233 | 5.58 | 7.30 | 5.60 | -1.70 |
| 13 | Landsat 8 | 1397/6/7 | 241 | 5.18 | 6.10 | 5.33 | -0.77 |
| 14 | Landsat 7 | 1397/6/15 | 249 | 5.30 | 6.50 | 5.30 | -1.20 |
| 15 | Landsat 8 | 1397/6/23 | 257 | 4.74 | 5.60 | 4.90 | -0.70 |
| 16 | Landsat 8 | 1397/6/31 | 265 | 3.69 | 4.50 | 3.50 | -1.00 |
| 17 | Landsat 8 | 1397/7/8 | 273 | 3.66 | 4.10 | 3.22 | -0.88 |
| 18 | Landsat 7 | 1397/7/16 | 281 | 3.49 | 3.50 | 2.81 | -0.69 |
| 19 | Landsat 8 | 1397/12/10 | 61 | 2.37 | 2.75 | 1.70 | -1.05 |
| 20 | Landsat 8 | 1398/02/22 | 132 | 5.34 | 6.50 | 6.14 | -0.36 |
| 21 | Landsat 8 | 1398/03/07 | 148 | 5.40 | 6.50 | 6.19 | -0.31 |
| 22 | Landsat 7 | 1398/03/15 | 156 | 5.63 | 6.80 | 5.96 | -0.84 |
| 23 | Landsat 8 | 1398/03/23 | 164 | 5.80 | 6.40 | 6.00 | -0.40 |
| 24 | Landsat 7 | 1398/03/31 | 172 | 5.79 | 7.20 | 5.89 | -1.31 |
| 25 | Landsat 8 | 1398/04/08 | 180 | 6.19 | 8.40 | 6.15 | -2.25 |
| 26 | Landsat 7 | 1398/04/16 | 188 | 6.26 | 6.80 | 5.53 | -1.27 |
| 27 | Landsat 8 | 1398/04/24 | 196 | 6.11 | 7.10 | 5.04 | -2.06 |
| 28 | Landsat 8 | 1398/05/25 | 228 | 5.20 | 6.80 | 5.27 | -1.53 |
| 29 | Landsat 8 | 1398/06/10 | 244 | 4.53 | 5.90 | 5.05 | -0.85 |
| 30 | Landsat 8 | 1398/06/26 | 260 | 4.24 | 5.20 | 4.14 | -1.06 |
| 31 | Landsat 8 | 1398/07/11 | 276 | 3.10 | 3.20 | 2.42 | -0.78 |
| 32 | Landsat 8 | 1398/12/21 | 71 | 2.04 | 1.37 | 1.40 | 0.03 |
| 33 | Landsat 8 | 1399/2/26 | 135 | 5.30 | 6.50 | 5.19 | -1.31 |
| 34 | Landsat 7 | 1399/3/3 | 143 | 5.10 | 7.00 | 5.10 | -1.90 |
| 35 | Landsat 8 | 1399/3/11 | 151 | 5.65 | 7.40 | 5.01 | -2.39 |
| 36 | Landsat 7 | 1399/3/19 | 159 | 6.57 | 8.10 | 5.71 | -2.39 |
| 37 | Landsat 8 | 1399/3/27 | 183 | 5.39 | 8.20 | 4.97 | -3.23 |
| 38 | Landsat 8 | 1399/4/28 | 199 | 5.70 | 7.80 | 4.71 | -3.09 |
| 39 | Landsat 7 | 1399/5/5 | 207 | 6.26 | 7.10 | 5.85 | -1.25 |
| 40 | Landsat 8 | 1399/6/30 | 263 | 3.96 | 5.50 | 3.78 | -1.72 |
| 41 | Landsat 8 | 1399/7/15 | 279 | 3.25 | 5.10 | 2.90 | -2.20 |
| 42 | Landsat 8 | 1399/8/1 | 295 | 2.32 | 2.00 | 1.84 | -0.16 |
| | | | | | | | -1.24 |
| | | | | | | | 19.38 |

میانگین تفاوت

جدول ۳- مقادیر آمار توصیفی تبخیر و تعرق گیاه گل‌محمدی، گیاه مرجع و پیکسل سرد در روزهای گذر ماهواره

Table 3- Descriptive statistical values of evapotranspiration for reference crop, cold pixel and rose crop at satellite pass-days

| تبخیر و تعرق | گیاه مرجع | پیکسل سرد | گیاه گل‌محمدی |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| آماره | میلی‌متر بر روز | میلی‌متر بر روز | میلی‌متر بر روز |
| Mean | 5.08 | 6.08 | 4.84 |
| Minimum | 2.04 | 1.37 | 1.40 |
| Maximum | 6.57 | 8.40 | 6.28 |
| Range | 4.53 | 7.03 | 4.88 |
| Variance | 1.45 | 2.91 | 1.83 |

