



Improving the Spatial Resolution of Thermal Images by using SFIM and T-Sharp-Dis-Trade Techniques to Investigate Land Surface Temperature

Sajad Zareie^{1✉} | Mostafa Kabolizadeh² | Fatemeh Navarbf³

1. Corresponding Author, Remote Sensing and GIS department, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. s.zareie@scu.ac.ir
2. Remote Sensing and GIS department, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. m.kabolizade@scu.ac.ir
3. Remote Sensing and GIS department, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. fatemehnavarbf@gmail.com

Article Information

Research Paper

Vol:	15
No:	58
P:	17-34
Received:	2024-01-25
Revised:	2024-03-24
Accepted:	2024-03-30
Published:	2025-02-01

Keywords:

- Improving of spatial resolution
- Thermal images
- Ahvaz
- T Sharp Dis Trade method

Cite this Article:

Zareie, Sajad., Kabolizadeh, Mostafa & Navarbf, Fatemeh. (2025). Improving the spatial resolution of thermal images by using SFIM and T-Sharp-Dis-Trade techniques to investigate land surface temperature. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 15(58): 17-34. doi: 10.22034/jargs.2024.437508.1088

Publisher: Hakim Sabzevari University

© The Author(s)



Abstract

Aim: Investigating the relationship between land surface temperature and urban land uses can be used for urban management. However, one of the main problems in this field is the low spatial resolution of thermal images. This research aims to evaluate and select the best existing algorithm for achieving a high spatial resolution of thermal images to investigate and analyze changes in land surface temperature in Region 4 of Ahvaz.

Material & method: For this purpose, the split window algorithm was used as one of the most common suitable algorithms to calculate land surface temperature, and SFIM and T sharp DisTrade algorithms in urban areas were applied to improve spatial resolution.

Finding: Results show that the spatial resolution of the output image obtained by Split Window, T Sharp DisTrade, and SFIM algorithms is 30, 100, and 45 meters, respectively. The T Sharp DisTrade algorithm presented the output images with very good resolution so that different land uses could be separated according to their surface temperature. Split Window and SFIM algorithms did not provide acceptable results in land use evaluation. Also, the average land surface temperature values obtained from T Sharp DisTrade, Split Window algorithm, and SFIM are equal to 17.5, 23.5, and 28.25 degrees Celsius, respectively. This temperature difference of these algorithms is due to utilizing the fusion process.

Conclusion: As a result, T Sharp DisTrade algorithm was more effective in improving the spatial resolution of thermal images.

Innovation: Innovations of this research are: - simultaneous use of three mentioned algorithms for increasing spatial resolution of thermal images and discovering the best algorithm in this field, which has not been investigated in previous research, - improving spatial resolution of thermal images for evaluating urban land uses by using T Sharp DisTrade algorithm, and detail investigation of surface temperature changes.

Extended Abstract

1- Introduction

Thermal satellite images have low spatial resolution compared to optical images, which are not suitable for evaluating urban land use. Therefore, it is necessary to increase the spatial resolution of these images. Agam et al. (2007) and Hardie and Eismann (2004) used the T Sharp Dis Trade algorithm and vegetation indices to estimate thermal bands with appropriate spatial resolution. Nuo et al. (2021) prepared 30 30-meter land surface temperature map by reducing the image scale using the Random Forest algorithm. The general goal of this research is to investigate the efficiency of three T Sharp Dis Trade, Split Window, and SFIM algorithms point by point in horizontal profiles drawn in Region 4 of Ahvaz and to select the best existing algorithm to achieve a high spatial resolution of thermal images for evaluation of land surface temperature changes.

2- Materials and methods

In this research, a Landsat 8 image dated August 28, 2021, was used. Meteorological data were used to assess the results accurately. T Sharp Dis Trade, Split Window, and smoothing filter-based intensity modulation (SFIM) algorithms were used. SFIM uses a ratio between panchromatic and low-pass filter images to modulate low-resolution multispectral images. A split window algorithm was used to calculate land surface temperature from the thermal data of the TIRS sensor. T Sharp Dis Trade was calculated to improve the spatial resolution of thermal images using vegetation indices. Then, in the T Sharp Dis Trade chart, the output of the profiles obtained from SFIM and Split Window methods was evaluated. Finally, in order to find a relationship between land use and surface temperature, field visits were used to assess the accuracy of temperature differences of these three methods.

3- Discussion and results

After obtaining brightness temperature and NDVI, 30 and 100-meter versions were fused, and a 30-meter image was produced. By fusion of two input images of NDVI and LST, an image with a spatial resolution of 45 meters was extracted in order to improve spatial resolution using the SFIM method. After performing these steps, outputs of SFIM with a spatial resolution of 45 meters, split window algorithm with a spatial resolution of 100 meters, and T Sharp Dis Trade method with a spatial resolution of 30 meters were obtained. Also, land surface temperature was obtained by implementing these three algorithms. In the next step, places with high temperatures were evaluated. The output profiles of SFIM and Split Window methods were analyzed based on visual observation in the T Sharp Dis Trade chart. In this research, profile number 14, due to the diversity of its uses, including vegetation cover, commercial and industrial use, residential use, the highway, grass field, and horse racing track, have been selected as samples from 30 available profiles for analysis and evaluation. In points 1, 3, 4, 5, 10, 12, 13, and 14 of this profile, T Sharp Dis Trade was more efficient, but in points 2 and 6, T Sharp Dis Trade and SFIM were more efficient. In points 7, 8, 9, 11, and 15, T Sharp Dis Trade and Split Window were more effective.

4- Conclusion

High-quality results with high spatial resolution were obtained, using which the boundary of thermal changes can be seen. Two algorithms, SFIM, and Split Window, have shown an increase in surface temperature in sports land use, but the T Sharp Dis Trade algorithm has been the most effective. In commercial and industrial land uses, T Sharp Dis Trade and SFIM have been the most efficient, and Split Window has shown a decreasing trend for surface temperature. SFIM and Split Window results have shown increasing surface temperature trends in mixed land use of green spaces, and T Sharp Dis Trade was more efficient. SFIM and Split Window showed the highest surface temperature in scattered vegetation, but T Sharp Dis Trade was more effective. T Sharp Dis Trade was the most efficient way to deal with dense vegetation. On horse track, the SFIM method showed the best performance. All three algorithms have had good results in highway and heavy traffic land uses. In general, SFIM in residential areas had a very poor

match between surface temperature and this land use, and T Sharp Dis Trade and Split Window were the most efficient. SFIM and Split Windows have provided inappropriate results for investigating heat islands and measuring surface temperature. T Sharp Dis Trade has provided very acceptable results for surface temperature.

5. Acknowledgment & Funding


The authors thank the Khuzestan Meteorological Bureau and the US Geological Survey for providing the required data. The manuscript did not receive a grant from any organization.

6. Conflict of Interest

Ethical principles have been fully followed in manuscript preparation. The authors declare no conflict of interest.

بهبود دقت مکانی تصاویر حرارتی با تکنیک SFIM و T-Sharp-Dis-Trade

جهت بررسی تغییرات دمای سطح زمین

سجاد زارعی^۱ , مصطفی کابلی زاده^۲، فاطمه نوارباف^۳

۱- نویسنده مسئول، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. s.zareie@scu.ac.ir

۲- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. m.kabolizade@scu.ac.ir

۳- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. fatemehnavarabaf@gmail.com

چکیده

هدف: بررسی رابطه بین دمای سطح زمین و کاربری‌های شهری می‌تواند در مدیریت شهری مورد استفاده قرار بگیرد؛ اما یکی از مشکلات پیش رو، قدرت تفکیک مکانی پایین تصاویر حرارتی است. هدف این پژوهش، بررسی و انتخاب بهترین الگوریتم موجود با هدف دستیابی به توان تفکیک مکانی بالای تصاویر حرارتی برای بررسی و تحلیل تغییرات دمای سطح زمین در منطقه ۴ اهواز و کشف بهترین الگوریتم در این زمینه است.

روش و داده: به همین منظور الگوریتم Split Window به عنوان یکی از متداول‌ترین الگوریتم‌های مناسب تعیین دما و الگوریتم T Sharp Dis Trade و SFIM در مناطق شهری به منظور بهبود قدرت تفکیک مکانی استفاده شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که توان تفکیک مکانی تصویر خروجی حاصل از الگوریتم Split Window، T Sharp Dis Trade و SFIM، به ترتیب برابر با ۳۰، ۱۰۰ و ۴۵ متر است. الگوریتم T Sharp Dis Trade توان تفکیک بسیار مناسبی برای تصویر خروجی نشان داد به گونه‌ای که بر اساس آن تفکیک کاربری‌های مختلف متناسب با دمای آن‌ها میسر شد. الگوریتم‌های Split Window و SFIM نتایج قابل قبولی در بررسی کاربری‌ها ارائه ندادند. همچنین میانگین دمای به دست آمده از الگوریتم T Sharp Dis Trade، Split Window و SFIM به ترتیب برابر با ۱۷/۵، ۲۳/۵ و ۲۸/۲۵ درجه سانتی‌گراد است. این تفاوت دمایی الگوریتم‌ها به دلیل اعمال فرآیند تلفیق است.

نتیجه‌گیری: در نتیجه الگوریتم T Sharp Dis Trade در زمینه بهبود دقت مکانی تصاویر حرارتی موثرتر عمل کرد.

نوآوری، کاربرد نتایج: نوآوری‌های پژوهش حاضر عبارتند از: استفاده همزمان سه الگوریتم ذکر شده با هدف افزایش توان تفکیک مکانی تصاویر حرارتی و کشف بهترین الگوریتم در این زمینه، که در تحقیقات قبلی تاکنون انجام نشده است، بهبود توان تفکیک مکانی تصاویر حرارتی برای ارزیابی کاربری‌های شهری با استفاده از الگوریتم T Sharp Dis Trade و بررسی دقیق تغییرات دمای سطح زمین است.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره:

۱۵

دوره:

۵۸

صفحه:

۱۷-۳۴

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۱۱/۰۵

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۱/۰۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۱/۱۱

تاریخ انتشار:

۱۴۰۳/۱۱/۱۳

کلیدواژه‌ها:

- بهبود قدرت تفکیک مکانی
- تصاویر حرارتی
- اهواز
- روش T Sharp Dis Trade

نحوه ارجاع به این مقاله:

زارعی، سجاد، کابلی‌زاده، مصطفی، نوارباف، فاطمه. (۱۴۰۳). بهبود دقت مکانی تصاویر حرارتی با تکنیک SFIM و T-Sharp-Dis-Trade جهت بررسی تغییرات دمای سطح زمین. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۵(۵۸): ۱۷-۳۴.

doi: 10.22034/jargs.2024.437508.1088

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



© نویسنده(گان).

