

# تعیین بهترین الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین جهت شناسایی مناطق ژئوترمال

## مطالعه موردی: شهرستان مشکین شهر

رضا پرهیزکار عیسی لوه<sup>۱</sup>

بختیار فیضیزاده<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۳/۲۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۰۷/۱۴

\*\*\*\*\*

### چکیده

سنجدش از دور حرارتی با پوشش وسیع از سطح زمین و همچنین فراهم آوردن قابلیت محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به عنوان ابزار اقتصادی جدید نقش مهمی را در مطالعات محیط زیستی از جمله جستجوی منابع زمین گرمایی ایفا می‌کند. تهیه نقشه دمای سطح زمین، نکته کلیدی در دستیابی به ناهنجاری‌های زمین‌گرمایی است. در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های طیفی سنجنده OLI و داده‌های حرارتی سنجنده TIRS ماهواره لنده است، دمای سطح زمین با الگوریتم‌های تک باندی و پنجگره مجزامحاسبه گردیده و اطلاعات حرارتی حاصل از الگوریتم‌ها با داده‌های هواشناسی مورد ارزیابی قرار گرفت تا با استفاده از الگوریتم بهینه، نقشه دمای سطح زمین در سطح منطقه مورد مطالعه محاسبه شود. با توجه به اختلاف دمایی  $1/6$  درجه سانتی گراد الگوریتم پنجگره مجزا در مقایسه با الگوریتم تک باندی با اختلاف دمایی  $3$  درجه سانتی گراد نسبت به دمای هوای حاصل از ایستگاه هواشناسی در لحظه تصویربرداری، از نتیجه الگوریتم پنجگره مجزا جهت تهیه نقشه دمای سطح زمین استفاده گردید. اما حرارت سطحی محاسبه شده با الگوریتم پنجگره مجزا در سطح منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر عواملی مثل نور خورشید، ضربی افت محیط، تبخیر و تعرق و به علاوه منابع زمین‌گرمایی بود که باستثنی تأثیر عوامل غیر از منابع زمین‌گرمایی از نقشه دمای سطح زمین کم شده و به حداقل ممکن بررسد. بنابراین برای نایل آمدن به این هدف از مدل حرارتی استفاده شد. این مدل حرارتی استفاده شده یک مدل خطی است و ضربی مجھول آن با استفاده از روش سرشکنی کمترین مربعات محاسبه گردیده است. با تجزیه و تحلیل تصویر آنومالی حرارتی حاصل از مدل حرارتی، مناطقی به عنوان مناطق مستعد منابع ژئوترمال انتخاب شدند که علاوه بر اینکه نسبت به محیط اطراف خود دچار ناهنجاری شدند بلکه شواهد وجود منابع زمین‌گرمایی نیز در اطراف آنها موجود بود به گونه‌ای که دو منطقه با وسعت  $5/5$  و  $10/05$  هکتار در قسمت شمالی و شمال شرقی دهکده موئیل، یک ناحیه با وسعت  $1/4$  در جنوب غربی آبگرم قوطورسویی و یک ناحیه در قسمت جنوبی آبگرم قیصرجه با وسعت  $1/1$  هکتار به عنوان مناطق مستعد منابع زمین‌گرمایی در ناحیه اطراف کوهستان سبلان شناسایی شدند که از پتانسیل بالایی جهت اکتشاف منابع ژئوترمال برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور حرارتی، دمای سطح زمین، ناهنجاری حرارتی، انرژی زمین‌گرمایی، مشکین شهر

\*\*\*\*\*

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز rezaparhizcar@gmail.com

۲- دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول) valizadeh@tabrizu.ac.ir

۳- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز Feizizadeh@tabrizu.ac.ir

روش‌های نوین، کم‌هزینه و سریع جهت شناسایی پتانسیل زمین‌گرمایی می‌توان به فناوری سنجش از دور اشاره کرد که به علت توانایی در شناسایی پدیده‌ها و همچنین استخراج دمای سطح زمین بسیار مورد توجه پژوهشگران بوده و می‌تواند برای تعیین ناهنجاری‌های حرارتی در ارتباط با ویژگی‌های ظاهری انرژی زمین‌گرمایی مورد استفاده قرار گیرد (علوی پناه و همکاران، ۱۳۹۰). بنابراین نیاز مبرم و اساسی به درک صحیح مکانسیم زمین‌گرمایی و بکارگیری سنجش از دور حرارتی به عنوان روشی نوین و تکنیکی مهم و مقرن به صرفه جهت شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی در سطح شهرستان مشکین شهر احساس می‌شود. تاکنون پیشرفت‌ها و تلاش‌های قابل توجهی در دهه‌های گذشته در زمینه شناسایی مناطق مستعد زمین‌گرمایی از طریق سنجش از دور حرارتی صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

تیان و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۵) در تحقیقات خود با بهره‌گیری از سنجش از دور و ترکیب آن با درجه حرارت ورودی به شناسایی منابع ژئوتermal در هوکایدو، شمال ژاپن پرداختند، آن‌ها با تهیه نقشه دمای سطح زمین به این نتیجه رسیدند که بخش مرکزی هوکایدو دارای حداقل درجه حرارت بوده؛ در حالی که غرب و قسمتی از شرق این منطقه دارای گرادیان درجه حرارت بالا می‌باشد. بنابراین غرب و بخشی از شرق هوکایدو را مناسب‌ترین مناطق جهت اکتشاف نیروگاه زمین‌گرمایی معرفی نمودند. رزاستاین و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۵) به برآورد دمای سطح زمین با استفاده از باندهای حرارتی لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا پرداختند. آنها دمای سطح زمین را با دقت ۰/۹۳ درجه سانتی‌گراد محاسبه کرده و نتیجه را با داده‌های شبیه‌سازی شده ارزیابی کردند. توگی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به شناسایی منابع ژئوتermal

## ۱- مقدمه

پیش رفتن کشورهای دنیا به سمت صنعتی‌شدن و نیز روند رشد جمعیت از جمله‌ی عواملی هستند که مدیران و برنامه‌ریزان بخش انرژی را بر آن داشته تا هرچه بیشتر بر ضرورت به کارگیری انرژی‌های نو و سازگار با محیط‌زیست تأکید ورزند چرا که با گذشت زمان و کاهش ذخایر انرژی فسیلی، تعادل بین جمعیت و انرژی از بین رفته و در آینده نزدیک جامعه جهانی با کمبود انرژی مواجه خواهد شد (تباکی، ۱۳۹۳). کشور ما نیز در تکاپوی گذر از این تنگنای انرژی، به منابع انرژی‌های نو و تجدید پذیر چشم دوخته و به سرعت در مسیر تکوین و توسعه فناوری از آن گام بر می‌دارد.

انرژی زمین‌گرمایی یکی از منابع عمده انرژی‌های نو، تجدیدپذیر و سازگار با محیط‌زیست است که در صورت بهره‌برداری صحیح و مبتنی بر پارامترهای زیست محیطی، نقش مهمی را در موازنی انرژی کشور و اهداف توسعه‌ی پایدار خصوصاً در شهرستان مشکین شهر ایفا می‌کند. این شهرستان به واسطه‌ی سرمای طاقت فرسای زمستان، عدم وجود منابع انرژی نفت و گاز و وابستگی روستاییان به تأمین انرژی از منابع طبیعی دارای چالش‌های جدی در زمینه‌ی تأمین انرژی بوده و در آینده باشدت بیشتری با این چالش‌ها مواجه خواهد بود. از طرفی وجود چشم‌های آبگرم، فعالیت‌های آتش‌فشانی در منطقه و سایر شواهد نشان می‌دهد این شهرستان از پتانسیل مناسبی برای استفاده از انرژی زمین‌گرمایی برخوردار می‌باشد. هرچند در سال‌های اخیر مطالعاتی جهت احداث نیروگاه زمین‌گرمایی و بهره‌برداری از این نوع انرژی انجام شده ولی به نظر می‌رسد تمامی پتانسیل‌های زمین‌گرمایی موجود در سطح شهرستان شناسایی نشده و یا شناسایی آن برپایه روش‌های نوین و کم‌هزینه صورت نگرفته است. بنابراین نیاز به بررسی‌های مؤثر و مبتنی بر پارامترهای زیست محیطی در زمینه شناسایی، پنهن بندی و امکان توسعه‌ی مناطق بالقوه جهت بهره‌برداری بیشتر و بهتر از انرژی زمین‌گرمایی احساس می‌شود. از انواع

1-. Tian & et al

2- Rozenstein & et al

3- Togi & et al

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (جغرافیا)

تعیین بهترین الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین ... / ۸۱

است؛ وی با استفاده از روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی داده‌ها را در محیط GIS تلفیق نموده و به این نتیجه رسید که دو منطقه در شرق گلباف و اطراف محدوده جوشان دارای پتانسیل ژئوترمال می‌باشند. کاظمی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با استفاده از داده‌های حرارتی تصاویر لندست ۸ به تحلیل ناهنجاری‌های حرارتی گسل‌ها و ارتباط آن با منابع زمین‌گرمایی در گسل‌های شهداد و نایبند پرداخته و با تجزیه و تحلیل ناهنجاری‌های دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه به این نتیجه رسیدند که در نزدیکی زون مرکزی این دو گسل عمیق و بزرگ تجمع‌های حرارتی سطحی وجود دارد که این تجمعات حرارتی با فاصله گرفتن از زون مرکزی گسل کاهش می‌یابد. بنابراین مناطق معرفی شده می‌توانند به عنوان پتانسیل اولیه وجود منابع زمین‌گرمایی مورد بررسی تفصیلی واقع شوند.

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در زمینه شناسایی منابع زمین‌گرمایی از روش‌های GIS پایه و سنجش از دوری استفاده شده ولی این روش‌ها به تنهایی قادر به شناسایی نبوده و یا از دقت مناسبی برخوردار نیستند. بنابراین نیاز به ارائه مدلی حرارتی است تا این مدل با تلفیق سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی بتواند ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از انرژی زمین‌گرمایی را در سطح منطقه مورد مطالعه آشکار کند. همچنین با توجه به مطالعات پیشین مشخص می‌شود که تهیه نقشه دمای سطح زمین، نکته کلیدی در دستیابی به ناهنجاری‌های زمین‌گرمایی بوده و نقش الگوریتم‌های مختلف در برآورد دمای سطح زمین حائز اهمیت زیادی است. لذا در پژوهش حاضر سعی بر این است که در مرحله اول با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور حرارتی و سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ نقشه دمای سطح زمین با الگوریتمی بهینه از میان الگوریتم‌های پنجره مجرا و تک باندی محاسبه شود. سپس در مرحله بعد با تکیه بر دمای سطح حاصل از الگوریتم بهینه و مدل آنومالی حرارتی؛ مناطق مستعد منابع زمین‌گرمایی در سطح

در ناحیه دلک ماراوا<sup>۱</sup> پرداختند. آن‌ها از نرم‌افزار ArcGIS به عنوان ابزار نقشه‌برداری و همچنین از تصاویر لندست ۸ سنجنده OLI به عنوان داده ورودی به نرم‌افزار ENVI جهت پردازش استفاده نمودند تا دمای سطح زمین را که به منظور شناسایی منابع زمین‌گرمایی ضروری بود، محاسبه نمایند. درنهایت بالاترین مقدار دمای سطح را ۳۱۰ درجه کلوین به دست آوردند که حاوی موقعیت پتانسیل زمین‌گرمایی بود. کوانتان و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۷) به بازیابی دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های لندست ۸ پرداختند. آنها با استفاده از دو باند حرارتی ۱۰ و ۱۱ یک روش جدید برای بازیابی دمای سطح ارائه داده و جهت اعتبارسنجی بین دمای سطح زمین بازیابی شده و داده‌های مرجع از GSN<sup>۳</sup> استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که خطای دمای آب بالاتر از سایر انواع پوشش‌های زمینی است.

