



بررسی قابلیت شاخص‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای در طبقه‌بندی اقلیمی به

روش دومارتن

آسیه طیبی، محمد حسین مختاری

دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۳ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۵ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸

چکیده

شناخت ویژگی‌های طبیعی هر منطقه به خصوص شناسایی طبقه‌بندی اقلیمی، در امر برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بهینه از منابع نقش مهمی دارد و تغییرات در آن منجر به افزایش یا کاهش وسعت اقلیمی می‌شود. در تعیین اقلیم می‌توان از داده‌هایی مانند دما و بارش برای ناحیه اقلیم‌ها استفاده کرد؛ اما به دلیل اینکه برخی مناطق، فاقد ایستگاه سینوپتیک زمینی هستند و همچنین به علت بعد مسافت و هزینه، اقدام به استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌شود که در هر زمان، مکان و بدون هزینه دریافت خواهند شد. هدف از این پژوهش بررسی طبقه‌بندی اقلیمی ایران با داده‌های ماهواره‌ای است که در تطابق با اقلیم نمای دومارتن و در طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ بررسی شد.

در این بررسی از دو محصول ماهواره‌ای سنجنده مودیس شامل تصاویر شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهی و دمای سطح زمین و از تصاویر بارش جهانی حاصل از الگوریتم IMERG استفاده شده است. از ترکیب دو شاخص ذکر شده، شاخص دما- پوشش گیاهی محاسبه شد. پارامترهای مورداستفاده در اقلیم نمای دومارتن شامل متوسط دما و بارش سالانه است که با توجه به ارتباط نزدیکی که با داده‌های ماهواره‌ای مورداستفاده نشان دادند، به عنوان ورودی‌های دومارتن ماهواره‌ای به کار گرفته شدند. در بررسی همبستگی پیرسون میان متوسط پارامترها، مقادیر بارش ایستگاهی با داده‌های ماهواره‌ای و دمای ایستگاهی با دمای سطحی به ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۸۹ قرار داشتند. نقشه پهنه‌بندی حاصل از داده‌های زمینی نیز در مقایسه با داده‌های ماهواره‌ای حداکثر کاپا = ۰/۹۰ را نشان داد؛ که بیشترین سطح اقلیمی در هر دو طبقه‌بندی متعلق به اقلیم خشک در حدود ۷۰٪ و کمترین سطح، اقلیم مدیترانه‌ای با کمتر از ۵٪ است.

پیشینه و هدف

داده‌های اقلیمی حاصل از ایستگاه‌های سینوپتیک، براحتی قابل تعمیم به مناطق فاقد ایستگاه نیستند. به همین جهت معمولاً از داده‌های ماهواره‌ای و با استفاده از ارزش پیکسلی این داده‌ها تخمین زده می‌شوند. به همین منظور برای مدل‌سازی تحقیق از داده‌های ماهواره‌ای

آسیه طیبی^۱، محمد حسین مختاری^۲ (✉)

۱. کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم

انسانی، دانشگاه یزد

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، گروه مدیریت مناطق خشک و

بیابانی، دانشگاه یزد

DOI: 10.30495/girs.2022.693373

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: mh.mokhtari@yazd.ac.ir

۱۲/۳۸ درجه سانتی‌گراد است؛ و متوسط Ts هم با دمای ۳۲/۹۱ درجه سانتی‌گراد، در محدوده مناطق کویری ایران مستقر هستند. بررسی انجام شده بر طبق داده‌های IMERG نشان داد که ایران در طی دوره مورد مطالعه، متوسط بارش ۳۳۰/۰۹ میلی‌متر را تجربه کرده است. بیشترین بارندگی آن در نقاط محدودی از شمال در محدوده استان‌های مازندران و اردبیل، در غرب و استان‌های هم‌جوار آن و در جنوب و حداقل بارندگی در مناطق کویری رخ داده است؛ متوسط بارندگی فصلی در زمستان ۱۲۸/۳۸ میلی‌متر و در تابستان ۵/۵۳ میلی‌متر برآورد شد. کمترین بارندگی‌ها در هر دو فصل مربوط به مناطق کویری ایران بوده است.

برای بررسی ارتباط میان پارامترهای اقلیمی هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای از ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تشخیص R^2 استفاده شد؛ برای این مقایسه، تمامی پارامترهای اقلیمی هواشناسی به‌عنوان متغیر مستقل و شاخص‌های ماهواره‌ای به‌عنوان متغیر وابسته تعریف شدند. همچنین همبستگی بین متوسط داده‌های زمینی و داده‌های IMERG برابر با ۰/۵۲ بدست آمد. بعلاوه در بررسی دمای هوا با Ts، همبستگی قوی ۰/۸۹ بدست آمد.

در ابتدا ۱۴۳ ایستگاه سینوپتیک به روش دومارتن ناحیه بندی شد. با توجه به شکل ۹ الف) و جدول ۹، از ۶ گروه اقلیمی دومارتن در دوره مورد مطالعه، ۳ گروه اقلیمی تشخیص داده شد. دو ناحیه خشک و نیمه‌خشک به ترتیب با ۷۰/۶۲٪ و ۲۷/۰۳٪ بیشترین وسعت اقلیمی را دارند و کمترین ناحیه اقلیمی متعلق به مدیترانه‌ای با ۲/۳۴٪ است. اقلیم خشک اغلب در مناطقی قرار دارد که متوسط بارش و دما، به ترتیب کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر و بیشتر از ۱۸ درجه سانتی‌گراد باشد.

با توجه به ارزیابی دو گروه طبقه‌بندی اقلیمی موجود در جدول ۱۰، مقایسه نتایج برآورد شده از روش طبقه‌بندی دومارتن با استفاده از داده‌های هواشناسی با نتایج داده‌های ماهواره‌ای ضریب کاپا ۰/۹۰ و صحت ۹۳/۷۶ را نشان داده است؛ به این صورت که در هر دو طبقه‌بندی، مناطق کویری ایران تحت تأثیر اقلیم خشک و مناطق مستقر بر روی ارتفاعات زاگرس، تحت تأثیر اقلیم نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای قرار داشتند. همچنین اقلیم مدیترانه‌ای در پهنه‌بندی هواشناسی به میزان ۱/۸۷٪ سطح کمتری را نسبت به دیگر پهنه‌بندی به خود گرفته است.

استفاده‌شده است که هدف از آن ایجاد طبقه‌بندی اقلیمی در تطابق با اقلیم نمای دومارتن حاصل از داده‌های ایستگاه سینوپتیک است و به‌منظور تطابق نتایج، از مقیاس زمانی کوتاه‌مدت ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ (آوریل ۲۰۱۶ تا مارس ۲۰۱۹) استفاده شده است.

روش تحقیق

با توجه به اهدافی که پژوهش برای بررسی اقلیم ایران در نظر دارد، دو پارامتر اقلیمی یعنی داده‌های متوسط دمایی و مجموع بارش در مقیاس ماهانه از سازمان هواشناسی دریافت شده است. داده‌ها بعد از دریافت از سازمان ذکرشده، متوسط دما و بارش سالانه آن‌ها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۰ (Excel 2010) استخراج شد. برای انجام این پژوهش از محصولات Ts (MOD11A2)، NDVI (MOD13A3) از سنجنده Terra / MODIS و تصاویر روزانه بارش از داده‌های IMERG استفاده شده است. برای محاسبه شاخص رطوبتی TVDI، شاخص‌های Ts و NDVI را در نمودار پراکنندگی ترکیب کرده و شاخص موردنظر را محاسبه می‌شود. به دلیل پوشش دهی ۳۵ کیلومتری ایستگاه‌های سینوپتیک، این فاصله بر روی تصاویر اعمال شده است که این فاصله بیشترین همبستگی را با داده‌های هواشناسی ارائه داده است؛ اقلیم نمای دومارتن، به‌عنوان روش اقلیمی پژوهش انتخاب شده که فقط دو پارامتر متوسط دما و بارش را به کار گرفته است. برای پهنه‌بندی داده‌ها از روش‌های درونیابی و برای ارزیابی نتایج داده‌های ماهواره‌ای با نتایج حاصل از آمار و اطلاعات هواشناسی، از ضریب همبستگی پیرسون (r_p)، ضریب تعیین (R^2) و ضریب کاپا استفاده شده است.

نتایج و بحث

برای بررسی و پهنه‌بندی داده‌ها، از نرم‌افزار الویس ۳.۳ و روش‌های درونیابی استفاده شده است. از بین روش‌های انجام‌شده، روش کوکریجینگ در مقایسه با روش‌های دیگر روش مناسبی برای میانبازی داده‌های بارندگی سالانه تشخیص داده شد. بقیه داده‌های در بازه‌های زمانی مختلف با توجه به خطای بدست آمده به روش کریجینگ پهنه بندی شدند. در این تحقیق مشاهده شد دمای سالانه کشور از ۱۳ فروردین ۱۳۹۵ تا ۱۱ فروردین ۱۳۹۸ به‌طور متوسط ۱۸/۱۶ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه، ۲۲۲/۹۷ میلی‌متر است. به‌علاوه اغلب ارتفاعات بالاتر از ۱۵۰۰ متر در نیمه شمالی تا دامنه‌های زاگرس، کمترین دمای سطحی را دارند و مقدار آن به میزان

نتیجه گیری

داده‌های اقلیمی از ایستگاه‌های سینوپتیک، براحتی قابل تعمیم به مناطق فاقد ایستگاه نیستند که بتوان از طریق درون‌یابی مقدار آنها را برای نقاط فاقد ایستگاه محاسبه کرد. به همین دلیل با استفاده از ارزش پیکسلی شاخص‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین پارامترهای مورد نیاز اقدام شد. اگرچه تابه‌حال با داده‌های ماهواره‌ای اقدام به طبقه‌بندی اقلیمی دوما رتن نشده است، نتایج این تحقیق از جهاتی با نتایج پژوهش‌های ذکر شده زمانی که داده‌های زمینی استفاده شده است مشابه است برای مثال حداکثر وسعت اقلیمی سطح ایران را به اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک و درصد محدودی به دیگر اقلیم‌ها اختصاص داده‌اند. در پژوهش مغاری و تانگ (۱۱)، اقلیم اکثر مناطق ایران خشک و نیمه‌خشک و از خشک تا بسیار مرطوب متغیر است. در پژوهش مختاری و همکاران (۲۱)، اقلیم یزد بر اساس روش دوما رتن خشک و یا نیمه‌خشک است. پیری و همکاران (۲۴)، بخش وسیعی از مناطق مرکزی ایران، آب و هوای خشک و نیمه‌خشک دارد و عواملی مانند دور بودن از منابع رطوبتی و قرار گرفتن در عرض‌های جغرافیایی با فشار بالا،

بیشترین تأثیر را در آن داشته است. غلامی و همکاران (۹)، اقلیم ایستگاه هواشناسی منجیل در استان گیلان را بررسی کرده و بر اساس روش دوما رتن تغییرات اقلیمی آن را از نیمه‌خشک تا خشک معرفی کرده‌اند. امامیان و همکاران (۸)، اقلیم استان خراسان رضوی را بنا بر روش دوما رتن از خشک تا نیمه‌خشک معرفی کرده است. محدودیت‌های این پژوهش که در صحت نتایج پژوهش تأثیرگذار بوده‌اند شامل: حضور ابر و عدم داده‌های در قالب ارزش پیکسلی تصاویر؛ که موجب شد از ارزش ۳۵ کیلومتری اطراف نقاط ایستگاهی استفاده شود. همچنین حجم و تعداد زیاد داده‌ها که نیاز به فرآیند پیش‌پردازش داده‌ها را افزایش داده بود. با توجه به توپوگرافی منطقه ایران و تنوع اقلیمی حاکم بر آن، به‌منظور تعیین مرز واقعی اقلیم‌ها و تغییرات اقلیم می‌توان از ریزمقیاس سازی برای تغییر اندازه پیکسل تصاویر IMERG از ۱۰ به ۱ کیلومتر در تحقیقات آینده استفاده کرد.

