

Research Paper

Estimation of Surface Temperature in Agricultural Lands Using Satellite Images (Case Study: Soleimanshah Irrigation Network)

Saeid Nasser¹, Bahman Farhadi Bansouleh^{2*}, Arash Azari³

¹ Ph.D. Student of irrigation and drainage, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

² Assistant Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

³ Associate Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran



10.22125/IWE.2021.265293.1463

Received:
31.Devember.2020
Accepted:
May.05.2021
Available online:
October.05.2022

Keywords:
Surface temperature,
SEBAL algorithm,
Planck's inversion
function method,
Landsat 8, Leaf area
index

Abstract

Land surface temperature is a significant variable involved in land surface energy and water balance and is a substantial component in many aspects of environmental research. The land surface temperature is usually calculated based on thermal bands. Landsat 8 satellite thermal bands are the newest infrared thermal bands, included two adjacent thermal bands with a spatial separation of 30 meters. There are several methods for calculating land surface temperature. These methods are of three groups: Methods that only need satellite data, methods that require satellite data and leaf area index (LAI), and Methods that require satellite data and meteorological data. In this study, the land surface temperature simulated by the Planck Inverse Function, SEBAL algorithm, Statistical Mono-Window algorithm, Split Window Algorithm, Mono-Window Algorithm, Radiation Transfer Equation, Sabrino Split Window Algorithm, National Oceanic and Atmospheric Administration Joint Polar Satellite System, And the Single-Channel Algorithm and compared with the surface temperature measured in the LPT2 construction area of Soleimanshah irrigation network during the growing season of nut sunflower in 2020 based on two criteria of R^2 and RMSE. The results showed the Planck Inverse Function, SEBAL algorithm Statistical Mono-Window algorithm, Split Window algorithm, and Mono Window algorithm respectively have high accuracy (Those approaches are not dependent on meteorological data). Among them, the Planck Inverse Function with values of R^2 and RMSE of 0.6 and 4.2 ° C, respectively has the highest accuracy. The Sabrino Split Window algorithm, National Oceanic and Atmospheric Administration Joint Polar Satellite System, and the Single-Channel algorithm, respectively have low accuracy.

1. Introduction

Land surface temperature (LST) is an important variable involved in the earth surface energy and water budgets and a key component in many aspects of environmental research. LST is usually calculated

* **Corresponding Author:** Bahman Farhadi Bansouleh **Email:** bfarhadi@razi.ac.ir
Address: Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran **Tel:** +98-83-38323727

based on thermal bands. Landsat 8 Thermal Infrared Sensor (TIRS), providing two adjacent thermal bands, is the newest thermal infrared sensor. There are several methods for calculating surface temperature. These methods are three groups: i) methods that only require satellite data, such as NDVI and thermal band data, ii) Methods that require meteorological and satellite data and iii) Methods that require leaf area index (LAI) and satellite data. LAI is not estimated directly from satellite data and obtained from empirical relationships between plant indices whose formulas are different for different plants. The purpose of this study is to select the appropriate method for estimating surface temperature.

2. Materials and Methods

This study took place in the LPT2 area of Soleimanshah irrigation network, Kermanshah, Iran, for the Sunflower growing period in 2020. LST was estimated, by methods Planck's inversion function, SEBAL Algorithm, Statistical Mono-Window Algorithm (SMW), Split Window Algorithm (SWA), Mono Window Algorithm (MWA), Radiative Transfer Equation (RTE), Sabrino's Split Window Algorithm (SSWA), National Oceanic and Atmospheric Administration Joint Polar Satellite System (NOAA –JPSS) and Single-Channel Algorithm (SCA). The SEBAL algorithm requires LAI, which is calculated by dividing the plant leaf area by the area covered by the plant. Therefore, the leaf area index was measured and the relationship between it and some vegetation indices was evaluated using R² and RMSE. Then the most accurate index was used in the SEBAL algorithm.

Some LST estimation methods require meteorological data obtained from the nearest synoptic station. In this research, the meteorological data of Songhor synoptic station was used. On the other hand, with an infrared thermometer, LST was measured. In each location, the surface temperature was measured six times and their average was calculated. The surface temperature map of the region was prepared with a spatial resolution of 30 meters. The measured and calculated temperatures at the sampling points were compared using R² and RMSE indices.

3. Results

LAI values obtained based on NDVI had the highest accuracy (RMSE=0.547, nRMSE=0.175 and R=0.907). Methods of Planck Inversion Function (PIF), SEBAL algorithm (SEBAL), Statistical Mono-Window algorithm (SMW), Split Window algorithm (SWA) and Mono Window algorithm (MWA) had high accuracy, respectively. Methods of Sabrino Split Window Algorithm (SSWA), National Oceanic and Atmospheric Administration Joint Polar Satellite System (JPSS-NOAA) and Single-Channel Algorithm (SCA) had low accuracy, respectively.

4. Discussion and Conclusion

The results showed that PIF, SEBAL, SMW, SWA, and MWA have high accuracy, respectively. These methods are less dependent on meteorological data. Although PIF is a relatively simple method and does not require any meteorological data, it has the highest accuracy and estimated the temperature almost as accurately as measured data, at all temperature ranges, by R² and RMSE 0.6 and 4.2 °C, respectively. Of course, the accuracy of them was a bit low. That may be because of using an Infrared thermometer for measuring LST in the field. This thermometer measures temperature at a point that may measure at the plant level or soil level. Due to the large temperature difference between these two levels, the possibility of measurement error is high.

5. Six important references

1. Allen, R.G., M. Tasumi, R. Trezza, R. Waters, and W. Bastiaanssen. 2002. SEBAL (surface energy balance algorithms for land)—advanced training and user's manual—Idaho implementation (version 1.0). The Idaho Department of Water Resources: Boise, ID, USA.

2. Ermida, S. L., P. Soares, V. Mantas, F. M. Göttsche, and I. F. Trigo. 2020. Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the Landsat series. *Remote Sensing*, 12 (9).
3. Giannini, M. B., O. R. Belfiore, C. Parente, and R. Santamaria. 2015. Land surface temperature from Landsat 5 TM images: comparison of different methods using airborne thermal data. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 8(3): 83-90.
4. Kamran, K. V., M. Pirnazar, and V. Farhadi Bansouleh. 2015. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS: comparison between split window algorithm and SEBAL method. *Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2015)*.
3. Sekertekin, A., and S. Bonafoni. 2020. Land surface temperature retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over rural areas: assessment of different retrieval algorithms and emissivity models and toolbox implementation. *Remote Sensing* 12 (2):294.
6. Martins, J., I. Trigo, V. Bento, and C. da Camara. A physically constrained calibration database for land surface temperature using infrared retrieval algorithms. *Remote Sens.* 2016, 8, 808.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank the cooperative farmers and staff of the Soleimanshah Irrigation Network.



برآورد دمای سطحی در اراضی کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی: شبکه آبیاری سلیمان‌شاه)

سعید ناصری^۱، بهمن فرهادی بانسوله^۱، آرش آذری^۲

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵

پژوهشی

مقاله برگرفته از پایان نامه دکتری

چکیده

دمای سطحی متغیر مهمی است که در انرژی سطح زمین و بیلان آب دخیل است و یک مولفه کلیدی در بسیاری از جنبه‌های تحقیقات محیطی است. دمای سطحی معمولاً بر اساس باندهای حرارتی محاسبه می‌شود. باندهای حرارتی ماهواره لندست ۸ جدیدترین باندهای حرارتی مادون قرمز هستند که شامل دو باند حرارتی مجاور با تفکیک مکانی ۳۰ متری هستند. روش‌های مختلفی جهت محاسبه دمای سطحی وجود دارد. این روش‌ها سه گروه هستند: روش‌هایی که فقط به داده‌های ماهواره‌ای نیاز دارند، روش‌هایی که به داده‌های ماهواره‌ای و شاخص سطح برگ (LAI) نیاز دارند و روش‌هایی که به داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی نیاز دارند. در این تحقیق مقدار دمای سطحی به وسیله روش‌های معکوس تابع پلانک، الگوریتم سبال، الگوریتم آماری تک پنجره، الگوریتم شکاف پنجره، الگوریتم تک پنجره، معادله انتقال تابشی، الگوریتم شکاف پنجره سابرینو، الگوریتم سازمانی سازمان ملی اقیانوسی و جوی مشترک با اداره ماهواره‌ای قطبی و الگوریتم تک کاناله تخمین زده شد. سپس نتایج با دمای سطحی اندازه‌گیری شده در سطح ناحیه عمرانی LPT2 شبکه آبیاری سلیمان‌شاه در طول فصل رشد آفتابگردان آجیلی در سال ۱۳۹۹ بر اساس دو معیار R^2 و RMSE مقایسه شد. نتایج نشان داد که روش‌هایی که به داده‌های هواشناسی وابسته نیستند، از قبیل روش‌های معکوس تابع پلانک (PIF)، الگوریتم سبال (SEBAL)، الگوریتم آماری تک پنجره (SMW)، الگوریتم شکاف پنجره (SWA) و الگوریتم تک پنجره (MWA) به ترتیب از دقت بالایی برخوردارند. از بین آن‌ها روش معکوس تابع پلانک با مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب برابر ۰.۶ و ۴.۲ درجه سانتیگراد بالاترین دقت را دارد. روش‌های الگوریتم شکاف پنجره سابرینو (SSWA)، الگوریتم سازمانی سازمان ملی اقیانوسی و جوی مشترک با اداره ماهواره‌ای قطبی (NOAA-JPSS) و الگوریتم تک کاناله (SCA) به ترتیب از دقت پایینی برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: دمای سطحی، الگوریتم سبال، روش معکوس تابع پلانک، لندست ۸، شاخص سطح برگ

