



Journal of Regional Planning and Winter 2024. Vol 13. Issue 52

ISSN (Print): 2251-6735 - ISSN (Online): 2423-7051
<https://jzpm.marvdasht.iau.ir/>



Research Paper

Determining LST in Remote Sensing Images and Increasing its Accuracy Using the Fusion of Different Algorithms and Multi-Criteria Decision-Making Methods

Sanaz Negahbani: Phd Graduated, Department of Geomatics Faculty of Civil and Transportation Engineering University of Isfahan, Iran.

Mehdi Momeni*: Associate Professor, Department of Geomatics Faculty of Civil and Transportation Engineering University of Isfahan, Iran.

Mina Moradzadeh: Assistant Professor, Department of Geomatics Faculty of Civil and Transportation Engineering University of Isfahan, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 2023/05/14

Accepted: 2023/08/19

PP: 63-78

Use your device to scan and
read the article online



Keywords:

LST; Remote sensing;
LANDSAT; TOSIS;
SAW; Fusion.

Abstract

Land surface temperature (LST) is one of the important criteria in applications, and its accurate time and place monitoring is considered essential for environmental studies and management as well as planning. Considering the limitations that exist in meteorological stations to determine this necessary parameter, with the help of different algorithms and sensors containing thermal infrared bands, this parameter can be determined on a wide scale. The accuracy of different algorithms for determining the LST using remote sensing images varies in different regions, using different sensors, and so far, no specific algorithm with high accuracy has been considered for all regions. In this article, the aim is to determine the temperature of the LST by using Single channel, Split window, Planck, Mono Window and RTE algorithms, as well as using the fusion method of LST determination algorithms in a weighted and simple way. In the weighted method, the weight of each method is determined with the help of TOPSIS and SAW multi-criteria decision-making algorithms. At the same time as the Landsat 8 satellite passes through the study area, the LST is taken for 25 points. To evaluate the performance of the proposed method of fusion of the LST determination algorithms, the root mean square error (RMSE) statistical criterion is used to make a comparison between the ground measurements and the values calculated by the algorithms. The results show that the algorithm fusion method, where the coefficient of each algorithm is calculated using the TOPSIS multi-criteria decision-making method, has the highest accuracy (RMSE=0.5520K). By using this combined algorithm, more weight is given to more accurate methods. Among the five algorithms separately, the single-channel algorithm has the best accuracy (RMSE=0.56230K) and the single-window algorithm has the lowest accuracy (RMSE=1.00460K).

Citation: Negahbani, S., Momeni, M., Moradzadeh, M. (2024): **Determining LST in Remote Sensing Images and Increasing its Accuracy Using the Fusion of Different Algorithms and Multi-Criteria Decision-Making Methods**, Journal of Regional Planning, Vol 13, No 52, PP:63-78.

DOI: 10.30495/JZPM.2023.31896.4230

DOR:

* **Corresponding author:** Mehdi Momeni, **Email:** momeni.mehdi@gmail.com, **Tel:** +989133058177

Extended Abstract

Introduction

Land surface temperature (LST) is an important parameter related to surface energy; as a result, researchers intend to find an accurate Algorithm to estimate it. In addition, researchers in recent decades have used various methods to determine LST, including the methods of Split window algorithm, Single channel algorithm, Mono window algorithm, Radiative transfer equation and Planck equation and etc. The performance of these methods is different when compared to each other. While Radiative transfer equation and Single channel algorithm are more sensitive to atmospheric water vapor content than Mono window algorithm and Split window algorithm especially in hot and humid conditions, Split window algorithm has the highest sensitivity to Land surface emissivity and does not require accurate atmospheric profiles. On the other hand, high quality atmospheric transmission/radiation is required in accurate determination of LST using Single channel algorithm and is not required in Mono window algorithm. Satellite-based LST retrieval is still a challenging process due to the great variability of the Earth surfaces and a priori knowledge about input parameters such as the atmospheric transmittance, LSE, the meteorological conditions, and the sensor specifications are necessary. Data fusion methods can be used to take advantage of multiple data. In this method, fused data will be produced in which more comprehensive information can be obtained. This study focuses on developing two reliable multi-criteria decision analysis method to LST determination, based on the weighted average of several LST determination approaches called TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) and SAW (Simple Additive Weighting) methods. The main idea of these techniques, the preferred alternative which is the closest to the positive ideal solution and the farthest to the negative ideal solution. During 2019, data collection experiments were performed on the Iranian plateau in semi-arid region of Marvdasht (N 29°49'0.26" _29°50'44.5", E 52°42'51" _52°46'14") located in Fars province. On November 13, 2019, coinciding with the passage of the Landsat8 satellite through the region, the surface temperature of 25 points was measured by a mercury thermometer and the position of those lands was recorded by a manual GPS devise. These points were used in this research to determine the RMSE of different methods of LST retrieval. In this study, an attempt has been made to estimate the LST, by using Landsat-8 TIRS, OLI satellite data.

Methodology

Different algorithms have been defined to determine LST. Each of these algorithms has advantages and disadvantages, and one method is not considered as the most accurate algorithm for determining LST in all regions. Therefore, in this article, in addition to the five methods of LST determination, simple average and weighted average methods are also used. The weight of each method in the weighted average has been calculated using multi criteria decision making TOPSIS and SAW methods.

Results and Discussion

In this research, several methods in LST determination have been used. Due to the calculation of RMSE in the desired area, the most accurate algorithm among these algorithms is Single channel algorithm. The amount of RMSE in the Weighted mean method by TOPSIS approach has the lowest number of 0.552oK which is more accurate than the most precise methods in this region and image (Single channel algorithm). The least accurate method of retrieval of the LST in this region is Mono window algorithm, and the Weighted mean method by TOPSIS approach is 0.450oK more accurate than this method. By using the weighted mean, more weight is granted to the less-error methods.

Conclusion

Estimation of LST is an important topic of research. Because, these days, global climate is changing fast. Therefore, it is vital to investigate ways to predict change in LST change. In the study area, among the 5 algorithms of determining LST, Single channel algorithm has the most accuracy, and the weighted average method, which calculates the weight of the methods or the use of TOPSIS method, has the most accuracy. In a weighted mean methods, the weight of each method is calculated by using the TOPSIS & SAW methods and entering the RMSE of different LST determination algorithms (results of comparing

the output of each algorithm with ground measurements) and simple mean is obtained from the average of the methods.



فصلنامه علمی برنامه ریزی منطقه‌ای

دوره ۱۳، شماره ۵۲، زمستان ۱۴۰۲
شاپا چاپی: ۶۷۳۵-۲۲۵۱ - شاپا الکترونیکی: ۷۰۵۱-۲۴۲۳
<https://jzpm.marvdasht.iau.ir/>



مقاله پژوهشی

تعیین LST در تصاویر سنجنش از دور و افزایش دقت آن با استفاده از ادغام الگوریتم‌های مختلف و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

ساناز نگهبانی: دانش‌آموخته دکتری گروه عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
مهدی مومنی*: دانشیار گروه عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
مینا مرادی زاده: استادیار گروه عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