کلمات کلیدی: اقلیم، مودیس، بارش، دوما رتن.

مقدمه

طبقه‌بندی اقلیمی به گروه‌بندی شرایط آب‌وهوایی مشابه برای درک شرایط هواشناسی اشاره دارد و می‌تواند تغییرات آب و هوایی را برای انواع مشخص آب‌وهوا نشان دهد. شناخت نواحی اقلیمی و تفکیک نواحی، منجر به ابداع روش‌های متنوع طبقه‌بندی اقلیمی مانند سلینینوف، کوپن، دومارتن، آمبروزه و غیره شده است. طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، یک سیستم آب‌وهوایی است که بر اساس دو متغیر بارش و دما، بیشترین استفاده را در مطالعات اقلیمی دارد. داده‌های اقلیمی علاوه بر در دسترس بودن، با صرف هزینه و زمان همراه هستند. همچنین با توجه به تغییرات اقلیمی که به‌طور پی‌درپی رخ می‌دهد، ارزیابی این تغییرات برای یک‌بار کافی و منطقی نخواهد بود و باید روش مناسبی به کار گرفت که قادر به رفع محدودیت‌های ذکر شده باشد؛ سنجش‌ازدور، علم شناسایی اجسام بدون تماس مستقیم با اشیا است. این فن از تابش ساطع شده و منعکس شده از هدف استفاده می‌کند که با حسگرهای موجود در هواپیماها، ماهواره‌ها و هواپیماهای بدون سرنشین یا از سیستم‌های زمینی دریافت می‌شود. تصاویر سنجش‌ازدور را می‌توان برای بررسی تغییرات سطح زمین مثل توپوگرافی، کاهش اثر سایه‌ها، خشک‌سالی و غیره استفاده نمود که با عملیات ریاضی روی باندهای سنجنده‌ها قابل برآورد است. از میان تصاویر متنوع سنجش‌ازدوری، تصاویر حاصل از سنجنده مودیس^۱ را می‌توان نام برد که شاخص‌های طیفی دمای سطح زمین (Ts)^۲ و پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)^۳ را ارائه می‌دهد. این دو شاخص در نموداری نقطه‌ای منجر به تشکیل رطوبت خاک می‌شوند و میزان رطوبت سطحی خاک را بیان می‌کنند. داده‌های بارش حاصل از الگوریتم IMERG توسط ناسا از ماهواره‌ای زمین‌ایستا (GEO)^۴ برای مشاهده بارندگی جهانی فراهم شده است و به‌طور دقیق‌تر و با دفعات بیشتری برداشت می‌شود (۱۴). در

زیر به برخی از تحقیقات گوناگون در زمینه روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی با استفاده از داده‌های کمی ماهواره‌ای اشاره می‌شود.

دای و وانگ (۷)، طبقه‌بندی جدیدی از رژیم‌های اقلیمی در اطراف فلات تبت را مطالعه کردند و مطالعه آن‌ها بر اساس الگوهای گردش فصلی بارش و رطوبت و در طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ به انجام رسید. نتایج نشان داد که آب‌وهوا را می‌توان به چهار رژیم اطراف تبت نسبت داد؛ که تجمع رطوبت مرتبط با منطقه موسمی آسیا و پراکندگی رطوبت نسبت به آب‌وهوای خشک شبه‌مدیترانه ظاهر می‌شود و فصل مرطوب و خشک تا حد زیادی تحت تأثیر انتقال رطوبت هستند. چاپمن و همکاران (۳)، یک بررسی منظم از مقالات علمی تحت عنوان تأثیر شهرنشینی و تغییرات آب‌وهوا را بر دمای شهر و در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ مطالعه کردند. نتایج آن‌ها تأثیر رشد شهری بر دمای محلی را در برخی مناطق افزایشی نشان داد و اثر تغییرات آب‌وهوا بر جزیره گرمایش شهری در برخی مناطق افزایشی و در برخی کاهش‌ی بوده است. مزیدی و همکاران (۱۸)، با استفاده از روش‌های منحنی آمبروترمیک، ضریب خشکی دومارتن و اقلیم نمای آمبروزه به بررسی اقلیم استان کرمان پرداختند. پارامترهای مورد استفاده آن‌ها بارش سالانه و ماهانه، متوسط، حداقل و حداکثر دما بوده است. با در نظر گرفتن الگوی زمانی آن‌ها در سال ۱۳۸۸، نتایج حاکی از خشکی اکثر ماه‌های سال با روش آمبروترمیک و خشکی منطقه با روش دومارتن است و اقلیم نمای آمبروزه منطقه را خشک سرد معرفی کرده است. شی و ژانگ (۲۶)، بازیابی دمای سطح شهری در منطقه گرم و مرطوب گوانژو چین را مبتنی بر الگوریتم پنجره مجزا مطالعه کردند و تصاویر مودیس، استر و لندست را به کار گرفتند. نتایج مطالعه در یک روز آفتابی نشان داد که روش‌های بازیابی قادر به تشخیص تغییرات دمای سطح برای سطوح مختلف شهری در مناطق مرطوب هستند و خطای حاصل‌شده از روش‌ها، حدود ۱ درجه سانتی‌گراد است. با استفاده از روش‌های بازیابی مشخص شد که اثرات خنک‌کننده آب و پوشش گیاهی در زمین‌های

¹ the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

² Land Surface Temperature

³ The Normalized Difference Vegetation Index

⁴ Geostationary Equatorial Orbit

با استفاده از حد آستانه و متوسط بارندگی سالانه هشدارهای لحظه‌ای را در مقیاس شدید بارندگی می‌تواند ارائه دهد. در این تحقیق، برای مدل‌سازی تحقیق از داده‌های ماهواره-ای استفاده شده است که هدف از آن ایجاد طبقه‌بندی اقلیمی در تطابق با اقلیم نمای دوماترن حاصل از داده‌های ایستگاه سینوپتیک است. در تحقیقات قبلی به بررسی ارتباط داده‌های سینوپتیک با داده‌های ماهواره‌ای پرداخته شده است و هدف از این پژوهش علاوه بر تعیین همبستگی میان دودسته داده با استفاده از پارامترهای دما و بارندگی، نقش رطوبت هم ذکر شده است که در آینده پژوهشی بتوان در صورت نبود بعضی ایستگاه‌های زمینی و یا بدون نیاز به آن‌ها اقلیم منطقه را مشخص کرد؛ و همچنین تابه‌حال هیچ بررسی علمی برای بررسی و ایجاد رابطه میان طبقه‌بندی دوماترن در تطابق با داده‌های ماهواره‌ای صورت نگرفته است.

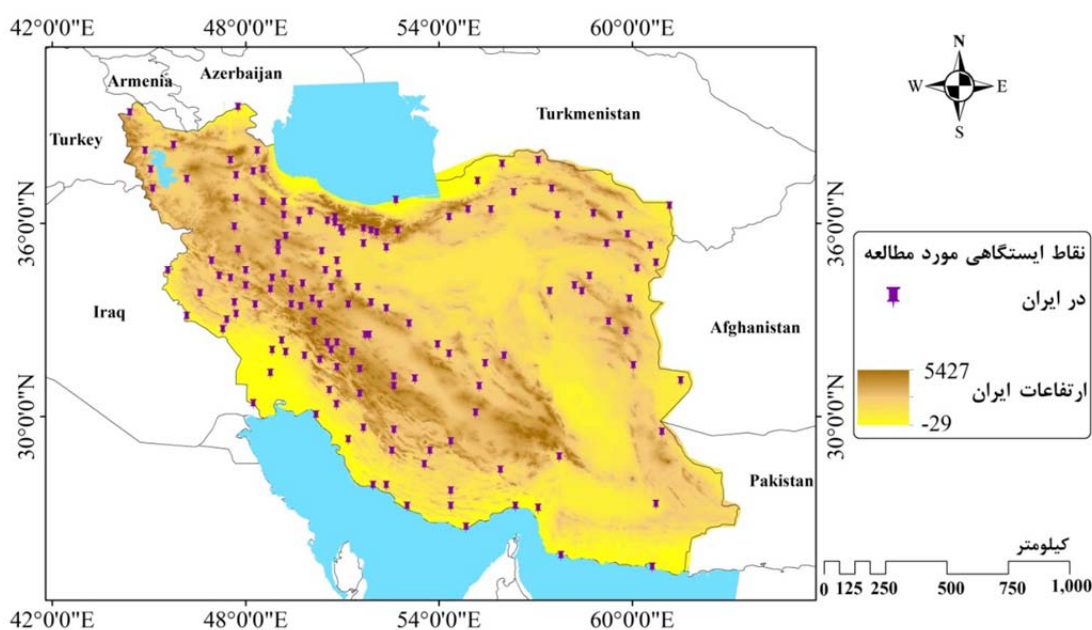
روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

ایران با وسعت ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومترمربع (۱۱)، بین عرض‌های جغرافیایی ۰۳° ۲۵ تا ۴۷° ۳۹ شمالی و طول جغرافیایی ۰۵° ۴۴ تا ۱۸° ۶۳ شرقی قرار دارد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه دارای تغییرات توپوگرافی شدید است، به طوری که از مناطق پست در سواحل دریای خزر، دریای عمان و خلیج فارس تا ارتفاعات البرز و زاگرس را در برمی‌گیرد. موقعیت جغرافیایی منحصربه‌فرد، وسعت زیاد و همچنین تغییرات ارتفاعی زیاد منجر به ایجاد آب‌وهوای بسیار متنوع شده است (۲۸). انتخاب منطقه ایران به جهت وسعت بالا و تنوع اقلیمی است که بتوان نتایج را با وسعت بالا موردسنجش قرار داد.