۱- مقدمه

تصاویر مادون قرمز حرارتی با توجه به پتانسیل‌هایی که در آشکارسازی تفاوت گرمایی عوارض دارند و می‌توانند در حوزه‌های مختلف مانند شناسایی منابع گرمایی، شناسایی مواد قابل اشتعال، آتش‌سوزی، بررسی تغییرات رطوبت خاک، هواشناسی، آب‌شناسی و غیره استفاده شوند. البته در کاربردهای مختلف، نیاز به قدرت تفکیک متفاوت حس می‌شود، مثلاً در کاربردهای اقلیم‌شناسی و هواشناسی، قدرت تفکیک مکانی پایین می‌تواند تا حدی پاسخگو باشد؛ اما در مورد موضوعاتی مانند پایش شهری و تغییرات کاربری اراضی نیاز به قدرت تفکیک مکانی بالاتر احساس می‌شود (Farhanj & Akhoondzadeh, 2017). سنجنده‌هایی که در این حوزه وجود دارند از سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی بسیار پایین تا سنجنده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی متوسط هستند ولی با توجه به مشخصاتی که این سنجنده‌ها دارند و انرژی که معمولاً با میزان پایین به سمت سنجنده تابش می‌شود، همچنین به دلیل این که نمی‌توان در تصاویر ماهواره‌ای قدرت تفکیک مناسبی در نظر گرفت. بنابراین، جهت بهبود قدرت تفکیک مکانی در این تصاویر روش‌های ریاضی صورت می‌گیرد (Farhanj & Akhoondzadeh, 2017). پژوهشگران حوزه علوم محیطی، از بین عوامل مخرب شهری، بیش از هر عامل دیگری به موضوع جزایر حرارتی پرداخته‌اند. یکی از روش‌های بررسی جزایر حرارتی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. برای بررسی جزایر حرارتی نیاز به تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی مناسب یا پیکسل‌های کوچک است. معمولاً تصاویر ماهواره‌ای حرارتی نسبت به تصاویر اپتیک، پیکسل‌های بزرگ و قدرت تفکیک مکانی پایینی دارند. از آنجایی که این قدرت تفکیک مکانی، جهت بررسی کاربری شهری مناسب نیست، لذا همواره افزایش توان تفکیک مکانی تصاویر حرارتی و مطالعه داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای با دقت مکانی و توان تفکیک بالا در سطح شهرها ضروری به نظر می‌رسد (Farhanj & Akhoondzadeh, 2017; Alavipanah, 2019).

در زمینه بهبود قدرت تفکیک مکانی، پژوهش‌های مختلفی شده است، از جمله مطالعه عزیزی، که تصاویر مادون قرمز حرارتی ماهواره ASTER با قدرت تفکیک ۹۰ متر را با تصویر مرئی - مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، ادغام نمودند. بر اساس نتایج آن‌ها با وجود نبود اشتراک طیفی بین باندهای پانکروماتیک و مرئی، تصویر ادغام‌شده، مشخصه‌های طیفی خود را حفظ کرده و همچنین سبب افزایش قدرت تفکیک مکانی شده است. همچنین آن‌ها با بررسی همبستگی میان باندهای منبع و ادغام‌شده، کارایی عملکرد و نتیجه‌ی تحقیق خود را بررسی کردند (Azizi, 2004). آگام و همکاران و هاردی و همکاران جهت برآورد باندهای حرارتی با قدرت تفکیک مکانی مناسب، از الگوریتم T Sharp Dis Trade و شاخص‌های پوشش گیاهی استفاده کردند. در این الگوریتم با محاسبه رابطه تغییرات دمای سطح زمین نسبت به تغییرات شاخص‌های طیفی، امکان مدل‌سازی آماری تصویر حرارتی با توان تفکیک مکانی بالا فراهم شده است (Hardie et al., 2004; Agam et al., 2007). نامراتا و راغا، در پژوهشی، تصاویر ماهواره‌ای LISS با قدرت تفکیک مکانی ۵.۸ متر را با تصاویر پانکروماتیک ماهواره Cartosat1 با قدرت تفکیک مکانی ۲.۵ متر ادغام کردند. هدف آن‌ها افزایش توان تفکیک مکانی در تصاویر چند طیفی بود و سپس نتایج خود را با دیگر روش‌ها مقایسه و ارزیابی کردند (Namratha & Raghu, 2013). هن و همکاران، داده‌های مرئی با توان تفکیک ۱ کیلومتر را با داده‌های مادون قرمز با توان تفکیک ۴ کیلومتر با روش تبدیل مویک ترکیب کردند. هدف آن‌ها از تلفیق و بهبود قدرت تفکیک مکانی تصاویر حرارتی، جهت استفاده در هواشناسی و پیش‌بینی وضعیت هوا بود (Han et al., 2014). لیائو و همکاران، در پژوهش خود، بهترین روش برای تهیه تصاویر با توان تفکیک مکانی مناسب را ادغام تصاویر دانست. ایشان توانست با ادغام تصاویر با طول موج‌ها و باندهای مختلف و در نهایت نمایش آن‌ها در یک تصویر، به نتیجه خوبی برسد. آن‌ها در این فرآیند، اطلاعات مکانی از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا استخراج کردند و به تصویر با قدرت تفکیک مکانی پایین‌تر انتقال دادند و به توان تفکیک مناسبی رسیدند (Liao et al., 2015). فرهنگ و آخوندزاده، پژوهشی را به دلیل اهمیت باندهای حرارتی و پایین بودن قدرت تفکیک مکانی انجام دادند و اقدام به افزایش اطلاعات مکانی با روش ادغام باندهای حرارتی با باندهای مرئی با توان تفکیک بالاتر و مقایسه آن‌ها با هم انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که تبدیل CT، SWT، سبب حفظ طیف و افزایش جزئیات مکانی می‌شود که هدف اصلی هر ادغامی است و عملکرد بهتری دارد. به طوری که با وجود فقدان پوشش طیفی میان باندهای مرئی و حرارتی، پارامترهای ارزیابی طیفی و مکانی نظیر CC نشان می‌دهد که باند ادغام شده‌ی حرارتی توسط روش کانتورلت با محلی‌سازی فرکانس‌ها مناسب است (Farhanj & Akhund Zadeh, 2017). لستیان در مطالعات خود، روش‌های تلفیق تصاویر چندباندی را جهت بهبود قدرت تفکیک

مکانی بررسی کردند و تلفیق را جهت وضوح اشیا و بهبود توان تفکیک، موثر دانستند. آن‌ها با ترکیب داده‌های چندین حسگر و بهینه‌سازی آن‌ها، ترکیبی از اطلاعات مکانی با دقت بسیار مناسبی به دست آوردند (Lestiana, 2018).

اکبری و مرادی‌زاده، به منظور بهبود قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی سنجنده ETM از شاخص‌های سطوح غیر قابل نفوذ و شاخص‌های پوشش گیاهی استفاده کردند (Akbari & Moradi Zadeh, 2017). در بررسی‌های پژوهش یوان و همکاران از تکنیک‌های پیشرفته مانند الگوی یادگیری ماشین و کاربردهای شبکه عصبی مصنوعی برای تشخیص بهتر الگوها و جزئیات تصاویر جهت افزایش توان تفکیک مکانی تصاویر استفاده شد (Yuan et al., 2020). در مطالعه مارکوس جونیور و همکاران از اطلاعات طیفی ارائه شده توسط حسگرهای چند طیفی و فراطیفی ماهواره‌های سری لندست، به منظور بررسی و شناسایی رخنمون‌های کربناتی برای مطالعه‌ی مخازن نفتی استفاده شد. به گونه‌ای که به منظور بهبود توان تفکیک مکانی تصاویر از یک شبکه عصبی مصنوعی اصلاح شده از هسته‌های تک پیکسلی با توان تفکیک بالا استفاده گردید و تصویر رنگی از گوگل ارث و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ را به عنوان ورودی با مقیاس کوچک به کار گرفتند و در اعتبارسنجی از تصاویر با اندازه اصلی استفاده شد تا توان تفکیک تصاویر بهبود پیدا کند؛ اما این طرح، به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی را با محدودیت‌هایی همچون نیاز به صحت‌سنجی دقیق برای باندهای چند طیفی مواجه کرد. استفاده از روش‌های شبکه عصبی نیاز به استفاده از باندهای چند طیفی و اعتبارسنجی دقیق دارد تا خطایی در کار ایجاد نشود؛ اما در کل این‌گونه روش‌ها دارای دقت مناسبی برای افزایش توان تفکیک هستند و می‌توانند در آینده برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار بگیرد (Marques Junior et al., 2020). در تحقیقی شی و همکاران با طراحی یک مدل آماری جدید برای تجزیه‌ی رگرسیون به رگرسیون فرعی، ساختار ماتریس جدیدی را ایجاد کردند و مشکل افزایش قدرت تفکیک را برای تصاویر ماهواره‌ای رطوبت خاک رفع کرده‌اند و در نهایت نیز با هدف ارائه و طراحی مدل آماری جدید برای تحلیل رگرسیون با ماتریس، راه‌حلی برای افزایش قدرت تفکیک تصاویر و الگوریتمی برای طراحی حسگرها در مطالعات خود معرفی کردند (Shi et al., 2018).

