



## The influence of land surface temperature (LST) on estimated actual evapotranspiration

Aryan Heidari Motlagh<sup>1</sup> | Ali Haidar Nasrolahi<sup>2</sup> | Shadman veysi<sup>3</sup> | Majid Sharifipour<sup>4</sup>

1. Department of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz. Email: [aryanheidari74@yahoo.com](mailto:aryanheidari74@yahoo.com)
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email: [nasrolahi.a@lu.ac.ir](mailto:nasrolahi.a@lu.ac.ir)
3. Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: [shadman2010@yahoo.com](mailto:shadman2010@yahoo.com)
4. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email: [Sharifipour.m@lu.ac.ir](mailto:Sharifipour.m@lu.ac.ir)

---

### Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** Nov. 15, 2022

**Revised:** Dec. 18, 2022

**Accepted:** Dec. 24, 2022

**Published online:** Feb. 20, 2022

**Keywords:**

Cold Pixel,  
Remote Sensing,  
Sebal Algorithm,  
Lysimetric.

---

### ABSTRACT

The remote sensing technique is a suitable method for estimating actual evapotranspiration (ETa) at the large-scale due to spatial and temporal resolution. The present study aims to assess the ETa using the SEBAL and different algorithms to survey the effect of the LST and their impact assessment on the ETa fluctuation. Field measurement, including canopy temperature and the volume of inflow and outflow of water consumption was done based on lysimeters during 2018-2019. After the necessary pre-processing on the satellite images, the Land Surface Temperature (LST) was estimated using Planck's and split window algorithms. The result showed that the performance of Split window was better than to the Planck algorithm. Also, ETa was estimated by the SEBAL algorithm based on two temperature scenarios including the Planck and split window. The results showed, the cold pixel of SEBAL algorithm had compliance with the Lysimetric measurement. Moreover, the cold pixel of the split window algorithm with RMSE=0.56, NRMSE=0.084 and NS=0.992 (mm/day) had the highest consistency with the lysimeter data. Also, the rMBE index of the split window algorithm was associated with underestimation in the range of -4.07 to -3.22%, while the Planck function algorithm fluctuated with overestimation in the range of 4.76 to 12.65%. This research has been verified to the cold pixel of satellite for crop with no stress conditions and for better investigation at crop stress condition, precise instruments are needed.

---

Cite this article: Heidari Motlagh, A., Nasrolahi, A. H., Veysi, Sh., & Sharifipour, M. (2023). The Influence of Land Surface Temperature (LST) on Estimated. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (12), 2701-2720. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.351202.669396>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.351202.669396>



## تأثیر به کارگیری الگوریتم‌های مختلف دمای سطح زمین در برآورد مقادیر تبخیر-تعرق واقعی

آرین حیدری مطلق<sup>۱</sup>، علی حیدر نصراله‌هی<sup>۲</sup>، شادمان ویسی<sup>۳</sup>، مجید شریفی پور<sup>۴</sup><sup>۱</sup> گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ایمیل: [aryanheidari74@yahoo.com](mailto:aryanheidari74@yahoo.com)<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، ایمیل: [nasrolahi.a@lu.ac.ir](mailto:nasrolahi.a@lu.ac.ir)<sup>۳</sup> بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، ایمیل:[shadman2010@yahoo.com](mailto:shadman2010@yahoo.com)<sup>۴</sup> گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، ایمیل: [Sharifipour.m@lu.ac.ir](mailto:Sharifipour.m@lu.ac.ir)

## اطلاعات مقاله

## چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۱

## واژه‌های کلیدی:

پیکسل سرد،

سنجش از دور،

الگوریتم سبال،

لایسیمتر.

یکی از روش‌های مناسب به منظور برآورد تبخیر-تعرق واقعی، استفاده از فن سنجش از دور است که به دلیل پوشش مکانی و زمانی مناسب، گزینه خوبی برای اندازه‌گیری در سطح گسترده به حساب می‌آید. هدف از پژوهش حاضر، برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبال و به کارگیری الگوریتم‌های تابع پلانک و پنجره مجزا برای محاسبه تأثیر پارامتر دمای سطح و مقایسه روش‌های مختلف برآورد دمای سطح و مشاهده تأثیر آن بر مقادیر تبخیر-تعرق واقعی است. برای این منظور، اطلاعات میدانی شامل دمای پوشش سبز در سطح مزرعه و اندازه‌گیری حجم آب ورودی و خروجی در مقیاس لایسیمتر در مزرعه تحت کشت یونجه در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ همزمان با روزهای گذر ماهواره لندست ۸ برفراز محدوده مطالعاتی در نقاط از قبل تعیین شده در سطح مزرعه برداشت شد. پس از انجام پیش پردازش‌های لازم روی تصاویر ماهواره‌ای، ابتدا با استفاده از باندهای حرارتی و دو الگوریتم پنجره مجزا و تابع پلانک، دمای مزارع تخمین زده شد. نتایج نشان داد در هر گذر با دمای پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده با استفاده از دماسنج مادون قرمز، الگوریتم پنجره مجزا مقادیر همبستگی بالاتری نسبت به روش تابع پلانک به میزان ۶۸ تا ۸۰ درصد داشت. در مرحله بعد به برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از الگوریتم سبال تحت دو سناریوی دمای تابع پلانک و پنجره مجزا پرداخته شد. مقایسه نتایج تبخیر-تعرق واقعی محاسبه شده با لایسیمتر نشان داد که پیکسل سرد بیشترین انطباق را با نحوه آبیاری در لایسیمتر دارد، که پیکسل سرد حاصل از الگوریتم پنجره مجزا با میلی‌متر در روز  $RMSE=0/56$ ،  $rMSE=0/084$  و  $nRMSE=0/992$ ،  $NS=0/992$ ، بیشترین مطابقت را با داده‌های لایسیمتر دارد. همچنین بر اساس شاخص rMBE الگوریتم پنجره مجزا با کم‌برآوردی در بازه ۰/۷- تا ۳/۲۲- درصد بوده در حالیکه الگوریتم تابع پلانک با بیش‌برآوردی در بازه ۴/۷۶ تا ۱۲/۶۵ درصد در نوسان بوده است. این بررسی فقط اختصاص به پیکسل سرد ماهواره با شرایط بدون تنش آبی بوده و برای بررسی‌های بیشتر نیازمند ابزار دقیق می‌باشد.

استناد: حیدری مطلق؛ آرین، نصراله‌هی؛ علی حیدر، ویسی؛ شادمان، شریفی پور؛ مجید. (۱۴۰۱). تأثیر به کارگیری الگوریتم‌های مختلف دمای سطح زمین در برآورد مقادیر

تبخیر-تعرق واقعی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۱۲)، ۲۷۲۰-۲۷۳۰. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.351202.669396>

© نویسندگان.

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.351202.669396>

## مقدمه

تبخیر-تعرق واقعی یکی از اجزای مهم بیلان آب در سطح محلی و جهانی است. از نظر کشاورزی، تبخیر-تعرق واقعی میزان آب سودمند مصرف شده از طریق آبیاری را تعیین می‌کند. اکثر مدل‌های هیدرولوژیک و برنامه‌های مدیریت کشاورزی نیاز به تخمین دقیق تبخیر-تعرق واقعی دارند. تبخیر-تعرق واقعی توسط فرآیندهایی تعریف می‌شود که به موجب آنها آب از طریق تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاهان از دست می‌رود (Doorenbos, 1984; Running et al., 2017). تعرق گیاهان بخش اصلی فرآیند تبخیر-تعرق واقعی را نشان می‌دهد. بخش باقیمانده تبخیر-تعرق واقعی به دلیل تبخیر از سطح‌های خاک و آب صورت می‌گیرد (Liu et al., 2003). فرآیندهای تبخیر-تعرق به طور هم‌زمان رخ می‌دهند (Ding et al., 2013). روش‌های مختلفی برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی وجود دارد که به طور کلی می‌توانند به عنوان روش‌های تجربی (Thorntwaite, 1948; Blaney, 1952)، روش‌های بیلان انرژی سطح و روش‌های ترکیبی طبقه‌بندی شوند که روش‌های تجربی را با روش‌های بیلان انرژی سطح ترکیب می‌کنند (Penman, 1948; Allen et al., 1998b; Nouri et al., 2013). این روش‌ها از نظر داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز و دقت تبخیر-تعرق واقعی متفاوت هستند. روش‌های تجربی به طور معمول برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی بر اساس اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای استفاده می‌شوند. این روش‌ها مقادیر بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی نامطلوب تبخیر-تعرق واقعی را ارائه می‌دهند (Elhag et al., 2011). تصاویر ماهواره‌ای امروزه مبنای قابل اعتمادی را برای مدل‌های مختلف محاسباتی ارائه می‌دهند که برآورد تبخیر-تعرق واقعی را بر اساس بیلان انرژی سطح انجام می‌دهند (Mao and Wang, 2017). تبخیر-تعرق واقعی تخمین زده شده توسط تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی نیازهای آب زراعی (نیاز آبی گیاهان) و بیلان آب در مقیاس‌های منطقه‌ای و مزرعه‌ای (مزارع تحت کشت)<sup>۱</sup> بسیار مفید است (Senay et al., 2016; Pinter et al., 2003). علاوه بر این، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، کارآمدترین و اقتصادی‌ترین تکنیک‌ها برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی در مناطق بزرگ محسوب می‌شوند (Allen et al., 2011). از روش‌های بیلان انرژی سطحی می‌توان برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی استفاده کرد (Calcagno et al., 2007). الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین<sup>۲</sup> (SEBAL) می‌تواند برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از داده‌ها و اطلاعات هواشناسی مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، داده‌های ورودی برای الگوریتم سبال تا حد زیادی متنوع و متفاوت هستند که عدم قطعیت‌هایی را در برآوردهای تبخیر-تعرق واقعی ایجاد می‌کند (Liou and Kar, 2014). یکی از مهم‌ترین اجزای الگوریتم سبال محاسبه دمای سطح زمین و تعیین اختلاف بین دمای هوای چسبیده به سطح زمین و دمای سطح زمین است. تعیین شار گرمای محسوس می‌تواند نقش مهمی در دقت نتایج نهایی الگوریتم سبال در منطقه مورد پژوهش داشته باشد. همچنین در الگوریتم سبال، (Bastiaanssen et al., 1998) اطلاعات به دست آمده از دمای سطح زمین (LST<sup>۳</sup>) می‌تواند اطلاعات مفیدی در زمینه مطالعه پدیده‌های مختلف از جمله تجزیه و تحلیل جزایر حرارتی شهر، تشخیص آنومالی‌های حرارتی مربوط به زلزله، شناسایی منابع زمین‌گرمایی، پایش خشکسالی و آتش‌سوزی ارائه دهد (Bastiaanssen et al., 1998; Jouybari et al., 2015). الگوریتم‌های بسیاری برای محاسبه دمای سطح زمین استفاده می‌شود که می‌توان به الگوریتم پنجره تکی<sup>۴</sup> (Wang et al., 2001)، الگوریتم تک کانال<sup>۵</sup> (Jimenez-Munoz, 2014) و الگوریتم پنجره مجزا<sup>۶</sup> (Qin et al., 2001) اشاره کرد (Petitcolin et al., 2002). محققان گزارش کرده‌اند که الگوریتم پنجره تکی برای داده‌های باند حرارتی لندست ۷ که یک باند حرارتی دارد و الگوریتم پنجره مجزا برای تصاویر ماهواره‌ای مانند لندست ۸ با دو باند حرارتی و استر با چند باند حرارتی نتایج قابل قبولی داشته است (Li et al., 2001). (Evcen and yagci, 2022) برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از مدل SEBAL با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در منطقه ینی کاگا، بولو پرداختند. نقشه‌های ETa تولید شده توسط مدل SEBAL با مشاهدات جمع‌آوری شده توسط برج شار مجهز به سیستم کواریانس در اطراف دریاچه ینی‌کاگا در بولو، ترکیه بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ مقایسه شدند. نتایج نشان داد که یک تطابق قوی بین مدل و تخمین ETa زمینی  $R^2 = 0.83$  وجود دارد. میانگین روزانه خطاهای مطلق و

