

# تهیه نقشه گسیلندگی و دمای سطح زمین از تصاویر ابرطیفی حرارتی HyTES با استفاده از الگوریتم‌های TES و ARTEMIS

فائزه سلیمانی وسطی کلایی<sup>۱</sup>

مهدی آخوندزاده هنزائی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۶/۱۴

\*\*\*\*\*

## چکیده

دمای سطح زمین و گسیلندگی دو ویژگی فیزیکی مهم از سطح زمین هستند. محاسبه دمای سطح زمین اهمیت زیادی در مطالعات محیطی، هواشناسی، بررسی تبخیر و تعرق و فعل و انفعالات بین زمین و جو دارد. در سالیان اخیر تصاویر ابرطیفی حرارتی به دلیل دارا بودن تعداد زیاد باندهای حرارتی در مقایسه با تصاویر فراطیفی، به یک ابزار قدرتمند برای تخمین دمای سطح زمین تبدیل شده‌اند. هدف اصلی در این تحقیق تهیه نقشه‌های حرارتی و گسیلندگی با استفاده از دو روش مجزای TES و ARTEMIS از تصاویر سنجنده ابرطیفی حرارتی هوایی HyTES و هم‌چنین تخمین پارامترهای جوی در این تصاویر می‌باشد. نوآوری اصلی این تحقیق پیاده‌سازی روش‌های TES و ARTEMIS برای اولین بار روی داده ابرطیفی های‌تس است و هم‌چنین در این تحقیق، پارامترهای جوی مورد استفاده در ARTEMIS از روش آیزاک بدست آمده است. این تحقیق شامل سه مرحله اصلی است. در مرحله اول بعد از حذف باندهای نویزی تصویر و انتخاب ۲۰۲ باند بهینه، الگوریتم SET که شامل مدل‌های MMD, NEM و RATIO می‌باشد، بر روی تصویر اعمال شدند. در مرحله دوم با استفاده از تصحیح جوی آیزاک، پارامترهای جوی از قبیل گذردهی جوی و رادیانس مسیر محاسبه شدند. در مرحله آخر الگوریتم ARTEMIS به منظور تخمین دما و گسیلندگی، بر روی این نوع تصویر اعمال شد. در پایان جهت ارزیابی روش‌های پیشنهادی از محصولات دما و گسیلندگی سنجنده HyTES که توسط ناسا عرضه می‌گردد، استفاده شد. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که RMSE دما برای روش‌های TES و ARTEMIS به ترتیب برابر با ۰/۶ و ۱/۲ درجه کلون و برای گسیلندگی نیز در باند نمونه ۱۷۷ به ترتیب در دو روش ۰/۰۱ و ۰/۰۲ می‌باشد. نتایج حاصل نشان می‌دهند که الگوریتم‌های TES و ARTEMIS، روش‌های کارآمدی در تخمین دما و گسیلندگی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: دمای سطح زمین، گسیلندگی، TES، ARTEMIS، سنجنده ابرطیفی حرارتی HyTES.

\*\*\*\*\*

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران faeze.soleimani@ut.ac.ir

۲- استادیار گروه سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) makhonz@ut.ac.ir

## ۱- مقدمه

امروزه پدیده‌ها و رویدادهای طبیعی و انسانی، زندگی انسان را تحت تأثیر خود قرار داده‌اند. از جمله این پدیده‌ها خشکسالی و جریان‌های گرمایی می‌باشند. بنابراین دانستن دمای سطح زمین و گسیلندگی کمک شایانی در خصوص پیش‌بینی و نظارت این حوادث خواهد کرد. دمای سطح زمین (LST) <sup>۱</sup> و گسیلندگی (LSE) <sup>۲</sup> دو ویژگی فیزیکی مهم از سطح زمین و جو می‌باشند (Gagnon et al. 2014). محاسبه دمای سطح زمین اهمیت زیادی در مطالعات محیطی، هواشناسی، بررسی تبخیر و تعرق، فعل و انفعالات بین زمین و جو، تشخیص آنومالی‌های حرارتی مربوط به زلزله، پایش خشکسالی و مدل‌های تعادل انرژی در سطح زمین در مقیاس منطقه‌ای و جهانی دارد (Payan and Royer 2004).

گسیلندگی سطح بصورت نسبت انرژی تابش شده از جسم به انرژی تابش شده از جسم سیاه در دمای یکسان و یک طول موج مشخص تعریف می‌شود. گسیلندگی کاربردهای مختلفی از جمله در برآورد دمای واقعی سطح زمین با استفاده از دمای ظاهری، محاسبه توان تابشی مؤثر سطوح ناهمگن و زبر با توجه به توان تفکیک طیفی و مکانی پیکسل و همچنین برای شناسایی سطوح دارد.

در طی سال‌های اخیر، بهره‌گیری از فناوری سنسورهای دور و تصاویر مادون قرمز حرارتی به دلیل پوشش وسیع مکانی، منبع اطلاعاتی مناسبی به منظور تهیه نقشه‌های حرارتی و گسیلندگی سطح می‌باشد. با این وجود، با توجه به پیچیدگی‌های سطح زمین و ناکافی بودن اطلاعات اندازه‌گیری شده، داده‌های چند طیفی مادون قرمز حرارتی نمی‌توانند به طور همزمان اطلاعات دقیقی از این دو پارامتر را تولید کنند.

با روی کار آمدن سنسورهای ابرطیفی مادون قرمز حرارتی، این سنسورها فرصت خوبی را برای حل مشکل به‌دست آوردن دمای سطح زمین و گسیلندگی فراهم آوردند (Schlerf et al. 2012). تصاویر ابرطیفی، حاوی اطلاعات

طیفی با ارزشی در تعداد باندهای طیفی بسیار زیاد با توان تفکیک طیفی بسیار بالا هستند. این ویژگی امکان تشخیص و تمایز مواد و گسیلندگی‌های مختلف از یکدیگر را، بر اساس مقایسه پاسخ طیفی هر یک از آن‌ها در طول موج‌های گوناگون فراهم می‌سازد (Guanter et al. 2006). در نتیجه تصاویر فراطیفی‌های تس به دلیل تعداد زیاد کانال‌های حرارتی، منبع خوبی برای تهیه نقشه دما و گسیلندگی سطح می‌باشند.

## ۲- روش‌های بدست آوردن دما و گسیلندگی

تاکنون روش‌های متعددی برای تعیین دمای سطح زمین توسط سنسورهای فضایی و هوایی ارائه شده است که عبارتند از روش تک کانال، پنجره‌های دوگانه<sup>۳</sup>، تکنیک‌های هوشمند از قبیل شبکه عصبی در تعیین دما، روش جداسازی گسیلندگی و دما (TES)<sup>۴</sup> و روش تخمین اتوماتیک گسیلندگی و دما با استفاده از طیف نرم شده (ARTEMIS)<sup>۵</sup>.

در جدول ۱ خلاصه‌ای از روش‌های استفاده شده در تخمین دمای سطح زمین آورده شده است.

کلید روش‌های تعیین گسیلندگی به سه دسته تقسیم می‌شوند: ۱- روش‌های نیمه تجربی ۲- روش‌های جداسازی گسیلندگی و دما ۳- روش‌های مبتنی بر فیزیک (Li et al. 2013) در جدول ۲ مروری بر کلید روش‌های تعیین گسیلندگی ارائه شده است. روش‌های نیمه تجربی<sup>۶</sup> تخمین گسیلندگی شامل روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی و شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار شده (NDVI)<sup>۷</sup> است.