سالم و همکاران به منظور افزایش توان تفکیک مکانی و بهبود نمایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی از باند پانکروماتیک، از روش رقومی‌سازی دستی و تطبیق نقشه‌ها استفاده کردند که نتایج نشان داد که روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، دقت کلی و ضریب کاپای بالایی در مناطق ایران و سوریه داشته است. استفاده از مدل‌های ریز مقیاس‌سازی به منظور تولید نقشه دمای سطح با قدرت تفکیک مکانی بالا از سنجنده‌های با قدرت تفکیک زمانی مناسب مورد توجه قرار گرفته است (Saleem et al., 2021). در مطالعه تقی‌خانی و همکاران با استفاده از مدل PyDMS و تصاویر سنتینل ۲ ریزمقیاس‌نمایی دمای سطح زمین حاصل از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۳ انجام و نقشه دمای سطح زمین با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ متر در شهر اصفهان تولید شد (Taghikhani et al., 2023). شائو-گنگ و همکاران دمای سطح به دست آمده از لندست ۵ و ۷، و دمای میانگین سطح MODIS را برای بهبود وضوح فضایی ادغام کردند و مشاهده کردند که وضوح فضایی تصاویر را می‌توان از ۱ کیلومتر به ۱۲۰ متر (TM) یا ۶۰ متر (ETM+) افزایش داد (Shao-Gang et al., 2014). هنگ‌گای و همکاران مدل کلاسیک تجزیه پیکسل حرارتی دیستراد با استفاده از ضرایب رگرسیون مختلف و روش‌های برازش خطی و غیرخطی را بهبود دادند و سه مدل کاهش مقیاس چند عاملی نیز پیشنهاد دادند (Hangkai et al., 2024). فتح‌العلومی و همکاران در مطالعه خود نشان دادند که رویکرد مبتنی بر یادگیری ماشین پتانسیل قوی در بهبود دقت مکانی تصاویر دارد و فرصتی مناسب برای کاربردهای مختلف خواهد بود (Fathololoumi et al., 2022). نئو و همکاران در مطالعه خود نقشه دمای سطح زمین با دقت مکانی ۳۰ متر را با کاهش مقیاس تصویر MODIS با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی تهیه کردند و نتایج خوبی را به دست آوردند (Nuo et al., 2021). سندپ و همکاران کاهش مقیاس تصاویر حرارتی را با تکنیک‌های مختلفی مطالعه کردند. همچنین به کاربرد تصاویر حرارتی کم‌مقیاس در خشکسالی، کشاورزی، رطوبت خاک و توسعه شهری پرداختند (Sandip et al., 2016). روچی و همکاران دقت مکانی کم تصاویر ماهواره‌ای حرارتی را منجر به افزایش تقاضا برای توسعه تکنیک‌های مختلف کاهش مقیاس برای تولید تصاویر دارای دقت مکانی بالا و نهایتاً تولید محصول دمای سطح زمین با دقت مکانی بالا دانستند. آن‌ها تصویر LST تولید شده از داده‌های MODIS را به ۱۰۰ متر کاهش مقیاس دادند (Ruchi et al., 2020). پل و همکاران برای تبدیل داده‌های وضوح پایین به داده‌های وضوح بالا برای به دست آوردن تصاویر حرارتی پیشرفته یک رابطه پویا ارائه دادند. هدف آن‌ها توسعه الگوریتم کاهش مقیاس LST قوی برای تبدیل داده‌های MODIS به دقت مکانی LANDSAT بود (Pohl et al., 2019).

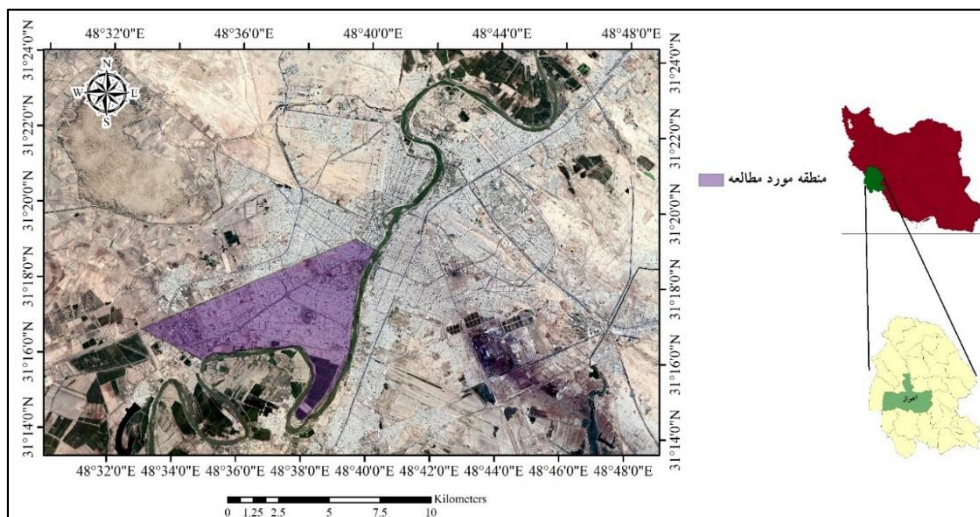
تاکنون تحقیقات بسیاری انجام شده است که از نظر کاربرد و دقت دارای دامنه وسیعی هستند؛ اما هدفی که مطالعه حاضر بر اساس آن پیاده‌سازی شده است در هیچ‌کدام از مطالعات پیشین مطالعه و پیگیری نشده است. هدف کلی از این پژوهش، بررسی کارایی سه الگوریتم T Sharp Dis Trade، Split Window و SFIM به صورت نقطه به نقطه در پروفیل‌های افقی ترسیم شده در منطقه ۴ اهواز، و انتخاب بهترین الگوریتم موجود با هدف دستیابی به توان تفکیک مکانی بالای تصاویر حرارتی برای بررسی و تحلیل تغییرات دمای سطح زمین در منطقه ۴ اهواز است.

نوآوری‌های پژوهش حاضر عبارتند از: استفاده همزمان سه الگوریتم ذکر شده با هدف افزایش دقت مکانی تصاویر حرارتی و کشف بهترین الگوریتم در این زمینه، که در تحقیقات قبلی تاکنون انجام نشده است. بهبود قدرت تفکیک مکانی تصاویر حرارتی با هدف ارزیابی کاربری‌های شهری با به کارگیری الگوریتم T Sharp Dis Trade، و بررسی دقیق تغییرات دمای سطح زمین در کاربری‌های مختلف با استفاده از تصاویری که قدرت تفکیک مکانی آن‌ها افزایش یافته است.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان اهواز بین ۴۸ درجه و ۲ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۰ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه از خط استوا قرار گرفته است. اهواز دارای ۸ منطقه شهری است که منطقه ۴ اهواز به دلیل تنوع مناسب کاربری‌ها به عنوان محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شده است (شکل ۱).



شکل ۱. نمای کلی محدوده مورد مطالعه.

۲-۲- روش پژوهش

در این پژوهش، تصویر لندست ۸ به تاریخ ۶ شهریور ماه ۱۴۰۰ که دارای ۱۱ باند است از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا برداشت شد. با توجه به وضعیت منطقه و تراکم ذرات آلاینده در بیشتر ایام سال، تصویر مربوط به اوایل ماه شهریور گرفته شد؛ زیرا در این ایام از سال، آسمان منطقه دارای کمترین ذرات آلاینده و کمترین پوشش ابر است. داده‌های هواشناسی مربوط به میانگین، حداقل و حداکثر دما از اداره هواشناسی استان خوزستان و سایت هواشناسی کشور دریافت شد و برای صحت‌سنجی نتایج مورد استفاده قرار گرفت.

در طی مراحل آماده‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهشی حاضر، از نرم‌افزارهای SAGA، Google earth، ARC GIS، Snap، Envi 5.3، 10.6 و Matlab استفاده شده است.

یکی از مراحل اصلی در پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای انجام تصحیحات اولیه و آماده‌سازی داده است که در این پژوهش، تصاویر به صورت تصحیح هندسی شده، برداشت شده است. همچنین تصحیحات اتمسفری با ماژول فلش بر آن اعمال شده است.

روش ادغام هموارسازی فیلتر متکی بر تعدیل شدت^۱ یک روش تعدیل کننده شدت بر اساس فیلتر است. این روش از نسبت بین تصویر پانکروماتیک و تصویر فیلتر پایین گذر برای تعدیل تصویر چند طیفی با وضوح پایین استفاده می کند (فرمول ۱) (Pohl & Genderen, 2016).

$$SFIM_{ijk} = \frac{MS_{ikk} \cdot PAN_{i+k}}{Mean_{ij}} \quad (1)$$

در آن SFIM ادغام شده را نشان می دهد. i نشان دهنده مکان پیکسل در باند k است. Mean برای شبیه سازی تصویر پانکروماتیک با وضوح پایین است که در آن پیکسل همسایه به طور میانگین بر اساس یک فیلتر هموار میانگین گیری می شود. اندازه پنجره برای فیلتر، از نسبت فضایی چند طیفی و پانکروماتیک گرفته شده است.

به دست آوردن دمای سطح زمین نیازمند دانشی پیرامون تشعشع سطح زمین (LSE) است. برای به دست آوردن توان تشعشعی از روش ترکیبی آستانه NDVI استفاده شد. برای سنجنده OLI لندست ۸ مقدار NDVI از طریق (رابطه ۲) به دست می آید (Zareie et al., 2018).

$$NDVI = (B4-B5)/(B4+B5) \quad (2)$$

در ادامه بر اساس (رابطه ۳)، FVC به دست آمده است (Zareie et al., 2018).

$$FVC = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (3)$$

سپس محاسبه توان تشعشع سطح زمین از روش جیمز و سوپرینو استفاده شد (Skokovic et al., 2014).

$$LSE = \varepsilon_s \times (1 - FVC) + \varepsilon_v \times FVC \quad (4)$$

در (رابطه ۴)، مقدار ε_s و ε_v به ترتیب مقادیر دمای تابش خاک و دمای تابش پوشش گیاهی است. سپس با استفاده از (رابطه ۵) دمای روشنایی با فرض این که زمین جسم سیاه است، محاسبه می شود و شامل تأثیرات اتمسفر (جذب و تشعشع) است. سپس دمای روشنایی را با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده به دست آمد (Skokovic et al., 2014).

