




Climatology of Iran's Albedo using MODIS Data

Kefayat Motlagh, O. R.¹  | Darand, M.¹  

1. Department of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Corresponding Author E-mail: m.darand@uok.ac.ir

(Received: 27 May 2023, Revised: 17 Sep 2023, Accepted: 9 Jan 2024, Published online: 6 July 2024)

Summary

Albedo is one of the key parameter in climatic studies. Albedo climatology investigation can be a tool to recognize environmental changes. The MODIS continuously produces the land surface albedo on a global scale and with the appropriate spatial resolution and makes it available to researchers. In this research, in order to analyze the climatology albedo of Iran, firstly, the data produced by the MODIS sensor MCD43A4 product in the range of Iran in the period from 1/1/2001 to 12/30/2021 with a spatial resolution of 500 meters and a daily temporal resolution was taken from the NASA website. After the necessary pre-processing, the long-term average monthly, seasonal and annual albedo of Iran was calculated. The findings on a monthly scale showed that in the months of Jan, Feb, and Mar which are known as Iran's snow-covered months, Iran's albedo is maximum and is decreased in the transition months, and then in the warm months of the year (June, July, and Aug) it is increased again due to the dryness of the land and the increase in the land surface temperature. This two-way behavior is also evident in the seasonal scale. These calculations are made in the worst conditions (July) over 98% of the area of Iran and in the best conditions (Jan) on 99.97% of the area of Iran. In other words, in the July, the albedo time series data was complete for about 98% of Iran's area, and there was a statistical gap in about 2% of Iran's area. In the research of Kefayat Motlagh et al. (2021), the albedo data gap values of the MODIS sensor have been investigated in different seasons and annually. Results show that the maximum distribution of albedo in winter and autumn seasons corresponds to the snow-covered heights of Alborz, Zagros and the northwest of the country. But in the spring and especially in the summer, with the increase in air temperature and surface temperature, most of the wetlands dry up. With the drying of the bottom of Jazmurian, Hamon, Shadgan, Maharlo and salt lakes and Urmia, salt flats appear. These salt marshes also show a high albedo due to their white color. On the coastal of the Caspian Sea, low albedo is seen due to the decrease in land surface temperature and increase in soil moisture. This part of the research is in harmony with the findings of other studies conducted on the land surface albedo of Iran (Soltani Akmal, 1397; Kefayat Motlagh, 1400; Karbalaee, 1399). Also, the findings showed that the long-term average albedo of Iran is 12.5%, which is about half of the average planetary albedo (24%) (Zhang et al., 2010). This part of the research is also in line with the research of Karbalaee et al. (2021).

Keywords: Albedo, Iran, Snow, land surface temperature, MODIS.

Cite this article: Kefayat Motlagh, O. R., & Darand, M. (2024). Climatology of Iran's Albedo using MODIS Data. *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(2), 373-386. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.356816.1007512>

E-mail: (1) o.kefayatomotlagh@uok.ac.ir



Publisher: University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.356816.1007512>

Print ISSN: 2538-371X
Online ISSN: 2538-3906

آب و هواشناسی سپیدایی ایران با داده‌های مودیس

امیدرضا کفایت مطلق^۱ | محمد دارند^۱ ✉

۱. گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: m.darand@uok.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۲/۳/۶، بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۲۶، پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۰/۱۹، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۴/۱۶)

چکیده

سپیدایی از فراسنج‌های کلیدی در مطالعات آب و هوایی می‌باشد. بررسی آب و هواشناسی سپیدایی می‌تواند ابزاری برای شناخت تغییرات محیطی باشد. سنجنده مودیس سپیدایی سطح زمین را به‌طور مستمر در مقیاسی جهانی و با قدرت تفکیک مکانی مناسب تولید و در دسترس پژوهشگران قرار می‌دهد. در این پژوهش جهت واکاوی آب و هواشناسی سپیدایی ایران، نخست داده‌های فرآورده MCD43A4 سنجنده مودیس در محدوده ایران در بازه زمانی ۲۰۰۱/۱/۱ تا ۲۰۲۱/۱۲/۳۰ با تفکیک مکانی ۵۰۰ متری و تفکیک زمانی روزانه از وبگاه ناسا برداشت شد. پس از پیش پردازش‌های لازم، میانگین بلندمدت ماهانه، فصلی و سالانه سپیدایی ایران محاسبه شد. یافته‌ها در مقیاس ماهانه نشان داد که در ماه‌های سرد سال (Jan, Feb, Mar) که ماه‌های برف‌پوش ایران شناخته می‌شوند، سپیدایی ایران بیشینه شده و ماه‌های گذار فروکش کرده و سپس در ماه‌های گرم سال (June, July, Aug) به‌سبب خشکی زمین و افزایش دمای رویه زمین دوباره افزایش می‌یابد. این رفتار دو سویه در مقیاس فصلی نیز آشکار است. به‌طوری‌که سپیدایی ایران در فصول زمستان و تابستان بیشینه و در فصول بهار و پاییز (فصول گذار) کمینه می‌باشد. همچنین یافته‌ها گویای آن است که میانگین بلندمدت سپیدایی ایران حدود ۱۲/۵ درصد است. با آگاهی از محدودبودن پوشش برفی ایران، پایین‌بودن سپیدایی ایران طبیعی به‌نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: سپیدایی، ایران، برف، دمای رویه زمین، مودیس.

۱. مقدمه

یخ‌های قطب جنوب (اخیراً یک درصد در سال میزان سپیدایی افزایش داشته است)، به‌دلیل کاهش سطح پوشش برف (سولومون، ۲۰۰۷) و حتی ابرناکی، انرژی کمتری به فضا بازتاب می‌شود. یا به بیانی میزان سپیدایی رفتاری کاهش یافته است. همین عامل به گرمایش زمین در سطح جهان می‌افزاید که در این میان سرزمین ایران از این قاعده مستثنا نمی‌باشد. ابزارهای جدید ماهواره‌ای، اطلاعات فراوانی را در مورد سپیدایی سطح زمین تولید کرده‌اند. این داده‌ها نشان می‌دهند که چه مقدار از تابش خورشید از سطح زمین بازتاب شده است (پینی و همکاران، ۲۰۰۵). بر همین اساس پژوهشگران زیادی به‌منظور آب و هواشناسی سپیدایی رویه زمین از داده‌های دورسنجی استفاده کرده‌اند (جکسون و همکاران، ۱۹۸۷؛ مایگنان و همکاران، ۲۰۰۴؛ مولر، ۲۰۰۶؛ روتان و همکاران، ۲۰۰۹؛ هی و همکاران، ۲۰۱۴b؛ وانگ و

سپیدایی سطح فراسنجی است که نسبت میان تابش خورشیدی بازتاب شده از سطح زمین به تابش خورشیدی فرود آمده بر آن را نشان می‌دهد. این فراسنج در تنظیم ترازمندی تابشی سطح زمین نقش بسیار مهم دارد. تغییرات زمانی و مکانی سپیدایی سطح زمین بسیار زیاد است. با تغییر پوشش زمینی و وضعیت سطح تغییرات چشم‌گیری در سپیدایی سطح رخ می‌دهد مثلاً برف (هی و همکاران، ۲۰۱۳)، پوشش گیاهی (لیونس و همکاران، ۲۰۰۸؛ لاری و همکاران، ۲۰۱۱)، گسترش شهرها (آفریل و همکاران، ۲۰۰۵؛ هو و همکاران، ۲۰۱۹؛ گوا و همکاران، ۲۰۲۲)، رطوبت خاک (گاورتس و لاتانزیو، ۲۰۰۸، ژو و همکاران، ۲۰۱۱) اثر چشم‌گیری بر سپیدایی دارد (هی و همکاران، ۲۰۱۴a). مهم‌ترین پیامد معنی‌دار و قابل پیش‌بینی در خصوص سپیدایی، از طریق گرمایش جهانی قابل مشاهده است. مطالعات نشان داده‌اند که به استثنای

استناد: کفایت مطلق، امیدرضا و دارند، محمد (۱۴۰۳). میانگین بلندمدت سپیدایی سطح زمین بر روی ایران در دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۱ با داده‌های مودیس. مجله فیزیک زمین و فضا، ۵۰(۲)، ۳۷۳-۳۸۶. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.363736.1007552>

رایانامه: (۱) o.kefayatmotlagh@uok.ac.ir

تا ۱۰ درجه شمالی دیده می‌شود. همچنین نتایج حاکی از آن است که تغییرات فصلی سپیدایی سطح زمین در کمربندهای مداری نیمکره شمالی بیشتر از نیمکره جنوبی است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). در پژوهشی دیگر تغییرات زمانی-مکانی سپیدایی فلات تبت طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۲ بررسی شد. نتایج آب و هواشناسی ماهانه نشان داد که در ماه‌های ژانویه و فوریه سپیدایی فلات تبت به حدود ۲۸ درصد می‌رسد اما در ماه‌های آگوست و سپتامبر کمینه شده و به حدود ۱۸ درصد می‌رسد. بررسی‌های مکانی نشان داد که نواحی غربی فلات نسبت به نواحی شرقی سپیدایی بالاتری دارند. از این رو بالاترین سپیدایی (بیش از ۴۰ درصد) در نواحی شمال غربی فلات تبت و پایین‌ترین مقادیر (کمتر از ۱۵ درصد) در نواحی جنوب شرقی فلات تبت دیده می‌شود. بطور کلی طی بازه ۳۴ ساله میانگین سپیدایی فلات تبت ۲۲ درصد برآورد شد که هماهنگ با پژوهش لین و همکاران (۲۰۲۰) می‌باشد. ایشان بر مبنای داده‌های مودیس میانگین سپیدایی فلات تبت را ۲۱ درصد برآورد کرده‌اند. همچنین نتایج گویای آن است که بالاترین سپیدایی سطحی در مناطق کوهستانی از جمله هیمالیا، کاراکورام، کونلون، ناینچن، تانگولا و قیلیان که سطح آن توسط یخچال‌های طبیعی چند ساله و برف‌های دائمی پوشیده شده، توزیع شده است. پایین‌ترین سپیدایی نیز در جنوب شرقی فلات قرار داشت، جایی که کوه‌های هنگدوان پوشیده از جنگل‌های انبوه است (پانگ و همکاران، ۲۰۲۲).

ایران به دلیل گستردگی زیاد به لحاظ طول و عرض جغرافیایی و تنوع در پیکربندی ناهمواری‌ها از نظر سپیدایی شرایط ویژه‌ای دارد. هر یک از پدیده‌های جغرافیایی میزان سپیدایی خاص خود را دارند و بسته به نوع پوشش سطح زمین میزان سپیدایی سطح تغییر می‌کند. به‌طور کلی مقدار سپیدایی کلی زمین حدود ۰/۳۱ است. بنابراین با آگاهی از میزان سپیدایی هر نقطه می‌توان شناخت دقیقی از پدیده‌های سطح زمین داشت. سپیدایی تحت تأثیر عرض جغرافیایی، ارتفاع و توده‌های هوا قرار دارد، به‌طوری‌که با تغییر هر یک از این عوامل، سپیدایی

همکاران، ۲۰۱۸؛ کریر و همکاران، ۲۰۲۱؛ منگیو و همکاران، ۲۰۲۳).

واکاوای آب و هواشناسی سپیدایی سطح زمین می‌تواند تغییرات محیطی را آشکار کند و اطلاعات ارزشمندی برای مدل‌سازی آب و هوایی فراهم آورد. از این رو پژوهش‌های زیادی بر روی آب و هواشناسی سپیدایی سطح زمین انجام شده است. در پژوهشی میانگین سپیدایی سطح زمین در کمربندهای ۲ درجه‌ای عرض جغرافیایی از ۱ آوریل ۱۹۷۴ تا ۳۱ مارس ۱۹۷۵ بررسی شد. نتایج اولیه نشان داد که بیشینه سپیدایی در کمربند قطبین و کمینه آن در کمربند استوایی دیده می‌شود. کمربند ۸۰-۹۰ درجه قطب جنوب در تمام ماه‌های سال سپیدایی بالای ۸۰ درصد را تجربه می‌کنند، در حالی که همین کمربند در قطب شمال سپیدایی ۶۰-۸۰ درصد دیده می‌شود. این تفاوت ناشی از گستردگی و ستبرای کلاهک‌های یخی قطب جنوب نسبت به قطب شمال است (کوکلا و رایبسون، ۱۹۸۰). افزایش سپیدایی سطح زمین در طول خشکسالی دهه ۸۰ منطقه ساحل آفریقا مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه سپیدایی سطح از سال ۱۸۸۴ که خشک‌ترین سال دهه ۸۰ بوده با سال ۲۰۰۳ که میزان بارش مشابهی نسبت به شرایط پیش از خشکسالی دهه ۸۰ داشت، نشان داد که کمبود بارندگی موجب افزایش سپیدایی سطح در طی خشکسالی‌های دهه ۸۰ شده و تفاوت مقدار سپیدایی بین سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۰۳ برابر با ۰/۰۶ بوده است (گاورتس و لاتانزیو، ۲۰۰۸). در پژوهشی تغییرات سالانه و ماهانه میانگین سپیدایی سطح زمین در کمربندهای عرض جغرافیایی طی دوره زمانی ۲۰۰۸-۲۰۰۰ با داده‌های مودیس بررسی شد. نتایج نشان داد که این تغییرات بین عرض‌های ۵۰ درجه جنوبی تا ۳۰ درجه شمالی بسیار اندک است. بیشترین تغییرات فصلی سپیدایی بین عرض‌های ۳۰ تا ۷۰ درجه شمالی رخ می‌دهد؛ علت این تغییرات فنولوژی است. در نیمکره جنوبی بیشترین تغییرات فصلی بین عرض ۵۰ تا ۷۰ درجه جنوبی دیده می‌شود که علت آن تغییرات فصلی پوشش برف و یخ است. کمترین مقدار سپیدایی بین عرض ۱۰ درجه جنوبی

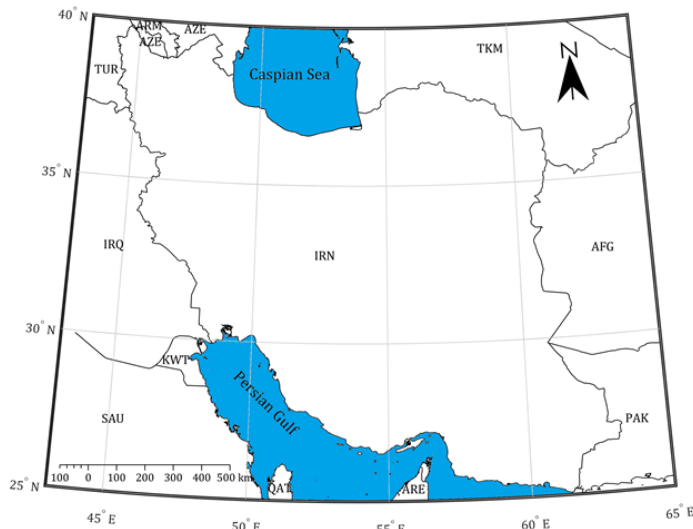
هواشناسی سپیدایی می‌توان به تغییرات محیطی پی برد. مطالعه سپیدایی سطح زمین در شمار زیادی از پژوهش‌های پیشین برای یک دوره نسبتاً کوتاه یا بر روی پهنه‌ای محلی انجام شده، اما در این پژوهش سپیدایی برای یک دوره بلندمدت (۲۰۲۱-۲۰۰۱) بررسی شده است. افزون بر این، این پژوهش در گستره وسیع کشور ایران انجام شده است. از این رو می‌تواند به عنوان یک پژوهش جامع در خصوص تحلیل فضایی-زمانی سپیدایی سطح زمین به شمار رود.

۱-۱. منطقه مورد مطالعه

آشنایی به موقعیت جغرافیایی هر کشور کلید درک بسیاری از مسائل جغرافیایی آن کشور است. بدین جهت سرزمین ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع مابین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). ایران از لحاظ آب و هوایی یکی از منحصر به فردترین کشورهای جهان محسوب می‌شود و در برخی نواحی آن چهار فصل به‌خوبی نمایان است. میانگین سالانه بارش ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر است اما بارش دریافتی مناطق کویری از ۵۰ میلی‌متر هم کمتر است. در حالی که در برخی نقاط سواحل دریای خزر بارش سالانه به ۱۸۰۰ میلی‌متر هم می‌رسد. از سوی دیگر ایران از نظر دمایی نیز بسیار متنوع است. دلیل این تنوع دمایی، همسایگی خشکی ایران با دو توده بزرگ آب در شمال و جنوب، گستردگی در عرض جغرافیایی و تنوع ناهمواری است. میانگین دمای ایران ۱۸ درجه سلسیوس است که نسبت به میانگین جهانی ۳ درجه سلسیوس بزرگ‌تر است. در نتیجه ایران گذشته از فقر بارش از گرمای بالایی نیز برخوردار است (مسعودیان، ۱۳۹۰). از کل مساحت ایران به‌طور میانگین تنها ۲ درصد آن پوشیده از برف است و فراوانی روزهای برف‌پوشان در ایران کمتر از ۲۰ روز در سال است (کیخسروی کیانی، ۱۳۹۵). بنابراین تنوع، ویژگی ذاتی آب و هوای ایران است و هیچ کدام از عناصر آب و هوایی تصویر همگنی نمی‌دهد.

نیز تغییر خواهد کرد. به‌عبارت دیگر، شرایط کلی سپیدایی تابعی از زاویه تابش و ارتفاع است و عوامل دیگری مانند دما، ابرناکی، پوشش گیاهی، رطوبت خاک و حتی نوع خاک در سپیدایی هر مکان نقش دارند. در ایران پژوهش‌های زیادی در مقیاس محلی بر روی سپیدایی انجام شده است (اکبرزاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ خیرخواه زرکش و همکاران، ۱۳۹۳؛ تازیگ و همکاران، ۱۳۹۴؛ فیروزی و همکاران، ۱۳۹۷؛ اسدی و همکاران، ۱۳۹۹). در برخی از پژوهش‌ها نیز سپیدایی در مقیاس کلان مطالعه شده است (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ سلطانی‌اکمل، ۱۳۹۷؛ کربلایی، ۱۳۹۹؛ کفایت‌مطلق، ۱۴۰۰). اما در پژوهش‌های اندکی آب و هواشناسی سپیدایی ایران بررسی شده است. برای نمونه در پژوهشی روند سپیدایی ایران با داده‌های مودیس (MOD43A3) طی دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۰ بررسی شد. نتایج نشان داد که نرخ کاهش سپیدایی و شمار روزهای برفی (SCD) در ایران به ترتیب ۰/۰۲- و ۰/۵۲- در هر دهه بوده است در حالی که نرخ افزایش NDVI و LST در ایران به ترتیب ۰/۰۰۹ و ۰/۰۷- در هر دهه می‌باشد. همچنین ضرایب روند سپیدایی در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب ۲/۱-، ۱/۴۷-، ۰/۶۳- و ۱/۱۹- به‌دست آمد که این موضوع بیانگر کاهش سپیدایی ایران در تمام فصول می‌باشد (کربلایی و همکاران، ۲۰۲۲). از آنجایی که سپیدایی متغیر فیزیکی بسیار مهمی در مطالعات زیست‌محیطی، هواشناسی و بیلان تابشی محسوب شده و بر حیات زیست‌بوم‌های گیاهی و حیوانی تأثیرگذار است، لازم است میانگین بلندمدت سپیدایی ایران بررسی شود و آشکار شود که میانگین بلندمدت ماهانه، فصلی و سالانه سپیدایی ایران چقدر است؟ در چه مناطقی از ایران سپیدایی بیشینه و در چه مناطقی کمینه است؟ بیشینه/کمینه بودن سپیدایی در گستره کشور دستخوش چه فراسنجی است؟ آیا سپیدایی در گستره کشور تنها وابسته به برف است، یا فراسنج دیگری نیز دخیل است؟

پاسخ به هر یک از این پرسش‌ها به شناخت جغرافیایی کشور کمک شایانی می‌کند. چرا که با مطالعه آب و



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

زیر به دست می‌آید:

$$BRDF = f_r(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r; \Lambda) = \frac{dL_r(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r; E_i)}{dE(\theta_i, \phi_i)} \quad (1)$$

واحد این تابع بر استرادیان (sr^{-1}) بوده و $\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r$ به ترتیب زوایای زینت و آزیموت مربوط به راستای نوردهی و دید هستند. $E(\theta_i, \phi_i)$ تابش فرودی در راستای معین و $L_r(\theta_i, \phi_i; \theta_v, \phi_v; E_i)$ بازتاب در راستای دید می‌باشد (نیکودموس و همکاران، ۱۹۷۷؛ استرالر و همکاران، ۱۹۹۹).

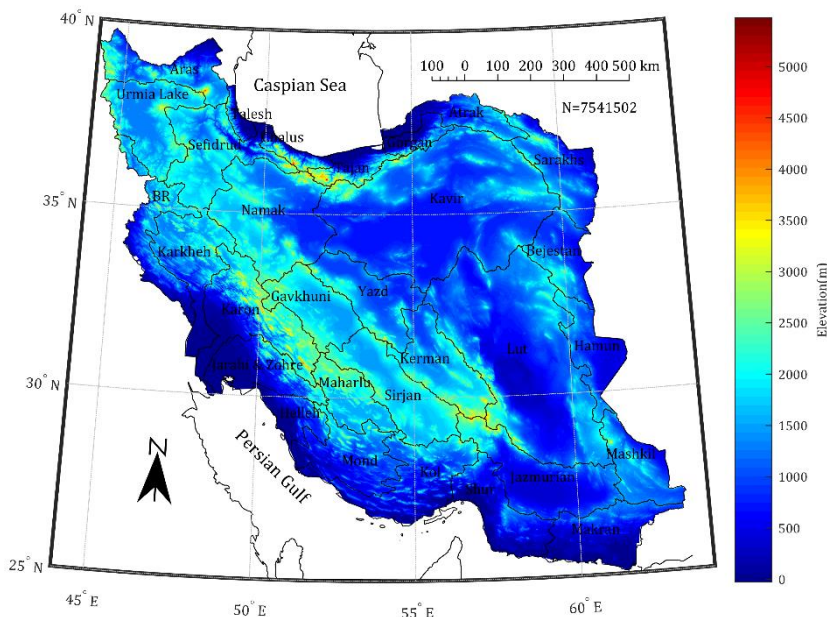
۲-۲. مدل رقومی ارتفاع

از آنجایی که ارتفاع نقش چشم‌گیری بر روی سپیدایی دارد، برای درک بهتر از داده‌های مدل رقومی ارتفاع برای منطقه مورد مطالعه بهره گرفته شد. سیستم تصویر و تفکیک مکانی این داده‌ها منطبق بر داده‌های سپیدایی، سینوسی و ۵۰۰ متر انتخاب شده است. در شکل ۲ مدل رقومی ارتفاع بر روی ۳۰ زیرحوضه آبریز ایران نشان داده شده است. بر اساس این داده‌ها کمترین مدل رقومی ارتفاع ۲۹- متر در سواحل دریای خزر و بالاترین آن ۵۴۷۶ متر در ارتفاعات حوضه آبریز Tajan مشاهده می‌شود که به قله دماوند معروف است. میانگین ارتفاع ایران ۱۲۵۰ متر است به همین دلیل از آن به‌عنوان فلات ایران نام برده می‌شود.

۲. داده و روش‌ها

۲-۱. سپیدایی سطح زمین

سنجنده مودیس در تاریخ ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ با موفقیت توسط سازمان ناسا به فضا پرتاب شد. این سنجنده بر روی دو ماهواره Terra و Aqua نصب شده است. این دو ماهواره هر روز دو بار از تمام سطح زمین تصویر برداری می‌کنند و داده‌هایی در ۳۶ باند طیفی (طول موج‌های ۴/۴-۰/۱۴ میکرومتر) با قدرت تفکیک ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری برداشت می‌کنند (وبگاه ناسا، ۲۰۱۹). در این پژوهش داده‌های روزانه فراورده MCD43A4 با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر در بازه زمانی ۲۰۰۱/۱/۱ تا ۲۰۲۱/۱۲/۳۰ میلادی به مدت ۷۶۷۰ روز از وبگاه ناسا استخراج شد. این محصول از تابع توزیع بازتابندگی دو راستایی BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) استفاده می‌کند. تابع توزیع بازتابندگی دو راستایی تعیین می‌کند که وقتی انرژی تابشی از راستایی معین به سطحی برخورد می‌کند، چه میزان از آن در راستای معین دیگر، بازتاب می‌شود. بنابراین تابع توزیع بازتابندگی دو راستایی تابعی از زوایای نوردهی و دید است. وقتی انرژی تابشی خورشید بر سطحی فرود می‌آید، بسته به ویژگی‌های فیزیکی سطح، طول موج‌های مختلف به مقادیر مختلف جذب، بازتاب و یا گذر داده می‌شوند. این بدان معنی است که این تابع، تابعی از طول موج می‌باشد و از رابطه

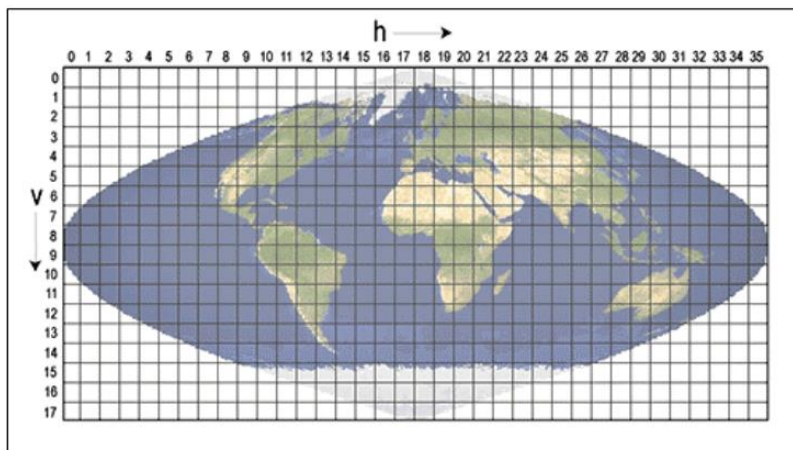


شکل ۲. مدل رقومی ارتفاع ایران.

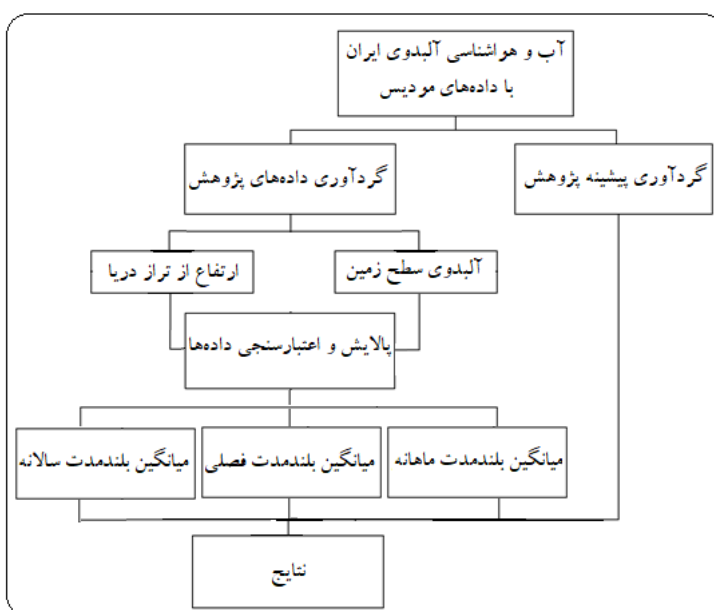
۳-۲. روش‌ها

اول و کاشی‌هایی که شماره وجه عمودی آنها ۶ بود در ردیف زیرین جای می‌گرفت (شکل ۳). در درون کاشی‌های هر یک از فرآورده‌ها، باندهای گوناگونی وجود دارد که هر یک از آنها نماینده بخشی از طیف الکترومغناطیس می‌باشد. از این رو دومین گام تعیین باند مناسب بود. در محصول MCD43A4 سپیدایی ۷ باند مختلف در دسترس می‌باشد. باند اول نماینده سپیدایی سرخ‌فام، باند دوم نماینده سپیدایی سبزفام، باند سوم نماینده سپیدایی آبی‌فام و می‌باشد (اسچف و همکاران، ۲۰۰۲؛ کامپوس-تایرنر و همکاران، ۲۰۱۸). از آنجایی که بیشترین تابش خورشید در دامنه نیم میکرومتری طیف الکترومغناطیس رخ می‌دهد، در این پژوهش از سپیدایی آبی‌فام بهره گرفته شد. در سومین گام Fill values و values scale بر روی داده‌ها اعمال شد. در گام چهارم با تابع inpolygon در نرم‌افزار متلب تنها داده‌هایی که درون کشور ایران بود، انتخاب شدند. در گام پنجم میانگین بلندمدت ماهانه، فصلی و سالانه سپیدایی ایران محاسبه شد. در ادامه مراحل انجام پژوهش نشان داده شده است (شکل ۴).

در این پژوهش برای خواندن داده‌های سنجنده مودیس از دستور hdfread در نرم‌افزار متلب بهره گرفته شد. داده‌های عددی این سنجنده به صورت کاشی‌های جداگانه در دسترس می‌باشند. چون هدف از این پژوهش بررسی آب و هواشناسی سپیدایی بر روی کل گستره ایران زمین بود، شش کاشی با نام‌های H21v05، H22v05، H23v05، H21v06، H22v06، H23v06 از میان همه کاشی‌های در دسترس، کل منطقه ایران را پوشش می‌داد. اندازه هر کدام از کاشی‌ها ۱۲۰۰×۱۲۰۰ کیلومتر می‌باشد. بنابراین نخستین گام عبارت بود از کنارهم گذاشتن این شش کاشی که به این کار در اصطلاح موزائیک کردن (Mosaic) کاشی‌ها می‌گویند. بدون کنار هم گذاشتن کاشی‌ها امکان ترسیم نقشه‌ها و پردازش آنها وجود نداشت. حرف H در کاشی نشانگر وجه افقی (Horizontal) و حرف V نیز نشان‌دهنده وجه عمودی (Vertical) هر کاشی است. شیوه موزائیک کردن کاشی‌ها به این ترتیب بود که کاشی‌هایی که شماره وجه عمودی آنها ۵ بود در ردیف



شکل ۳. جایگاه سینوسی کاشی‌های مودیس.

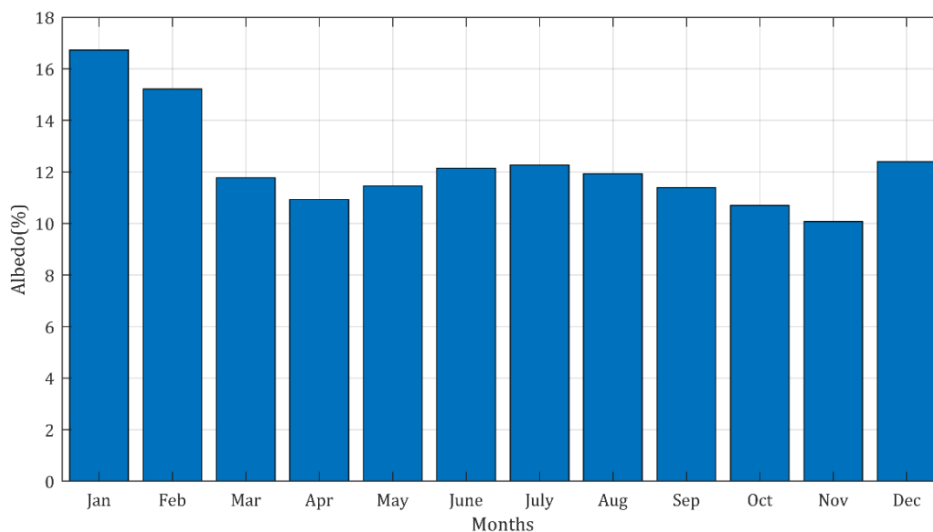


شکل ۴. مراحل انجام پژوهش.

۳. نتایج و بحث

برفی در ماه‌های گرم سال ذوب شده و این بیشینه شدن سپیدایی ناشی از پوشش برفی نیست بلکه به سبب خشک‌تر شدن زمین و افزایش دمای رویه زمین می‌باشد. این محاسبات در بدترین شرایط (July) بر روی ۹۸ درصد گستره ایران و در بهترین شرایط (Jan) بر روی ۹۹/۹۷ درصد گستره ایران انجام شده است. به عبارت دیگر در ماه July داده‌های سری زمانی سپیدایی برای حدود ۹۸ درصد گستره ایران کامل بوده و حدود ۲ درصد گستره ایران گپ آماری وجود داشته است. در پژوهش کفایت مطلق و همکاران (۱۴۰۰) مقادیر گپ داده‌های سپیدایی سنجنده مودیس در فصول مختلف و سالانه بررسی شده است.

شکل ۵، آب و هواشناسی سپیدایی ایران در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ماه‌های Jan، Feb و Des که به عنوان ماه‌های برف‌پوش کشور شناخته می‌شوند، سپیدایی ایران بیشینه است. در ماه‌های گذار میانگین سپیدایی ایران فروکش کرده و در ماه‌های گرم سال دوباره افزایش می‌یابد. این رفتار دو سویه (بایمودال) در برخی فراسنج‌های دیگر نیز دیده می‌شود. برای نمونه اگر بارندگی ایستگاه چابهار را در طول سال بررسی کنیم، این رفتار دوسویه به روشنی آشکار می‌شود. چرا که مقداری بارش در فصل زمستان و مقداری در فصل تابستان رخ می‌دهد. اما در اینجا پوشش



شکل ۵. آب و هواشناسی سپیدایی ایران در ماه‌های مختلف سال.

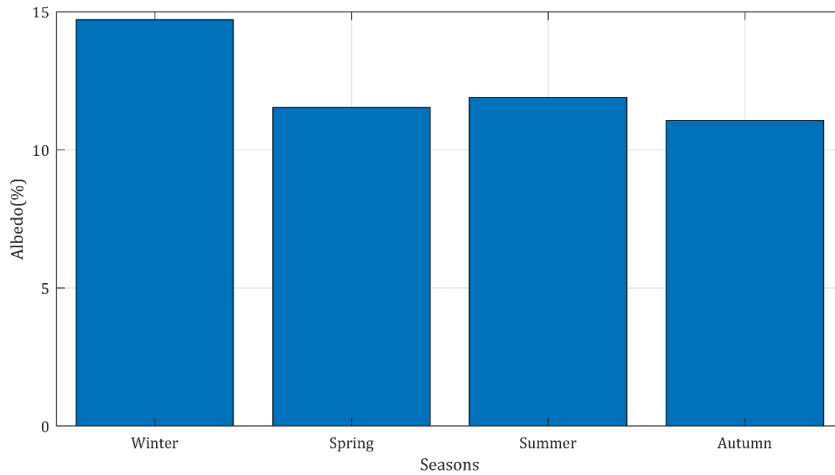
بهار به سبب گرم شدن هوا و ریزش‌های جوی مایع، پوشش برفی ایران ذوب شده و تنها لکه‌هایی در ارتفاعات البرز، زاگرس، سهند و سیلان دیده می‌شود. سپیدایی این نواحی به روشنی آن را نشان می‌دهد. اما در کویر نمک و دریاچه نمک نیز به سبب سپیدی رنگ سپیدایی بالایی دیده می‌شود. به طور کلی در فصل بهار دو عامل کاهش پوشش برف و افزایش پوشش گیاهی باعث کاهش سپیدایی ایران شده است (شکل ۷-ب). در فصل تابستان با افزایش دمای هوا و دمای رویه زمین بیشتر تالاب‌ها خشک می‌شوند. با خشک شدن کف تالاب‌های جازموریان، هامون، شادگان، مهارلو و دریاچه‌های نمک و ارومیه کفه‌های نمکی پدیدار می‌شوند. این نمک‌زارها و شورابه‌گیرها به سبب سپیدی رنگ سپیدایی بالایی را نشان می‌دهند. از سوی دیگر در سواحل دریای خزر به سبب بارندگی‌های تابستانه و رطوبت بالای خاک، سپیدایی پایینی مشاهده می‌شود. لکه‌های سفیدرنگ در جنوب هامون، جازموریان و سواحل دریای عمان مقادیر گپ آماری داده‌های سپیدایی را نشان می‌دهد (شکل ۷-ج). در این مناطق به دلیل گردوغبار و رطوبت بالای جو سنجنده نتوانسته سپیدایی را اندازه‌گیری کند و به عبارت دیگر سنجنده برای اندازه‌گیری سپیدایی با شکست مواجه شده است (کفایت مطلق و همکاران، ۱۴۰۰). در فصل پاییز

شکل ۶، آب و هواشناسی سپیدایی ایران در فصول مختلف سال را نشان می‌دهد. نتایج در مقیاس فصلی نیز نشان می‌دهد که در فصول سرد و گرم سال سپیدایی ایران بیشینه و در فصول گذار کمینه است. در فصل زمستان به سبب پوشش برفی سپیدایی ایران به حدود ۱۵ درصد می‌رسد. پس از زمستان میانگین سپیدایی ایران در فصول تابستان، بهار و پاییز به ترتیب ۱۲، ۱۱/۵ و ۱۱ درصد می‌باشد. گذشته از مایع بودن بارش‌ها در فصول گذار، یکی دیگر از دلایل کاهش سپیدایی ایران در فصل بهار افزایش پوشش گیاهی ایران می‌باشد. نتایج پژوهش منتظری و کفایت مطلق (۱۳۹۷) هماهنگ با این بخش از پژوهش است.

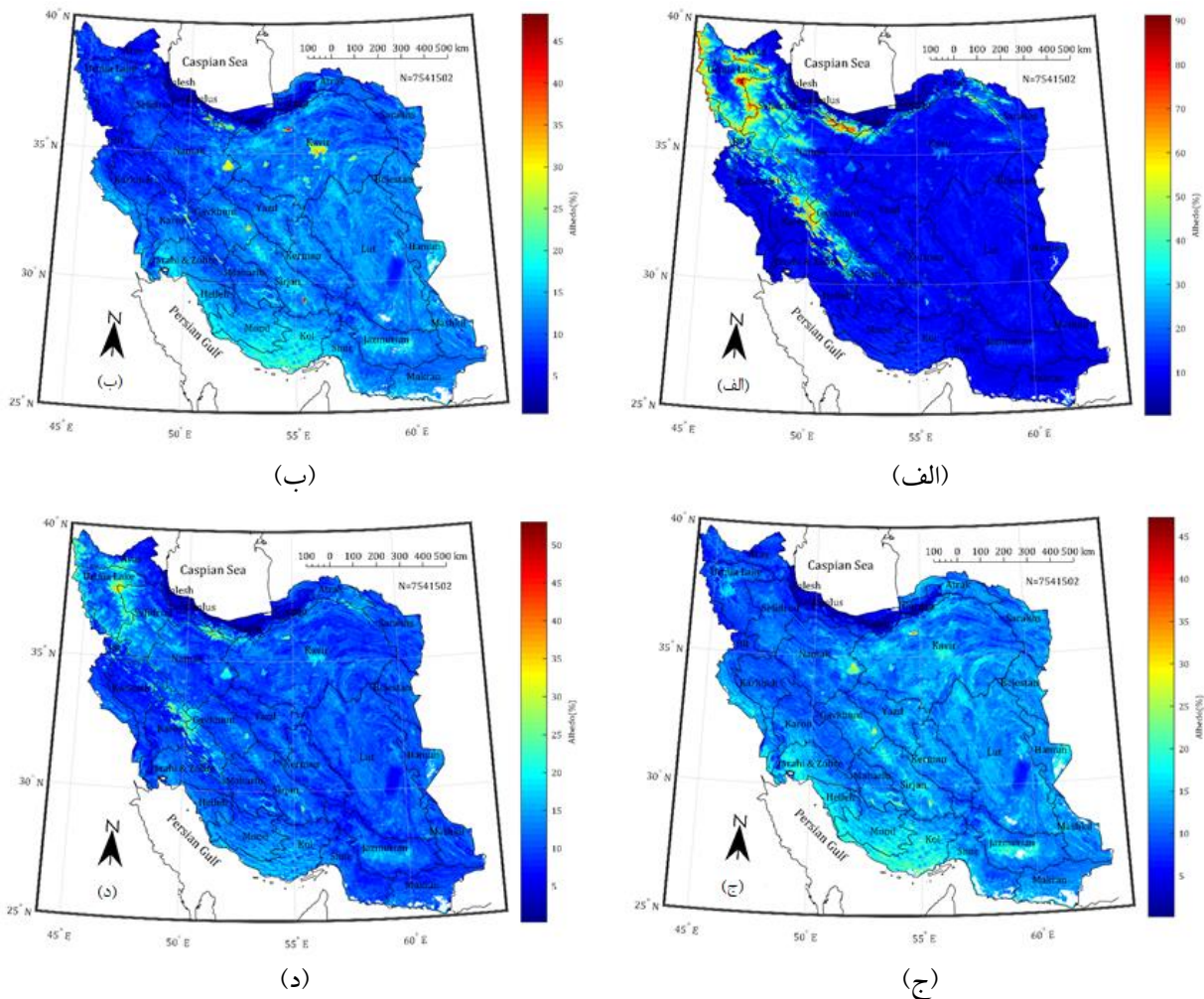
مقدار سپیدایی رویه زمین با جابه‌جایی فصول به صورت چشم‌گیر تغییر می‌کند. پراکنش این تغییرات در مکان‌های مختلف نیز متفاوت است. شکل ۷، پراکنش میانگین بلندمدت سپیدایی ایران در فصول مختلف سال را نشان می‌دهد. یافته‌ها نشان می‌دهد که در فصل زمستان که فصل برف‌پوشان ایران بوده (کیخسروی‌کیانی و مسعودیان، ۱۳۹۵)، سپیدایی در ارتفاعات شمال شرق، شمال غرب، البرز و زاگرس به بیش از ۵۰ درصد می‌رسد. اما در نواحی پست به سبب کاهش دمای رویه و کاهش رطوبت خاک سپیدایی مقدار ناچیز کمتر از ۲۰ درصد را نشان می‌دهد (شکل ۷-الف). در فصل

بالایی دیده می‌شود. اما با آنگیری دریاچه ارومیه از سپیدایی آن کاسته شده است. در تالاب‌های دیگر نیز مقدار سپیدایی به نسبت فصل تابستان کمتر شده است (شکل ۷-د).

ریزش‌های جوی در ارتفاعات البرز، زاگرس و سهند و سیلان به صورت جامد بوده است؛ در نتیجه این ارتفاعات سپیدایی بالایی را نشان می‌دهند. از سوی دیگر در دریاچه نمک، کویر نمک و جازموریان همچنان نیز سپیدایی



شکل ۶. آب و هواشناسی سپیدایی ایران در فصول مختلف سال.

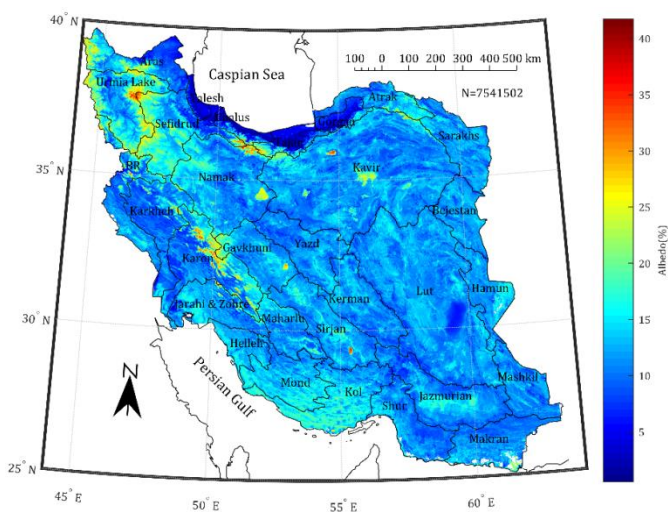


شکل ۷. میانگین بلندمدت سپیدایی در فصل زمستان (الف)، بهار (ب)، تابستان (ج) و پاییز (د).

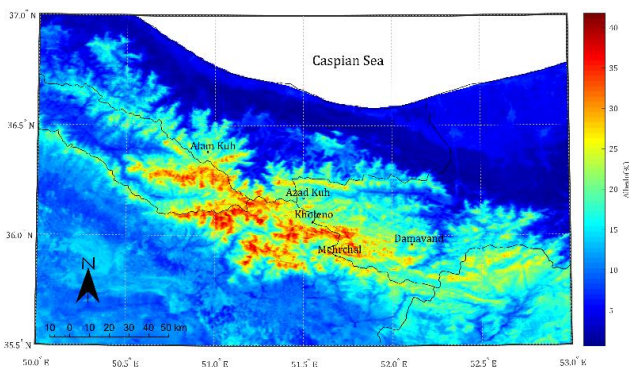
این مطالعه نزدیک به پژوهش کربلایی و همکاران (۱۴۰۰) می‌باشد. این به معنای نادرست بودن دیگر پژوهش‌ها نیست چراکه متفاوت بودن نوع سنجنده، تفکیک مکانی و زمانی و به‌ویژه نوع باند که بخش خاصی از طیف الکترومغناطیس را تعیین می‌کند؛ باعث تفاوت در برآورد سپیدایی شده است.

نتایج آب و هواشناسی سپیدایی سطح زمین در گستره ایران نشان داد که گذشته از پوشش برفی، پوشش نمکی دریاچه‌های نمک نیز سپیدایی بالایی را نشان می‌دهند. از این‌رو برای نمونه پراکنش سپیدایی در سطوح برفی رشته کوه‌های البرز (شکل ۹-الف) و پراکنش سپیدایی در سطوح نمکی دریاچه نمک قم (شکل ۹-ب) نشان داده شده است. بررسی‌های بیشتر نشان داد که مقدار سپیدایی در پوشش‌های نمکی با مقدار سپیدایی کوهپایه‌های برفی البرز برابری می‌کند. این نواحی دارای سپیدایی ۲۵ تا ۳۰ درصد هستند.

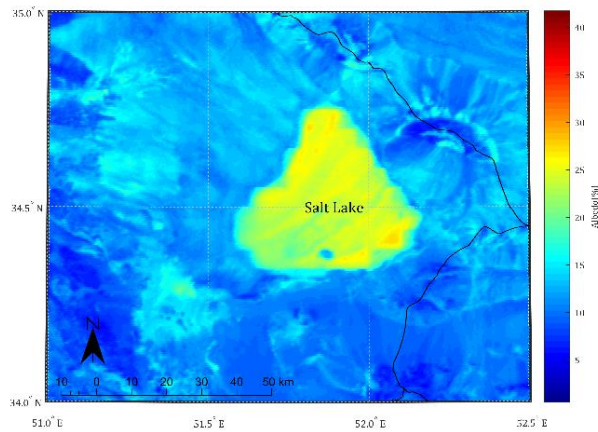
شکل ۸، میانگین بلندمدت سپیدایی ایران را نشان می‌دهد. به‌طور کلی بررسی آب و هواشناسی سپیدایی ایران طی دو دهه اخیر گویای آن است که بالاترین سپیدایی در ارتفاعات برف‌خیز البرز، زاگرس و شمال‌غرب کشور دیده می‌شود. گذشته از این در دریاچه‌های نمک و شورابه‌گیرها نیز سپیدایی بالایی مشاهده می‌شود. در سواحل خزر به‌سبب کاهش دمای رویه و افزایش رطوبت خاک سپیدایی پایینی دیده می‌شود. همچنین یافته‌ها نشان داد که میانگین بلندمدت سپیدایی ایران حدود ۱۲/۵ درصد است که بر اساس داده‌های سنجنده مودیس نیمی از میانگین سیاره‌ای (۲۴ درصد) می‌باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). سلطانی اکمل (۱۳۹۷) با استفاده از داده‌های AVHRR مقدار سپیدایی ایران را ۳۰ درصد، کفایت مطلق و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از داده‌های مودیس ۲۱ درصد و کربلایی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از این داده‌ها ۱۶ درصد برآورد کرده‌اند. از این‌رو



شکل ۸. میانگین بلندمدت سپیدایی ایران.



(الف)



(ب)

شکل ۹. پراکنش سپیدایی در پوشش برفی البرز (الف) و پوشش دریاچه‌های نمک (ب).

۴. نتیجه گیری

و افزایش رطوبت خاک سپیدایی پایینی دیده می‌شود. این بخش از پژوهش هماهنگ با یافته‌های سایر پژوهش‌های انجام شده بر روی سپیدایی ایران زمین است (سلطانی اکمل، ۱۳۹۷؛ کفایت مطلق و همکاران، ۱۳۹۹؛ کربلایی و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین یافته‌ها نشان داد که میانگین بلندمدت سپیدایی ایران ۱۲/۵ درصد است که حدود نیمی از میانگین سپیدایی سیاره‌ای (۲۴ درصد) است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). این بخش از پژوهش نیز در راستای نتایج و یافته‌های پژوهش کربلایی و همکاران (۱۴۰۰) می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح شماره «۴۰۰۵۰۹۶» انجام شده است.

مراجع

اسدی، م.؛ ولزاده کامران، خ.؛ باعقیده، م.؛ ادب، ح. (۱۳۹۹). مقایسه و تخمین سپیدایی سطوح مختلف کاربری اراضی با استفاده از روش سبال و متریک. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰(۵۹)، ۱۵۷-۱۷۱.

اکبرزاده، م.؛ مباحثی، م. ر. و فاطمی، س. ب. (۱۳۹۲). ارزیابی محصولات آلبیدوی ۱۶ روزه MODIS با

در این پژوهش برای بررسی آب و هواشناسی سپیدایی ایران از داده‌های روزانه باند سوم فرآورده MCD43A4 سنجنده مودیس در دوره ۲۰۰۱/۱/۱ تا ۲۰۲۱/۱۲/۳۰ با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر بهره گرفته شد. پس از انجام پیش پردازش داده‌ها، میانگین بلندمدت ماهانه، فصلی و سالانه سپیدایی ایران محاسبه شد. آب و هواشناسی ماهانه سپیدایی نشان داد که در ماه‌های Jan، Feb و Mar که ماه‌های برف‌پوش ایران شناخته می‌شوند، سپیدایی ایران بیشینه شده و در ماه‌های گذار فروکش کرده و سپس در ماه‌های گرم سال (June, July, Aug) به سبب خشکی زمین و افزایش دمای رویه زمین دوباره افزایش می‌یابد. این رفتار دو سویه در مقیاس فصلی نیز آشکار است. آب و هواشناسی سپیدایی ایران در فصول زمستان، تابستان، بهار و پاییز به ترتیب ۱۵، ۱۲، ۱۱/۵ و ۱۱ درصد می‌باشد. پراکنش بیشینه سپیدایی در فصول زمستان و پاییز منطبق بر ارتفاعات برف‌خیز البرز، زاگرس و شمال غرب کشور می‌باشد. اما در فصول بهار و به‌ویژه تابستان با افزایش دمای هوا و دمای رویه زمین بیشتر تالاب‌ها خشک می‌شوند. با خشک شدن کف تالاب‌های جازموریان، هامون، شادگان، مهارلو و دریاچه‌های نمک و ارومیه کفه‌های نمکی پدیدار می‌شوند. این نمک‌زارها و شورابه‌گیرها نیز به سبب سپیدی رنگ سپیدایی بالایی را نشان می‌دهند. در سواحل خزر به سبب کاهش دمای رویه

- استفاده از آلبدوی ASTER در مناطق نیمه خشک با پوشش همگن. *پژوهش های اقلیم شناسی*، ۱۳(۴)، ۸۵-۹۶
- تازیک، ا.؛ رضایی، ع.؛ آبکار، ع.؛ علوی پناه، س. ک.؛ جهانتاب، ز. و رحمتی، ع. ر. (۱۳۹۴). برآورد تابش کل لحظه ای طول موج کوتاه خورشید با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنجنده مودیس (مطالعه موردی: مناطق مرکزی ایران). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۶(۱)، ۱۷-۳۰.
- حجازی زاده، ز.؛ بزمی، ن.؛ رحیمی، ع. ر.؛ طولابی نژاد، م. و بساک، ع. (۱۳۹۶). مدل سازی فضایی-زمانی سپیدایی در گستره ایران زمین. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۷(۴۷)، ۱-۱۷.
- خیرخواه زرکش، م. م.؛ محبوبیان، ع. و حصادی، ه. (۱۳۹۳). مقایسه مقایر برآوردی آلبدوی سطحی به دست آمده از تصاویر لندست و مودیس. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۲۵(۲)، ۳۹-۴۸.
- سلطانی اکمل، ف. (۱۳۹۷). آب و هواشناسی سپیدایی ایران به کمک داده های CDR. *پایان نامه کارشناسی ارشد*، به راهنمایی سید ابوالفضل مسعودیان و مجید منتظری. اصفهان: دانشگاه اصفهان، گروه آب و هواشناسی.
- فیروزی، ف.؛ طاوسی، ت.؛ محمودی، پ. و امیرجهانشاهی، س. م. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات زمانی-فضایی آلبدوی سطح بر روی دشت سیستان در شرق ایران با استفاده از تولیدات سنجنش از دور و سنجنده MODIS ماهواره Terra. *سنجش از دور و GIS ایران*، ۱۰(۴)، ۸۵-۶۹.
- کربلایی درئی، ع. ر.؛ حجازی زاده، ز. و مسعودیان، س. ا. (۱۴۰۰). واکاوی زمانی-مکانی سپیدایی روشن (White Sky Albedo) بالاتر از میانگین در ایران.
- پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۵۳(۱)، ۱۴۱-۱۵۵.
- کربلایی، ع. ر. (۱۳۹۹). رفتارسنجی زمانی-مکانی سپیدایی ایران. *رساله دکتری*، به راهنمایی زهرا حجازی زاده و سید ابوالفضل مسعودیان. تهران: دانشگاه خوارزمی. گروه آب و هواشناسی.
- کفایت مطلق، ا. ر. (۱۴۰۰). واکاوی زمانی-مکانی سپیدایی ایران با بهره گیری از داده های دورسنجی. *رساله دکتری*، به راهنمایی محمود خسروی و سید ابوالفضل مسعودیان. زاهدان: دانشگاه سیستان و بلوچستان. گروه آب و هواشناسی.
- کفایت مطلق، ا. ر.؛ خسروی، م.؛ مسعودیان، س. ا.؛ کیخسروی کیانی، م. ص. و حمیدیان پور، م. (۱۳۹۹). واکاوی میانگین بلندمدت سپیدایی سرخ فام ایران زمین. *پژوهش های جغرافیای طبیعی*، ۵۲(۱)، ۸۵-۹۴.
- کفایت مطلق، ا. ر.؛ خسروی، م. و مسعودیان، س. ا. (۱۴۰۰). واکاوی موانع برداشت/دیدبانی سپیدایی آبی فام در ایران زمین. *نشریه سنجش از دور و GIS ایران*، ۱۳(۲)، ۲۳-۳۸.
- کیخسروی کیانی، م. ص. (۱۳۹۵). آب و هواشناسی پوشش برف در ایران با بهره گیری از داده های دورسنجی. *رساله دکتری*، به راهنمایی سید ابوالفضل مسعودیان و مجید منتظری. اصفهان: دانشگاه اصفهان. گروه آب و هواشناسی.
- کیخسروی کیانی، م. ص. و مسعودیان، ا. (۱۳۹۵). فصل بندی روزهای برف پوشان ایران زمین به کمک داده های دورسنجی. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۲۷(۳)، ۳۳-۴۸.
- مسعودیان، س. ا. (۱۳۹۰). *آب و هوای ایران*، انتشارات شریعه توس، مشهد، ۱-۲۸۸.
- منتظری، م. و کفایت مطلق، ا. ر. (۱۳۹۷). واکاوی میانگین بلندمدت پوشش گیاهی ایران به کمک نمایه NDVI. *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۲۹(۳)، ۱-۱۴.

- Moparthy, S., Munoz-Sabater, J., Schüller, L., Sánchez-Zapero, J. (2021). Surface albedo retrieval from 40-years of Earth observations through the EUMETSAT/LSA SAF and EU/C3S programmes: The versatile algorithm of PYALUS. *Remote Sensing*, 13(3), 372.
- Govaerts, Y., & Lattanzio, A. (2008). Estimation of surface albedo increase during the eighties Sahel drought from Meteosat observations. *Global and planetary change*, 64(3-4), 139-145.
- Guo, T., He, T., Liang, S., Roujean, J. L., Zhou, Y., & Huang, X. (2022). Multi-decadal analysis of high-resolution albedo changes induced by urbanization over contrasted Chinese cities based on Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 269, 112832.
- He, T., Liang, S., & Song, D. X. (2014a). Analysis of global land surface albedo climatology and spatial - temporal variation during 1981-2010 from multiple satellite products. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(17), 10-281.
- He, T., Liang, S., Wang, D., Shi, Q., & Tao, X. (2014b). Estimation of high-resolution land surface shortwave albedo from AVIRIS data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(12), 4919-4928.
- He, T., Liang, S., Yu, Y., Wang, D., Gao, F., & Liu, Q. (2013). Greenland surface albedo changes in July 1981–2012 from satellite observations. *Environmental Research Letters*, 8(4), 044043.
- <https://search.earthdata.nasa.gov/search/>.
- Hu, Y., Hou, M., Zhao, C., Zhen, X., Yao, L., & Xu, Y. (2019). Human-induced changes of surface albedo in Northern China from 1992-2012. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 79, 184-191.
- Jackson, R. D., Moran, M. S., Gay, L. W., & Raymond, L. H. (1987). Evaluating evaporation from field crops using airborne radiometry and ground-based meteorological data. *Irrigation Science*, 8(2), 81-90.
- Karbalae, A. R., Hedjazizadeh, Z., & Masoodian, S. A. (2021). Spatiotemporal variations of albedo using MODIS and PCA analysis in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(1-2), 245-260.
- Karbalae, A. R., Hedjazizadeh, Z., Masoodian, S. A., & Keikhosravi-Kiany, M. S. (2022). Investigating the land surface albedo trend in Iran using remote sensing data. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(1-2), 389-403.
- Kukla, G., & Robinson, D. (1980). Annual cycle of surface albedo. *Monthly Weather Review*, 108(1), 56-68.
- Lin, X., Wen, J., Liu, Q., You, D., Wu, S., Hao, D., Xiao, Q., Zhang, Z., & Zhang, Z., (2020). Spatiotemporal variability of land surface albedo over the Tibet Plateau from 2001 to 2019. *Remote Sensing*, 12(7), 1188.
- Loarie, S. R., Lobell, D. B., Asner, G. P., Mu, Q., & Field, C. B. (2011). Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. *Nature Climate Change*, 1(2), 105-109.
- Lyons, E. A., Jin, Y., & Randerson, J. T. (2008). Changes in surface albedo after fire in boreal forest ecosystems of interior Alaska assessed using MODIS satellite observations. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113(G2).
- Maignan, F., Bréon, F. M., & Lacaze, R. (2004). Bidirectional reflectance of Earth targets: Evaluation of analytical models using a large set of spaceborne measurements with emphasis on the Hot Spot. *Remote Sensing of Environment*, 90(2), 210-220.
- Mengyao, L., Qiang, L., & Ying, Q. (2023). A comparative study of long-time series of global-scale albedo products. *International Journal of Digital Earth*, 16(1), 308-322.
- Muller, J. P. (2006). MERIS Global Land Surface Albedo Maps: Algorithm Theoretical Basis Document ATBD 1.4 BRDF/Albedo Retrieval.
- Nicodemus, F. E., Richmond, J. C., Hsia, J. J., Ginsberg, I. W., & Limperis, T. (1977). Geometrical considerations and nomenclature for reflectance, *Natl. Bur. Stand. Rep.*, NBS MN-160, 1(2).
- Offerle, B., Jonsson, P., Eliasson, I., & Grimmond, C. S. B. (2005). Urban modification of the surface energy balance in the West African Sahel: Ouagadougou, Burkina Faso. *Journal of Climate*, 18(19), 3983-3995.
- Pang, G., Chen, D., Wang, X., & Lai, H. W. (2022). Spatiotemporal variations of land surface albedo and associated influencing factors on the Tibetan Plateau. *Science of the Total Environment*, 804, 150100.
- Pinty, B., Lattanzio, A., Martonchik, J.V., Verstraete, M.M., Gobron, N., Taberner, M., Widlowski, J.L., Dickinson, R.E., & Govaerts, Y. (2005). Coupling diffuse sky radiation and surface albedo. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 62(7), 2580-2591.
- Rutan, D., Rose, F., Roman, M., Manalo-Smith, N., Schaaf, C., & Charlock, T. (2009). Development and assessment of broadband surface albedo from Clouds and the Earth's Radiant Energy System Clouds and Radiation Swath data product. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D8).
- Schaaf, C.B., Gao, F., Strahler, A.H., Lucht, W., Li, X., Tsang, T., Strugnell, N.C., Zhang, X.,

- Jin, Y., Muller, J.P., & Lewis, P. (2002). First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS. *Remote sensing of Environment*, 83(1-2), 135-148.
- Solomon, S. (2007). IPCC (2007): Climate change the physical science basis. In Agu fall meeting abstracts, (Vol. 2007, pp. U43D-01).
- Strahler, A.H., Muller, J., Lucht, W., Schaaf, C., Tsang, T., Gao, F., Li, X., Lewis, P., & Barnsley, M.J. (1999). MODIS BRDF/albedo product: algorithm theoretical basis document version 5.0. MODIS documentation, 23(4), 42-47.
- Wang, Z., Schaaf, C. B., Sun, Q., Shuai, Y., & Román, M. O. (2018). Capturing rapid land surface dynamics with Collection V006 MODIS BRDF/NBAR/Albedo (MCD43) products. *Remote sensing of environment*, 207, 50-64.
- Zhang, X., Liang, S., Wang, K., Li, L., & Gui, S. (2010). Analysis of global land surface shortwave broadband albedo from multiple data sources. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(3), 296-305.
- Zhu, X., Liang, S., Pan, Y., & Zhang, X. (2011). Agricultural irrigation impacts on land surface characteristics detected from satellite data products in Jilin Province, China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4(3), 721-729.