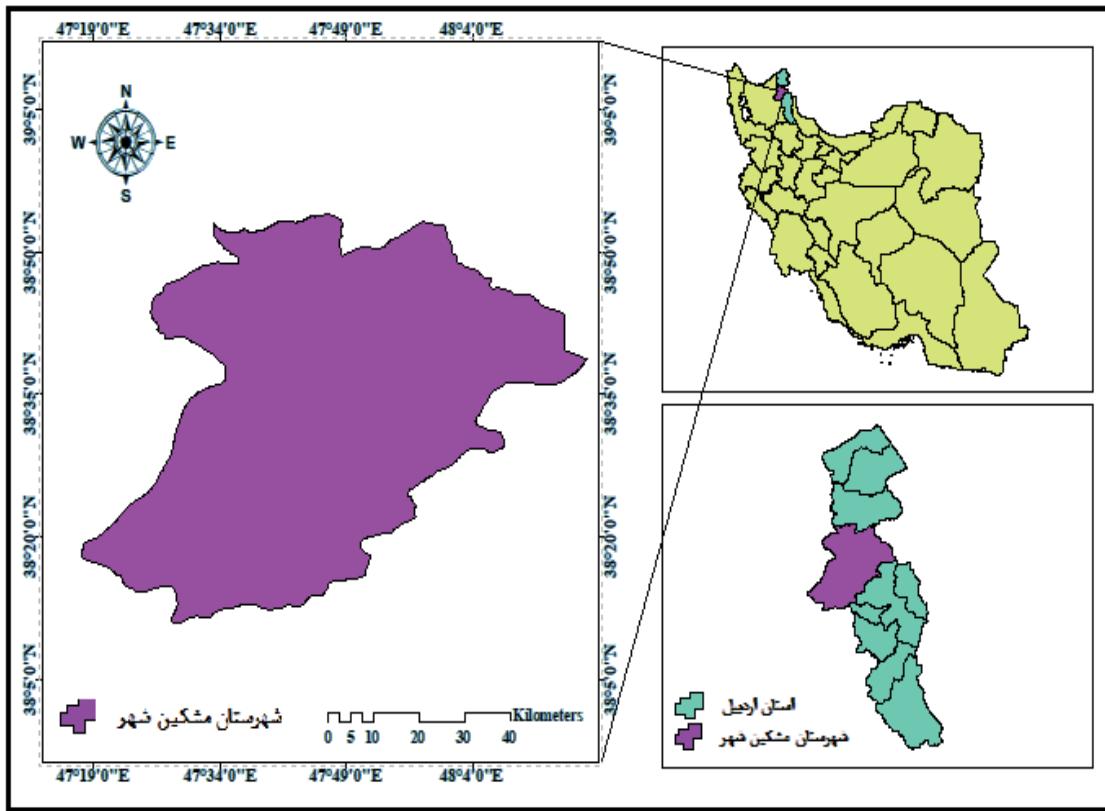
کسائیان (۱۳۹۳) در پایان‌نامه خود با استفاده از داده‌های حرارتی به شناسایی مناطق امیدبخش منابع زمین‌گرمایی پرداخته است. وی با بهره‌گیری از نرم‌افزار ArcGIS و به روش تلفیق بولین و فازی، نقشه نهایی مناطق مستعد منابع زمین‌گرمایی را تهیه نموده و به این نتیجه رسید که مناطق مرکزی و غرب استان اردبیل (شامل مناطق اطراف کوه سبلان) از احتمال بیشتری برای وجود منابع زمین‌گرمایی برخوردارند که این موضوع در بعضی از مناطق با وجود چشم‌های آب گرم نیز تأیید می‌گردد. فیضیزاده و همکاران (۱۳۹۵) به برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا در حوضه آبریز مهاباد پرداخته و توانستند دمای سطح زمین را با دقت معادل ۱/۴ درجه سانتی‌گراد برآورد نمایند.

فهیم (۱۳۹۶) در پژوهش خود، با استفاده از تصاویر سنجنده‌های مودیس، ETM+ و استر و داده‌های مغناطیسی هوابرد و زمینی، به بررسی نشانه‌های وجود پتانسیل منابع ژئوترمال در منطقه سیرچ-گلباف استان کرمان پرداخته

1-. Dolok Marawa

2-. Kuntan & et al

3-. Geo Sensor Network



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان مشکین شهر

شهرستان مشکین شهر مورد شناسایی قرار گیرند تا با توجه نقطه آن به نام سلطان سبلان دارای ارتفاع ۴۸۱۱ متر می‌باشد و مدیریت برنامه‌ریزان زمینه برای بررسی‌های اکتشافی (نگاره شماره ۱).  
براساس مطالعات دفتر انرژی زمین‌گرمایی سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، منطقه مشکین شهر بهترین نقطه برای استفاده از ظرفیت انرژی زمین‌گرمایی در کشور است به طوری که نخستین نیروگاه رژوترمال خاورمیانه در ارتفاع سه هزار متری کوهستان سبلان احداث گردیده و قابلیت تولید ۵۵ مگاوات انرژی برق با استفاده از حرارت داخل زمین را دارد.

شده از این شهر به عنوان منطقه مورد مطالعه پژوهش با وسعتی حدود ۳۸۰۰ کیلومترمربع بین طولهای جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرضهای جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی در شمال غربی ایران و در

## ۲-۲-داده و روش تحقیق

در این پژوهش به منظور برآورد دمای سطح زمین و تحلیل ناهنجاری‌های حرارتی جهت شناسایی مناطق مستعد منابع زمین‌گرمایی در شهرستان مشکین شهر به تنها ای از تصویر روز سنجنده OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ استفاده

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۱-۲- منطقه مورد مطالعه

شهرستان مشکین شهر به عنوان منطقه مورد مطالعه این پژوهش با وسعتی حدود ۳۸۰۰ کیلومترمربع بین طولهای جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرضهای جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی در شمال غربی ایران و در مناطق مرکزی استان اردبیل واقع شده که بیش از ۲۰ درصد از مساحت استان را در بر می‌گیرد. مرتفع‌ترین قسمت این شهرستان بخش جنوبی آن یعنی دامنه‌های شمالی و شمال‌غربی توده‌های آتشفسانی سبلان است که بلندترین

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ـ۸۰)

تعیین بهترین الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین ... / ۸۳

جدول ۱: ویژگی‌های تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق

قدرت تفکیک مکانی (متر)	باند	ساعت تصویربرداری (به وقت محلی)	تاریخ دریافت تصاویر		نام سنجنده
			شمسی	میلادی	
۳۰	۵ و ۴	۱۰:۳۰	۱۳۹۶/۰۶/۰۹	۲۰۱۷/۰۸/۳۱	OLI
۱۰۰	۱۱ و ۱۰	۱۰:۳۰	۱۳۹۶/۰۶/۰۹	۲۰۱۷/۰۸/۳۱	TIRS

مأخذ: فایل مرجع تصاویر

جدول ۲. آمار دمای هوای ایستگاه مشکین شهر

ردیف	نام ایستگاه	تاریخ اندازه‌گیری	ساعت اندازه‌گیری به وقت گرینویچ	دماهی هوای در درجه سانتی‌گراد
۱	مشکین شهر	۱۳۹۶/۰۶/۰۹	۰۷	۲۵
		۱۳۹۶/۰۶/۰۹	۰۸	۲۸

شده است چراکه فرآیند محاسباتی دمای سطح زمین متأثر از کاربری و پوشش زمین بوده و تصاویر شب در این زمینه کارایی مناسبی ندارند هرچند که این تصاویر اثرات حرارتی ناشی از انرژی خورشید در طول روز را کاهش می‌دهند ولی از لحاظ قدرت تفکیک مکانی و تأثیرات اتمسفری مناسب این نوع پژوهش نبوده و یا از دقت کافی برخوردار نیستند. جدول شماره ۱ مشخصات تصویر ماهواره‌ای استفاده شده در تحقیق را نشان می‌دهد که این تصاویر از سازمان زمین شناسی ایالات متحده درخواست و از سایت مربوط دریافت شد. همچنین برای تعیین الگوریتم بهینه جهت محاسبه دمای سطح زمین از داده‌های هواشناسی ایستگاه مشکین شهر، اخذ شده از اداره کل و مرکز تحقیقات هواشناسی استان اردبیل استفاده شده است (جدول شماره ۲). به گونه‌ای که آمار مربوط به دمای هوای دوره یک‌روزه (۱۳۹۶/۰۶/۰۹) می‌باشد که همان روز گذر ماهواره لنdest ۸ از منطقه مورد مطالعه است.

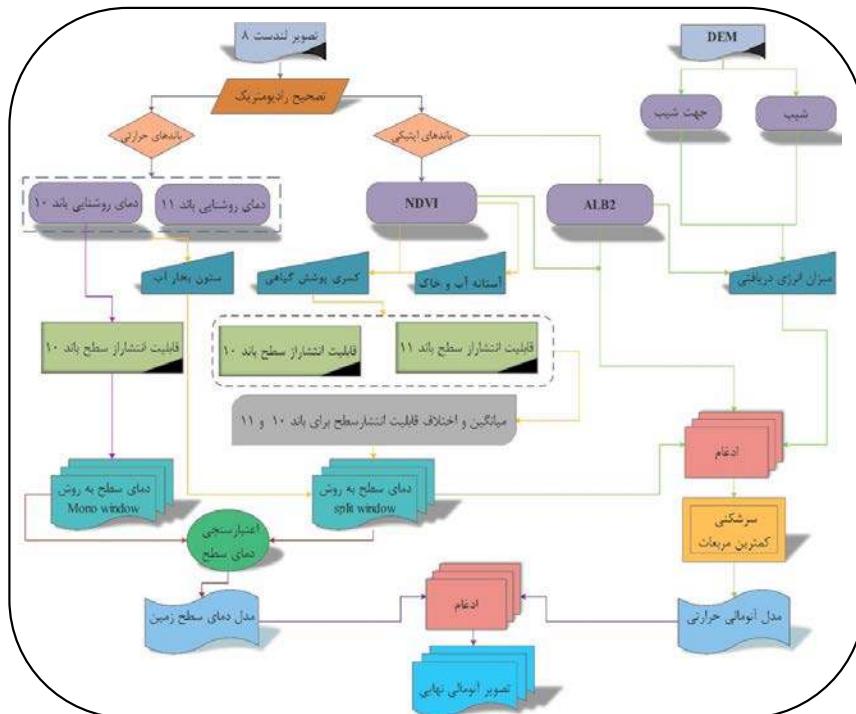
روش پیشنهادی در نگاره شماره ۲ ارائه شده است.

