

Dor: [20.1001.1.20089597.1400.12.23.2.2](https://doi.org/10.1001.1.20089597.1400.12.23.2.2)

برآورد تغییرات دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و الگوریتم‌های تک‌پنجره، تک‌کانال و پلانک (مطالعه موردی: دشت بجنورد)

احمد حسین زاده^۱، عبدالرضا کاشکی^{۲*}، مختار کرمی^۳، رضا جاویدی صباغیان^۴

۱ دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشکده جغرافیا و علوم محیطی دانشگاه حکیم سبزواری، ایران
۲ استادیار اقلیم شناسی، گروه اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی دانشگاه حکیم سبزواری، ایران
۳ استادیار اقلیم شناسی گروه اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی دانشگاه حکیم سبزواری، ایران
۴ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه حکیم سبزواری، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۶؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷)

چکیده

دمای سطح زمین (LST) به عنوان یک متغیر مهم در مطالعه میکرو اقلیم و انتقال تابش در جو در نظر گرفته می‌شود، که عوامل محیطی موثر بر الگوهای پوشش زمین را با استفاده از متغیر دما نشان می‌دهد. در این مطالعه، از تصاویر باند حرارتی ماهواره‌های لندست ۵ و لندست ۸ برای برآورد دمای سطح دشت بجنورد استفاده شده است. در ابتدا، فرآیندهای تصحیح هندسی و اتمسفری، محاسبه شاخص پوشش گیاهی، شاخص انتشار سطح زمین، بخار آب موجود در هوا و دمای جو بر اساس کلونین انجام شده است. سپس، با استفاده از نرم‌افزار QGIS، برآورد دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پلانک، الگوریتم تک پنجره و الگوریتم تک کانال به دست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که مناطق دارای پوشش گیاهی کمترین دما و بیشترین مقدار دما در مناطق بدون پوشش گیاهی و زمین‌های بایر ثبت شده است. مقایسه دمای نزدیکترین یاخته با دمای ایستگاه سینوپتیک بجنورد و ایستگاه تبخیر سنجی اسدلی و ایستگاه گریوان نشان می‌دهد که دمای به دست آمده از طریق مدل‌های مورد استفاده بالاتر از دمای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها است و مقایسه نقشه‌ها نشان می‌دهد که بیشترین دمای دوره گرم در زمین‌های بایر حومه بجنورد ثبت شده است. همچنین، بر اساس میانگین خطای مربع (RMSE)، (MAD) و (NS) در میان الگوریتم‌های مورد مطالعه، دمای به دست آمده از الگوریتم تک کانال اختلاف کمتری نسبت به دمای ایستگاه‌های موجود نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: الگوریتم تک‌پنجره، الگوریتم تک‌کانال، تابع پلانک، دمای سطح زمین، دشت بجنورد

سرآغاز

یکی از مباحث محیط‌زیستی که موجب نگرانی جامعه بین‌المللی شده است، مساله تغییرات آب‌وهوایی است. افزایش تراکم گازهای گلخانه‌ای در هواسپهر که ناشی از مداخله بشر در طبیعت است، به تدریج دمای کره زمین را افزایش داده است و عواقب مهیبی که تغییرات آب‌وهوایی را به دنبال دارد، ضرورت اقدام برای مقابله با این پدیده را آشکار کرده است (Navare, 2015). آخرین گزارش مجمع بین‌دول تغییر اقلیم نشان می‌دهد میانگین دمای جهان تا پایان قرن حاضر تا ۴/۶ درجه افزایش خواهد یافت و این تغییرات در مقیاس منطقه‌ای بسیار زیاد خواهد بود (Kalanki & karandish, 2015). دمای سطح زمین^(۱) از شاخص‌های اصلی تعادل انرژی کره زمین و تاثیرگذار در حیات انسانهاست (Ebrahimi, 2016). همچنین می‌توان ثبت تغییرات دمای کره زمین را از حیاتی‌ترین داده‌های ثبت شده توسط ماهواره‌ها در دهه‌های اخیر محسوب کرد که در زمینه‌های مختلف از جمله هیدرولوژی، هواشناسی و ... کاربرد دارد (Ndossi & Avdan, 2016). افزایش گستره‌های شهری به دلیل افزایش جمعیت، توسعه شهرنشینی و همچنین روند روبه‌رشد فعالیت‌های صنعتی، مشکلات محیط‌زیستی از جمله افزایش دما و آلودگی محیط‌زیست را تشدید خواهد کرد. به همین دلیل بررسی روند تغییرات دمایی در مناطق مختلف به منظور کنترل عواقب ناشی از آن امری لازم و ضروری است (Mirzapour, 2016).

در معماری منظر زمینی، دمای سطح زمین نشان‌دهنده اقلیم محلی، رشد پوشش گیاهی و ویژگی‌های شهری و نمایانگر عوامل محیطی است. در واقع تغییر دمای سطح زمین نشان می‌دهد که با تغییر ویژگی‌های سطح زمین، دمای سطح آن منطقه نیز تغییر می‌کند. از این رو، اندازه‌گیری دمای سطح زمین و تغییر آن در طی یک دوره مشخص به طور قابل توجهی تغییر در کاربری و پوشش اراضی آن منطقه را نیز نشان می‌دهد (Tariq et al., 2020). تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح شهر می‌تواند در روند رشد و توسعه شهری در نظر گرفته شده و از بسیاری مشکلات بهداشتی ناشی از جزیره گرمایی به خصوص در نواحی شهری جلوگیری نماید (Nurwanda & Honjo, 2020). در واقع، بررسی رفتار مکانی و عوامل جغرافیایی موثر در دمای سطح زمین به عنوان یک ابزار مفید برای برنامه‌ریزی شهری و ارتقای مدیریت شهری مورد استفاده

قرار می‌گیرد (Lemus Canovas et al., 2020). آگاهی از میزان دمای سطح زمین کمک شایانی به طیف وسیعی از مسایل مرتبط با علوم زمین مانند اقلیم شهری، تغییرات جهانی محیطی و بررسی تعاملات انسان و محیط می‌کند (Jamali et al., 2019). به منظور بررسی و برآورد دمای سطح زمین مطالعات مختلفی صورت گرفته است به عنوان مثال: اندوسی و اودان (۲۰۱۶) به بررسی دمای سطح زمین با استفاده از چهار الگوریتم تابع پلانک، الگوریتم تک‌پنجره، الگوریتم تک‌کانال و الگوریتم انتقال تابش پرداخته‌اند. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که تابع پلانک و الگوریتم تک‌کانال بهترین نتایج را در برآورد دمای سطح زمین نشان می‌دهند (Ndossi & Avdan., 2016). دوانا و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله‌ای به بررسی دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم تک‌کانال و ترکیب داده‌های پایگاه جهانی مرکز پیش‌بینی محیط‌زیستی^(۲) پرداخته‌اند که نتایج مطالعات نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند صحت و اعتماد بیشتری جهت برآورد دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم تک‌کانال به دست آورد (Duana et al., 2018). رونگالی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تغییرات دمای سطح زمین بر اساس باندهای حرارتی لندست ۸ در حوضه رودخانه بیاس هند با استفاده از الگوریتم تک‌پنجره پرداخته‌اند. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم تک‌پنجره برای برآورد دمای سطح زمین روش مناسب و قابل اعتمادی است (Rongali et al., 2018). عبدال‌آتیک و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تغییرات زمانی دمای سطح زمین در اتیوپی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا، شاخص طیف‌سنجی و الگوریتم تک‌پنجره پرداخته‌اند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد ارتباط قوی بین دمای سطح زمین و مناطق با پوشش گیاهی کم وجود دارد (Abdul Athick et al., 2019). سکر تکین و بونافی (۲۰۲۰) به بررسی دمای سطح زمین با استفاده از سه الگوریتم انتقال تابش، الگوریتم تک‌پنجره و تک‌کانال پرداخته‌اند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که در مقیاس فصلی شاخص انتقال تابش و روش تک‌کانال نتایج مشابهی را نشان می‌دهد و در کل هر سه مدل نتایج رضایت‌بخشی برای محاسبه دمای سطح زمین نشان می‌دهند (Sekertekin & Bonafoni., 2020). جویباری مقدم و همکاران به ارزیابی الگوریتم پنجره مجزای نوین به منظور تخمین دمای سطح زمین در تهران اقدام کرده‌اند. الگوریتم پیشنهادی جهت تعیین دمای سطح بر پایه‌ی باندهای

مطالعات حاکی از آن است دمای شهرستان مریوان روند افزایشی داشته است که میزان این تغییرات از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ به میزان ۵ درجه سلسیوس به دمای شهرستان افزوده شده است (Darvishi et al., 2019).