پژوهش با نتایج سایر محققین دشوار است. در پژوهش (Sharifi, Ashoorabadi et al., 2015) مقدار تبخیر و تعرق گل محمدی بر اساس نتایج لایسیمیتری تا انتهای دوره رشد، معادل ۱۱۴۷ میلی‌متر بود که در پژوهش حاضر به طور متوسط ۱۰۴۳/۸

در شکل ۸ نمائی از تبخیر و تعرق مزرعه گل‌محمدی بر اساس تصاویر ماهواره و الگوریتم سبال نمایش داده شده است. در پژوهش‌های اندکی به برآورد نیاز آبی و مقدار تبخیر و تعرق گیاه گل‌محمدی پرداخته شده است؛ لذا مقایسه نتایج این

Farshi et al., 1997). در مورد انار، مقدار تبخیر و تعرق در ساوه، کرج، ورامین، دماوند و یزد، به ترتیب برابر با ۷۵۳، ۷۷۰، ۹۰۷، ۶۳۸ و ۹۴۷ میلی‌متر گزارش شده است. در منطقه رفسنجان و دامغان، میزان تبخیر و تعرق پسته به ترتیب ۷۳۳ و ۶۲۴ میلی‌متر به دست آمده است (Farshi et al., 1997).

به منظور مقایسه‌های تکمیلی از مقدار تبخیر و تعرق هلو، بادام، گیلاس، گلابی و انگور که در سامانه نیاز آب گزارش شده نیز، استفاده شد (SWRI, 2022). بر اساس مرجع فوق در منطقه شهرکرد مقدار تبخیر و تعرق هلو، بادام، گیلاس، گلابی و انگور به ترتیب ۸۰۴/۶، ۵۷۶/۶، ۸۳۷/۸، ۶۱۲/۹، ۵۷۹/۵ میلی‌متر گزارش شده است. البته، لازم به ذکر است که طول مدت رشد در گیاهان مورد اشاره تا ۶۰ روز کوتاه‌تر از دوره رشد گل محمدی است.

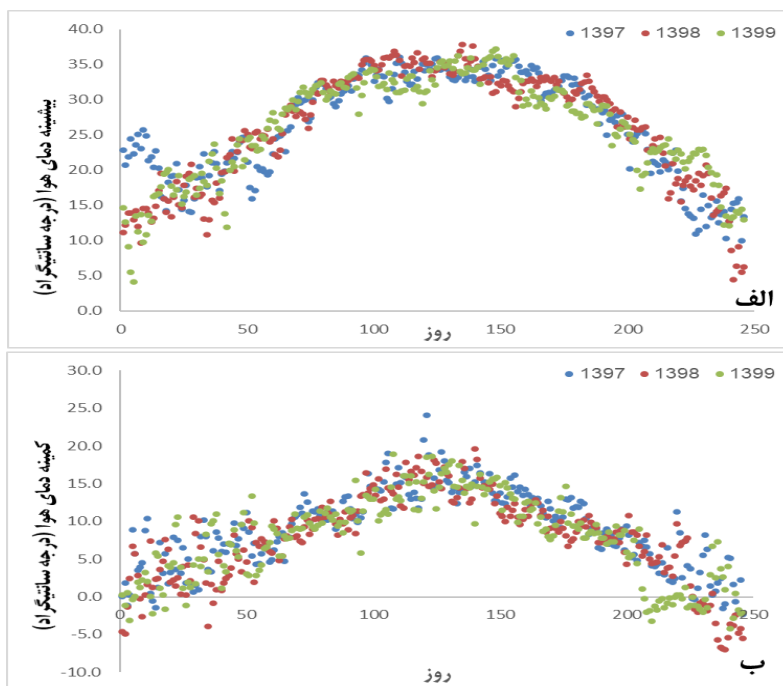
۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج سه ساله پژوهش در یک مزرعه ۱۶/۳۸ هکتاری گل محمدی در دشت شهرکرد، با استفاده از الگوریتم سبال و تعداد ۴۲ تصویر در روزهای گذر ماهواره‌های لندست ۷ و لندست ۸ و همین‌طور استفاده از رابطه ریاضی پنمن-مانتیت-فائو اصلاح شده، مشخص شد که مقدار تبخیر و تعرق گل محمدی در منطقه مورد مطالعه به‌طور متوسط ۱۰۴۳/۸ میلی‌متر در طول دوره رشد به دست آمد. با توجه به نتایج سایر پژوهش‌گران که با استفاده از داده‌های لایسیمیتری و مطالعات مزرعه‌ای انجام شده است، لاجرم هزینه‌های زیادتری نسبت به روش‌های سنجش از دوری نیاز دارد، در این پژوهش توانایی الگوریتم سبال (به‌عنوان یکی از الگوریتم‌های برتر سنجش از دوری) به‌منظور برآورد تبخیر و تعرق واقعی و تعیین نیاز آبی گیاه گل محمدی با هزینه‌اندک و روشی آسان در مقایسه با نتایج سایر پژوهش‌گران که با روش‌های مشکل و پرهزینه لایسیمیتری انجام شده است، به اثبات رسید و شایسته است برای گونه‌های گیاهی دیگر و در سایر مناطق جغرافیایی مورد استفاده قرار گیرد.