به طوری که این روش برای اولین بار با بهره‌گیری از دمای سطح زمین به عنوان نکته کلیدی در دستیابی به ناهنجاری‌های حرارتی و همچنین با استفاده از مدل آنومالی حرارتی به شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد منابع زمین‌گرمایی در سطح منطقه مورد مطالعه پرداخته است. فرآیند انجام روش

می‌شود:

### ۲-۳- فرآیند محاسبه دمای سطح زمین

تهیه نقشه دمای سطح زمین نکته کلیدی در دستیابی به ناهنجاری‌های زمین‌گرمایی می‌باشد (جعفری و امامی، ۱۳۹۵). در چند دهه اخیر تخمین دمای سطح زمین از



نگاره ۲: فرآیند کلی تحقیق

طريق داده‌های ماهواره‌ای پیشرفته چشمگیری داشته در مرحله بعد تصحیحات اتمسفری لازم صورت می‌گیرد که هدف از این نوع تصحیحات حذف کردن تأثیرات اتمسفر مانند جذب، تابش‌های رو به بالا و همچنین پراکنش‌های سطح زمین است. این تأثیرات مقادیر رقومی ثبت شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در اینجا برای انجام تصحیح رادیومتریک تصاویر از روش فلش<sup>۳</sup> استفاده شده است. این تصحیح اولین ابزار تصحیح اتمسفری می‌باشد که طول موج قابل روئیت، طول موج‌های مادون‌قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تا ۳ میکرومتر را تصحیح می‌کند (بیات، ۱۳۹۵).

در تحقیق حاضر جهت محاسبه توان تشعشعی<sup>۴</sup> از NDVI<sup>۵</sup> استفاده شده است که این شاخص می‌تواند به عنوان شاخص پایه جهت تعیین سایر پارامترهای پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گیرد (پرویز و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین با توجه به اینکه شاخص پوشش گیاهی نقش عمده‌ای را در نقل و انتقالات انرژی بین زمین و اتمسفر دارد و اثرات

طريق داده‌های ماهواره‌ای پیشرفته چشمگیری داشته و الگوریتم‌های مختلف و متنوعی برای تخمین دما با سنجنده‌های مختلف ارائه گردیده است که اساس این الگوریتم بر پایه فرضیات و تقریب‌های متنوعی از معادله تشعشعی استوار است (جویباری مقدم و همکاران، ۱۳۹۴).

مراحل اصلی بدست آوردن دمای سطح زمین در این تحقیق شامل کالیبراسیون رادیومتریکی، تصحیح خطاهای اتمسفری، محاسبه توان تشعشعی است. روش‌های استفاده شده برای محاسبه دمای سطح زمین الگوریتم‌های Mono Window و Split Window می‌باشد که از باندهای حرارتی و اپتیکی ماهواره در لحظه تصویربرداری استفاده می‌کنند. نگاره شماره ۳ مراحل انجام روش‌های چندباندی Split (Window) و تک باندی (Mono Window) را جهت محاسبه دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

در مرحله کالیبراسیون رادیومتریکی، مقادیر رقومی<sup>۶</sup> ثبت شده توسط سنجنده به تابش طیفی<sup>۷</sup> تبدیل می‌شوند که در پژوهش حاضر کالیبراسیون رادیومتریکی تصاویر مطابق با

3- Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes

4- Emissivity

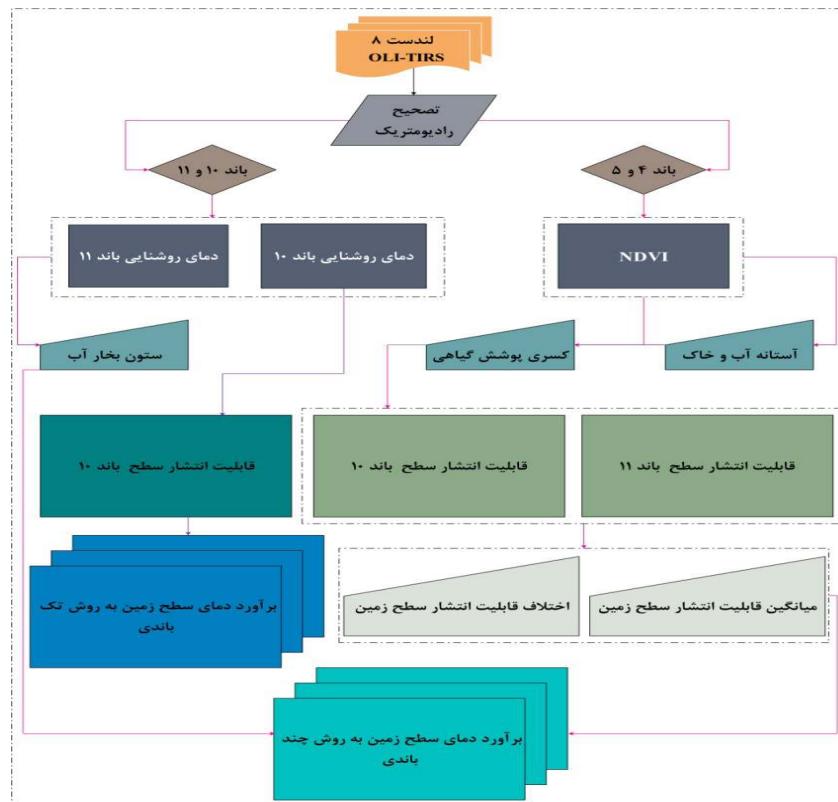
5- Normal Differential Vegetation Index

1- Digital Number

2- Spectral Radiance

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (GSR)

تعیین بهترین الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین ... / ۸۵



### نگاره ۳: مراحل برآورد دمای سطح زمین به دو روش تک باندی و چند باندی

متفاوتی را بر دما ایجاد می کند در نتیجه می توان آن را به عنوان یک شانص تأثیرگذار در محاسبه دمای سطح زمین به شمار آورد (سابرینو و همکاران، ۱۳۹۵). یک رویکرد مشترک برای برآورد FVC شامل ترکیبی غیرخطی از دو عنصر طیفی در یک تصویر ماهواره‌ای شامل خاک لخت و پوشش گیاهی سبز است (ناجی دومیرانی و همکاران، ۱۳۹۶).

شاخص FVC با رابطه ۲ محاسبه می شود.

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_S}{NDVI_V - NDVI_S} \quad (رابطه ۲)$$

در این رابطه،  $NDVI$ : شاخص پوشش گیاهی،  $NDVI_S$ : مناطق بدون پوشش گیاه شاخص،  $NDVI_V$ : مناطق پوشیده از گیاه شاخص اجسام با درجه حرارت بالاتر از صفر مطلق، تشعشعات حرارتی از خود ساطع می کنند که به این تشعشعات شار تابشی گفته می شود (سابرینو و همکاران، ۲۰۰۴). مقدار توان تشعشعی براساس مقادیر NDVI به صورت جدول شماره ۳ محاسبه می شود.

شاخص NDVI فرآیند محاسباتی ساده دارد و در مقایسه با دیگر شاخص‌ها دارای بهترین توان دینامیک می‌باشد.

شاخص NDVI با رابطه ۱ محاسبه می شود (کوگان، ۱۹۹۳).

(رابطه ۱)

$$NDVI = \frac{\rho_{Near} - \rho_{Red}}{\rho_{Near} + \rho_{Red}}$$

$\rho_{Near}$ : مقادیر بازتاب در باند مادون قرمز (حدوداً ۰/۸۶ میکرومتر)،  $\rho_{Red}$ : مقادیر بازتاب در باند قرمز (حدوداً ۰/۶۵ میکرومتر) را نشان می‌دهد. محدوده این شاخص بین ۱-۰ است که مقادیر آن برای پوشش گیاهی متراکم بالاتر از یک می‌باشد در حالی که ابرها، برف و آب با مقادیر منفی مشخص می‌شوند. بعد از محاسبه NDVI شاخص کسری

1- Jimenez-Munoz & et al

2- Kogan

$$T = K_2 / \ln\left(\frac{K_1}{L_3} + 1\right) \quad (\text{رابطه } 4)$$

در این رابطه،  $T$  دمای تابشی به کلوین است که بر روی سطح سنجنده ثبت می‌گردد،  $K_1$  و  $K_2$  ثابت‌های تبدیل حرارتی باندهای حرارتی هستند که از فایل مرجع (Header) استخراج می‌گردد و  $L_3$  درخشندگی جو بالا می‌باشد. اما ستون بخارآب که در بهبود دقت و بازیابی دمای سطح زمین نقش مهمی را ایفا می‌کند با رابطه ۵ قابل محاسبه می‌باشد.

(رابطه ۵)

$$CVW = C_0 + C_1 A = \pi r^2 * \left(\frac{T_j}{T_i}\right) + C_2 \left(\frac{T_j}{T_i}\right)^2$$

در این رابطه  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  ضرایب ثابت به دست آمده از داده‌های شبیه‌سازی شده و  $T_j$  و  $T_i$  میانگین دمای روشنایی هستند (ناجی دومیرانی، ۱۳۹۶).

در مرحله پایانی مقدار LST با استفاده از الگوریتم‌های چندباندی و تکباندی محاسبه می‌شود.

روش الگوریتم پنجره مجزا (Split Window) یکی از الگوریتم‌های چندباندی است که دمای سطح زمین را بادقت بالایی محاسبه می‌کند (ابراهیمی هروی و همکاران، ۱۳۹۵). در پژوهش حاضر جهت دست‌یافتن به این امر از رابطه ۶ که دارای معیارهای مختلفی است، استفاده شده است.