در این مطالعه دمای سطح زمین (LST) در دشت بجنورد طی سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ بر اساس باندهای حرارتی تصاویر لندست ۵ و ۸ به همراه تابع پلانک^(۳)، الگوریتم تک‌پنجره^(۴) (MWA) و الگوریتم تک‌کانال^(۵) (SCA) با استفاده از برنامه متن باز QGIS مورد محاسبه قرار گرفته است. در ادامه، با توجه به خروجی‌های الگوریتم‌های مختلف تغییرات دمای دشت با روند تغییرات اقلیمی منطقه نیز مورد مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

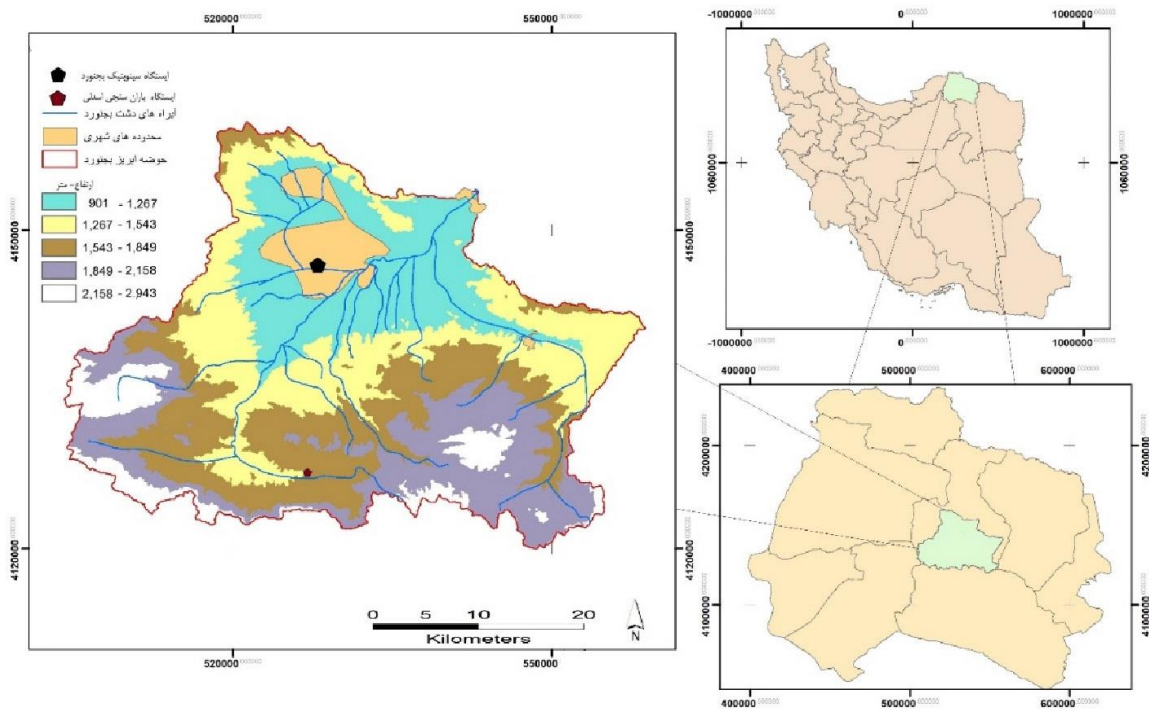
دشت بجنورد در ناحیه‌ای به مساحتی بیش از ۱۲۰۰ کیلومترمربع در قسمت جنوبی شهرستان بجنورد در طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۵ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی در مرکز استان خراسان شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). متوسط بارش در دوره آماری ۴۰ ساله ایستگاه همدید بجنورد ۲۵۲ میلیمتر و متوسط دما ۱۳/۶ درجه سانتی‌گراد و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰۷۰ متر می‌باشد (North Khorasan Meteorological Department, 2018). بر اساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵ این محدوده علاوه بر شهر بجنورد بیش از ۶۵ آبادی و جمعیتی بالغ بر ۲۸۴ هزار نفر معادل ۳۳ درصد استان خراسان شمالی را در خود جای داده است.

روش

ماهواره لندست طولانی‌ترین سری ماهواره‌های درحال استفاده است. این ماهواره بیش از چهار دهه است که زمین را رصد می‌کند. حسگرهای این ماهواره دارای ابزارهایی هستند که امکان شناسایی ناحیه مادون قرمز را دارند (Ndossi & Avdan, 2016). داده‌های لندست برای محدوده مطالعاتی از وبسایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا^(۶) استخراج شده است. در جدول (۱) مشخصات تصاویر به کار رفته در مطالعه درج گردیده است. برای انتخاب زمان تصاویر تلاش گردیده است

۱۰ و ۱۱ سنسور حرارتی لندست ۸ ارایه شده است. نتایج ارزیابی با استفاده از این الگوریتم با خطای کمتر از ۲ درجه به عنوان روشی مناسب و قابل قبول در برآورد دمای سطح زمین می‌باشد (Jouybari et al., 2015). در که دمای سطح زمین را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و از طریق سه الگوریتم سبال، الگوریتم تک‌پنجره و روش تک‌کانال، در مناطق شهری کرمانشاه و اصفهان انجام داده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در بین روش‌های مورد استفاده روش سبال کارایی بهتری در برآورد دمای سطح زمین دارد (Darka, 2017). آروین به بررسی و تخمین دمای شهر اصفهان و منطقه اطراف با استفاده از روش الگوریتم پنجره مجزای سوبرینو پرداخته است و نتایج مطالعات نشان می‌دهد اعتبار روش به کار گرفته شده جهت تعیین دمای سطح زمین در سطح اطمینان ۹۹ درصد مورد تایید می‌باشد (Arvin, 2019). میرزاپور در مطالعه‌ای به ارزیابی دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و الگوریتم پنجره مجزا در منطقه تبریز، بناب، سهند و مراغه پرداخته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد سطوح دارای ضریب گسیلندگی بیشتر، مانند مراتع و باغ‌ها دمای درخشندگی کمتری نسبت به سایر نقاط دارند و دمای سطح زمین در این پیکسل‌ها کمتر است و همچنین محاسبه معیارهای خطا نشان داد اختلاف کمتر از پنج درجه سانتیگراد در برآورد دمای سطح زمین در ماهواره لندست ۸ و مودیس وجود دارد (Mirzapour, 2016). ولی‌زاده و همکاران به برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چندمتغیره در شهر زنجان پرداخته‌اند که نتایج مطالعات نشان می‌دهد موثرترین عامل در ایجاد جزایر حرارتی در محدوده شهر زنجان به ترتیب لایه شیب، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاع می‌باشد (Valizadeh Kamran et al., 2017). عدلی عتیق در مطالعه‌ای جهت به دست آوردن دمای سطح زمین در شهر مرند و مناطق کشاورزی (باغی و زراعی) اطراف آن از تصاویر ماهواره‌ای از طریق چهار الگوریتم شامل: تک‌پنجره بهبودیافته، الگوریتم تک‌کانال، پنجره مجزای سوبرینو، پنجره مجزای کین و تصاویر ماهواره لندست استفاده نموده است. نتایج مطالعات حاکی از آن است روش‌های فوق دقت بالایی در تخمین دمای سطح زمین دارند (Adli Atiq, 2018). درویشی و همکاران به بررسی دمای سطح زمین طی دوره‌های مطالعاتی با استفاده از معادلات حرارتی و الگوریتم سبال در شهرستان مریوان پرداخته‌اند. نتایج