میلی‌متر به دست آمد. در همان پژوهش (Sharifi Ashoorabadi et al., 2015) میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع نیز به روش لایسیمیتری ۱۲۴۷ میلی‌متر و با روش‌های محاسباتی مانند بلینی کربدل و پنمن مانیتیت اصلاح شده توسط فائو به ترتیب ۱۳۹۲ و ۱۱۵۹/۷ میلی‌متر برآورد شد. در پژوهش حاضر با روش محاسباتی پنمن مانیتیت اصلاح شده توسط فائو برابر با ۱۱۵۰/۳ میلی‌متر تعیین شد.

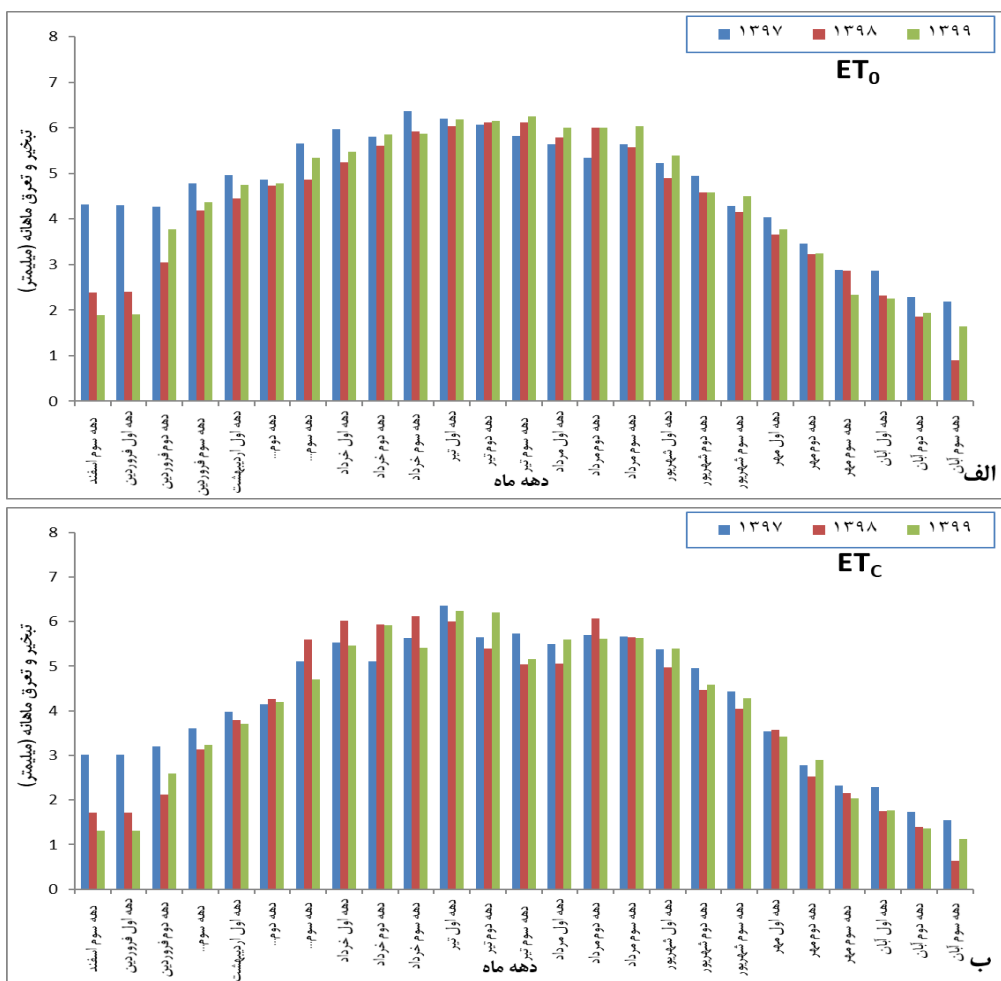
در پژوهشی در جزایر قناری، آب مصرفی گل رز در فصل تابستان ۳/۶ تا ۲/۵ میلی‌متر بر روز گزارش شد (Caballero et al., 1996) که در پژوهش حاضر به دلیل رطوبت نسبی کمتر در محل اجرای تحقیق (دشت شهرکرد) از دامنه بیش‌تری برخوردار است (جدول ۲). در یک تحقیق دیگر در اراک، میزان تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از یک میکرو لایسیمیتر زهکش‌دار دارای کشت چمن، برای محاسبه نیاز آبی از روش بیلان آبی استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار کل تبخیر و تعرق مرجع در گلخانه طی یک سال انجام پژوهش، ۱۶۰۸ میلی‌متر بود، در تحقیق حاضر به‌طور متوسط برابر با ۱۱۵۰/۳ میلی‌متر به دست آمد. در همان تحقیق، مقدار کل تبخیر و تعرق در دوره رشد برای رز رقم آتشی ۱۴۲۳ میلی‌متر، رقم لب صورتی ۱۴۸۰ میلی‌متر و برای رقم سفید ۱۳۱۳ میلی‌متر به دست آمد (keykhaei et al., 2021). متوسط تبخیر و تعرق ارقام رز در طول سال برابر ۳/۸ میلی‌متر در روز به دست آمد. که در تحقیق حاضر برابر با ۴/۱۶ میلی‌متر بود. در پژوهشی در کشور هند، تبخیر-تعرق گل رز و ضریب گیاهی به روش بیلان آب در خاک از کاشت تا گلدهی در شرایط گلخانه به دست آمد. بیش‌ترین مقدار روزانه تبخیر تعرق برابر ۴/۹۹ و آب مورد نیاز برابر ۹۹۹/۵ میلی‌متر به دست آمد (Singh et al., 2016).