(رابطه ۶)

$$\begin{aligned} LST &= TB10 + C1(TB10 - TB11) + C2(TB10 - TB11)^2 + \\ &C0 + (C3 + C4W) + (1 - m) + (C5 + C6W) \Delta m \end{aligned}$$

در این رابطه LST بیانگر دمای سطح زمین به درجه کلوین می‌باشد. در حالیکه  $C_0$  تا  $C_6$  بیانگر ضریب‌های ثابت الگوریتم پنجره مجزا هستند که با شبیه‌سازی اعداد مختلف از شرایط اتمسفر و سطح بدست آمدند (گارسیاهارو، ۲۰۰۵). همچنین  $TB10$  و  $TB11$  بیانگر دمای روشنایی باند ۱۰ و ۱۱ به درجه کلوین،  $\epsilon$  بیانگر گسیل‌مندی سطحی باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱،  $W$  بیانگر ظرفیت بخارآب اتمسفری و  $\Delta m$  اختلاف در گسیل‌مندی سطحی باندهای ۱۰ و ۱۱ است. برخلاف روش‌های چند باندی که جهت

جدول ۳: روابط قابلیت انتشار و شاخص تفاضل گیاهی نرمال‌شده

شاخص تفاضل گیاهی نرمال‌شده	گسیل‌مندی سطح زمین
NDVI < 0.2	$ai \rho Rcd + bi$
$0.2 \leq NDVI \leq 0.5$	$\epsilon = \epsilon_{vpv} + \epsilon_s (1 - pv) + ci$
$NDVI \geq 0.5$	$\epsilon = \epsilon_v + C_i$

مأخذ: ناجی دومیرانی و همکاران، ۱۳۹۶

در ادامه فرایند محاسبه دمای سطح زمین نیاز به محاسبه قابلیت انتشار سطح زمین (LSE) می‌باشد که به صورت نسبت انرژی گرمایی تابش شده به وسیله سطح به انرژی گرمایی تابش شده به وسیله جسم سیاه در همان دما تعريف می‌شود (جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۴). این پارامتر یکی از معیارهای مهم در محاسبه دمای سطح زمین می‌باشد که به صورت جداگانه برای هر دو باند حرارتی سنجنده TIRS با رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$LSE = E_{vs} * (1 - FVC) + E_v * FVC \quad (\text{رابطه } 3)$$

در این رابطه، LSE : قابلیت انتشار سطح زمین،  $E_{vs}$  : انتشار گیاه و خاک برای باندهای حرارتی، FVC : شاخص کسری پوشش گیاهی است که در جهت محاسبه مقادیر ضریب انتشار خاک و پوشش گیاهی برای باندهای حرارتی ماهواره لنdest ۸ از نتایج تحقیقات پیشین استفاده شده است (فیضیزاده و همکاران، ۱۳۹۵). بعد از محاسبه کردن LSE برای هریک از باندهای حرارتی، اختلاف و میانگین این دو باند نیز محاسبه می‌شود. همچنین در این مرحله از پژوهش نیاز به محاسبه دمای روشنایی و ستون بخار آب می‌باشد که دمای به دست آمده از زمین در ارتفاع ماهواره، دمای روشنایی نامیده می‌شود (مجرد و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین داده‌های باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ را می‌توان به صورت جداگانه و با استفاده از ثابت حرارتی موجود در فایل متادیتا از طیف درخشندگی به دمای روشنایی (BT) تبدیل کرد که این روش با رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (GCR)

تعیین بهترین الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین ... / ۸۷

مقادیر توابع اتمسفریک  $W_1$ ,  $W_2$  و  $W_3$  از روابط (۱۰) و (۱۱) و (۱۲) محاسبه می‌شوند. برای محاسبه توابع اتمسفریک با مراجعه به وب‌سایت <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov> وارد نمودن تاریخ تصاویر و مختصات منطقه مورد نظر، مقدار این پارامترها را می‌توان محاسبه نمود.

$$W_1 = \frac{1}{\tau} \quad (\text{رابطه } 10)$$

$$W_2 = L^{\downarrow} - \frac{L^{\top}}{\tau} \quad (\text{رابطه } 11)$$

$$W_3 = L^{\downarrow} \quad (\text{رابطه } 12)$$

در روابط بالا  $\tau$  انتقال جو،  $L^{\uparrow}$  بالا آمدن درخشندگی جو،  $L^{\downarrow}$  پایین آمدن در درخشندگی جو می‌باشد (والاوندیر و همکاران، ۲۰۱۲).

ارزیابی دقت و اعتبارسنجی دمای حاصل از داده‌های ماهواره‌ای اغلب چالش برانگیز بوده و در دهه‌های اخیر چندین الگوریتم برای بازیابی دمای سطح از داده‌های حرارتی گسترش داده شده است، با این حال اعتبارسنجی دمای حاصل از این داده‌ها بدليل برخی مشکلات چندان توسعه نیافته است. اما لازمه به کارگری هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است بنابراین در تحقیق حاضر با توجه به در دسترس بودن دمای هوای ساعتی ایستگاه مشکین شهر در هنگام عبور ماهواره، از این داده‌ها جهت ارزیابی دقت مدل استفاده شد. برای این منظور، داده‌های دمای سطح به دست آمده به روش الگوریتم پنجره مجزا (Split Window) با کمک رابطه ۱۳ و دمای سطح حاصل از روش تک باندی (Mono Window) از طریق رابطه ۱۴ که به ترتیب توسط گارسیا-هارو و همکاران<sup>۲</sup> و رحیمیان و همکاران ارائه شده، به دمای هوا تبدیل، و سپس با داده ایستگاه مشکین شهر مقایسه شدند تا از بین دو الگوریتم مذکور، الگوریتم بهینه جهت محاسبه دمای سطح زمین انتخاب گردد.

محاسبه دمای سطح زمین از دو باند حرارتی سنجنده‌ها استفاده می‌کند، در روش‌های تک باندی، هدف رسیدن به الگوهایی برای استخراج دمای سطح زمین با استفاده از یک باند حرارتی در سنجنده‌ها است (عسگرزاده و همکاران ۱۳۹۵).

در روش Mono – Window با فرض معلوم بودن ضربی گسیل و پروفیل‌های اتمسفری؛ دمای سطح زمین با رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$LST = y \left[ \frac{1}{\varepsilon} (W_1 * L_s + W_2) + W_3 \right] + \delta \quad (\text{رابطه } 7)$$

در این رابطه  $LST$  دمای سطح زمین بر حسب کلوین،  $\varepsilon$  گسیل‌مندی سطح (به طور معمول  $0.98$ ) در نظر گرفته می‌شود،  $L_s$  تابش طیفی،  $y$  و  $\delta$  پارامترهای وابسته به رابطه پلانگ،  $W_1$ ,  $W_2$  و  $W_3$  توابع اتمسفریک می‌باشند. مقدار  $y$  و  $\delta$  که پارامترهای وابسته به رابطه پلانگ هستند از روابط ۸ و ۹ به دست می‌آیند.

$$y = \left\{ C_2 * L_s / T_s^2 \left[ \frac{y^4 * L_s}{C_0} + \frac{1}{y} \right] \right\}^{-1} \quad (\text{رابطه } 8)$$

در این رابطه  $T_s$  و  $L_s$  به ترتیب تابش طیفی و دمای روشنایی می‌باشند.  $\lambda$  طول موج مؤثر تصاویر لندست ۸ بر حسب میکرومتر ( $\mu\text{m}$ ) می‌باشد که در جدول شماره ۴ مقدار آن‌ها درج شده است.  $C_1$  و  $C_2$  نیز ثابت‌های تابش پلانگ می‌باشند که مقدار  $C_1$  برابر  $10^{10.4} / 1910$  و  $C_2$  برابر  $10^4 / 43877$  بر حسب  $\mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{w}^{-1}$  می‌باشد (والاوندیر و همکاران، ۲۰۱۲). جدول ۴: مقدار  $\lambda$  برای باندهای ۱۰ و ۱۱ تصاویر ماهواره‌ای

لندست ۸

لندست ۸	باند ۱۰	باند ۱۱
طول موج ( $\lambda$ )	۱۰/۸۹۵	۱۲/۰۰۵

مأخذ: شاهید، ۲۰۱۴

$$\delta = -y * L_s + T_s \quad (\text{رابطه } 9)$$

تابش خورشید،  $D_t$  : فاکتور تأخیر و  $\Delta t$  : فاصله زمانی محاسبه انرژی خورشید می باشد.

در نهایت میزان انرژی خورشیدی جذب شده با رابطه ۱۷ محاسبه می شود (واتسون و همکاران، ۲۰۰۹).

$$E_{q\text{-Model}} = E_q \quad (1\text{-Albedo}) \quad (\text{رابطه } ۱۷)$$

برای محاسبه آلبیدو ( $\alpha$ ) از روش پیشنهاد شده توسط لیانگ استفاده می شود که به دلیل محدودیت تعداد صفحات در این مقاله خواننده را به مطالعه جزئیات در منبع اصلی ارجاع می دهیم (کینهولزو همکاران، ۲۰۰۹).

## ۴-۲- مدل سازی اثر افت محیطی

به طور کلی دمای هوا و سطح زمین با افزایش ارتفاع کاهش می یابد که به این مسئله اثر افت محیط گویند. این اثر بیشتر در شب مشهود است و در روز به دلیل وجود نور خورشید و سایه مخدوش می گردد. میزان این اثر به طور میانگین کاهش دمایی در حد  $6/5$  درجه سانتی گراد در هر کیلومتر می باشد ولی برای همه مناطق و تصاویر عدد دقیقی نمی باشد. به منظور مدل سازی این اثر، رابطه بین DEM منطقه مورد مطالعه با LST به صورت یک رابطه خطی با شبی منفی در نظر گرفته می شود (کولبو و همکاران، ۲۰۰۷).

## ۴-۳- مدل سازی اثر تبخیر و تعرق

برای مدل کردن اثر تبخیر و تعرق از شاخص های گیاهی استفاده می شود. به طوری که یک رابطه خطی منفی بین شاخص های گیاهی و LST وجود دارد. این مسئله بدین دلیل می باشد که افزایش تاج پوشش گیاهان ارتباط مستقیمی در افزایش تبخیر و تعرق منطقه و در نتیجه کاهش دمای سطح دارد. در نتیجه مدل حرارتی اثر تبخیر و تعرق به صورت یک رابطه خطی منفی بین NDVI و LST در نظر گرفته می شود (مانسن و همکاران، ۲۰۱۱).

$$T_a = 14.6 + 0.44 * LST \quad (\text{رابطه } ۱۳)$$

$$T_a = 0.8158 * LST - 5.111 \quad (\text{رابطه } ۱۴)$$

**۴-۴- آشکارسازی آنومالی های حرارتی سطح زمین**  
برای آشکارسازی آنومالی های حرارتی سطح زمین، مدل آنومالی حرارتی از تصویر دمای سطح زمین کم می شود و نتیجه تصویری است که تغییرات حرارتی باقیمانده ناشی از وجود منابع زمین گرمایی را نشان می دهد. در حالت ایده آل در صورتی که در منطقه ای منابع زیر زمینی گرم کننده یا خنک کننده وجود نداشته باشد، تصویر آنومالی نهایی دارای واریانس صفر خواهد بود که با رابطه ۱۵ محاسبه می شود.

$$\text{Anomaly image} = T_{\text{observed}} - T_{\text{model}} \quad (\text{رابطه } ۱۵)$$

در این رابطه  $T_{\text{observed}}$  دمای سطح زمینی است که از تصویر ماهواره ای لندست ۸ و با الگوریتم پنجره مجرا محاسبه شده و  $T_{\text{model}}$  مدل سازی اثر خورشید، افت محیطی و اثر تبخیر و تعرق می باشد. که در ادامه نحوه مدل سازی موارد ذکر شده توضیح داده می شود.