تا تصاویر از یک فصل انتخاب شوند و فاصله زمانی کوتاهی بین روز تصاویر وجود داشته و پوشش ابر در تصاویر به کار رفته نزدیک به صفر باشد. همچنین تفکیک مکانی تصاویر لندست ۳۰ متر می‌باشد.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان خراسان شمالی و کشور ایران

جدول (۱): مشخصات تصاویر به کار رفته در محدوده مطالعاتی دشت بجنورد

سنسور	تاریخ (زمان)		گذر	ردیف
Landsat 5 TM	03 JUNE 2000	۱۳۷۹/۰۳/۱۴	161	034
	19 JUNE 2000	۱۳۷۹/۰۳/۳۰		
	2000 October 09	۱۳۷۹/۰۷/۱۸		
	2000 October 25	۱۳۷۹/۰۸/۰۴		
	2001 January 13	۱۳۷۹/۱۰/۲۴		
	15 JUNE 2010	۱۳۸۹/۰۳/۲۵		
	2010 October 05	۱۳۸۹/۰۷/۱۳		
	2010 October 21	۱۳۸۹/۰۷/۲۹		
	2010 December 08	۱۳۸۹/۰۹/۱۷		
	2010 December 24	۱۳۸۹/۱۰/۰۳		
Landsat 8 TIRS/OLI	24 JUNE 2019	۱۳۹۸/۰۴/۰۳	161	034
	28 September 2019	۱۳۹۸/۰۷/۰۶		
	2019 October 14	۱۳۹۸/۰۷/۲۲		
	2019 December 01	۱۳۹۸/۰۹/۱۰		

در این مطالعه، دمای سطح زمین از طریق سه روش تابع پلانک، الگوریتم تک‌پنجره و الگوریتم تک‌کانال محاسبه شده است: تابع اول) الگوریتم پلانک: این تابع برای تمامی سنجنده‌ها و نیز تمامی باندهای حرارتی قابل استفاده می‌باشد. این الگوریتم برای محاسبه دمای سطح زمین، از دمای درخشندگی سطح زمین^(۷) و توان تشعشعی^(۸) استفاده می‌کند (Rongali et al., 2018).

تابع دوم) الگوریتم تک‌پنجره: در این الگوریتم علاوه بر شاخص‌های تابع پلانک از میزان انتقال امواج الکترومغناطیسی اتمسفر^(۹) (که به ضخامت اتمسفر مرتبط است) به همراه دمای هوای منطقه نیز استفاده می‌شود. تابع سوم) الگوریتم تک‌کانال: در این تابع میزان بخار آب موجود در جو نیز در محاسبه دمای سطح زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد (Darka, 2017).

در این پژوهش، تصحیحات هندسی، دمای درخشندگی، توان تشعشعی در محیط نرم‌افزار ENVI محاسبه شده است و تغییرات دمای سطح زمین با استفاده از برنامه متن باز QGIS و افزونه PyQGIS برای دشت بجنورد در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ محاسبه شده است. مراحل انجام کار به شرح زیر است (انجام کار شاخص پوشش گیاهی^(۱۰) به همراه توان تشعشعی نیز محاسبه شده است. روابط انجام کار به شرح زیر است (انجام کلیه مراحل در نرم‌افزارهای ENVI و QGIS صورت گرفته است):

• تصحیحات هندسی تصاویر: در این مرحله مقادیر DN (ارزش عددی پیکسل) به مقادیر تابش^(۱۱) و انعکاس^(۱۲) تبدیل می‌شود. رابطه (۱) معادلات تبدیل DN به تابش طیفی را در لندست ۵ و ۸ نشان می‌دهد:

$$(Landsat 8) L_{\lambda} = ML \times Q_{cal} + AL - Q_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$(Landsat 5) L_{\lambda} = ((L_{\lambda \max} - L_{\lambda \min}) / (Q_{cal \max} - Q_{cal \min})) \times (Q_{cal} - Q_{cal \min}) - L_{\lambda \min}$$

محدوده برای سال‌های مورد مطالعه با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شده است (Jamali et al., 2019):

$$NDVI = NIR - RED / NIR + RED \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، RED باند قرمز و NIR باند مادون قرمز نزدیک تصاویر ماهواره لندست و NDVI نیز شاخص پوشش گیاهی می‌باشند.

• استخراج کسر پوشش گیاهی: برای استخراج کسر پوشش گیاهی از رابطه (۴) استفاده می‌شود (Rongali et al., 2018):

رابطه (۴) در این رابطه، FVC کسر پوشش گیاهی می‌باشد.

$$FVC = \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})}$$

• محاسبه شاخص انتشار حرارت سطح زمین (Emissivity): شاخص انتشار حرارت زمین بر اساس شاخص پوشش گیاهی و رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

در این رابطه، ML نشان‌دهنده عامل ضریب بازمقیاس‌سازی، Q_{cal} نشان‌دهنده اعداد پیکسل باند ۱۰، AL نشان‌دهنده عامل اضافه‌شونده بازمقیاس‌سازی و Q_i نشان‌دهنده تصحیح لازم برای باند ۱۰ تصویر می‌باشد (Jamali et al., 2019).

• دمای درخشندگی
بعد از تبدیل ارزش‌های رقومی به رادیانس طیفی، داده‌های باند حرارتی باید با استفاده از رابطه (۲) به دمای درخشندگی تبدیل شوند (Wang et al., 2019):

$$BT = K_2 / (\ln (K_1 / L_{\lambda} + 1)) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه، K_1 و K_2 ضرایب ثابت تصاویر ماهواره لندست و BT نیز دمای درخشندگی می‌باشند.

• شاخص پوشش گیاهی NDVI
پس از محاسبه دمای درخشندگی برای تهیه شاخص پوشش گیاهی ابتدا تصحیحات باندهای مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک انجام گردیده است و سپس شاخص پوشش گیاهی در

رابطه (۸)

$$TS = A_i(1 - C_i - D_i) + \{B_i \times (1 - C_i - D_i) + C_i + D_i\} \times T_i - D_i \times T_i / C_i$$

در این رابطه، T_i معادل دمای درخشندگی و TS میانگین دمای اتمسفر می‌باشد. همچنین ضرایب $A_i = 67.355351$ و $B_i = 0.458606$ می‌باشند. همچنین مقادیر ضرایب C_i و D_i بر اساس روابط (۹ و ۱۰) محاسبه می‌شوند.

$$C_i = \varepsilon_i \times \tau_i \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$C_i = (1 - \tau_i)(1 + (1 - \varepsilon_i)\tau_i) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

در این رابطه ε_i معادل شاخص انتشار (LSE) و τ_i شاخص انتقال جو محسوب می‌شود. برای دشت بجنورد از رابطه (۱۱) به دست می‌آید:

$$T_a = 16.0110 + 0.92624T_0 \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

در این رابطه، T_0 معادل میانگین درجه حرارت ایستگاه در روز مورد مطالعه می‌باشد.

برای محاسبه دمای سطح زمین در الگوریتم تک‌کانال (SCA) علاوه بر دمای درخشندگی و شاخص انتشار از میزان بخار موجود در جو نیز استفاده می‌شود. برای تعیین میزان بخار آب موجود در جو از رابطه (۱۲) استفاده شده است:

$$wi = 0.0981 \times 0.1679 \times (10 \times 0.6108 \times \exp^{\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)}} \times RH) \times 0.1679 \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

رابطه (۱۶)

$$\psi_2 = -1.1836\omega^2 - 0.3760\omega - 0.52894$$

رابطه (۱۷)

$$\psi_3 = -0.04554\omega^2 + 1.8719\omega - 1.1234$$

• برای محاسبه میزان اعتبار نتایج به دست آمده از سه روش میانگین قدر مطلق خطا (Mean Absolute Error) (MAD)، مجذور میانگین مربعات خطا (Root-Mean-Square Error) (RMSE) و ضریب نش-ساتکلیف (NS) از رابطه‌های ۱۸، ۱۹ و ۲۰ استفاده شده است:

$$MAD = \left(\sum |At - Ft| / N \right) \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

رابطه (۱۹) (Salmani et al., 2015)

$$\varepsilon = \varepsilon_s \times (1 - FVC) + \varepsilon_v \times FVC \quad \text{رابطه (۵)}$$