روش‌های تخمین گسیلندگی مبتنی بر فیزیک، شامل روش‌های زیر می‌باشند: بدست آوردن ضریب گسیل بر مبنای تقریب رادیانس باندها، روش باند مبنای شاخص طیفی مستقل از دما، روش بهنجارسازی گسیلندگی و

<sup>۳</sup>- Split window

<sup>۴</sup>- Temperature/Emissivity Separation Algorithm

<sup>۵</sup>- Automatic Retrieval of Temperature and Smoothness Emissivity-Spectral

<sup>۶</sup>- Semi-empirical methods

<sup>۷</sup>- Normalized Difference Vegetation Index

<sup>۱</sup>- Land Surface Temperature

<sup>۲</sup>- Land Surface Emissivity

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)  
تهیه نقشه گسیلندگی و دمای سطح زمین از تصاویر ... / ۱۰۱

روش بهنجارسازی مجدد گسیلندگی (Li et al. 1999; Li et al. 2013). روش‌های ARTEMIS و TES نیز در بخش‌های بعدی به طور کامل توضیح داده شده است. روش TES در سال ۱۹۹۸ توسط Gillespie و همکاران برای سنجنده استر و بر مبنای معادلات انتقال تابشی طراحی شد (Gillespie et al. 1998). با توجه به کارآمدی این روش در تخمین دمای و گسیلندگی سطح زمین، Oltra-Carrió و همکاران در سال ۲۰۱۴ عملکرد الگوریتم تس را در مناطق شهری که شامل سطوح مختلفی از مواد است را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که RMSE دما برای مناطق شهری ۰/۹ کلوین و برای گسیلندگی ۰/۴ کلوین به دست آمد (Oltra-Carrió et al. 2014). روش آرتمیس نیز در سال ۱۹۹۸ توسط Borel و بر مبنای معادلات انتقال تابش طراحی شده است. از مزایای روش‌های تس و آرتمیس می‌توان به تخمین همزمان دما و گسیلندگی اشاره کرد، در نتیجه نیاز دانش اولیه از مقادیر این دو پارامتر نیست. با توجه به محدودیت‌های روش‌های فیزیکی تعیین گسیلندگی از جمله: ناکارآمدی در مناطق دارای پوشش گیاهی، نیاز به دانش اولیه از مقادیر میانگین گسیلندگی سطح و حساسیت به نویز و همچنین کارآمدی روش TES و ARTEMIS در سنجنده‌هایی با حداقل دو باند حرارتی، در این تحقیق از این دو روش برای بدست آوردن دمای سطح زمین و گسیلندگی سطح استفاده شد. پس از انتخاب باندهای بهینه از تصویر ابرطیفی حرارتی

جدول ۱: روش‌های تخمین دمای سطح زمین

منابع	بیان روش تحقیق، مزایا و معایب آن	روش‌های تخمین دمای سطح زمین
(Chatterjee et al. 2017; Price 1983)	- این روش در سال ۱۹۸۳ ارائه شد. با فرض معلوم بودن ضریب گسیل و پروفیل‌های جوی، دما تخمین زده می‌شود. این روش تخمین مقادیر گسیلندگی با استفاده از مدل‌های ترکیبی از مشاهده‌های زمینی و NDVI، در تخمین LST رایج است. - مزیت: سادگی و کاربردی بودن آن برای داده‌هایی با یک باند حرارتی. - عیب: این روش نیاز به دانش اولیه از گسیلندگی دارد.	تک کانال
(Anding and Kauth 1970) (Anding and Kauth 1970; Labbi and Mokhnache 2015)	- ایده اصلی این روش تفاضل دو باند حرارتی مجاور برای کاهش اثرات جوی است. با استفاده از ترکیب خطی از این دو باند دمای سطح زمین برآورد می‌شود. ضرایب الگوریتم پنجره دوگانه برای هر سنجنده منحصر بفرد بوده و برای تعیین ضرایب نیاز به شبیه سازی داده‌های ماهواره‌ای است. - مزیت: کارآمدی روش برای تمامی سنسورها با حداقل دو باند حرارتی و عدم نیاز به روش به پروفیل جوی. - عیب: این روش مانند روش تک کانال نیاز به دانش اولیه از گسیلندگی دارد.	پنجره‌های دوگانه
(Gao et al. 2013; Wang et al. 2013)	- در این روش ابتدا با استفاده از داده‌های آموزشی شبکه آموزش می‌بیند، سپس اقدام به تخمین پارامترهای فوق می‌کند. - مزیت: تخمین همزمان پروفیل‌های جوی، دما و گسیلندگی. - عیب: نیاز به وجود داشتن داده‌های آموزشی.	شبکه عصبی
(Oltra-Carrió et al. 2014; Gillespie et al. 1998; Hu et al. 2015; Jacob et al. 2017)	- این الگوریتم بر مبنای معادلات انتقال تابش، از مدل گسیلندگی بهنجار برای تخمین مقدار اولیه برای دما و گسیلندگی استفاده می‌کند و با استفاده از مدل نسبت طیفی مقادیر گسیلندگی‌های نسبی را محاسبه می‌کند. در ادامه براساس خروجی مدل نسبت طیفی از روش گسیلندگی حداقل - حداکثر برای برآورد نهایی دما و گسیلندگی استفاده می‌کند. هر چقدر مقدار کانتراست گسیلندگی بیشتر باشد، TES نتایج دقیق‌تری را به همراه خواهد داشت. در مناطق دارای کانوپی‌های گیاهی بدلیل اثر cavity و در نتیجه افزایش مقدار $\epsilon_{min}$ ، دقت این روش بهبود می‌یابد. - مزیت: تخمین همزمان دما و گسیلندگی مزیت این روش است.	TES
(Borel 2003)	- این الگوریتم مانند روش TES بر مبنای معادلات انتقال تابش است. در این روش توسط یک روش افزایشی گام به گام، دما افزایش یافته و در هر مرحله مقدار گسیلندگی محاسبه می‌شود. پس از انتخاب گسیلندگی بهینه، دمای نهایی محاسبه می‌شود. - مزیت: تخمین هم زمان دما و گسیلندگی مزیت این روش است.	ARTEMIS