اطراف شهر در فاصله ۲۵۰ و ۳۵۰ متری مؤثر بوده است. همچنین Ts با تراکم تاج پوشش گیاهی رابطه منفی را نشان داد. ژانگ و همکاران (۲۹)، یک الگوریتم بر اساس Ts و شاخص دما پوشش گیاهی (TVDI)^۱ در ترکیب با ارتفاع و در طی سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ بررسی کردند. از تصاویر سنجنده مودیس و نقشه مدل رقومی ارتفاع برای داده‌های ورودی و از تصاویر سنجنده استر برای ارزیابی نتایج در استان همی (چین) استفاده شد. طبق مقایسه صورت گرفته با تصاویر استر، نتایج نشان داد که در هر ۳ سال مورد بررسی Ts کاهش یافته ولی TVDI تغییری نکرده است. آیزه و همکاران (۱)، گسترش سطح خشکی بر اساس شاخص TVDI را بررسی و تصاویر لندست ۸ را به کار گرفتند و در مناطق خشک جاوا غربی (اندونزی) و در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۷ انجام شد. نتایج مطالعه نشان داد که تراکم پوشش گیاهی و دمای بالای منطقه باعث شده است که الگوی مکانی شاخص TVDI بیشترین وسعت خشکی را در ماه ژوئیه ۲۰۱۳ و ژوئن ۲۰۱۷ نشان دهد و کمترین وسعت را در ماه جولای هر دو سال داشته باشد. لو و همکاران (۱۴)، به بررسی تخمین بارش ماهواره‌ای تصاویر IMERG، تحت شرایط اقلیمی و توپوگرافی پرداخته و در حوزه رودخانه Lancang-Mekong در کشور چین مطالعه شده است. از ۳ سطح E، L و F مربوط به داده‌های IMERG استفاده کردند و ثبات دامنه بارش، ثبات وقوع و وابستگی به ارتفاع را در دو فصل خشک بررسی نمودند. نتایج بررسی آن‌ها نشان از این مطلب بود که در بارش‌های یکسان، دامنه و ثبات وقوع بارش با افزایش ارتفاع افزایش یافته و داده‌های IMERG در تشخیص درست رویدادهای بارشی به طور روزانه بیشترین احتمال را نشان داده است. مازوگلیو و همکاران (۱۹)، بهبود سیستم بارندگی شدید را با داده‌های IMERG بررسی کردند که در فواصل زمانی متفاوت سنجنده و در مقایسه با باران‌سنج زمینی ارزیابی شده است. نتایج تحقیق نشان داد که داده‌های IMERG، تشخیص بارندگی در بیش از ۲۴ ساعت را به طور ۸۰ درصد می‌تواند تضمین کند و همچنین

¹ Temperature-Vegetation Dryness Index



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه
Fig 1. Location of the study area

داده‌های ماهواره‌ای

داده‌های MODIS

برای انجام این پژوهش از محصولات (Ts (MOD11A2)، NDVI (MOD13A3) از سنجنده Terra/MODIS و تصاویر بارش روزانه از شبکه بین‌المللی داده‌های بارش ماهواره‌ای حاصل از الگوریتم IMERG استفاده شد که قابل مشاهده در جدول ۱ است. سنجنده مودیس کشور ایران را توسط ۵ بلوک از h21v5 تا h23v6 در دو ردیف احاطه کرده است. محصول MOD11A2 از سطح ۳ جهانی و متوسط ۸ روزه است که در هر پیکسل، دما و میزان تابش سطح زمین را با وضوح مکانی ۱ کیلومتر در شبکه ۱۲۰۰×۱۲۰۰ کیلومتر ارائه می‌دهد. در روش فیزیکی محاسبه دمای سطحی، از زوج تصویر شب و روز مودیس و از باندهای ۲۰، ۲۲، ۲۳، ۳۱، ۳۲، ۳۳ استفاده می‌شود. MOD11A2، شامل بازتابش در باند ۳۱ و ۳۲ به صورت زمین مرجع شده است. این محصول شامل Ts است که به دلیل تأثیر بر میزان تشعشعات بازتاب شده از سطح زمین و تبادل انرژی بین سطح زمین و اتمسفر اهمیت بسیار داشته و در اکثر مطالعات اقلیمی، زیست‌محیطی، فعالیت‌های

داده‌های مورد استفاده

داده‌های هواشناسی

با توجه به اهدافی که پژوهش برای بررسی اقلیم ایران در نظر دارد، اقدام به جمع‌آوری و آنالیز داده‌های متوسط دمایی و مجموع بارش در مقیاس ماهانه در سطح ایستگاه‌های سینوپتیک کشور شده است. داده‌ها از فروردین ۱۳۹۵ تا فروردین ۱۳۹۸ (آوریل ۲۰۱۶ تا مارس ۲۰۱۹) از سازمان هواشناسی دریافت شده و توزیع آن‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. داده‌ها بعد از دریافت از سازمان ذکر شده، متوسط دما و بارش سالانه آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسل (Excel) استخراج شد؛ برخی ایستگاه‌ها به دلیل حضور داده پرت با استفاده از تابع outlier و همچنین ایستگاه‌هایی با کمبود داده حذف گردید و در نهایت ۱۴۳ ایستگاه مورد سنجش قرار گرفت.

Index) می‌شود (۵). اگر بر اثر بارندگی، شدت رطوبت خاک بیشتر شود میزان زیادی از نور خورشید صرف تبخیر آب موجود در خاک می‌گردد و این باعث ایجاد رابطه‌ای نسبتاً صاف و فاقد شیب تند، بین T_s و V_1 می‌شود که همان لبه مرطوب است. در واقع، در نمودار پراکندگی دما-پوشش گیاهی، پیکسل‌های تصویر با میزان تابش یکسان خورشید، با هر شرایط پوشش گیاهی و میزان رطوبت، در فضایی مانند شکل ۲ قرار می‌گیرند و لبه‌های آن حالات خشک و اشباع خاک است (۳۰). خاک‌های با پوشش گیاهی صفر تا انبوه، با میزان رطوبت خاصی در این نمودار جای می‌گیرند و برای هر خط با شیب مشخصی، می‌توان میزان رطوبت خاصی را در نظر گرفت. یکی از شاخص‌های تعریف شده با استفاده از نمودار پراکندگی دما-پوشش گیاهی، شاخص TVDI است؛ طبق رابطه ۱، TVDI، حاصل ترکیب تصاویر NDVI و T_s است که به صورت یک مثلث پراکندگی و بسته به شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی متغیر است. مقدار آن هرچقدر به عدد ۱ نزدیک باشد نشان از حداکثر خشکی منطقه است و حداقل خشکی نشان از حداکثر رطوبت منطقه با نزدیک شدن به صفر است.

$$TVDI = \frac{T_s - T_{smin}}{T_{smax} - T_{smin}} \quad [1]$$

در این رابطه: T_s : دمای سطح زمین و T_{smin} : دمای حداقل سطح زمین است. T_{smax} از رابطه ۲ به دست می‌آید.

$$T_{smax} = (a + b) * NDVI \quad [2]$$

در این رابطه: مقادیر a و b از طریق رابطه خطی میان دما و پوشش گیاهی به دست می‌آیند و NDVI شاخص پوشش گیاهی است که از رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad [3]$$

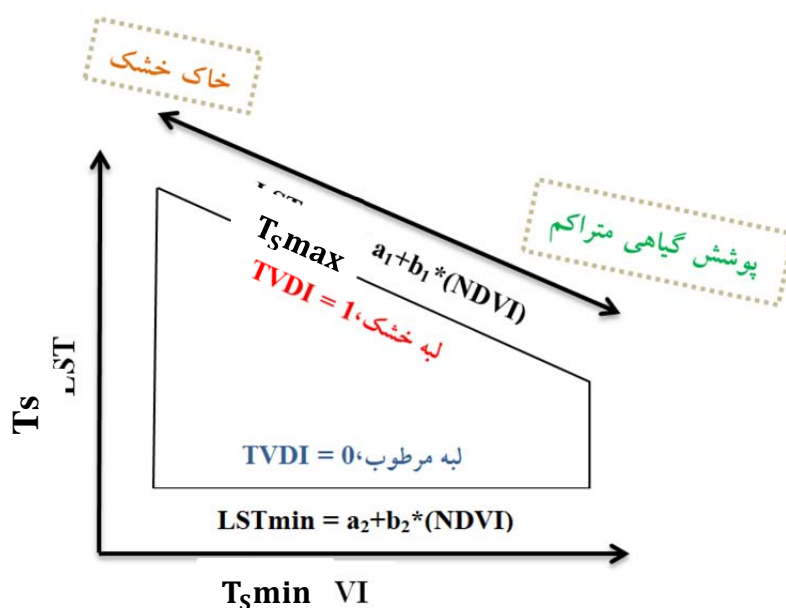
در این رابطه: NIR باند مادون قرمز نزدیک و R باند قرمز است؛ در سنجنده مودیس باند ۱ مربوط به باند قرمز و باند ۲ مربوط به باند مادون قرمز نزدیک است (۲۵).

کشاورزی، فعالیت‌های مدیریتی و منابع زمینی کاربرد دارد (۱۶).

محصول MOD13A3، محصول سطح ۳ جهانی و متوسط ماهانه با تفکیک ۱ کیلومتری است که حاصل تصویر اصلی مودیس با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر است. MOD13A3، مربوط به شاخص پوشش گیاهی و بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی دارد. این محصول در مقابل اثرات جوی و زمینه خاک، به جز در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد، اثر کمتری از خود نشان می‌دهد (۱۰). NDVI، تفاوت بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و قرمز مرئی (VIS) طیف الکترومغناطیس است. مقدار آن بین -۱ تا +۱ تغییر می‌کند و ارزش بالاتر آن (۰/۶ تا ۰/۸) مبین پوشش گیاهی متراکم‌تر است و مقادیر منفی در این شاخص مربوط به آب است (۲۳). برای نمایش توده حیاتی، شاخص سطح برگ، تولیدات گیاهی و تفکیک پوشش گیاهی بسیار مناسب است. قابل ذکر است که در تصاویر هر دو سری محصول مودیس به دلیل پوشش دهی ۳۵ کیلومتری ایستگاه‌های سینوپیتک، این فاصله بر روی تصاویر اعمال شد که بیشترین همبستگی را با داده‌های هواشناسی ارائه داده است.

شاخص دما-پوشش گیاهی

برآورد رطوبت خاک در مقیاس بزرگ، کاری بسیار مشکل، زمان‌بر و پرهزینه است. از این رو، در سال‌های اخیر روش‌های نوین متعددی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد و مدل‌سازی رطوبت خاک توسعه یافته است. بر اساس مثلث تبخیری ۳ پارامتر به دست می‌آید که متشکل از a و b و دمای حداقل است: a و b از معادله خط برآورد می‌شوند. در خاک خشک، دمای خاک از دمای جو اطراف خود بیشتر است. با افزایش گیاهان در یک پیکسل زمینی، میزان دمای سطح زمین کاهش می‌یابد؛ زیرا برگ گیاهان گرما را برای تعرق جذب می‌کند و این باعث ایجاد رابطه شیب‌دار معکوس میان T_s (Surface Temperature) و شاخص V_1 (Vegetation)



شکل ۲. نمودار پراکندگی $T_s/NDVI$ (۱۳)

Fig 2. $T_s / NDVI$ scatter plot(13)

TRMM از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ با بارش جمع‌آوری شده توسط GPM از سال ۲۰۱۴ تا هم‌اکنون را ترکیب می‌کند (<https://gpm.nasa.gov/data/imerg>). تصاویر به صورت روزانه با قدرت تفکیک ۱۰ کیلومتری و طی ۱۳/۰۱/۱۳ تا ۱۱/۰۱/۱۳۹۸ بنا بر تاریخ میلادی ۲۰۱۶/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۹/۰۳/۳۱ از سایت <https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets> اخذ شده است.