1 subfields scale

2 Surface Energy Balance Algorithm for Land

3 Land Surface Temperature

4 Mono Window

5 Single Channel

6 Split Window



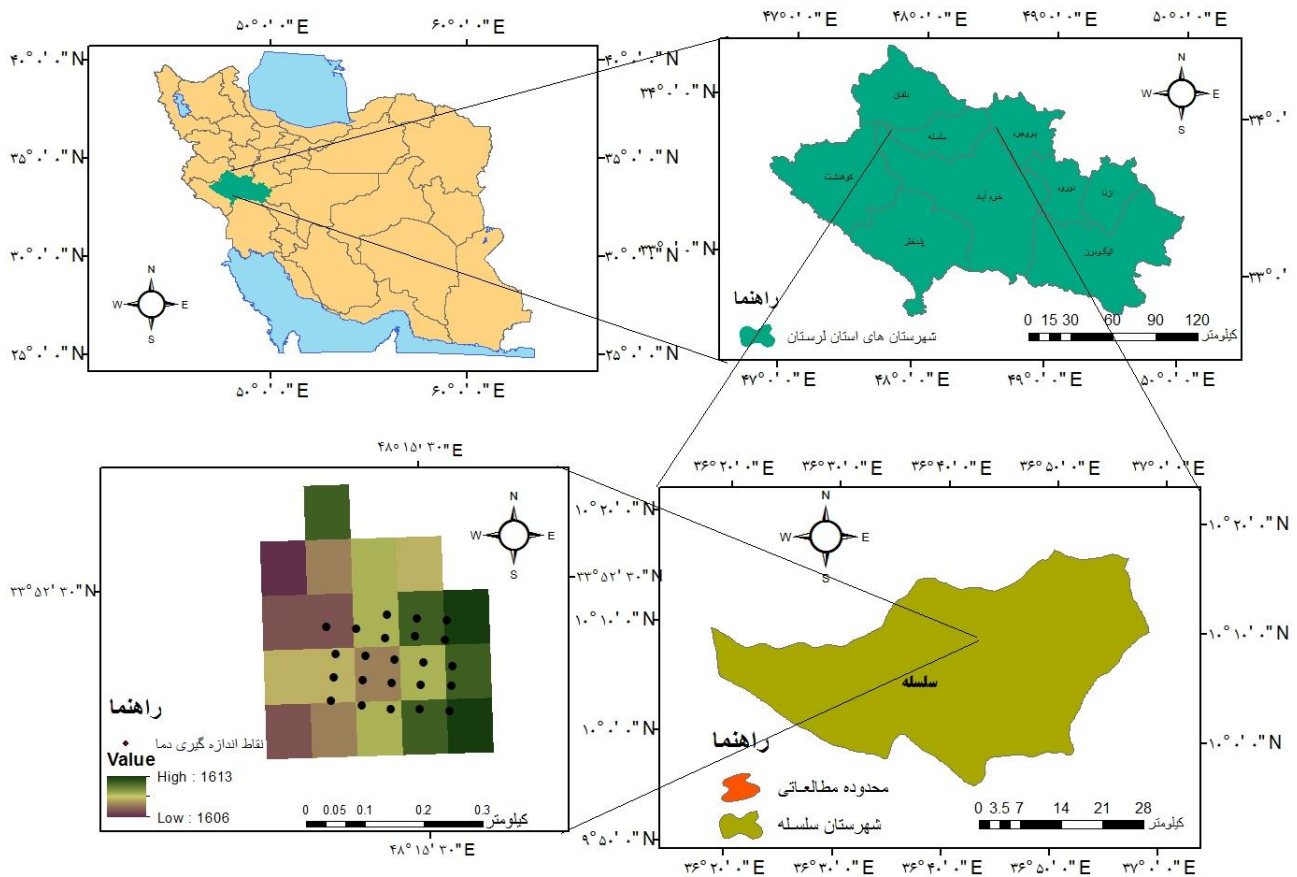
جنر میانگین مربعات به ترتیب ۰٫۶۳ میلی متر و ۰٫۷۱ میلی متر بود

(Bispo et al, 2022) به بررسی مدل‌سازی تبخیر و تعرق مبتنی بر سنجش از دور برای نیشکر در برزیل با استفاده از رویکرد ترکیبی پرداختند. نتایج برآورد شده از طریق SETMI و داده‌های میدانی با استفاده از سیستم کوواریانس (EC) با در نظر گرفتن دو فصل رشد برای تایید اجزای تعادل انرژی و ETa استفاده شد. مولفه‌های موازنه انرژی مدل شده همبستگی قوی با داده‌های زمینی EC نشان دادند، به طوری که ETa با مقدار  $R^2 = 0.94$  و ضریب همبستگی پیرسون برابر با ۰٫۸۸ نشان داد. (Adwada et al, 2022) به بررسی یک روش ترکیبی سنجش از دور و مدل‌سازی برای ساخت سری‌های زمانی پیوسته تبخیر و تعرق واقعی روزانه پرداختند. هدف از این تحقیق ساخت سری‌های زمانی پیوسته ETa روزانه با استفاده از برآورده زمانی تبخیر و تعرق واقعی به دست آمده توسط مدل‌سازی SEB در تصاویر لندست می‌باشد. مدل SEBAL با مدل تبخیر فائو ۵۶ ادغام شد، و اندازه‌گیری‌های زمینی رطوبت خاک و تبخیر و تعرق بالقوه را بازیابی کرد. این روش توسط یک برج کوواریانس بر روی تانگستان با پوشش خاکی جزئی در جنوب جزیره ساردینیا در ایتالیا تایید شد. روش مدل‌سازی یکپارچه، بازتولید خوبی از سری‌های زمانی ETa مشاهده شده را با مقادیر  $(R^2 = 0.71, MAE = 0.54 \text{ mm d}^{-1})$  نشان داد. (Gonçalves et al, 2022) به بررسی مدل‌سازی تبخیر و تعرق مبتنی بر سنجش از دور با استفاده از geeSEBAL برای مدیریت آبیاری نیشکر در برزیل پرداخته‌اند. در این تحقیق با استفاده از تصاویر Landsat و ERA5 - Land به عنوان ورودی‌های هواشناسی در بزرگترین منطقه تولیدکننده نیشکر جهان در برزیل برای دو فصل با مقایسه ETa روزانه با مقادیر حاصل از کوواریانس (EC)، مولفه‌های تراز انرژی با استفاده از geeSEBAL با داده‌های اندازه‌گیری شده سازگار بود و ETa روزانه با  $RMSE = 0.46$  میلی‌متر با  $R^2 = 0.97$  مطابقت داشت. تبخیر-تعرق یک پارامتر متغیر مکان-زمان است. به عبارت دیگر این متغیر در زمان‌ها و مکان‌های مختلف مقادیر متفاوتی را ارائه می‌دهد. بنابراین تخمین و محاسبه دقیق این پارامتر در یک منطقه همواره به عنوان یک چالش اساسی کارشناسان و متخصصان آب و خاک مطرح می‌باشد. دشت الشتر به عنوان یک قطب تولیدات زراعی استان لرستان همواره با توجه به ظرفیت مناسب منابع آب نسبت به سایر نقاط استان به منظور کاشت گیاهان پرمصرف مانند گیاه یونجه مورد توجه بوده است. گیاه یونجه به دلیل سبزی‌نگی بالا به شدت به کم آبی حساس بوده به طوری که آب مورد نیاز آن بسته به شرایط اقلیمی و آبیاری متفاوت است. لذا مدیریت صحیح آبیاری، پایش و برآورد دقیق میزان آب مصرفی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. از آنجایی که گیاه یونجه یکی از مهمترین گیاهان الگوی کشت منطقه مورد مطالعه بوده که در مقیاس وسیع کشت می‌شود، اندازه‌گیری داده‌های بیابان رطوبت خاک در عمق‌های مختلف کاری سخت و هزینه‌بر می‌باشد. بنابراین در ارزیابی الگوریتم‌های تبخیر-تعرق از داده‌هایی که غیرمستقیم می‌توانند به ما کمک کنند دمای سطح و اندازه‌گیری میزان خروجی لایسیمتر استفاده شده است. پژوهش‌های زیادی در زمینه برآورد میزان تبخیر-تعرق واقعی و مقایسه آن با روش اندازه‌گیری لایسیمتر انجام گرفته است، با توجه به آنکه لایسیمتر تبخیر-تعرق مرجع ولی تصاویر ماهواره‌ای تبخیر-تعرق واقعی را برآورد می‌کند مقایسه این دو روش با هم نادرست می‌باشد. اما رویکردی که می‌تواند این دو روش اندازه‌گیری را با هم ارتباط دهد مقادیر پیکسل سرد بوده که بیشترین همپوشانی را با وضعیت لایسیمتری دارد.

## مواد روش

### منطقه مورد مطالعه

این پژوهش به منظور برآورد تبخیر-تعرق واقعی گیاه یونجه در منطقه الشتر با استفاده از سنجش از دور و مقایسه آن با داده‌های میدانی می‌باشد. دشت الشتر با وسعتی حدود ۱۹۰۰ کیلومتر مربع در ارتفاع ۱۶۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد که در ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی در شمال استان لرستان واقع گردیده است. به طور کلی این منطقه از نظر اقلیمی نیمه مرطوب با تابستان معتدل و زمستان سرد می‌باشد و مجموعه بارش سالیانه این منطقه حدود ۵۱۵ میلی‌متر می‌باشد (حیدری مطلق و همکاران، ۱۴۰۰). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در الشتر، لرستان و ایران

## آمار و اطلاعات

### اندازه‌گیری میدانی

در این پژوهش از مرداد تا مهر ماه دمای پوشش سبز گیاه با استفاده از دماسنج فروسرخ اندازه‌گیری شد. برای این منظور با استفاده از دماسنج مادون قرمز که در محدوده ۸ تا ۱۴ میکرومتر کار می‌کند دمای پوشش سبز همزمان با گذر ماهواره یک ربع قبل از گذر تا یک ربع بعد از زمان گذر از ۳۲ نقطه از مزرعه مورد مطالعه که با سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) مختصات آنها تعیین شده بود، برداشت شد. به منظور برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع از سه دستگاه لایسیمتر زهکش‌دار استوانه‌ای با قطر ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر از جنس پلی اتیلن در مزارع مورد مطالعه استفاده شد. برای نصب لایسیمترها گودال‌های بزرگتر از ابعاد لایسیمترها حفر شد و لایسیمترها در داخل گودال طوری قرار گرفتند که امکان دسترسی به خروجی لایسیمترها برای اندازه‌گیری زهاب خروجی فراهم شد. کف لایسیمترها به صورت شیب‌دار و در انتها به وسیله لوله‌ای مشبک به خارج متصل شد تا زه‌آب‌ها به محل اندازه‌گیری هدایت شوند. به منظور سهولت در زهکشی، لایه‌ای از شن به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در کف لایسیمتر ریخته و لایسیمترها با خاک محل حفر گودال و با در نظر گرفتن ترتیب لایه‌های خاک پر شدند. برای محاسبه دقیق تغییرات رطوبت خاک داخل لایسیمتر، خاک لایسیمترها به چهار لایه تقسیم‌بندی شده و در وسط هر لایه یک بلوک گچی نصب شد. برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق گیاهی توسط لایسیمتر زهکش‌دار در دوره زمانی معین، از رابطه بیلان آبی خاک استفاده شد. در طی مدت پژوهش به صورت روزانه تبخیر-تعرق گیاه مرجع به طور مستقیم و از طریق معادله بیلان آبی (رابطه ۱) برآورد شد (Zhu et al, 2005).

$$ET = I + P - D \pm \Delta S$$

رابطه (۱)

که در آن، ET تبخیر-تعرق (mm)، I عمق آب آبیاری، P مقدار بارندگی (mm)، D مقدار زهکشی (mm) و  $\Delta S$  تغییرات ذخیره آب خاک (mm) است. کل تغییرات آب ذخیره شده در هر لایه با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$S = S_2 - S_1 = \int_0^L \theta dz \approx \sum_{i=1}^n \theta \Delta z = \theta L$$

رابطه (۲)



مطابق رابطه ۲،  $S_1$ ، رطوبت ذخیره شده در خاک در ابتدای دوره‌ی زمانی،  $S_2$  رطوبت ذخیره شده در خاک در انتهای دوره‌ی زمانی،  $\theta$  رطوبت آب خاک،  $L$  ضخامت هر لایه و  $n$  تعداد لایه‌ها می‌باشند.