^۱ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، آبیاری و زهکشی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، saeidnasseri1357@yahoo.com

^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، bfarhadi@razi.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۳ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، a.azari@razi.ac.ir

مقدمه

برای مدیریت صحیح آبیاری نیاز به دانستن رطوبت خاک و یا تبخیر و تعرق واقعی گیاه است. رطوبت خاک سطحی در مطالعات مربوط به هیدرولوژی و کشاورزی نقش اساسی دارد. در مطالعات هیدرولوژی با برآورد دقیق رطوبت خاک می‌توان اطلاعات دقیقی از میزان رواناب ناشی از بارندگی و به تبع آن پیش‌بینی سیلاب‌های احتمالی بدست آورد. با برآورد دقیق و مستمر رطوبت خاک، زمان‌هایی که رطوبت خاک کمتر از میزان رطوبت آب سهل‌الوصول می‌شود، قابل تشخیص بوده و از این طریق می‌توان زمان آب آبیاری را مطابق با زمانی که گیاه نیاز به آب دارد، تنظیم کرد. برآورد تبخیر و تعرق در روش‌های سنجش از دور از جمله الگوریتم‌های سبال^۱، سبس^۲ و غیره که بر اساس بیان انرژی هستند، دمای سطحی یک پارامتر اساسی و کلیدی است. در صورتی که دمای سطحی به درستی برآورد شود، دقت آن روش‌ها افزایش می‌یابد. بر این اساس با برآورد دقیق آب مورد نیاز گیاه می‌توان از هدر رفتن آب جلوگیری کرده و راندمان آبیاری را به‌طور قابل توجهی بالا برد. به‌دست آوردن رطوبت خاک و تبخیر و تعرق واقعی گیاه از طریق اندازه‌گیری‌های صحرائی نه تنها بسیار زمان‌بر و پرهزینه است، بلکه اندازه‌گیری‌های آن به صورت نقطه‌ای بوده و تعمیم آن به کل نقاط شبکه با خطا مواجه است. در سال‌های اخیر با پیشرفت تصاویر ماهواره‌ای تلاش‌هایی جهت برآورد آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. در روابط ارائه شده برای این پارامترها نیاز به تخمین دمای سطحی با استفاده از باندهای حرارتی است. دمای سطحی یکی از پارامترهای اساسی برای برآورد رطوبت سطحی خاک و تبخیر و تعرق است. بر این اساس تخمین درست دمای سطحی کمک قابل توجهی به تخمین میزان رطوبت خاک و مدیریت آبیاری مزرعه می‌کند. روش‌های مختلفی برای برآورد دمای سطحی به کار برده شده است (Amazirh et al., 2018, Ermida et al., 2020).

شاخص‌های SMI، TVDI و WDI مستقیماً از دمای سطحی به دست می‌آیند. پژوهشگرانی از قبیل Dente (2016)، Mohanty et al. (2017)، ادب (۱۳۹۶)، فشائی (۱۳۹۲) و Taghvaeian et al. (2012) نشان داده‌اند که رطوبت خاک بیشتر به درجه حرارت سطحی و شاخص سطح برگ^۳ (LAI) حساس است. پژوهشگرانی از قبیل Chen و Saha et al. (2018)، Kaniska et al. (2009) و et al. (2015) نشان دادند که ارتباط خوبی بین شاخص رطوبت خاک^۴ (SMI) و درصد رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده وجود دارد. (Nouri and Faramarzi 2017) استفاده از ۷ تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ به بررسی رابطه شاخص خشکی دمای گیاه^۵ (TVDI) و SMI با میزان تبخیر و تعرق در دشت ملایر پرداختند و نشان دادند که دقت برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از شاخص‌های فوق در مراتع بیشتر است. فشائی (۱۳۹۲) نشان داد که همبستگی خوبی میان میزان رطوبت خاک و شاخص کمبود آب^۶ (WDI) وجود دارد.

روش‌های مختلفی از قبیل الگوریتم سبال، الگوریتم تک پنجره، الگوریتم آماری تک پنجره، الگوریتم شکاف پنجره، الگوریتم تک کاناله، معادله انتقال تابشی و غیره برای تخمین دمای سطحی ارائه شده است. در صورتی که از روش مناسب برای برآورد دمای سطحی استفاده نشود، ممکن است برآورد رطوبت خاک با خطای بیشتری همراه باشد، بر این اساس هدف اصلی این مطالعه، انتخاب روش مناسب برای برآورد دمای سطحی است. بعضی از روش‌های برآورد دمای سطحی فقط به داده‌های ماهواره‌ای از قبیل شاخص NDVI و داده‌های باندهای حرارتی و بعضی از آن‌ها علاوه بر داده‌های فوق به شاخص سطح برگ نیاز دارند. این شاخص مستقیماً بر اساس تصاویر ماهواره‌ای تخمین زده نمی‌شود و معمولاً بر اساس روابط تجربی بین شاخص‌های گیاهی که فرمول آن برای انواع گیاهان متفاوت است، به‌دست می‌آیند. (Kang et al. 2016) میزان LAI را بر اساس شاخص‌های

1-SEBAL

2-SEBS

3- Leaf Area Index

4- Soil Moisture Index

5- Temperature Vegetation Dryness Index

6- Water Deficit Index

و از این طریق با آبیاری به موقع و به اندازه نیاز گیاه در مصرف آب صرفه جویی کرد. معمولاً پژوهش‌هایی که تاکنون در رابطه با برآورد دمای سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بر اساس داده‌های با تفکیک مکانی پایین بوده و در سطح اراضی زراعی پژوهش‌چندانی صورت نگرفته است. با توجه به موارد فوق و ضرورت برآورد دمای سطحی در سطح اراضی در این پژوهش برای برآورد دمای سطحی در ابتدا متغیرهای مورد استفاده جهت تخمین دمای سطحی برآورد و سپس با استفاده از روش‌های مختلف میزان دمای سطحی در سطح کشت آفتابگردان آجیلی شبکه آبیاری سلیمان‌شاه برآورد شد. در نهایت با مقایسه دمای سطحی به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف با دمای سطحی اندازه‌گیری شده در سطح منطقه مورد مطالعه به ارزیابی روش‌های مختلف تخمین دمای سطحی پرداخته و مناسب‌ترین روش انتخاب شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری سلیمان‌شاه در فاصله ۱۰۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان کرمانشاه در دشت سطر از توابع شهرستان سنقر قرار دارد شکل (۱). سیستم آبیاری شبکه مذکور، آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آب‌پاش متحرک بوده و فشار آب موردنیاز در این شبکه از طریق ۱۱ ایستگاه پمپاژ مرکزی به نام‌های SP، LPT1، LPT2 و RPT1 الی RPT8 تأمین می‌شود. این ایستگاه‌ها در ابتدای خطوط درجه ۲ احداث گردیده‌اند. محدودیت منابع آبی (کمتر از ۵۰۰۰ مترمکعب در سال به ازای هر هکتار) در سد مورد اشاره ایجاب می‌کند که با برنامه‌ریزی صحیح و منطقی، میزان تلفات آب را به حداقل رساند. با توجه به اینکه اراضی تحت پوشش هر کدام از ایستگاه‌های سلیمان‌شاه بیش از ۱۰۰ هکتار بوده و از وسعت کافی جهت اهداف این پژوهش برخوردار است، در سال ۱۳۹۸ اراضی تحت کشت

نسبت ساده^۱ (SR)، NDVI، شاخص گیاهی پیشرفته^۲ (EVI)، EVI2 و شاخص کلروفیل سبز^۳ (CI_{Green}) محاسبه کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که EVI2 بهترین شاخص در برآورد LAI است. تعدادی از روش‌ها علاوه بر داده‌های ماهواره‌ای به داده‌های هواشناسی نیز نیاز دارند. اخیراً محاسبات دمای سطحی از طریق سامانه گوگل ارث انجین امکان‌پذیر شده است. این سامانه یک پلتفرم علمی سنجش از دور برای پردازش، تحلیل و بصری سازی تصاویر ماهواره‌ای است. این سامانه مجازی با پشتیبانی گسترده از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای رایگان، امکان پردازش تصاویر ماهواره‌ای با سرعت بسیار بالا را فراهم آورده است (احراری، ۱۳۹۸).