$$T = \frac{K\tau}{\ln \left(\frac{K_1}{L\lambda + 1} \right)} \quad (5)$$

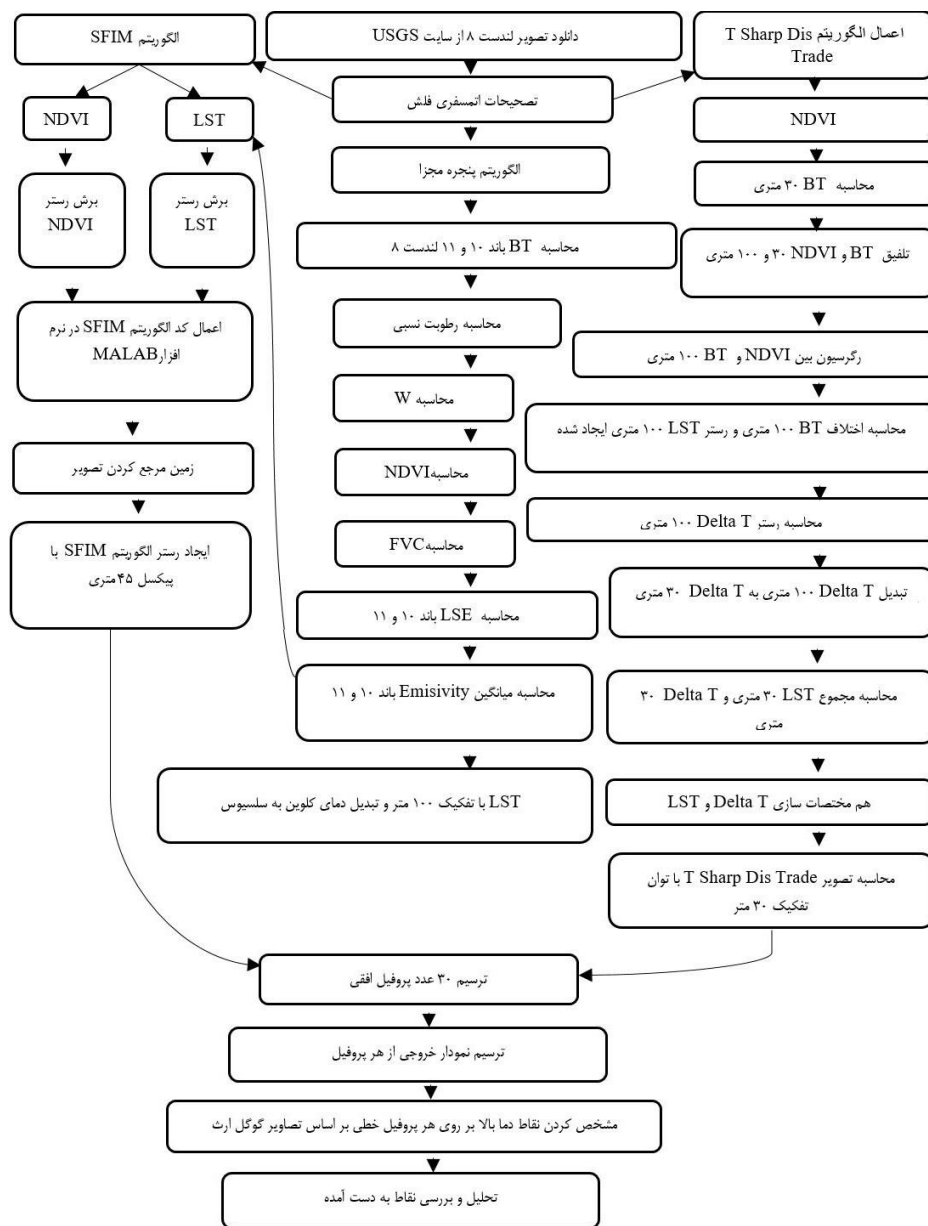
همچنین برای به دست آوردن دمای سطح زمین از داده های حرارتی سنجنده TIRS، از الگوریتم پنجره مجزا روش (Skokovic et al., 2014) (رابطه ۶) استفاده شد.

$$LST = TB_{10} + C_1(TB_{10} - TB_{11}) + C_2(TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4W)(1 - m) + (C_5 + C_6W)\Delta m \quad (6)$$

پس از به دست آوردن دمای سطح زمین با الگوریتم پنجره مجزا، با ترسیم پروفیلی افقی بر نقشه خروجی و مقایسه نقشه خروجی با تصاویر گوگل ارث به ارزیابی این الگوریتم پرداخته شد.

در گام بعدی Shape File منطقه ۴ اهواز که منطقه مورد مطالعه است، در نرم افزار Google Earth فراخوانده شد و به بررسی و مشاهده مکان هایی که دمای بالای دارند، پرداخته شد. بر این اساس ۳۰ عدد Poly Line از سمت چپ به سمت راست بر روی سه تصویر خروجی زمین مرجع شده حاصل از این سه الگوریتم، ترسیم می شود. در گام بعدی، تصاویر در Arc GIS فراخوانی و با ابزار 3D Analyse برای هر خط از هر تصویر، شکل خروجی ترسیم شده است. شایان ذکر است در این نمودارها الگوریتم T Sharp Dis Trade برابر T، الگوریتم SFIM برابر F و الگوریتم Split Window نیز S ذکر شده است تا به سادگی و مختصر مطالعه گردد.

سپس بر اساس مشاهده دیداری در نمودار T Sharp Dis Trade که به عنوان خروجی با توان تفکیک مناسب است، به بررسی خروجی پروفیل‌های حاصل از روش‌های SFIM و Split Window پرداخته می‌شود، زیرا خروجی پروفیل T Sharp Dis Trade، نتایج و آمارهای دمایی دقیق با تصاویر گوگل ارث را شامل می‌شود و رابطه کاربری اراضی مختلف از مشاهدات دیداری این پروفیل‌ها با استفاده از تصاویر گوگل ارث به دست می‌آید. پس از این مرحله، در پی یافتن رابطه کاربری اراضی و دما، از بازدیدهای میدانی در جهت صحت‌سنجی هر چه دقیق‌تر تفاوت‌های دمایی این سه روش استفاده شد؛ اما در بعضی موارد به دلیل عدم دسترسی به ساختمان‌ها یا وجود کاربری‌های نامشخص و صناعی که مجوز ورود به آن‌ها داده نشده است. این مشاهدات دیداری با نرم‌افزارهایی مانند گوگل ارث بررسی شد. البته میزان ترافیک و بررسی‌های مربوط به آن به دلیل مشکلات فراوان بازدیدهای میدانی، تغییرات مداوم و تردهای خیابانی با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای اسنپ و تپ سی صورت گرفت. در انتها ارزیابی ۳ الگوریتم، برای بررسی کاربری‌هایی که بیشترین تفاوت را در بین سایر کاربری‌ها دارند، سبب شد تا به تعداد ۳۰ عدد پروفیل افقی به طور شاخص در منطقه مورد مطالعه ترسیم و با توجه به عوارض شاخصی که در هر پروفیل دیده شد، تعدادی نقطه انتخاب شود تا در جهت ارزیابی و مقایسه‌ی بهتر از این الگوریتم‌ها برای شناسایی کاربری‌ها استفاده گردد (شکل ۷).

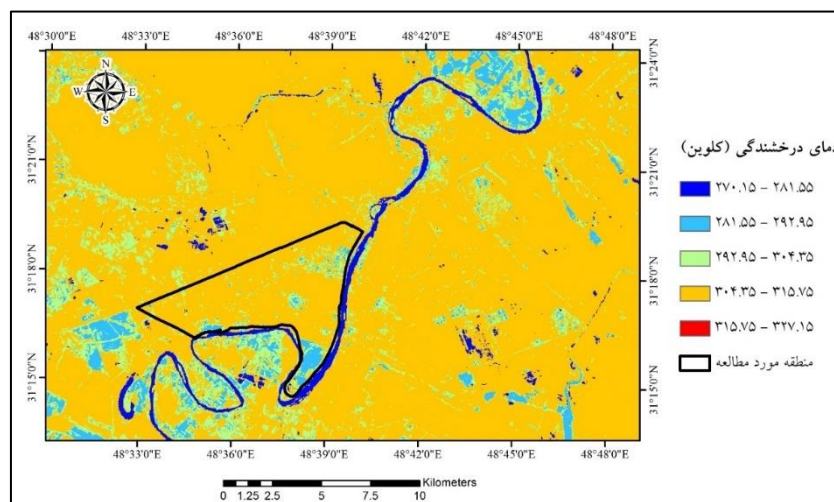


شکل ۲. مراحل انجام پژوهش حاضر

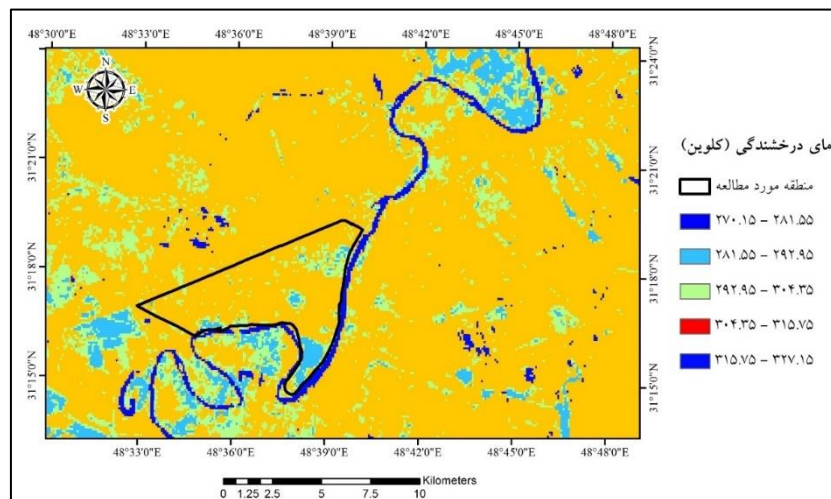
مرحله بعد بهبود قدرت تفکیک مکانی با استفاده از الگوریتم T Sharp Dis Trade است. روش T Sharp جهت بهبود توان تفکیک مکانی تصاویر حرارتی توسط Agam در سال ۲۰۰۷ ارائه شد و به کمک شاخص‌های پوشش گیاهی همچون NDVI محاسبه می‌شود. این روش بر این فرض استوار است که در مناطق دارای پوشش گیاهی برخلاف زمین‌های بایر و نواحی شهری، به دلیل عمل تعرق، میزان انرژی گسیل شده از سطح کمتر است و به نوعی ارتباط منفی بین حرارت سطحی و میزان پوشش گیاهی وجود دارد و امکان استخراج حرارت سطحی در توان تفکیک مکانی بالا میسر است (Beigi, 2013).
مراحل انجام این پژوهش طبق فلوچارت ارائه شده در شکل ۲ است.

۳- یافته‌ها

پس از به دست آوردن تصویر دمای درخشندگی و NDVI، نسخه‌ی ۳۰ و ۱۰۰ متری حاصل از تلفیق به دست آمده است و پس از تلفیق دو تصویر ۳۰ و ۱۰۰ متری، تصویری با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر حاصل شد (شکل ۳ و شکل ۴).



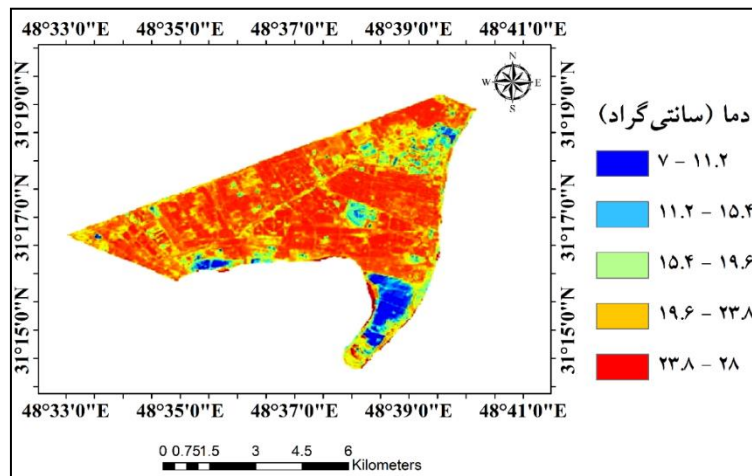
شکل ۳. نقشه حاصل از تلفیق دیتاست واحد نسخه ۳۰ متری.



شکل ۴. خروجی از تلفیق دیتاست واحد نسخه ۱۰۰ متری.

پس از پیاده‌سازی الگوریتم، کیفیت تصویر خروجی به دست آمده با جزئیات مکانی بیشتر قابل مشاهده است و حد فاصل زمین‌های حرارتی و مرز حرارت مشخص شده است، به گونه‌ای که حتی تفکیک بلوک‌های شهری نیز قابل مشاهده و بررسی است. همچنین تصویر دارای توان تفکیک مکانی بالا، در مقایسه با تصویر اولیه دارای جزئیات مکانی بسیار بالا است و اگر عارضه‌ای به اندازه یک پیکسل جابه‌جایی داشته باشد، با فرآیند هم مختصات‌سازی برطرف خواهد شد. اما همیشه میزان تفاوت دمایی به اندازه

یک یا دو درجه کلونین از سطح زمین بین تصویر اصلی و تصویر ادغام شده دیده می شود و این موضوع طبیعی است. مهم ترین ویژگی تصویر ادغام شده این است که می توان تغییرات حرارتی را با جزئیات مکانی بسیار بیشتری مطالعه کرد و این در صورتی است که تصویر اولیه چنین امکانی را فراهم نمی کرد (شکل ۵).



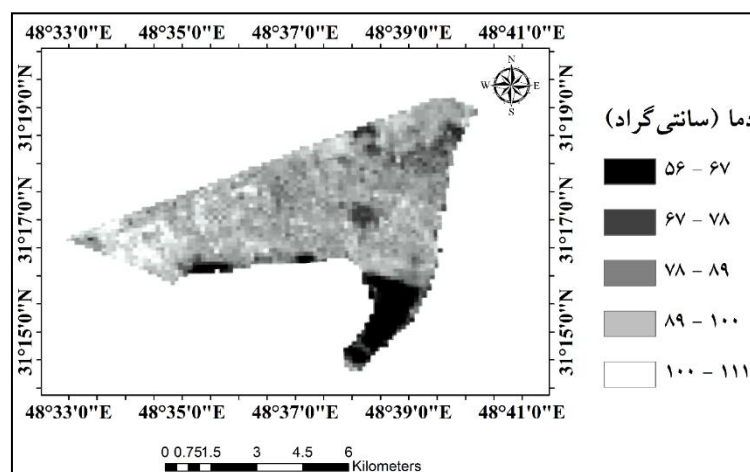
شکل ۵. تصویر خروجی از الگوریتم T Sharp Dis Trade از منطقه چهار اهواز.

از معایب این الگوریتم می توان به تخمین نامناسب دمای سطح زمین اشاره کرد، به شکلی که میزان دما را کمتر از آنچه در واقعیت است، نشان می دهد. جهت برطرف سازی این مشکل از رابطه ی زیر، دمای سطح زمین با توجه به مقدار واقعی خود محاسبه می شود (رابطه ۷).

$$\begin{bmatrix} LST_a \\ LST_b \end{bmatrix} = a_i + a_j \begin{bmatrix} LST_{a1} \\ LST_{b1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

در این فرمول، LST_a دمای سطح زمین در نقطه a ، است، LST_{a1} دمای حاصل از الگوریتم در نقطه a ، LST_b دمای واقعی سطح زمین در نقطه b ، LST_{b1} دمای واقعی حاصل از الگوریتم در نقطه b ، a_i و a_j دمای حاصل از الگوریتم است. در جهت بهبود توان تفکیک مکانی به روش SFIM با اعمال تلفیق از دو تصویر ورودی NDVI و LST، با استفاده از نرم افزار MATLAB، تصویری با توان تفکیک مکانی ۴۵ متر استخراج شد.

پس از انجام این مراحل، خروجی تصویر حاصل از روش های SFIM با توان تفکیک مکانی ۴۵ متر، الگوریتم پنجره مجزا با توان تفکیک مکانی ۱۰۰ متر و روش T Sharp Dis Trade با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر به دست آمد (شکل ۶).



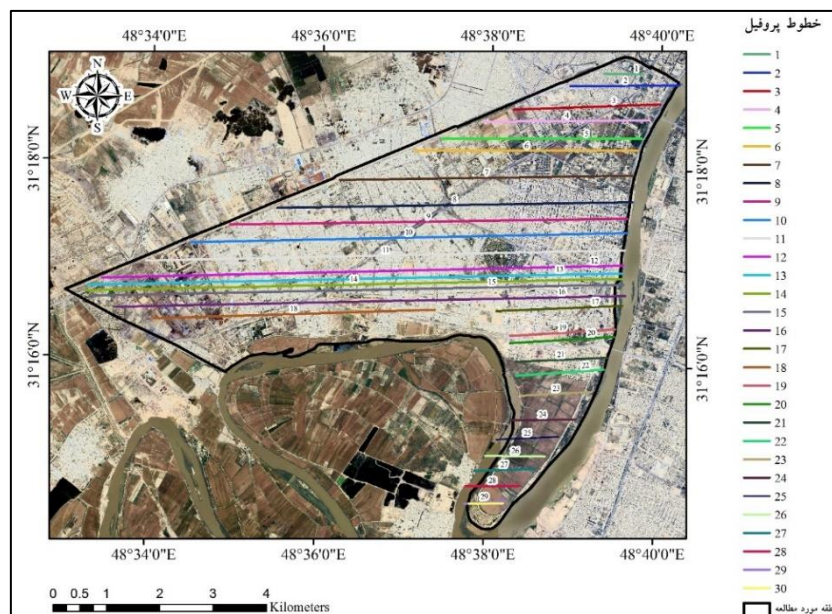
شکل ۶. تصویر خروجی از روش SFIM.

همچنین دمای سطح زمین بر اساس پیاده‌سازی این ۳ الگوریتم و داده‌های هواشناسی (جدول ۱) به دست آمده است.

جدول ۱. دماهای به دست آمده از الگوریتم‌های مورد پژوهش

دمای اهواز ۲۰۲۱/۸/۲۸	کمترین دما	بیشترین دما	میانگین دما
Distrad tsharp	۷	۲۸	۱۷.۵
Split Window	۱۴	۴۲.۵	۲۸.۲۵
SFIM	۵۶	۱۱۱	۳۳.۵
سایت ogimet	۲۹.۴	۴۹.۱	۳۹.۵
سازمان هواشناسی	۲۷.۳	۴۷.۴	۳۷.۵

در گام بعدی به بررسی و مشاهده مکان‌هایی که دمای بالایی دارند، پرداخته شد. بر این اساس ۳۰ عدد Poly Line از سمت چپ به سمت راست بر روی سه تصویر خروجی زمین مرجع شده حاصل از این سه الگوریتم، ترسیم شد. در شکل ۸، پروفیل خطی شماره ۱ که حاصل از خط شماره یک در هر سه تصویر خروجی، نشان داده شده است. بر اساس مشاهده بصری در نمودار T Sharp Dis Trade نتایج و آمارهای دمایی دقیق با تصاویر گوگل ارث را شامل می‌شود و رابطه کاربری اراضی مختلف از مشاهدات بصری این پروفیل‌ها با استفاده از تصاویر گوگل ارث به دست آمد. با بررسی رابطه کاربری اراضی و دما، بازدیدهای میدانی برای صحت‌سنجی هر چه دقیق‌تر تفاوت‌های دمایی این سه روش استفاده شدند. لازم به ذکر است که در بعضی موارد به دلیل عدم دسترسی به ساختمان‌ها یا وجود کاربری‌های نامشخص و صنایعی که مجوز ورود به آن‌ها داده نشده است، در صحت‌سنجی استفاده نشدند. به دلیل آن که کاربری نقاط در جهت ارزیابی آن‌ها بسیار مؤثر است با نرم‌افزارهای گوگل ارث، نشان، بلد، اسنپ، تپسی و دال، کاربری نقاط مشخص شد و به ارزیابی عملکرد هر یک پرداخته شد تا برای پژوهش‌های آینده، بهترین و مؤثرترین الگوریتم مشخص گردد. در (شکل ۸) که شامل ۳ نوع نمودار T Sharp Dis Trade، Split Window و SFIM است، شکل ذکر شده، چهاردهمین نمودار حاصل از بررسی ۳۰ پروفیل است.

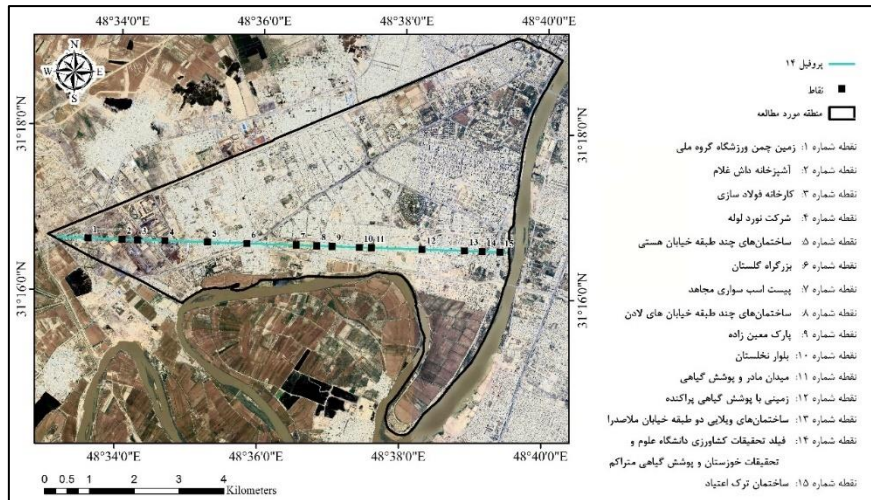


شکل ۷. خطوط پروفیل‌ها در محدوده منطقه چهار اهواز.

۳-۱- بررسی و تحلیل نمودار چهاردهم

در این پژوهش پروفیل شماره ۱۴ با توجه به تنوع کاربری‌های آن از جمله پوشش گیاهی، تجاری، کاربری صنعتی (کارخانه فولاد و نورد لوله)، کاربری مسکونی (ویلاهایی و چند طبقه که باعث افزایش دمای منطقه در این نقاط در یک پروفیل همزمان شده است)،

بزرگراه، زمین چمن و پیست اسبدوانی جهت تحلیل و بررسی به صورت نمونه از ۳۰ عدد پروفیل موجود انتخاب شده است (شکل ۸).



شکل ۸. کاربری‌های ۱۵ نقطه انتخاب شده روی پروفیل خطی شماره ۱۴

در نقطه شماره ۱ شکل ۹ که به فاصله ۶۸۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری ورزشی که شامل وجود زمین چمن شماره یک ورزشگاه گروه ملی (استادیوم شهرک نورد) و فضای سبز گسترده آن، انتظار کمینه دما وجود دارد، اما در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM و Split Window، دمای سطح زمین در روند افزایشی قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۱ الگوریتم T Sharp Dis Trade کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۲ که به فاصله ۱۴۵۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری تجاری که شامل آشیزخانه و پخت غذا به صورت روزانه است، انتظار بیشینه دما وجود دارد، همچنین در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM بیشینه دما مشاهده می‌شود. اما در نمودار الگوریتم Split Window، دمای سطح زمین در روند افزایشی قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۲ الگوریتم SFIM و T Sharp Dis Trade کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۳ که به فاصله ۱۷۹۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری صنعتی که شامل کارخانه فولادسازی است، کوره‌های بسیار بزرگی برای گرم کردن، انتقال انرژی و همچنین نیازمند فشار ساختاری زیادی هستند تا آهن خالص را از سنگ آهن و فولاد جدا کنند و این کار سبب انتقال گرمای زیادی به محیط می‌گردد. بنابراین با وجود کارخانه فولادسازی علاوه بر افزایش آلودگی، انتظار بیشینه دما وجود داشته است، اما در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM، روند افزایشی دما مشاهده می‌شود. همچنین در نمودار الگوریتم Split Window، دمای سطح زمین در روند کاهشی قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۳ الگوریتم T Sharp Dis Trade کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۴ که به فاصله ۲۴۲۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری مختلط که شامل کاربری فضای سبز و صنعتی است، شاهد فضای سبز وسیع از شرکت نورد لوله در این محدوده هستیم و انتظار کمینه دما وجود دارد، اما در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM و Split Window، دمای سطح زمین در روند افزایشی قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۴ الگوریتم T Sharp Dis Trade کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۵ که به فاصله ۳۳۷۵ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری مسکونی ساختمان‌های چند طبقه خیابان هستی، انتظار بیشینه دما وجود دارد، اما در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM، روند کاهشی دما مشاهده می‌شود همچنین در نمودار الگوریتم Split Window، دمای سطح زمین در روند افزایشی قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۵ الگوریتم T Sharp Dis Trade کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۶ که به فاصله ۴۲۵۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری حمل و نقل که شامل بزرگراه گلستان و ترافیک سنگین و پرتردد در این محدوده است، انتظار بیشینه دما وجود دارد. همچنین در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم

SFIM، بیشینه دما مشاهده می‌شود. اما در نمودار الگوریتم Split Window، دمای سطح زمین در روند افزایشی قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۶ الگوریتم T Sharp Dis Trade و SFIM کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۷ که به فاصله ۵۳۵۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری ورزشی که شامل پیست اسب سواری و اصطبل مجاهد (برق) قرار دارد و از آنجایی که اسبها نیاز به علوفه و یونجه فراوان دارند و کیفیت این مواد هم تعیین‌کننده دمای بدن و سلامت اسب است پس نیاز به حفظ و تهیه علوفه مناسب ضروری است. بنابراین در این ناحیه به دلیل وجود پوشش گیاهی سالم و تازه، انتظار کمینه دما وجود داشته باشد؛ اما در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM روند کاهشی از دما مشاهده می‌شود. همچنین در نمودار الگوریتم Split Window، دمای سطح زمین در کمینه مقدار قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۷ الگوریتم T Sharp Dis Trade و Split Window کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۸ که به فاصله ۵۸۰۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری مسکونی در ساختمان‌های چند طبقه خیابان‌های لادن، انتظار بیشینه دما وجود دارد؛ اما در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM، روند کاهشی دما مشاهده می‌شود. همچنین در نمودار الگوریتم Split Window، دمای سطح زمین در بیشینه مقدار قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۸ الگوریتم T Sharp Dis Trade و Split Window کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۹ که به فاصله ۶۱۴۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری فضای سبز و پارک معین‌زاده که در سمت شرقی خیابان‌های لادن قرار دارد سبب شده است تا با پوشش گیاهی سرسبز و متراکم، انتظار کمینه دما وجود داشته باشد، اما در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM روند کاهشی دما مشاهده می‌شود. همچنین در نمودار الگوریتم Split Window، دمای سطح زمین در کمینه مقدار قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۹ الگوریتم T Sharp Dis Trade و Split Window کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۱۰ که به فاصله ۶۷۵۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری مسکونی که شامل وجود ساختمان‌های ویلایی و چند طبقه است، انتظار بیشینه دما وجود دارد، اما در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM روند افزایشی دما مشاهده می‌شود. همچنین در نمودار الگوریتم Split Window، دمای سطح زمین در روند کاهشی قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۱۰ الگوریتم T Sharp Dis Trade کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۱۱ که به فاصله ۷۰۲۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری فضای سبز میدان مادر که در قسمت جنوبی پارک مادر قرار دارد و به دلیل پوشش گیاهی سرسبز و سلامت و متراکم خود، انتظار کمینه دما وجود دارد، اما در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM روند کاهشی دما مشاهده می‌شود. همچنین در نمودار الگوریتم Split Window، دمای سطح زمین در کمینه مقدار قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۱۱ الگوریتم T Sharp Dis Trade و Split Window کارایی بیشتری دارد.

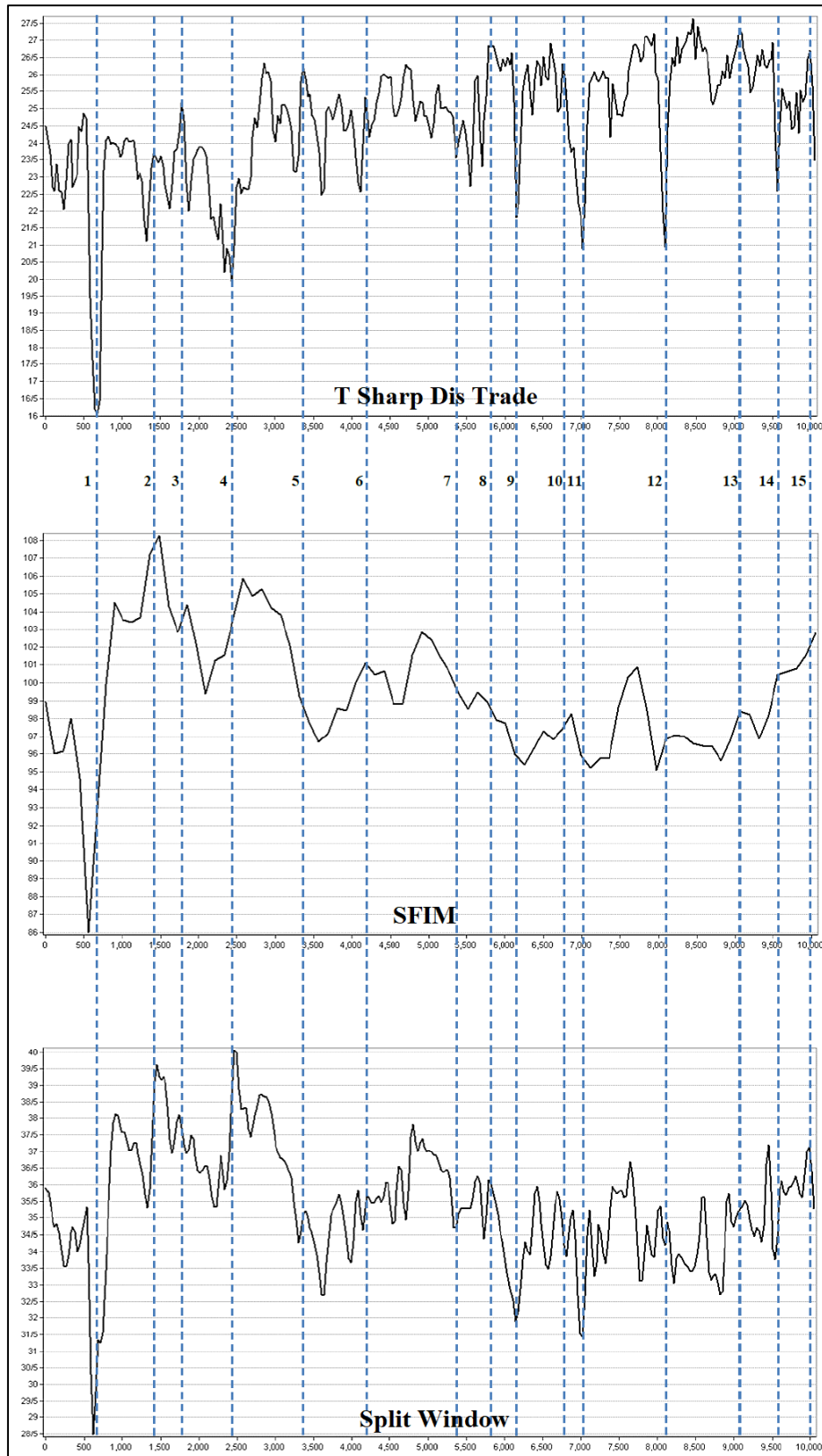
در نقطه شماره ۱۲ که به فاصله ۸۱۵۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری پوشش گیاهی که به طور پراکنده در منطقه وجود دارد، انتظار کمینه دما وجود دارد، اما در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM و Split Window، دمای سطح زمین در بیشترین میزان خود قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۱۲ الگوریتم T Sharp Dis Trade کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۱۳ که به فاصله ۹۱۰۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری مسکونی ساختمان‌های مسکونی ویلایی و یا دو طبقه خیابان ملاصدرا، انتظار بیشینه دما وجود دارد همچنین در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM بیشینه دما مشاهده می‌شود؛ اما در نمودار الگوریتم Split Window، دمای سطح زمین در روند افزایشی قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۱۳ الگوریتم T Sharp Dis Trade و SFIM کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۱۴ که به فاصله ۹۶۰۰ متری از شروع پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری زمینه تحقیقات کشاورزی دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان در پوشش گیاهی متراکم، انتظار کمینه دما وجود دارد، اما در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM بیشترین میزان خود مشاهده می‌شود. همچنین در نمودار الگوریتم Split Window، دمای سطح زمین در روند افزایشی خود قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۱۱ الگوریتم T Sharp Dis Trade کارایی بیشتری دارد.

در نقطه شماره ۱۵ که به فاصله ۱۰۰۰ متری از پروفیل انتخاب شده است، با توجه به کاربری ساختمان ترک اعتیاد انتظار بیشینه دما وجود دارد، اما در بررسی نمودار حاصل از الگوریتم SFIM روند افزایشی دما مشاهده می‌شود. همچنین در نمودار الگوریتم Split

Window و T Sharp Dis Trade دمای سطح زمین در بیشینه مقدار قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در نقطه شماره ۱۵ الگوریتم T Sharp Dis Trade و Split Window کارایی بیشتری دارد.



شکل ۹. نمایش دمای سطح زمین در خروجی پروفیل خطی شماره ۱۴

۴- بحث و نتیجه گیری

نتایجی با کیفیت و با قدرت تفکیک مکانی بالا در این مطالعه به دست آمد که با استفاده آن‌ها حد فاصل تغییرات حرارتی قابل مشاهده است تا حدی که بلوک‌های شهری نیز قابل تفکیک هستند، این در صورتی است که تصویر اولیه چنین امکانی را فراهم نمی‌کرد. در این مطالعه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم‌های Split Window، T Sharp Dis Trade، SFIM محاسبه و برآورد شد و برای بررسی و کشف مکان‌هایی که دمای بالایی دارند پروفیل‌هایی روی سه تصویر حاصل از این سه الگوریتم، ترسیم شد. نوع کاربری نقاط موجود در نمودار شکل ۸ و ۹ با استفاده از نرم‌افزارهای گوگل ارث، نشان، بلد، اسنپ، تپسی و دال مشخص شد و که نتایج حاصله مؤید تطابق دمای سطح زمین به دست آمده با نوع کاربری‌های این نقاط است.

با توجه به تحلیل نتایج به دست آمده از سه الگوریتم استفاده شده نشان می‌دهد که نتایج سه الگوریتم استفاده شده در نقاط مختلف پروفیل بررسی شده متفاوت بوده است. مثلاً دو الگوریتم SFIM و Split Window در کاربری ورزشی بر خلاف واقعیت افزایش دمای سطح زمین را نشان داده‌اند، در حالی که الگوریتم T Sharp Dis Trade بیشترین کارایی را داشته است. اما در کاربری‌های تجاری و صنعتی الگوریتم‌های T Sharp Dis Trade و SFIM بیشترین کارایی را داشته‌اند و الگوریتم Split Window روند کاهش دمای سطح زمین را نشان داده است. از طرفی نتایج حاصل از الگوریتم‌های SFIM و Split Window، روند افزایشی دمای سطح زمین را در کاربری مختلط فضای سبز نشان داده است و متقابلاً الگوریتم T Sharp Dis Trade در تحلیل این کاربری کارایی بیشتری داشته است. در فضای سبز و پارک دارای پوشش گیاهی سرسبز و متراکم، الگوریتم‌های SFIM و Split Window دمای متناسب با این نوع کاربری را نشان دادند که مؤید بازدهی خوب آن‌ها در تحلیل و ارزیابی رفتار حرارتی این نوع کاربری‌ها است. در نقطه دارای کاربری پوشش گیاهی پراکنده الگوریتم‌های SFIM و Split Window، بیشترین میزان دمای سطح زمین را نشان داده‌اند، اما الگوریتم T Sharp Dis Trade کارایی بیشتری را نشان داده است. لازم به ذکر است که در پوشش گیاهی متراکم فیلد تحقیقات کشاورزی دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان، الگوریتم T Sharp Dis Trade بیشترین کارایی را داشته است.

در پیست اسب سواری و اصطبل مجاهد (برق) (که به دلیل وجود علوفه و یونجه فراوان، پوشش گیاهی سالم و تازه وجود دارد)، الگوریتم SFIM بهترین کارایی را با ارائه دمای سطحی حداقل از خود نشان داد. در کاربری‌های بزرگراه و ترافیک سنگین هر سه الگوریتم بازدهی خوبی داشته‌اند و تطابق خوبی بین نوع کاربری و میزان دمای سطح زمین نشان داده‌اند. در محدوده ساختمان‌های چند طبقه خیابان‌های لادن (واحدهای آپارتمانی متراکم)، الگوریتم‌های T Sharp Dis Trade و Split Window بهترین تطابق بین نوع کاربری و دمای سطح زمین را نشان دادند، اما در کاربری ساختمان‌های ویلایی کارایی الگوریتم T Sharp Dis Trade بیشتر بوده است. به طور کلی الگوریتم SFIM در مناطق مسکونی تطابق بسیار نامناسبی بین دمای سطح زمین و نوع کاربری مذکور داشته است (روند کاهش دما را نشان داده است)، و T Sharp Dis Trade و Split Window به ترتیب بیشترین کارایی را داشته‌اند. نتایج حاصل از الگوریتم SFIM نشان می‌دهد که پس از انجام تصحیحات مختلف، به دست آوردن دمای سطح زمین و بررسی تغییرات دمایی، قدرت تفکیک مکانی تصویر خروجی حاصل از الگوریتم ۴۵ متر است و در نتیجه تصویر خروجی آن در مقایسه با کاربری‌ها، تصاویر گوگل ارث یا بازدیدهای میدانی، نتایج نامناسب از ماهیت کاربری‌های مختلف و ارتباط دمایی آن‌ها ارائه می‌دهد و شایان ذکر است که توانایی تصویر خروجی حاصل از الگوریتم SFIM از ماهواره لندست ۸، از نظر قدرت تفکیک مکانی، جهت مقایسه و بررسی جزایر حرارتی منطقه ۴ از شهر اهواز، نه تنها مناسب نیست بلکه نتایج اشتباه و نامناسب ارائه داده است (در مطالعه مارموس جونیور و همکاران نیز تصاویر لندست ۸ نتایج خوبی نداشته‌اند (Marques Junior et al., 2020)). همچنین این الگوریتم در اندازه‌گیری دمای سطح زمین، نتایج نادرستی ارائه می‌دهد.

نتایج حاصل از الگوریتم T Sharp Dis Trade توانسته است تصاویر دمای سطح زمین را با دقت مکانی ۳۰ متر در منطقه ۴ اهواز به طور میانگین حدود ۱۷.۵ درجه سانتی‌گراد نشان دهد که دمای قابل قبولی است. کمترین دمای به دست آمده ۷ درجه سانتی‌گراد و بیشترین دمای به دست آمده از این الگوریتم، ۲۸ درجه سانتی‌گراد است. تصویر خروجی حاصل از الگوریتم در مقایسه با کاربری‌های موجود در تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای میدانی، نتایج بسیار مناسب و قابل قبولی از دمای سطح زمین ارائه می‌دهد که با نتیجه مطالعات پیشین از جمله مطالعات آگام و همکاران و هاردی و آیزمان مطابقت دارد (Hardie et al., 2004; Agam et al., 2007). همچنین نتایج این الگوریتم با بازدیدهای میدانی مطابقت دارد. تصویر خروجی این الگوریتم به خوبی توانسته است دید جزئی و با دقت مکانی ۳۰ متر از منطقه ۴ اهواز جهت بررسی جزایر حرارتی به دست آورد. اما

به این الگوریتم در بحث اندازه‌گیری دمای سطح زمین نمی‌توان اتکا کرد؛ زیرا دما را کمتر از دمای واقعی سطح زمین نشان می‌دهد. بنابراین جهت اندازه‌گیری دمای سطح زمین، نیاز به کالیبره کردن نتایج دما با مقدار واقعی آن‌ها است. اما به طور کلی از تصاویر به عنوان تصاویر پایه یا تصاویر قابل استناد برای بررسی قدرت تفکیک مکانی استفاده می‌شود. نتایج حاصل از الگوریتم Split Windows نشان می‌دهد که تصویر خروجی حاصل از این الگوریتم در مقایسه با کاربری‌های موجود، تصاویر گوگل ارث یا بازدیدهای میدانی، نتایج مناسبی از دمای سطح زمین ارائه نمی‌دهد. در واقع خطا در این نتایج به وفور وجود دارد؛ زیرا دقت تصاویر ۱۰۰ متر است و در بسیاری از مکان‌ها به اشتباه دمای متفاوتی ارائه می‌دهد. بنابراین نیاز است که از تصاویر با دقت مکانی بالاتر استفاده شود و این الگوریتم، کارایی مناسبی جهت مطالعه جزایر حرارتی منطقه ۴ در بحث بهبود توان تفکیک نخواهد داشت. اما می‌تواند جهت مطالعه و بررسی دمای سطح زمین به صورت عمومی برای شهر اهواز بسیار مناسب باشد و نتایج مناسبی ارائه دهد؛ زیرا در آن از دو باند ۱۰ و ۱۱ جهت اندازه‌گیری دمای سطح زمین استفاده شده است و می‌توان در مطالعات به آن اتکا کرد.