• پس از انجام محاسبه‌های شرح داده شده و بر اساس رابطه (۶) دمای سطح زمین بر اساس تابع پلانک مورد محاسبه قرار می‌گیرد (Ndossi & Avdan 2016):

$$TS = \frac{BT}{1 + (\lambda \times BT / p) \times \ln \varepsilon} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه، TS دمای سطح زمین بر اساس درجه کلونین، BT دمای درخشندگی بر حسب درجه کلونین، λ طول موج رادیان ساطع شده و P ثابت پلانک می‌باشد که مطابق رابطه (۷) محاسبه می‌شود (Rongali et al., 2018):

$$P = h \times c / \sigma = 1.438 \times 10^8 \text{ Mk} \quad \text{رابطه (۷)}$$

• برای محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم تک‌پنجره علاوه بر دمای درخشندگی و شاخص انتشار و معادله پلانک، نیاز است میانگین دمای هوا نیز محاسبه شود. استفاده از میانگین دمای اتمسفر در این معادله نتایج بهتری را برای دمای سطح زمین به دست می‌آورد. دمای سطح زمین در الگوریتم تک‌پنجره بر اساس رابطه (۸) محاسبه می‌شود (Wang et al., 2019):

در این رابطه، wi معادل میزان بخار آب موجود در جو، T_0 دمای منطقه مورد مطالعه و RH میزان رطوبت موجود در جو می‌باشد. تابع محاسبه دمای سطح زمین در روش تک‌کانال مطابق رابطه (۱۳) می‌باشد (Wang et al 2019):

رابطه (۱۳)

$$T_s = \gamma \times \left[\frac{1}{\varepsilon} \times (\psi_1 \times L_{\text{sensor}} + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta$$

در این رابطه، γ مطابق رابطه (۱۴) و ضرایب ψ_1 و ψ_2 و ψ_3 مطابق روابط (۱۵)، (۱۶) و (۱۷) محاسبه می‌شوند:

رابطه (۱۴)

$$\gamma = C_2 \times L_{\text{sensor}} / T_{2\text{sensor}} \times \left(\frac{\lambda_4}{C_{1\text{sensor}}} + \lambda - 1 \right) - 1$$

رابطه (۱۵)

$$\psi_1 = 0.14714\omega^2 - 0.15583\omega - 1.1234$$

یافته‌ها و بحث

افزایش دمای زمین و دمای هوا به عنوان یکی از نگرانی‌های مهم محیط‌زیستی محسوب می‌شود و لازم است تغییرات دمای آن به صورت دقیق و مناسب برآورد گردد. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و الگوریتم‌های مختلف اقدام به برآورد دمای سطح زمین در منطقه دشت بجنورد در استان خراسان شمالی گردیده است. جدول‌های (۲ و ۳) نتایج به دست آمده از الگوریتم‌های مختلف را در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد.

$$RMSE = \sqrt{\sum (At - Ft)^2 / N}$$

رابطه (۲۰) (Zakizadeh & Talebi, 2016)

$$NS = 1 - \frac{\sum (At - Ft)^2}{\sum (At - \bar{T})^2}$$

• در این روابط، At دمای اندازه‌گیری شده در ایستگاه، Ft دمای محاسبه شده توسط مدل و \bar{T} میانگین دماهای ثبت شده در ایستگاه و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

جدول (۲): مقایسه دمای ایستگاه‌های بجنورد و اسدلی و دمای برآوردی نزدیکترین یاخته به ایستگاه (سلسیوس)

ایستگاه همدید بجنورد				عرض جغرافیایی ۳۷ درجه ۲۸ دقیقه	طول جغرافیایی ۵۷ درجه ۱۶ دقیقه
تابع پلانک	الگوریتم تک پنجره	الگوریتم تک کانال	دمای ایستگاه		
۳۸/۸	۴۴/۸	۳۷/۸۵	۳۰/۴	۱۴ خرداد	۱۳۷۹
۳۹/۹	۴۳/۴	۳۸/۸	۳۲/۴	۳۰ خرداد	
۱۹/۳۵	۲۱/۳۵	۱۷/۹۵	۲۰/۶	۱۸ مهر	
۲۰/۲۵	۲۳/۸۵	۱۹/۷۵	۲۲/۸	۴ آبان	
۱۱/۶۵	۱۲/۲۱	۷/۰۲	۱۱	۲۴ دی	
۳۹/۹	۴۳/۸	۳۸/۷	۳۳	۲۵ خرداد	۱۳۸۹
۲۶/۴۵	۳۱/۲۵	۲۵/۳۵	۲۵/۴	۱۳ مهر	
۲۶/۸۵	۳۰/۸۵	۲۴/۹۵	۲۴/۶	۲۹ مهر	
۹/۳۵	۱۰/۱۷	۹/۱۶	۱۲/۴	۱۶ آذر	
۴/۱۵	۳/۸۵	۲/۸۵	۱۰	۳ دی	
۴۰/۱۸	۴۲/۶۶	۳۹/۲	۳۵/۴	۳ تیر	۱۳۹۸
۳۳/۸۵	۳۵/۸۵	۲۹/۲۸	۳۴/۳	۶ مهر	
۲۵/۲۵	۲۷/۲۵	۲۱/۵۵	۲۱/۴	۲۲ مهر	
۱۶/۳۵	۱۷/۷۵	۱۲/۲۵	۱۳/۴	۱۰ آذر	
۴/۲	۶/۵۲	۴/۰	RMSE		
۳/۳	۴/۹	۳/۳	MAD		
۰/۷۵	۰/۳۷	۰/۷۹	NS		
ایستگاه اسدلی				عرض جغرافیایی ۳۷ درجه ۲۸ دقیقه	طول جغرافیایی ۵۷ درجه ۲۱ دقیقه
تابع پلانک	الگوریتم تک پنجره	الگوریتم تک کانال	دمای ایستگاه		
۳۱/۴۵	۳۵/۶۵	۳۰/۳۵	۲۴/۵	۱۴ خرداد	۱۳۷۹
۳۳	۳۵/۷	۳۲	۲۵/۵	۳۰ خرداد	
۲۰/۷۵	۲۲/۸۵	۱۹/۶۵	۱۵/۵	۱۸ مهر	
۱۹/۸۵	۲۲/۸۵	۱۹/۱۵	۱۹/۵	۴ آبان	
۹/۴۵	۹/۹۵	۶/۰۱	۷	۲۴ دی	

ادامه جدول (۲): مقایسه دمای ایستگاه‌های بجنورد و اسدلی و دمای برآوردی نزدیکترین یاخته به ایستگاه (سلسیوس)

ایستگاه اسدلی				عرض جغرافیایی ۳۷ درجه ۲۸ دقیقه	طول جغرافیایی ۵۷ درجه ۲۱ دقیقه
تابع پلانک	الگوریتم تک پنجره	الگوریتم تک کانال	دمای ایستگاه		
۳۲/۸	۳۵	۲۹/۲	۲۶	۲۵ خرداد	۱۳۸۹
۲۷/۷۵	۳۳/۰۵	۲۶/۶۵	۲۵	۱۳ مهر	
۲۱/۶۵	۲۴/۸۵	۲۰/۵۵	۱۹	۲۹ مهر	
۸/۸۵	۸/۹۵	۸/۱۵	۱۰	۱۶ آذر	
۷/۹۵	۸/۷۵	۶/۹۵	۶	۳ دی	
۳۷/۹۵	۴۰/۳	۳۴/۵	۲۸/۴	۳ تیر	۱۳۹۸
۲۹/۲۵	۳۲/۴۵	۲۸/۱۵	۲۴/۲	۶ مهر	
۱۹/۹۵	۲۲/۱۵	۱۸/۹۵	۱۵/۲	۲۲ مهر	
۱۱/۲۵	۱۱/۸۵	۷/۵۵	۸/۳	۱۰ آذر	
۵/۰	۷/۴	۳/۶		RMSE	
۴/۶۲	۷/۱	۳/۲		MAD	
۰/۵۶	۰/۰۵	۰/۷۷		NS	