1- Canopy

جدول ۲: روش‌های تخمین گسیلندگی

منابع	بیان روش تحقیق	روش‌های تخمین گسیلندگی سطح
(Chen et al. 2016; Peres and DaCamara 2005)	- در این روش پیکسل‌ها پس از طبقه‌بندی قراردادی پوشش زمین و پارامترهای فصلی و بر مبنای جداول مرجع، در یکی از کلاس‌های گسیلندگی قرار می‌گیرند. - Chen و همکاران (۲۰۱۶) اقدام به تهیه نقشه گسیلندگی با استفاده از سه روش: طبقه‌بندی spectral-index based و linear spectral mixture model نمودند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که دقت روش طبقه‌بندی در مناطق شهری بیشتر از دو مدل دیگر است.	طبقه‌بندی تصویر
(Rozenstein et al. ۲۰۱۴)؛ مقدم و همکاران، ۱۳۹۴، ص: ۱۷۱؛ امینی و همکاران، ۱۳، ص: ۳۴۸؛ فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵، ص: ۲۱۵)	این روش بر اساس همبستگی بالای بین گسیلندگی سطح و لگاریتم شاخص پوشش گیاهی تفاضلی بهنجار شده، ایجاد شده است. با استفاده از رگرسیون خطی بین ضریب گسیل باندهای حرارتی با شاخص NDVI، نقشه گسیلندگی بدست می‌آید. تاکنون روش‌های مختلفی به منظور بهبود دقت تخمین ضریب گسیل با استفاده از NDVI در سنجنده‌های مختلف ارائه شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: - برآورد شاخص پوشش گیاهی و شاخص کسری پوشش گیاهی <sup>۱</sup> برای تخمین انتشار سطح زمین و بررسی دقت هر یک در برآورد دمای سطح زمین - تخمین ضریب بازتاب پوشش و ضریب تابش پوشش سطح زمین در باندهای مختلف به منظور بررسی تراکم و پراکنش مکانی پوشش و سپس تخمین آن.	NDVI
(Li et al. 1999)	در این روش، مقدار گسیلندگی با استفاده از تقریب در معادله انتقال تابشی بدست می‌آید. با محاسبه رادیانس اندازه‌گیری شده در سطح، با استفاده از معادله انتقال تابشی و همچنین با معلوم بودن مقدار رادیانس رسیده به سنجنده، مقدار گسیلندگی محاسبه می‌شود.	تقریب رادیانس باندها
(Li et al. 2013)	در این روش فرض می‌شود که ضریب گسیل برای یک باند مفروض دارای مقدار ثابتی برای تمامی پیکسل‌های آن باند می‌باشد. در نتیجه برای باند مشخصی مانند باند $\tau$ ، می‌توان با استفاده از رادیانس اندازه‌گیری شده برای آن باند یک دمای سطح تقریبی برای هر پیکسل بدست آورد. در مرحله بعد از طریق این دما، ضریب گسیل برای سایر باندها محاسبه می‌شود.	باند مینا
(Li et al. 1999; Li et al. 2013)	این روش در سال ۱۹۹۰ توسط لی و همکاران برای آنالیزهای طیفی در محدوده مادون قرمز پیشنهاد شد. این روش بر مبنای قانون تقریب توانی <sup>۲</sup> از تابع پلانک استوار است. بر اساس این تقریب روش شاخص طیفی مستقل از دما در دو باند $r$ و $i$ که یکی از آنها باند مینا می‌باشد، تعریف می‌شود.	شاخص طیفی مستقل از دما
(Li et al. 1999; Li et al. 2013)	در این روش از فرض ثابت بودن مقدار ضریب گسیل برای هر پیکسل در $N$ باند استفاده شده است. به این صورت که با استفاده از معادله انتقال تشعشعی، $N$ دما از مقادیر رادیانس بدست می‌آید. بیشترین مقدار دما از میان $N$ دما بدست آمده به عنوان دمای سطح زمین در نظر گرفته شده و برای بدست آوردن مقدار ضریب گسیل در سایر باندها همانند روش باند مینا عمل می‌شود.	بهنجارسازی گسیلندگی
(Li et al. 2013)	این روش بر اساس تقریب وین <sup>۳</sup> از تابع پلانک ارائه شد. با گرفتن لگاریتم طبیعی رادیانس آمده از تقریب وین و حذف دمای سطح رابطه آلفا برای باند نمونه $i$ تعریف می‌شود. در مرحله بعد رابطه آلفا برای باند مینا محاسبه شده و با استفاده از آنها مقدار گسیلندگی در باند $i$ بدست می‌آید.	روش آلفا

<sup>۱</sup>-FVC

<sup>۲</sup>- Power-law approximation

<sup>۳</sup>-Wien

در مرحله بعد با استفاده از روش تصحیح جوی ISAC، پارامترهای جوی از قبیل گذردهی جوی و چگالی شار تابشی مسیر بالای محاسبه شدند. سپس با استفاده از این پارامترهای جوی و الگوریتم ARTEMIS، مقادیر دما و گسیلندگی بدست آمدند. در نهایت نتایج بدست آمده از

<sup>۱</sup>HyTES، مراحل مختلف الگوریتم TES شامل ۱- گسیلندگی بهنجار<sup>۲</sup> (NEM) ۲- روش نسبت طیفی<sup>۳</sup> (RAT) ۳- روش گسیلندگی حداقل و حداکثر<sup>۴</sup> (MMD) روی تصویر اعمال شد.

1- Hyperspectral Thermal Emission Spectrometer

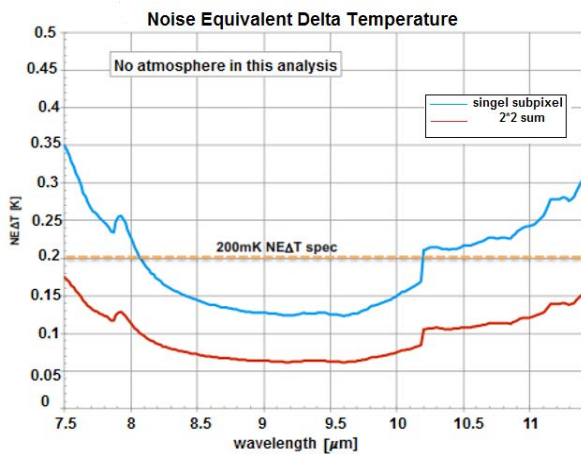
2- Normalized Emissivity Method

3- Ratio

4- Min-Max Difference

**فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۰۳)**  
تهیه نقشه گسیلندگی و دمای سطح زمین از تصاویر ... / ۱۰۳

ویژگی جذب بخار می‌باشند. بنابراین باندهای طیفی موجود در این محدوده، یعنی ۲۸ باند از مجموعه کل ۲۵۶ باند طیفی، حذف شدند. در ادامه برای حذف باندهای نویزی، از نمودار نویز دستگاه (NEDT) استفاده شد. با توجه به این نمودار باندهای طیفی موجود در محدوده ۱۱/۵ تا ۱۲ میکرومتر دارای نویز زیادی می‌باشند، در نتیجه ۲۵ باند واقع در این محدوده، حذف شدند. در نهایت ۲۰۲ باند طیفی به عنوان باندهای مطلوب تصویر های‌تس، انتخاب شدند. در نگاره ۱ نمودار NEDT این سنجنده ارائه شده است.



نگاره ۱: نمودار NEDT برای تصویر های‌تس

**۵- مبانی روش‌های پیشنهادی**

در این قسمت کلیاتی از دو روش پیشنهادی تخمین دما و گسیلندگی مورد استفاده در تحقیق حاضر ارائه شده است. ابتدا به بیان الگوریتم TES و مراحل مختلف آن پرداخته شده است و در ادامه روش تصحیح جوی آیزاک و الگوریتم ARTEMIS مورد بررسی قرار گرفتند.

**۵-۱- روش TES**

این الگوریتم در سال ۱۹۹۸ در تیم سنجنده ASTER طراحی و توسعه یافت و سپس با اعمال تغییراتی برای سایر سنجنده‌ها استفاده گردید. اساس این الگوریتم بر مبنای معادلات انتقال تابش

این دو الگوریتم که شامل دمای سطح زمین و گسیلندگی می‌باشند، با محصولات دما و گسیلندگی سنجنده هوایی HyTES مورد ارزیابی قرار گرفتند.