### داده‌های ماهواره‌ای

در این مطالعه، از مجموعه داده‌های مختلفی از منابع مختلف، از رکوردهای ثبت شده میدانی گرفته تا تصاویر سنجنش از دور در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. این مجموعه داده‌ها شامل داده‌های هواشناسی، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، و داده‌های میدانی و مزرعه‌ای در مورد نوع محصول و منابع و نیازهای آب در منطقه مورد مطالعه بودند. الگوریتم سبال برای محاسبه تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای نیاز به تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی دارد. در مجموع ۵ تصویر بدون ابر از ماهواره لندست ۸ در الگوریتم سبال برای منطقه مورد مطالعه در طی سال زراعی ۱۳۹۸ استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای لندست، که به‌طور گسترده برای برنامه‌های منابع آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند، از یک تصویربرداری عملیاتی زمین<sup>۱</sup> (OLI) و سنسور حرارتی مادون قرمز<sup>۲</sup> (TIRS) گرفته شده‌اند (Olivos et al., 2005; Serbina and Miller, 2014). تصویربرداری عملیاتی زمین (OLI) دارای نه باند طیفی<sup>۳</sup> است تا بتواند تصویر مطلوب را جمع‌آوری کند. علاوه بر این، برای تمایز کاربری‌های مختلف اراضی از وضوح کافی ۱۵ تا ۳۰ متر برخوردار است (Du et al., 2014). سنسور حرارتی مادون قرمز (TIRS) ابزاری برای اندازه‌گیری باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ است. با این حال، خطاهای تخمین زده شده برای سنسور حرارتی مادون قرمز (TIRS) به ترتیب برابر با ۰/۲۹ و ۰/۵۱ ( $W/m^2/sr/mm$ ) وات در مترمربع در استرادیان در میلی‌متر بود (Montanaro et al., 2014). در جدول ۱، داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ که در این تحقیق استفاده شده‌اند به‌طور خلاصه ارائه شده است. ماهواره لندست ۸ هر ۱۶ روز یک بار از منطقه مورد مطالعه عبور می‌کند. از این رو، هر یک ماه، دو تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ با وضوح ۳۰ متر وجود دارد.

جدول ۱. تاریخ تصاویر ماهواره‌ای برداشت شده

تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ردیف	گذر
۲۹ جولای ۲۰۱۹	۷ مرداد ۱۳۹۸	۳۷	۱۶۶
۱۴ آگوست ۲۰۱۹	۲۳ مرداد ۱۳۹۸	۳۷	۱۶۶
۳۰ آگوست ۲۰۱۹	۸ شهریور ۱۳۹۸	۳۷	۱۶۶
۱۵ سپتامبر ۲۰۱۹	۲۴ شهریور ۱۳۹۸	۳۷	۱۶۶
۱ اکتبر ۲۰۱۹	۹ مهر ۱۳۹۸	۳۷	۱۶۶

در این مطالعه جهت برآورد تبخیر-تعرق واقعی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم سبال از دو سناریوی الگوریتم پنجره مجزا و تابع پلانک جهت محاسبه دمای پوشش سبز استفاده شد. با توجه به اینکه لندست ۸ دارای دو باند حرارتی می‌باشد و الگوریتم سبال برای لندست ۷ برنامه‌ریزی شده و لندست ۷ دارای یک باند حرارتی می‌باشد از تابع‌های مانند تابع پلانک که با یک باند حرارتی دما را محاسبه می‌کنند استفاده شده است. اما در لندست ۸ دارای دو باند حرارتی می‌باشد بنابراین به منظور اینکه بررسی شود کدام یک داده‌های با دقت بالاتری به ما می‌دهند از تابع با دو باند حرارتی الگوریتم پنجره مجزا نیز استفاده شد.

### استخراج دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم تابع پلانک

قانون پلانک، بیان می‌کند که، گسیل انرژی از یک جسم سیاه تابع دمای فیزیکی جسم، طول موج و سرعت سیر نور در خلاء می‌باشد. دمای سطح زمین سنجنده لندست با استفاده از رابطه (۳) به دست می‌آید (Jimenez-Munoz and Sobrino, 2003):

$$T_S = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{R_C} + 1\right)} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن  $K_1$  و  $K_2$  ضرایب واسنجی باندهای حرارتی می‌باشند که مقادیر آنها در فایل فراداده<sup>۴</sup> موجود است.  $R_C$  نیز تابش حرارتی اصلاح شده سطح زمین ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ ) و از رابطه (۴) قابل محاسبه است.

1 Operational Land Imager  
2 Thermal Infrared Sensor  
3 spectral bands  
4 MetaData

$$R_C = \frac{L - R_P}{\tau_{NB}} - (1 - \epsilon_{NB})R_{sky} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن  $L$  تابش طیفی باندهای سنجنده ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ )،  $R_P$  تابش مسیر در محدوده باند حرارتی ( $10/4-12/5 \mu m$ )،  $R_{sky}$  رو به پایین باند کم‌پهنای حرارتی برای آسمان صاف ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ ) و  $\tau_{NB}$  ضریب شفافیت جوی در باند کم‌پهنای حرارتی می‌باشد.

تابش حرارتی اصلاح‌شده سطح زمین  $R_C$ ، تابش واقعی ساطع‌شده از سطح زمین است اما  $L$ ، تابشی است که سنجنده دریافت می‌کند. بین سطح زمین و سنجنده دو اتفاق می‌افتد، اول اینکه بعضی از تابش‌های ساطع‌شده از سطح، در جو از بین رفته و دوم اینکه تابش‌های حرارتی اتمسفر که در مسیر سنجنده قرار گرفته‌اند با تابش ساطع‌شده از سطح درهم آمیخته و سنجنده نمی‌تواند آنها را از هم تفکیک کند. مقادیر  $R_P$  و  $\tau_{NB}$  نیازمند استفاده از مدل‌سازی انتقال تابش اتمسفری مانند پروفیل رادیوسوند در تاریخ تصویر می‌باشد که در صورت

فقدان آن می‌توان از این مقادیر چشم‌پوشی کرد.  $R_{sky}$  از رابطه (۵) قابل محاسبه است:

$$R_{sky} = (1.807 \times 10^{-10})T_a^4 [1 - 0.26 \exp(-7.77 \times 10^{-4}(273.5 - T_a)^2)] \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن  $T_a$  دمای هوای نزدیک سطح زمین (K) می‌باشد. این پارامتر نیز قابل چشم‌پوشی است. خوشبختانه سه پارامتر مذکور به میزان زیادی اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند با این حال در بخش‌های گرم تصویر احتمال کم برآورد تا ۵ درجه سانتی‌گراد در دمای سطح زمین وجود دارد که با این حال در الگوریتم سیال به دلیل استفاده از عملگر  $dT$ ، تأثیر آن در مقدار تبخیر-تعرق نهایی ناچیز خواهد بود (Wukelic et al. 1989). در نتیجه مقدار پیش‌فرض برای پارامترهای  $R_P$ ،  $R_{sky}$  به ترتیب یک و صفر در نظر گرفته شد و در نهایت دمای سطحی در مطالعه حاضر از رابطه (۶) به دست آمد:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln(\frac{\epsilon_{NB}K_1}{1} + 1)} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه  $T_s$  دمای سطح زمین سنجنده لندست (کلون)  $K_1$  و  $K_2$  ضرایب واسنجی هستند که از فایل فراداده‌ای تصاویر دریافت می‌شود، برای باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده لندست ۸ به دست می‌آیند،  $\epsilon_{NB}$  گسیلمندی سطحی در باند کم‌پهنای حرارتی و  $L$  تابش طیفی باند ۱۰ و ۱۱ سنجنده لندست می‌باشند. مقادیر  $K_1$  و  $K_2$  برای باند ۱۰ سنجنده لندست ۸ به ترتیب  $774/89$  و  $1321/08$  و برای باند ۱۱ سنجنده به ترتیب  $480/89$  و  $1021/14$  می‌باشند.

#### استخراج دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا

اساس این الگوریتم بر پایه تفاوت دمای تابشی دو باند حرارتی است که در مجاورت همدیگر قرار دارند. در طول سه دهه گذشته محققین زیادی بر اساس روش‌های تجربی پارامترهای الگوریتم پنجره مجزا را برآورد کردن، اما بنظر می‌رسد الگوریتم پنجره مجزا (Qin et al., 2001) چون بر پایه یک سری از محاسبات می‌باشد، الگوریتم بهتری است. بر پایه خصوصیات مشترکی که به نظر می‌رسد بین باندهای حرارتی ماهواره لندست ۸ و آویرا<sup>۱</sup> وجود دارد می‌توان این الگوریتم را برای تصاویر لندست ۸ به منظور محاسبه دمای سطح زمین به کار برد. دو فاکتور مهم برای محاسبه دمای سطح زمین قابلیت انتشار زمین و گسیلندگی جوی است. براساس رابطه (۷):

$$T_s = A_0 + A_1 T_{10} - A_2 T_{11} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که ضرایب معادله فوق بر اساس معادلات زیر محاسبه می‌شوند.

$$A_0 = \frac{[a_{10}D_{11}(1 - C_{10} - D_{10}) - a_{11}D_{10}(1 - C_{11} - D_{11})]}{(D_{11}C_{10} - D_{10}C_{11})} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$A_1 = 1 + \frac{[D_{10} + b_{10}D_{11}(1 - C_{10} - D_{10})]}{(D_{11}C_{10} - D_{10}C_{11})} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$A_2 = \frac{D_{10}[1 + b_{11}(1 - C_{11} - D_{11})]}{(D_{11}C_{10} - D_{10}C_{11})} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$C_i = \epsilon \tau_i(\theta) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$D_i = [1 - \tau_i(\theta)][1 + (1 - \epsilon)\tau_i(\theta)] \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

که در آن:



$\varepsilon_i$ : قابلیت انتشار سطح زمین در باند  $i$

$\tau_i(\theta)$ : قابلیت عبور اتمسفری برای زاویه زینت معین  $(\theta)$

$T_s$ : درجه حرارت سطح زمین،

$T_{11}, T_{10}$ : درجه حرارت روشنایی باندهای ۱۰ و ۱۱،

$A_2, A_1, A_0$ : ضرایبی هستند که با استفاده از قابلیت انتشار و قابلیت عبور اتمسفری برای زاویه زینت مشخصی محاسبه می‌شوند.

در این الگوریتم به منظور محاسبه پارامترهای  $a_{11}, a_{10}, b_{11}, b_{10}$  محاسبه همبستگی بین دمای سطح سنجنده در دو باند حرارتی و شدت رادیانس ضروری است، که برای رسیدن به این هدف از رابطه پلانک استفاده می‌شود (رابطه ۱۳).

$$L_i = \frac{B_i(T_\lambda)}{\partial B_i(T) / \partial T} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$B_\lambda(T_\lambda) = \frac{C_1}{\lambda^5 [e^{C_2/(\lambda \cdot T_\lambda)} - 1]} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

که در آن:

$L_i$ : مقدار درجه حرارت (کلوین)،

$B_i(T_\lambda)$ : رادیانس تابع پلانک

$\partial B_i(T) / \partial T$ : مشتق تابع پلانک برای باند  $i$  در درجه حرارت  $T$  می‌باشد.

از ترکیب دو رابطه فوق معادله زیر استخراج شد.

$$L_i = \left( \frac{T^2 \lambda}{C_2} \right) (1 - e^{-C_2/\lambda T}) \quad \text{رابطه ۱۵}$$

که در آن:

$C_1$  و  $C_2$ : ثابت‌های رادیانس که مقدار آنها به ترتیب  $3.7415 \times 10^{-16}$  (وات. متر مربع) و  $14387.685$  (میکرومتر. کلوین)

$\lambda$ : مرکز باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ است، از آنجایی که باند ۱۰ در محدوده ۱۱/۱۹-۱۰/۶، بنابراین مرکز آن ۱۰/۹ میکرومتر است

و همچنین باند ۱۱ که در محدوده ۱۲/۵۱-۱۱/۵ مرکز آن در طول موج ۱۲ میکرومتر با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر است.

#### الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین (SEBAL)

فرآیندهای الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین (SEBAL) برآوردهای زیادی مانند تابش سطح خالص ( $R_n$ )، شار حرارت خاک ( $G$ ) و شار حرارت محسوس به هوا ( $H$ ) را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های هواشناسی تولید می‌کنند. برآورد نهایی (SEBAL)، توزیع مکانی تبخیر-تعرق واقعی ( $ET_a$ ) است (Bastiaanssen et al., 1998). تبخیر-تعرق واقعی ( $ET_a$ ) حاصل از (SEBAL) با استفاده از یک سری محاسبات برای  $R_n$ ،  $G$  و  $H$  برآورد شد. باقیمانده معادله بیلان انرژی سطح همان‌طور که در معادله (۱۶) نشان داده شده است محاسبه می‌شود.  $R_n$  با استفاده از معادله (۱۷) محاسبه شد،

$$R_n = G + H + \lambda ET_c \quad \text{رابطه ۱۶}$$

$$R_n = (1 - \alpha) R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0) R_{L\downarrow} \quad \text{رابطه ۱۷}$$

که  $\alpha$  آلبدوی سطح است،  $\varepsilon_0$  میزان انتشار سطح است،  $R_{s\downarrow}$  تشعشع موج کوتاه ورودی (وات بر مترمربع) است،  $R_{L\uparrow}$  تابش موج بلند خروجی (وات بر مترمربع) است و  $R_{L\downarrow}$  تابش موج بلند ورودی (وات بر مترمربع) است (sun et al., 2011).

آلبدوی سطح ( $\alpha$ ) با استفاده از تابش تصحیح شده تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شد. برای محاسبه  $\varepsilon_0$ ، شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی<sup>۱</sup> (NDVI)، شاخص پوشش گیاهی با اصلاح خاک<sup>۲</sup> (SVAI) و شاخص سطح برگ (LAI) استفاده شده است. پس از آن، دمای نزدیک به سطح ( $T_s$ ) بر اساس  $R_{L\uparrow}$  بر اساس  $\varepsilon_0$  برآورد شد (Li et al., 2005). ورودی‌های مدول  $G$ ، همان‌طور که در معادله (۱۸) نشان داده شده است،  $R_n$ ،  $T_s$  و NDVI و  $\alpha$  هستند. برای محاسبه  $H$  از رابطه‌ی (۱۹) استفاده شد.

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2) (1 - 0.98NDVI^4) \quad \text{رابطه ۱۸}$$

$$H = \frac{\rho_{air} \cdot C_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad \text{رابطه ۱۹}$$

1 Normalized Differences of Vegetation Index

2 Soil Adjusted Vegetation Index



که در آن،  $\rho$  چگالی هوا ( $\text{kg/m}^3$ )،  $C_p$  گرمای ویژه هوا ( $1.004 \text{ J/kg/K}$ )،  $dT$  (K) اختلاف دما ( $T_1 - T_2$ ) بین دو ارتفاع (به ترتیب  $Z_1$  و  $Z_2$ ) است، و  $r_{ah}$  مقاومت آئرودینامیکی در برابر انتقال حرارت (ثانیه در متر) است (Singh et al., 2008). نقشه کاربری اراضی و شاخص سطح برگ (LAI) برای محاسبه طول زبری ممنتوم ( $Z_{om}$ ) مورد استفاده قرار گرفتند. پس از آن،  $Z_{om}$  برای محاسبه سرعت اصطکاکی ( $U^*$ ) استفاده شد. از  $U^*$  برای محاسبه سرعت باد در ارتفاع ۲۰۰ متر استفاده شد.  $r_{ah}$  بر اساس  $U^*$  اصلاح شده برآورد شد. برای عدم ثبات آب و هوا با استفاده از پنج تکرار و معادله‌ی طول مونین اوبوخوف اصلاح شد (Venkatram., 1980). دو پیکسل ثابت (پیکسل‌های گرم و سرد) انتخاب شدند و از  $G$ ،  $ET_a$  و  $R_n$  برای برآورد  $H$  استفاده شد.  $dT$  و  $T_s$  برای ایجاد یک مدل رگرسیون برای هر پیکسل در منطقه مورد مطالعه تخمین زده شدند. پس از آن، تبخیر-تعرق لحظه‌ای ( $ET_{inst}$ ) توسط معادله (۲۰) محاسبه شد. تبخیر-تعرق واقعی روزانه ( $ET_{a-24}$ ) با معادله (۲۱) محاسبه گردید.

$$ET_{act-inst} = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad \text{رابطه ۲۰}$$

که  $\lambda$  گرمای نهان تبخیر ( $\text{J/kg}$ ) است.

$$ET_{act-24} = \left( \frac{ET_{r-24}}{ET_{r-inst}} \right) \times ET_{act-inst} \quad \text{رابطه ۲۱}$$

که  $ET_{o-24}$ ،  $ET_o$  تجمعی ۲۴ ساعته برای روز گرفتن تصویر است،  $ET_{rf}$  کسر تبخیر-تعرق است که به عنوان نسبت بین  $ET_{inst}$  (میلی‌متر در ساعت) به  $ET_o$  (میلی‌متر در ساعت) تعریف شده است (Abrishamkar, Ahmadi, 2017).  $ET_{rf}$  ثابت نسبی در طول روز است، بنابراین به طور متوسط ۲۴ ساعته در نظر گرفته می‌شود.

### پیش‌پردازش

#### انتخاب پیکسل‌های سرد و گرم

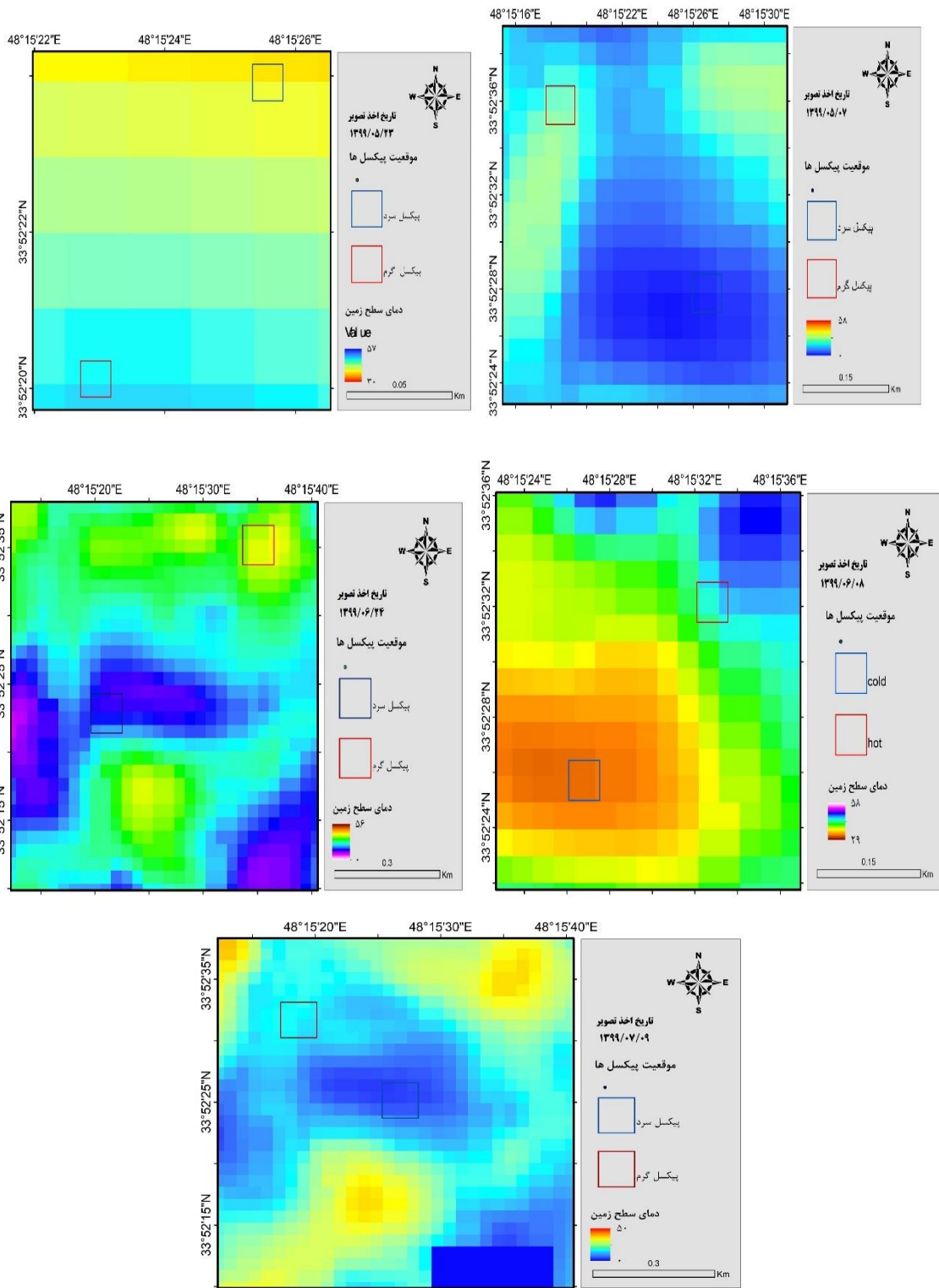
الگوریتم SEBAL از دو پیکسل برای تعیین شرایط مرزی پایدار در رابطه تعادل انرژی استفاده می‌کند. این پیکسل‌ها، که پیکسل‌های گرم و سرد نامیده می‌شوند، باید در محدوده مطالعه باشند. پیکسل سرد از یک ناحیه با پوشش گیاهی کامل و محدوده آبی انتخاب می‌شود که در آن فرض می‌شود دمای سطح برابر با دمای هوا در نزدیکی سطح باشد. پیکسل گرم از یک زمین خشک و بدون پوشش گیاهی انتخاب می‌شود که در آن مقدار  $ET$  برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. عملکرد محاسباتی SEBAL به دقت انتخاب این دو پیکسل بستگی دارد، بنابراین، پیکسل‌های سرد و گرم باید به طور دقیق انتخاب شوند. انتخاب این پیکسل‌ها براساس عواملی مانند دمای سطحی، آلودگی و شاخص‌های پوشش گیاهی می‌باشد. در انتخاب پیکسل‌های سرد و گرم، باید مراقب بود تا از انتخاب دماهای بسیار پایین یا بسیار بالا اجتناب شود. اگر پیکسل سرد از نواحی با دماهای بسیار پایین انتخاب شود، مقادیر  $ET$  در پیکسل‌های با  $ET$  بالا اما دماهای بالاتر از پیکسل سرد انتخابی کم‌تر از مقدار واقعی تخمین زده می‌شود. در مورد پیکسل‌های گرم، اگر دما بسیار بالا باشد، مقدار  $ET$  پیکسل‌های با دمای پایین‌تر اما مقدار  $ET$  صفر بزرگ‌تر از صفر تخمین زده می‌شود (Allen et al., 2002). سپس از دو عامل دما ( $T_s$ ) و شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) برای انتخاب پیکسل‌های گرم و سرد استفاده شده است. پیکسل سرد باید دارای دمای پایین و مقدار NDVI بالا باشد. برعکس، پیکسل گرم باید دارای دمای بالا و مقدار NDVI پایین باشد. مراحل انجام این عملیات برای منطقه مورد نظر به صورت شکل (۲) صورت گرفت.