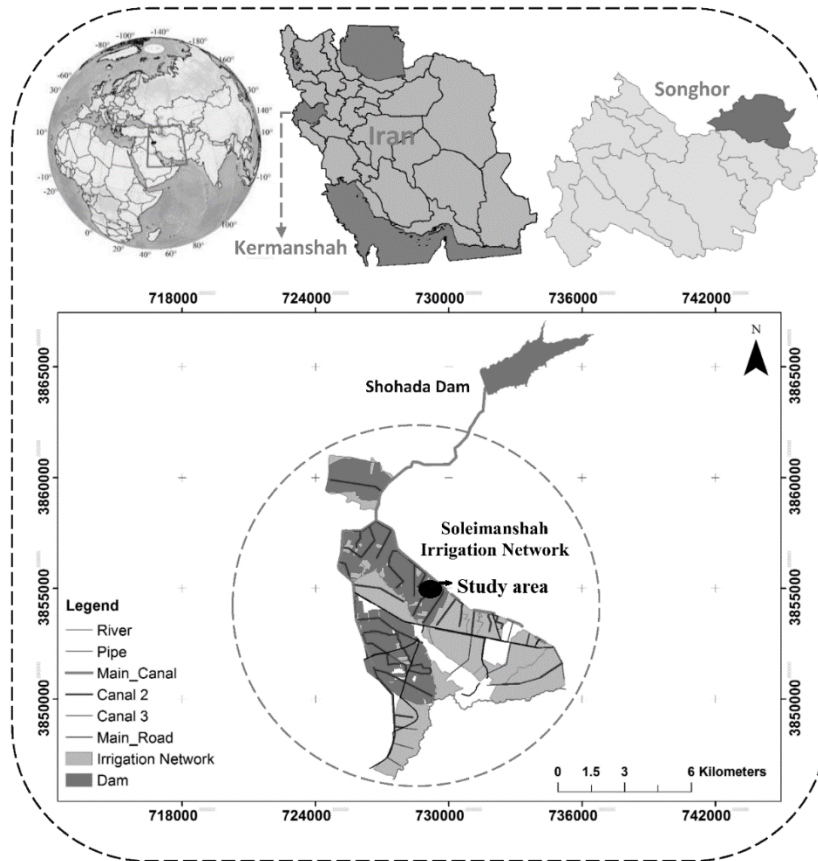
پژوهشگرانی از قبیل (Kamran et al. (2015)، فکر و همکاران (Meng et al. (2019)، (Akombelwa (2017) و (Yu et al. (2014) به ارزیابی روش‌های مختلف تخمین دمای سطحی با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸ پرداختند.

شبکه آبیاری سلیمان‌شاه یک شبکه آبیاری تحت فشار است. در صورت آگاهی از میزان دقیق رطوبت خاک و یا تبخیر و تعرق واقعی در فواصل زمانی و مکانی مختلف، می‌توان مدیریت آبیاری را بر اساس زمان‌های واقعی نیاز به آب تنظیم کرد و از این طریق تا حدودی راندمان آبیاری را بالا برد. بخش زیادی از نیاز آب کشت‌های پاییزه را آب باران تأمین می‌کند اما نیاز آبی کشت‌های بهاره با توجه به فقدان بارندگی در فصل تابستان، از محل دریاچه سد سلیمان‌شاه تأمین می‌شود که به شدت با کمبود آب مواجه است. تقاضای زیاد آب و کشت آفتابگردان آجیلی به عنوان کشت غالب بهاره باعث شد که یکی از نواحی شبکه آبیاری سلیمان‌شاه که تحت کشت آفتابگردان آجیلی است، به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شود.

در صورتی که دمای سطحی به درستی تخمین زده شود با استفاده از آن می‌توان بعضی از پارامترها از قبیل رطوبت خاک و یا تبخیر و تعرق واقعی را با دقت بالاتری تخمین زد

1- Simple Ratio
2- Enhanced Vegetation Index
3- Green Chlorophyll Index

آفتابگردان که توسط ایستگاه پمپاژ LPT2 مشروب می‌شود، به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد.



شکل (۱): محدوده مورد مطالعه در شبکه آبیاری سلیمان‌شاه

T_s دمای سطحی برحسب درجه کلوین، میانگین دمای سطحی محاسبه شده بر اساس باندهای ۱۰ و ۱۱ است (Allen et al., 2002). K_1 و K_2 ضرایب تصویر لندست ۸ که به ترتیب معادل ۷۷۴.۸۸۵۳ و ۱۳۲۱.۰۷۸۹ برای باند ۱۰ و ۴۸۰.۸۸۸۳ و ۱۲۰۱.۱۴۴۲ برای باند ۱۱ است (داده های فوق در فایل اطلاعات تصویر موجود است). R_C تشعشع باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ است که از رابطه شماره ۲ محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002).

$$R_C = 3.342 \times 10^{-4} \times DN + 0.1 \quad (2)$$

روش‌های تخمین دمای سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

روش‌های مختلفی برای برآورد دمای سطحی وجود دارد که در این مطالعه از نه روش برای برآورد دمای سطحی استفاده شده است.

الگوریتم سبال

در الگوریتم سبال دمای سطحی از طریق رابطه شماره ۱ بدست می‌آید.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{R_C} + 1\right)} \quad (1)$$

$$LAI = (1.97 \times EVI + 0.47)^2 \quad (11)$$

الگوریتم آماری تک پنجره^۲ (SMW)

Ermidia et al. (2020) یک مجموعه کد را جهت محاسبه دمای سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره‌های استر، لندست ۴، ۵، ۷ و ۸ در قالب سامانه گوگل ارث انجین ارائه داده‌اند. در روش ایشان برای محاسبه دمای سطحی نیاز به گسیلندگی^۳ سطحی است. آنها گسیلندگی سطحی با تفکیک مکانی ۱۰۰ متری را از طریق داده‌های ۵ باند ماهواره استر^۴ در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ محاسبه کردند. از طریق ضرایبی گسیلندگی به دست آمده به باندهای حرارتی ماهواره لندست ۸ ارتباط داده شده است. در آن روش از شاخص کسر پوشش گیاهی (FVC) استفاده شده است. این شاخص با استفاده از رابطه شماره (۱۲) به دست می‌آید.

$$FVC = \left(\frac{NDVI - NDVI_{bare}}{NDVI_{veg} - NDVI_{bare}} \right)^2 \quad (12)$$

که $NDVI_{bare}$ و $NDVI_{veg}$ به ترتیب معادل ۰.۲ و ۰.۸۶ مربوط به مقادیر NDVI در پیکسل‌های زمین‌های کاملاً بایر و دارای پوشش کامل گیاهی هستند. در ابتدا مقادیر NDVI از ماهواره استر به دست می‌آید. مقادیر گسیلندگی سطحی از طریق رابطه شماره (۱۳) بدست می‌آید.

$$\varepsilon_b = FVC \cdot \varepsilon_{b,veg} + (1 - FVC) \cdot \varepsilon_{b,bare} \quad (13)$$

که $\varepsilon_{b,bare}$ و $\varepsilon_{b,veg}$ به ترتیب گسیلندگی از روی زمین دارای پوشش کامل گیاهی و زمین بایر برای باند طیفی b است. مقدار گسیلندگی از روی زمین دارای پوشش کامل گیاهی معمولاً ثابت و مقدار آن معادل ۰.۹۹ است. مقدار گسیلندگی از روی زمین بایر از طریق ماهواره استر به دست می‌آید. سپس از طریق ضرایبی به گسیلندگی زمین بایر باندهای حرارتی ماهواره لندست ۸ تبدیل می‌شود. سپس با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸ مقدار FVC با

DN ارزش رگومی هر پیکسل در باندهای ۱۰ و ۱۱ است. ε_{NB} قابلیت گسیلندگی باند باریک^۱ است که از طریق رابطه شماره ۳ به دست می‌آید (Allen et al., 2002).

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

$$\varepsilon_{NB} = 0.98 \quad LAI > 3$$

ε_{NB} برای سطوح آبی بمقدار $NDVI < 0$ و $\alpha < 0.47$ معادل ۰.۹۹ است (Allen et al., 2002). با توجه به این که LAI مستقیماً توسط داده‌های ماهواره‌ای اندازه‌گیری نمی‌شود و مقدار آن با شاخص‌های گیاهی در ارتباط است، تلاش‌هایی در این زمینه صورت گرفته است. رابطه بین LAI و شاخص گیاهی متفاوت است و بایستی برای هر گیاه به‌طور جداگانه کالیبره شود. برای به دست آوردن شاخص LAI از طریق تصاویر ماهواره‌ای به بررسی ارتباط شاخص LAI با شاخص‌های SR، NDVI، EVI، EVI2، CI_{Green} (شاخص‌های ارائه‌شده توسط Kang et al. (2016) و SAVI پرداخته شد. شاخص‌های فوق با استفاده از روابط شماره ۴ تا ۹ به دست می‌آیند.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (4)$$

$$SR = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{Red}} \quad (5)$$

$$EVI = 2.5 \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{1 + \rho_{NIR} + 6\rho_{Red} + 7.5\rho_{Blue}} \quad (6)$$

$$EVI2 = 2.5 \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{1 + \rho_{NIR} + 2.4\rho_{Red}} \quad (7)$$

$$CI_{GREEN} = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{Green}} - 1 \quad (8)$$

$$SAVI = (1 + L)(\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (L + \rho_{NIR} + \rho_{Red}) \quad (9)$$