**۳- سنجنده «های‌تس»**

(Hyperspectral Thermal Emission Spectrometer) HyTES یک

سنجنده ابرطیفی حرارتی، با ۲۵۶ باند طیفی واقع در محدوده ۷/۵ تا ۱۲ میکرومتر از طیف الکترومغناطیس، می‌باشد. این سنجنده هوایی که توسط ناسا طراحی شده، بر روی دو هواپیمای Twin Otter و NASAER2 نصب شده است. اندازه پیکسل‌های های‌تس با توجه به شرایط تصویربرداری، بین ۱/۷ متر تا ۳۴ متر می‌باشد. این سنجنده حرارتی از جولای سال ۲۰۱۲ شروع به تصویربرداری کرد. هدف از ساخت های‌تس، بهبود دقت مکانی و طیفی سنجنده HypIRI<sup>۱</sup> بود. جزئیات این سنجنده در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: ویژگی‌های سنجنده های‌تس

مقادیر	پارامترها
۷/۵-۱۲ میکرومتر	محدوده طیفی
۲۵۶ (۱۷/۶ نانومتر)	باندهای طیفی
۵۰ درجه	Field of view
۱/۴۴ میکرو رادیان	IFOV) (pixel subtense)
۳/۶۴ متر	سایز پیکسل‌ها در ارتفاع پرواز ۲۰۰۰ متر

**۴- پیش‌پردازش تصویر های‌تس**

تصویر های‌تس مورد استفاده در این مطالعه در تاریخ ۲۶ ژانویه سال ۲۰۱۶ از منطقه AlisoCanyon واقع در کالیفرنیا اخذ شده است. مقادیر داده‌های تصویر های‌تس به صورت رادیانس موجود هستند، که برای رسیدن به بازتابندگی بهینه نیاز به حذف باندهای نویزی و جذبی بخار آب است. برای حذف باندهای جذبی بخار آب، از اطلاعات فایل سربرگ تصویر استفاده شد. با توجه به اطلاعات فال سربرگ تصویر، باندهای طیفی واقع در محدوده ۷/۴-۸ تحت تأثیر

<sup>۱</sup>- Hyperspectral Infrared Imager

مقدار دمای درخشندگی ( $T_{NEM}$ ) طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود. پس از محاسبه  $T_{NEM}$ ، با استفاده از تابع پلانک، چگالی شار تابشی ( $B_b(T_{NEM})$ ) تخمین زده می‌شود. در ادامه با استفاده از چگالی شار تابشی خارج شده از سطح ( $R$ )، و گسیلندگی بهنجار  $\epsilon_b$  طبق رابطه (۴) بدست می‌آید.

$$T_{NEM} = \max(T_b) \quad (3)$$

$$\epsilon_b = \frac{R_b}{B_b(T_{NEM})} \quad (4)$$

$$\epsilon_{max} = \epsilon_b \quad (5)$$

پس از تخمین گسیلندگی بهنجار  $\epsilon_b$ ،  $\epsilon_{max}$  طبق رابطه (۵) به روزرسانی شده و مجدداً در رابطه (۱) قرار می‌گیرد. این فرآیند آن قدر ادامه می‌یابد تا دور تکرار به ۱۲ مرحله برسد (Gillespie et al. 1998) و یا اختلاف بین دو متوالی کمتر از حد آستانه شود. پس از محاسبه  $\epsilon_b$  در مرحله بعد با استفاده از ماژول نسبت طیفی، طیف  $\beta$  بدست می‌آید.

#### – ماژول RATIO

در مدل نسبت طیفی، گسیلندگی‌های نسبی به صورت نسبت گسیلندگی نرمال شده ( $\epsilon_b$ ) به مقدار متوسط آن به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\beta_b = \frac{\epsilon_b}{\frac{1}{N} \sum_{b=1}^N \epsilon_b} \quad (6)$$

$\beta_b$  گسیلندگی نسبی و  $N$  تعداد کل باندهای بهینه تصویرهای تس می‌باشند.

در مرحله بعد  $\beta_b$  به مقادیر واقعی گسیلندگی تبدیل و دما مجدداً حساب می‌شود.

#### – ماژول MMD

در روش گسیلندگی حداقل- حداکثر برای تبدیل گسیلندگی‌های نسبی  $\beta_b$  به گسیلندگی واقعی، ابتدا مقادیر حداقل و حداکثر گسیلندگی نسبی هر پیکسل در تمام باندها محاسبه می‌شود. پس از آن کنتراست طیفی (MMD) طبق رابطه (۷) بدست می‌آید.

$$MMD = \max(\beta_b) - \min(\beta_b) \quad b=29-230 \quad (7)$$

است و از ترکیب سه الگوریتم گسیلندگی بهنجار (NEM)، روش نسبت طیفی (RAT) و روش گسیلندگی حداقل و حداکثر (MMD) ساخته شده است. در واقع بوسیله این سه مدل، مشکل درجه آزادی ناشی از  $N$  معادله انتقال تابشی باندها و  $N+1$  مجهول ( $N$  مجهول گسیلندگی برای هر باند و ۱ مجهول دما) حل می‌شود (Gillespie et al. 1999). الگوریتم جداسازی گسیلندگی و دما در ابتدا از مدل گسیلندگی بهنجار برای تخمین مقدار اولیه برای دما و گسیلندگی استفاده می‌کند. سپس با استفاده از مدل نسبت طیفی مقادیر گسیلندگی‌های نسبی را محاسبه می‌کند. در پایان الگوریتم جداسازی گسیلندگی و دما براساس خروجی‌های مدل نسبت طیفی، از روش گسیلندگی حداقل - حداکثر برای برآورد نهایی دما و گسیلندگی استفاده می‌کند. در ادامه جزئیات این الگوریتم و هر یک از مراحل آن آورده شده است.

#### – ماژول NEM

با استفاده از این مدل، ابتدا گسیلندگی‌های نرمال شده محاسبه و سپس با استفاده از آن‌ها مقدار اولیه دما تخمین زده می‌شود. در ابتدا با فرض اینکه  $0.94 < \epsilon_{max} < 1$  است، چگالی شار تابشی خارج شده از سطح طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$R_w = L' - (1 - \epsilon_{max}) \quad (1)$$

در رابطه فوق  $R$  چگالی شار تابشی خارج شده از سطح،  $L'$  چگالی شار اندازه‌گیری شده در سنجنده و  $\epsilon_{max}$  بیشترین مقدار گسیلندگی می‌باشد.

پس از محاسبه چگالی شار تابشی خارج شده از سطح ( $R$ )، دمای اولیه حاصل از تابش فوق ( $T_b$ )، طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Gillespie et al. 1998). (برای سنجنده های تس ۲۳۰-۲۹ b= است)

$$T_b = \frac{c_2}{\lambda_b} \left( \ln \left( \frac{c_1 \epsilon_{max}}{\pi R_b \lambda_b^5} + 1 \right) \right)^{-1} \quad (2)$$

در رابطه فوق  $C_1$  و  $C_2$  ثابت‌های قانون پلانک،  $b$  باندهای تصویر و  $\lambda_b$  طول موج باندهای تس می‌باشد. در مرحله بعد برای هر پیکسل در تمامی باندها، بیشینه



آمده، تابش به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$L_m(\lambda, i, j) = B(\lambda, T_B(i, j))\tau + L_p \quad (12)$$

که در آن  $\tau$  شفافیت جوی،  $L_M$  چگالی شار تابشی اندازه‌گیری شده در سنجنده و  $L_p$  چگالی شار تابشی مسیر است. مرحله آخر تابش محاسبه شده  $B(\lambda, T_B(i, j))$  روی محور xها و تابش اندازه‌گیری شده روی محور yها پلات می‌شود. یک خط به بالاترین محدوده این پلات برازش داده شده، عرض از مبدا و شیب این خط به ترتیب چگالی شار تابشی مسیر و گذردهی جوی می‌باشند. پس از محاسبه پارامترهای جوی مورد نیاز در الگوریتم ARTEMISS، ادامه به بیان این الگوریتم و اجرای آن می‌پردازیم.