به‌منظور مقایسه میزان تبخیر و تعرق گل محمدی با برخی گیاهان خزان‌کننده مانند هلو، زردآلو، گلابی، توت و بادام می‌توان به نتایج (Farshi et al., 1997) نیز استناد نمود که در منطقه کرج به میزان تقریبی ۹۷۰ میلی‌متر برآورد شده است. در همان پژوهش نیز، تبخیر و تعرق بوته انگور در سه منطقه قزوین، کرج و ورامین با دوره رشد مشابه گل محمدی (۲۴۰ روز)، به ترتیب



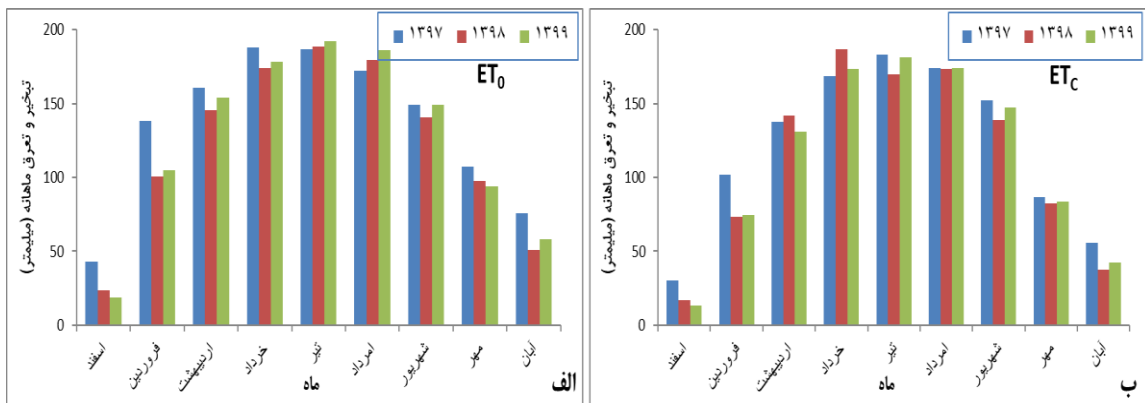
شکل ۳- تغییرات بیشینه دمای هوا (الف) و کمینه دمای هوا (ب) در طول دوره پژوهش

Figure 3- Changes in the maximum air temperature (a) and minimum air temperature (b) during the research period