در روابط فوق ρ_{Green} ، ρ_{Blue} ، ρ_{NIR} ، ρ_{Red} و L به ترتیب انعکاس امواج طیفی به ترتیب در باندهای قرمز، مادون قرمز نزدیک، آبی و سبز (به ترتیب معادل باندهای ۴، ۵، ۲ و ۳ ماهواره لندست ۸) هستند. مقدار L برابر ۰.۵ در نظر گرفته شده است. Kang et al. (2016) رابطه‌های شماره ۱۰ و ۱۱ را برای انواع گیاهان پیشنهاد دادند.

$$LAI = (2.78 \times \sqrt{EVI2} - 0.43)^2 \quad (10)$$

در این روش در ابتدا دمای روشنایی سطح ماهواره با استفاده از رابطه شماره (۱۵) محاسبه شد (Giannini et al. 2015).

$$T_{sat} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{R_c} + 1\right)} \quad (15)$$

سپس دمای سطح برگ به شرح روابط شماره ۱۶ تا ۱۸ محاسبه شد (Giannini et al. 2015).

$$P_V = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right)^2 \quad (16)$$

$$\varepsilon = 0.004P_V + 0.986 \quad (17)$$

$$T_S = T_{sat}/1 + \lambda(T_{sat}/14380) \ln(\varepsilon) \quad (18)$$

λ طول موج باند مرکزی و برابر ۱۱.۴۵ میکرومتر است. با توجه به رابطه شماره ۱۸ دمای سطحی بر اساس باندهای ۱۰ و ۱۱ محاسبه می‌شود. سپس میانگین آن‌ها محاسبه می‌شود.

الگوریتم سازمان ملی اقیانوسی و جوی^۳ مشترک با اداره ماهواره‌ای قطبی^۴ (NOAA-JPSS)

در این روش دمای سطحی با استفاده از رابطه شماره ۱۹ به دست می‌آید (Meng et al. 2019).

$$T_S = C_0 + C_1 T_{sat10} + C_2 (T_{sat10} - T_{sat11}) + C_3 \varepsilon + C_4 \varepsilon (T_{sat10} - T_{sat11}) + C_5 \Delta \varepsilon \quad (19)$$

که T_{sat10} و T_{sat11} به ترتیب دمای روشنایی ماهواره در باندهای ۱۰ و ۱۱ است. با توجه به این که شهرستان سنقر در منطقه نیمه‌خشک ایران قرار دارد فشار بخار در آن منطقه در طول دوره رشد گیاه آفتابگردان کم است. بر این اساس ضرایب C_n برای آن منطقه در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

استفاده از رابطه شماره ۱۱ به دست آمده و با استفاده از رابطه شماره ۱۲ مقدار گسیلندگی برای داده‌های ماهواره لندست ۸ محاسبه می‌شود.

در این روش T_S با استفاده از الگوریتم آماری تک پنجره (SMW) ساخته شده توسط تسهیلات کاربرد ماهواره‌ای نظارت بر آب و هوا (CM-SAF) برای استخراج سوابق داده‌های اقلیمی دمای سطحی از ماهواره‌های متوسط^۱ نسل اول و دوم (MFG و MSG) محاسبه می‌شود. این روش بر اساس یک رابطه تجربی بین دمای روشنایی در بالای اتمسفر در یکی از باندهای حرارتی ماهواره لندست و دمای سطحی از طریق رگرسین خطی است. با توجه به موارد فوق دمای سطحی با استفاده از رابطه شماره (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$T_S = A_i \frac{T_{sati}}{\varepsilon_i} + B_i \frac{1}{\varepsilon_i} + C_i \quad (14)$$

که T_{sati} دمای روشنایی باند i ، ε_i گسیلندگی سطحی باند i و ضرایب ثابت A_i ، B_i و C_i از طریق معادله رگرسین خطی شبیه‌سازی انتقال تابشی برای ۱۰ کلاس مقادیر فشار بخار آب از ۰ تا ۶ سانتیمتر در مراحل ۰.۶ سانتی‌متر، با مقادیر فشار بخار بالای ۶ سانتی‌متر برای کلاس آخر به دست می‌آیند. البته ضرایب فوق برای ماهواره لندست از طریق مجموعه داده‌های بورباس شامل ۱۵۰۰۰ داده که بعداً توسط مارتینز تکمیل شد، استفاده شده است (Martins et al. 2016).

الگوریتم تابع معکوس پلانک^۲ (PIF)

جدول (۱): مقادیر ضرایب C_n (Meng et al. 2019)

C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	C_0
-۱۰۳٫۵۲	۰٫۱۴۷	-۵۷٫۸۰۵	۱٫۵۵۷	۱٫۰۱	۵۴٫۹۵

1 - Meteosat

2 - Planck's inversion function method

3 - National Oceanic and Atmospheric Administration

4 - Joint Polar Satellite System

$$B_0 = (C_{11}(1 - A_{10} - C_{10})R_{C10} - C_{10}(1 - A_{11} - C_{11})R_{C11}) / (C_{11}A_{10} - C_{10}A_{11}) \quad (26)$$

$$B_1 = \frac{C_{10}}{C_{11}A_{10} - C_{10}A_{11}} \quad (27)$$

مقادیر C_{10} ، C_{11} ، A_{10} و A_{11} با استفاده از رابطه‌های شماره ۲۸ تا ۳۱ بدست می‌آیند (Sekertekin and Bonafoni 2020).

$$C_{10}(1 - \tau_{10})(1 + (1 - \varepsilon_{10})\tau_{10}) \quad (28)$$

$$C_{11} = (1 - \tau_{11})(1 + (1 - \varepsilon_{11})\tau_{11}) \quad (29)$$

$$A_{10} = \varepsilon_{10}\tau_{10} \quad (30)$$

$$A_{11} = \varepsilon_{11}\tau_{11} \quad (31)$$

طبق داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرستان سنقر که در فاصله ۱۰ کیلومتری از منطقه مورد مطالعه قرار دارد. مقدار فشار بخار در حدود ۳ تا ۶ گرم بر سانتی‌متر مربع است. مقادیر τ_{10} و τ_{11} با استفاده از رابطه‌های شماره ۳۲ و ۳۳ برای فشار بخار در بازه ۳ تا ۶ گرم بر سانتی‌متر مربع به‌دست می‌آیند (Yu et al. 2014).

$$\tau_{10} = -0.00168w^2 - 0.1329w + 1.127 \quad (32)$$

$$\tau_{11} = 0.09186w^2 - 0.2137w + 1.181 \quad (33)$$

W فشار بخار است که از داده‌های سینوپتیک شهر سنقر به‌دست آمد. آمار داده‌های هواشناسی شهرستان سنقر در جدول (۳) نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول مشخص است در تاریخ ۱۷ مرداد ماه میزان فشار بخار بیشتر از ۶ است. بنابراین در آن تاریخ نمی‌توان با استفاده از روابط ۳۱ و ۳۲ مقادیر مقادیر τ_{10} و τ_{11} را محاسبه کرد. لذا از محاسبات دما در آن تاریخ صرف‌نظر شده است.

جدول (۳): آمار داده‌های هواشناسی شهرستان سنقر

تاریخ	P(mb)	$W(\frac{gr}{cm^2})$	RH (%)	T(°C)
۹۹/۰۳/۱۵	۸۳۲.۸	۳.۷۵	۸	۳۱.۱
۹۹/۰۳/۳۱	۸۲۸.۱	۶.۱۸	۱۶	۲۸.۸
۹۹/۰۴/۱۶	۸۲۲.۸	۵.۴۷	۱۱	۳۲.۶
۹۹/۰۵/۰۱	۸۲۶.۲	۴.۷	۷	۳۷.۸
۹۹/۰۵/۱۷	۸۲۷.۴	۸.۸۳	۱۹	۳۱.۸
۹۹/۰۶/۱۸	۸۳۲.۶	۳.۱۳	۶	۲۹

ε و $\Delta\varepsilon$ به ترتیب میانگین و اختلاف گسیلندگی کانال است که بر اساس رابطه‌های شماره ۲۰ و ۲۱ به دست می‌آیند (Meng et al. 2019).

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{10} + \varepsilon_{11}}{2} \quad (20)$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{10} - \varepsilon_{11} \quad (21)$$

مقادیر ε_{10} و ε_{11} با استفاده از رابطه‌های شماره ۲۲ و ۲۳ به‌دست می‌آیند (Ogunode and Akombelwa 2017).

$$\varepsilon_{10} = 0.971(1 - P_V) + 0.987P_V \quad (22)$$

$$\varepsilon_{11} = 0.977(1 - P_V) + 0.989P_V \quad (23)$$

الگوریتم شکاف پنجره^۱ ساب‌رینو (SSWA)

در این روش دمای سطحی از طریق رابطه شماره ۲۴ بدست می‌آید (Meng et al. 2019).

$$T_s = C_0 + (C_1 + C_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + C_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}) \frac{T_{sat10} + T_{sat11}}{2} + (C_4 + C_5 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + C_6 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}) \frac{T_{sat10} - T_{sat11}}{2} + C_7 (T_{sat10} - T_{sat11})^2 \quad (24)$$

ضرایب C_0 تا C_7 در جدول شماره (۲) نشان داده شده است

جدول (۲): مقادیر ضرایب C_0 تا C_7 (Meng et al. 2019)

C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	C_0
۰.۱	۱۱.۲	۶.۸	۳.۱	۰.۲	۰.۱	۱.۰	۱.۵
۶۵	-۰.۹	۶.۴	۷.۹	-۸.۸	۶.۲	۰.۷	-۶

روش الگوریتم شکاف پنجره (SWA)

در این روش دمای سطحی با استفاده از رابطه شماره ۲۵ بدست می‌آید (Sekertekin and Bonafoni 2020).

$$T_s = T_{sat10} + B_1(T_{sat10} - T_{sat11}) + B_0 \quad (25)$$

ضرایب B_0 و B_1 با استفاده از روابط شماره ۲۶ و ۲۷ بدست می‌آیند (Sekertekin and Bonafoni 2020).