## ۴-۱- مدل سازی اثر خورشیدی

با توجه به تحقیقات اخیر به منظور مدل سازی اثر خورشید، مدل های موجود بررسی شده و مدل کولبو به عنوان بهترین مدل که می تواند اثر خورشید را از روی تصویر دمای سطح زمین تعديل کند انتخاب شد. در این روش، میزان اثر خورشید در گرم کردن زمین به صورت تجمعی از ساعت طلوع خورشید می باشد که با استفاده از رابطه ۱۶ اثر خورشید در سطح زمین را محاسبه می کند.

$$E_q = f S_0 \sum_t^i (M(z)_t \cos(Z_t) D_t) \Delta t \quad (\text{رابطه } ۱۶)$$

در این رابطه  $E_q$  انرژی ورودی خورشید در طول زمان،  $S_0$  ثابت انرژی خورشیدی،  $f$ : درصد پوشش ابر،  $M(z)_t$  : ضریب عبور اتمسفر وابسته به زاویه زنیت خورشیدی،  $\cos(Z_t)$  : کسینوس زاویه بین نرمال بر سطح و راستای

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (جغرافیا)

تعیین بهترین الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین ... / ۸۹

و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$(LST - A_0 + A_1 (1 - \text{Albedo}) \sum_t^i (M(z)_t \cos(Z_t) D_t) \Delta t_t - A_2 \cdot H - A_3 \cdot NDVI)$$

(رابطه ۲۰)

### ۳- بحث و ارزیابی نتایج ۱-۳- بررسی دمای سطح منطقه

هدف از این پژوهش شناسایی مناطق مستعد منابع زمین گرمایی با ترکیب دمای سطح زمین و مدل آنومالی حرارتی با استفاده از سنجش از دور حرارتی بود. جهت برآورد دمای سطح زمین از دو روش تک باندی و چند باندی استفاده شد تا بهترین روش برای برآورد LST انتخاب شده و در حوزه شناسایی مناطق مستعد منابع زمین گرمایی به کار گرفته شود. برای دست یافتن به این امر از معیارهای مختلفی استفاده شده و نقشه هر یک از این معیارها با کاربرد روابط ریاضی مربوطه تهیه گردید (نگاره شماره ۴). سپس با توجه به پارامترهای الگوریتم پنجره مجزا (Split Window) و تک باندی (Mono Window) نقشه دمای سطح زمین بر روی تصویر لندست ۸ از منطقه مورد مطالعه استخراج شد.

نگاره شماره ۵ نقشه های نهایی حاصل از الگوریتم پنجره مجزا و تک باندی را در سطح منطقه مورد مطالعه نشان می دهد.

با توجه به نتیجه حاصل از الگوریتم پنجره مجزا مقادیر دما در منطقه مورد مطالعه بین ۴۱/۳ - ۱۶/۳ درجه سانتی گراد می باشد. مناطق با پوشش گیاهی، ارتفاع بالا و پوشیده از آب (رودخانه) دارای حداقل مقادیر دما که بین ۱۶/۳ - تا ۱۴/۹ درجه سانتی گراد در نوسان بوده و بیشترین مقادیر دمایی مربوط به نواحی عاری از پوشش گیاهی و ارتفاع کم است که بین ۳۳/۳ تا ۴۱/۳ درجه سانتی گراد در نوسان می باشد. اصلی ترین عامل این اختلاف حرارتی، مورفولوژی و ویژگی های متفاوت منطقه است. در الگوریتم تک باندی جهت دستیابی به دمای سطح

### ۴-۴- محاسبه تصویر آنومالی نهایی

جهت محاسبه تصویر آنومالی نهایی بایستی پارامترهای مجهول موجود در مدل محاسبه شوند. در نتیجه مدل محاسبه تصویر آنومالی حرارتی به صورت رابطه ۱۸ تعریف می شود:

(رابطه ۱۸)

$$\text{Anomaly}_{\text{coolbaugh}} = LST - (A_0 + A_1 (1 - \text{Albedo}) \sum_t^i (M(z)_t \cos(Z_t) D_t) \Delta t_t - A_2 \cdot H - A_3 \cdot NDVI)$$

به منظور محاسبه ضرایب با شرط مینیمم کردن واریانس تصویر آنومالی بهتر است همه ضرایب باهم حل شوند. در واقع یک مسئله بهینه سازی چند معیاره است که با روش سرشکنی کمترین مربعات می توان ضرایب را محاسبه کرد. در این معادله چهار مجهول وجود دارد و به ازای هر پیکسل یک معادله نوشته می شود بنابراین فرم سرشکنی کمترین مربعات به صورت رابطه ۱۹ می باشد.

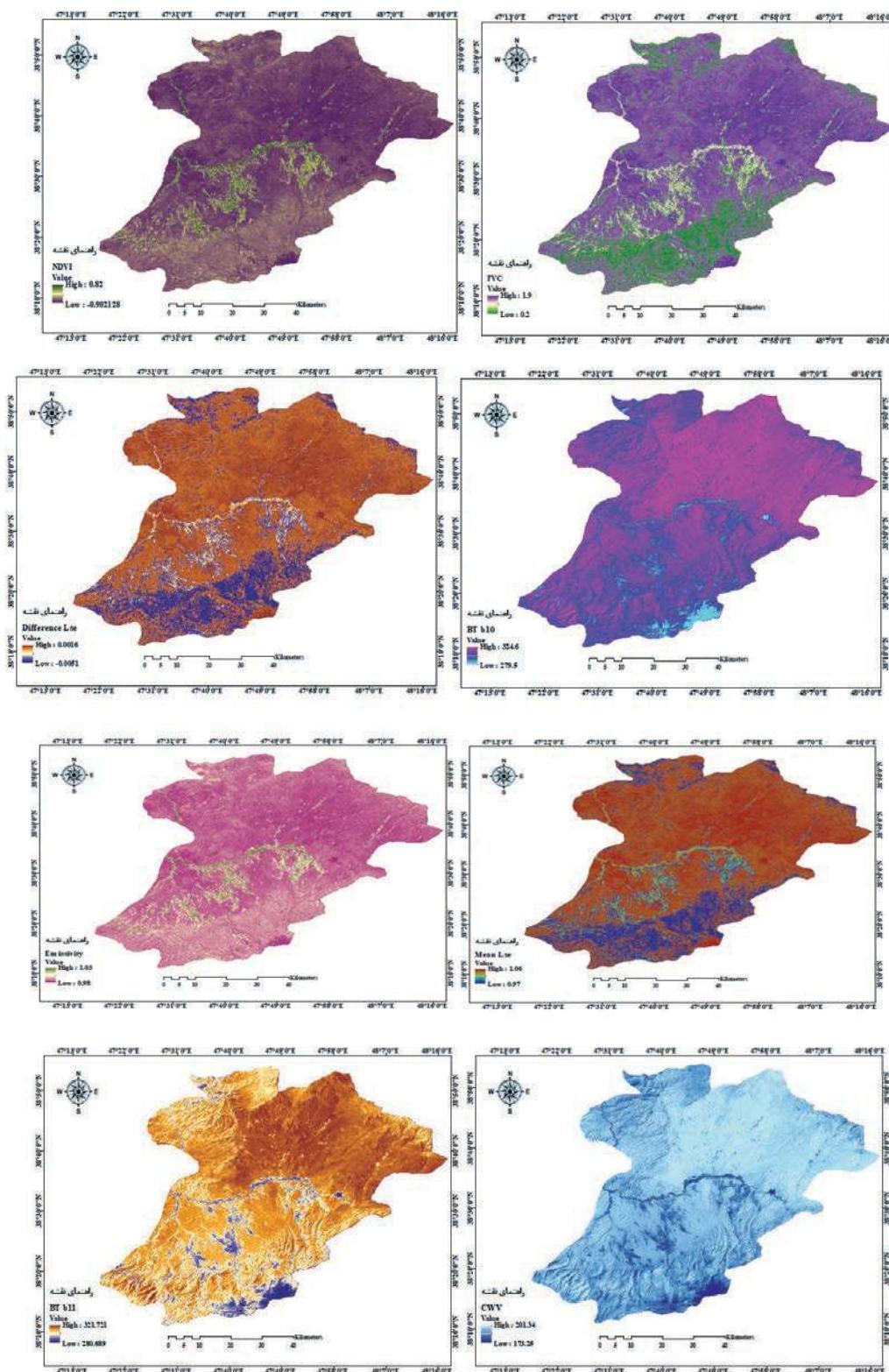
(رابطه ۱۹)

$$B = LST = A \cdot X \Rightarrow B - A \cdot X \rightarrow \text{Min} = \text{least Square Adjustment}$$

$$(LST - \begin{bmatrix} 1 & (1 - \text{Albedo}) \sum_t^i (M(z)_t \cos(Z_t) D_t) \Delta t_{t_{i,j}} - h_{i,j} - NDVI_{i,j} \\ 1 & . & . & . \\ . & . & . & . \\ 1 & (1 - \text{Albedo}) \sum_t^i (M(z)_t \cos(Z_t) D_t) \Delta t_{t_{i,j}} - h_{i,j} - NDVI_{i,j} \\ 1 & (1 - \text{Albedo}) \sum_t^i (M(z)_t \cos(Z_t) D_t) \Delta t_{t_{m,n}} - h_{i,j} - NDVI_{m,n} \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{bmatrix}) \rightarrow \min$$

$$\begin{bmatrix} 1 & (1 - \text{Albedo}) \sum_t^i (M(z)_t \cos(Z_t) D_t) \Delta t_{t_{i,j}} - h_{i,j} - NDVI_{i,j} \\ 1 & . & . & . \\ . & . & . & . \\ 1 & (1 - \text{Albedo}) \sum_t^i (M(z)_t \cos(Z_t) D_t) \Delta t_{t_{i,j}} - h_{i,j} - NDVI_{i,j} \\ 1 & (1 - \text{Albedo}) \sum_t^i (M(z)_t \cos(Z_t) D_t) \Delta t_{t_{m,n}} - h_{i,j} - NDVI_{m,n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{bmatrix} \rightarrow \min$$

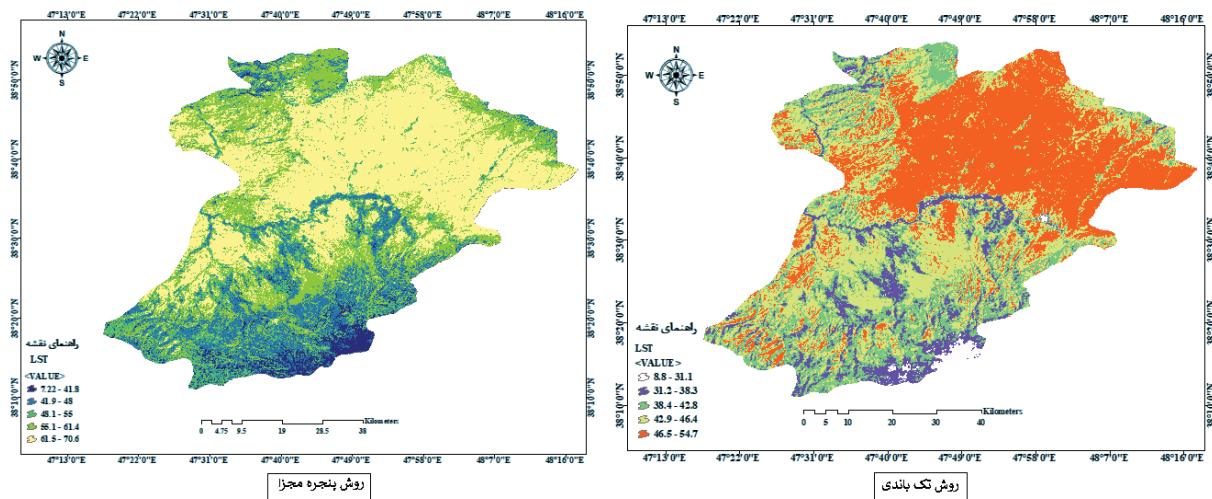
پس از محاسبه مجهولات، تصویر آنومالی نهایی با رابطه



نگاره ۴. نقشه‌های نهایی معیارهای مورد نظر جهت محاسبه دمای سطح زمین

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)

تعیین بهترین الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین ... / ۹۱



نگاره ۵. نقشه‌های دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه به روش الگوریتم پنجره مجزا و تک باندی

جدول ۵: مقایسه دمای هوای محاسبه شده از تصویر ماهواره‌ای با دمای هوای ایستگاه هواشناسی

ایستگاه مشکین شهر (درجه سانتی گراد)	نام ایستگاه
۲۰/۰۱	دمای سطحی محاسبه شده از تصویر به روش پنجره مجزا (LST)
۲۳/۴	دمای هوای محاسبه شده از تصویر به روش پنجره مجزا ( $T_s T_a$ )
۲۶/۲	دمای سطحی محاسبه شده از تصویر به روش تک باندی (LST)
۲۲	دمای هوای محاسبه شده از تصویر به روش تک باندی ( $T_s T_a$ )
۲۵	دمای هوای اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی ( $T_s T_d$ )

شهرستان نیز به دلیل همواری سطح، کمبود منابع آبی و فقر پوشش گیاهی انرژی ییشتری را دریافت کرده و دمای بالایی را به خود اختصاص داده‌اند.