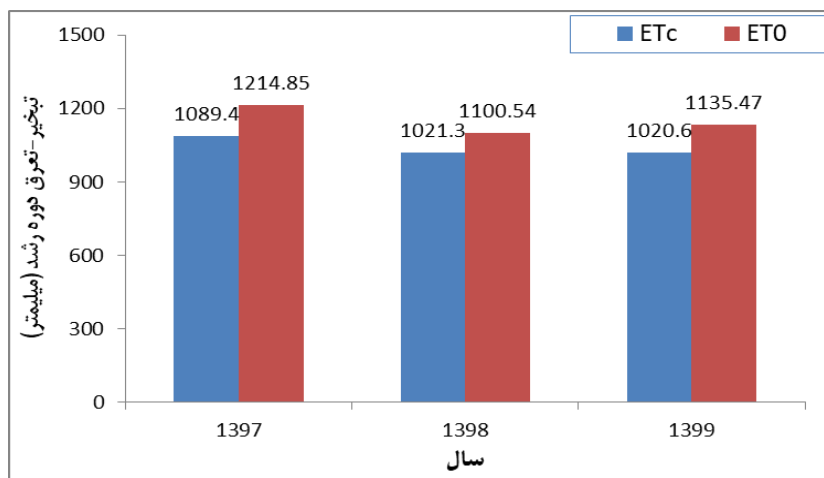


شکل ۴- میانگین مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع (الف) و تبخیر و تعرق گیاه گل‌محمدی توسط الگوریتم سبال (ب) در دوره‌های ده روزه

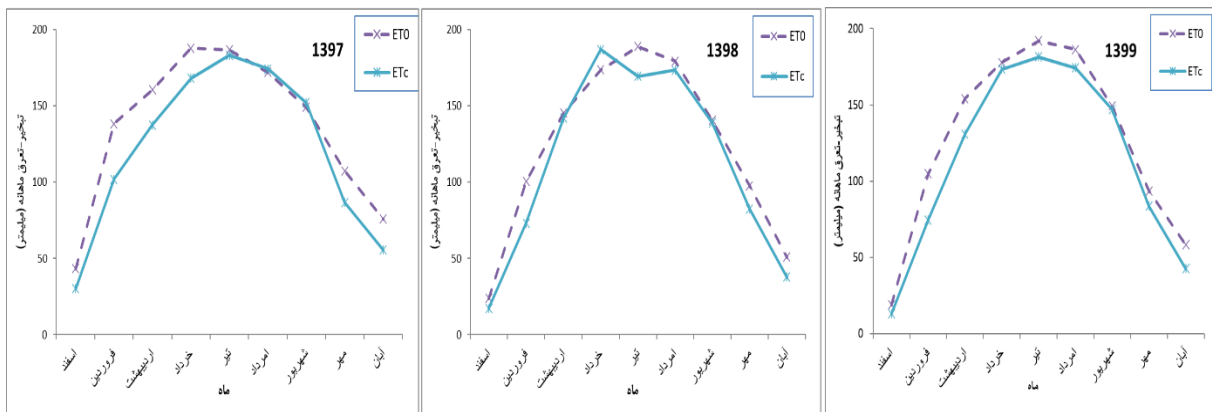
Figure 4- The average values of evapotranspiration of the reference crop (a) and evapotranspiration of the rose using SEBAL (b) in ten-days period



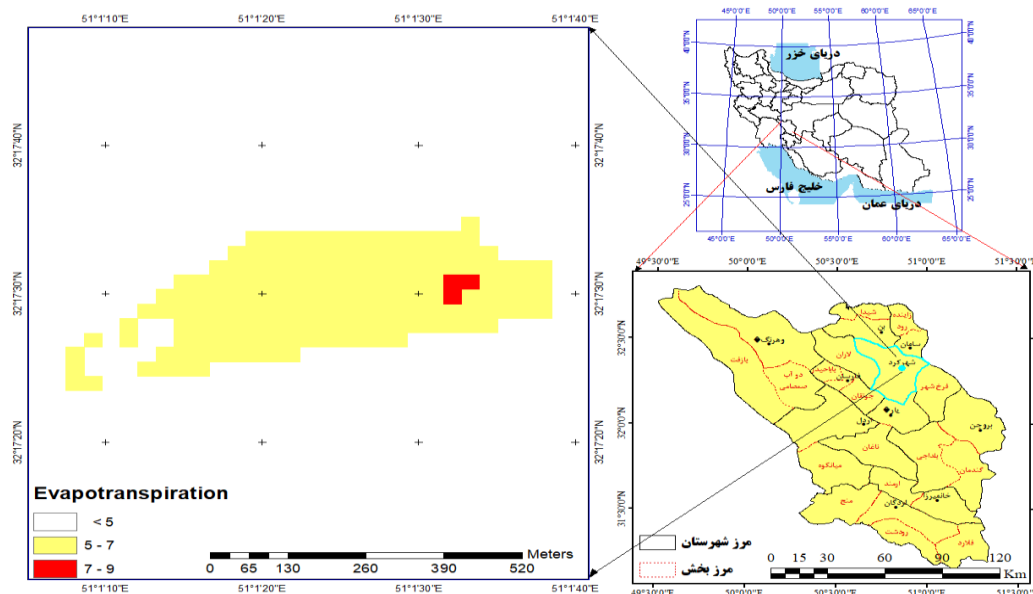
شکل ۵- میانگین مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع (الف) و تبخیر و تعرق گیاه گل محمدی توسط الگوریتم سبال (ب) در دوره‌های ماهانه
 Figure 5- The average values of evapotranspirations of reference crop (a) and rose flower using SEBAL (b) in monthly period