### ۳-۵- الگوریتم ARTEMISS

الگوریتم ARTEMISS(Borel 2003) در سال ۱۹۹۸ توسط آزمایشگاه ملی LosAlamos برای تصاویر ابرطیفی طراحی شد. این الگوریتم نیز مانند الگوریتم TES بر مبنای معادلات انتقال تابش است و دما و گسیلندگی را به طور همزمان تخمین می‌زند. در الگوریتم ARTEMISS توسط یک روش افزایشی، گسیلندگی و پس از آن دما تخمین زده می‌شود. در این روش ابتدا دمای جسم سیاه محاسبه شده پس از آن مقدار گسیلندگی اولیه تخمین زده می‌شود. سپس دمای جسم سیاه بدست آمده گام به گام افزایش یافته و مقدار گسیلندگی نیز در هر گام محاسبه می‌شود. پس از انتخاب گسیلندگی بهینه که در ادامه چگونگی انتخاب آن ارائه شده است، دمای نهایی محاسبه می‌شود. در زیر جزئیات الگوریتم ARTEMISS آورده شده است:

در ابتدا با فرض ثابت بودن گسیلندگی (به طور مثال  $\epsilon_0 = 0.95$ )، با در نظر داشتن این امر که چگالی شار تابشی رسیده به سنجنده طبق رابطه (۱۳)، تحت تأثیر چگالی شار تابشی مسیر و چگالی شار تابشی رو به پایین جوی است، دمای اولیه ( $T_{est}$ ) طبق رابطه (۱۴) بدست می‌آید.

$$L_m = \epsilon B(\lambda, T) + (1 - \epsilon)L_d\tau + L_p \quad (13)$$

با استفاده از MMD کمترین مقدار ضریب گسیل با استفاده از رابطه زیر تخمین بدست می‌آید.

$$\epsilon_{min} = a - b * MMD^c \quad (8)$$

ضرایب a, b, c به ترتیب برابر ۰/۹۹۴، ۰/۶۸۷- و ۰/۷۳۷ می‌باشند. پس از محاسبه، مقدار نهایی گسیلندگی در روش TES از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\epsilon_b = \beta_b \left( \frac{\epsilon_{min}}{\min(\beta_b)} \right) \quad (9)$$

در مرحله بعد برای تخمین دمای سطح زمین، باندی که از میان N باند بیشترین مقدار گسیلندگی را دارد، انتخاب می‌شود. سپس دمای سطح زمین طبق عکس تابع پلانک و در طول موج مربوط به این باند، به صورت زیر محاسبه می‌شود (Wang et al. 2008).

$$T = \frac{c_2}{\lambda_{b^*}} \left( \ln \left( \frac{c_1 \epsilon_{b^*}}{\pi R_{b^*} \lambda_{b^*}^5} + 1 \right) \right)^{-1} \quad (10)$$

$b^*$  باندی است که در آن باند گسیلندگی بیشترین مقدار را دارد.

### ۲-۵- روش ISAC

روش تصحیح جوی ISAC در سال ۲۰۰۲ توسط یانگ و همکاران ارائه شد (Young et al. 2002). با استفاده از این الگوریتم مقادیر پارامترهای جوی از قبیل گذردهی جوی و چگالی شار تابشی مسیر تخمین زده می‌شود. برای انجام این الگوریتم ابتدا طول موجی که در آن گذردهی جوی بیشینه و یا تابش مسیر کمترین مقدار است، انتخاب می‌شود. پس از آن با فرض ثابت بودن گسیلندگی  $\epsilon(\lambda) = \epsilon_0 = \frac{0}{95}$ ، دمای درخشندگی طبق معکوس قانون پلانک است محاسبه می‌شود:

$$T_B(i, j) = BB^{-1}(\lambda_0, L_M(\lambda_0, i, j)) / \epsilon_0 \quad (11)$$

که در آن  $L_M$  چگالی شار تابشی اندازه‌گیری شده در سنجنده و i و j به ترتیب آدرس سطر و ستون در تصویر می‌باشند.

در مرحله بعد با استفاده از دمای درخشندگی به دست

در این تحقیق طول موج اولیه  $\lambda_0 = 11/5$  میکرومتر انتخاب شد. در این طول موج شفافیت جوی بیشینه مقدار است. در مرحله بعد به منظور رسیدن به گسیلندگی نرم شده، دمای جسم سیاه بدست آمده از مرحله قبل طبق رابطه زیر و با گام‌های  $N \dots 2$  و  $1$  قدم به قدم افزایش می‌یابد تا گسیلندگی اولیه‌ای به مقدار واقعی خود نزدیک شود. پس از محاسبه،  $T_{est,n}$ ،  $\varepsilon_n$  نیز این بار در  $N$  گام طبق رابطه (۱۵) تخمین می‌شود که در نتیجه آن مقادیر گسیلندگی بهبود می‌یابد.

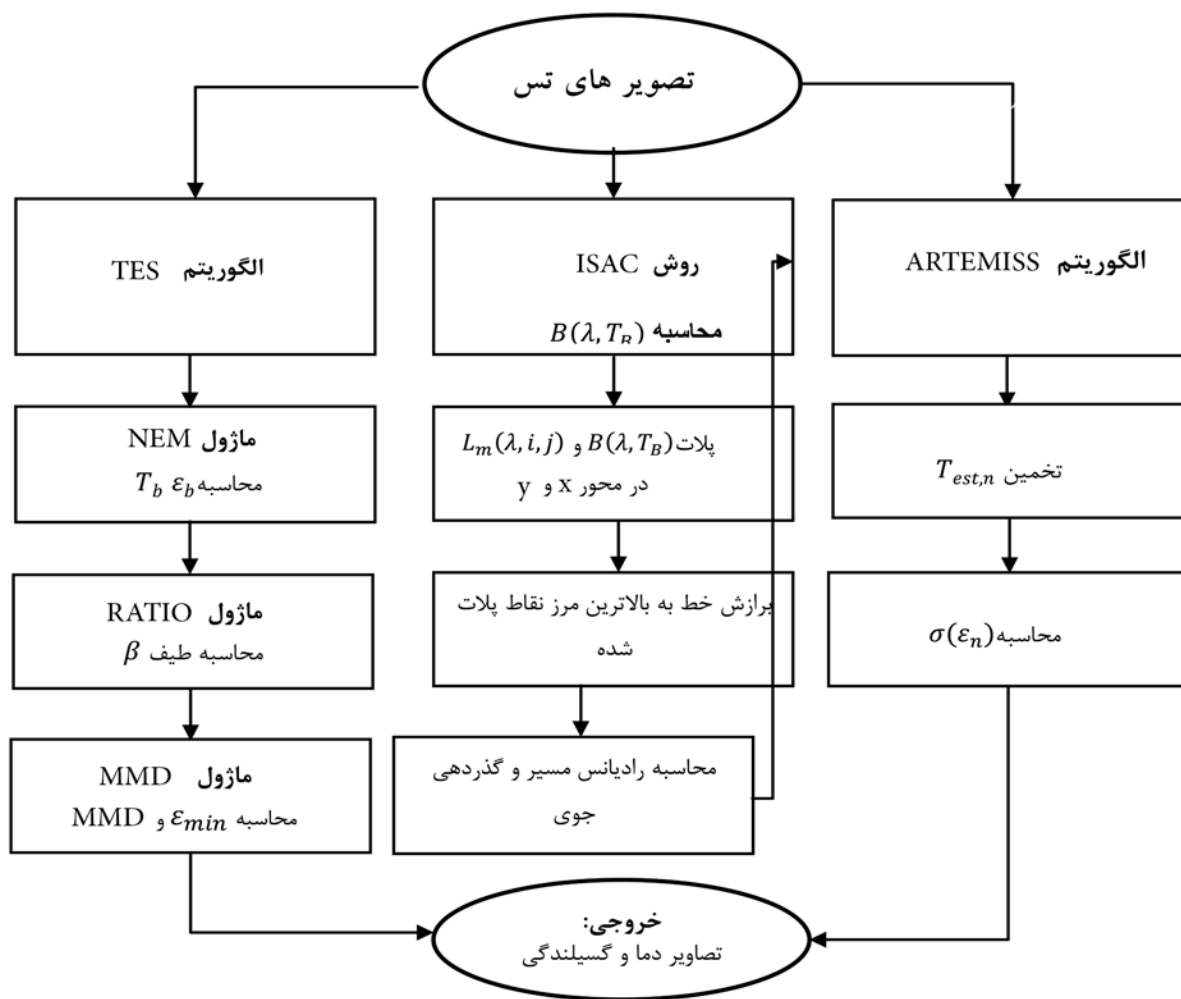
$$T_{est,n} = T_{est,0} - \frac{T_{range}}{2} + n\delta T \quad (16)$$