#### آماره‌های ارزیابی مدل‌ها:

به منظور ارزیابی دقت و کارایی مدل‌ها، از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا ( $RMSE^1$ )، میانگین مجذور مربعات خطای نرمال ( $nRMSE$ )، میانگین نسبی خطا ( $rMBE$ )، ضریب نش ( $NS$ ) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) به صورت زیر استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2} \quad \text{رابطه ۲۲}$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{Y}_i)^2} \quad \text{رابطه ۲۳}$$



شکل (۲): تعیین پیکسل‌های سرد و گرم در گذرهای ماهواره

$$nRMSE = 100 \times \frac{RMSE}{\bar{O}}$$

رابطه (۲۴)

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \right]^2$$

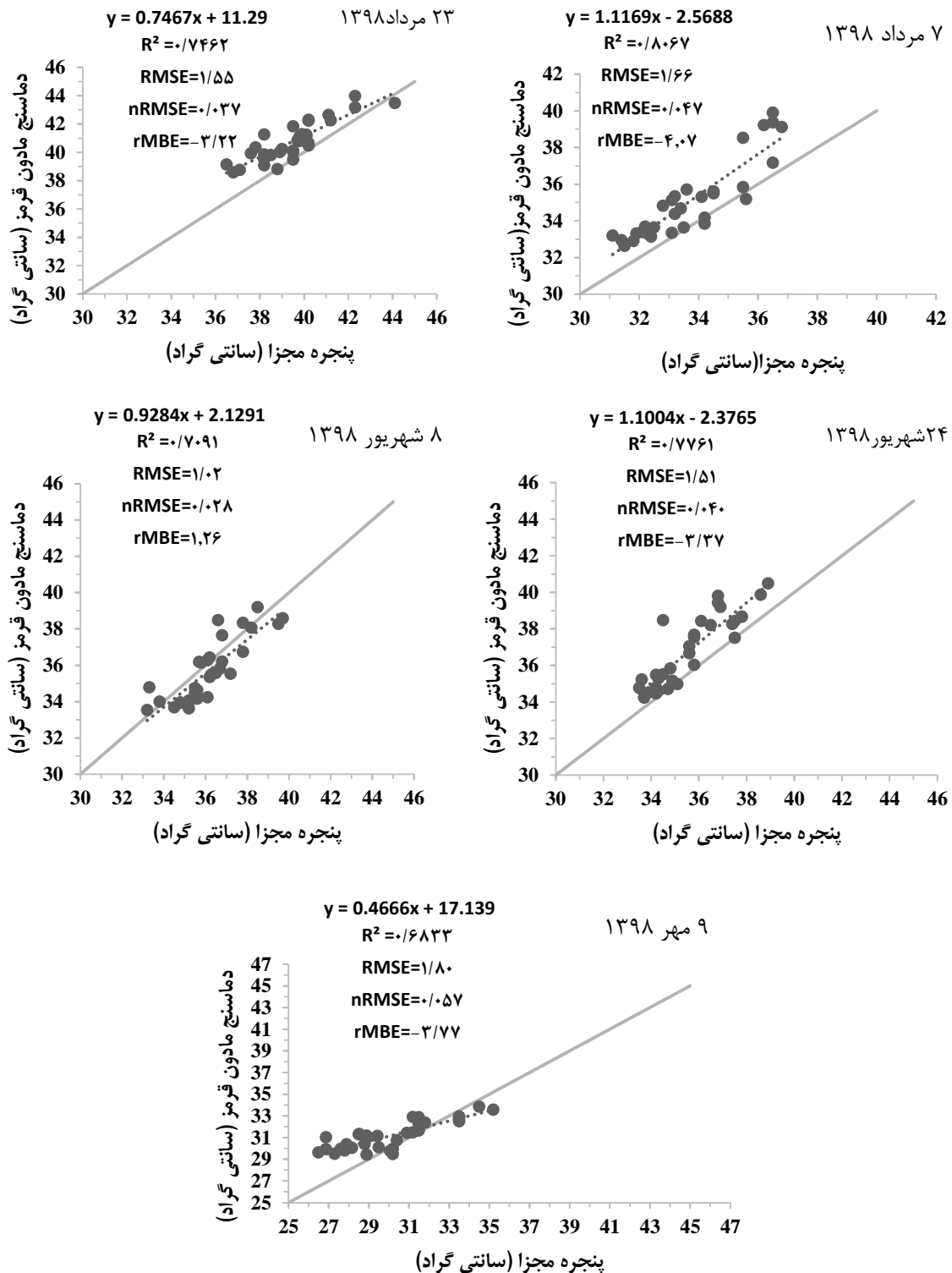
رابطه (۲۵)

$$\text{rMBE} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - Y_i) * (100)}{\sum_{i=1}^N (x_i)} \right] \quad \text{رابطه ۲۶}$$

در روابط بالا،  $Y_i$  و  $X_i$  به ترتیب مقادیر محاسباتی و مشاهداتی در گام زمانی  $i$  ام،  $N$  تعداد گام‌های زمانی،  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  نیز به ترتیب میانگین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد. آماره ریشه میانگین مربعات همواره مثبت بوده و بهترین حالت عملکرد زمانی است که مقدار به صفر نزدیک شود. با این حال، میانگین مجذور مربعات خطای نرمال یک اندازه بدون بُعد است. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال [nRMSE (%)] تفاوت نسبی داده‌های برآورد شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. این برآورد در صورتی عالی در نظر گرفته می‌شود که  $nRMSE \geq 10\%$ ، اگر بین  $10\% > nRMSE \geq 20\%$ ، خوب و چنانچه بین  $20\% > nRMSE \geq 30\%$  متوسط اگر  $nRMSE < 30\%$  ضعیف می‌باشد. (Andarzian et al., 2011). شاخص rMBE به منظور بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی مدل‌ها نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده، مورد استفاده قرار گرفت. با این حال اگر rMBE بین  $\pm 25$  در طبقه عالی چنانچه بین  $\pm 25$  تا  $\pm 40$  قرار گیرد خوب و در صورتی که بین  $\pm 40$  تا  $\pm 70$  متوسط و اگر بالاتر از  $\pm 70$  ضعیف می‌باشد. مقدار ضریب نش از منفی بی‌نهایت تا یک می‌باشد بهترین حالت بر اساس این شاخص زمانی است که مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد. شاخص ضریب تبیین نشانگر دقت تخمین است که مقداری همواره بین منفی یک و مثبت یک دارد که علامت + و - بیانگر همبستگی مثبت یا منفی است و هرچه به یک نزدیک باشد نشان از همبستگی بیشتر بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی دارد.

## نتایج و بحث

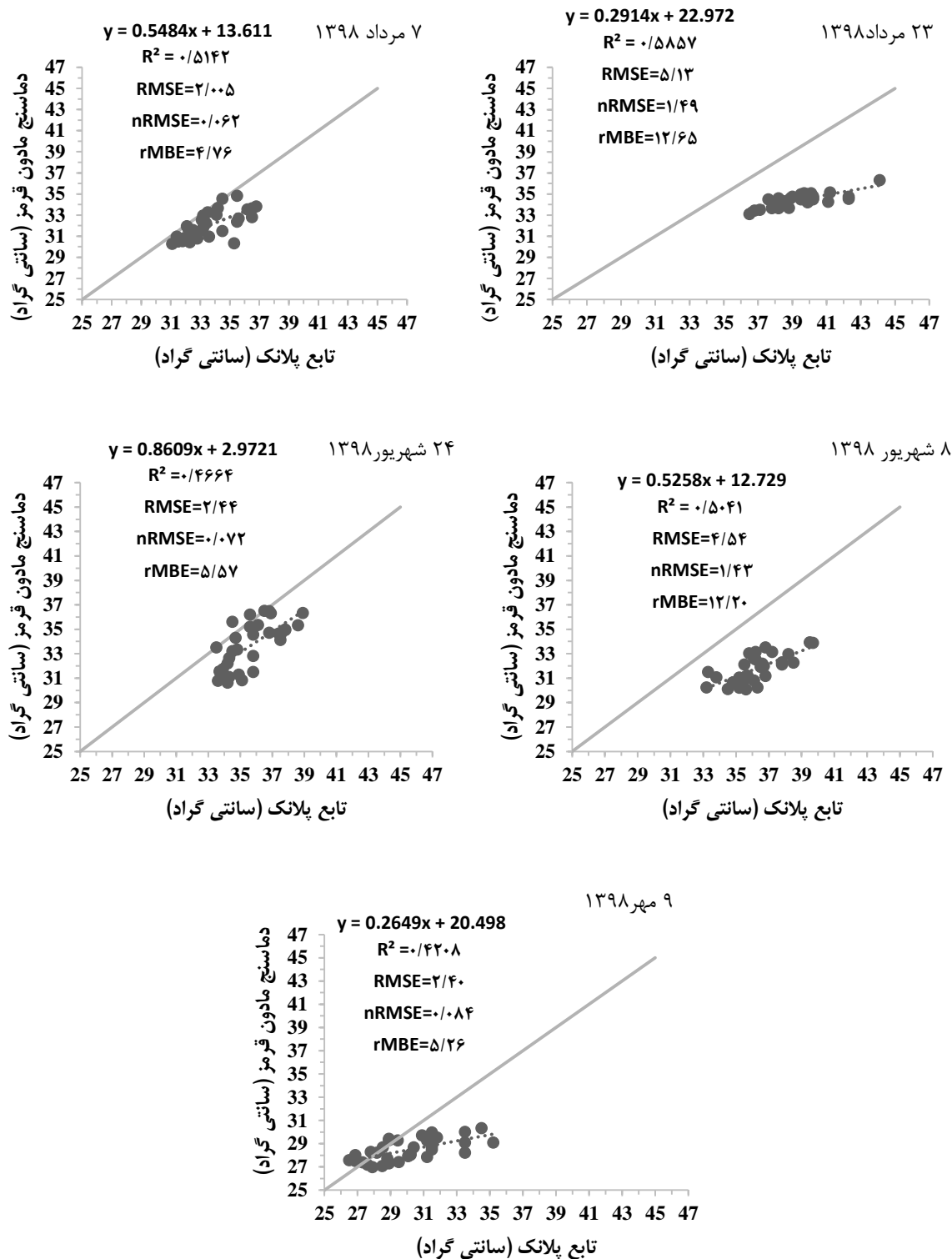
مقایسه عملکرد دماسنج مادون قرمز نسبت به الگوریتم پنجره مجزا و تابع پلانک در تعیین دمای تاج پوشش گیاه نمودارهای شکل (۳) نشان دهنده نمودار پراکنش مقادیر حاصل شده از الگوریتم پنجره مجزا در برابر مقادیر حاصل از دماسنج فروسرخ می‌باشد. بر اساس این نمودارها هر چه پراکنش داده‌ها حول خط ۱:۱ قرار گرفته باشد حاکی از عملکرد بهتر است به طوری که مقادیر ضریب تبیین بین  $0/68$  تا  $0/80$  درصد می‌باشد. همچنین بر اساس شاخص‌های آماری RMSE و nRMSE روند خطا در محدوده  $1/02$  تا  $1/80$  درجه سانتی‌گراد و  $0/28$  تا  $0/57$  متغیر می‌باشد. همچنین روند خطا تا تاریخ ۸ شهریور به صورت کاهشی بوده و از تاریخ ۸ شهریور به بعد روندی افزایشی گرفته است. به نظر می‌رسد با توجه به زمان چین‌های یونجه که در محدوده شهریور ماه وجود داشته است و بازتاب‌های برگشتی بازتاب ترکیب خاک و گیاه می‌باشد عامل خطا دمای به وجود آمده مربوط به پدیده چین یونجه می‌باشد. در پنجره مجزا زمانی که دارای پوشش گیاهی می‌باشیم همواره با کم برآوردی همراه می‌باشد، که با توجه به مقادیر شاخص rMBE که در بازه  $4/07$  تا  $3/22$  درصد در نوسان بوده است. ولی در تصویر ۸ شهریور که با بیش‌برآوردی همراه بوده است به نظر می‌رسد با توجه به زمان چین‌های یونجه که خاک پوشش گیاهی خود را از دست داده و طبق تحقیقات (Jimenez-Munoz, 2014) و (Sobrinho et al., 2006) الگوریتم‌های بازتابش دما در خاک‌های لخت همواره با بیش‌برآوردی همراه هستند. بازتاب‌های حرارتی زمانی که خاک لخت می‌باشد مختص به چند میلی‌متر بالای سطح زمین می‌باشند به همین خاطر عمق نفوذ باند‌های حرارتی کم می‌باشد (ویسی و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از اصلی‌ترین مشکلات در واسنجی داده‌های سنجش از دور با استفاده از داده‌های زمینی عدم هماهنگی بین مقیاس اندازه‌گیری زمینی (کوچک‌تر از یک متر مربع) و پیکسل ماهواره ( $30 \times 30$  مترمربع) برای لندست ۸ است. زمانی این نوع اعتبارسنجی داده‌ها معتبر است که پوشش سطح در مقیاس زمینی همگن باشد. چرا که داده‌های ماهواره‌ای دمای یک پیکسل خاص با مساحت خاصی را بطور متوسط نشان می‌دهد (ویسی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به شکل (۳) دلیل عمده اختلاف دمای دماسنج فروسرخ و دمای استخراجی ناشی از تصاویر ماهواره‌ای به این علت می‌باشد که دماسنج مادون قرمز بازتاب‌های طیفی را در محدوده (۱۴-۸) میکرو متر ثبت می‌کند، در حالی که با توجه به روزه‌های اتمسفری موجود ماهواره لندست ۸ توانایی ثبت باند‌های حرارتی آن در محدوده (۱۲/۵-۱۰/۶) میکرومتر می‌باشد. همچنین زاویه تابش دماسنج ۴۵ درجه ثابت بوده در حالی که بازتاب‌های برگشتی به سطح سنجنده لندست ۸ با زاویه متفاوت‌تری ثبت شده که این عوامل همگی باعث اختلاف دما می‌گردد (Sobrinho et al., 2006). همچنین مقدار قابلیت انتشار (Emissivity) بر روی دمای سطح به شدت تأثیر گذار است، (Miller and Millis, 1989) و (Peng et al., 2014) با استفاده از نتایج تصاویر سنجنده MODIS، خطای معادل  $0/01$  در تعیین قابلیت انتشار باعث خطایی در حدود  $1/6$  درجه سانتی‌گراد در دمای سطح زمین شد.