شکل ۶- مقادیر کل تبخیر و تعرق گیاه گل محمدی (ETc) در مقابل کل تبخیر و تعرق ماهانه گیاه مرجع (ET0)
 Figure 6- The values of total evapotranspiration of rose (ETc) compared to total evapotranspiration of reference crop (ET0)



شکل ۷- تغییرات مقادیر تبخیر و تعرق ماهانه گیاه گل محمدی (ETc) در مقابل تبخیر و تعرق ماهانه گیاه مرجع (ET0)
 Figure 7- Variations of the monthly evapotranspiration values for rose (ETc) compared to reference crop evapotranspiration (ET0)



شکل ۸- مقدار تبخیر و تعرق مزرعه گل محمدی در یک روز گذر ماهواره

Figure 8- Amount of evapotranspiration of rose farm in one satellite pass-day

قهرمان، ا. (۱۳۷۲). کورموفیت‌های ایران جلد اول (سیستماتیک گیاهی). مرکز نشر دانشگاهی.

کیخایی، فاطمه، زارعی، قاسم، گنجی خرم‌دل، ناصر، و صادقی، صادق (۱۳۹۹). نیاز آبی ارقام گل رز در گلخانه هیدروپونیک با استفاده از لایسیمتر. *پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)*، ۳۴(۴)، ۵۳۱-۵۴۲. doi:10.22092/jwra.2021.123622

مجد، مرضیه، خوشحال، جواد، و رحیمی، داریوش (۲۰۱۴). تعیین مراحل فنولوژی و محاسبه نیازهای حرارتی گل محمدی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۴(۴)، ۱۶۹-۱۷۸. doi:20.1001.1.20085362.1392.24.4.13.4

مرشدی، علی، جعفری، حسین، و عنابی میلانی، اژدر (۲۰۲۲). برآورد تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از الگوریتم سبال نسبت به نتایج لایسیمتری در شرایط استاندارد در ایستگاه‌های تحقیقاتی تبریز و کرج. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۶(۱)، ۲۱-۳۳. doi:10.22092/jwra.2022.356223.896

مهدوی، عاطفه، نوری امامزاده‌بی، محمدرضا، مهدوی نجف‌آبادی، رسول، و طباطبائی، سیدحسن (۱۳۹۰). مکانیابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوضه آبریز دشت شهرکرد. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۵(۵۶)، ۶۳-۷۸. doi:20.1001.1.24763594.1390.15.56.5.5

میر حیدر، حسین (۱۳۹۸). معارف گیاهی، کاربرد گیاهان در پیشگیری و درمان بیماری‌ها. دفتر نشر فرهنگ اسلامی.

نوری، حمید، و فرامرزی، محمد (۲۰۱۷). بررسی تبخیر و تعرق واقعی در کاربری‌های مختلف اراضی مناطق کوهستانی با استفاده از الگوریتم سبال و ترکیب تصاویر ماهواره‌ای Landsat و MODIS. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۸(۲)، ۳۹-۵۶. doi:10.22108/gep.2017.97932.0:doi

منابع

- خاتم‌ساز، محبوبه، اسدی، مصطفی، و معصومی، علی‌اصغر (۱۳۷۱). فلور ایران. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
- شریفی عاشورآبادی، ابراهیم، روحی‌پور، حسن، عصاره، محمدرحمن، طبایی عقدایی، سیدرضا، لباسچی، محمدرحمن، و نادری، بهروز (۱۳۹۳). تعیین نیاز آبی گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) با استفاده از لایسیمتر. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۰(۶)، ۹۳۱-۹۲۳. doi:10.22092/ijmapr.2015.11927
- شریفی عاشورآبادی، ابراهیم، روحی‌پور، حسن، عصاره، محمدرحمن، لباسچی، محمدرحمن، عباس‌زاده، بهلول، نادری، بهروز، و رضایی سرخوش، مهدی (۱۳۹۱). تعیین نیاز آبی گیاه دارویی بومادران (*Achillea millefolium* L.) با استفاده از لایسیمتر. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۸(۳)، ۴۹۲-۴۸۴. doi:10.22092/ijmapr.2012.2954
- عبادزاده، حمیدرضا، احمدی، کریم، محمدنیا افروزی، شهریار، عباسقانی، رضا، عباسی، مریم، و یاری، شهین (۱۳۹۸). آمار کشاورزی (جلد دوم). معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.
- عباس نژادالچین، احمد، درویش‌صفت، علی‌اصغر، و بذرافشان، جواد (۱۳۹۹). تهیه و ارزیابی نقشه‌های تبخیر و تعرق براساس داده‌های ماهواره لندست ۸ و مدل SEBAL در جنگل‌های هیرکانی (مطالعه موردی: جنگل‌های پل سفید و کیاسر). *جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۳۳(۳)، ۲۵۹-۲۷۰. doi:10.22059/jfwp.2020.284419.1007
- فرشی، علی‌اصغر (۱۳۷۶). برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. جلد ۱: گیاهان زراعی. آموزش کشاورزی وابسته به دفتر خدمات تکنولوژی آموزشی وزارت جهاد کشاورزی، ۹۱۸ صفحه.