در این رابطه  $L_p$  چگالی شار تابشی مسیر،  $L_d$  چگالی شار تابشی رو به پایین جوی،  $\tau$  شفافیت جو و  $L_m$  چگالی شار تابشی رسیده به سنجنده می‌باشد.

$$T_{est} = B^{-1}\left(\lambda_0, \frac{L_m - L_p - (1 - \varepsilon_0)L_d\tau}{\varepsilon_0\tau}\right) \quad (14)$$

که در آن  $B^{-1}(\lambda, L)$  معکوس تابع پلانک و  $\lambda_0$  طول موجی است که در آن انتقال جوی بیشینه مقدار است (Borel 2003). سپس با استفاده از دمای اولیه بدست آمده ( $T_{est}$ )، گسیلندگی طبق معادله (۱۵) تخمین زده می‌شود.

$$\varepsilon = \frac{L_m - L_p - L_d\tau}{(B(\lambda, T_{est}) - L_d)\tau} \quad (15)$$



نگاره ۲: نمایی کلی از روش‌های مورد استفاده در تخمین دما و گسیلندگی



گسیلندگی سطح و دمای سطح مناسب می‌باشند. هدف از این تحقیق بدست آوردن نقشه دمایی و همچنین نقشه ضریب گسیل سطح زمین با استفاده از دو روش TES و ARTEMIS از تصویر فراطیفی های‌تس می‌باشد. همچنین در این تحقیق پارامترهای جوی مورد نیاز در الگوریتم ARTEMIS با استفاده از روش تصحیح جوی آیزاک تخمین زده شد.

پس از حذف باندهای نویزی و باندهای جذبی بخار آب، ۲۰۲ باندهای حرارتی از بین ۲۵۶ باندهای حرارتی تصویرهای‌تس انتخاب شدند. سپس در الگوریتم TES، دمای اولیه و گسیلندگی بهنجار در ۱۲ دور تکرار در مدل NEM محاسبه شدند. پس از آن برای افزایش دقت گسیلندگی بدست آمده از مدل NEM، همان طور که در بخش ۵-۱-۱ ارائه شده است، از مدل نسبت طیفی استفاده شد. در مرحله بعد برای تبدیل خروجی حاصل از مدل نسبت طیفی به گسیلندگی، مدل MMD مورد استفاده قرار گرفت.

در بسیاری از تحقیقات سنجش از دوری ارزیابی و آنالیز نتایج براساس مقایسه بین محصول ماهواره و نتایج حاصل انجام می‌گیرد. در این مرحله به منظور ارزیابی دقت، تصاویر دمایی و گسیلندگی بدست آمده از الگوریتم TES، با محصولات دما و گسیلندگی سنجنده «های‌تس» مقایسه شدند. در جداول ۴ و ۵ نتایج ارزیابی ارائه شده است. در نگاره ۶ نیز تصویر حرارتی و ضریب گسیل بدست آمده از الگوریتم TES نشان داده شده است.

پس از محاسبه پارامترهای جوی از روش آیزاک (جزئیات آیزاک در بخش ۵-۲-۲ آورده شده است)، در الگوریتم بعدی که ARTEMIS می‌باشد، دمای اولیه در ۱۲ گام مرحله به مرحله افزایش یافت تا گسیلندگی اولیه‌ای به مقدار واقعی خود نزدیکتر شود پس از آن مجدداً در هر یک از این ۱۲ گام، گسیلندگی محاسبه شد. بهترین گسیلندگی در هر باندهای گسیلندگی می‌باشد که کمترین انحراف معیار را در بین این ۱۲ گام دارد. پس از تعیین گسیلندگی بهینه، دما طبق رابطه (۱۹) محاسبه شد.

به طوری که  $\delta T = \frac{T_{range}}{N-1}$  و  $n = 1 \dots N$  و  $n = 1$  و  $2 \dots N$  است. در مرحله بعد بهینه مقدار گسیلندگی از بین  $N$  گسیلندگی محاسبه شده در هر باندهای تخمین زده می‌شود. برای این منظور در  $n = 1 \dots N$  و برای  $M$  نمونه انحراف معیار گسیلندگی‌ها در هر باندهای طبق رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود:

$$\sigma(\epsilon_n) = \text{STDEV}(\epsilon_{n,m} - \frac{\epsilon_{n,m-1} + \epsilon_{n,m} + \epsilon_{n,m+1}}{3}) \quad (17)$$

$m=2 \dots M-1$

در نهایت در هر باندهای گسیلندگی که از بین  $N$  گسیلندگی کمترین انحراف معیار را دارد، به عنوان گسیلندگی بهینه انتخاب می‌گردد (Borel 2003).

$$\epsilon_{opt} = \epsilon_n | \sigma(\epsilon_n) = \min \quad (18)$$

در مرحله آخر پس از محاسبه گسیلندگی بهینه در هر باندهای با معلوم بودن  $n$ ، دمای سطح زمین به صورت زیر بدست می‌آید:

$$T_{opt} = T_{est,0} - \frac{T_{range}}{2} + n_{opt} \delta T \quad (19)$$

در این تحقیق  $T_{range} = 1$  و  $N = 12$  انتخاب شد. در نگاره ۲ نمایی کلی از روش‌های استفاده شده در این تحقیق ارائه شده است.

## ۶- بحث و ارزیابی نتایج

دمای سطح زمین و گسیلندگی سطح از پارامترهای مهم در مطالعه مدل‌های تعادل انرژی و تبخیر و تعرق در مقیاس منطقه‌ای و جهانی می‌باشند.

تصاویر سنجش از دور به دلیل پوشش وسیع مکانی و به هنگام بودن، ابزار مناسبی جهت تهیه نقشه‌های دمای سطح زمین و گسیلندگی می‌باشند.

علاوه بر این تصاویر ابرطیفی به دلیل دارا بودن باندهای حرارتی بیشتر نسبت به تصاویر چند طیفی، به یک ابزار قدرتمند جهت تخمین دمای سطح زمین تبدیل شده است. با توجه به مجهز بودن سنجنده «های‌تس» به ۲۵۶ باندهای حرارتی، در نتیجه داده‌های این ماهواره برای تهیه نقشه‌های

نتایج ارزیابی‌های انجام شده در خصوص الگوریتم‌های پیشنهادی در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. در نگاره ۵ تصویر حرارتی و ضریب گسیل بدست آمده از الگوریتم ARTEMISS نشان داده شده است.