روش الگوریتم تک کاناله^۱ (SCA)

در این روش دمای سطحی با استفاده از رابطه شماره ۳۴ بدست می‌آید (Sekertekin and Bonafoni 2020).

$$T_s = \gamma \left(\frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{1}{\tau} R_C - R_C^{\downarrow} - \frac{R_C^{\uparrow}}{\tau} \right) + R_C^{\downarrow} \right) + \delta \quad (34)$$

مقادیر τ ، R_C^{\downarrow} و R_C^{\uparrow} به ترتیب میانگین انتقال جوی^۲ (AT)، تشعشع رو به پایین^۳ و تشعشع رو به بالای^۴ اتمسفر است که محاسبات آن‌ها از طریق سایت <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov> انجام می‌شود (Barsi et al. 2005). این سایت برای انجام محاسبات به داده‌های طول و عرض جغرافیایی منطقه، ارتفاع نسبت به سطح دریا، تاریخ و زمان عکس‌برداری، دمای منطقه و درصد رطوبت نسبی نیاز دارد. داده‌های هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک سنقر به دست آمد. مقادیر γ و δ بر اساس روابط شماره ۳۵ و ۳۶ به دست می‌آیند (Sekertekin and Bonafoni 2020).

$$\gamma = \frac{T_{sat}^2}{bR_C} \quad (35)$$

$$\delta = T_{sat} - \frac{T_{sat}^2}{b} \quad (36)$$

مقادیر b برای باندهای ۱۰ و ۱۱ ماهواره لندست ۸ به ترتیب برابر ۱۳۲۰ و ۱۱۹۲ کلوین است.

الگوریتم تک پنجره^۵ (MWA)

در این روش دمای سطحی با استفاده از رابطه شماره ۳۷ بدست می‌آید (Sekertekin and Bonafoni 2020).

$$T_s = 1/(\varepsilon_{10}\tau) [-67.355351(1 - (\varepsilon_{10}\tau) - (1 - \tau)(1 + (1 - \varepsilon_{10})\tau)) + (0.458606(1 - \varepsilon_{10}\tau - (1 - \tau)(1 + (1 - \varepsilon_{10})\tau)) + \varepsilon_{10}\tau + (1 - \tau)(1 + (1 - \varepsilon_{10})\tau)) T_{sat10} - (1 - \tau)(1 + (1 - \varepsilon_{10})\tau)(16.011 + 0.9262T)] \quad (37)$$

T دمای هوا است که از جدول (۳) بدست می‌آید.

روش معادله انتقال تابشی^۶ (RTE)

در این روش دمای سطحی با استفاده از رابطه شماره ۳۸ به دست می‌آید (Sekertekin and Bonafoni 2020).

$$T_s = \frac{\frac{K_2}{K_1}}{\ln \left(\frac{R_{C10} - R_C^{\downarrow} - \tau(1 - \varepsilon_{10})R_C^{\downarrow}}{\tau\varepsilon_{10}} + 1 \right)} \quad (38)$$

در طول فصل رشد آفتابگردان آجیلی در سال ۱۳۹۹ در منطقه مورد مطالعه داده‌های به دست آمده از روش‌های فوق با مقادیر دمای سطحی اندازه‌گیری شده از طریق سه شاخص R^2 ، RMSE و nRMSE به شرح رابطه‌های شماره ۳۹ تا ۴۱ مقایسه شدند.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=0}^n (M_i - \bar{M})(E_i - \bar{E})]^2}{\sum_{i=0}^n (M_i - \bar{M})^2 \sum_{i=0}^n (E_i - \bar{E})^2} \quad (39)$$

$$RMSE = \sqrt{1/n \sum_{i=0}^n (M_i - E_i)^2} \quad (40)$$

$$nRMSE = \frac{RMSE}{M_{max} - M_{min}} \quad (41)$$

در روابط بالا، M_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{M} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، E_i مقدار برآورد شده، \bar{E} میانگین مقادیر برآورد شده و n تعداد داده‌ها است.

اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (LAI)

به منظور ارزیابی روش‌های مختلف برآورد شاخص LAI در کل فصل رشد گیاه آفتابگردان در ابتدا نیاز است که آن شاخص در زمان تصویر برداری ماهواره لندست ۸ اندازه‌گیری شود. شاخص LAI از تقسیم سطح برگ‌های یک گیاه به سطح مزرعه تحت پوشش گیاه مورد نظر بدست می‌آید. در روزهای عکس‌برداری ماهواره لندست ۸، در مناطق مختلف محدوده مورد مطالعه در طول دوره رشد گیاه اقدام به نمونه‌برداری سطح برگ شد. در یک محدوده مشخص، در ابتدا مساحت آن اندازه‌گیری شد (A_{total}). تعداد کل بوته‌های آن محدوده (n) شمارش و سه بوته با اندازه متوسط که معرف بوته‌های سطح مورد نظر بود،

1- Single-Channel Algorithm
2- Atmospheric transmission
3- Downwelling radiance
4- Upwelling radiance
5- Mono Window Algorithm
6- Radiative Transfer Equation Method

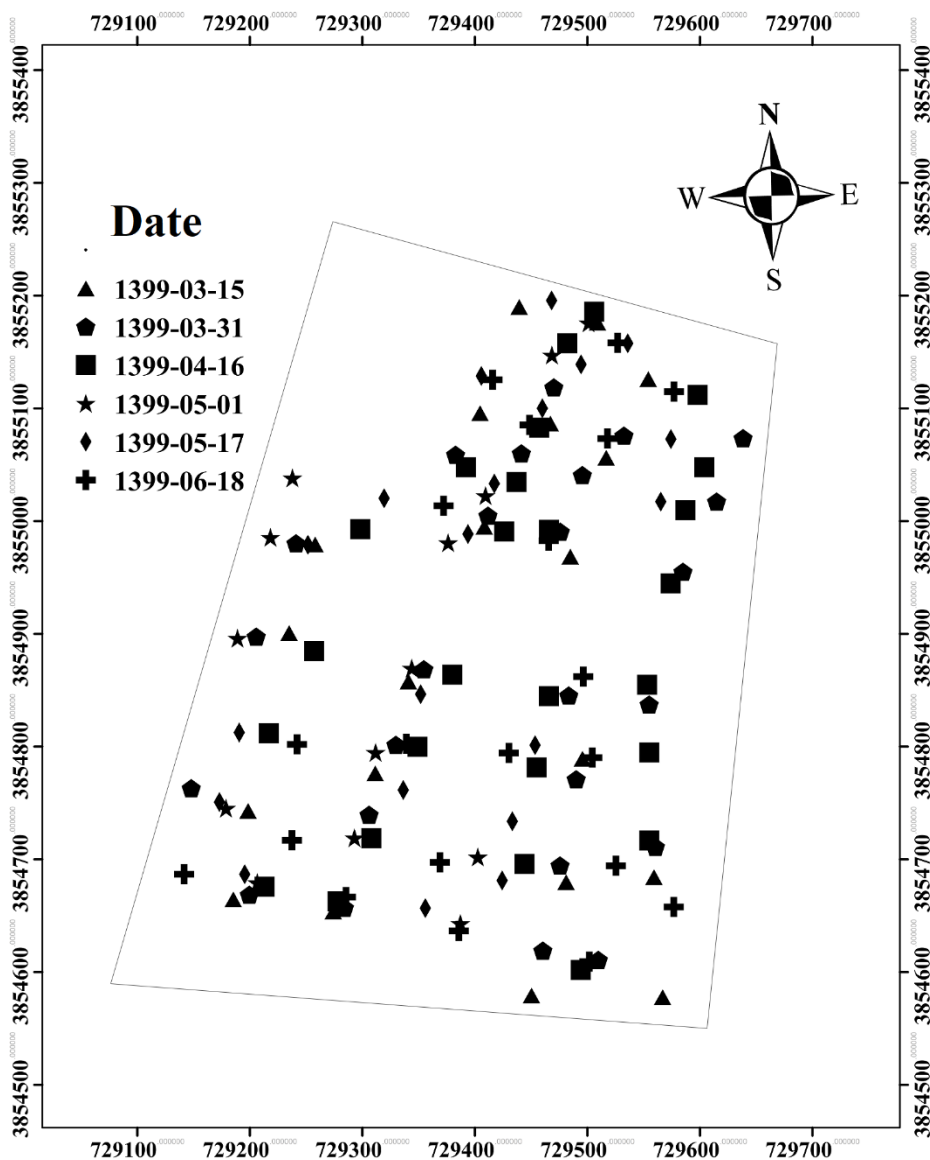


اندازه‌گیری دمای سطحی در سطح مزرعه

در روزهای عکس‌برداری ماهواره لندست ۸ در طول فصل رشد گیاه آفتابگردان در سال ۲۰۲۰ در فاصله زمانی از ساعت ۱۰:۱۵ تا ۱۳:۳۰ دمای سطحی از طریق دماسنج مادون قرمز اندازه‌گیری شد. در هر نقطه ۶ بار دما قرائت و میانگین آن‌ها محاسبه شد. در ادامه نقشه دمای سطحی منطقه با میان‌یابی به روش IDW در نرم افزار Arc GIS برای هر کدام از تاریخ‌های نمونه‌برداری با تفکیک مکانی ۳۰ متری تهیه شد. سپس به منظور مقایسه، با استفاده از ابزار Zonal statistic as table دمای نقاط نمونه‌برداری به‌دست آمد. در شکل (۲) موقعیت نقاط اندازه‌گیری دمای سطحی در تاریخ‌های مختلف نشان داده شده است