داده‌های IMERG

الگوریتم یکپارچه‌سازی چند ماهواره‌ای ناسا (IMERG)، اطلاعات حاصل از صورت فلکی ماهواره GPM را برای تخمین بارش در اکثر سطح زمین ترکیب می‌کند. این الگوریتم در مناطقی از سطح زمین که فاقد ابزارهای اندازه‌گیری بارش زمینی هستند از جمله اقیانوس‌ها و مناطق دورافتاده، ارزشمند است. IMERG تخمین‌های بارش جمع‌آوری شده از عملیات

جدول ۱. داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق

Table 1. Satellite data used in the research

تفکیک مکانی (متر)	نوع محصول	بازه زمانی	نام محصول
۱۰۰۰	MOD11A2	متوسط ۸ روزه	Land Surface Temperature(Ts)
۱۰۰۰	MOD13A3	ماهانه	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
۱۰۰۰۰	GPM-3IMERGDE	روزانه	IMERG V06

$$I = \frac{P}{T+10} \quad [4]$$

عامل‌های رابطه ۴ عبارت‌اند از: P: متوسط بارش سالانه (میلی‌متر)، T: متوسط دمای سالانه (سانتی‌گراد) و I: ضریب خشکی دومارتن.

اقلیم نمای دومارتن

روش دومارتن در حقیقت اصلاح شده روش لانگ بوده که در آن به مخرج کسر مقدار ۱۰ افزوده شده است. این روش بر اساس رابطه ۴ و جدول ۲ بنا شده است.

فقط به دو عامل متوسط سالانه بارش و متوسط سالانه دما نیاز دارد که هر دو پارامترهایی با دسترسی آسان هستند، ۲ گروه-های طبقه‌بندی مختلفی را در نظر می‌گیرد که می‌تواند ۶ نوع اقلیم را نشان دهد (۱۸).

در رابطه دومارتن از عامل تبخیر استفاده نشده است اما به دلیل اینکه تبخیر ارتباط نزدیکی با دمای هوا دارد از حضور غیرمستقیم آن بهره برده است. اقلیم نمای دومارتن به دو علت کاربرد بیشتری در ایران دارد: ۱) برای محاسبه ضریب خشکی

جدول ۲. نام اقلیم و محدوده ضریب خشکی روش دومارتن (۱۸)

Table 2. Climate name and range of coefficient of De Martonne method (18)

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دومارتن
خشک	کوچک‌تر از ۱۰
نیمه‌خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگ‌تر از ۳۵

(Geostatistical) است. برای اجرای روش‌های کریجینگ، داده‌ها باید دارای توزیعی نرمال باشند. روش‌های درونیایی مورد استفاده Kriging و CoKriging معمولی از روش‌های زمین‌آمار و روش وزن دهی معکوس (IDW) از روش‌های معین هستند.

اعتبارسنجی

به منظور ارزیابی دقت روش‌ها و میزان خطای بین داده‌های برآورد شده و اندازه‌گیری شده از آماره مجذور میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error) RMSE استفاده شده است. مقدار این آماره‌ها هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، به معنای خطای کمتر در محاسبات است که از رابطه ۶ به دست می‌آید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{C}_i - C_i)^2}$$

واحد‌های معادله بر اساس واحد داده‌های مورد استفاده است (۲۷).

برای ارزیابی نتایج میان داده‌های مورد استفاده در این تحقیق که شامل داده‌های هواشناسی و داده‌های ماهواره‌ای دریافت شده به‌طور ماهانه از ۱۴۳ نقطه ایستگاهی هستند از

توزیع نرمال

قبل از انجام یک تحلیل رگرسیونی، باید توزیع داده‌ها از نظر نرمال بودن یا طبیعی بررسی شود تا بتوان از آزمون‌های پارامتریک استفاده کرد (۱۶). برای تحلیل نرمال بودن داده‌ها، آزمون‌های کولموگراف - اسمیرنوف و شاپیرو - ویلک به کار گرفته شده است. اگر در سطح خطای ۰/۰۱، آماره آزمون (sig) بزرگ‌تر از این مقدار باشد، توزیع داده‌ها را می‌توان نرمال فرض کرد و اگر کوچک‌تر باشد توزیع داده‌ها نرمال نیست. برای نرمال کردن داده‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده شده است. اگر داده‌ها دارای توزیع لاگ نرمال باشند می‌توان با تبدیل لگاریتم آن‌ها را به داده‌های دارای توزیع نرمال تبدیل کرد.

$$y_t = \text{og}(X)_t \quad t = 1, 2, 3, \dots, N \quad [5]$$

در فرایند درونیایی، با استفاده از نقاط نمونه گسسته، یک سطح رستری (پیوسته) ایجاد می‌شود که بُعد سوم آن مقادیر نمونه‌برداری شده است و در صورت نیاز می‌توان به خطوط هم‌مقدار تبدیل گردد. روش‌های اجرای درونیایی، به دو صورت معین (Deterministic) و زمین‌آمار

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})\sum(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2)\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad [7]$$

ضریب تعیین R^2 ، از مدل‌های رگرسیونی است که میزان وابستگی متغیر وابسته را نسبت به متغیر مستقل بیان می‌کند (۲۲).

ضریب کاپا، معیاری برای صحت نقشه کیفی است که به کمک عناصر قطری و حاشیه‌ای برای هر ماتریس محاسبه می‌شود؛ بیان‌کننده میزان توافق طبقه‌بندی با داده‌های واقعی است و از رابطه ۸ قابل برآورد است (۶).

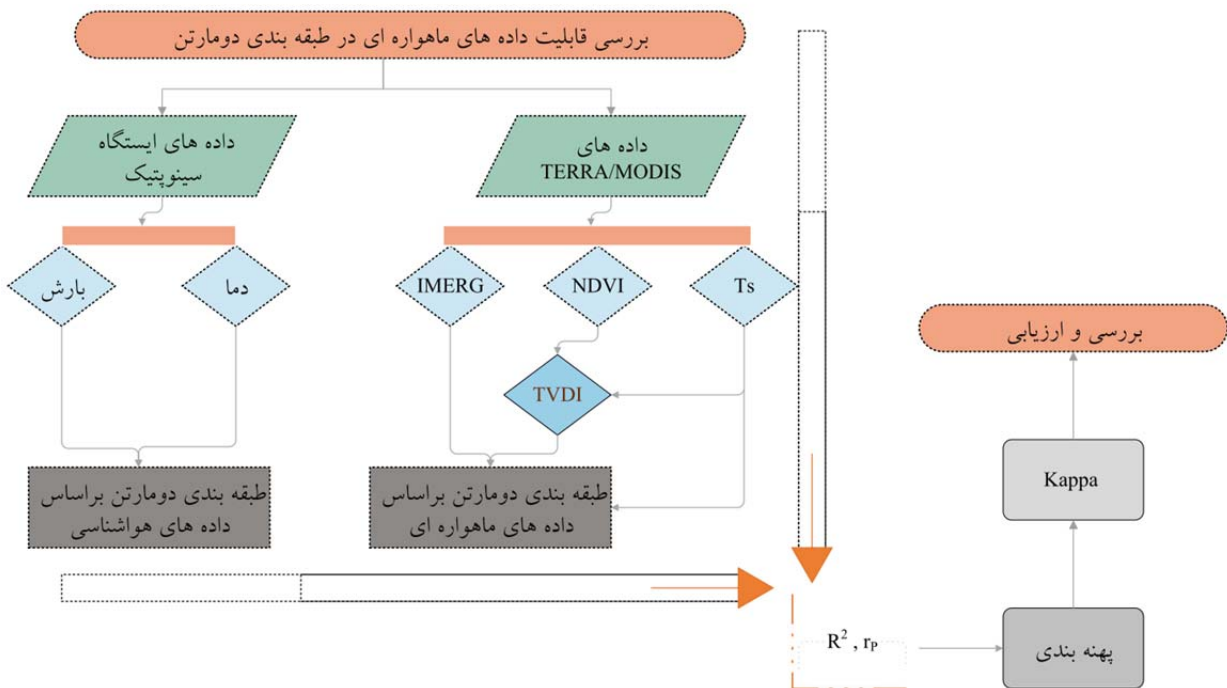
ضریب همبستگی پیرسون (r_p) و ضریب تعیین (R^2) استفاده خواهد شد؛ داده‌ها توزیع پیوسته‌ای دارند که بعد از نرمال‌سازی به جهت اینکه مقایسه‌ای میان آن‌ها صورت گیرد، r_p مورد استفاده است؛ و همچنین ضریب کاپا برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای با نتایج حاصل از آمار و اطلاعات هواشناسی به کار گرفته خواهد شد.

ضریب همبستگی پیرسون (r_{xy})، این ضریب از تقسیم کوواریانس نمونه‌ای به حاصل ضرب انحراف معیار نمونه‌ای دو متغیر X و Y از رابطه ۷ تعیین گردید.

$$P_0 = \sum_{i=1}^k P_{ii}$$

$$P_e = \sum_{i=1}^k P_i + P_{+i}$$

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \quad [8]$$



شکل ۳. فلوچارت مراحل اجرای تحقیق

Fig 3. Research flow diagram

نتایج

بررسی داده‌های مورد استفاده

کاهش یافت. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون‌های کولموگراف - اسمیرنوف و شایپرو - ویلک در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ استفاده شد و پس‌از آن طبق جدول ۳ به توزیع نرمال تغییر یافتند.

داده‌های ایستگاه سینوپتیک مورداستفاده بعد از نرمال‌سازی و حذف داده‌های پرت به تعداد ۱۴۳ ایستگاه

جدول ۳. آزمون نرمال بودن داده‌ها

Table 3. Tests of Normality

Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			داده‌ها
Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.	
.062	143	.200*	.979	143	.028	متوسط دمای سالانه (T _{annual})
.083	143	.016	.959	143	.000	متوسط بارش سالانه (P _{annual})
.076	143	.043	.980	143	.032	T _{sannual}
.045	143	.200*	.988	143	.265	TVDI _{annual}
.058	143	.200*	.974	143	.007	IMERG _{annual}
.070	143	.085	.977	143	.015	IMERG _{winter}
.116	143	.000	.978	143	.019	IMERG _{summer}

است. جدول ۴، نشان می‌دهد که از بین روش‌های انجام‌شده، بارش ایستگاهی و بارش IMERG سالانه با ارزیابی IDW و IMERG زمستانه با روش کوکریجینگ و باقی داده‌های مورداستفاده با کوریجینگ نمایش بهتر و مناسب‌تری را ارائه داده‌اند.

اجرای روش‌های مختلف درون‌یابی برای ارزیابی نقاط

مجهول

پس از نرمال‌سازی داده‌ها، برای برآورد نقاط نمونه‌برداری نشده و اجرای پهنه‌بندی از روش‌های IDW، کوریجینگ و کوکریجینگ استفاده شد. لازم به ذکر است در تهیه مدل کوکریجینگ، از پارامتر ارتفاع به‌عنوان پارامتر ثانویه استفاده‌شده

جدول ۴. بررسی روش‌های درون‌یابی مورداستفاده

Table 4. Review of interpolation methods used

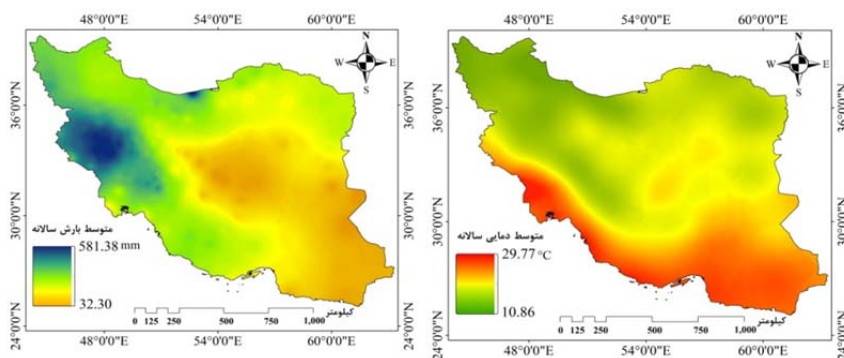
CoKriging	IDW	Kriging	داده‌های موردسنجش
RMSE			
1/68	1/47	0/67	T _a
28/06	8.46	16/24	P _a
1/90	1/77	0/85	T _{s_a}
0/063	0/058	0/056	TVDI _a
150.69	146.1	146.48	IMERG _a
7/95	21/8	8/29	IMERG _w
5/57	5/99	2/84	IMERG _s

دمای ایران از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایش یافته که این افزایش دما در جهت غربی - شرقی، به دلیل تمرکز کوهستان‌ها و توپوگرافی غرب ایران است و افزایش دما در جهت شمالی - جنوبی، به دلیل نزدیکی به استوا، افزایش زاویه خورشید و غنای رطوبتی جو در پهنه‌های آبی جنوب کشور

در طی دوره موردبررسی، دی‌ماه با دمای ۶/۱۱ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان سردترین ماه سال و تیرماه با دمای ۳۱/۰۴ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین ماه سال شناخته شدند. با توجه به شکل ۴، بیش از ۸۲ درصد از مساحت ایران متوسط دمای بالاتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد را در سال تجربه می‌کنند. متوسط

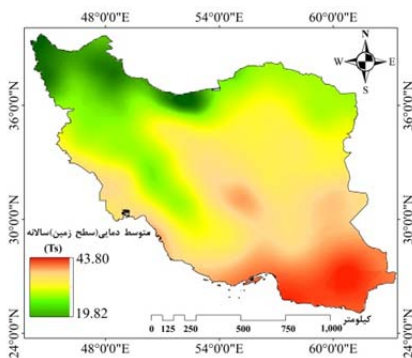
سالانه ایران در طی دوره، ۲۲۲/۹۷ میلی متر است. ۳۸ درصد از سطح کشور با بیش از ۲۵۰ میلی متر بارش، در بخشی از دامنه های زاگرس و غرب کشور گسترش یافته اند. حداکثر بارش کشور بیش از ۵۰۰ میلی متر است که در مازندران و بخش هایی از غرب ساکن است.

است. دمای سالانه کشور ایران به طور متوسط ۱۸/۱۶ درجه سانتی گراد است. همچنین در بررسی داده های بارش، از پارامتر مجموع بارش ماهانه استفاده گردید. بعد از محاسبه متوسط ۳ ساله بارش و نرمال سازی توزیع داده ها، اقدام به پهنه بندی در سطح کشور شد. مطابق با این داده ها و شکل ۴، متوسط بارش



شکل ۴. نقشه پهنه بندی متوسط دما و بارش سالانه

Fig 4. Zoning map of average temperature and annual rainfall



شکل ۵. نقشه پهنه بندی متوسط Ts سالانه

Fig 5. Average annual Ts zoning map

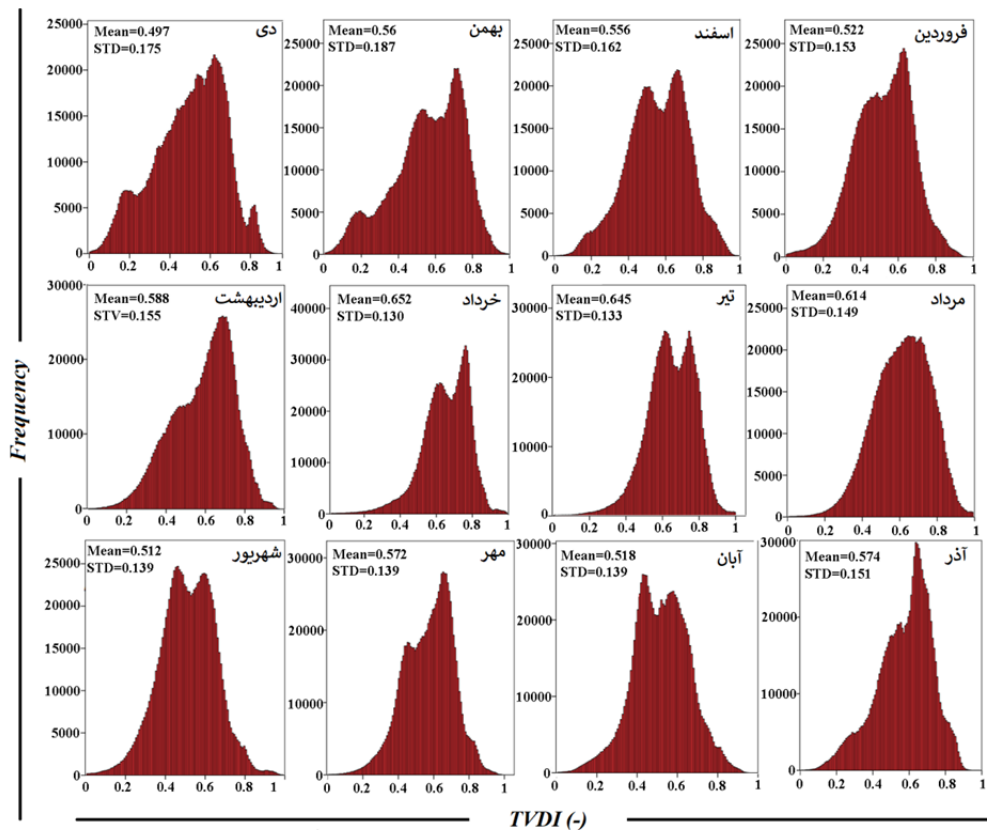
شاخص TVDI نیاز به تراکم و تنوع در پوشش گیاهی دارد، در شرایطی که ممکن است در برخی نواحی حضور محدود یا عدم حضور پوشش گیاهی را داشته باشد. جدول ۵ به طور نمونه برآورد لبه های خشک و تر را در ۱۲ ماه از سال ۱۳۹۷ و شکل ۶ نمودار پراکندگی نقاط این شاخص را نشان داده است.

به علاوه میزان دمای T_s ، در مناطق بیابانی و فاقد پوشش گیاهی، افزایش می یابد و اغلب در مناطقی که ارتفاع زیادی نسبت به سطح زمین داشته اند و سطح زمین پوشش گیاهی و نمناکی بیشتری دارد، دمای سطح زمین روبه کاهش است؛ به طوری که در مناطق شمالی و شمال شرقی ایران کمترین دما حاکمیت دارد. اغلب ارتفاعات بالاتر از ۱۵۰۰ متر در نیمه شمالی تا دامنه های زاگرس، کمترین دمای سطحی به مقدار ۱۲/۳۸ درجه سانتی گراد را دارا هستند. مطابق با شکل ۵، متوسط T_s ایران ۳۲/۹۱ درجه سانتی گراد است که مناطق گرم تر در محدوده مناطق کویری ایران مستقر هستند. روند دما در سطح زمین با دمای هوا در تفاوت است و بیشترین اختلاف آن در مرداد که گرم ترین ماه سال بوده به میزان ۴۰/۷ درجه سانتی گراد محاسبه شده است.

جدول ۵. لبه‌های خشک و مرطوب در Ts /NDVI برای TVDI

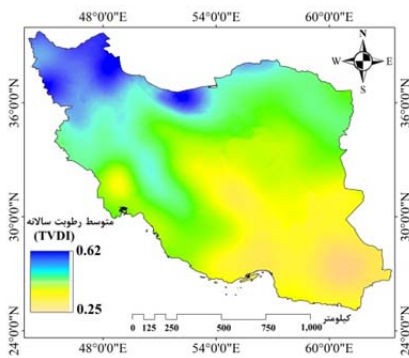
Table 5. Dry and wet edges in Ts / NDVI for TVDI

سال ۱۳۹۷						TVDI		
$y = -26.248(\text{NDVI}) + 316.22$ $R^2 = 0.9999$	لبه خشک	آذر	$y = -29.587(\text{NDVI}) + 336.28$ $R^2 = 0.9996$	لبه خشک	مرداد	$y = -26.948(\text{NDVI}) + 334.14$ $R^2 = 0.9999$	لبه خشک	فروردین
$y = 23.287(\text{NDVI}) + 256.3$ $R^2 = 0.9993$	لبه تر		$y = -12.091(\text{NDVI}) + 299.84$ $R^2 = 0.9998$	لبه تر		$y = 23.756(\text{NDVI}) + 272.34$ $R^2 = 0.9998$	لبه تر	
$y = -25.386(\text{NDVI}) + 313.55$ $R^2 = 1$	لبه خشک	دی	$y = -39.457(\text{NDVI}) + 339.38$ $R^2 = 1$	لبه خشک	شهریور	$y = -40.54(\text{NDVI}) + 340.3$ $R^2 = 1$	لبه خشک	اردیبهشت
$y = 15.017(\text{NDVI}) + 263.1$ $R^2 = 0.9988$	لبه تر		$y = -8.8117(\text{NDVI}) + 297.61$ $R^2 = 0.9998$	لبه تر		$y = 16.318(\text{NDVI}) + 275.59$ $R^2 = 1$	لبه تر	
$y = -20.405(\text{NDVI}) + 311.99$ $R^2 = 0.9995$	لبه خشک	بهمن	$y = -35.632(\text{NDVI}) + 330.1$ $R^2 = 0.9999$	لبه خشک	مهر	$y = -44.485(\text{NDVI}) + 343.46$ $R^2 = 0.9998$	لبه خشک	خرداد
$y = 19.064(\text{NDVI}) + 264.02$ $R^2 = 0.9999$	لبه تر		$y = 12.849(\text{NDVI}) + 274.42$ $R^2 = 0.9999$	لبه تر		$y = 18.869(\text{NDVI}) + 284.99$ $R^2 = 1$	لبه تر	
$y = -21.571(\text{NDVI}) + 324.64$ $R^2 = 0.997$	لبه خشک	اسفند	$y = -27.293(\text{NDVI}) + 320.22$ $R^2 = 1$	لبه خشک	آبان	$y = -39.293(\text{NDVI}) + 341.73$ $R^2 = 0.9996$	لبه خشک	تیر
$y = 27.288(\text{NDVI}) + 263.96$ $R^2 = 0.9999$	لبه تر		$y = 18.789(\text{NDVI}) + 266.09$ $R^2 = 0.9934$	لبه تر		$y = 9.5071(\text{NDVI}) + 294.42$ $R^2 = 0.9886$	لبه تر	



شکل ۶. نمودار TVDI در سال ۱۳۹۷

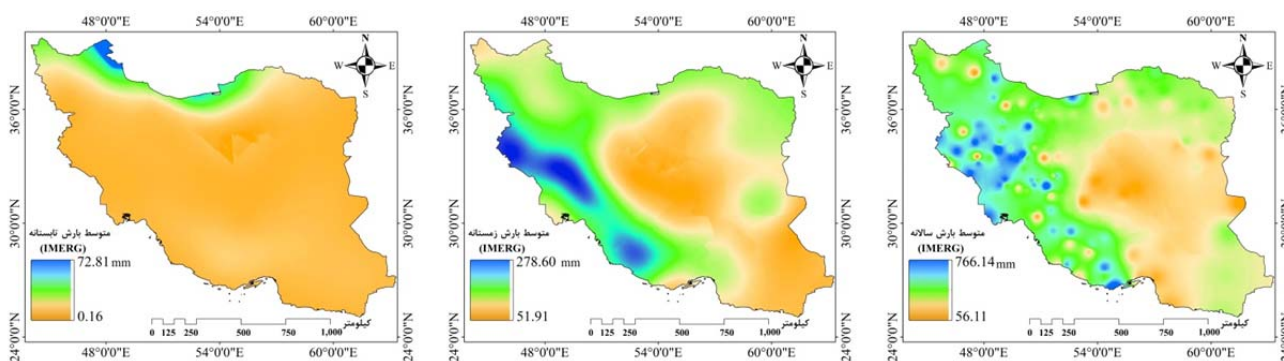
Fig 6. TVDI chart in 2017



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی متوسط TVDI سالانه

Fig 7. Annual average TVDI zoning map

طبق شکل ۷ در طی دوره مورد بررسی، TVDI سالانه با متوسط رطوبت ۰/۴۲ سطح وسیعی از کشور را با رطوبت کمتر از ۰/۵ شامل می‌شود که به میزان ۷۶/۴۳ درصد بر ایران مرکزی تأثیر گذاشته است. بررسی انجام‌شده بر طبق داده‌های IMERG نشان داد که ایران در طی دوره، متوسط بارش ۳۳۰/۰۹ میلی-متر را تجربه کرده است؛ بیشترین بارندگی آن در نقاط محدودی از شمال در محدوده استان‌های مازندران و اردبیل، در غرب و استان‌های هم‌جوار آن و در جنوب و حداقل بارندگی در مناطق کویری رخ داده است؛ متوسط بارندگی فصلی در زمستان ۱۲۸/۳۸ میلی‌متر و در تابستان ۵/۵۳ میلی‌متر برآورد شد. کمترین بارندگی‌ها در هر دو فصل مربوط به مناطق کویری ایران بوده است (شکل ۸).



شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی IMERG

Fig 8. IMERG zoning map

اقليمی هواشناسی به‌عنوان متغیر مستقل و شاخص‌های ماهواره‌ای به‌عنوان متغیر وابسته تعریف شدند. نتایج حاصل از بررسی در جدول ۶ ارائه شده است.

برای بررسی ارتباط میان پارامترهای اقلیمی هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای از ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تشخیص R^2 استفاده شد؛ برای این مقایسه، تمامی پارامترهای

جدول ۶. ارزیابی و مقایسه پارامترهای اقلیمی با شاخص‌های ماهواره‌ای

Table 6. Evaluation and comparison of climatic parameters with satellite indicators

R^2	r_p	پارامترهای اقلیمی	داده ماهواره‌ای
0/23	0/61	P_a	$TVDI_{ann}$
0/38	0/52	P_a	$IMERG_a$
0/80	0/89	T_a	Ts_a
0/76	0/87	P_w	$IMERG_w$
0/81	0/90	P_s	$IMERG_s$

بررسی نتایج حاصل از اقلیم نمای دوماترن با داده‌های ماهواره‌ای

در رابطه دوماترن از متوسط دما و متوسط بارش سالانه استفاده شده است؛ از میان تمام روابطی که طبق جدول ۷ ایجاد شد مناسب‌ترین آن با حداکثر همبستگی پیرسون از رابطه ۶ حاصل شد و مبنای طبقه‌بندی قرار گرفت.

$$I_{image} = \frac{(TVDI_a * 10)}{(Ts_a + 22)} * ((2 * IMERG_w) + IMERG_s) \quad [9]$$

که در آن: $TVDI_{ann}$: رطوبت سالانه، Ts_{ann} : دمای سطح زمین سالانه، $IMERG_w$ و $IMERG_s$: متوسط بارش زمستانه و تابستانه

بر طبق نتایج برآورد شده، میان متوسط بارش با $TVDI$ ، ارتباطی خوب با مقدار ۰/۶۱ برقرار شد؛ ایستگاه‌هایی که متوسط رطوبت سالانه بیشتری را نشان دادند، به‌طور تقریبی متناسب با بارش ایستگاهی اکثر ایستگاه‌ها بود. همچنین ارتباط آن با متوسط داده‌های $IMERG$ متوسط و با مقدار ۰/۵۲ حاصل شده و در بررسی دمای هوا با Ts ، ارتباط قوی ۰/۸۹ برآورد شده است. از ارتباط میان بارش تابستان و زمستان با تصویر فصلی $IMERG$ ، ارتباطی قوی حاصل شد.

جدول ۷. ارزیابی همبستگی معادلات

Table 7. Evaluation of correlation of equations

R ²	r _p	معادلات	رابطه
0/55	0/74	$\left(\frac{TVDI_a}{Ts_a + 10}\right) * 100$	1
0/56	0/75	$\left(\frac{TVDI_a}{Ts_a + 22}\right) * 100$	2
0/36	0/60	$\left(\frac{IMERG_a}{Ts_a + 22}\right) * 100$	3
0/56	0/75	$\left(\frac{TVDI_a * 10}{LST_a + 22}\right) * 100$	4
0/82	0/86	$\left(\frac{TVDI_a * 10}{Ts_a + 22}\right) * (2 * (IMERG_s) + IMERG_w)$	5
0/74	0/91	$\left(\frac{TVDI_a * 10}{Ts_a + 22}\right) * (2 * (IMERG_w) + IMERG_s)$	6

نتایج پهنه‌بندی اقلیمی دومارتن با داده‌های ماهواره‌ای

در این پهنه‌بندی، متوسط سالانه TVDI و Ts و داده‌های IMERG متعلق به فصول زمستان و تابستان به کار گرفته شدند. معادله برآورد شده جدول ۷ روی تصاویر اعمال و سپس با توجه به دومارتن هواشناسی کلاس‌بندی شد (جدول ۸). با توجه به شکل ۹. ب) و جدول ۹، ۳ کلاس اقلیمی برآورد شده است و دو ناحیه خشک و نیمه‌خشک به ترتیب با ۶۶/۸۱٪ و ۲۷/۹۷٪ بیشترین وسعت اقلیمی را دارند و کمترین ناحیه اقلیمی متعلق به مدیترانه‌ای با ۴/۲۱٪ است. با توجه به نتایج داده‌های ماهواره‌ای، مناطقی که اغلب دمای بالاتر از ۲۸ درجه سانتی‌گراد را نشان دادند، مربوط به اقلیم خشک هستند.

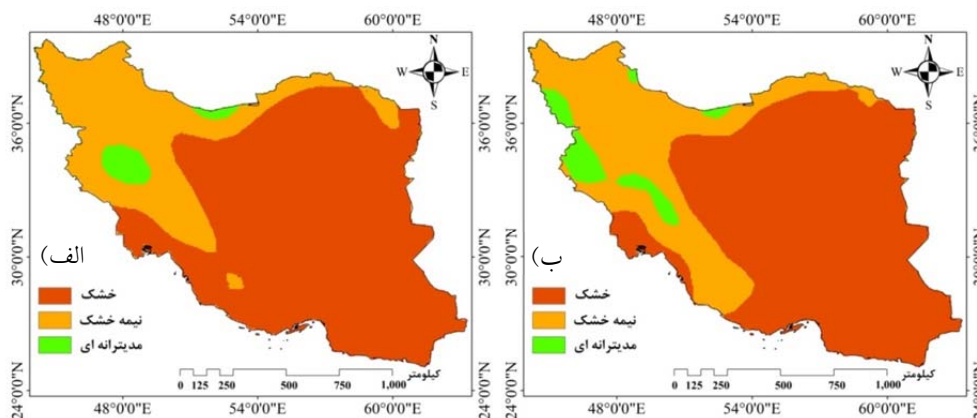
نتایج پهنه‌بندی اقلیمی دومارتن با داده‌های هواشناسی

هدف از این مرحله تعیین گروه‌بندی ایستگاه‌هایی است که شرایط اقلیمی مشابهی دارند؛ در ابتدا ۱۴۳ ایستگاه سینوپتیک به روش دومارتن ناحیه بندی می‌شود. با توجه به شکل ۹. الف) و جدول ۹، از ۶ گروه اقلیمی دومارتن در طی دوره، ۳ گروه اقلیمی تخمین زده شده است؛ دو ناحیه خشک و نیمه‌خشک به ترتیب با ۷۰/۶۲٪ و ۲۷/۰۳٪ بیشترین وسعت اقلیمی را دارند و کمترین ناحیه اقلیمی متعلق به مدیترانه‌ای با ۲/۳۴٪ است. اقلیم خشک اغلب در مناطقی جای دارد که متوسط بارش و دما، به ترتیب کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر و بیشتر از ۱۸ درجه سانتی‌گراد باشد.

جدول ۸. نام اقلیم و محدوده اقلیمی روش دومارتن با داده‌های ماهواره‌ای

Table 8. Climate name and climatic range of De Martonne method with satellite data

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دومارتن
خشک	کوچک‌تر از ۲۸
نیمه‌خشک	۲۸ تا ۴۷/۹
مدیترانه‌ای	۴۸ تا ۶۰/۷۳



شکل ۹. نقشه طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن: الف) داده‌های هواشناسی، ب) داده‌های ماهواره‌ای

Fig 9. De Martonne Climate Classification Map: a) Meteorological data, b) Satellite data

جدول ۹. انواع ناحیه‌های اقلیمی ایران و درصد آن‌ها بر اساس طبقه‌بندی دومارتن هواشناسی و ماهواره‌ای

Table 9. Types of climatic regions of Iran and their percentage based on the meteorological and satellite classification of De Martonne

مساحت km ²	درصد ضریب خشکی دومارتن هواشناسی	نام اقلیم
۱۱۶۳۸۱۷/۶	۷۰/۶۲	خشک
۴۴۵۴۵۴/۴	۲۷/۰۳	نیمه خشک
۳۸۵۶۳/۲	۲/۳۴	مدیترانه‌ای
مساحت km ²	درصد ضریب خشکی دومارتن ماهواره‌ای	نام اقلیم
۱۱۰۱۰۲۸/۸	۶۶/۸۱	خشک
۴۷۷۴۲۵/۶	۲۸/۹۷	نیمه خشک
۶۹۳۸۰/۸	۴/۲۱	مدیترانه‌ای

قرار داشتند. همچنین اقلیم مدیترانه‌ای در پهنه‌بندی هواشناسی به میزان ۱/۸۷٪ سطح کمتری را نسبت به دیگر پهنه‌بندی به خود گرفته است. در بررسی مؤثرترین عامل، طبقه‌بندی حاصل از داده‌های هواشناسی بیشتر تحت تأثیر دمای سالانه و طبقه‌بندی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای، بیشتر تحت تأثیر IMERG زمستان بودند.

با توجه به ارزیابی دو گروه طبقه‌بندی اقلیمی موجود در جدول ۱۰، نتایج برآورد شده از دومارتن هواشناسی با نتایج داده‌های ماهواره‌ای ضریب کاپا ۰/۹۰ و صحت ۹۳/۷۶ را نشان داده است: به این صورت که در هر دو طبقه‌بندی، مناطق کویری ایران تحت تأثیر اقلیم خشک و مناطق مستقر بر روی ارتفاعات زاگرس، تحت تأثیر اقلیم نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای

جدول ۱۰. اعتبارسنجی طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن داده‌های هواشناسی با شاخص‌های ماهواره‌ای

Table 10. Validation of De Martonne Climate Classification Meteorological data with satellite indicators

صحت کلی (%)	ضریب کاپا (%)	آنالیز نتایج
۹۳/۷۶	۰/۹۰	طبقه‌بندی دومارتن

بحث و نتیجه‌گیری

تصاویر ماهواره‌ای امکان دریافت داده بدون حضور در محل را فراهم می‌کنند و موجب شده برای اخذ داده از هر منطقه‌ای، بدون اینکه محدودیت در تعداد موردنظر باشد، به استفاده از آن‌ها اقدام شود. این تصاویر قادر به دریافت اطلاعات با مقیاسی وسیع از سطح زمین هستند. در تحقیق حاضر، طبقه‌بندی اقلیمی ماهواره‌ای برای ۱۴۳ ایستگاه سینوپتیک در تطابق با روش دومارتن هواشناسی از منطقه ایران موردبررسی قرار گرفت؛ در جمع‌آوری داده‌های اقلیمی از ایستگاه‌های سینوپتیک، کاربر نقش مستقیمی در برداشت داده دارد؛ و به دلیل برداشت از سطح ایستگاهی، این داده‌ها قابل تعمیم به مناطق فاقد ایستگاه نیستند. درنهایت با استفاده از ارزش پیکسلی نقاط مربوط به تصاویر ماهواره‌ای برای انتخاب داده‌ها اقدام می‌شود. در ابتدا پارامترهای موردنیاز روش دومارتن از سازمان هواشناسی تهیه گردید. تعداد محدودی از ایستگاه‌ها به دلیل حضور داده پرت و کمبود داده حذف گردید و مطابق با شکل ۱ رسم شد؛ و پس از نرمال‌سازی داده‌ها و با استفاده از متوسط دما و بارش سالانه، رابطه دومارتن بر روی داده‌های هواشناسی اعمال شد. در تصاویر اخذشده از ماهواره TERRA به دلیل حضور ابر، تصویر موردنظر تبدیل به نقاط و سپس پهنه‌بندی شده‌اند که بتوان ارزش نقاط ابری را پیش‌بینی کرد. بر طبق ارتباط پیرسونی که از داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های هواشناسی برآورد شد، میان IMERG و بارش ایستگاهی ارتباط ۰/۵۲ و با TVDI به میزان ۰/۶۱ حاصل شد؛ و شاخص TVDI را اثرگذارتر معرفی کرده است (طبق جدول ۷، رابطه ۲ و ۳). در مرحله بعد، با ایجاد یک رابطه از داده‌های ماهواره‌ای بر طبق دومارتن هواشناسی، بیشترین

همبستگی با مقدار ۰/۹۱ به دست آمد. نتایج نشان داد که پهنه‌بندی اقلیمی حاصل از داده‌های هواشناسی در تطابق با داده‌های ماهواره‌ای دارای ۳ گروه اقلیمی هستند که هر دو، وسعت سطح اقلیمی خشک و نیمه‌خشک را تقریباً مشابه ارائه و مدیترانه‌ای را کمتر از ۵ درصد نشان داده‌اند. همچنین مقدار ضریب کاپا حاصل‌شده از قیاس پهنه‌بندی دومارتن ماهواره‌ای با دومارتن هواشناسی مقدار ۰/۹۰ را نشان داد.

در پژوهش مغاری و تانگ (۱۱)، اقلیم اکثر مناطق ایران خشک و نیمه‌خشک و از خشک تا بسیار مرطوب متغیر است. در پژوهش مختاری و همکاران (۲۱)، اقلیم یزد بر اساس روش دومارتن خشک و یا نیمه‌خشک است. پیری و همکاران (۲۴)، بخش وسیعی از مناطق مرکزی ایران، آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک دارد و عواملی مانند دور بودن از منابع رطوبتی و قرار گرفتن در عرض‌های جغرافیایی با فشار بالا، در آن بیشترین تأثیر را داشته است. غلامی و همکاران (۹)، اقلیم ایستگاه هواشناسی منجیل در استان گیلان را بررسی کرده و بر اساس روش دومارتن تغییرات اقلیمی آن را از نیمه‌خشک تا خشک معرفی کرده‌اند. امامیان و همکاران (۸)، اقلیم استان خراسان رضوی را بنا بر روش دومارتن از خشک تا نیمه‌خشک معرفی کرده است. با توجه به اینکه تا به حال با داده‌های ماهواره‌ای اقدام به طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن نشده است، نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش‌های ذکرشده مشابه بوده است و حداکثر وسعت اقلیمی سطح ایران را به اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک و درصد محدودی به دیگر اقلیم‌ها اختصاص داده‌اند. محدودیت‌های این پژوهش که در صحت نتایج پژوهش تأثیرگذار بوده‌اند شامل: حضور ابر و Nodata در ارزش پیکسلی تصاویر؛ که موجب شد از ارزش ۳۵ کیلومتری

می‌توان از ریزمقیاس سازی برای تغییر اندازه پیکسل تصاویر IMERG از ۱۰ به ۱ کیلومتر استفاده کرد و همچنین برای افزایش همبستگی میان داده‌ها، با استفاده از تکنیک‌هایی مانند رگرسیون خطی می‌توان دمای هوا را از Ts محاسبه کرد.

اطراف نقاط ایستگاهی استفاده شود و همچنین حجم و تعداد زیاد داده‌ها که نیاز به فرآیند پیش‌پردازش داده‌ها را افزایش داده بود. با توجه به توپوگرافی منطقه ایران و تنوع اقلیمی حاکم بر آن، به‌منظور تعیین مرز واقعی اقلیم‌ها و تغییرات اقلیم

منابع مورد استفاده

1. Aisyah A, Kusratmoko E, Wibowo A.2019.The Spread Of Dry Area Based On TVDI Index (Temperature Vegetation Dryness Index). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 311, No. 1, p. 012006). IOP Publishing, pp 1-6. Doi:10.1088/1755-1315/311/1/012006.
2. Bai Y, Yang Y, Jiang H.2019. Intercomparison of AVHRR GIMMS3g, terra MODIS, and SPOT-VGT NDVI products over the Mongolian plateau. Remote Sensing, 11(17), pp 2-30. <https://doi.org/10.3390/rs11172030>.
3. Chapman S, Watson J.E, Salazar A, Thatcher M, McAlpine C.A.2017.The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review. Landscape ecology,32(10), pp 1921-1935. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0561-4>.
4. Cheng S, Huang J.2016. Enhanced soil moisture drying in transitional regions under a warming climate, Journal of Geophysical Research: Atmospheres,121(6),2542-2555. <https://doi.org/10.1002/2015JD024559>.
5. Carlson TN, Capehart WJ, Gillies RR.1995. A new look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration, Remote Sensing of Environment, 54(2), pp 161-167. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00139-R](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00139-R).
6. De Raadt A, Warrens MJ, Bosker RJ, Kiers HA.2019. Kappa coefficients for missing data, Educational and psychological measurement, 79(3), pp 558-576. <https://doi.org/10.1177/0013164418823249>.
7. Dai X.G, Wang P.2017.A new classification of large-scale climate regimes around the Tibetan Plateau based on seasonal circulation patterns .Advances in Climate Change Research, 8(1), pp 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.accr.2017.01.001>.
8. Emamian A, Rashki A, Kaskaoutis D.G, Gholami A, Opp C,Middleton N.2021.Assessing vegetation restoration potential under different land uses and climatic classes in northeast Iran.Ecological Indicators, 122, 107325. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107325>.
9. Gholami V, Ahmadi Jolandan M, Torkaman J.2017. Evaluation of climate change in northern Iran during the last four centuries by using dendroclimatology. Natural Hazards, 85(3), pp 1835-1850. DOI: <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/8202>.
10. Haghghi Khomami M, Tajaddod M.J, Ravanbakhsh M, Jamalzad Fallah F.2021. Vegetation classification based on wetland index using object based classification of satellite images (Case study: Anzali wetland), RS & GIS for Natural Resources (Vol. 12/ Issue 3), pp 1-17. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.3.1.6>. (In Persian).
11. Hosseini-Moghari S. M, Tang Q.2020.Validation of GPM IMERG V05 and V06 precipitation products over Iran. Journal of Hydrometeorology, 21(5), pp 1011-1037. DOI: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0269.1>.
12. Jebli I, Belouadha F.Z, Kabbaj M.I, Tilioua A.2021. Prediction of solar energy guided by pearson correlation using machine learning. Energy, 224, 120109, pp 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120109>.
13. Kwon Y. J, Ryu S, Cho J, Lee Y.W, ParkN. W, Chung C.Y, Hong S.2020. Infrared Soil Moisture Retrieval Algorithm Using Temperature-Vegetation Dryness Index and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 56(2), pp 275-289. Doi: 10.1007/s13143-020-00174-6.
14. Lu, C, Ye J, Fang G, Huang X, Yan M.2021. Assessment of GPM IMERG satellite precipitation estimation under complex climatic and topographic conditions. Atmosphere, 12(6). <https://doi.org/10.3390/atmos12060780>.
15. Liang, L, ZHAO SH,QIN ZHHEKX, Chong CH EN,LUO YX, ZHOU XD.2014. Drought change trend using MODIS TVDI and its relationship with climate factors in China from 2001 to 2010, Journal of Integrative Agriculture,13(7),1501-1508. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60813-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60813-3).
16. Maghfiroh A.M.R, Zainudin Z, Chandra A. B, Sulistyorini A.2021.Analysis of the effect of noise on blacksmith performance using linear regression. Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika, 7(1), Vol. 7, No. 1, Page 55-62. DOI:10.30870/gravity.v7i1.9453.
17. 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), pp 36-59.
<https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=710367>. (In Persian).
18. Mazidi A, Enayatpour M, Hosseini SS. 2021. Determining the climate of Kerman province using ambrothermic curve methods, De Martonne drought coefficient, Amberjeh facade climate. *Journal of Geography and Human Relations*, 14 (4), pp 35-43. <https://doi.org/10.22034/GAHR.2021.287987.1565>. (In Persian).
 19. Mazzoglio P, Laio F, Balbo S, Boccardo P, Disabato F. 2019. Improving an extreme rainfall detection system with GPM IMERG data, *Remote Sensing*, 11(6), 677. <https://doi.org/10.3390/rs11060677>.
 20. Madani K, AghaKouchak A, Mirchi A. 2016. Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation, *Iranian Studies*, 49(6), 997-1016. <https://doi.org/10.1080/00210862.2016.1259286>.
 21. Mokhtari M, Ahmad B, Hoveidi H, Busu I. 2013. Sensitivity analysis of metric-based evapotranspiration algorithm. *international journal of environmental research (ijer)*, 7(2), pp 407-422. <https://www.sid.ir/en/journal/viewpaper.aspx?id=368836>.
 22. Nagelkerke N.J.D. 1991. A note on a general definition of the coefficient of determination. *Biometrika*, 78(3), pp 691-692. <https://doi.org/10.1093/biomet/78.3.691>.
 23. Olafsson H, Rousta I. 2021. Influence of atmospheric patterns and North Atlantic Oscillation (NAO) on vegetation dynamics in Iceland using Remote Sensing. *European Journal of Remote Sensing*, 54(1), pp 351-363. <https://doi.org/10.1080/22797254.2021.1931462>.
 24. Piri I, Khanamani A, Shojaei S, Fathizad H. 2017. Determination of the best geostatistical method for climatic zoning in Iran. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(1), pp 93-103. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aecer/1501_093103.
 25. Patel NR, Anapashsha R, Kumar S, Saha SK, Dadhwal VK. 2009. Assessing potential of MODIS derived temperature/vegetation condition index (TVDI) to infer soil moisture status, *International Journal of Remote Sensing*, 30(1), pp 23-39. <https://doi.org/10.1080/01431160802108497>.
 26. Shi Y, Zhang Y. 2018. Remote sensing retrieval of urban land surface temperature in hot-humid region. *Urban climate*, 24, pp 299-310. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.01.001>.
 27. Willmott CJ, Matsuura K. 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research*, 30(1), pp 79-82. <https://doi.org/10.3354/cr030079>.
 28. Zare khormizi H, Ghafarian Malamiri H.R. 2020. Investigation of phenological components changes of Iranian vegetation in response to climate change using NDVI products of AVHRR sensor from 1982 to 2018, *RS & GIS for Natural Resources (Vol. 11/ Issue 4)*, pp 87-112. <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=819418>. (In Persian).
 29. Zhang X, Zhao H, Yang J. 2019. Spatial downscaling of land surface temperature in combination with TVDI and elevation. *International Journal of Remote Sensing*, 40(5-6), pp 1875-1886. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1489164>.
 30. Zhang D, Tang R, Zhao W, Tang B, Wu H, Shao K, Li ZL. 2014. Surface soil water content estimation from thermal remote sensing based on the temporal variation of land surface temperature, *Remote Sensing*, 6(4), pp 3170-3187. <https://doi.org/10.3390/rs6043170>.



Investigating the capability of satellite-based indices in De Martonne climate classification method

Asiyeh Tayebi, Mohammad Hossein Mokhtari

Received: 2022-06-24 / Accepted: 2022-08-06 / Published: 2024-09-29

Abstract

Knowing the natural characteristics of each region, especially identifying the climate classes, plays an important role in planning and optimal use of natural resources. In the most climate classification methods, data such as temperature and precipitation are required. However, due to the fact that some areas do not have a ground synoptic station, and also because of the distance and cost, satellite data is used, which can be received at any time, place and free of charge. The purpose of this research is to investigate the climatic classification of Iran with satellite data, which was investigated in accordance with the climate map of De Martonne during the years 2016 to 2019. In this study, two MODIS sensor satellite products including normalized differential vegetation index images and land surface temperature and the data of global precipitation images obtained from the IMERG

algorithm were used.

The temperature-vegetation index was calculated from the combination of the two mentioned indices. The parameters used in the De Martonne climate map include the monthly average temperature and annual precipitation, which were used as the inputs of De Martonne method. The correlation between ground-based precipitation and satellite precipitation data, was 0.52. As well correlation between ground based temperature and satellite data was found to be 0.89. A kappa of %90 was obtained by comparing ground based and satellite based De Martonne maps. The highest climate class is belong to the arid climate (around 70%) and the lowest level is the Mediterranean climate with less than 5%.

Background and purpose

Climatic data obtained from synoptic stations cannot be easily generalized to areas with sparsely located stations. For this reason, usually researchers are interested to estimated ground data from satellite data and using the pixel value of these data. For this purpose, satellite data has been used for climate classification. The purpose of this research is to create a climate classification map based on De Martonne from satellite data as

Asiyeh Tayebi¹, Mohammad Hossein Mokhtari²✉

1. Master of Remote Sensing and GIS, School of Humanities, University of Yazd, Iran

2. Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Department of Arid and Desert Management, Yazd University

DOI: 10.30495/girs.2022.693373

E-mail: mh.mokhtari@yazd.ac.ir

ancillary data. for this, data over 3 years (April 2016 to March 2019) were used.

Research Methods

According to the objectives of the research to, two climatic parameters, namely temperature data and precipitation on a monthly scale, have been obtained from the Meteorological Organization. Then, average temperature and annual precipitation were calculated through Excel software. To carry out this research, Ts (MOD11A2) products, NDVI (MOD13A3) products from TERRA / MODIS sensor and daily rainfall images from IMERG data were used. To calculate temperature-vegetation index, Ts and NDVI indices are combined in the scatter diagram and the desired index is calculated. Due to the coverage of 35 km of Sinopitec stations, this distance has been applied to the images, which has provided the highest correlation with meteorological data; De Martonne climate profile has been chosen as the research climate method, which uses only two average parameters of temperature and precipitation. Pearson's correlation coefficient (rp), coefficient of determination (R²) and kappa coefficient were used for zoning the data from interpolation methods and for evaluating the results of satellite data with the results of statistics and meteorological information.

Results and discussion

In order to interpolation of ground data, Ilwis 3.3 software were used. Among the performed methods, the cokriging method was found to be a suitable method for interpolating annual rainfall data compared to other methods. The rest of the data in different time periods were interpolated using the kriging method. In this research, it was observed that the average annual temperature of the country from April 13, 2015 to April 11, 2018 is 18.16 degrees Celsius and the average annual rainfall is 222.97 mm. In addition, altitudes higher than 1500 meters in the northern part of country, have the lowest surface temperature and its value is 12.38 degrees Celsius; and average Ts with a temperature of 32.91 degrees Celsius are located in the desert areas of Iran. According to IMERG data showed that Iran experienced an average rainfall of 330.09 mm during the study period. The highest rainfall occurred in some parts of the north in Mazandaran and Ardabil provinces, in the west and neighboring provinces and in the south, and the lowest rainfall occurred in desert areas. Average seasonal rainfall was estimated at 128.38 mm in

winter and 5.53 mm in summer. The lowest rainfall in both seasons was related to the desert areas of Iran.

Pearson's correlation coefficient and R² coefficient of determination were used to investigate the relationship between meteorological climate parameters and satellite data. All meteorological climatic parameters were defined as independent variables and satellite indicators as dependent variables. Also, the correlation between average ground rainfall data and IMERG data was equal to 0.52. In addition, in checking air temperature with Ts, a strong correlation of 0.89 was obtained. At first, 143 synoptic stations were zoned by the De Martonne method. According to Figure 9.a) and Table 9, out of 6 climate groups of De Martonne in the studied period, 3 climate groups were recognized. Based on the results, two arid and semi-arid regions have the largest climatic extent with 70.62% and 27.03%, respectively, and the smallest climatic region belongs to the Mediterranean region with 2.34%. Arid climate is often located in areas where average precipitation and temperature are less than 300 mm and more than 18 degrees Celsius, respectively.

According to the results indicated in Table 10, the comparison of the estimated results of the De Martonne classification method using meteorological data with the results of satellite data showed a Kappa coefficient of 0.90 and accuracy of 93.76. have achieved. In both classifications, the desert areas of Iran were under the influence of arid climate and the areas located on the heights of Zagros were under the influence of semi-arid and Mediterranean climate. Also, the the area covered by Mediterranean climate climate class was found to be % 1.87 lower than other climate classes. According to the topography of the study region and its prevailing climatic diversity, in order to determine the precise border of climates and climate changes, downscaling can be used to change the pixel size of IMERG images from 10 to 1 km in future research

Conclusion

Climatic data from synoptic stations cannot be easily generalized to areas without stations that can be calculated through interpolation for points without stations. For this reason, pixel value of the satellite-derived indices were used to estimate the required parameters. Although De Martonne climate classification has not been done with satellite data, the results of this research are in some ways similar to the results of the mentioned

studies when ground data is used. For example, they have assigned the maximum climatic extent of Iran to arid and semi-arid climates and a some area to other climates. In the research presented by Moghari and Tang (11), the climate of most regions of Iran varies from arid to semi-arid and from arid to very humid. Mokhtari et al.'s research (21), indicated that the climate of Yazd is arid or semi-arid according to the De Martonne method. Piri et al. (24), a large part of the central regions of Iran has a arid and semi-arid climate, and factors such as being far from moisture sources and being in high pressure latitudes have had the greatest impact on it. Gholami et al. (9) investigated the climate of Manjil weather station in Gilan province and presented its climatic changes from semi-arid

to arid based on the De Martonne method. Imamian et al. (8) introduced the climate of Khorasan-e-Razavi province from arid to semi-arid according to the De Martonne method. The limitations of this research that have influenced the accuracy of the research results include: the presence of clouds and the lack of data in the form of pixel values of the images; which caused the average value of 35 kilometers around the station points to be used. Also, the volume and number of data increased the need for data pre-processing.

Key words: Climate, Modis, precipitation, De Martonne.

Please cite this article as: Tayebi A, Hossein Mokhtari M. Investigating the capability of satellite-based indices in De Martonne climate classification method. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 15(2): 89-111.