دمای سطح زمین (LST) یکی از معیارهای مهم در برنامه‌های کاربردی است و پایش دقیق زمانی و مکانی آن جهت مطالعات محیطی و مدیریت و برنامه‌ریزی امری ضروری محسوب می‌شود. با توجه به محدودیت‌هایی که در ایستگاه‌های هواشناسی برای تعیین این پارامتر ضروری وجود دارد، به کمک الگوریتم‌های مختلف و به کمک سنجنده‌های حاوی باندهای مادون قرمز حرارتی، می‌توان این پارامتر را در سطح گسترده‌ای تعیین کرد. دقت الگوریتم‌های مختلف تعیین دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر سنجنش از دور، در مناطق مختلف و با استفاده از سنجنده‌های مختلف تغییر می‌کند و تاکنون الگوریتم مشخصی با دقت بالا برای تمام مناطق در نظر گرفته نشده است. در این مقاله هدف تعیین دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم‌های تک کاناله، پنجره مجزا، پلانک، تک پنجره و معادله انتقال تابشی و همچنین استفاده از روش ادغام الگوریتم‌های تعیین LST به صورت وزن دار و ساده است. در روش وزن دار، وزن هر روش به کمک الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS و SAW مشخص شده است. همزمان با عبور ماهواره لندست ۸ از منطقه مورد مطالعه، دمای سطح زمین برای ۲۵ نقطه برداشت شده است. برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی ادغام الگوریتم‌های تعیین LST، از معیار آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شده است تا مقایسه‌ای بین برداشت‌های زمینی و مقادیر محاسبه شده به وسیله الگوریتم‌ها انجام شود. نتایج نشان می‌دهد روش ادغام الگوریتم‌ها که ضریب هر الگوریتم با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS محاسبه شده است دارای بیشترین دقت است ($RMSE = 0.552^{\circ}K$). با استفاده از این الگوریتم ترکیبی، به روش‌های دارای دقت بیشتر وزن بیشتری تعلق می‌گیرد. از بین پنج الگوریتم به طور مجزا، الگوریتم تک کاناله دارای بیشترین دقت ($RMSE = 0.5623^{\circ}K$) است و الگوریتم تک پنجره دارای کمترین دقت می‌باشد ($RMSE = 1.0046^{\circ}K$).

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸
شماره صفحات: ۶۳-۷۸

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



واژه‌های کلیدی:

دمای سطح زمین، سنجنش از دور، لندست، TOPSIS، SAW، ادغام..

استناد نگهبانی، ساناز؛ مومنی، مهدی؛ مرادی زاده، مینا. (۱۴۰۲). تعیین LST در تصاویر سنجنش از دور و افزایش دقت آن با استفاده از ادغام الگوریتم‌های مختلف و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۱۳، شماره ۵۲، مردودشت: صص ۶۳-۷۸.

DOI: 10.30495/JZPM.2023.31896.4230

DOR:

* نویسنده مسئول: مهدی مومنی، پست الکترونیکی: momeni.mehdi@gmail.com، تلفن: ۰۹۱۳۳۰۵۸۱۷۷

مقدمه

دمای سطح زمین از شاخص‌های اصلی تعادل انرژی کره زمین و تاثیرگذار در حیات انسان‌هاست، زیرا تمامی فعالیت‌های بشری به طور مستقیم و غیر مستقیم به دمای هوا که متاثر از دمای سطح زمین است ارتباط دارد (Zhang & Wang, 2006; A.Schultz et al., 2020). این پارامتر یکی از معیارهای مهم در برنامه‌های کاربردی محیط زیست، کشاورزی، هواشناسی، اقلیم‌شناسی و غیره است و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از خصوصیات فیزیکی سطح زمین و هوای اطراف آن را مهیا کند (Isaya Ndossi & Avdan, 2016; Li et al., 2023). دمای سطح زمین جزء پارامترهایی است که در مقیاس مکانی و زمانی تغییر می‌کند. این تغییرات زیاد باعث می‌شود که برداشت‌های نقطه‌ای و زمینی کارایی لازم را نداشته باشند. با طراحی و پرتاب ماهواره‌های سنجش از دور دارای باندهای مادون قرمز حرارتی به فضا، این امکان فراهم شد که دمای سطح زمین با دقت بالا و در مناطق وسیع تخمین زده شود. علم سنجش از دور با استفاده از تشعشع مادون قرمز حرارتی و با به کار بستن مدل‌های فیزیکی ابزار مناسبی جهت محاسبه دمای سطح زمین محسوب می‌شود (Khedmatzadeh et al., 2021). این سنجندها، انرژی حرارتی گسیل شده از زمین را دریافت و ثبت می‌کنند. تصاویر سنجش از دور به دلیل به روز بودن و دقت زیاد، ابزار مناسبی برای تهیه نقشه‌های حرارتی سطح زمین می‌باشند (Mazidi & Hoseini, 2015). سنجندهای مختلفی با قدرت تفکیک مکانی پایین مانند سنجندهای MODIS (Wang et al., 2021) NOAA، (Chekroun et al., 2023) AQUA/AMSR-E، (Zhang et al., 2020) و ماهواره‌هایی با سنجندهای دارای قدرت تفکیک مکانی متوسط مانند سری ماهواره‌های LANDSAT (Pradeep Kumar et al., 2022) و ASTER (Mallick et al., 2020) و . . . با داشتن باندهای مادون قرمز حرارتی برای تعیین دمای سطح زمین استفاده می‌شوند و همچنین الگوریتم‌های مختلفی جهت تعیین پارامتر LST طراحی شده‌اند که هر کدام با توجه به منطقه مطالعاتی و سنجنده مورد نظر و سایر شرایط دارای مزایا و معایبی هستند و نمی‌توان یک الگوریتم خاص را در همه شرایط مورد استفاده قرار داد.

برای استفاده از مزایای چند داده می‌توان از روش‌های ادغام داده‌ها استفاده کرد. در این روش داده یکپارچه‌ای تولید خواهد شد که در آن می‌توان به اطلاعات جامع‌تری دست یافت. روش‌های سنتی مختلفی به منظور ادغام داده‌های سنجش از دور وجود دارد از قبیل: روش میانگین‌گیری، انتخاب ماکزیمم و مینیمم، روش Brovey و سایر روش‌ها (Pandit et al., 2015). در پژوهش حاضر علاوه بر چند الگوریتم تعیین LST، از ادغام این الگوریتم‌ها به روش میانگین ساده و ترکیب وزن‌دار این الگوریتم‌ها نیز استفاده شده است. در روش وزن‌دار، وزن هر الگوریتم با توجه به دقت آن الگوریتم در منطقه مطالعاتی و به کمک الگوریتم‌های چند معیاره Topsis و SAW حاصل شده است. هدف از تحقیق پیش رو بررسی دقت چند الگوریتم در تعیین LST با استفاده از تصاویر سنجش از دور در منطقه مطالعاتی می‌باشد. همچنین استفاده از ادغام این الگوریتم‌ها و تعیین تغییر دقت روش‌های ترکیبی در مقایسه با هر یک از الگوریتم‌ها به صورت مجزا از اهداف این تحقیق می‌باشد. به منظور تعیین دقت هر روش، به کمک پارامتر آماری RMSE، برداشت‌های زمینی همزمان با عبور ماهواره از منطقه مطالعاتی انجام شده است و نتایج روش‌ها با این برداشت‌ها مقایسه شده‌اند.

پیشینه تحقیق و مبانی نظری

در حال حاضر الگوریتم‌های مختلفی برای تعیین دمای سطح زمین به کمک تصاویر حرارتی سنجش از دور توسعه یافته است (Xia et al., 2022; Ye et al., 2022). عمده این روش‌ها به الگوریتم‌های پنجره مجزا، روش‌های تک باندهای، الگوریتم‌های جداسازی ضریب گسیل دما و الگوریتم‌هایی که از چند کانال استفاده می‌کنند، تقسیم‌بندی می‌شوند (chen et al., 2015). هر کدام از الگوریتم‌های تعیین دمای سطح زمین دارای مزایا و معایبی هستند. از مزایای مدل‌های تک باندهای ساده آن برای تعیین LST با استفاده از سنجندهایی که تنها یک باند طیفی دارند می‌باشد و از معایب آن می‌توان نیاز به اطلاعات اولیه درباره پروفیل اتمسفری و ضریب گسیل اشاره کرد (Jiménez-Muñoz et al., 2014; Ye et al., 2022; Jiang & Lin, 2021).