انتخاب شد. تمام برگ‌های این سه بوته چیده شده و جهت اندازه‌گیری سطح برگ به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه به‌وسیله دستگاه اسکنر سطح برگ کلیه قطعات بعد از صاف شدن با وضوح تصویر ۳۰۰ dpi اسکن شد. این تصاویر در محیط Arc GIS فراخوانی و با استفاده از ابزار Reclassify پردازش شد. در نهایت میانگین سطح برگ هر بوته (A_{Leaf}) محاسبه شد. در ادامه با استفاده از رابطه شماره (۴۲) شاخص LAI محاسبه شد.

$$LAI = \frac{n \times A_{Leaf}}{A_{total}} \quad (42)$$



شکل (۲): موقعیت نقاط اندازه‌گیری دمای سطحی با استفاده از دماسنج مادون قرمز در تاریخ‌های مختلف

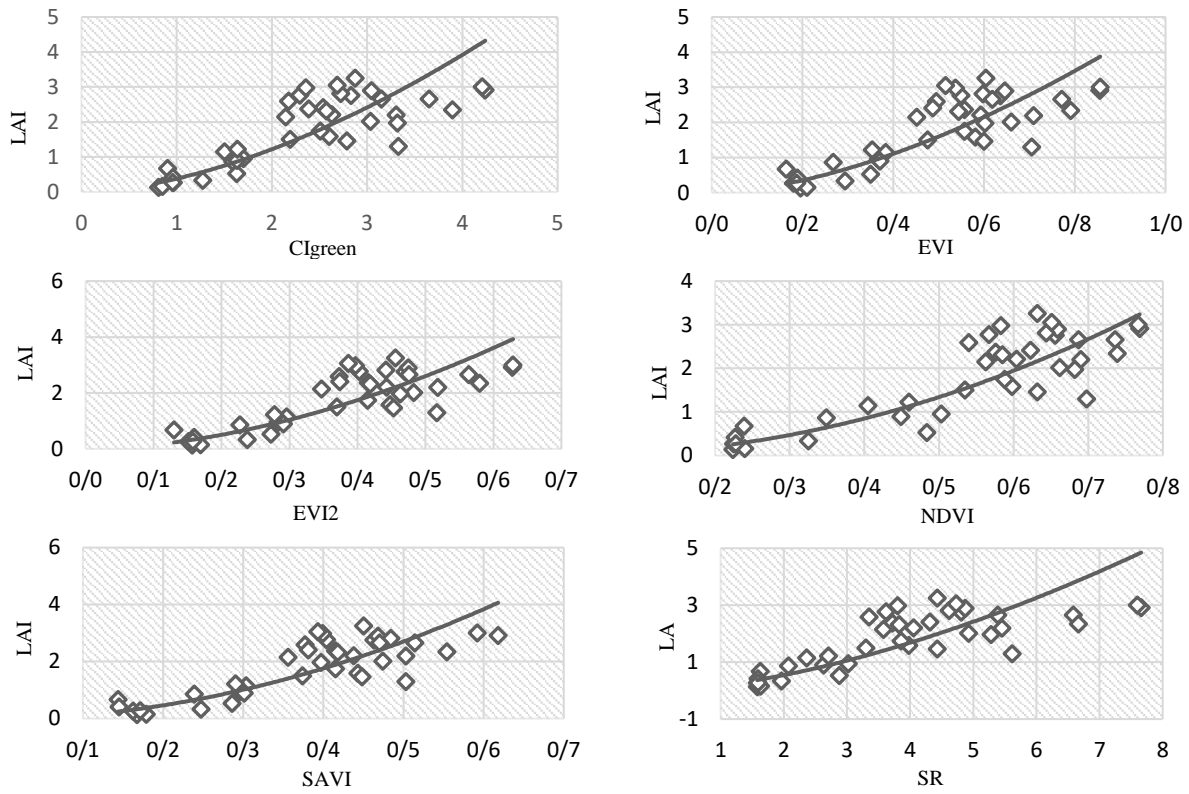
به‌دست آمده برای هر کدام از آن‌ها در جدول ۴ نشان داده است. طبق شکل، مقادیر LAI به‌دست آمده بر اساس NDVI از بالاترین دقت برخوردار است (RMSE=0.547, $R=0.907$, nRMSE=0.175). بنابراین با توجه به موارد فوق مقدار شاخص LAI بر اساس رابطه شماره (۴۳) بدست می‌آید.

$$LAI = 5.5466 \times NDVI^{2.0508}$$

(۴۳)

نتایج و بحث

مقادیر شاخص‌های گیاهی که بر اساس تصاویر ماهواره‌ای در تاریخ‌های مورد بررسی برآورد شده بود نسبت به مقادیر LAI اندازه‌گیری شده در شکل ۳ ترسیم شده است. برای هر کدام از این شاخص‌ها یک معادله توانی برآزش داده شد. مقادیر R، RMSE و nRMSE معادلات



شکل (۳): نمودارهای LAI به ازای شاخص های CIgreen، EVI، EVI2، NDVI، SAVI و SR

جدول (۴): مقادیر R^2 و RMSE و معادلات به دست آمده برای شاخص های گیاهی مختلف

شاخص	CIgreen	EVI	EVI2	NDVI	SR	SAVI	رابطه
	$LAI = 0.3795X^{1.6839}$	$LAI = 5.0032X^{1.6469}$	$LAI = 9.0007X^{1.7904}$	$LAI = 5.5466X^{2.0508}$	$LAI = 0.1758X^{1.6293}$	$LAI = 7.5997X^{1.6384}$	
R	۰٫۸۹۱	۰٫۸۷۶	۰٫۸۷۳	۰٫۹۰۷	۰٫۹۰۹	۰٫۸۳۵	
RMSE	۰٫۷۳۲	۰٫۶۵۴	۰٫۶۶۴	۰٫۵۴۷	۰٫۸۲۷	۰٫۶۰۱	
nRMSE	۰٫۲۳۵	۰٫۲۱	۰٫۲۱۳	۰٫۱۷۵	۰٫۲۶۵	۰٫۱۹۲	

مشخص است، روش های معکوس تابع پلانک (PIF)، الگوریتم سبال (SEBAL)، الگوریتم آماری تک پنجره (SMW)، الگوریتم شکاف پنجره (SWA) و الگوریتم تک پنجره (MWA) به ترتیب از دقت بالایی برخوردارند.

در یک بررسی دیگر مقادیر LAI اندازه گیری شده با مقادیر LAI تخمین زده توسط رابطه های شماره ۱۰ و ۱۱ مقایسه شد. نتایج نشان داد که رابطه شماره ۱۰ با دقت مناسبی ($R = 0.806$, $RMSE=0.586$, $nRMSE=0.188$) مقدار LAI را تخمین می زند. اما در منطقه مورد مطالعه دقت برآورد LAI بر اساس شاخص NDVI بیشتر از رابطه فوق است. بر این اساس در این مطالعه مقدار LAI بر اساس رابطه شماره ۴۳ محاسبه شده است.

جدول (۵) مقادیر آماری مقایسه دمای سطحی اندازه گیری شده و محاسبه شده به روش های فوق با تفکیک مکانی ۳۰ متری را نشان می دهد. همانگونه که در جدول

جدول (۵): مقادیر آماری مقایسه دمای سطحی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به روش الگوریتم سبال و الگوریتم آماری تک پنجره با تفکیک مکانی ۳۰ متری

RTE	MWA	SCA	SWA	SSWA	NOAA- JPSS	PIF	SMW	SEBAL	روش
۰,۶۹۳	۰,۷۳۵	۰,۵۲۹	۰,۷۰۷	۰,۱۴۱	۰,۲۶۵	۰,۷۷۵	۰,۷۶۲	۰,۷۵۷	R
۹,۱	۷,۳	۱۱	۴,۶	۱۱	۹,۸	۴,۲	۷,۶	۵,۹	RMSE (درجه سانتیگراد)
۰,۴۰۳	۰,۳۲۲	۰,۴۸۵	۰,۴۲۴	۰,۴۸۵	۰,۴۳۳	۰,۱۸۶	۰,۳۳۷	۰,۲۶۲	nRMSE

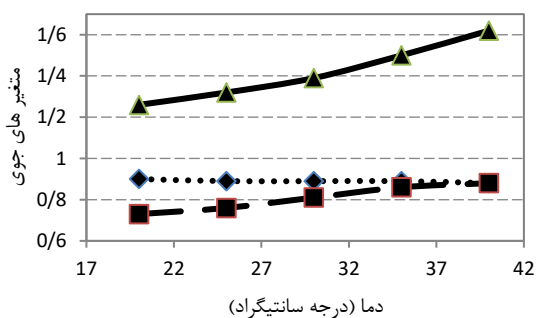
C_n استفاده شده است. آن ضرایب از طریق معادلات رگرسیون به دست آمده‌اند. با توجه به شرایط متفاوت منطقه‌ای، ممکن است ضرایب فوق برای منطقه مورد مطالعه مناسب نباشند.