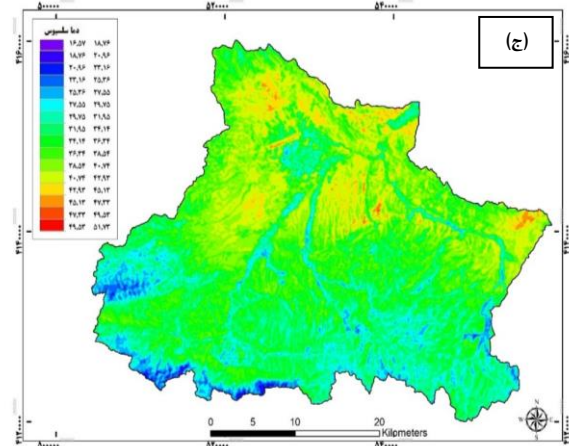
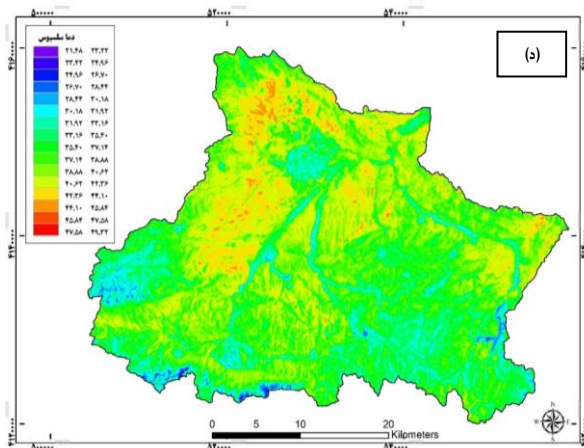
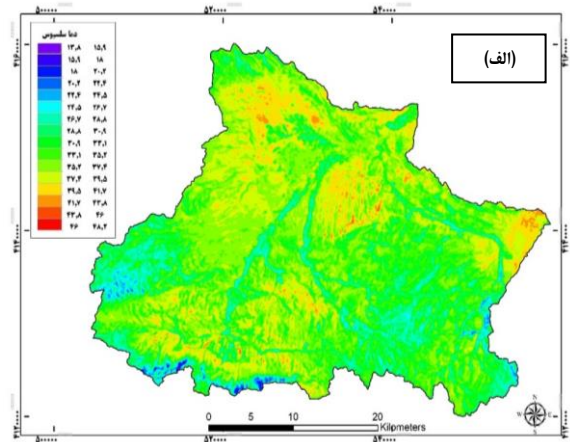
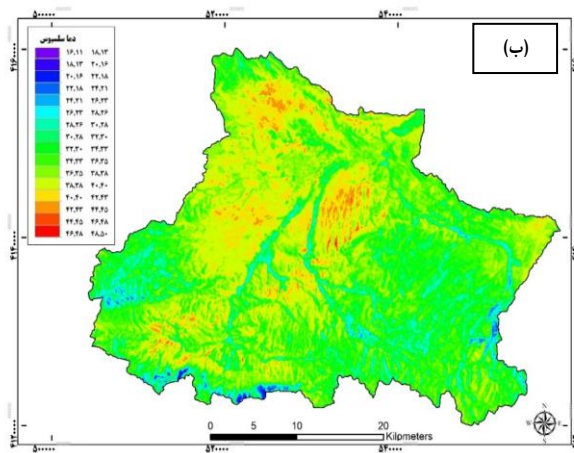
جدول (۳): مقایسه دمای ایستگاه گریوان و دمای برآوردی نزدیکترین یاخته به ایستگاه (سلسیوس)

ایستگاه گریوان				عرض جغرافیایی: ۳۷ درجه ۱۸ دقیقه	طول جغرافیایی: ۵۷ درجه ۱۴ دقیقه
تابع پلانک	الگوریتم تک پنجره	الگوریتم تک کانال	دمای ایستگاه		
۲۴/۸۵	۲۶/۸۵	۲۰/۱۵	۱۸	۲۲ مهر	۱۳۹۸
۱۵/۱۵	۱۶/۳۵	۱۱/۱۵	۱۴/۵	۱۰ آذر	
۶/۸۸	۹/۰۴	۳/۹۸		RMSE	
۳/۷۵	۵/۳۵	۲/۷۵		MAD	

باید یادآوری شود که ثبت دما در ایستگاه برای یک نقطه خاص صورت می‌گیرد، در حالی که نتایج ارائه شده در الگوریتم‌های مورد بررسی به صورت یاخته‌ای بوده و حالت پهنه‌ای دارند. در این بررسی تعداد ۴۲ نقشه دمای سطح زمین برای دشت بجنورد طی دوره مورد بررسی و در الگوریتم‌های مختلف به دست آمده است. در ادامه شکل‌های شماره (۲، ۳ و ۴) دمای محاسباتی سطح زمین را با استفاده از روش الگوریتم تک کانال به عنوان مناسب‌ترین روش برای محاسبه دمای سطح زمین در دشت بجنورد طی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد.

نقشه‌های شکل (۲) (الف-۲، ب-۲، ج-۲ و د-۲) به ترتیب دمای محاسباتی سطح زمین توسط روش الگوریتم تک کانال را در دشت بجنورد طی خرداد و تیر سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ نشان می‌دهد.

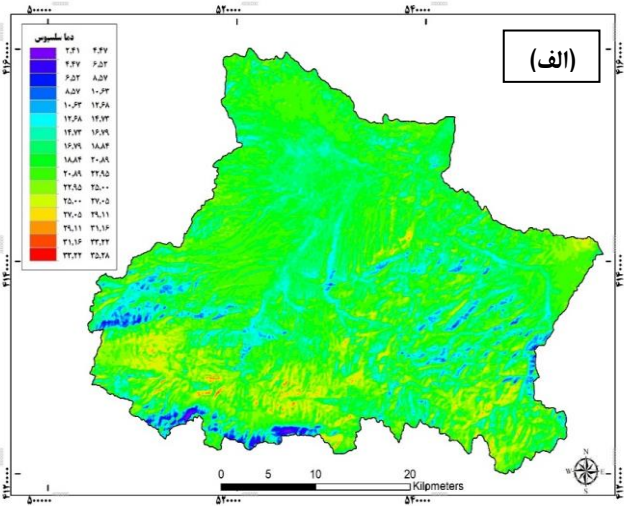
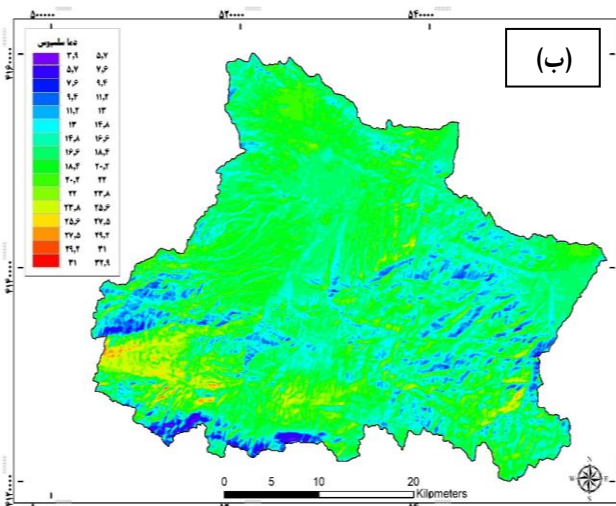
ایستگاه گریوان یک ایستگاه باران سنج از نوع دیتالوگر است که در سال ۱۳۹۷ تاسیس شده و در همه روزهای سال دارای اطلاعات نمی‌باشد. همچنین با توجه به تعداد کم روزهای دارای آمار امکان استفاده از روش NS برای این ایستگاه وجود ندارد. در بین الگوریتم‌های مختلف، کمترین مقدار خطا (RMSE) به میزان ۴، ۳/۶ و ۳/۹۸ درجه و (MAD) به میزان ۳/۳، ۳/۲ و ۲/۷۵ درجه در ایستگاه همدید بجنورد و ایستگاه‌های اسدلی و گریوان در الگوریتم تک کانال به دست آمده است. همچنین بر اساس ضریب NS الگوریتم تک کانال بهترین نتایج را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج با داده‌های دمای ایستگاه همدید بجنورد و ایستگاه‌های اسدلی و گریوان نشان می‌دهد که الگوریتم تک کانال در سه دوره مورد مطالعه کمترین فاصله را با داده‌های برداشت شده زمینی در ایستگاه‌های مذکور داشته است. این نکته