References

- Abbasnezhad Alchin, A., Darvish Sefat, A.A., & Bazrafshan, J. (2020). Preparation and estimating of evapotranspiration maps based on Landsat 8 satellite data and SEBAL model in Hyrcanian forests (Case study: Pol-Sefid and Kiasar forests). *Forest and Wood Products*, 73(3), 259-270. doi:10.22059/jfwp.2020.284419.1007 [In Persian]
- Allen, R., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Wright, J., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Lorite, I., & Robison, C. (2007). Satellite-Based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133, 395-406. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380)
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., & Holtslag, A.A.M. (1998a). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212-213, 198-212. doi:10.1016/S0022-1694(98)00253-4
- Bastiaanssen, W.G.M., Molden, D.J., & Makin, I.W. (2000). Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management*, 46, 137-155. doi:10.1016/S0378-3774(00)00080-9
- Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J.M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B.P., & 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, 85-93. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(85)
- Bastiaanssen, W.G. M., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J.F., Roerink, G.J., & Van Der Wal, T. (1998b). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 2: Validation. *Journal of Hydrology*, 212-213, 213-229. doi:10.1016/S0022-1694(98)00254-6
- Burman, R.D., Nixon, P.R., Wright, J.L., & Pruitt, W.O. (1981). Water Requirements (Chapter 6). Pp. 189-232, In: M.E. Jensen, ed, *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*. ASAE Monograph, No. 3, Niles, Road, St. Joseph, Michigan.
- Caballero, M., Mansito, P., Zieslin, N., Rodrigo, J., Melián, J., & Renz, O. (1996). Water use and crop productivity of roses growing on volcanic Lapilli in (PICON) in Canary islands. Final Report of research project, International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 44 pages.
- Carins, T. (2003). *Horticultural classification schemes (Vol. 1)*. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Chevallier, A. (1996). *The encyclopedia of medicinal plants*. London, UK. Dorling kindersely.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W.O. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24 (revised).
- Ebadzadeh, H., Ahmadi, K., Mohammadnia Afrozi, S., Abbastaghani, R., Abbasi, M., & Yaari, S. (2019). *Agricultural statistics (The second volume)*. Ministry of Jihad of Agriculture, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center, Tehran, IRAN. [In Persian]
- Farshi, A.A. (1997). *An estimate of water requirement of main field crops and orchards in Iran, Agricultural plants*. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Human Resource Education and Equipment, Agricultural Education Publication: Soil and Water Research Institute. [In Persian]
- Ghahraman, A. (1993). *Cormophytes of Iran*. University Publication Center. [In Persian]
- Kamali, M.I., & Nazari, R. (2018). Determination of maize water requirement using remote sensing data and SEBAL algorithm. *Agricultural Water Management*, 209, 197-205. doi:10.1016/j.agwat.2018.07.035
- Keykhaei, F., Zareai, G., Ganji Khorramdel, N., & Sadeghi, S. (2021). Determining crop water requirement of rose varieties in hydroponic greenhouse. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(4), 531-542. doi:10.22092/jwra.2021.123622 [In Persian]
- Khatamsaz, M., Asadi, M., & Masoumi, A.A. (1992). *Flora of Iran*. Research Institute of Forests and Pastures. [In Persian]
- Li, Z., Liu, X., Ma, T., Kejia, D., Zhou, Q., Yao, B., & Niu, T. (2013). Retrieval of the surface evapotranspiration patterns in the alpine grassland-wetland ecosystem applying SEBAL model in the source region of the Yellow River, China. *Ecological Modelling*, 270, 64-75. doi:10.1016/j.ecolmodel.2013.09.004
- Liang, S. (2018). *Comprehensive Remote Sensing*. Elsevier Inc., All rights reserved.
- Mahdavi, A., Nouri Emamzadeh, M.R., Mahdavi Najafabadi, R., & Tabatabaei, S.H. (2011). Identification of Artificial recharge sites using fuzzy logic in Shahrekord Basin. *Journal of Water and Soil Science*, 15(56), 63-78. doi:10.1001.1.24763594.1390.15.56.5.5 [In Persian]
- Majd, M., Khoshhal, J., Rahimi, D., Rahimi, D., & Khoshhal, J. (2014). Analyzing the phenological growth stages and required