۵- سپاس‌گزاری

تمامی مؤلفین این پژوهش از سازمان زمین‌شناسی آمریکا جهت فراهم نمودن داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده برای رسیدن به اهداف تحقیق، تقدیر و تشکر خود را اعلام می‌دارند.

۶- فهرست منابع

- اکبری، داود؛ و مینا مرادی‌زاده (۱۳۹۶). بهبود قدرت تفکیک مکانی باندهای حرارتی با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی و سطوح غیرقابل نفوذ. *سنجش از دور و GIS ایران*، ۹(۳)، ۳۳-۴۴.
- بیگی، شهاب‌الدین. (۱۳۹۲). بهبود قدرت تفکیک مکانی تصاویر حرارتی سنجنده مادیس جهت تهیه نقشه رطوبت خاک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- تقی‌خانی، محمدحسین؛ سیما، سمیه؛ ربیسی دهکردی، ایمان و کریمی، نعمت‌الله. (۱۴۰۱). تولید نقشه‌های دمای سطح زمین با قدرت تفکیک مکانی بالا از داده‌های ماهواره Sentinel-2، (مطالعه موردی: اصفهان). ۵۳(۱۲). ۲۷۷۵-۲۷۹۱.
- عزیزی، قاسم، ۱۳۸۳، تغییر اقلیم، انتشارات قومس، چاپ اول، تهران، ۲۸۴.
- علوی پناه، سید کاظم. (۱۳۹۷). سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم.
- فرهتج، فریناز و آخوندزاده، مهدی. (۱۳۹۶). بهبود توان تفکیک مکانی باندهای حرارتی در تصاویر چند طیفی با استفاده از روش کانتورلت. *نشریه علمی علوم و فنون نقشه برداری*، ۷(۱)، ۱۸۵-۲۰۲.

References

- Agam, N., Kustas, W. P., Anderson, M. C., Li, F., & Neale, C. M. (2007). A vegetation index based technique for spatial sharpening of thermal imagery. *Remote Sensing of Environment*, 107(4), 545-558. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.10.006>
- Akbari Davood & Moradizadeh Mina. (2018). Enhancement of Spatial Resolution of Thermal Bands Using Vegetation and Impervious Surface Indices. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*. 9, 3 - 3, P.P. 33-44. https://gisj.sbu.ac.ir/article_96371.html?lang=fa [in Persian]
- Alavi Panah, S. K. (2017). *Thermal Remote Sensing and its Application in Earth Sciences*, Tehran University Press, 4th Edition. https://press.ut.ac.ir/book_1807.html [in Persian]
- Azizi, Qasem, 2003, *Climate change*. Ghoomes Publishing company, first edition, Tehran, 284. <https://www.ghoomes.com/index.php/photos/album/5/photo/337.html> [in Persian]
- Beigi, Sh. (2013). Improving the spatial resolution of Madis sensor thermal images to prepare soil moisture maps, Master's Thesis, Faculty of Human Sciences, Tarbiat Modares University. SID. <https://sid.ir/paper/892878/f> [in Persian]
- Farhanj, F., & Akhoondzadeh, M. (2017). Spatial Resolution Enhancement of Thermal Bands in Multi-Spectral Images Using Contourlet Method. *Scientific-Research Journal of Mapping Sciences and Techniques*. 7th Volume, Number 1. <http://jgst.issgeac.ir/article-۱-۴۸۵-fa.html> [in Persian]
- Han, L., Shi, L., Yang, Y., & Song, D. (2014). Thermal physical property-based fusion of geostationary meteorological satellite visible and infrared channel images. *Sensors*, 14(6), 10187-10202. <https://doi.org/10.3390/s140610187>
- Hardie, R. C., Eismann, M. T., & Wilson, G. L. (2004). MAP estimation for hyperspectral image resolution enhancement using an auxiliary sensor. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(9), 1174-1184. DOI: 10.1109/TIP.2004.829779

- Hengkai, Li., Jianying, Zhang., Yuqing, Wang., Xiaoyong, Fan., Duan, Huang. (2024). Comparison of multi-factor spatial downscaling models for high-resolution LST estimation in mountainous and hilly open-pit mines, *Infrared Physics & Technology*, 136, 105085. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2023.105085>.
- Lestiana, H. (2018). Spatial resolution enhancement of satellite image data using fusion approach. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 118, No. 1, p. 012047). IOP Publishing. DOI 10.1088/1755-1315/118/1/012047
- Liao, W., Huang, X., Van Coillie, F., Gautama, S., Pižurica, A., Philips, W., ... & Tuia, D. (2015). Processing of multiresolution thermal hyperspectral and digital color data: Outcome of the 2014 IEEE GRSS data fusion contest. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(6), 2984-2996. DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2420582
- Liu, D., & Zhu, X. (2012). An enhanced physical method for downscaling thermal infrared radiance. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 9(4), 690-694. DOI: 10.1109/LGRS.2011.2178814
- Marques Junior, A., De Souza, E. M., Müller, M., Brum, D., Zanotta, D. C., Horota, R. K. & Cazarin, C. L. (2020). Improving Spatial Resolution of Multispectral Rock Outcrop Images Using RGB Data and Artificial Neural Networks. *Sensors*, 20(12), 3559. <https://doi.org/10.3390/s20123559>
- Namratha, H. N., & Raghu, M. T. (2013). Remote Sensing Satellite Image Fusion Using Fast Curvelet Transforms. *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online)*, 2319-7064. <https://www.ijsr.net/archive/v4i4/SUB153344.pdf>
- Nuo, Xu., Fan, Deng., Bingqi, Liu., Caixia, Li., Hancong, Fu., Huan, Yang., Jiahua, Zhang. (2021). Changes in the Urban Surface Thermal Environment of a Chinese Coastal City Revealed by Downscaling MODIS LST with Random Forest Algorithm. *Journal of Meteorological Research*. 35, 759-774. <https://doi.org/10.1007/s13351-021-0023-4>
- Pohl, C., and Van Genderen, J., 2016, Remote sensing image: A practical guide, Crc press.
- Ruchi, Bala., Rajendra, Prasad. & Vijay Pratap. Yadav. (2020). Thermal sharpening of MODIS land surface temperature using statistical downscaling technique in urban areas. *Theor Appl Climatol*, 141, 935-946. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03253-w>.
- Saleem, A., Awange, J. L., & Corner, R. (2021). Exploiting a texture framework and high spatial resolution properties of panchromatic images to generate enhanced multi layer products: Examples of Pleiades and historical CORONA space photographs. *International Journal of Remote Sensing*, 42(3), 929-963. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1820617>
- Sandip, Mukherjee., P.K. Joshi., & R.D. Garg. (2017). Downscaling of Coarse Resolution Satellite Remote Sensing Thermal Data. In: Hazra, S., Mukhopadhyay, A., Ghosh, A., Mitra, D., Dadhwal, V. (eds) *Environment and Earth Observation*. Springer Remote Sensing/Photogrammetry. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46010-9_3
- Shao-gang, LEL., Zheng-fu, BIAN., John, L. DANIELS., Dong-lie, LIU. (2014). Improved spatial resolution in soil moisture retrieval at arid mining area using apparent thermal inertia. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24, 6. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(14\)63265-9](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(14)63265-9).
- Shi, Z., Chen, C., Xiong, Z., Liu, D., Zha, Z. J. & Wu, F. (2018). Deep residual attention network for spectral image super-resolution. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV) Workshops* (pp. 0-0). https://openaccess.thecvf.com/content_ECCVW_2018/papers/11133/Shi_Deep_Residual_Attention_Network_for_Spectral_Image_Super-Resolution_ECCVW_2018_paper.pdf
- Skokovic, D., Sobrino, J. A., Jiménez Muñoz, J. C., Soria, G., Julien, Y., Mattar, C., & Cristóbal, J. (2014). Calibration and Validation of land surface temperature for Landsat8-TIRS sensor TIRS LANDSAT-8 CHARACTERISTICS. *L Prod Valid Evol ESA/ESRIN*, 27. https://earth.esa.int/eogateway/documents/20142/37627/ESA_Lpve_Sobrino_2014a.pdf/e8538039-27e4-8764-bfbb-6cb76dca97fb
- Solmaz, Fatholouloumi., Mohammad, Karimi., Firozjaei Asim, Biswas. (2022). Improving spatial resolution of satellite soil water index (SWI) maps under clear-sky conditions using a machine learning approach. *Journal of Hydrology*, 615, A, 128709. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128709>.
- Taghikhani, M. H., sima, S., raissi dehkordi, I. & karimi, N. (2023). Producing High-resolution Land Surface Temperature Maps Using Sentinel-2 Satellite Data in Isfahan. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(12), 2775-2791. doi: 10.22059/ijswr.2023.350130.669385 [in Persian]
- Taleghani, M. (2018). Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2011-2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.010>
- Yuan, Q., Shen, H., Li, T., Li, Z., Li, S., Jiang, Y. & Zhang, L. (2020). Deep learning in environmental remote sensing: Achievements and challenges. *Remote Sensing of Environment*, 241, 111716. DOI:10.1016/j.rse.2020.111716
- Zareie, S., Rangzan, K., Khosravi, H. et al. Comparison of split window algorithms to derive land surface temperature from satellite TIRS data. *Arab J Geosci* 11, 391 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3732-y>