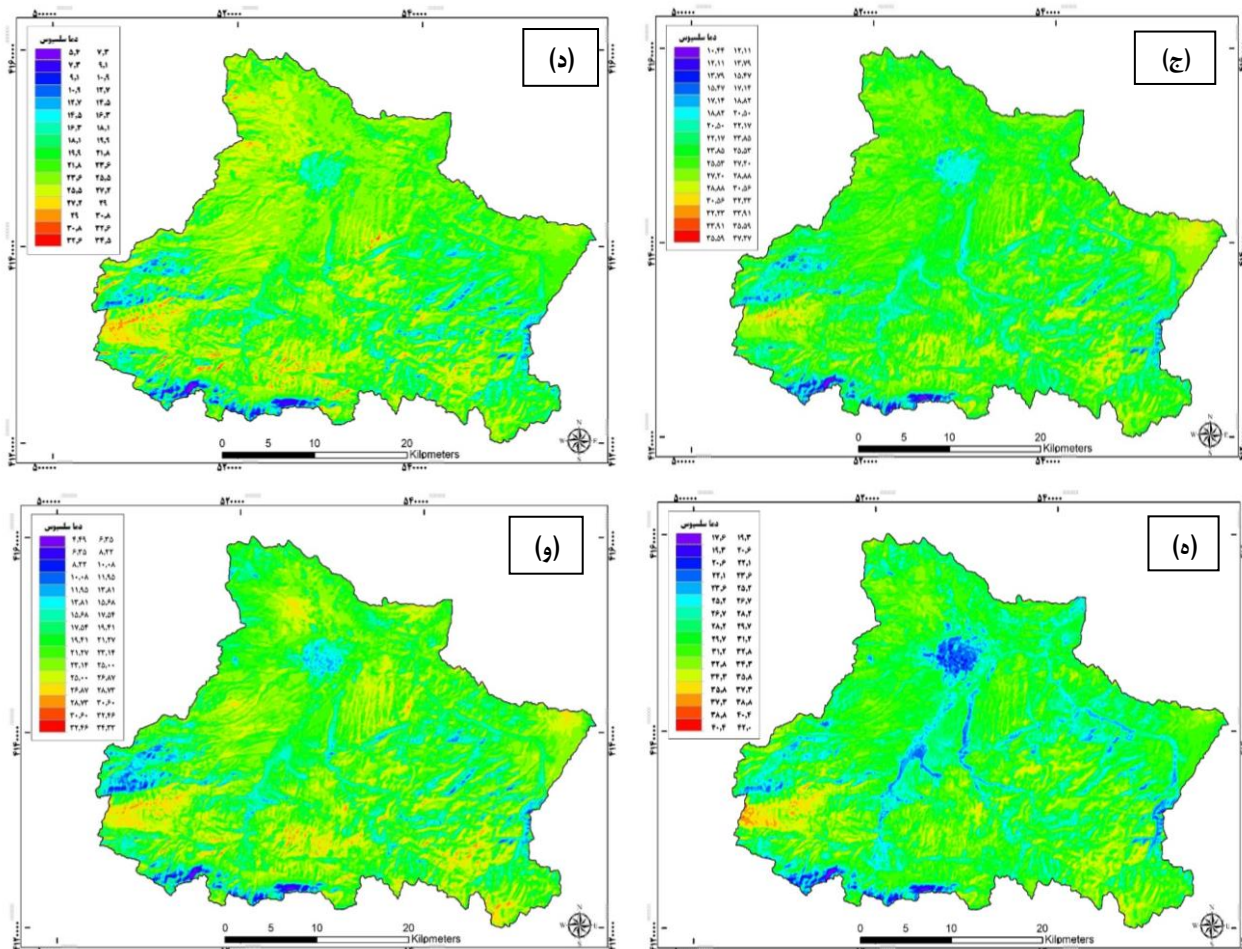


شکل (۲): دمای محاسباتی سطح زمین توسط الگوریتم تک کانال
 (الف) ۱۴ خرداد ۱۳۷۹، (ب) ۳۰ خرداد ۱۳۷۹، (ج) ۲۵ خرداد ۱۳۸۹، (د) ۳ تیر ۱۳۹۸.

تک کانال را در دشت بجنورد طی مهر و آبان سال های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ نشان می دهد.

نقشه های شکل (۳) (الف-۳، ب-۳، ج-۳، د-۳، ه-۳ و و-۳) به ترتیب دمای محاسباتی سطح زمین توسط روش الگوریتم



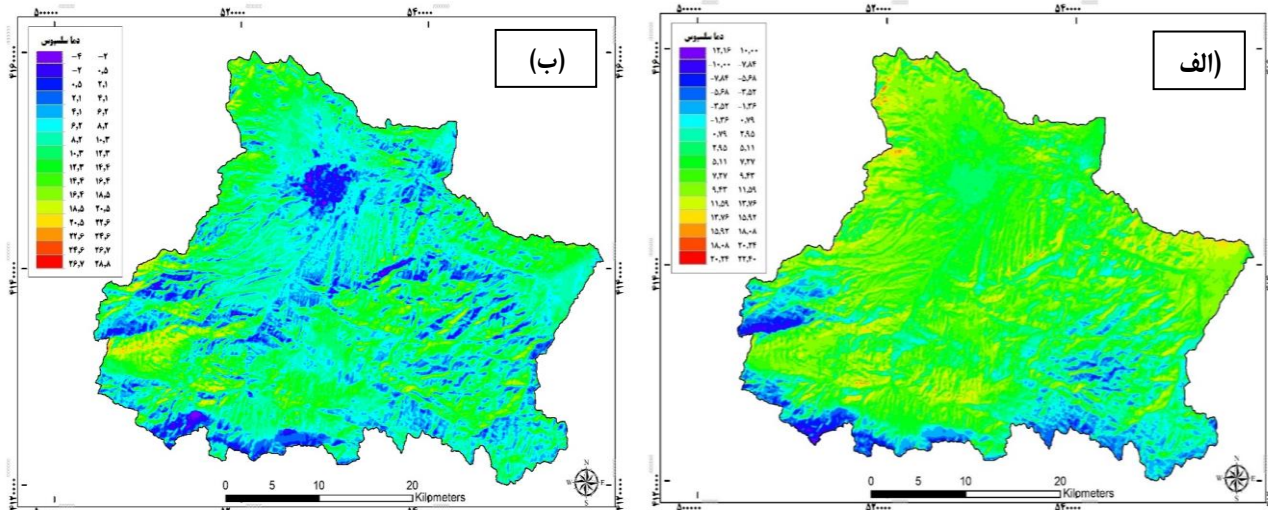


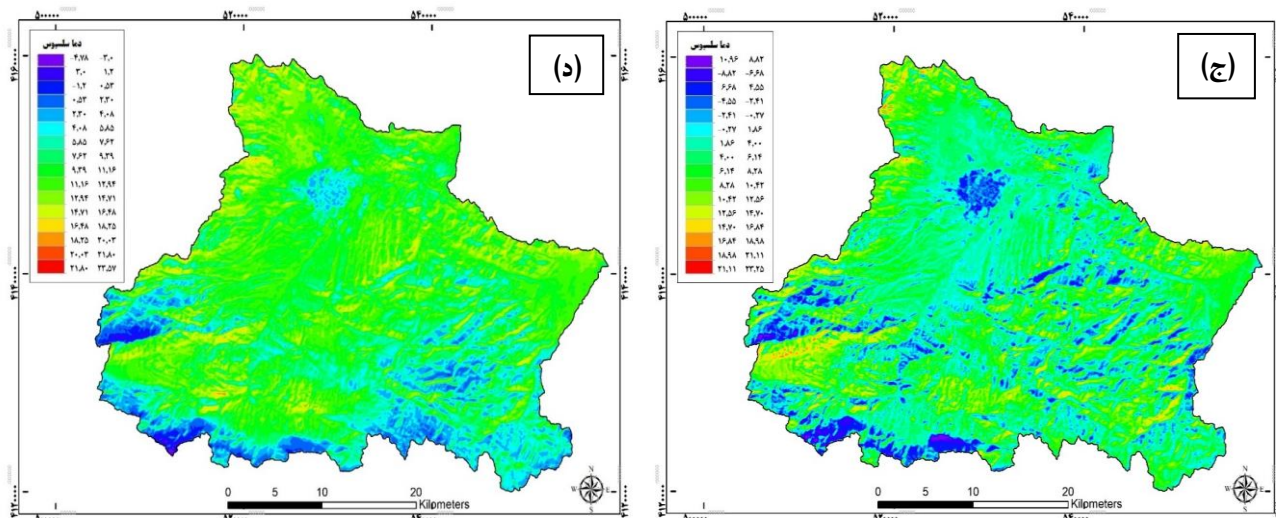
شکل (۳): دمای محاسباتی سطح زمین توسط الگوریتم تک کانال

الف) ۱۸ مهر ۱۳۷۹، ب) ۴ آبان ۱۳۷۹، ج) ۱۳ مهر ۱۳۸۹، د) ۲۹ مهر ۱۳۸۹، ه) ۶ مهر ۱۳۹۸، و) ۲۲ مهر ۱۳۹۸

دشت بجنورد طی ماه‌های آذر و دی سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و سال ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد.