در این تحقیق با توجه به در دسترس بودن دمای هوای ساعتی ایستگاه مشکین شهر در هنگام عبور ماهواره، از این داده‌ها جهت ارزیابی دقت الگوریتم‌ها استفاده شد. به گونه‌ای که داده‌های دمای سطح به دست آمده به روش‌های پنجره مجزا و تک باندی به دمای هوای تبدیل، و سپس با داده‌های دمای هوای ساعت ۱۰ صبح مربوط به روز تصویربرداری (۱۳۹۶/۰۶/۰۹) ایستگاه مشکین شهر مقایسه شدند. جدول شماره ۵ تفاوت بین دمای هوای محاسبه شده ( $T_s$ ) به روش

زمین از باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ استفاده شد چون در تحقیقات اخیر دقت بالای باند ۱۰ در محاسبه دمای سطح نسبت به باند ۱۱ ثابت شده بود (المدرسي و همکاران، ۱۳۹۳).

نقشه نهایی حاصل از الگوریتم تک باندی حداقل و حداکثر دمای در منطقه مورد مطالعه بین ۸/۸ تا ۵۴/۷ درجه سانتی گراد نشان می‌دهد. بررسی بصری نقشه نهایی استخراج شده به روش تک باندی یانگر این است که ارتفاعات بالا دارای دمای کم و ارتفاعات پایین دارای دمای زیاد می‌باشند. با توجه به رابطه معکوس بین دما و ارتفاع؛ کوهستان سبلان و صلووات داغ دارای ارتفاع بالا بوده و دمای پایینی را در سطح منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. همچنین مناطق مرکزی

انجام روابط ریاضی بر روی دمای سطح زمین اعمال گردید.

تک باندی و چند باندی از منطقه مورد مطالعه و دمای هوای ایستگاه هواشناسی ( $T_5$ ) را نشان می‌دهد.

**جدول ۶: ضرایب محاسبه برای مدل‌های محاسبه تصویر آنومالی حرارتی**

مدل ۳	مدل ۲	مدل ۱	ضریب
-۴۱/۱۵	۳۵/۱۱	۳۳/۲۶	$A_0$
-۰/۰۵۰	-۰/۰۷۵	-۰/۰۹۴	$A_1$
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۸	-	$A_2$
۴۰/۴۱	-	-	$A_3$

نگاره شماره ۶ تصویرهای آنومالی حرارتی را به ترتیب با اعمال مدل‌های اثر خورشید سپس اثر مدل میزان افت محیطی و در نهایت مدل تبخیر و تعرق نشان می‌دهد. به طوری که هر تصویر به روش کوانتاپل و به تعداد ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است.

پس از تصحیح اثر خورشید بروی تصویر LST، تفاوت تیرگی و روشنایی در دامنه‌های دو طرف کوه‌ها کاهش یافته است. این عمل به طور واضحی نشان می‌دهد که مدل اثر خورشیدی کولبو می‌تواند در حد مطلوبی اثر خورشید را از تصویر حرارتی کم کند. در تصاویر حرارتی روز، اثر خورشید که تابعی از میزان شب و جهت شب و موقعیت نسبی پیکسل و خورشید است، مؤثرترین عامل تغییر حرارت سطح پیکسل‌ها نسبت به هم می‌باشد. همچنین، در مناطقی که تغییرات ارتفاعی زیاد می‌باشد، مدل کردن اثر میزان افت محیط نیز ضروری بوده و در کاهش آنومالی‌های اشتباه مؤثر است. بنابراین در تصحیح یا نرمال سازی تصویر حرارتی نسبت به پدیده میزان افت محیطی، استفاده از ضریب ثابت  $6/5$  درجه سانتی گراد در کیلومتر در همه مناطق باعث افزایش واریانس تصویر حرارتی و در نتیجه ایجاد آنومالی‌های حرارتی اشتباه می‌شود که در جهت حل این موضوع یک رابطه خطی منفی بین مدل رقومی ارتفاعی منطقه و دمای سطح زمین برقرار گردید تا تأثیر این عامل نیز

نتایج نشان داد که دمای هوای محاسبه شده با الگوریتم‌های پنجره مجزا و تک باندی در مقایسه با دمای محاسبه شده از ایستگاه موردنظر به ترتیب اختلاف دمایی  $1/6$  و  $3$  درجه سانتی‌گراد دارند. بنابراین می‌توان گفت که روش پنجره مجزا دارای دقت بالایی بوده و دمای بدست آمده با دمای واقعی تطابق بیشتری دارد. با توجه به این موضوع که دمای سطح محاسبه شده به روش الگوریتم پنجره مجزا می‌تواند اطلاعات مفیدی را از وضعیت دمای مناطق مختلف به خصوص مناطق صعب‌العبور و شناسایی مناطق مستعد زمین‌گرمایی در کوهستان سبلان را با دقت بالایی ارائه دهد از نقشه نهایی این الگوریتم جهت شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی استفاده گردید تا مناطقی که دچار آنومالی حرارتی شده و مستعد منابع ژئوتربمال در سطح شهرستان مشکین شهر هستند مورد شناسایی قرار گیرند.

### ۲-۳- آشکارسازی آنومالی حرارتی

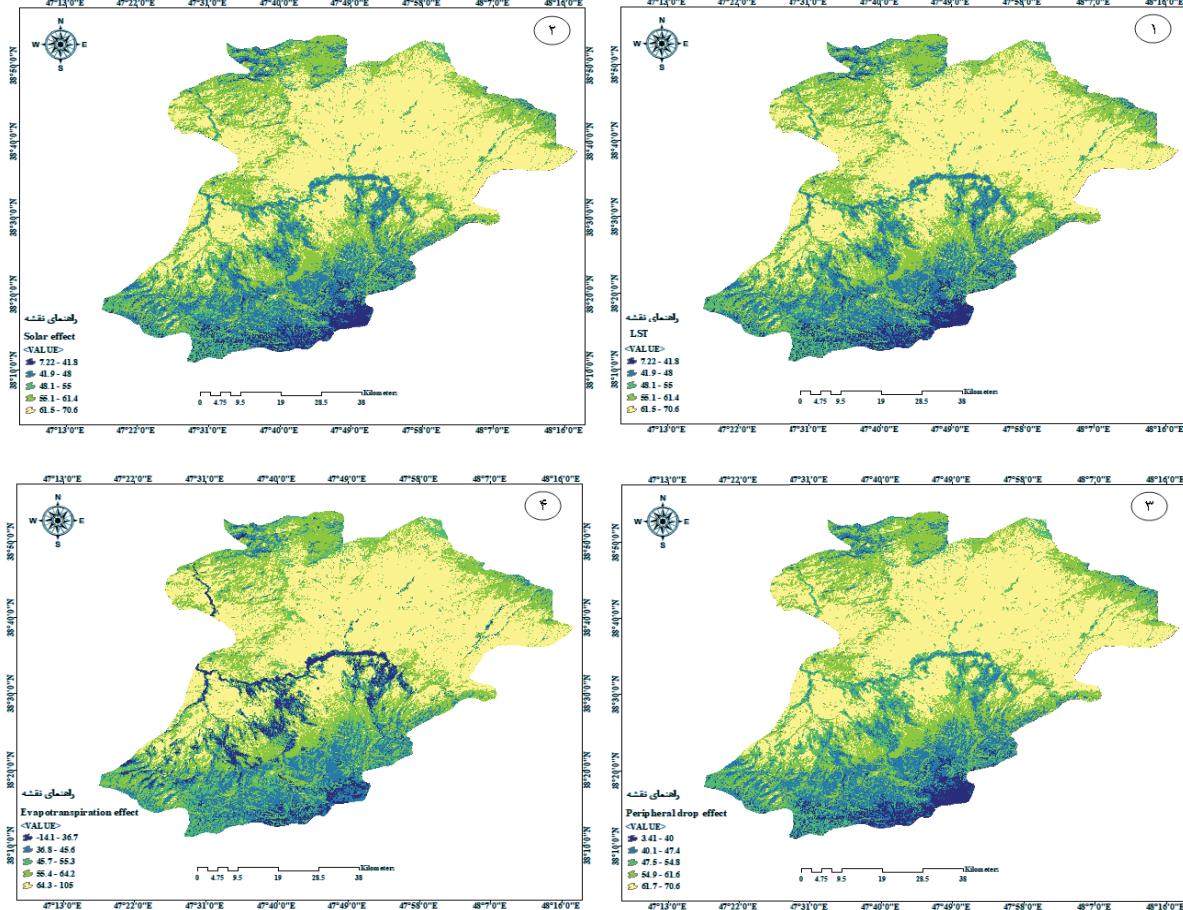
برای رسیدن به آنومالی حرارتی که ناشی از عوامل زیرزمینی در گرم کردن سطح زمین باشد، بایستی تصویر حرارتی را نسبت به سایر عوامل خنک کننده و گرم کننده سطح زمین نرمال نمود. به این منظور اثر پارامترهایی مانند اثر خورشیدی، اثر ضریب افت محیطی و اثر تبخیر و تعرق بر دمای سطح زمین حاصل از الگوریتم پنجره مجزا در منطقه مورد مطالعه بررسی گردید. همچنین ضرایب مدل‌های استفاده شده در هر مرحله که با توجه به فرم سرشکنی کمترین مربعات به دست آمده بود در جدول شماره ۶ ارائه شده است.

مدل تصحیح اثر خورشید به عنوان مدل شماره ۱، مدل تصحیح همزمان اثرات خورشید و میزان افت محیطی به عنوان مدل شماره ۲ و مدل تصحیح اثرات همزمان اثر خورشید، میزان افت محیطی و تبخیر و تعرق به عنوان مدل شماره ۳ در نظر گرفته شده که تأثیر هر یک از مدل‌ها با

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (جغرافیا)

تعیین بهترین الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین ...