در روش پنجره مجزا، دمای سطح زمین بر اساس اطلاعات دو باند حرارتی حاصل می‌شود و با این روش اثرات اتمسفری تا حد امکان کاهش می‌یابد. بنابراین عدم نیاز به پروفیل اتمسفری در این الگوریتم از مزایای آن محسوب می‌شود و از معایب آن نیاز به تعیین ضریب گسیل می‌باشد (Li, Tang et al., 2013; Dong et al., 2022; Anding & Kauth, 1970).

در روش تک پنجره، پارامترهایی مثل میزان بخار آب و قابلیت عبور اتمسفری باید محاسبه شوند (Qin et al., 2001; Huang et al., 2023).

در روش جداسازی دما و گسیلمندی چند کاناله با استفاده از سه یا چند کانال مادون قرمز حرارتی و تصحیح اثرات جوی، گسیلمندی سطحی و دمای سطح زمین برآورد می‌شوند. روش‌هایی مانند روش طبقه‌بندی، رادینانس باندها و روش گسیلمندی آلفا جزء این دسته محسوب

می‌شوند (Sobrinho et al., 2008). ساده بودن و عدم نیاز به تصحیح دقیق اتمسفری از مزایای این روش است. از معایب این روش، نیاز به توجیه دقیق هندسی باندهای مختلف و استفاده از آن فقط برای سطوح همگن را می‌توان نام برد (Li et al., 2012).

تعیین دقیق دمای سطح زمین همچنان مسئله‌ای چالش برانگیز است و در تحقیقات مختلف و در مناطق گوناگون، دقت‌های متفاوتی گزارش شده است و نمی‌توان یک روش را به عنوان روش بهینه در تمام مناطق در نظر گرفت. در ادامه به برخی از تحقیقات انجام شده در این زمینه و دقت‌های حاصل اشاره شده است.

Rozenstein و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تصاویر لندست ۸ و با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا به ارزیابی دمای تخمینی توسط باندهای حرارتی پرداختند و به دقتی حدود ۰٫۹۳ درجه کلون رسیدند.

Jiménez-Muñoz و همکاران (۲۰۱۴) دو الگوریتم پنجره مجزا و تک باند را برای محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از تصویر حرارتی لندست ۸ بکار بردند. نتایج تحقیق آنها بیانگر این مطلب است که خطای متوسط برای هر دو الگوریتم کمتر از ۱٫۵ درجه کلون است و در شرایط افزایش ظرفیت بخار آب جو، روش پنجره مجزا نتایج بهتری را ارائه می‌دهد.

Valizade و همکاران (۲۰۱۵) در مقاله‌ای، LST را با استفاده از تصاویر لندست ۸ محاسبه کردند و مقایسه‌ای بین روش‌های پنجره مجزا و روش سبال انجام دادند. نتایج نشان داد که مقدار RMSE در روش پنجره مجزا برابر ۱٫۱۷⁰C است، در حالیکه در روش سبال این مقدار به ۳٫۲۷⁰C می‌رسد و در نهایت نتیجه گرفتند که الگوریتم پنجره مجزا در منطقه انتخابی (تهران) با دقت بهتری عمل می‌کند.

Parastatidis و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی دمای سطح زمین را به کمک سنجنده‌های مادون قرمز حرارتی ماهواره‌های لندست ۵ و ۷ و ۸ به کمک الگوریتم تک کاناله محاسبه کردند. برای ارزیابی روش تخمین محصول LST، دو مجموعه محصول دمای سطح زمین حاصل از ASTER و LANDSAT با هم مقایسه شدند. در مجموع RMSE برابر ۱٫۵۲ درجه سانتیگراد محاسبه شد.

Wang و همکارانش (۲۰۱۹) برای تعیین LST به کمک تصاویر لندست ۸، سه روش تک پنجره، پنجره مجزا و تک کاناله را مقایسه کردند. نتایج نشان داد هر سه روش دقت خوبی در بازیابی LST دارند و الگوریتم پنجره مجزا کمترین حساسیت را به خطای پارامترهای ورودی دارد. Guo & Zhang (۲۰۲۲) از الگوریتم‌های تک پنجره و معادله انتقال تابشی برای تعیین LST با استفاده از تصاویر لندست ۸ استفاده کردند و نتایج را با محصول LST مودیس مقایسه کردند. نتایج نشان داد الگوریتم تک پنجره انطباق زیادی با محصول LST سنجنده مودیس دارد.

الگوریتم های تعیین LST

در این مقاله از پنج الگوریتم تعیین LST، شامل روش‌های تک کاناله، پنجره مجزا، پلانک، تک پنجره و معادله انتقال تابشی استفاده شده است. همچنین از میانگین معمولی و میانگین وزن دار این الگوریتم‌ها نیز استفاده شده است که در ادامه به توضیح این الگوریتم‌ها پرداخته شده است.

۱- الگوریتم تک کاناله: این روش بر مبنای معادله انتقال تشعشی و تقریب خطی از بسط سری تیلور معادله پلانک استوار است. در این روش دمای سطحی زمین از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Rehman et al. 2021).

$$LST = \gamma [e^{-1}(\psi_1 \times L_{sensor} + \psi_2) + \psi_3] + \delta \quad (1)$$

در رابطه ۱، ϵ توان گسیلمندی سطح زمین و i توابع اتمسفری هستند که بر روی تصاویر حرارتی اعمال می‌شوند و با روابط ۲ تا ۴ محاسبه می‌شوند. پارامترهای δ و γ در رابطه فوق به کمک روابط ۵ و ۶ محاسبه می‌شوند.

$$\psi_1 = 0.04019\omega^2 + 0.02916\omega + 1.01523 \quad (2)$$

$$\psi_2 = -0.38333\omega^2 - 1.50294\omega + 0.20324 \quad (3)$$

$$\psi_3 = 0.00918\omega^2 + 1.36072\omega - 0.27514 \quad (4)$$

$$\gamma = T_{sensor}^2 / b_\gamma \times L_{sensor} \quad (5)$$

$$\delta = T_{sensor} - T_{sensor}^2 / b_\gamma \quad (6)$$

در روابط فوق، L_{sensor} رادیانس باند حرارتی، T_{sensor} دمای تابشی باند حرارتی، ω بخار آب اتمسفر و b_γ یک عدد ثابت است.

¹ Single Channel algorithm

۲- **الگوریتم پنجره مجزا!** الگوریتم مورد استفاده در روش پنجره مجزا برای محاسبه دمای سطح زمین به کمک رابطه ۷ محاسبه می‌شود (Akter et al. 2021).

$$LST = T_i + C_1(T_i - T_j) + C_2(T_i - T_j)^2 + C_0 + (C_3 + C_4\omega)(1 - \varepsilon) + (C_5 + C_6\omega)\delta_\varepsilon \quad (7)$$

برای محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از این الگوریتم، از دو باند حرارتی برای محاسبه دمای تابشی استفاده می‌شود که در رابطه ۷ با T_i و T_j نشان داده شده است و مربوط به باندهای ۱۰ و ۱۱ تصویر لندست ۸ می‌باشند و مقادیر ε میانگین گسیلندگی دو باند حرارتی و δ_ε اختلاف گسیلندگی دو باند، با استفاده از روابط ۸ و ۹ محاسبه می‌شوند.

$$\varepsilon = 0.5(\varepsilon_i + \varepsilon_j) \quad (8)$$

$$\delta_\varepsilon = \varepsilon_i - \varepsilon_j \quad (9)$$

ω بخار آب موجود در اتمسفر و ضرایب C_0 تا C_6 ، ضرایب ثابت هستند.

۳- **روش محاسبه دمای سطح زمین بر اساس قانون پلانک:** در این روش ابتدا با استفاده از رابطه ۱۰ دمای تابشی محاسبه می‌گردد (Gong & Pu, 2012 ; Avdan & Jovanovska, 2016).

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad (10)$$

در معادله فوق، مقادیر k_1 و k_2 به ترتیب ثابت کالیبراسیون اول و دوم (Wm^{-2}) است که برای سری‌های مختلف ماهواره لندست متفاوت است و این مقادیر قابل استخراج از Header file است و L_λ (رادینانس باند حرارتی و بیانگر انرژی طیفی ثبت شده در سنجنده $[W/(m^2.Sr.\mu m)]$) به کمک رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$L_\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L - O_i \quad (11)$$

در رابطه ۱۱، Q_{cal} ارزش پیکسل (DN) تصویر خام حرارتی، A_L ضریب تبدیل جمعی، O_i تصحیحات باند حرارتی است و دمای سطح زمین به کمک رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود.

$$LST = \frac{BT}{1 + \left[\left(\frac{\lambda BT}{\rho}\right) \ln \varepsilon_\lambda\right]} \quad (12)$$

$$\rho = h \frac{c}{\sigma} = 1.438 \times 10^{-2} mK \quad (13)$$

در رابطه فوق، σ ثابت بولتزمن، h ثابت پلانک، c سرعت نور، λ طول موج باند حرارتی و ε_λ ضریب گسیلمندی هستند و ضریب گسیلمندی با استفاده از رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود.

$$\varepsilon_\lambda = \begin{cases} \varepsilon_s, & NDVI < NDVI_s \\ \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s(1 - P_v) + C, & NDVI_s < NDVI < NDVI_v \\ \varepsilon_s + C, & NDVI > NDVI_v \end{cases} \quad (14)$$

در رابطه ۱۴، ε_v ضریب گسیلمندی مناطق با پوشش گیاهی صرف، ε_s ضریب گسیلمندی مناطق خاک فاقد پوشش گیاهی، C ضریب زبری سطح و P_v نسبت پوشش گیاهی است که با استفاده از رابطه ۱۵ محاسبه می‌شود.

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s}\right)^2 \quad (15)$$

در رابطه فوق، $NDVI_v$ شاخص گیاهی مناطق با پوشش گیاهی صرف و $NDVI_s$ شاخص گیاهی مناطق خاک بدون پوشش گیاهی است.

۴- **روش محاسبه دمای سطح زمین بر اساس الگوریتم تک پنجره!** در این روش ابتدا به کمک رابطه ۱۶ اعداد راقمی^۳ به رادینانس طیفی تبدیل می‌شود.

$$L_\lambda = \frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{cal_{max}} - Q_{cal_{min}}} \times (DN - Q_{cal_{min}}) + L_{min} \quad (16)$$

برای تصاویر لندست مقادیر از Header files تصویر استخراج می‌شود. DN ، مقدار درجه خاکستری پیکسل مورد نظر و L_{min} و L_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار رادینانس طیفی برای باند حرارتی سنجنده است. سپس با استفاده از رابطه ۱۰، دمای تابشی محاسبه می‌گردد. بعد از محاسبه رادینانس و دمای تابشی، باید میزان بخار آب و قابلیت عبور اتمسفری^۴ محاسبه گردند. میزان بخار آب با استفاده از رابطه ۱۷ محاسبه می‌شود.

$$W_i = 0.0981 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp \left[\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{273.3 + (T_0 - 273.15)} \right] \times \left(\frac{RH}{100} \right) \right\} + 0.1697 \quad (17)$$

¹ Split Window Algorithm (SWA)

² Mono Window Algorithm

³ Digital Number

⁴ atmospheric transmittance

در رابطه ۱۷، W_i مقدار بخار آب (g/cm^2)، T_0 دمای هوای نزدیک سطح زمین ($^{\circ}K$) و RH^1 مقدار رطوبت نسبی است. با محاسبه میانگین دمای موثر، به کمک رابطه ۱۸ دمای سطح زمین محاسبه می‌شود (Rongali et al. 2018; Fahmy et al., 2023).

$$LST = \frac{\{a(1-C-D)+[b(1-C-D)+C+D] \times BT - (D \times T_a)\}}{C} \quad (18)$$

$$C = \varepsilon_i \times \tau_i \quad (19)$$

$$D = (1 - \tau_i) \times [1 + (\varepsilon_i \times \tau_i)] \quad (20)$$

در رابطه ۱۸، a و b ضرایب ثابت، BT درجه حرارت روشنایی در سطح سنجنده، T_a میانگین دمای موثر جو، ε_i میزان گسیلمندی و τ_i قابلیت عبور اتمسفری می‌باشد.

۵- الگوریتم معادله انتقال تابشی^۲ (RTE): معادله انتقال تابشی از جمله الگوریتم‌های ساده و پرکاربرد تعیین دمای سطح زمین به شمار می‌رود که با استفاده از رابطه ۲۱ قابل محاسبه است (Awais et al. 2022).

$$LST = \frac{k_2}{\ln \left[\frac{k_1}{L_{\lambda}(T_s)} + 1 \right]} \quad (21)$$

در رابطه فوق ضرایب k_1 و k_2 از طریق فایل متادیتا مشخص است و $L_{\lambda}(T_s)$ نشان‌دهنده رادیانس سطح در باند حرارتی است که به کمک

$$L_{\lambda}(T_s) = \frac{L_{\lambda} - L_{atm \uparrow}}{\tau \varepsilon} - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} L_{atm \downarrow} \quad (22)$$

مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره:

مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره MCDM به دو دسته عمده مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه MODM و مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه MADM تقسیم می‌شوند (Taherdoost & Madanchian (2023)). در این مقاله برای تعیین LST، علاوه بر الگوریتم‌های مختلف و میانگین ساده، از روش ترکیبی چند الگوریتم نیز استفاده شده است. در میانگین ترکیبی و برای تعیین وزن الگوریتم‌های مختلف تخمین LST، از روش مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده شده است که در ادامه به طور مختصر توضیح داده می‌شوند. برای این منظور به روش‌هایی که دارای دقت بیشتر (RMSE کمتر) هستند، وزن بیشتری تعلق می‌گیرد.

۱- روش TOPSIS در تعیین وزن الگوریتم‌های تعیین LST: در این روش تصمیم‌گیری، تعدادی گزینه و تعدادی معیار وجود دارد که با توجه به معیارها، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند و یا اینکه به هر یک از آنها نمره کارایی اختصاص داده می‌شود. معیار محاسبه نمرات در این روش این است که گزینه‌ها تا حد امکان به گزینه ایده‌آل مثبت نزدیک و از گزینه ایده‌آل منفی دور باشند. بر این اساس یک نمره برای هر گزینه محاسبه می‌شود و گزینه‌ها مطابق این نمرات رتبه‌بندی می‌شوند (Uzun et al., 2021). در این مقاله معیار تعیین وزن الگوریتم‌های مختلف تعیین LST، میزان RMSE هر یک از الگوریتم‌ها است به گونه‌ای که به روش‌های با دقت بالاتر، وزن بیشتری تعلق می‌گیرد.

۲- روش SAW در تعیین وزن الگوریتم‌های تعیین LST: این تکنیک از ساده‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که در سال ۱۹۸۱ ارائه شده است و هدفش رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. در این روش ابتدا ماتریس تصمیم را تشکیل داده و بعد از نرمال‌سازی و وزن‌دار کردن، رتبه نهایی محاسبه می‌شود. در این تکنیک از یک تابع افزایش خطی برای نمایش ترجیحات تصمیم‌گیرندگان استفاده می‌شود. بعد از بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم، با استفاده از ضرایب وزنی معیارها، ماتریس تصمیم بی‌مقیاس وزن دار به دست آمده و با توجه به این ماتریس، امتیاز هر گزینه محاسبه می‌شود (Djordjevic et al., 2022).

مواد و روشی تحقیق

داده‌های برداشت شده در محل

در تاریخ ۱۳ نوامبر ۲۰۱۹، همزمان با عبور ماهواره لندست از منطقه، دمای سطح زمین برای ۲۵ نقطه با استفاده از یک دماسنج جیوه‌ای کالیبره شده اندازه‌گیری شد و موقعیت زمینی این نقاط با استفاده از یک دستگاه GPS دستی برداشت شد. این نقاط جهت تعیین RMSE روش‌های مختلف تعیین LST در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. موقعیت نقاط برداشت شده در نرم‌افزار google earth در شکل ۱ نشان داده شده است.

¹ Relative Humidity

² Radiative Transfer Equation (RTE)



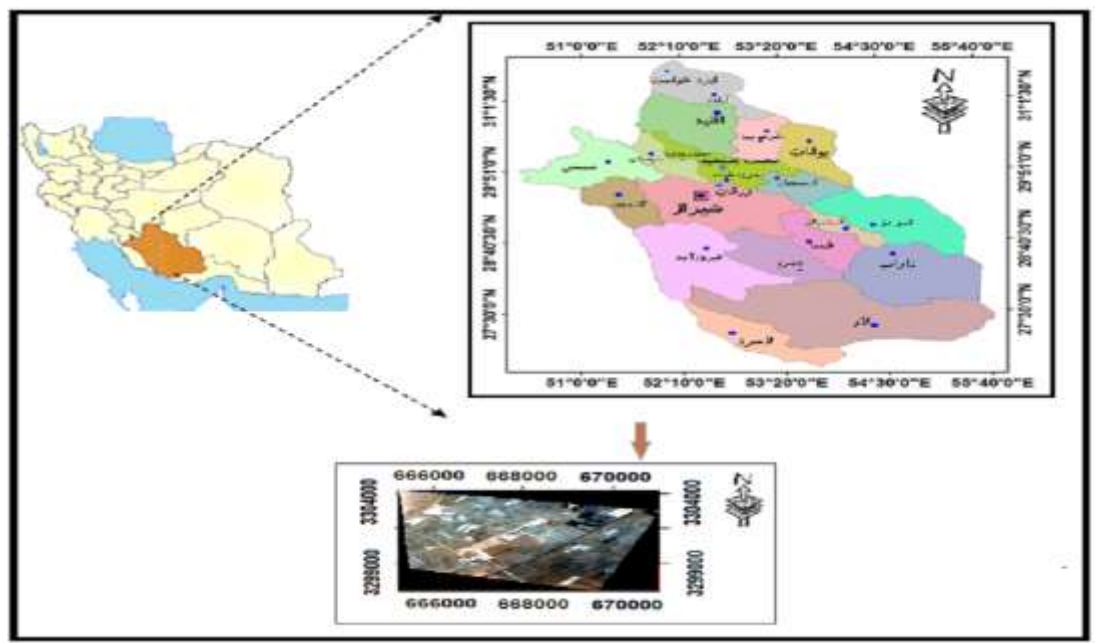
شکل ۱- موقعیت نقاط برداشت زمینی LST در نرم افزار google eart، منبع: یافته‌های پژوهش

داده‌های ماهواره‌ای

در این تحقیق از داده‌های ماهواره لندست ۸ استفاده شده است. ماهواره لندست ۸ در فوریه ۲۰۱۳ پرتاب شد. این ماهواره دارای دو سنجنده OLI و TIRS می‌باشد. مشاهدات سطح زمین با استفاده از این سنجنده‌ها در ۱۱ باند طیفی مختلف انجام می‌گیرد. سنجنده OLI در ۹ باند طیفی در محدوده مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه طراحی شده است. باند پانکروماتیک آن دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر و بقیه باندها دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر است. سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ از نوع سنجنده‌های حرارتی است. این سنجنده در محدوده طول موج مادون قرمز حرارتی در دو باند طیفی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر طراحی شده است (United States Geological Survey (USGS), 2016). داده‌های سطح اول این ماهواره از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov/> با سیستم مختصات UTM-WGS84 قابل دانلود است.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی که برای تعیین LST با استفاده از ۵ الگوریتم و میانگین ساده و وزن‌دار این الگوریتم‌ها در نظر گرفته شده است، در جنوب شهرستان مرودشت واقع شده است. این منطقه در محدوده جغرافیایی $29^{\circ}49'0.26''\text{N}$ - $29^{\circ}50'44.5''\text{N}$ ، $52^{\circ}42'51''\text{E}$ - $52^{\circ}46'14''\text{E}$ قرار دارد. منطقه مطالعاتی دارای آب و هوای نیمه خشک با میانگین بارش حدود ۱۸۰ میلی‌متر و میانگین دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد است (Mardani et al., 2023). شکل ۲ برشی از تصویر ماهواره‌ای موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران و استان فارس را نشان می‌دهد. این منطقه مساحت حدود ۲۲,۰۶ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد.



شکل ۲- موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران و استان فارس

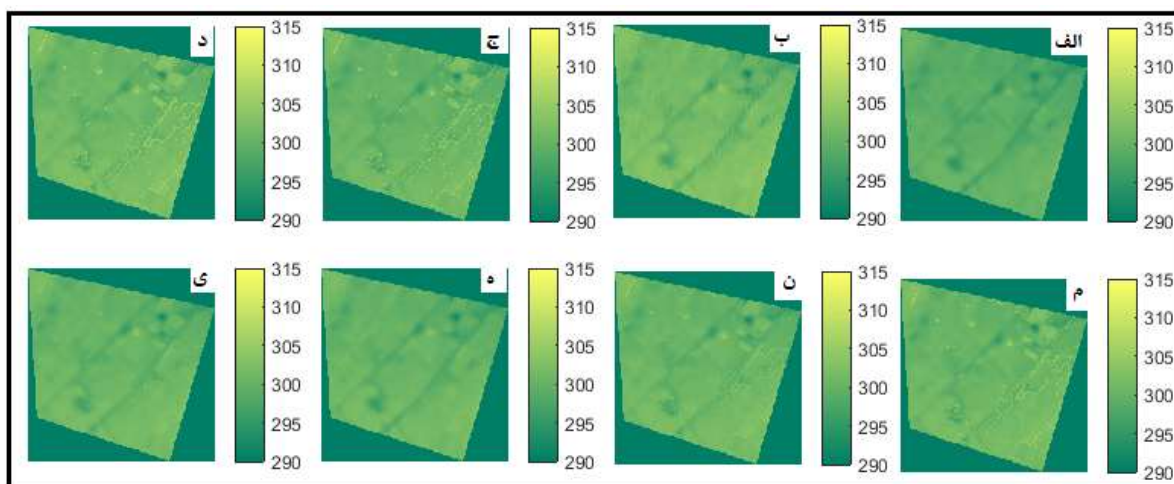
بحث و یافته‌های تحقیق

نتایج بازیابی LST

همانطور که توضیح داده شد، در این مقاله از ۵ الگوریتم برای تعیین LST در منطقه مطالعاتی استفاده شده است. همچنین ادغام آنها به صورت میانگین ساده و وزن دار نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در میانگین وزن دار، از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (روش Topsis و روش SAW استفاده شده است). در تحقیق پیش رو از نرم‌افزار QGIS برای تعیین LST با استفاده از روش پلانک و معادله انتقال تابشی استفاده شده است و تعیین LST در بقیه روش‌ها با استفاده از کد نویسی انجام شده است. در حالت استفاده از میانگین وزن دار، از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOSIS و SAW استفاده شد و برای تعیین وزن هر الگوریتم در این دو روش از نرم‌افزار تصمیم‌گیری چند شاخصه MADM Softwares استفاده شده است.

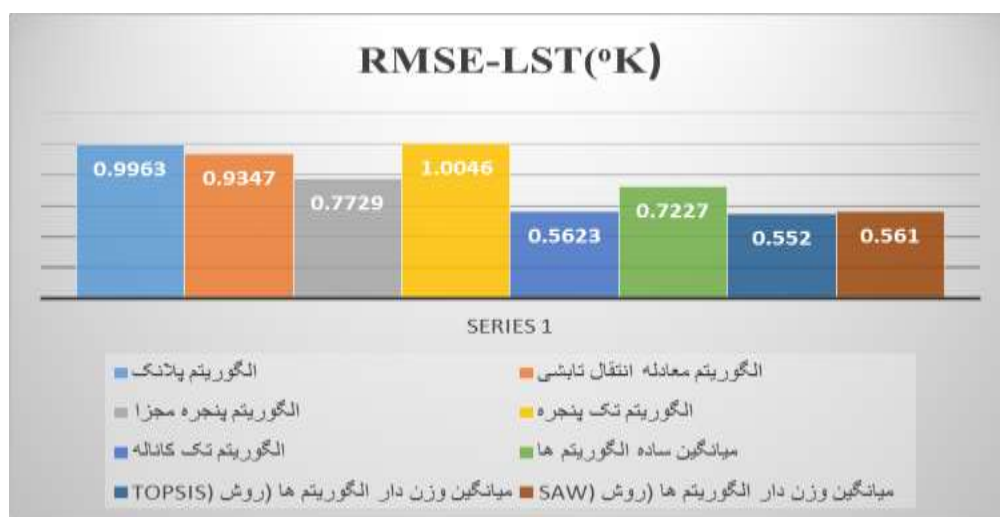
خروجی LST منطقه مطالعاتی با استفاده از روش‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. دمای سطح زمین در این تصاویر، میانگین دمای پیکسلی است که پوشش دهنده بخشی از سطح زمین است. همانگونه که در این شکل دیده می‌شود، تمام الگوریتم‌های مورد استفاده از نظر بصری به یکدیگر شباهت دارند و تفاوت‌های جزئی بین خروجی این روش‌ها به دلیل تفاوت در عملکرد و دقت هر الگوریتم می‌باشد. اما برای تعیین دقت کمی هر روش باید از شاخص‌های آماری استفاده شود و مقایسه دقیق هر روش با برداشت‌های زمینی LST انجام شود. در این پژوهش، نتایج هر روش با برداشت‌های زمینی مقایسه شده‌اند و میزان RMSE الگوریتم‌ها با استفاده از رابطه ۲۳ حاصل شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (LST_i - LST)^2}{N}} \quad (23)$$



شکل ۳- LST محاسبه شده به کمک الگوریتم‌های مختلف در منطقه مطالعاتی: الف- الگوریتم تک کاناله، ب- الگوریتم پنجره مجزا، ج- الگوریتم معادله پلانک، د- الگوریتم تک پنجره، م- الگوریتم معادله انتقال تابشی، ن- میانگین ساده الگوریتم‌ها، ه- میانگین وزن دار با استفاده از روش Topsis، ی- میانگین وزن دار با استفاده از روش SAW (منبع: یافته‌های پژوهش)

نمودار شکل ۴ نتایج RMSE روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این نمودار نشان می‌دهد استفاده از روش‌های وزن دار الگوریتم‌های انتخابی در منطقه مطالعاتی دارای بیشترین دقت هستند و از بین دو روش وزن دار، روشی که وزن آنها با استفاده از مدل Topsis حاصل شده است، دارای دقت بیشتری است ($RMSE = 0.552^{\circ}K$) و نسبت به کم دقت‌ترین روش مجزا که الگوریتم تک پنجره است، حدود $0.45^{\circ}K$ دقیق‌تر است. این روش ترکیبی حتی نسبت به دقیق‌ترین الگوریتم به صورت مجزا در منطقه مورد نظر (الگوریتم تک کاناله) نیز دقت بالاتری دارد. با استفاده از این روش ترکیبی، به الگوریتم‌های دارای دقت بالاتر وزن بیشتری داده شده است و از مزایای هر پنج الگوریتم تعیین LST استفاده شده است. بعد از این روش، استفاده از ترکیب وزن دار الگوریتم‌ها که وزن آنها به کمک روش SAW حاصل شده است، دارای دقت بالاتری می‌باشد ($RMSE = 0.561^{\circ}K$). این روش تقریباً دقتی شبیه به روش Topsis دارد چون در هر دو روش به الگوریتم‌های دقیق‌تر وزن بیشتری تعلق می‌گیرد. بعد از این دو روش ترکیبی وزن دار، به ترتیب الگوریتم تک کاناله، میانگین ساده الگوریتم‌ها، الگوریتم پنجره مجزا، معادله انتقال تابشی و الگوریتم پلانک دارای دقت‌های بالاتری هستند و کم دقت‌ترین روش در این منطقه و تصویر انتخابی، الگوریتم تک پنجره با $RMSE = 1.046^{\circ}K$ می‌باشد.



شکل ۴- RMSE حاصل از روش‌های مختلف تعیین LST و میانگین ساده و میانگین وزن دار این روش‌ها به کمک روش Topsis و SAW (منبع: یافته‌های پژوهش)

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

با تغییر منطقه مطالعاتی و با استفاده از تصاویر سنجنده‌های مختلف سنجنش از دور که دارای باندهای مادون قرمز حرارتی هستند، دقت‌های متفاوتی برای الگوریتم‌های تعیین LST حاصل شده است و انتخاب یک الگوریتم خاص پیشنهاد نشده است و تعیین دمای سطح زمین و پایش تغییرات زمانی و مکانی آن هنوز مسئله‌ای چالش برانگیز است. هر یک از این الگوریتم‌ها دارای مزایا و معایبی هستند که با استفاده ترکیبی از این الگوریتم‌ها، می‌توان از مزایای تمام روش‌های استفاده شده بهره برد. در جدول ۱ به تعدادی از پژوهش‌های انجام شده در زمینه تعیین LST و دقت‌های محاسبه شده به کمک الگوریتم‌های مختلف و در تحقیقات مختلف اشاره شده است. نتایج در منطقه مطالعاتی و مقایسه آن با برداشت‌های زمینی، نشان‌دهنده دقت بالای الگوریتم‌های مورد استفاده در این مقاله است به خصوص دقت الگوریتم‌های ترکیبی که وزن هر الگوریتم با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره حاصل شده است. در پژوهش انجام شده نتایج تعیین LST با استفاده از روش ترکیبی، با دقت ۰.۵۵۲-۰.۵۶۱ درجه کلین حاصل شده است که دقت بالاتری نسبت به هر یک از الگوریتم‌های استفاده شده به صورت مجزا دارد و نشان‌دهنده عملکرد خوب روش‌های ترکیبی پیشنهاد شده می‌باشد. از طرفی در اغلب تحقیقات انجام شده در زمینه تخمین LST، نتایج با داده‌های ایستگاه هواشناسی که به صورت نقطه‌ای و در نقاط محدودی در نظر گرفته شده است، مقایسه می‌شود. با توجه به تغییرات مکانی دمای سطح زمین، نتایج این مقایسه دارای دقت زیادی نیست. برای همین منظور در این تحقیق برداشت‌های زمینی با رعایت پروتکل‌های برداشت LST (Negahbani, 2023) انجام شده است و منطقه مطالعاتی نیز اطراف برداشت‌های زمین در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- مقایسه دقت تعیین LST به کمک الگوریتم‌های مختلف در چند پژوهش

| مرجع | RMSE(°K) | روش مورد استفاده | داده مورد استفاده |
|------------------------------|-----------|---|----------------------|
| Li et al., 2020 | ۰.۸۳-۲.۲۹ | پنجره مجزا | Geo |
| Duan et al., 2019 | ۱.۱-۲.۱ | تک کاناله | Landsat 8 |
| Kumari et al., 2018 | ۰.۷۱ | تک پنجره | Landsat 5,7,8 |
| Ndossi 7 Avdan (2016) | ۱.۵۸-۲.۶۴ | پلانک و معادله انتقال تابشی | Landsat 5 |
| Liu et al., 2021 | ۱ | پنجره مجزا | SDG-1 |
| Parastatidis et al, 2017 | ۱.۵۲ | تک کاناله | ASTER, Landsat 5,7,8 |
| Sekertekin & Bonafoni (2020) | ۲.۳۹ | معادله انتقال تابشی، تک کاناله و تک پنجره | Landsat 5,7,8 |

تجزیه و تحلیل مقادیر LST با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر (قدرت تفکیک مکانی لندست) در منطقه مورد مطالعه، جزئیات تغییرات مکانی و زمانی را نشان می‌دهد و پتانسیل خوبی برای بسیاری از کاربردها از جمله پایش تغییرات دمای سطح زمین، مطالعه رطوبت خاک، مطالعات خشکسالی و برنامه‌ریزی و مدیریت در مقیاس محلی را نشان می‌دهد. بنابراین روش ترکیبی پیشنهاد شده بطور موثری قادر خواهد بود ادغام LST را برای روش‌های مختلف تعیین LST انجام دهد و نتایجی با دقت بالاتر نسبت به الگوریتم‌های رایجی که در حال حاضر استفاده می‌شود در برخواهد داشت. در مطالعات بعدی سری زمانی تغییرات دمای سطح زمین در چند دهه در منطقه مطالعاتی با استفاده روش پیشنهادی بررسی خواهد شد.

پیشنهاد می‌شود استفاده از الگوریتم‌های ادغام پیشنهادی برای چند منطقه دیگر و با استفاده از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مورد بررسی قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود تغییرات کاربری سطح زمین و تغییرات دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در یک بازه زمانی محاسبه شوند و مقایسه‌ای بین تغییرات دمایی در مناطق بدون تغییر کاربری و مناطق دارای تغییر کاربری انجام شود. همچنین ادغام LST محاسبه شده با استفاده از سنجنده‌های دارای قدرت تفکیک مکانی متفاوت به منظور دستیابی به افزایش قدرت تفکیک مکانی و زمانی به طور همزمان پیشنهاد می‌شود.

ملاحظات اخلاقی:

تعارض منافع: بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

- 1-Akter, T., Gazi, M-Y., Mia, M-B. (2021). Assessment of Land Cover Dynamics, Land Surface Temperature, and Heat Island Growth in Northwestern Bangladesh Using Satellite Imagery, *Environmental Processes*, 8, 661-690.
- 2-Anding, D. and Kauth, R. (1970). Estimation of sea surface temperature from space. *Remote Sensing of Environment*, (1), 217-220.
- 3-Avdan, U. and Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT8 Satellite Data, *Journal of Sensors*, 1-9, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1480307>.
- 4-Awais, M., Li, W., Hussain, S., Masud Cheema, M.J., Cheema, M., Li, W., Song, R., Liu, C. (2022). Comparative Evaluation of Land Surface Temperature Images from Unmanned Aerial Vehicle and Satellite Observation for Agricultural Areas Using In Situ. *Data Agriculture*, 12(2), 184. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020184>.
- 5-A.Schultz, J., Hartmann, M., Heinemann, S., Janke, J., Jürgens, C., Oertel, D., Rucker, G., Thonfeld, F., Reinow, A. (2020). DIEGO: A Multispectral Thermal Mission for Earth Observation on the International Space Station. *European Journal of Remote Sensing*, 53(2), 28-38, <https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1698318>.
- 6-Chekroun, N., Raissouni, N., Lahraoua, M., Rhziel, F-Z., Makhloufi, A-E. (2023). THE APPRAISAL OF NOAA SATELLITES LST-SW ALGORITHMS: NOAA-20 (JPSS-1) PROPOSAL. *Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)*, 14(2), 370-377, DOI:10.21817/indjcse/2023/v14i1/231402098.
- 7-Chen, F., Yang, S., Su, Z., He, B. (2015). A new single-channel method for estimating land surface temperature based on the image inherent information: The HJ-1B case. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 101, 80-88.
- 8-Djordjevic, Z., Jovanovic, S., Kostic, S., Talic-Cikmis, A., Nikolic, D. (2022). MCDM Approach in Choosing the Optimal Composite Shaft Material—Application of SAW Method. *Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering*. 323-330. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-88465-930>.
- 9-Dong, B., Dong, S., Wang, Y., Wen, F., Yu, C., Zhou, J., Song, R. (2022). Detecting Geothermal Resources in a Plateau Area: Constraints from Land Surface Temperature Characteristics Using Landsat 8 Data. *Frontiers in Earth Science*, 10, 1-13, doi: 10.3389/feart.2022.785900.
- 10-Duan, S-B., Li, Z-L., Wang, C., Zhang, S., Tang, B-H., Leng, P., Gao, M-F. (2019). Land-surface temperature retrieval from Landsat 8 single-channel thermal infrared data in combination with NCEP reanalysis data and ASTER GED product. *International Journal of Remote sensing*, 40 (5-

- 6), 1763-1778, Fifth International Symposium on Recent Advances in Quantitative Remote Sensing (RAQRS).
- 11-Fahmy, A-H., Abdelfatah, M-A., El-Fiky, G. (2023). Investigating land use land cover changes and their effects on land surface temperature and urban heat islands in Sharqiyah Governorate, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 26, 293-306.
- 12-Gong, P. and Pu, R. (2012). Retrieval of Land Surface Temperature from Remote Sensing Thermal Images. *Berkeley, USA: University of California*.
- 13-Huang, W., Jiao, J., Zhao, L., Hu, Z., Peng, X., Yang, L., Li, X., Chen, F. (2023). Thermal Discharge Temperature Retrieval and Monitoring of NPPs Based on SDGSAT-1 Images. *Remote Sensing*, 15 (9), 10.3390/rs15092298. Guo, Y., Zhang, C. (2022), Analysis of Driving Force and Driving Mechanism of the Spatial Change of LST Based on Landsat 8. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50, 1787-1801.
- 14-Isaya Ndossi, M. and Avdan, U. (2016). Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: a PyQGIS plugin. *Remote sensing*, 8(5):413. doi:https://doi.org/10.3390/rs8050413.
- 15-Jiang, Y., Lin, W. (2021). A Comparative Analysis of Retrieval Algorithms of Land Surface Temperature from Landsat-8 Data: A Case Study of Shanghai, China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 5659. https://doi.org/10.3390/ijerph18115659.
- 16-Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Skoković, D., Mattar, C., Cristóbal, J. (2014). Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10): 1840-1843. DOI: 10.1109/LGRS.2014.2312032.
- 17-Khedmatzadeh, A., Mousavi, M-N., Mohamadi Torkamani, H., Mohammadi, M-S. (2021). An Analysis of Land Use Changes and Thermal Island Formation in Urmia City exclusion Using Remote Sensing, *Journal of Regional Planning*, 11(41), 119- 134.
- 18-Kumari, B., Tayyab, M., Salman, S., Mallick, J., Firoz khan, M., Rahman, A. (2018). Satellite-Driven Land Surface Temperature (LST) Using Landsat 5, 7 (TM/ETM+ SLC) and Landsat 8 (OLI/TIRS) Data and Its Association with Built-Up and Green Cover Over Urban Delhi, India. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 1, 63-78.
- 19-Li, R., Li, H., Sun, L., Yang, Y., Hu, T., Bian, Z., Cao, B., Du, Y., Liu, Q. (2020). An Operational Split-Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Geostationary Satellite Data: A Case Study on Himawari-8 AHI Data. *Remote sens*, 12(16), 1-24, https://doi.org/10.3390/rs12162613.
- 20-Li, Z.L., Tang, B.H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., F.Trigo, L., Sobrino, J.A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131, 14-37.
- 21-Li, Z.L., Wu, H., Wang, N., Qiu, S., Sobrino, J.A., Wan, Z., Tang, B.H., Yan, G. (2012). Land surface emissivity retrieval from satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(9-10), 3084-3127. https://doi.org/10.1080/01431161.2012.716540.
- 22-Li, Z-L., Wu, H., Duan, S-B., Zhao, W., Ren, H., Liu, X., Leng, P., Tang, R., Ye, X., Zhu, J., Sun, Y., Si, M., Liu, M., Li, J., Zhang, X., Shang, G., Tang, B-H., Yan, G., Zhou, C. (2023). Satellite Remote Sensing of Global Land Surface Temperature: Definition, Methods, Products, and Applications. *Reviews of Geophysics*, 61(1), 1-77, https:// doi.org/10.1029/2022RG000777.
- 23-Liu, W., Li, J., Zhang, Y., Zhao, L., Cheng, Q. (2021). Preflight Radiometric Calibration of TIS Sensor Onboard SDG-1 Satellite and Estimation of Its LST Retrieval Ability. *Remote Sensing*, 13(16), https://doi.org/10.3390/rs13163242.
- 24-Mallick, J., Bindajam, A-A., Alqadhi, S., Ahmed, M., Thi-Hang, H., Viet-Thanh, N. (2020). A comparison of four land surface temperature retrieval method using TERRA-ASTER satellite images in the semi-arid region of Saudi Arabia. *Geocarto International*, 37(6), 1757-1781.
- 25-Mardani, R., Montaseri, H., Fazeli, M., & Khalili, R. (2023). Spatio-temporal variation of meteorological drought and its relation with temperature and vegetation condition indices using remote sensing and satellite imagery in Marvdasht city. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(3), 72-89. DOI:10.22098/mmws.2022.11541.1140.
- 26-Mazidi, A., Hoseini, F-A. (2015). Effects of Changing Land Use and Land Cover on the Heat Island in Urban Area of Yazd Using Remote Sensing Data, *Geography and Development*, 13(38), 1-12.

- 27-Nanda Ginting, S.H., Wayahdi, M.R., Syahputra, D.(2020). Implementation of simple additive weighting (SAW) algorithm in decision support system for determining working area for cooperative, *InNFOKUM*, 9 (1), 1-10.
- 28- Ndossi, M. L., Avdan, U. (2016). Application of Open Source Coding Technologies in the Production of Land Surface Temperature (LST) Maps from Landsat: A PyQGIS Plugin. *Remote sensing*, 8(5), 1-31, doi: 10.3390/rs8050413.
- 29-Negahbani, S. (2023). Improvement of spatial and temporal resolution of soil moisture data based on the fusion of visible and Thermal infrared data of MODIS and TIRS sensors, PhD Thesis, Faculty of Civil and Transportation Engineering Department of Geomatics, University of Isfahan, 53-54.
- 30-Pandit, V., Bhiwani, R.J. (2015), Image Fusion Remote Sensing Applications: A Review, *International Journal of Computer Applications*, 120 (10), 22-32. DOI: 10.5120/21263-3846.
- 31-Parastatidis, D., Mitrika, Z., Chrysoulakis, n., Abrams, M.I. (2017). Online Global Land Surface Temperature Estimation from Landsat, *Remote Sens*, 9 (12), 1-16, doi: 10.3390/rs9121208.
- 32-Pradeep Kumar, B., Raghu Babu, K., Anusha, B.N., Rajasekhar, M. (2022). Geo-environmental monitoring and assessment of land degradation and desertification in the semi-arid regions using Landsat 8 OLI / TIRS, LST, and NDVI approach. *Environmental Challenges*, 8, 100578, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100578>.
- 33-Qin, Z., Karnieli, A., Berliner, P. (2001). A Mono-Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM data and its Application to the Israel-Egypt Border Region, *International Journal of Remote Sensing*, 22(18), 3719-3746, DOI:10.1080/01431160010006971.
- 34-Rehman, A.U, Ullah, S., Liu, Q., Khan, M.S. (2021). Comparing different space-borne sensors and methods for the retrieval of land surface temperature, *Earth Science Informatics* 14, 985–995.
- 35-Rongali, G., Keshari, A.K., K.Gosian, A., Khosa, R. (2018). A Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Estimation from Landsat 8 Thermal Infrared Sensor Data: A Case Study of the Beas River Basin, India, *Science & technology*, 26 (2), 829 – 840.
- 36-Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., Karnieli, A. (2014). Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, 14(4): 5768-5780.
- 37-Sekertekin, A., Bonafon, S. (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 Sens*, 12(2), 1-32, 294; <https://doi.org/10.3390/rs12020294>.
- 38-Sobrino, J.A., Jimenez-Munoz, J.C., Soria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A., Martinez, P. (2008). Land Surface Emissivity Retrieval from Different VNIR and TIR Sensors. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 46(2), 316-327. DOI: 10.1109/TGRS.2007.904834.
- 39-Taherdoost, H. & Madanchian, M. (2023). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia* , 3(1), 77-87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>.
- 40-USGS. Earth Explorer. Available online: <http://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed on 5 May 2016).
- 41-Uzun, B., Taiwo, M., Syidanova, A., Uzun-O, D. (2021) .The Technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS), *Application of Multi-Criteria Decision Analysis in Environmental and Civil Engineering*. Springer, Cham, 25-30 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-64765-0-4>.
- 42-Valizadeh Kamran, K., Pirnazar, M., FarhadiBansouleh, V. (2015). Land Surface Temperature retrieval from Landsat 8 TIRS- comparison between Split Window algorithm and SEBAL method, *Spie-The international Society for Optical Engineering*, 1-10. DOI: 10.1117/12.2192491.
- 43-Wang, D., Chen, Y., Hu, L., A.voogt, J., Gastellu-Etchegorry, J-P., Krayenhoff, E.S. (2021). Modeling the angular effect of MODIS LST in urban areas: A case study of Toulouse, France. *Remote sensing of Environment*, 257, 112361, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112361>.
- 44-Wang, R., Cai, M, Ren, Ch., Bechtel, B., Xu, Y., Ng, E. (2019). Detecting multitemporal land cover change and land surface temperature in Pearl River Delta, *Climate* (28), 1-16.
- 45-Xia, H., Chen, Y., Song, C., Li, J., Quan, J., Zhou, G. (2022). Analysis of surface urban heat islands based on local climate zones via spatiotemporally enhanced land surface temperature. *Remote sensing of Environment*, 273, 112972, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112972>.

- 46-Ye, X., Ren, H., Zhu, J., Fan, W., Qin, Q. (2022). Split-Window Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat-9 Remote Sensing Images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15, 1-5, doi: 10.1109/LGRS.2022.3184980.
- 47-Zhang, J., Wang, Y. & Li, Y. (2006). A C++ Program for Retrieving Land Surface Temperature from the Data of Landsat TM/ETM+ Band 6+, *Computer & Geosciences*, 32, 1796-1805.
- 48-Zhang, X., Zhou, J., Liang, S., Chai, L., Wang, D., Liu, J. (2020). Estimation of 1-km all-weather remotely sensed land surface temperature based on reconstructed spatial-seamless satellite passive microwave brightness temperature and thermal infrared data. *ISPRS journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 167, 321-344.