شکل ۳. دمای استخراج الگوریتم پنجره مجزا و داده‌های میدانی دماسنج مادون قرمز

همانطور که در شکل فوق نشان داده شده است مقادیر دما مزرعه یونجه از تاریخ ۷ مرداد ماه تا ۹ مهر ماه در بازه ۲۶-۴۴ درجه سانتی‌گراد تغییرات را نشان می‌دهد و به عبارتی در بالاترین حد دما می‌توان انتظار داشت که باید نسبت به عمل آبیاری اقدام و در مقادیر حداقل می‌توان نتیجه گرفت که به تازگی عمل آبیاری صورت گرفته است. نمودارهای شکل (۴) نشان دهنده نمودار پراکنش مقادیر حاصل از الگوریتم تابع پلانک در برابر مقادیر حاصل از دماسنج فرسوخ می‌باشد. بر اساس این نمودارها مقادیر ضریب تبیین در طول دوره مطالعه بین ۰/۴۲ تا ۰/۵۸ درصد در منطقه مورد مطالعه در نوسان

می‌باشد. همچنین بر اساس شاخص‌های آماری RMSE و nRMSE روند خطا در محدوده ۲/۴ تا ۵/۱۳ درجه سانتیگراد و ۰/۰۶۲ تا ۱/۴۹ متغیر می‌باشد. تابع پلانک بر اساس قانون جسم سیاه کار می‌کند و چون پوشش گیاهی فرض جسم سیاه را برای ما برآورد نمی‌کند همواره با بیش‌برآوردی همراه می‌باشد و از آنجائیکه که خاک و گیاه هیچ‌کدام معرف جسم سیاه نیستند بنابراین همواره داده‌های که به ما ارائه می‌دهد با بیش‌برآوردی همراه است که با توجه به مقادیر شاخص rMBE در بازه ۴/۷۶ تا ۱۲/۶۵ درصد در نوسان بوده است.



شکل ۴. دمای استخراج الگوریتم تابع پلانک و داده‌های میدانی دماسنج مادون قرمز



تحقیقات اخیر نشان داده است در میان این الگوریتم‌ها برای تعیین دمای سطح زمین از داده‌های باند حرارتی، الگوریتم تک پنجره‌ای برای ماهواره لندست ۵ و ۷ که دارای یک باند حرارتی هستند مناسب و الگوریتم پنجره مجزا برای ماهواره‌های که دارای دو باند حرارتی هستند مناسب است (Srivastava, 2009; Ma et al., 2010).

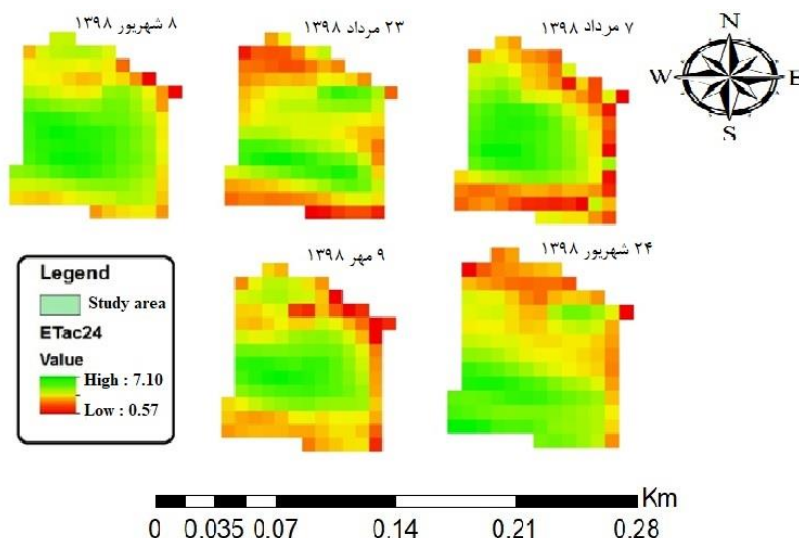
با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ و نمودار خط ۱:۱ و همچنین آماره‌های خط نتایج نشان داد که نتایج الگوریتم پنجره مجزا انطباق بیشتری با خط یک به یک دارد و از طرفی مقادیر تابع پلانک در زیر خط یک به یک قرار گرفته است و نشان دهنده آن است مقادیر دما را نسبت به واقعیت کمتر تخمین می‌زند ولی در الگوریتم پنجره مجزا از آنجائی که به خط یک به یک نزدیکتر می‌باشند، نتایج آن برای استفاده در محاسبات قابل قبول تر می‌باشد، لذا به نظر می‌رسد استفاده از الگوریتم‌های که تمامی باندهای حرارتی را در محاسبات در نظر می‌گیرند به مراتب نتایج قابل قبول تری ارائه می‌دهد، از آنجائیکه که ماهواره لندست ۷ ارائه شده دارای یک باند حرارتی و لذا به ناچار باید از الگوریتم‌های تک باندهای محاسبه دما استفاده می‌شد ولی در لندست ۸ توصیه می‌گردد که از الگوریتم‌های چند باندهای محاسبه دما اقدام شود. در این بخش از پژوهش مشخص شد که الگوریتم پنجره مجزا، از دقت بالاتری نسبت به تابع پلانک در تعیین دمای سطح زمین برخوردار بوده و می‌تواند در تعیین دمای سطح زمین در الگوریتم سبال استفاده شود. ویسی و همکاران (۱۳۹۵)، رحیمیان و همکاران (۱۳۹۶)؛ ابراهیمی هروی و همکاران (۱۳۹۵) و (Jimenez-Munoz, 2014) هم در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که الگوریتم پنجره مجزا عملکرد بهتری را نسبت به تابع پلانک در اراضی کشاورزی دارد

#### برآورد میزان اثر بخشی اصلاح روش تعیین LST در الگوریتم سبال

پس از تعیین مناسب‌ترین روش برای محاسبه LST اقدام به اجرای مدل سبال بر اساس تغییرات فوق گردیده است. به منظور مقایسه دو الگوریتم سبال با استفاده از دمای تابع پلانک و پنجره مجزا و بررسی اثر بخشی تغییر روش محاسبه LST در الگوریتم سبال نتایج به دست آمده از دو الگوریتم مذکور با یکدیگر مقایسه شدند. در عین حال دو روش از نظر مقادیر  $ET_a$  دارای تفاوت‌های عددی می‌باشند، بطوری که مقادیر تبخیر-تعرق به دست آمده از الگوریتم پنجره مجزا از مقادیر متناظر به دست آمده از الگوریتم تابع پلانک کمتر به دست آمده است. دلیل اصلی این موضوع به روش محاسبه LST در الگوریتم سبال مربوط است. البته کم شدن برآورد  $ET_a$  در الگوریتم سبال با استفاده از پنجره مجزا منجر به افزایش دقت این الگوریتم برای تخمین تبخیر-تعرق در منطقه مورد مطالعه گردیده، بطوری که بعد از اصلاح الگوریتم سبال نمایه‌های خط کاهش و نمایه همبستگی بین مقادیر افزایش یافت.

#### محاسبه تبخیر - تعرق واقعی روزانه ( $ET_a-24$ ) الگوریتم سبال با استفاده از دمای پنجره مجزا

شکل (۵) توزیع روزانه تبخیر-تعرق واقعی ( $ET_a$ ) حاصل از الگوریتم پنجره مجزا (SEBAL) را در منطقه مورد مطالعه در طول فصل تابستان نشان می‌دهد. نتایج الگوریتم بیلان انرژی با استفاده از پنجره مجزا در سطح زمین (SEBAL) نشان داد که در مکان‌هایی با پوشش گیاهی انبوه دمای سطحی کمتری مشاهده می‌شود و برعکس، در مناطق که پوشش گیاهی کمتری دارند و در نتیجه دارای پوشش تنک هستند، دمای سطحی زیادتر است که این جریان نشان‌دهنده مقادیر تبخیر-تعرق زیاد در نواحی با پوشش گیاهی زیاد و مقادیر تبخیر-تعرق کم در نواحی با پوشش گیاهی کم است و با نتایجی که قربانی (۱۳۹۳) با الگوریتم سبال بدست آورد همخوانی دارد. همان گونه که قابل مشاهده است پیکسل‌های حاشیه مزرعه نشان‌دهنده تبخیر-تعرق کمتری هستند و هر چه به سمت مرکز مزرعه و انتهای مزرعه می‌رویم تبخیر-تعرق افزایش پیدا می‌کند به نظر می‌رسد این مسئله ناشی از تأثیر پیکسل‌های همسایه بر پیکسل‌های مجاور مزرعه می‌باشد. (Jalilvand et al., 2019) در تحقیق خود به منظور بررسی رطوبت خاک که تأثیر پذیری پیکسل‌ها بر روی همدیگر یکی از عوامل که باعث کاهش تبخیر-تعرق می‌باشد. همچنین از طرفی ماهیت آبیاری سطحی به این ترتیب است که هر چه از ابتدای مزرعه به انتهای مزرعه می‌رویم مقدار آب که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد در انتها کاهش پیدا می‌کند. بنابراین پیکسل‌هایی که در انتها مزرعه قرار دارند تبخیر-تعرق کمتری را نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد این مسئله ناشی از عمل نوع آبیاری می‌باشد که کفایت آبیاری صورت نگرفته است. کفایت آبیاری نشان‌دهنده تبخیر-تعرق واقعی به تبخیر-تعرق پتانسیل است و هر چه این مقدار به یک نزدیک باشد نشان‌دهنده آن است که کفایت آبیاری به درستی صورت گرفته است. تبخیر-تعرق واقعی ( $ET_a$ ) در طی دوره مورد مطالعه همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده است از ۰/۵۷ تا ۷/۱۰ میلی‌متر در روز متغیر بود.