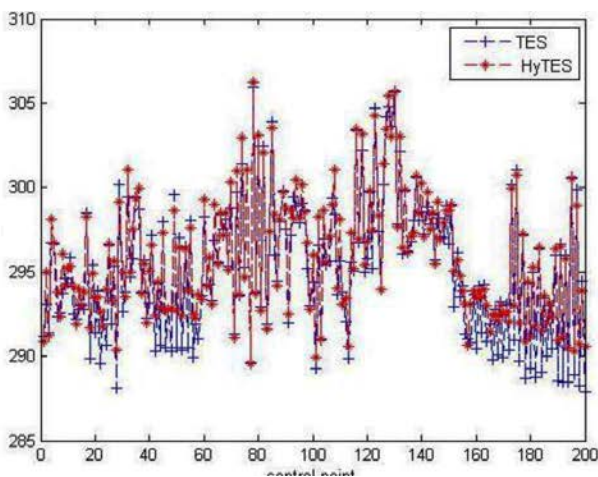
جدول ۵: نتایج ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی در تخمین گسیلندگی سطح

پارامترهای حساسیت سنجی			الگوریتم
RMSE	میانگین	انحراف معیار	
۰/۰۲	۰/۹۴	۰/۰۰۰۷	ARTEMISS
۰/۰۱	۰/۹۴	۰/۰۲	TES

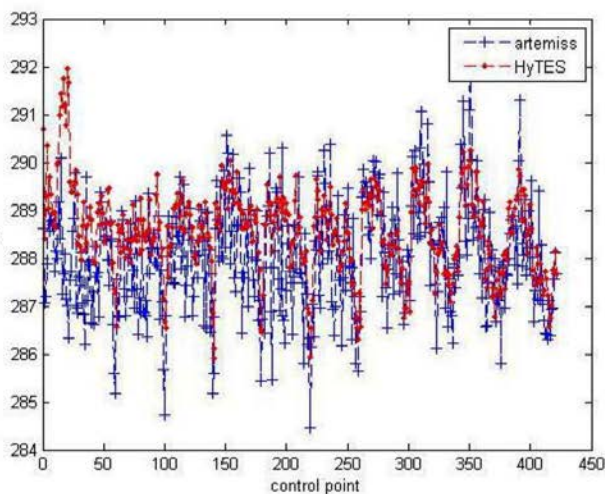
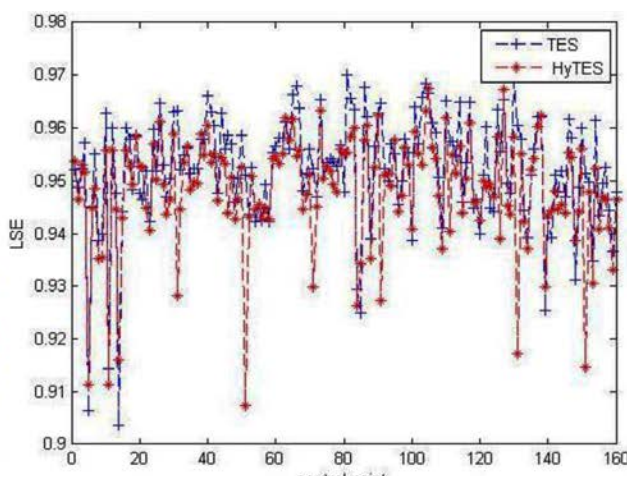
در این الگوریتم نیز به منظور آنالیز دقت، تصویر دمایی و ضریب گسیل بدست آمده از این الگوریتم با محصولات دما و گسیلندگی سنجنده «های‌تس» مقایسه شدند.

جدول ۴: نتایج ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی در تخمین دمای سطح زمین

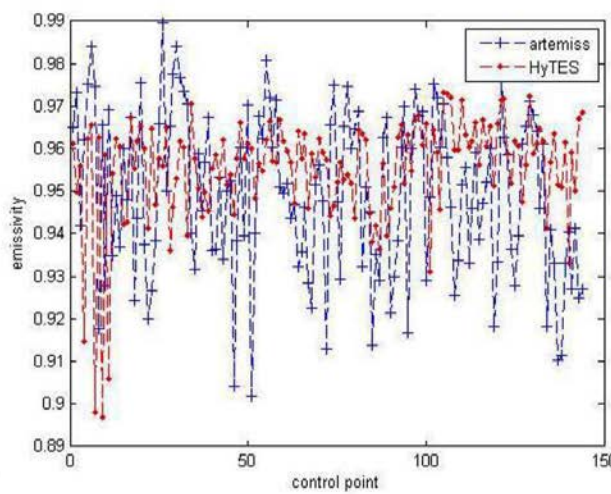
پارامترهای حساسیت سنجی			الگوریتم
RMSE	میانگین	انحراف معیار	
۱/۲	۲۹۵/۴۵	۰/۲۲	ARTEMISS
۰/۶	۲۹۳/۵	۰/۳۳	TES



نگاره ۳: نقشه ضریب گسیل و دمای بدست آمده در روش TES



نگاره ۴: نقشه ضریب گسیل و دمای بدست آمده در روش ARTEMISS



### ۷- نتیجه گیری

در این از تحقیق روش های جداسازی گسیلندگی و دما (TES)، روش تصحیح جوی آیزاک و روش ARTEMISS به منظور تخمین دمای سطح زمین و گسیلندگی استفاده شد. یکی از مزیت های روش TES و ARTEMISS، تعیین همزمان دما و گسیلندگی است. در نتیجه نیاز به دانش اولیه از گسیلندگی نیست.

از مزیت های دیگر این روش ها می توان به کارآمدی این دو روش برای تمامی سنسورها با حداقل دو باند حرارتی اشاره کرد. همچنین در مناطق دارای پوشش گیاهی بدلیل وجود جسم سیاه در تصویر، روش های TES و ARTEMISS عملکرد بهتری دارند.

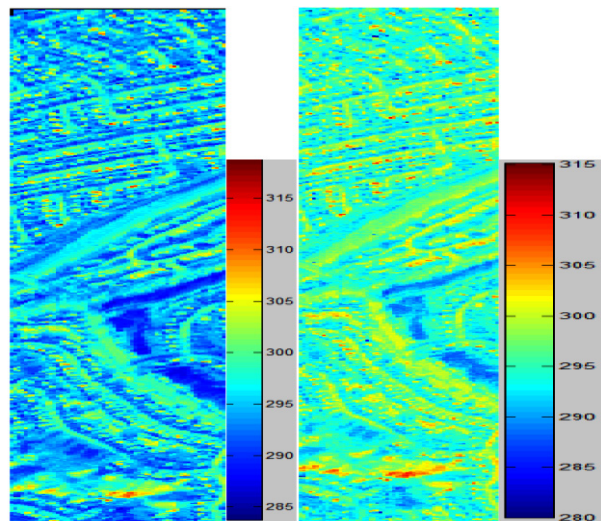
به منظور ارزیابی دقت تصاویر دمایی و گسیلندگی بدست آمده از الگوریتم ARTEMISS و TES، با محصولات دما و گسیلندگی سنجنده های تس مقایسه شدند. نتایج ارزیابی خطای RMSE را برای دما به ترتیب روش های TES و ARTEMISS برابر با ۰/۶ و ۱/۲ کلوین را نشان می دهد. همچنین نتایج ارزیابی خطای RMSE را برای گسیلندگی به ترتیب این دو روش برابر با ۰/۱۷ و ۰/۰۲ را نشان می دهد. نتایج حاصل از سایر آنالیزهای حساسیت در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است.

با توجه به نتایج حاصل از این دو الگوریتم می توان گفت روش های TES و ARTEMISS که برای اولین بار بر روی تصاویر این نوع سنجنده پیاده سازی شدند، روش های مناسبی جهت تعیین دمای سطح زمین و همچنین گسیلندگی از تصاویر ماهواره ای های تس می باشند. همچنین روش TES نسبت به روش ARTEMISS روش دقیق تری جهت تخمین دمای سطح زمین و گسیلندگی سطح می باشد.