نقشه‌های شکل (۴) (الف-۴، ب-۴، ج-۴ و د-۴) نیز به ترتیب دمای محاسباتی سطح زمین توسط الگوریتم تک کانال را در

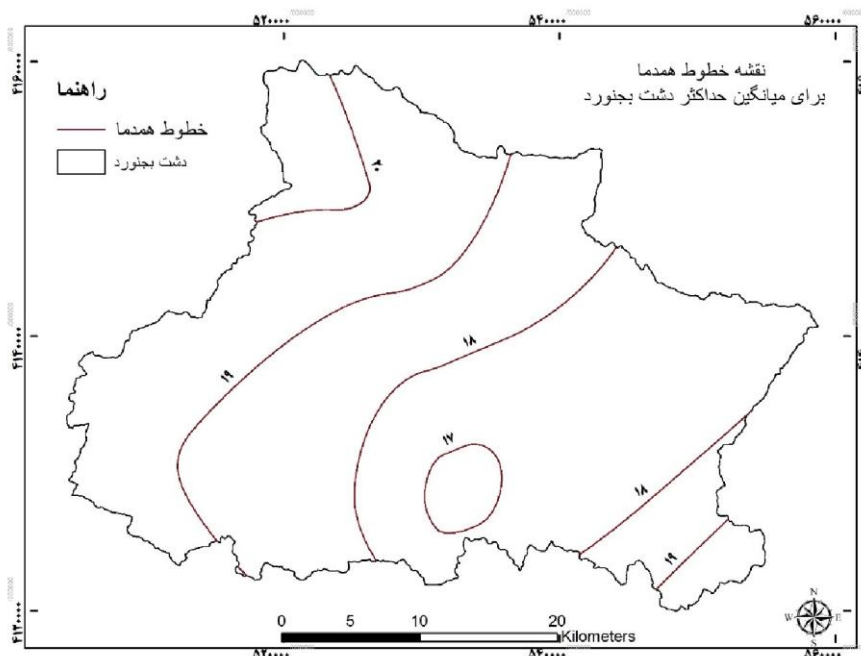




شکل (۴): دمای محاسباتی سطح زمین توسط الگوریتم تک کانال
 الف) ۲۴ دی ۱۳۷۹، ب) ۱۷ آذر ۱۳۸۹، ج) ۳ دی ۱۳۸۹، د) ۱۰ آذر ۱۳۹۸

نقشه نشان می دهد که کمترین دما در قسمت شرق و جنوب شرق دشت و بیشترین دما در قسمت جنوب غربی دشت و در اراضی بایر و دیم قرار دارد.

در ادامه نقشه خطوط همدمای برای میانگین حداکثر دشت بجنورد بر اساس داده های موجود در استان مطابق شکل (۵) تهیه شده است. این نقشه بر اساس ۲۰ نقطه در استان تهیه شده است این



شکل (۵): نقشه خطوط همدمای برای میانگین حداکثر دشت بجنورد

و لخت رخنمون داشته است. همچنین نتایج نشان می دهد که تغییرات دما در دشت بجنورد در فصول گرم تطابق بیشتری با

نتایج نشان می دهد که دمای سطح زمین تحت تاثیر کاربری اراضی مختلف تغییر پیدا می کند. و بالاترین دماها در اراضی بایر

پوشش مرتعی را در پی داشته و با توجه به تغییرات اقلیمی صورت گرفته از جمله افزایش دوره گرم سبب تغییرات زیاد دما در این مناطق شده است. با توجه به این که بیشترین دماها در فصل گرم در نواحی مجاور شهر و اراضی بایر متصل به شهر ثبت شده که به لحاظ مکانی در قسمت غرب و جنوب غرب شهر قرار گرفته‌اند این موضوع بر روی کیفیت هوای شهر به خصوص در فصول گرم با توجه به قرارگیری در مسیر جریان‌های باد شهر تاثیر به سزایی دارد. این مطالعه نشان می‌دهد اطلاع از وضعیت دمای سطح زمین و ارتباط آنها با کاربری‌های اراضی می‌تواند راهگشای تصمیم‌های مدیریتی برای حفاظت از منابع طبیعی و کشاورزی و سلامت شهروندان بوده و مدیران و برنامه‌ریزان شهری بجنورد بایستی در برنامه‌ریزی‌های آتی به نقش و اهمیت ایجاد فضاهای سبز شهری و گسترش آن در تعدیل درجه حرارت و افزایش کیفیت هوای شهر و جلوگیری از تخریب کاربری اراضی در قسمت غرب و جنوب غرب شهر توجه ویژه‌ای نمایند.

یادداشت‌ها

1. Land Surface Temperature
2. National Centers for Environmental Prediction
3. Planck function
4. Mono Window Algorithm
5. Single Channel Algorithm
6. United States Geological Survey
7. Brightness Temperature
8. Emissivity
9. Transmittance
10. Normalized difference vegetation index
11. Radiance
12. Reflectance

توپوگرافی منطقه داشته و موقعیت پهنه‌های با دمای بالا در دوره گرم حاکی از آن است که بیشترین دما در اراضی بایر و حاشیه شهر قرار دارد در حالی که انتظار می‌رفت پهنه‌های شهری حداکثر دما را داشته باشند این نتایج با نتایج مطالعات مختلف از جمله (Entezari et al., 2015 Akbari et al., 2015; Ebrahimi & Kiani Salmi, 2019; Shabani et al., 2019; 2019; Shojaei et al., 2019) که دمای سطح زمین را در سطح حوضه آبریز مورد بررسی قرار داده‌اند همخوانی دارد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که محاسبه دمای سطح زمین با الگوریتم‌های مورد استفاده طی دوره سرد سال همخوانی و تطابق بیشتری با داده‌های ایستگاه‌های زمینی دارد.

نتیجه‌گیری

طبق بررسی‌های صورت گرفته روند تغییر اقلیم ایستگاه سینوپتیک بجنورد حاکی از آن است که طول دوره گرم تا سال ۲۰۵۰ در ایستگاه طولانی‌تر خواهد شد و تعداد میانگین روزهای یخبندان در فصل بهار کاهش خواهد یافت که این خود افزایش دما در فصل بهار و طولانی‌تر شدن فصل گرم را در پی داشته و همچنین تعداد روزهای داغ ایستگاه (روز داغ روزی است که دما بالای ۳۰ درجه است) در فصل تابستان نسبت به دوره پایه افزایش را نشان می‌دهد (Fallah Ghalhari et al., 2019). این موضوع در ارتباط با حدود ۳ هزار هکتار اراضی بایر در محدوده دشت که بیشتر در مجاورت شهر بجنورد قرار گرفته و با توجه به تغییرات در تقسیمات سیاسی استان ارزش پیدا کرده است مرتبط می‌باشد چرا که افزایش قیمت اراضی سبب شده مالکان به منظور حفظ مالکیت، هر ساله اقدام به شخم و کاشت گیاهان زراعی به صورت دیم نمایند که از یک سو تخریب

فهرست منابع

- Abdul Athick, M.; Shankar, K. & Raja Naqvi, H. 2019. Data on time series analysis of land surface temperature variation in response to vegetation indices in twelve Wereda of Ethiopia using mono window. split window algorithm and spectral radiance model. Data in brief 27 (2019) 1047732.
- Adli Atiq, R. 2018. Evaluation of three LST extraction methods using thermal remote sensing data. Master Thesis. kharazmi University. (In Persian).
- Akbari, E.; Ebrahimi, M.; Fiezizadeh, B. & Nezhadsaleimani, H. 2015. Evaluating Land Surface Temperature related to the Land use Change Detection by Satellite Image (Case study: Taleghan Basin). Journal of Geography and Environmental Planning. Volume: 26. 151 – 170 (In Persian).
- Arvin, A. 2019. Land Surface Temperature Detection Using of Satellite Images. Journal of Natural Environmental Hazards. Volume 8, Issue 19. 91-102 (In Persian).

- Darka, B. 2017. Investigating the performance of three methods of determining the land level for urban areas. Master Thesis. Kharazmi University. (In Persian).
- Darvishi, SH.; Rashidpour, M. & Soleimani, K. 2019. Analysis of Land Use Role in the Formation of Thermal Islets of Marivan County Using Landsat Satellite Images. *Geography and Development Iranian Journal*. Volume 17. Issue 54. 143-162 (In Persian).
- Duana, Si-Bo.; Zhao-Liang, Lia.; Chenguang, Wangc.; Shuting, Zhanga.; Bo-Hui, Tang.; Pei, Lenga. & Mao-Fang Gaoa. 2018. Land-surface temperature retrieval from Landsat 8 single-channel thermal infrared data in combination with NCEP reanalysis data and ASTER GED product. *International Journal of Remote Sensing*. 2018.
- Ebrahimi Heravi, B.; Rangzan, K.; Riahi Bakhtiari H. R. & Taghi Zadeh A. 2016. Introducing the Most Appropriate Method to Extract Land Surface Temperature Using Landsat 8 Satellite Images in Karaj Metropolitan. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, Volume: 8 Issue: 3. 59 - 76 (In Persian).
- Ebrahimi, A. & Kiani Salmi, E. 2019. Assessing the impact of urban expansion and land cover changes on land surface temperature in Shahrekord city. *Journal of Rs and Gis for natural Resources*, Volume: 9 Issue: 4. 102 - 118 (In Persian).
- Entezari, A.; Amir Ahmadi, A.; Aliabadi, K.; Khosravian, M. & Ebrahimi, M. 2016. Monitoring Land Surface Temperature and Evaluating Change Detection Land Use (Case Study: Parishan Lake Basin). *Journal of Hydrogeomorphology*. Volume: 8. 113-139 (In Persian).
- Fallah Ghalhari, G.A.; Yousefi, H.; Hosseinzadeh, A.; Alimardani, M. & Reyhani, E. 2019. Assessment of Climate Change in Bojnourd Station in 2016-2050 using Downscaling Models LARS WG and SDSM. *ECOHYDROLOGY*. Volume 6, Issue 1. 99-109 (In Persian).
- <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Jamali, Z.; Ownegh, M. & Salman Mahini, A. R. 2019. Investigation the relationship between surface temperature and land use and Normalized Difference Vegetation Index in Gorgan plain. *The Journal of Spatial Planning*. 23.175-194 (In Persian).
- Jouybari, Y.; Akhoondzadeh, M. & Saradjian, M. R. 2015. A Split-Window Algorithm for Estimating LST from Landsat-8 Satellite Images. *Journal of Geomatics Science and Technology*. Volume 5 (1). 215-226 (In Persian).
- Kalanki, M. & Karandish, F. 2015. Predicting the Long-term Effect of Climate Change on Climatic Variables in Humid Region. *Journal of Irrigation and Water Engineering* Volume 5, Issue 4. 131-149 (In Persian).
- Lemus-Canovas, M.; Javier Martin-Vide, M.; Carmen Moreno-Garcia Joan, A. & Lopez-Bustins. 2020. Estimating Barcelona's metropolitan daytime hot and cold poles using Landsat-8 Land Surface Temperature. *Science of the Total Environment*. 2020.
- Mijani, N.; Hamzeh, S. & Karimi Firozjaei, M. 2019. Quantifying the effect of surface parameters and climatic conditions on land surface temperature using reflective and thermal remote sensing data. *RS & GIS for Natural Resources*. Vol 10. Issue 1. (In Persian).
- Mirzapour, S. 2016. Assessment of ground surface temperature from Landsat 8 TIRS sensor data using separate window algorithm and luminosity temperature correction (Case study in Tabriz). Master Thesis of Urmia University. (In Persian).
- Navare, A. 2015. An Analysis on International Society Practice Toward the Climate Change. *Journal Environmental Researches*. Volume 5, Issue 9. 47-58. (In Persian).
- Ndossi, M. & Avdan, U. 2016. Application of Open Source Coding Technologies in the Production of Land Surface Temperature (LST) Maps from Landsat: A PyQGIS Plugin. *Remote Sensing*. 2016. 8. 413
- North Khorasan Meteorological Department. 2018. (In Persian).

- Nurwanda, A. & Honjo, T. 2020. The prediction of city expansion and land surface temperature in Bogor City. Indonesia. *Sustainable Cities and Society*. Volume 52. January 2020.
- Rongali, G.; Ashok Kumar, K.; Ashvani Kumar, G. & Rakesh, K. 2018. A Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Estimation from Landsat 8 Thermal Infrared Sensor Data: A Case Study of the Beas River Basin. India. *Pertanika J. Sci. & Technol.* 26 (2): 829 – 840.
- Salmani, H.; Bahremand, A.; Saber Chenari, K. & Rostami Khalaj, M. 2015. Evaluation of the Efficiency of AWBM, Sacramento and Tank Rainfall Runoff Model in Runoff Simulation in Arazkoose - Goorganrood Basin, Golestan porovince. Volume 1, Issue 3. 207-221(In Persian).
- Sekertekin, A. & Bonafoni, S. 2020. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5. 7. and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation. *Remote Sens.* 2020. 12. 294.
- Shabani, M.; Darvishan, SH. & Solaimani, K. 2019. Investigating the Effects of Land Use Change on Spatiotemporal Patterns of Land Surface Temperature and Thermal Islands (Case Study: Saqqez County). *Journal of Geography and Environmental Planning*, Vol 30, No. 1. (In Persian).
- Shojaei, M.; Shayesteh, K. & Attaeian, B. 2019. The Effect of Landscape Pattern on Urban Temperature Changes in Hamadan. *Journal Geography and Sustainability of Environment*. Volume 9, Issue 3.99-114 (In Persian).
- Tariq, A.; Riaz, I.; Ahma, Z.; Yang, B.; Amin, M.; Kausar, R.; Andleeb, S.; Aslam Farooqi, M. & Rafiq, M. 2020. Land surface temperature relation with normalized satellite indices for the estimation of spatio-temporal trends in temperature among various land use land cover classes of an arid Potohar region using Landsat data. *Environmental Earth Sciences*.
- Valizadeh Kamra, Kh.; Gholamnia, Kh.; Eynali, G. & Moosavi , M. 2017. Estimation land surface temperature and extract heat islands using split window algorithm and multivariate regression analysis (Case Study of Zanjan). Volume 8, Issue 30. 35-50 (In Persian).
- Wang, M.; Zhang, Z.; Hu, T. & Liu, X. 2019. A practical single-channel algorithm for land surface temperature retrieval: Application to Landsat series data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 124. 299–316.
- Wang, F.; Zhihao, Qin.; Caiying, Song.; Lili, Tu.; Arnon, Karnieli. & Shuhe, Zhao. 2015. An Improved Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 Thermal Infrared Sensor Data. *Remote Sens.* 2015. 7. 4268-42
- Zakizadeh, F. & Talebi, A. 2016. Investigation of the Efficiency of Different Methods for Parameters Estimation of Nash's instantaneous unit Hydrograph in Simulating Flood Hydrograph (Case Study: Manshad Watershed). *Journal of Watershed Management Research* Vol. 7. No. 14. (In Persian).