۹۳ /



نگاره ۶. ۱) محاسبه تصویر آنومالی حرارتی از تصویر ۲ LST اعمال اثر خورشید  
، ۳ میزان افت محبطي (تبخیر و تعرق

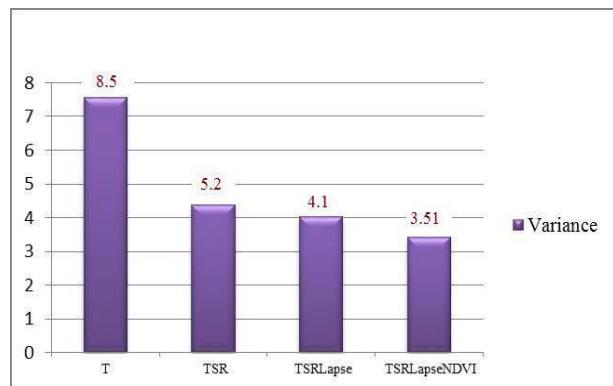
بنابراین پس از اعمال مدل‌های اثر خورشید و میزان افت محبظی، تصویر آنومالی تقریباً مستقل از اثرات خورشید و ارتفاع شده ولی همچنان تصویر آنومالی به صورت خطی با شبیه منفی به NDVI منطقه وابسته بود که پس از اعمال مدل نهایی، تصویر آنومالی مستقل از NDVI شده است و یا به عبارتی اثر تبخیر و تعرق یا خنک کنندگی ناشی از تبخیر و تعرق در محل پوشش گیاهی نیز از تصویر آنومالی حرارتی برداشته شده است. به طور کلی می‌توان گفت که با اعمال هریک از مدل‌های تصحیح، میزان مساحت آنومالی حرارتی کاهش می‌یابد (نگاره شماره ۷).

تصحیح گردد. به علاوه، یکی از عواملی که باعث می‌شود یک پیکسل نسبت به پیکسل همسایه خنک‌تر نشان داده شود پدیده خنک شدگی از طریق تبخیر و تعرق می‌باشد. از آنجایی که وجود پوشش گیاهی باعث ایجاد چنین پدیده‌ای می‌شود، یک رابطه خطی معکوسی بین حرارت سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی وجود دارد. پس با توجه به این مسئله، لحاظ کردن شاخص پوشش گیاهی در نرمال سازی تصویر حرارتی جهت کم کردن آنومالی‌های اشتباہ به خصوص در مناطقی که پوشش گیاهی زیاد می‌باشد، مؤثر است.

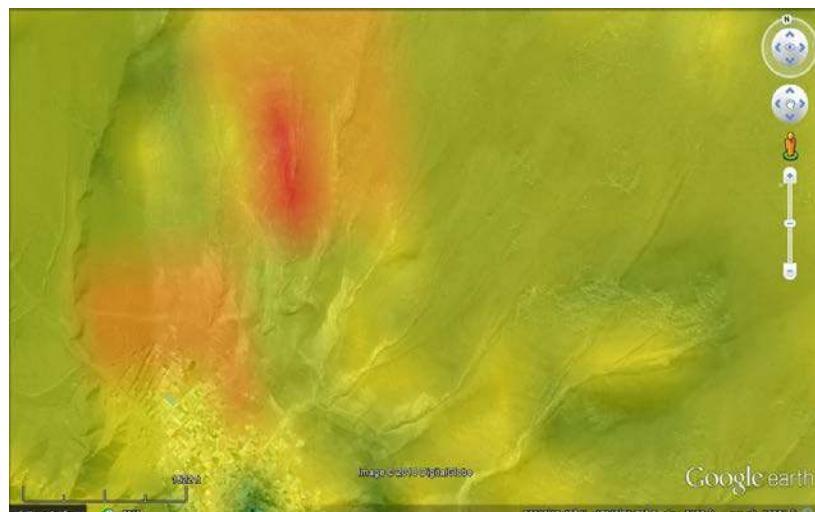
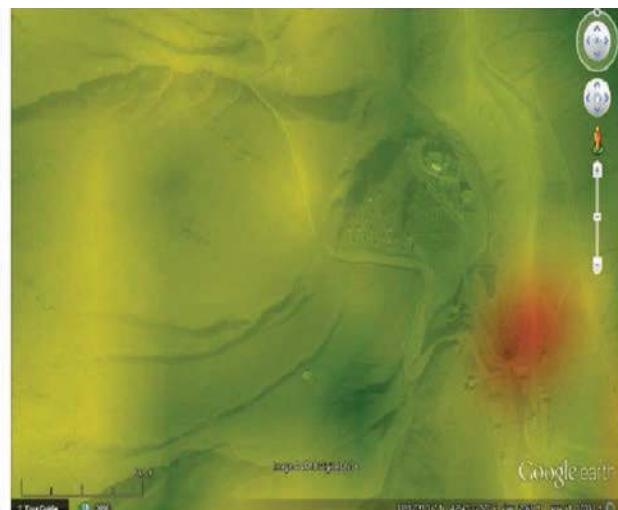
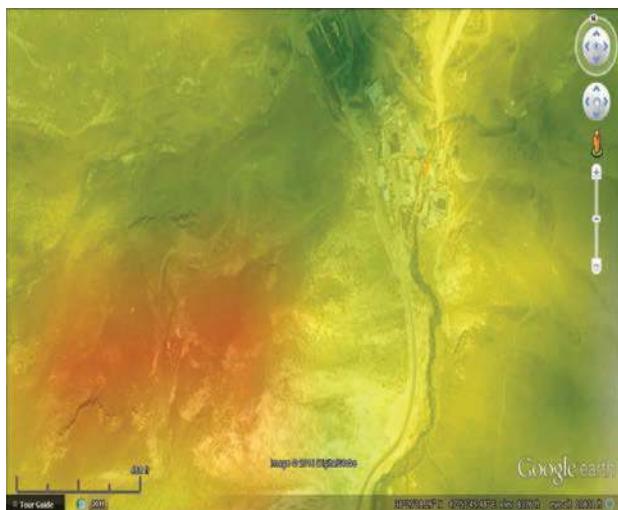
با توجه به نگاره ۷ بیشترین میزان کم شدگی پس از اعمال مدل اثر خورشید و کمترین میزان کم شدگی پس از اعمال مدل میزان افت محیطی اتفاق می‌افتد.

### ۳-۳- تصویر آنومالی نهایی و شناسایی مناطق مستعد ژئوترمال

در حالت کلی به دلیل وجود عوامل مختلف در تغییر حرارت سطح و به دلیل کامل نبودن مدل‌های نرم‌السازی تصاویر حرارتی، بهتر است مناطقی به عنوان مناطق مستعد منابع زمین‌گرمایی انتخاب شوند که علاوه بر ناهنجاری حرارتی،



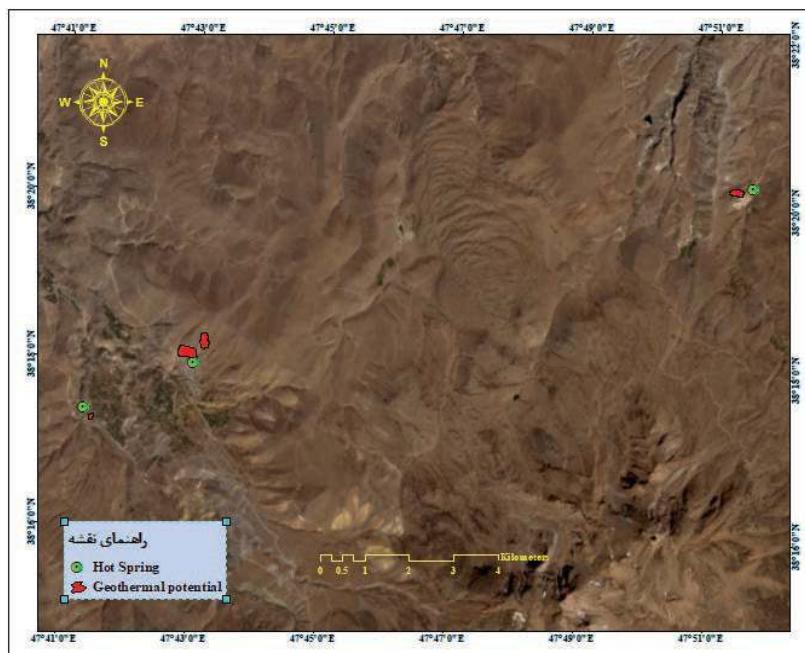
نگاره ۷. نمودار واریانس تصویر بعد از اعمال مدل‌های تصحيح



نگاره ۸. نمونه‌ای از تصویر آنومالی طبقه‌بندی شده در محیط گوگل ارت

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سمر)

تعیین بهترین الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین ... / ۹۵



**نگاره ۹. موقعیت مناطق مستعد منابع زمین‌گرمایی در منطقه مورد مطالعه**

**جدول ۷: مساحت مناطق مستعد منابع ژئوتermal در محدوده مورد مطالعه**

مساحت (درصد)	مساحت (هکتار)	نژدیکترین چشمه	ردیف
۲۶/۵۹	۵/۵	موئیل	۱
۴۸/۲۰	۱۰/۰۵	موئیل	۲
۱۹/۸۶	۴/۱	قوطرسویی	۳
۵/۳۵	۱/۱	قیرزجہ	۴

شواهد منابع زمین‌گرمایی به خصوص چشمه‌های آبگرم نیز در اطراف آنها موجود باشد به گونه‌ای که کلاس‌های اول تصاویر همراه با شواهد زمین‌گرمایی، به عنوان نواحی آنمالی نهایی در نظر گرفته شدند (نگاره شماره ۸).

نگاره شماره ۹ نقشهٔ نهایی مناطق مستعد منابع زمین‌گرمایی را به همراه موقعیت چشمه‌های آبگرم در سطح منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

با توجه به نگاره ۹ مناطقی به عنوان مناطق مستعد منابع ژئوترمال انتخاب شدند که علاوه بر اینکه نسبت به محیط اطراف خود دچار ناهنجاری حرارتی شدند بلکه شواهد وجود منابع زمین‌گرمایی نیز در اطراف آنها موجود است. به گونه‌ای که دو منطقه با وسعت ۵/۵ و ۱۰/۰۵ هکتار در قسمت شمالی و شمال‌شرقی دهکده موئیل، یک ناحیه با وسعت ۴/۱ در جنوب‌غربی آبگرم قوطرسویی و قسمت جنوبی آبگرم قیرزجہ با وسعت ۱/۱ هکتار از مناطق مستعد منابع زمین‌گرمایی در ناحیه اطراف کوهستان سبلان بودند که از پتانسیل بالایی جهت اکتشاف منابع ژئوترمال برخوردار بودند.

جدول شماره ۷ میزان مساحت مناطق مستعد منابع ژئوترمال در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

## ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

افزایش مشکلات محیط‌زیست ناشی از رشد روزافروزن جمعیت و تقاضا برای تأمین انرژی چالشی است که امروزه بشر با آن مواجه گردیده و در این میان فکر به کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی زمین‌گرمایی راهی برای جبران خسارات ناشی از تکیه فراوان دولت‌ها بر منابع فسیلی ارزان و در دسترس می‌باشد.