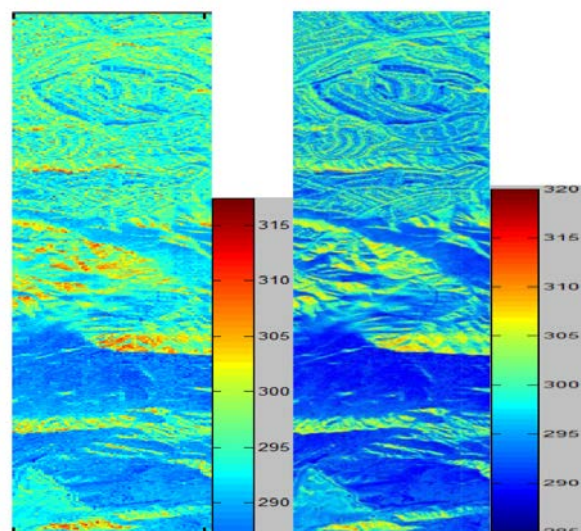
### ۸- پیشنهادات

با توجه به تحقیق انجام شده پیشنهادات و راهکارهایی برای تحقیقات آتی به شرح زیر ارائه می گردد:  
 با توجه به اهمیت پارامترهای جوی در تعیین دمای

به منظور آنالیز بهتر نتایج از نمودار نقطه ای در نگاره های ۳ و ۴ استفاده شد. در این نمودارها دما و گسیلندگی حاصل از روش های TES و ARTEMISS با محصولات دما و گسیلندگی های تس مقایسه شدند.



نگاره ۵: به ترتیب از راست به چپ الف) تصویر دمایی محصول سنجنده های تس ب) تصویر دمایی بدست آمده از الگوریتم ARTEMISS



نگاره ۶: به ترتیب از راست به چپ الف) تصویر دمایی محصول سنجنده های تس ب) تصویر دمایی به دست آمده از الگوریتم TES



Conference, 2003.

6- Chatterjee R, Singh N, Thapa S, Sharma D, Kumar D (2017) Retrieval of land surface temperature (LST) from landsat TM6 and TIRS data by single channel radiative transfer algorithm using satellite and ground-based inputs International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 58:264-277

7- Chen F, Yang S, Su Z, Wang K (2016) Effect of emissivity uncertainty on surface temperature retrieval over urban areas: Investigations based on spectral libraries ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 114:53-65

8- Gagnon M-A, Tremblay P, Savary S, Farley V, Lagueux P, Chamberland M Airborne thermal hyperspectral imaging of urban and rural areas. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International, 2014. IEEE, pp 1369-1372

9- Gao C, Jiang X, Qian Y, Qiu S, Ma L, Li Z-l A neural network based method for land surface temperature retrieval from AMSR-E passive microwave data. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2013 IEEE International, 2013. IEEE, pp 469-472

10- Gillespie A, Rokugawa S, Matsunaga T, Cothren JS, Hook S, Kahle AB (1998) A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images IEEE transactions on geoscience and remote sensing 36:1113-1126

11- Gillespie AR, Rokugawa S, Hook SJ, Matsunaga T, Kahle AB (1999) Temperature/emissivity separation algorithm theoretical basis document, version 2.4 ATBD contract NAS5-31372, NASA

12- Guanter L, Richter R, Moreno J (2006) Spectral calibration of hyperspectral imagery using atmospheric absorption features Applied Optics 45:2360-2370

13- Hu T, Liu Q, Du Y, Li H, Wang H, Cao B (2015) Analysis of the land surface temperature scaling problem: A case study of airborne and satellite data over the Heihe Basin Remote Sensing 7:6489-6509

14- Jacob F et al. (2017) Reassessment of the temperature-emissivity separation from multispectral thermal infrared data: Introducing the impact of vegetation canopy by

سطح از طریق داده‌های ماهواره‌ای بحث جو اهمیت ویژه‌ای دارد و می‌توان موارد زیر را بررسی نمود:

• تأثیر مدل‌های مختلف جوی بر روی دقت دمای سطح زمین

• آنالیز حساسیت پارامترهای اتمسفری بر روی دمای سطح و ضریب گسیل سطح

تعیین ضریب گسیل: تعیین ضریب گسیل علاوه بر اینکه به طور ذاتی اهمیت دارد در تعیین دمای سطح نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای این منظور می‌توان پیشنهادات زیر را مطرح نمود:

• بررسی طیف مواد مختلف در تعیین دما

• بررسی و آنالیز مدل‌های تعیین ضریب گسیل

## منابع و مأخذ

۱- امینی بازیانی، زارع ایبانه و اکبری؛ سمیرا، حمید و مهدی، (۱۳۹۳) برآورد دما و شاخص پوشش گیاهی سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجنش از دور (مطالعه موردی: استان همدان) پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۳۳:۳۳۳-۳۴۸-۶

۲- فیضی زاده، دیده بان و غلام نیا؛ بختیار، خلیل و خلیل، (۱۳۹۴) برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا (مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد) فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر» ۱۷۱:۲۵-۱۸۱

۳- مقدم ج، آخوندزاده و سراجیان؛ یاسر، مهدی و محمدرضا، (۱۳۹۵) ارائه یک الگوریتم پنجره مجزا نوین به منظور تخمین دمای سطح زمین از داده‌های ماهواره لندست ۸- نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری ۲۱۵:۵-۲۲۶

4- Anding D, Kauth R (1970) Estimation of sea surface temperature from space Remote Sensing of Environment 1:217-220

5- Borel CC Artemiss-an algorithm to retrieve temperature and emissivity from hyper-spectral thermal image data. In: Borel CC (ed) 28th Annual GOMACTech

remote sensing 34:3485-3502

25- Wang X, OuYang X, Tang B, Li Z-L,Zhang R A new method for temperature/emissivity separation from hyperspectral thermal infrared data. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008. IGARSS 2008. IEEE International, 2008. IEEE, pp III-286-III-289

26-Young SJ, Johnson BR,Hackwell JA (2002) An in-scene method for atmospheric compensation of thermal hyperspectral data Journal of Geophysical Research: Atmospheres 107

simulating the cavity effect with the SAIL-Thermique model Remote Sensing of Environment 198:160-172

15- Labbi A,Mokhnache A (2015) Derivation of split-window algorithm to retrieve land surface temperature from MSG-1 thermal infrared data European Journal of Remote Sensing 48:719-742

16- Li Z-L, Becker F, Stoll M,Wan Z (1999) Evaluation of six methods for extracting relative emissivity spectra from thermal infrared images Remote sensing of Environment 69:197-214

17- Li Z-L et al. (2013) Land surface emissivity retrieval from satellite data International Journal of Remote Sensing 34:3084-3127

18- Oltra-Carrió R, Cubero-Castan M, Briottet X,Sobrino JA (2014) Analysis of the performance of the TES algorithm over urban areas IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 52:6989-6998

19- Payan V,Royer A (2004) Analysis of Temperature Emissivity Separation (TES) algorithm applicability and sensitivity International Journal of Remote Sensing 25:15-37

20- Peres LF, DaCamara CC (2005) Emissivity maps to retrieve land-surface temperature from MSG/SEVIRI IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 43:1834-1844

21- Price JC (1983) Estimating surface temperatures from satellite thermal infrared data—A simple formulation for the atmospheric effect Remote Sensing of Environment 13:353-361

22- Rozenstein O, Qin Z, Derimian Y,Karnieli A (2014) Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm Sensors 14:5768-5780

23- Schlerf M, Rock G, Lagueux P, Ronellenfitsch F, Gerhards M, Hoffmann L,Udelhoven T (2012) A hyperspectral thermal infrared imaging instrument for natural resources applications Remote Sensing 4:3995-4009

24- Wang N, Li Z-L, Tang B-H, Zeng F,Li C (2013) Retrieval of atmospheric and land surface parameters from satellite-based thermal infrared hyperspectral data using a neural network technique International journal of