شکل ۵. تغییرات تبخیر - تعرق واقعی روزانه الگوریتم سبال با استفاده از دمای پنجره مجزا در گذرهای ماهواره

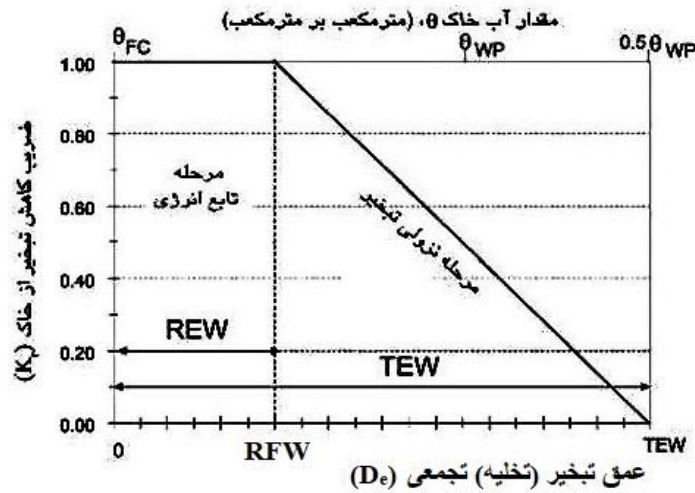
#### مقایسه عملکرد الگوریتم سبال با استفاده از دمای تابع پلانک و پنجره مجزا با روش لایسیمتر

به منظور مقایسه عملکرد روش‌های محاسبه تبخیر-تعرق مرجع یونجه، جواب بهینه هر یک از روش‌های محاسبه مورد استفاده در این پژوهش بر اساس شاخص‌های آماری در جدول ۲ آورده شده است. در جدول ۲ مقادیر RMSE، nRMSE و NS شاخص‌های آماری آورده شده است. بر این اساس تبخیر-تعرق با استفاده از پنجره مجزا نسبت به داده‌های لایسیمتری با استفاده از شاخص‌های آماری به ترتیب با مقادیر ۰/۵۶، ۰/۸۴ و ۰/۹۹۲ mm.day<sup>-1</sup> دارای دقت بهتری در برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع یونجه نسبت به داده‌های لایسیمتری در منطقه مورد مطالعه بوده است. در مقابل تبخیر-تعرق با استفاده از تابع پلانک در مقایسه با داده‌های لایسیمتری به ترتیب با مقادیر ۱/۶۴، ۰/۲۴ و ۰/۸۳ از دقت کمتری برخوردار بوده است. صانع و همکاران (۱۳۹۸) در ارزیابی الگوریتم سبال نسبت به داده‌های لایسیمتری مقدار (RMSE= 1/26) برآورد نمودند.

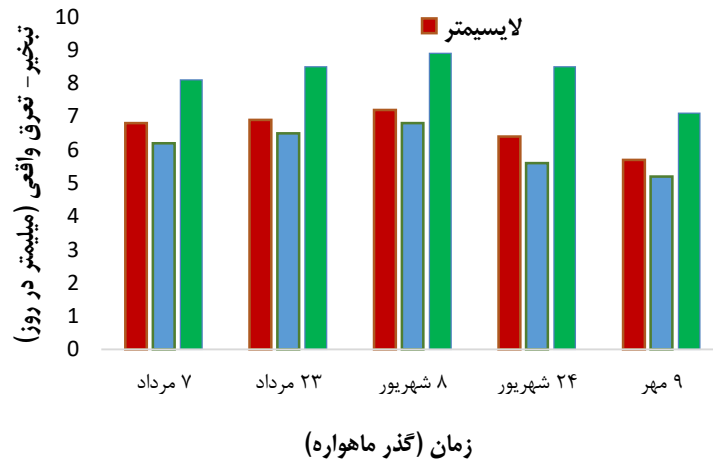
جدول ۲. ارزیابی عملکرد تبخیر-تعرق واقعی پیکسل سرد الگوریتم سبال در مقایسه با تبخیر-تعرق مرجع لایسیمتر

ردیف	مدل	RMSE (mm.day <sup>-1</sup> )	nRSME	NS
۱	تبخیر-تعرق با پنجره مجزا	۰/۵۶	۰/۸۴	۰/۹۹۲
۲	تبخیر-تعرق با تابع پلانک	۱/۶۴	۰/۲۴	۰/۸۳

شکل (۷) نمودار تبخیر-تعرق واقعی گیاه یونجه با استفاده از الگوریتم سبال در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در تمام گذرهای ماهواره تبخیر-تعرق پیکسل سرد پنجره مجزا مقادیر کمتری را نسبت به داده‌های لایسیمتری برآورد نموده است. در مقابل پیکسل سرد تابع پلانک مقادیر بالاتری را نسبت به داده‌های لایسیمتری نشان داده است. بنابراین به منظور اینکه بررسی شود کدام یک داده‌های واقعی تری به ما می‌دهند بایستی از الگوریتم‌های با دو باند حرارتی استفاده کنیم چرا که الگوریتم‌های تک باند حرارتی داده‌های بالاتری نسبت به داده‌های لایسیمتری برآورد نموده‌اند. لازم به ذکر است که در تمام گذرهای ماهواره، مقادیر تبخیر-تعرق پیکسل سرد پنجره مجزا همواره کمتر از تبخیر-تعرق لایسیمتر هستند که این یافته با نتایج (Akbari et al., 2011) نیز مطابقت دارد. این مقایسه فقط برای پیکسل سرد ماهواره صورت گرفته است چرا که رابطه آب موجود در گیاه با تبخیر-تعرق یک رابطه خطی نیست که طبق نمودار شکل (۶) تا مرحله تابع انرژی بررسی شده و تا زمانی که تنش به گیاه وارد نشود این رابطه خطی است و در مرحله بعد از تابع انرژی تنش وارد شده به گیاه یک رابطه غیر خطی است. بنابراین در پیکسل‌هایی که در حالت آبیاری کامل نیستند یا مانند پیکسل سرد نمی‌باشند و نشان دهنده تنش نسبت به پیکسل‌های تحت آبیاری کامل هستند و چون رابطه خطی نیست بنابراین به نظر می‌رسد مقدار خطا نیاز به بررسی بیشتر دارد و این بررسی بیشتر نیازمند ابزار دقیق‌هایی مانند Eddy Covariance و برج تبخیر-تعرق که به صورت لحظه‌ای در یک دور آبیاری برای ما محاسبه کند.



شکل ۶. روند ضریب کاهش تبخیر از خاک (Kr)



شکل ۷. تبخیر-تعرق واقعی در روزهای گذر ماهواره

## نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور ارزیابی تأثیر الگوریتم‌های مختلف محاسبه دمای سطح در برآورد مقادیر تبخیر-تعرق واقعی گیاه یونجه در منطقه الشتر انجام شد. تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبال با تعریف دو سناریو مبنی بر تغییر روش محاسبه دمای پوشش گیاهی با استفاده از تابع پلانک و پنجره مجزا مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی نتایج، پیکسل سرد دو سناریوی بکار گرفته شده که بیشترین مشابهت را با تبخیر و تعرق در شرایط لایسیمتری دارند، مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که پیکسل سرد الگوریتم پنجره مجزا بیشترین مطابقت را با مقادیر داده‌های لایسیمتر دارد. پیشنهاد می‌شود از آنجایی که این کار با تصاویر ماهواره لندست ۸ که دارای قدرت تفکیک زمانی هر ۱۶ روز یکبار از منطقه مطالعاتی عبور می‌کند انجام گرفته است و اخیراً لندست ۹ هم در مدار قرار گرفته است و هر ۸ روز یکبار تصویر قابلیت دسترسی را دارد و این عمل باعث ارتقا قدرت تفکیک می‌شود. لذا این تحقیق با الگوریتم‌های مختلف دما و ماهواره لندست ۹ و سپس ترکیب دو ماهواره سری لندست (۸ و ۹) در آینده مورد بررسی قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## منابع

- اکبری، مهدی؛ امینی‌بازبانی، سمیرا؛ زارع ابیانه، حمید (۱۳۹۱). برآورد تبخیر تعرق با استفاده از الگوریتم سبال مطالعه موردی: دشت همدان بهار/اولین همایش ملی حفاظت و برنامه ریزی محیط زیست، همدان.
- ابراهیمی هروی، بهروز؛ رنگزن، کاظم؛ ریاحی بختیاری، حمیدرضا؛ تقی‌زاده، ایوب (۱۳۹۵). تعیین مناسب‌ترین روش استخراج دمای سطح زمین با



استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ در کلان‌شهر کرج، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، 8(3)، pp. 59-76.

جویباری مقدم، یاسر؛ آخوندزاده، مهدی؛ سراجیان، محمد رضا (۱۳۹۴). ارائه یک الگوریتم پنجره مجزا نوین به منظور تخمین دمای سطح زمین از داده‌های ماهواره لندست-۸. نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، ۵(۱)، ۲۲۶-۲۱۵.

حیدری مطلق، آراین؛ نصرالهی، علی حیدر؛ شریفی پور، مجید؛ ویسی، شادمان (۱۴۰۰). ارزیابی مدل‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع (ET<sub>o</sub>) در دشت الشتر، تحقیقات آب و خاک ایران.

رحیمیان، محمد حسن؛ شایان نژاد، محمد؛ اسلامیان، سید سعید؛ قیصری، مهدی؛ جعفری، رضا؛ تقواییان، صالح (۱۳۹۶). ارزیابی الگوریتم توان انرژی سطحی زمین برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی درختان پسته تحت شرایط شوری و خشکی: پایان نامه دکتری. دانشگاه صنعتی اصفهان.

ویسی، شادمان؛ ناصری، عبدالعلی؛ حمزه، سعید؛ مرادی، پوریا (۱۳۹۵). برآورد دمای مزارع نیشکر با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸، فصلنامه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۱)، ۴۰-۲۷.

صانع، محمد؛ کوچک زاده، مهدی؛ شریفی، فرود (۱۳۹۹). ارزیابی الگوریتم سبال جهت برآورد تبخیر-تعرق واقعی در منطقه وردیج، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، 14(1)، pp. 125-135.

قربانی، اردوان؛ فرامرزی، محمد؛ کرمی، جلال؛ غلامی، نبی‌الله؛ سبحانی، بهروز (۱۳۹۴). ارزیابی مقایسه ای الگوریتم‌های سبال و متریک در برآورد تبخیر و تعرق: مطالعه موردی شهرستان ملایر. برنامه‌ریزی و آمایش فضا ۱۳۹۴؛ ۱۹: ۱۸۴-۱۵۳.

## REFERENCES

- Abrishamkar, M., Ahmadi, A., (2017). Evapotranspiration estimation using remote sensing technology based on SEBAL algorithm. *Iran. J. Sci. Technol. Trans. Civ. Eng.* 41, 65–76.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., (1998). Crop Evapotranspiration-guidelines for Computing Crop Water requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome 300 D05109.
- Akbari, M., Amini Baziani, S., Zare Abianeh, H. (2011). Estimating transpiration evaporation using the Sabal algorithm, a case study: Hamedan Bahar plain, *the first national conference on environmental protection and planning, Hamedan*. (In Persian).
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A., Jensen, M.E., (2011). Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agric. Water Manag.* 98,899–920.
- Awada, H., Di Prima, S., Sirca, C., Giadrossich, F., Marras, S., Spano, D., & Pirastru, M. (2022). A remote sensing and modeling integrated approach for constructing continuous time series of daily actual evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, 260, 107320.
- Bastiaanssen, W.G., Menenti, M., Feddes, R., Holtslag, A., (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *J. Hydrol. (Amst)* 212,198–212.
- Blaney, H.F., (1952). Determining Water Requirements in Irrigated Areas From Climatological and Irrigation Data.
- Bispo, R. C., Hernandez, F. B. T., Gonçalves, I. Z., Neale, C. M. U., & Teixeira, A. H. C. (2022). Remote sensing based evapotranspiration modeling for sugarcane in Brazil using a hybrid approach. *Agricultural Water Management*, 271, 107763.
- Calcagno, G., Mendicino, G., Monacelli, G., Senatore, A., Versace, P., (2007). Distributed estimation of actual evapotranspiration through remote sensing techniques. *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*. pp. 125–147.
- Doorenbos, J. (1984). Guidelines for Predicting Crop Water Requirement Irrigation and Drainage paper 24. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*.
- Ding, R., Kang, S., Zhang, Y., Hao, X., Tong, L., Du, T., (2013). Partitioning evapotranspiration into soil evaporation and transpiration using a modified dual crop coefficient model in irrigated maize field with ground-mulching. *Agric. Water Manag* 127, 85–96.
- Droogers, P., Allen, R.G., (2002). Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrig. Drain. Syst.* 16, 33–45.
- Du, Z., Li, W., Zhou, D., Tian, L., Ling, F., Wang, H., Gui, Y., Sun, B., (2014). Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping. *Remote Sens. Lett.* 5,672–681.
- Evcen, A., & YAĞCI, A. L. Gerçek Evapotranspirasyonun Landsat Uydu Görüntüleri Kullanarak SEBAL Modeli ile Hesaplanması: Bolu/Yeniçağa Örneği. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 3(2), 172-182.
- Elhag, M., Psilovikos, A., Manakos, I., Perakis, K., (2011). Application of the SEBS water balance model in estimating daily evapotranspiration and evaporative fraction from remote sensing data over the Nile Delta. *Water Resour. Manag.* 25, 2731–2742.