- temperature rate of Gole Mohammadi. *Geography and Environmental Planning*, 24, 169-178.
doi:20.1001.1.20085362.1392.24.4.13.4 [In Persian]
- Mir Heydar, S.H. (1995). *Herbal knowledge: the use of plants in the prevention and treatment of diseases by presenting the latest scientific research of researchers and scientists of the world*. Islamic Culture Publishing House. [In Persian]
- Mokhtari, M.H. (2005). Agricultural drought impact assessment using remote sensing, (a case study borkhar district-Iran), M.Sc. Thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation in partial fulfilment of the requirements, The Netherlands.
- Morse, A., Allen, R.G., Tasumi, M., Kramber, W.J., Trezza, R., & Wright, J.L. (2000). Application of the SEBAL meteorology for estimating evapotranspiration and consumptive use of water through remote sensing. Final Report, Idaho Department of Water Resources, University of Idaho, Department of Biological and Agricultural.
- Morshedi, A., Jafari, H., & Onabi Milani, A. (2022). Estimation of Actual Evapotranspiration of Wheat Using SEBAL Algorithm Compared to Lysimetric Results under Standard Conditions in Tabriz and Karaj Research Stations. *Journal of Water Research in Agriculture*, 36(1), 21-33. doi:10.22092/jwra.2022.356223.896 [In Persian]
- Nouri, H., & Faramarzi, M. (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. doi:10.22108/gep.2017.97932.0 [In Persian]
- Rao, B.R.R., Sastry, K.P., Saleem, S.M., Rao, E.V.P., Syamasundra, K.V., & Ramesh, S. (2002). Volatile flower oil of three genotypes of rose-scented geranium (*Pelargonium* sp.). *Flavour and Fragrance Journal*, 15, 105-107.
- Scarman, J. (1996). *Gardening with old Roses*. Harper Collins Publication.
- Sharifi Ashoorabadi, E., Rouhipour, H., Assareh, M.H., Lebaschy, M.H., Abaszadeh, B., Naderi, B., & Rezaei Sarkhosh, M. (2012). Determination of crop water requirement of yarrow (*Achillea millefolium*) using lysimetry. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 28(3), 484-492. doi:10.22092/ijmapr.2012.2954 [In Persian]
- Sharifi Ashoorabadi, E., Rouhipour, H., Assareh, M.H., Tabei Aghdaei, S.R., Lebaschy, M.H., & Naderi, B. (2015). Determination of water requirement of *Rosa damascene* Mill. using lysimeter. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 30(6), 923-931. doi:10.22092/ijmapr.2015.11927 [In Persian]
- Singh, V., Tiwari, K., & Santosh, D.T. (2016). Estimation of Crop coefficient and water requirement of *Dutch Roses (Rosa hybrida)* under greenhouse and open field conditions. *Irrigation & Drainage Systems Engineering*, 05. doi:10.4172/2168-9768.100169
- Sun, Z., Wei, B., Su, W., Shen, W., Wang, C., You, D., & Liu, Z. (2011). Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 1086-1092. doi:10.1016/j.mcm.2010.11.039doi:
- SWRI, (2022). Water Requirement of Plants, Niazab System. Final Report, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ministry of Agriculture-Jaha.
- Teixeira, A.H., Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D., & Bos, M.G. (2009a). Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil: Part A: Calibration and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 462-467. doi:10.1016/j.agrformet.2008.09.016
- Teixeira, A.H., Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D., & Bos, M.G. (2009b). 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, 477-490. doi:10.1016/j.agrformet.2008.09.014
- Waters, R., Allen, R., Tasumi, M., Trezza, M., & Bastiaanssen, W. (2002). Surface energy balance algorithms for land, advanced training and user's manual. NASA EOSDIS/Synergy grant from the Raytheon Company through The Idaho Department of Water Resources, 97 pages.
- Zeyliger, A., & Ermolaeva, O. (2013). SEBAL Model using to estimate irrigation water efficiency & water requirement of Alfalfa Crop. *Geophysical Research Abstracts*, 15, EGU2013-12671, EGU General Assembly, 12671.
- Zwart, S.J., & Bastiaanssen, W.G.M. (2007). SEBAL for detecting spatial variation of water productivity and scope for improvement in eight irrigated wheat systems. *Agricultural Water Management*, 89, 287-296. doi:10.1016/j.agwat.2007.02.002