Yu et al. (2014) نیز نشان دادند که روش SCA از دقت پایین‌تری نسبت به روش‌های SWA و RTE برخوردار است. در الگوریتم تک کاناله از میانگین انتقال جوی، تشعشعات رو به پایین و بالای اتمسفر استفاده شده است. این متغیرها وابستگی زیادی به دما و رطوبت نسبی دارند. برای اثبات این موضوع بر اساس آنالیز حساسیت در منطقه مورد مطالعه برای داده‌های ۱ مرداد ۱۳۹۹ در دمای ثابت ۳۸ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی در یک بازه ۰ تا ۲۰ درصد تغییر داده شد. سپس به ازای رطوبت نسبی ثابت ۷ درصد دما در یک بازه ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد تغییر داده شد. نتایج در شکل‌های ۴a و ۴b نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل‌ها مشخص است به ازای تغییرات درصد رطوبت نسبی و دما میانگین انتقال جوی تغییر زیادی نمی‌کند اما مقادیر تشعشعات رو به بالا و پایین به شدت به دما و رطوبت نسبی وابسته هستند. بر این اساس تفاوت شرایط منطقه مورد مطالعه با ایستگاه سینوپتیک سنقر، ممکن است باعث کاهش روش الگوریتم تک کاناله شده باشد.

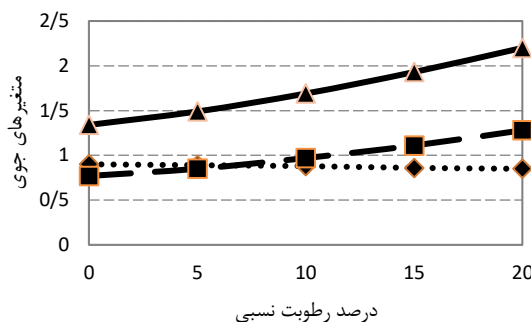
(2020) Sekertekin and Bonafoni با ارزیابی روش‌های MWA، RTE، SCA و SWA نیز به این نتیجه رسید که روش MWA نسبت به سایر روش‌ها به خصوص در فصل تابستان از دقت بیشتری برخوردار است. فکرت و همکاران (۱۳۹۹) نیز نشان دادند که روش‌های PIF و MWA از دقت بالایی برخوردارند. Giannini et al. (2015) نیز نشان دادند که روش PIF از دقت بالایی برخوردار است.

(2015) Kamran et al. با مقایسه دو روش SEBAL و SWA به این نتیجه رسیدند که دقت روش SWA بهتر از روش SEBAL است اما در این تحقیق به دلیل کالیبره کردن شاخص LAI بر اساس اندازه‌گیری‌های صحرایی دقت روش SEBAL اندکی بهتر از روش SWA است. روش معادله انتقال تابشی (RTE) از دقت متوسطی برخوردار است.

روش‌های الگوریتم شکاف پنجره ساب‌رینو (SSWA)، الگوریتم سازمانی سازمان ملی اقیانوسی و جوی مشترک با اداره ماهواره‌های قطبی (NOAA-JPSS) و الگوریتم تک کاناله (SCA) به ترتیب از دقت پایینی برخوردارند. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات Meng et al. (2019) مطابقت ندارد. با بررسی دقیق‌تر رابطه روش‌های SSWA و JPSS-NOAA مشخص می‌شود که در آن روش‌ها از ضرایب ثابت



تغییرات متغیرهای جوی به ازای تغییر در دما

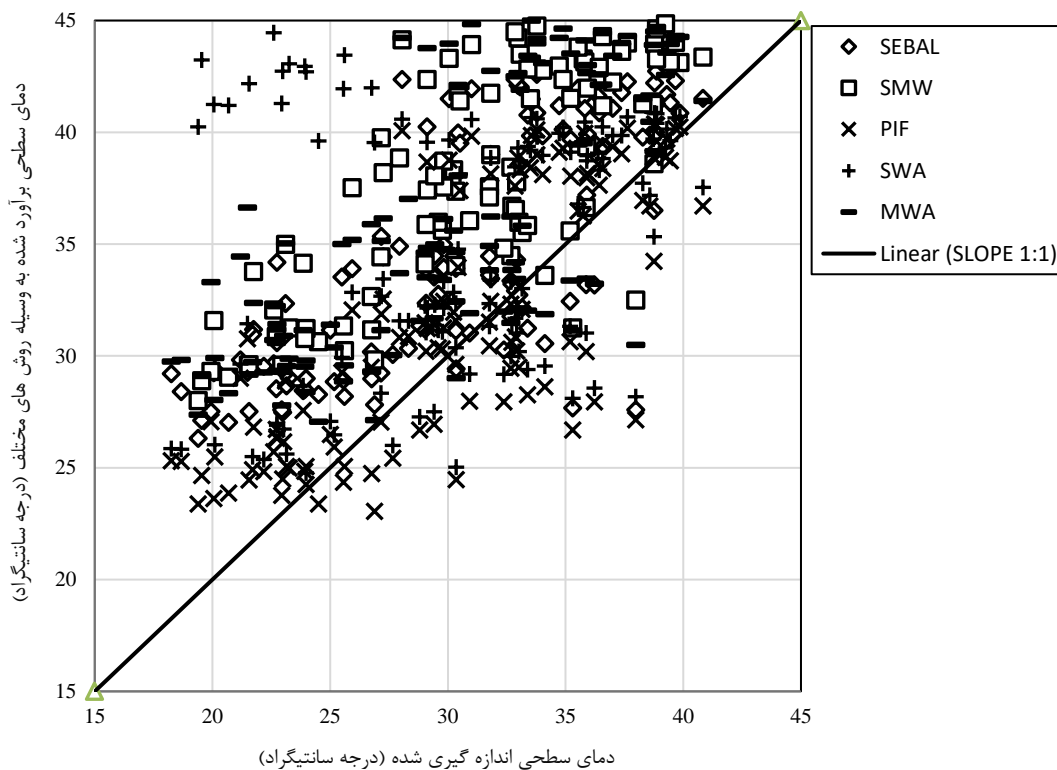


تغییرات متغیرهای جوی به ازای تغییر در رطوبت نسبی

شکل (۴): تغییرات متغیرهای جوی به ازای تغییر در رطوبت نسبی و دما برای داده‌های روز ۱ مرداد ۱۳۹۹ در منطقه مورد مطالعه

مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشخص است روش PIF با توزیع نسبتاً مناسبی نسبت به روش‌های دیگر، دمای سطحی را تخمین می‌زند. سایر روش‌ها دمای سطحی را بیشتر از دمای اندازه‌گیری شده تخمین می‌زنند.

شکل (۵) نمودار دمای سطحی برآورد شده از روش‌های با دقت بالا (روش‌های PIF، SEBAL، SMW، SWA و MWA) بر اساس دمای اندازه‌گیری شده در دوره رشد آفتابگردان آجیلی در سال ۱۳۹۹ در منطقه مورد



شکل (۵): نمودار دمای سطحی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به روش‌های الگوریتم سبال و الگوریتم آماری تک پنجره با تفکیک مکانی ۳۰ متری

نتیجه گیری

در این تحقیق مقدار دمای سطحی به وسیله روش های معکوس تابع پلانک (PIF)، الگوریتم سبال (SEBAL)، الگوریتم آماری تک پنجره (SMW)، الگوریتم شکاف پنجره (SWA)، الگوریتم تک پنجره (MWA) معادله انتقال تابشی (RTE)، الگوریتم شکاف پنجره سابرینو (SSWA)، الگوریتم سازمانی سازمان ملی اقیانوسی و جوی مشترک با اداره ماهواره ای قطبی (NOAA-JPSS) و الگوریتم تک کاناله (SCA) به دست آمد و سپس نتایج با دمای سطحی اندازه گیری شده در سطح منطقه مورد مطالعه در طول فصل رشد آفتابگردان آجیلی مقایسه شد. نتایج نشان داد روش های معکوس تابع پلانک (PIF)، الگوریتم سبال (SEBAL)، الگوریتم آماری تک پنجره (SMW)، الگوریتم شکاف پنجره (SWA) و الگوریتم تک پنجره (MWA) به ترتیب از دقت بالایی برخوردارند. این روش ها به داده های هواشناسی وابستگی کمتری دارند. علی رغم این که روش معکوس تابع پلانک روش نسبتاً ساده ای است و به هیچ کدام از داده های هواشناسی نیاز ندارد، از بالاترین دقت برخوردار است و دما را تقریباً با دقت بسیار خوبی نسبت به دمای اندازه گیری شده در کلیه بازه های دمایی تخمین می زند. در روش معکوس تابع پلانک

مقدار گسیلندگی از رابطه ای به دست می آید که به باندهای حرارتی وابسته نیست. شاید بالاتر بودن دقت آن به همین دلیل باشد.