- Ebrahimi Heravi, B., Rangzan, K., Riahi Bakhtiari H. R. & Taghi Zadeh A. (2016). Introducing the Most Appropriate Method to Extract Land Surface Temperature Using Landsat 8 Satellite Images in Karaj Metropolitan. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, Volume:8 Issue: 3. 59 - 76 (In Persian).
- Gonçalves, I. Z., Ruhoff, A., Laipelt, L., Bispo, R. C., Hernandez, F. B. T., Neale, C. M. U., ... & Marin, F. R. (2022). Remote sensing-based evapotranspiration modeling using geeSEBAL for sugarcane irrigation management in Brazil. *Agricultural Water Management*, 274, 107965.
- heidari motlagh, A., nasrolahi, A., Sharifipour, M., vayci, S. (2021). 'Evaluation of Different Models for Estimating Reference Evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) in Aleshtar Plain', *Iranian Journal of Soil and Water Research*. (In Persian).
- Jimenez-Munoz, J., C., Sobrino, J. A., Skokovic, D., Mattar, C., & Cristobal, J. (2014). Land surface temperature retrieval methods from landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10), 1840–1843
- Jalilvand, E., Tajrishy, M., Hashemi, S. A. G. Z., & Brocca, L. (2019). Quantification of irrigation water using remote sensing of soil moisture in a semi-arid region. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111226.
- Jouybari, Y., Akhoondzadeh, M., & Saradjian, M., R. (2015). A Split- Window Algorithm for Estimating LST from Landsat-8 Satellite Images. *Journal of Geomatics Science and Technology*. Volume 5 (1). 215-226 (In Persian).
- Liu, J., Chen, J., Cihlar, J., (2003). Mapping evapotranspiration based on remote sensing: an application to Canada's landmass. *Water Resour. Res.* 39.
- Liou, Y.-A., Kar, S.K., (2014). Evapotranspiration estimation with remote sensing and various surface energy balance algorithms—a review. *Energies* 7, 2821–2849.
- Li Z-L, Tang B-H, Wu H, Ren H, Yan G, Wan Z, Trigo IF, Sobrino JA. (2013). Satellitederived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131: 14-3
- Li, H.-j., Lei, Y.-p., Zheng, L., MAO, R.-z., (2005). SEBAL model and its application in the study of regional evapotranspiration. *Remote Sens. Technol. Appl.* 3, 003.
- Mao, Y., Wang, K., (2017). Comparison of evapotranspiration estimates based on the surface water balance, modified Penman-Monteith model, and reanalysis data sets for continental China. *J. Geophys. Res. Atmos.* 122, 3228–3244.
- Montanaro, M., Gerace, A., Lunsford, A., Reuter, D., (2014). Stray light artifacts in imagery from the Landsat 8 Thermal Infrared Sensor. *Remote Sens. (Basel)* 6, 10435–10456.
- Ma Y, Kuang Y Q, Huang N S. (2010). Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM+ imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(2): 110–118.
- Miller, W. and Millis, E. (1989). Estimating evaporation from Utah's Great Salt Lake using thermal infrared satellite imagery. *Water Resources Bulletin*, 25: 541-550
- Nouri, H., Beecham, S., Kazemi, F., Hassanli, A.M., (2013). A review of ET measurement techniques for estimating the water requirements of urban landscape vegetation. *Urban Water J.* 10, 247–259.
- Oliosio, A., Inoue, Y., Ortega-Farias, S., Demarty, J., Wigneron, J.-P., Braud, I., Jacob, F., Lecharpentier, P., Otle, C., Calvet, J.-C., (2005). Future directions for advanced evapotranspiration modeling: assimilation of remote sensing data into crop simulation models and SVAT models. *Irrig. Drain. Syst.* 19, 377–412.
- Penman, H.L., (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. The Royal Society. pp. 120–145.
- Pinter Jr, P.J., Hatfield, J.L., Schepers, J.S., Barnes, E.M., Moran, M.S., Daughtry, C.S., Upchurch, D.R., (2003). Remote sensing for crop management. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 69, 647–664.
- Petitcolin, F., Vermote, E. (2002). Land surface reflectance, emissivity and temperature from MODIS middle and thermal infrared data. *Remote Sensing of Environment*, 83(1): 112-134.
- Peng S-S, Piao S, Zeng Z, Ciais P, Zhou L, Li LZ, Myneni RB, Yin Y, Zeng H. (2014). Afforestation in China cools local land surface temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(8): 2915-2919.
- Qin, Z., Zhang, M., Arnon, K. (2001). Split window algorithms for retrieving land surface temperature from NOAA-AVHRR data. *Remote Sensing For Land & Resources*, 56(2): 33-42.
- Qurbani, O., Faramarezi, M., Kerami, J., Gholami, N., Sobhani, B. (2014). Comparative evaluation of Sabal and metric algorithms in estimating evaporation and transpiration: a case study of Malair city. *Space planning and preparation 2014*; 19 2:184-153. (In Persian).
- Running, S.W., Mu, Q., Zhao, M., Moreno, A. (2017). MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET)

*Product (NASA MOD16A2/A3) NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm.*

- Rahimian, M., Shayannejad, M., Islamian, S., gaysari, m., Jafari, R., Taqwaian, p. (2017). Evaluation of Earth's surface energy power algorithm to determine the actual evapotranspiration of pistachio trees under salinity and drought conditions: PhD thesis. Isfahan University of Technology. (In Persian).
- Senay, G.B., Friedrichs, M., Singh, R.K., Velpuri, N.M., (2016). Evaluating Landsat 8 evapotranspiration for water use mapping in the Colorado River Basin. *Remote Sens. Environ.* 185, 171–185.
- Serbina, L., Miller, H.M., (2014). Landsat and water: case studies of the uses and benefits of Landsat imagery in water resources. *US Geol. Survey Open-File Report 1108*, 61.
- sane, M., Kouchakzadeh, M., & sharifi, F. (2020). Evaluation of SEBAL Algorithm for Estimation of Real Evapotranspiration in Vardij area. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(1), 125-135. (In Persian).
- 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. *Math. Comput. Model.* 54, 1086–1092.
- Singh, R.K., Irmak, A., Irmak, S., Martin, D.L., (2008). Application of SEBAL model for mapping evapotranspiration and estimating surface energy fluxes in south-central Nebraska. *J. Irrig. Drain. Eng.* 134, 273–285.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., El-Kharraz, J., Gómez, M., Romaguera, M., & Soria, G. (2004). Single-channel and two-channel methods for land surface temperature retrieval from DAIS data and its application to the Barrax site. *International Journal of Remote Sensing*, 25(1), 215-230.
- Sellers, P., Randall, D., Collatz, G., Berry, J., Field, C., Dazlich, D., Zhang, C., Collelo, G., Bounoua, L., (1996). A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part I: model formulation. *J. Clim.* 9, 676–705.
- Su, Z., Yacob, A., Wen, J., Roerink, G., He, Y., Gao, B., Boogaard, H., van Diepen, C., 45. (2003). Assessing relative soil moisture with remote sensing data: theory, experimental validation, and application to drought monitoring over the North China Plain. *Phys. Chem. Earth Parts A/b/c* 21, 14–101.
- Srivastava, P, K. Majumdar, T.J. Bhattacharya, Amit K. (2009). Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data. *Advances in Space Research*, 43 (10): 1563-1574.
- Thorntwaite, C.W., (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38, 55–94
- Venkatram, A., (1980). Estimating the Monin-Obukhov length in the stable boundary layer for dispersion calculations. *Boundary Meteorol.* 19, 481–485.
- Veysi, S., Naseri, A. A., & Hamzeh, S. (2020). Relationship between field measurement of soil moisture in the effective depth of sugarcane root zone and extracted indices from spectral reflectance of optical/thermal bands of multispectral satellite images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(7), 1035-1044.
- Veysi, S., Naseri, A., Hamzeh, S., Moradi, P. (2016). Estimation of sugarcane field temperature using Split Window Algorithm and OLI LandSat 8 satellite images. *Journal of RS and GIS Techniques for Natural Resources*, 7(1): 27-40. (In Persian).
- Wang, F., Qin, Zh. Song, C. Tu, L. Karnieli, A. Zhao, Sh. (2015). An Improved Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 Thermal Infrared Sensor Data. *J. Res.* doi: 10.3390/rs70404268.
- Zhu, A., J. Zhang, B. Zhao, Z. Cheng and L. Li. 2005. Water balance and nitrate leaching losses under intensive crop production with Ochric Aquic Cambosols in North China Plain. *Environment International* 31, 904 – 912.



# The Influence of Land Surface Temperature (LST) on Estimated Actual Evapotranspiration

## Extended Abstract

### Introduction

Lack of water resources in Iran in recent years has become more and more of a major management challenge that the main losses are in the agricultural sector and related to the phenomenon of evapotranspiration. Therefore, optimal and sustainable management of water resources requires accurate estimation of evapotranspiration. Actual evapotranspiration (ETA) is a critical component of water balance at local (field, farm, catchment, and basin) and global levels. From an agricultural point of view, the ETA determines the amount of water to be applied through irrigation. Most hydrologic models and agricultural management applications require accurate estimation of the ETA. The ETA is defined by the processes whereby water is lost through evaporation from the soil surface and through transpiration from the plants. The remote sensing technique is one of the methods for estimating actual evapotranspiration (ETA), which is a suitable option for estimation of ETA at the large-scale due to spatial and temporal resolution. The present study aims to assess the ETA using the SEBAL algorithm and different algorithms to survey the effect of the LST and their impact assessment on the ETA fluctuation.

### Material and Methods

This research aims to estimate the actual evaporation-transpiration of alfalfa plant in Aleshtar region using remote sensing and comparing it with field data. Dasht Aleshtar, with an area of about 1900 square kilometers, is located at an altitude of 1600 meters above sea level, which is located at 48 degrees and 15 minutes of east longitude and 33 degrees and 54 minutes of north latitude in the north of Lorestan province. Field measurement, including canopy temperature and the volume of inflow and outflow of water consumption was done based on lysimeters during 2018-2019. After the necessary pre-processing on the satellite images, the Land Surface Temperature (LST) was estimated using Planck's and split window algorithms. The SEBAL method uses two anchor pixels to determine the stable boundary conditions in the energy balance relationship. These pixels, called hot and cold pixels, should be within the study area. Cold pixel is selected from a fully vegetated and fully irrigated area where the surface temperature is assumed to be equal to the air temperature near the surface. The hot pixel is selected from a non-vegetated and dry land in which the amount of ET is assumed to be zero. The computation performance of SEBAL is dependent on the accuracy of choosing these two pixels, therefore, cold and hot pixels should be selected precisely.

### Results and Discussion

The result shown that the performance of Split window was better than to the Planck algorithm. Also, ETA was estimated by the SEBAL algorithm based on two temperature scenarios including the Planck and split window. The results shown, the cold pixel of SEBAL algorithm have compliance with the Lysimetric measurement. Moreover, the cold pixel of the split window algorithm with RMSE=0.56, NRMSE=0.084 and NS=0.992 (mm/day) have the highest consistency with the lysimeter data. Also, the rMBE index of the split window algorithm was associated with underestimation in the range of -4.07 to -3.22%, while the Planck function algorithm fluctuated with overestimation in the range of 4.76 to 12.65%. This research is verify to the cold pixel of the satellite which crop no stress conditions and for better investigation at crop stress condition we need precise instrument.

### Conclusion

In order to check the results, cold pixels of two used scenarios that have the most similarities with evaporation and transpiration in Lysimetric conditions were compared. The results showed that the cold pixel of the split window algorithm is the most consistent with the lysimeter data values. It is suggested that since this work has been done with the images of Landsat 8 satellite, which has the power of time resolution, it has passed through the study area every 16 days, and recently Landsat 9 has also been placed in orbit, and every 8 days the image of accessibility is suggested. and this action improves the separation power. Therefore, this research should be investigated with different temperature algorithms and Landsat 9 satellite and then the combination of two Landsat series satellites (8 and 9) in the future.

**Keywords:** Cold Pixel, Remote Sensing, Sebal Algorithm, Lysimetric.