در زمینه به کارگیری انرژی‌های نو و تجدیدپذیر، استان اردبیل به خصوص شهرستان مشکین شهر با وجود چشمه‌های آبگرم، داشتن نیروگاه زمین‌گرمایی و سایر شواهد از سطح مناسب و مستعدی برای تولید انرژی زمین‌گرمایی

- به عنوان یکی از منابع عمده انرژی‌های نو و سازگار با محیط‌زیست برخوردار می‌باشد، اما تاکنون مطالعات مؤثری برای شناسایی آن برپایه روش‌های نوین و کم‌هزینه از جمله سنجش از دور حرارتی صورت نگرفته است.
- از این رو تحقیق حاضر، برای اولین بار با به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور حرارتی اقدام به شناسایی مناطق مستعد استحصال انرژی پاک زمین گرمایی در سطح شهرستان مشکین شهر نموده و به این نتیجه رسید که مطالعات دورسنجی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ کارایی بالایی در شناسایی مناطق مستعد منابع زمین گرمایی دارند.
- به طوری که با تکیه بر این داده‌ها و روش‌های استفاده شده دو منطقه با وسعت ۵/۵ و ۱۰/۰۵ هکتار در قسمت شمالی و شمال‌شرقی دهکده موئیل، یک ناحیه با وسعت ۴/۱ در جنوب‌غربی آبگرم قوطورسویی و یک ناحیه در قسمت جنوبی آبگرم قیترجه با وسعت ۱/۱ هکتار به عنوان مناطق مستعد منابع زمین گرمایی در ناحیه اطراف کوهستان سبلان شناسایی شدند که از پتانسیل بالای جهت اکتشاف منابع ژئوترمال برخوردار بودند. همچنین مناطق شناسایی شده در این پژوهش، همبستگی مکانی مناسبی با شواهد زمین گرمایی موجود در منطقه مورد مطالعه از جمله چشم‌های آبگرم دارند.
- با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش و شناسایی مناطق مستعد منابع زمین گرمایی لازم است ناهنجاری‌های حرارتی، از نظر ویژگی‌های زمین‌شناسی بیشتر بررسی شوند. همچنین برای افزایش کارایی مدل نرم‌السازی دمای سطح و بهبود دقت آن، بررسی روش‌های حل مسئله نرم‌السازی دمای سطح به صورت بهینه‌سازی محلی و مقایسه نتایج آن با نتایج روش بهینه‌سازی سراسری پیشنهاد می‌شود.
- ## ۵- منابع و مأخذ
۱. ابراهیمی‌هروی، ب.، رنگزن، ک.، ریاحی، ح. ر.، تقی‌زاده، ا.، ۱۳۹۵. تعیین مناسب‌ترین روش استخراج دمای
  ۲. احمدی‌زاده، س. س. ر.، آراسته، ف.، فنایی، غ.، اشرفی، ع.، ۱۳۹۳. شناسایی پتانسیل‌های زمین‌گرمایی با استفاده از روش سنجش از دور حرارتی در خراسان جنوبی، پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۵، شماره ۱۰، از صفحه ۱۴۴ تا ۱۳۵.
  ۳. المدرسي، ع.، رحيم‌آبادي، ا.، خضرى، ص.، ۱۳۹۳. پهنه‌بندي و مقاييسه دمای سطح زمین با استفاده از دوباند حرارتی ۱۰ و ۱۱ تصوير لندست ۸ در شهرستان بهشهر، همايش ملي کاريبد مدل‌های پيشرفت تحليل فضائي(سنجش از دور و Gis) در آمايش سرزمين، يزد، دانشگاه آزاد اسلامي واحد يزد.
  ۴. بيات، ف.، ۱۳۹۵. بررسی و مدل سازی دمای سطح دریا با استفاده از تصاویر حرارتی لندست ۸، پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- نقشه برداری- ژئودزی(هيدروگرافى)، دانشگاه تهران.
  ۵. پرويز، ل.، خلقى، م.، ولی‌زاده، خ.، عراقى‌نژاد، ش.، ايران‌نژاد، پ.، ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی شاخص تفاضل نرم‌الساز شده پوشش گیاهی (NDVI) از طریق پایش وضعیت پوشش گیاهی، همايش ملي ژئوماتیک ۸۹، سازمان نقشه‌برداری کشور.
  ۶. تباکی بجستانی، ک.، ۱۳۹۲. شناسایی منابع زمین گرمایی با استفاده از داده‌های حرارتی ETM+ در مناطق خشک، پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته بیابان‌زدایی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
  ۷. جعفری، ا.، امامی، ح.، ۱۳۹۵. ارزیابی پتانسیل داده‌های لندست ۸ در آشکارسازی مناطق زمین گرمایی با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردى بخشی از آذربایجان شرقی و غربی)، دومين کنگره بين‌المللي زمین، فضا و انرژي‌های پاک با محوريت مدريديت منابع طبیعى، كشاورزى و توسعه پايدار، تهران، شركت كيان طرح دانش.
  ۸. جويباري‌مقدم، م.، آخوندزاده، م.، سراجيان، م. ر.، تقی‌زاده، ا.، ۱۳۹۵. تعیین مناسب‌ترین روش استخراج دمای

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (جغرافیا)

تعیین بهترین الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین ... / ۹۷

حرارتی در استان اردبیل، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده معدن و ژئوفیزیک.

۱۶. کی نژاد، ص.، ۱۳۹۰. بررسی پتانسیل منابع ژئوترمال استان آذربایجان شرقی با استفاده از داده های زمین شناسی و اکتشافی، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی معدن.

۱۷. مجدرد، ف.، یوسف نژاد، م.، فتح نیا، ا.، ۱۳۹۴. تعیین الگوریتم بهینه برای پهنگندی یخ‌بندان‌های بهاره و پاییزه در استان کردستان با استفاده از تصاویر NOAA-AVHRR، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۴، از صفحه ۵۴۷ تا ۵۶۲.

۱۸. ناجی‌دومناری، ص.، ضیائیان فیروزآبادی، پ.، سدیدی، ج.، رحیمی، ک.، ۱۳۹۶. محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم split window و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (مطالعه موردی: شهرستان نهادوند)، بیست و چهارمین همایش و نمایشگاه ملی، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران

19. Coolbaugh, M. F., Kratt, C., 2007. "Detection of geothermal anomalies using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared images at Bradys Hot Springs, Nevada, USA", Remote Sensing of Environment, Vol 106, Issue3, PP 350-359.

20. García-Haro, J., Camacho-de Coca, F., Meliá, J., Martínez, B., 2005. "Operational Derivation of Vegetation Products in the Framework of the LSA SAF Project", EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Dubrovnik (Croatia). 19-23 Septiembre, in press.

21. Hantson, S., Chuvieco, E., 2011. "Evaluation of different topographic correction methods for Landsat imagery", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 13, pp 691-700.

22. Jimenez-Munoz, J. C., Sobrino, J. A., Skokovic, D., Mattar, C., & Cristobal, J. (2014). Land surface

۱۳۹۴. ارائه یک الگوریتم پنجره مجزا نوین برای تخمین دمای سطح زمین از داده های ماهواره لندست ۸، نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ۵، شماره ۱، از صفحه ۲۱۵ تا صفحه ۲۲۶.

۹. جهانبخش، س.، رجبی، م.، ۱۳۸۹. مبانی جغرافیای طبیعی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز.

۱۰. عسگرزاده، پ.، درویشی‌بلورانی، ع.، بهرامی، ح. ع.، حمزه، س.، ۱۳۹۵. مقایسه برآورد دمای سطح زمین در روش های تک باندی و چندباندی با استفاده از تصویر لندست ۸، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۷، شماره ۳، از صفحه ۱۸ تا ۲۹.

۱۱. علوی‌پناه، س. ک.، گودرزی‌مهر، س.، خاکباز، ب.، ۱۳۹۰. فناوری سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در شناسایی پدیده‌ها، نشاء علم، دوره ۲، شماره ۱، از صفحه ۲۹ تا ۲۵.

۱۲. فهیم، م.، ۱۳۹۶. مطالعات سنجش از دور و مغناطیس سنجی جهت بررسی منابع ژئوترمال در منطقه سیرچ - گلبافت استان کرمان، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی معدن گرایش اکتشاف معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی مهندسی.

۱۳. فیضی‌زاده، ب.، دیده بان، خ.، غلامنیا، خ.، ۱۳۹۵. برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا (مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد)، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۵، شماره ۹۸، از صفحه ۱۷۱ تا ۱۸۱.

۱۴. کاظمی، ی.، حمزه، س.، علوی‌پناه، ک.، بهرام بیگی، ب.. ۱۳۹۶. تحلیل ناهمجارتی های حرارتی گسل‌ها و ارتباط آن با منابع زمین‌گرمایی با استفاده از داده های حرارتی لندست ۸ مطالعه موردی: گسل‌های شهداد و ناییند، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۲۷، شماره ۱۰۶، تابستان ۱۳۹۷، از صفحه ۵ تا ۲۰.

۱۵. کسائیان، م.، ۱۳۹۳. شناسایی مناطق امیدبخش منابع زمین‌گرمایی با تعیین عمق نقطه کوری و داده های جریان

- (IGARSS), IEEE International, pp 4371-4374.
32. Watson, F. G., Lockwood, R. E., Newman, W. B., Anderson, T. N., Garrott, R. A., 2008. "Development and comparison of Landsat radiometric and snowpack model inversion techniques for estimating geothermal heat flux", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112, pp 471-481
- temperature retrieval methods from landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10), 1840–1843
23. Kienholz, C., Prakash, A., Kolker, A., 2009. "Geothermal Exploration in Akutan, Alaska, Using Multitemporal Thermal Infrared Images", *American Geophysical Union*, abstract H53F-1009.
24. Kogan, F.N., 1993." United States Droughts of Late 1980's as Seen by NOAA Polar Orbiting Satellites, International Geo science and Remote Sensing Symposium", Vol 1, pp 197-199
25. Kun, T., Zhihong, L., Peijun, D., Lixin, W., 2017. "Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 Data and Validation with Geo Sensor Network", *Frontiers of Earth Science*, Vol 11, pp 20–34
26. Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., Karnieli, A., 2015. "Derivation of Land Surface Temperature for Landsat-8 TIRS Using a Split Window Algorithm", *Sensors (Basel)*, Vol 14, pp 5768-5780.
27. Shahid, L., 2014. "Land Surface Temperature Retrieval of Landsat-8 Data Using Split Window Algorithm- A Case Study of Ranchi District", *International Journal of Engineering Development and Research*, Vol 2, Lssue 4, PP 3840-3849
28. Sobrino, J.A., Raissouni, N., Li, Z., 2001. A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data. *Remote sensing of Environment* 75 (2), 256–266.
29. Tian, B., Wang, L., Kashiwaya, K., Koike, K., 2015. "Combination of Well-Logging Temperature and Thermal Remote Sensing for Characterization of Geothermal Resources in Hokkaido, Northern Japan", *Remote Sens*, Vol 7, pp 2647-2667.
30. Togi, T., Khiruddin, A., Lim, H. San., Jeddah, Y., 2016. "The identification of geothermal with geographic information system and remote sensing in distric of Dolok Marawa", *AIP Conference Proceedings*, Vol 1712, Issue 1, pp 10.1063.
31. Walawender, J. P. Hajto, M. J., Iwaniuk, P., 2012. "A New ArcGIS Toolset for Automated Mapping of Land Surface Temperature with the Use of LANDSAT Satellite Data", In *Geoscience and Remote Sensing Symposium*