در الگوریتم سبال مقدار شاخص LAI بر اساس شاخص NDVI به دست آمده است. این شاخص برای گیاه آفتابگردان و در منطقه شبکه سلیمان شاه کالیبره شده است و قاعدتاً برای سایر گیاهان و در سایر مناطق ممکن است از دقت کافی برخوردار نباشد. این عامل یکی از نقاط ضعف الگوریتم سبال است. الگوریتم آماری تک پنجره برای همه گیاهان و در همه مناطق کاربرد دارد. در ضمن کدهای محاسباتی آن روش در سامانه گوگل ارث انجین به صورت آماده موجود بوده و فایل های رستری دما به راحتی و بدون نیاز به حافظه زیاد قابل دسترس است. با توجه به موارد فوق سهولت محاسبات یکی دیگر از مزایای الگوریتم آماری تک پنجره است.

البته دقت کلیه روش ها مقداری کم است که علت آن نیز شاید به این دلیل باشد که در اندازه گیری مزرعه ای از دماسنج مادون قرمز استفاده شده است. این دماسنج دما را به صورت نقطه ای اندازه گیری می کند که ممکن است اندازه گیری در سطح گیاه و یا سطح خاک باشد. با توجه به تفاوت دمایی زیاد این دو سطح امکان خطا در اندازه گیری بسیار زیاد است.

منابع

- احراری، ا. ۱۳۹۸. موتور مجازی پردازش تصاویر ماهواره ای آموزش سامانه گوگل ارث انجین، انتشارات کلید آموزش، تهران.
- ادب، ح. ۱۳۹۶. برآورد رطوبت لحظه ای سطح خاک در فصل سرد با استفاده از داده های سنسجش از دور نوری و حرارتی در شرایط بدون ابرناکی، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، شماره ۲۱، ص ۱۷۵-۱۹۱.
- فشائی، م. ۱۳۹۲. برآورد شاخص کمبود رطوبت و تخمین رطوبت خاک با استفاده از سنسجش از دور (مطالعه موردی: دشت مشهد)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب.
- فکرت، ح. ص. اصغری سراسکانرود و س. ک. علوی پناه. ۱۳۹۹. تخمین دمای سطح اراضی اردبیل با استفاده از تصاویر لندست و ارزیابی دقت روش های برآورد دمای سطح زمین با داده های میدانی، سنسجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۱۱، شماره ۴، ص ۱۱۴-۱۳۶.



Allen, R.G., M. Tasumi, R. Trezza, R. Waters, and W. Bastiaanssen. 2002. SEBAL (surface energy balance algorithms for land)—advanced training and user's manual—Idaho implementation (version 1.0). The Idaho Department of Water Resources: Boise, ID, USA.

Amazirh, A., O. Merlin, S. Er-Raki, Q. Gao, V. Rivalland, Y. Malbeteau, S. Khabba, and M. J. Escorihuela. 2018. Retrieving surface soil moisture at high spatio-temporal resolution from a synergy between Sentinel-1 radar and Landsat thermal data: A study case over bare soil. *Remote Sensing of Environment*, 211:321-337.

Barsi, J., A. John, R. Schott, F. D. Palluconi, and S. J. Hook. 2005. Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments. *Earth Observing Systems X*.

Chen, S., Z. Wen, H. Jiang, Q. Zhao, X. Zhang, and Y. Chen. 2015. Temperature vegetation dryness index estimation of soil moisture under different tree species. *Sustainability*, 7 (9):11401-11417.

Dente, L. 2016. Microwave remote sensing for soil moisture monitoring: synergy of active and passive observations and validation of retrieved products. P.H.D Thesis of Twente University. Netherlands.

Ermidia, S. L., P. Soares, V. Mantas, F. M. Göttsche, and I. F. Trigo. 2020. Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the Landsat series. *Remote Sensing*, 12 (9).

Giannini, M. B., O. R. Belfiore, C. Parente, and R. Santamaria. 2015. Land surface temperature from Landsat 5 TM images: comparison of different methods using airborne thermal data. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 8(3). 83-90.

Kamran, K. V., M. Pirnazar, and V. Farhadi Bansouleh. 2015. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS: comparison between split window algorithm and SEBAL method. *Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2015)*.

Kang, Y., M. Ozdogan, S. C. Zipper, M. O. Roman, J. Walker, S. Y. Hong, M. Marshall, V. Magliulo, J. Moreno, L. Alonso, A. Miyata, B. Kimball, and S. P. Loheide, 2nd. 2016. How universal is the relationship between remotely sensed vegetation indices and crop leaf area index? a global assessment. *Remote Sensing*, 8 (7):597.

Kaniska, m., B. k. Bhattacharya, and n. k. Patel. 2009. Estimating volumetric surface moisture content for cropped soils using a soil wetness index based on surface temperature and NDVI. *Agricultural and Forest Meterology*, 149:1327-1342.

Martins, J., I. Trigo, V. Bento, and C. da Camara. 2016. A physically constrained calibration database for land surface temperature using infrared retrieval algorithms. *Remote Sens*. 8 (10): 808.

Meng, X., J. Cheng, S. Zhao, S. Liu, and Y. Yao. 2019. Estimating land surface temperature from Landsat-8 data using the NOAA JPSS enterprise algorithm. *Remote Sensing*, 11 (2):155.

Mohanty, B. P., M. H. Cosh, V. Lakshmi, and C. Montzka. 2017. Soil moisture remote sensing: State-of-the-science. *Vadose Zone Journal*, 16. (1).

Nouri, H., and M. Faramarzi. 2017. Soil moisture estimation in rangelands using Remote Sensing (case study: Malayer, west of Iran). *Journal of Rangeland Science*, 7 (1):67-78.

Ogunode, A., and M. Akombelwa. 2017. An algorithm to retrieve land surface temperature using Landsat-8 dataset. *South African Journal of Geomatics* 6 (2):262-276.

Sekertekin, A., and S. Bonafoni. 2020. Land surface temperature retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over rural areas: assessment of different retrieval algorithms and emissivity models and toolbox implementation. *Remote Sensing* 12 (2):294.



Saha, A., M. Patil, V. C. Goyal, and D. S. Rathore. 2018. Assessment and impact of soil moisture index in agricultural drought estimation using Remote Sensing and GIS techniques. 3rd International Electronic Conference on Water Sciences, 7, 2:1-8.

Taghvaeian, S., J. Chávez, and N. Hansen. 2012. Infrared thermometry to estimate crop water stress index and water use of irrigated maize in northeastern Colorado. Remote Sensing. 4 (11):3619-3637.

Yu, X., X. Guo, and Z. Wu. 2014. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. Remote sensing 6 (10):9829-9852.



Estimation of Surface Temperature in Agricultural Lands Using Satellite Images (Case Study: Soleimanshah Irrigation Network)

Saeid Nasser¹, Bahman Farhadi Bansouleh^{*2}, Arash Azari³

Abstract

Land surface temperature is a significant variable involved in land surface energy and water balance and is a substantial component in many aspects of environmental research. The land surface temperature is usually calculated based on thermal bands. Landsat 8 satellite thermal bands are the newest infrared thermal bands, included two adjacent thermal bands with a spatial separation of 30 meters. There are several methods for calculating land surface temperature. These methods are of three groups: Methods that only need satellite data, methods that require satellite data and leaf area index (LAI), and Methods that require satellite data and meteorological data. In this study, the land surface temperature simulated by the Planck Inverse Function, SEBAL algorithm, Statistical Mono-Window algorithm, Split Window Algorithm, Mono-Window Algorithm, Radiation Transfer Equation, Sabrino Split Window Algorithm, National Oceanic and Atmospheric Administration Joint Polar Satellite System, And the Single-Channel Algorithm and compared with the surface temperature measured in the LPT2 construction area of Soleimanshah irrigation network during the growing season of nut sunflower in 2020 based on two criteria of R^2 and RMSE. The results showed the Planck Inverse Function, SEBAL algorithm Statistical Mono-Window algorithm, Split Window algorithm, and Mono Window algorithm respectively have high accuracy (Those approaches are not dependent on meteorological data). Among them, the Planck Inverse Function with values of R^2 and RMSE of 0.6 and 4.2 °C, respectively has the highest accuracy. The Sabrino Split Window algorithm, National Oceanic and Atmospheric Administration Joint Polar Satellite System, and the Single-Channel algorithm, respectively have low accuracy.

Keywords: Surface temperature, SEBAL algorithm, Planck's inversion function method, Landsat 8, Leaf area index

¹ Ph.D. Student of irrigation and drainage, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

² *Assistant Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran (Corresponding Author)

³ Associate Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran