

## واکاوی میانگین بلندمدت سپیدایی سرخ‌فام ایران زمین

امیدرضا کفایت مطلق - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران  
محمود خسروی\* - استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران  
سیدابوالفضل مسعودیان - استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
محمدصادق کیخسروی کیانی - پسادکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
محسن حمیدیان‌پور - استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳

### چکیده

سپیدایی از فراسنج‌های مورد نیاز در مطالعات آب و هوایی است. بررسی رفتار زمانی و مکانی آن می‌تواند ابزاری برای شناخت تغییرات محیطی باشد. هدف از این مطالعه بررسی رابطه تغییرات بلندمدت سپیدایی کشور براساس داده‌های ماهواره‌ای در یک دوره هجده‌ساله با توجه به اثر عوامل جغرافیایی همچون ارتفاع و عرض جغرافیایی است. از این رو، نخست داده‌های روزانه سپیدایی سنجنده مودیس در محدوده ایران در بازه زمانی ۱۳۷۹/۱/۱ تا ۱۳۹۶/۱۲/۲۹ از تارنمای مودیس استخراج شد. سپس، میانگین بلندمدت سپیدایی ایران زمین محاسبه شد. یافته‌ها نشان داد سپیدایی ایران با میانگین ۲۱ درصد نزدیک به میانگین سیاره‌ای است که این ویژگی گذشته از عرض جغرافیایی به ناهمواری‌ها و شرایط رویه زمین بستگی دارد. از این جهت، پیوند سپیدایی سرخ‌فام و ارتفاع از تراز دریا بررسی شد. یافته‌های این بخش نشان داد که این پیوند یک رابطه قطعه به قطعه خطی است؛ به طوری که ابتدا با افزایش ارتفاع (از سطح زمین تا ۱۰۰۰ متری)، سپیدایی کاهش یافته و سپس با افزایش ارتفاع (بالتر از ۱۴۰۰ متری) به سبب کاهش دما و پوشش برفی بر سپیدایی افزوده شده است. به طور کلی، می‌توان گفت این پیوند قطعه به قطعه خطی برگرفته از تنوع ناهمواری‌ها و جنس رویه زمین است.

واژگان کلیدی: ایران، چارک، سپیدایی، مودیس، میانگین بلندمدت.

### مقدمه

مهم‌ترین پیامد معنی‌دار و قابل پیش‌بینی در خصوص آلبدو از طریق گرمایش جهانی مشاهده‌شدنی است. مطالعات نشان داده، به استثنای یخ‌های قطب جنوب (اخیراً یک درصد در سال میزان آلبدو افزایش داشته است)، به دلیل کاهش سطح پوشش برف (IPCC, 2007) و حتی ابرناکی، انرژی کمتری به فضا بازتاب می‌شود، یا به بیانی، میزان آلبدو رفتاری کاهش یافته است. همین امر به گرمایش زمین در سطح جهان می‌افزاید که در این میان سرزمین ایران از این قاعده مستثنا نیست. پیشرفت فناوری ماهواره‌ای در سال‌های گذشته این امکان را برای کارشناسان علوم زمین فراهم کرده است که سیاره زمین را با دقت بیشتر و یک‌پارچه مطالعه کنند؛ به طوری که این مطالعات با بهره‌گیری از روش‌های دورسنجی با پرداخت هزینه‌های مالی و اتلاف وقت کمتر انجام می‌گیرد و نتایج به دست آمده از این روش‌ها در بسیاری از موارد قابل استنادند. از جمله کارهای مهمی که می‌توان با استفاده از مطالعات دورسنجی انجام داد مطالعه فراسنج‌های

تابش است که می‌تواند در بیلان انرژی تابشی مؤثر باشد؛ یکی از فراسنج‌های مهم تابش سپیدایی<sup>۱</sup> است که بر مقدار تابش جذب‌شده توسط زمین اثر می‌گذارد. ابزارهای جدید ماهواره‌ای اطلاعات فراوانی درباره سپیدایی سطح زمین تولید کرده‌اند. این داده‌ها نشان می‌دهند که چه مقدار از تابش خورشید از سطح زمین بازتاب شده است (پینتی و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۵۸۰). بر همین اساس، پژوهشگران بسیاری به منظور بررسی سپیدایی از داده‌های دورسنجی استفاده و این تکنیک را برای این نوع مطالعات مناسب ارزیابی کرده‌اند (جکسون و همکاران، ۱۹۸۷: ۸۱؛ اسپچف و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۳۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۸: ۵۰).

سپیدایی، به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم در بیلان تابش زمین، عبارت است از نسبت چگالی شار بازتابی به چگالی شار برخوردی به یک جسم. در سپیدایی کل، تابش مرئی را در نظر دارند، اما به صورت دقیق‌تر از سپیدایی تک‌فام سخن می‌گویند. سپیدایی تک‌فام عبارت است از نسبت چگالی شار بازتابی به چگالی شار برخوردی به یک جسم در یک طول موج دلخواه. سپیدایی برف در بخش طیف دیدنی<sup>۲</sup> تابش حدود ۰/۸ و سپیدایی آب آرام و ژرف به شرطی که آفتاب بر آن عمود بتابد حدود ۰/۴ است. سپیدایی وابسته به زاویه تابش است و با افزایش ارتفاع خورشید سپیدایی بسیاری از اجسام کاهش می‌یابد (انجمن هواشناسی ایالات متحده، ۲۰۱۹). در ادبیات از سپیدایی رویه زمین<sup>۳</sup> و سپیدایی سیاره‌ای سخن به میان آمده است. سپیدایی رویه زمین نشان‌دهنده درصد بازتاب نور از سطح یک جسم در روی زمین است. اما سپیدایی سیاره‌ای بازتابی از کل سامانه زمین- جو است که از فضا دیده می‌شود (هومل و رک، ۱۹۷۹: ۲۳۹-۲۵۲). در این پژوهش میانگین بلندمدت سپیدایی رویه زمین در گستره ایران زمین انجام شده است.

واکوی آب و هواشناسی داده‌های بلندمدت سپیدایی می‌تواند ویژگی‌ها و اثرهای تغییرات سپیدایی را آشکار کند و اطلاعات ارزشمندی برای مدل‌سازی آب و هوایی فراهم آورد. از این رو، پژوهش‌های بسیاری بر روی آب و هواشناسی سپیدایی رویه زمین انجام شده است. در پژوهشی، میانگین سپیدایی رویه در کمربندهای ۲ درجه‌ای عرض جغرافیایی از ۱ آوریل ۱۹۷۴ تا ۳۱ مارس ۱۹۷۵ بررسی شد. یافته‌های اولیه نشان داد بیشینه سپیدایی در کمربند قطبین و کمینه آن در کمربند استوایی دیده می‌شود. کمربند ۸۰-۹۰ درجه قطب جنوب در همه 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: ۸۵). در پژوهش دیگری نیز تغییرات سالانه و ماهانه میانگین سپیدایی کمربندهای عرض جغرافیایی طی دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۰۸ با داده‌های مودیس بررسی شد. یافته‌ها نشان داد 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 تا ۱۰ درجه شمالی دیده می‌شود. همچنین، یافته‌ها نشان داد تغییرات فصلی سپیدایی رویه در کمربندهای مداری نیم‌کره شمالی بیشتر از نیم‌کره جنوبی است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۰۱). افزایش سپیدایی رویه در طی خشک‌سالی در دهه ۱۹۸۰ در منطقه ساحل آفریقا ارزیابی شد. مقایسه سپیدایی سطح از سال ۱۸۸۴، که خشک‌ترین سال دهه ۱۹۸۰ بوده، با سال ۲۰۰۳، که میزان بارش مشابهی نسبت به شرایط پیش از خشک‌سالی دهه ۱۹۸۰ داشت، نشان داد کمبود

1. Albedo

2. Visible spectrum.

3. Land Surface Albedo

بارندگی موجب افزایش سپیدایی سطح در طی خشک‌سالی‌های دهه ۱۹۸۰ شده و تفاوت مقدار سپیدایی بین سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۰۳ برابر با ۰/۰۶ بوده است (گاورتس و لاتانزیو، ۲۰۰۸: ۱۳۹). روند سپیدایی رویه در منطقه مدیترانه در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ برآورد شد. برای این هدف داده‌های فرآورده MCD43B1 سنجنده مودیس در بازه زمانی هشت‌روزه و تفکیک مکانی ۱×۱ کیلومتر سینوسی<sup>۱</sup> استفاده شد. این منطقه به دلیل گستردگی به سه منطقه لوانت<sup>۲</sup> (شرق مدیترانه)، افریقای شمالی، و جنوب اروپا تقسیم شد. یافته‌ها نشان داد روند سپیدایی رویه در منطقه لوانت ۳/۳ درصد افزایش و در افریقای شمالی ۶/۶ درصد کاهش یافته است؛ درحالی‌که نشانه‌های متفاوتی در جنوب اروپا مشاهده شده است. همچنین، یافته‌ها نشان داد تغییرات پوشش رویه زمین، تغییرات بارش، و ضخامت نوری هواویزها<sup>۳</sup> نقش مهمی در ناهنجاری‌های سپیدایی رویه زمین بازی می‌کنند (بناس و کریسولاکیز، ۲۰۱۵: ۱۶۱۵). برای واکاوی روند سپیدایی در فلات تبت، سپیدایی سنجنده مودیس با پیش‌فرض مدل WRF<sup>۴</sup> در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ راست‌آزمایی شد. یافته‌ها نشان داد بیشینه سپیدایی در فصل زمستان و کمینه آن مربوط به فصل تابستان است. در غرب فلات تبت، در همه فصل‌ها به‌طور پیش‌فرض مدل WRF مقادیر بسیار بیشتری نسبت به مودیس نشان می‌دهد. درحالی‌که در مرکز و شرق فلات تبت مقادیر نسبتاً کوچک‌تر است. بررسی‌های بیشتر نشان داد میانگین سپیدایی داده‌های مودیس ۰/۲۲ است؛ درحالی‌که میانگین سپیدایی مدل WRF ۰/۳۶ است که نشان‌دهنده برآورد بالای سپیدایی در پیش‌فرض مدل WRF است. همچنین، هر دو فرآورده تغییرات بین سالانه و سالانه را به‌طور پیوسته نشان دادند؛ اما پیش‌فرض مدل WRF دامنه بسیار بیشتری نسبت به مودیس داشته است (مینگ و همکاران، ۲۰۱۸: ۱-۸).

ایران، به دلیل گستردگی زیاد به لحاظ طول و عرض جغرافیایی، وجود پیچیدگی پیکربندی ناهمواری‌ها و قرارگیری در معرض یورش توده‌های هوا، از نظر سپیدایی شرایط ویژه‌ای دارد. هر یک از پدیده‌های جغرافیایی میزان آلودگی و ویژه خود را دارا هستند و بسته به نوع پوشش رویه زمین میزان آلودگی تغییرات فضایی و زمانی است. به‌طور کلی، مقدار آلودگی کلی زمین حدود ۰/۳۱ است. بنابراین، با آگاهی از میزان آلودگی هر نقطه می‌توان شناخت دقیقی از پدیده‌های سطح زمین داشته باشیم. سپیدایی تحت تأثیر عرض جغرافیایی، ارتفاع، و توده‌های هوا قرار دارد؛ به‌طوری‌که با تغییر هر یک از این عوامل سپیدایی نیز تغییر خواهد کرد. به عبارت 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 پژوهش‌هایی که با بهره‌گیری از داده‌های دورسنجی انجام گرفته محدود به یک حوضه یا یک استان بوده (فرخ‌خان طرقي، ۱۳۹۲؛ قبادی، ۱۳۹۵؛ حاجی‌زاده، ۱۳۹۶) یا اینکه در آن‌ها بیشتر به تابش و پارامترهای آن اشاره شده است (سنبلی، ۱۳۸۹؛ لطفی، ۱۳۹۰؛ موقری، ۱۳۹۴). از آنجا که سپیدایی متغیر فیزیکی بسیار مهمی در مطالعات زیست‌محیطی، هواشناسی، و بیلان تابشی محسوب می‌شود و بر حیات زیست‌بوم‌های گیاهی و حیوانی تأثیرگذار است، لازم است تغییرات مکانی سپیدایی ایران زمین بررسی و آشکار شود میانگین بلندمدت سپیدایی ایران به چه صورت است؟ بالاترین مقدار سپیدایی در چه مناطقی از کشور یافت می‌شود؟ پیوند میان سپیدایی و ارتفاع چگونه است؟

پاسخ به هر یک از این پرسش‌ها به شناخت جغرافیایی کشور کمک شایانی می‌کند. درواقع، هدف اصلی از این مطالعه شناسایی تفاوت‌های مکانی میزان آلودگی در سطح کشور است و از آنجا که بیشتر پژوهش‌های پیشین در یک دوره نسبتاً کوتاه به تجزیه و تحلیل سطح آلودگی و آن هم به‌صورت کاملاً محلی متمرکز شده‌اند، در این پژوهش نخست

1. Sinusoidal

2. Levant region

3. Aerosol Optical Thickness

4. Weather Research and Forecasting

دوره‌ای بلندمدت هفده‌ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۶ ش) انتخاب و مطالعه به صورت کشوری انجام شده است. بنابراین، می‌تواند پژوهشی جامع در خصوص تحلیل فضایی میزان آلوده محسوب شود.

بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی رابطه تغییرات بلندمدت سپیدایی سطح کشور براساس نتایج داده‌های ماهواره‌ای در یک دوره هفده‌ساله با توجه به اثر عوامل جغرافیایی همچون ارتفاع و عرض جغرافیایی است.

## داده و روش‌ها

سنجنده مودیس در ۱۴ اردیبهشت ۱۳۸۱ خورشیدی توسط سازمان ناسا به فضا پرتاب شد. این سنجنده بر روی دو ماهواره ترا<sup>۱</sup> و آکوا<sup>۲</sup> قرار داده شده است. این دو ماهواره هر دو روز یک بار از سراسر سطح زمین تصویربرداری می‌کنند و داده‌هایی در ۳۶ باند طیفی (طول موج‌های ۰/۴-۱۴/۴ میکرومتر) با قدرت تفکیک ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱ کیلومتری برداشت می‌کنند (تارنمای مودیس، ۲۰۱۹). در این پژوهش برای بررسی میانگین بلندمدت سپیدایی سرخ‌فام ایران زمین از باند سرخ فرآورده MCD43A4 سنجنده مودیس در محدوده ۰/۶۷-۰/۶۲ میکرون و در بازه زمانی ۱۳۷۹/۱/۱ تا ۱۳۹۶/۱۲/۲۹ خورشیدی به مدت ۶۵۷۴ روز استفاده شد. این فرآورده دارای تابع توزیع بازتابندگی دوراستایی<sup>۳</sup> است. این تابع 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 دوراستایی تابعی از زوایای نوردهی و دید<sup>۴</sup> است. وقتی انرژی تابشی خورشید بر سطحی فرود می‌آید، بسته به ویژگی‌های فیزیکی سطح، طول موج‌های مختلف به مقادیر مختلف جذب، بازتاب، یا عبور داده می‌شوند. این بدان معنی است که این تابع تابعی از طول موج است و از رابطه ۱ به دست می‌آید:

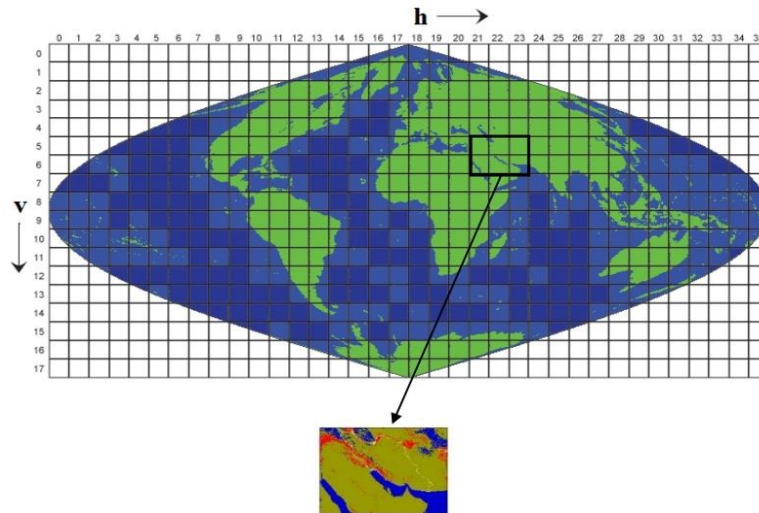
$$\text{BRDF} = f_r(\theta_i, \phi_i; \theta_v, \phi_v; A) = \frac{dL_v(\theta_i, \phi_i; \theta_v, \phi_v; E_i; A)}{dE(\theta_i, \phi_i; A)} \quad (1)$$

واحد این تابع، استرادیان ( $sr^{-1}$ ) است و  $\theta_i, \phi_i; \theta_v, \phi_v$  به ترتیب زوایای زینت و آزیموت مربوط به راستاهای فرودی و دید هستند.  $E(\theta_i, \phi_i; A)$  تابش فرودی در راستای تابش در طول موج  $A$  و  $L_v(\theta_i, \phi_i; \theta_v, \phi_v; E_i; A)$  رادیانس در راستای دید و در طول موج  $A$  تحت شرایط نوردهی است (نیکودموس و همکاران، ۱۹۷۷: ۳؛ استرالر و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۴).

داده‌های فرآورده MCD43A4 سنجنده مودیس ترکیبی از ماهواره‌های ترا و آکوا با پوشش مکانی ۵۰۰ متر بوده است. فرمت داده‌ها HDF است و بازه زمانی آن روزانه است که از تاریخ ۱۳۷۸/۱۲/۵ خورشیدی بر روی تارنمای مودیس در دسترس است. همچنین، مختصات این داده‌ها سینوسی است و ایران در مختصات ۵ و ۶ عمودی و ۲۱ تا ۲۳ افقی قرار دارد (شکل ۱). داده‌های این سنجنده به صورت کاشی‌های جداگانه در ابعاد ۱۲۰۰×۱۲۰۰ کیلومتری در دسترس است و در مجموع شش کاشی گستره ایران را پوشش می‌دهد. با توجه به اینکه داده‌های به کار گرفته شده خارج از گستره ایران زمین را نیز دربر می‌گرفت، به کمک تابع این پلی‌گون<sup>۵</sup> در نرم‌افزار متلب، فقط داده‌هایی که درون مرز جغرافیایی ایران را پوشش می‌داد استخراج شد. سپس، کشور ایران براساس مقادیر ارزش یاخته‌ها به چهار ناحیه تقسیم شد. اساس تقسیم‌بندی مقادیر چارکی<sup>۶</sup> (چارک اول، دوم، و سوم) است. از این‌رو، مرزهای نواحی بر مبنای این معیار ترسیم شد. پس

1. Terra  
2. Aqua  
3. Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF)  
4. View angles  
5. Inpolygon  
6. Quartile

از ناحیه‌بندی، با استفاده از روش تحلیل آمار ناحیه‌ای<sup>۱</sup> در نرم‌افزار متلب آماره‌های میانگین، کمینه، بیشینه، پراش<sup>۲</sup>، دامنه تغییرات و ضریب چولگی<sup>۳</sup> و کشیدگی<sup>۴</sup> یاخته‌های واقع در هر یک از نواحی استخراج شد و در قالب جدول ۱ ارائه شده است. این جدول امکان مقایسه نواحی سپیدایی ایران را فراهم می‌آورد. در پایان نیز نواحی چهارگانه سپیدایی در گستره ایران زمین ترسیم شد (شکل ۲) و پیوند آن با ارتفاع آشکار شد (شکل ۳).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی تصاویر استفاده‌شده در این پژوهش

## نتایج و بحث

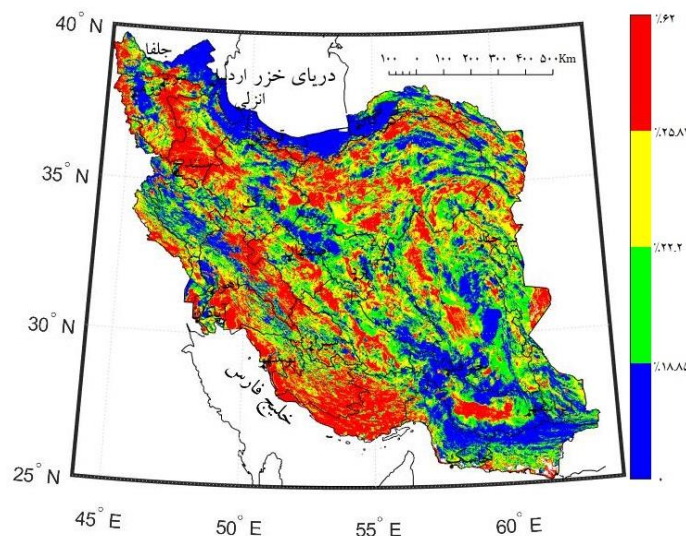
از چندک‌ها برای شناخت فراوانی یا درصد و نیز فراوانی یا درصد تراکمی (تعداد یا درصدی از مشاهده‌های برابر، بیشتر یا پایین‌تر از مقدار یا آستانه‌ای خاص) استفاده می‌شود. درواقع، چندک‌ها مقداری از مشاهدات‌اند که دامنه تغییرات را به فاصله‌های چندکی مورد نیاز تقسیم می‌کنند. اگر دامنه تغییرات به چهار بخش مساوی تقسیم شود، چارک‌ها به‌دست خواهد آمد (عساکره، ۱۳۹۰: ۱۱۶). در این پژوهش برای طبقه‌بندی آماری سپیدایی سرخ‌فام ایران زمین از چارک‌ها استفاده شد. در این راستا، نخست میانگین بلندمدت سپیدایی ایران زمین در دوره مورد مطالعه محاسبه شد و سپس بر مبنای آستانه چارکی ایران به چهار ناحیه بازتابشی کم، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد تقسیم شد. جدول ۱ طبقه‌بندی آماری سپیدایی سرخ‌فام ایران زمین در دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهد. چارک نخست با کمینه ۱/۴۵ و بیشینه ۱۸/۸۵ درصد، میانگین ۱۵/۵۳ درصد را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات این طبقه ۲۱/۷۶ درصد است. چارک دوم با کمینه ۱۸/۸۵ و بیشینه ۲۲/۲۰ درصد، میانگین ۲۰/۵۸ درصد را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات این طبقه ۴/۶۲ درصد است. چارک سوم با کمینه ۲۲/۲۰ و بیشینه ۲۵/۸۲ درصد، میانگین ۲۳/۹۰ درصد را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات این طبقه ۴/۳۱ درصد است. چارک چهارم با کمینه ۲۵/۸۲ و بیشینه ۶۱/۰۸ درصد، میانگین ۲۹/۳۳ درصد را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات این طبقه ۱۰/۶۷ درصد است. به‌طور کلی، ضریب تغییرات نشان می‌دهد که بیشترین دامنه تغییرات در مقادیر بسیار پایین یا بالای سپیدایی رخ می‌دهد.

1. Zonal Statistics
2. Variance
3. Skewness
4. Kurtosis

شکل ۲ میانگین بلندمدت سپیدایی سرخ‌فام ایران در بازه ۱۳۷۹-۱۳۹۶ خورشیدی را نشان می‌دهد. برای ناحیه‌بندی سپیدایی ایران زمین از چارک‌ها استفاده شده است. بر این اساس، کشور ایران به چهار ناحیه تقسیم شد: ناحیه نخست با رنگ آبی سپیدایی کمتر از ۱۹ درصد را نشان می‌دهد که بیشتر در جنوب شرقی کشور، کرانه‌های خزری، و توده‌های آب درون خشکی‌ها مانند دریاچه ارومیه مشاهده می‌شود. ناحیه دوم با رنگ سبز دامنه ۱۹-۲۲ درصد را دربر می‌گیرد و در بخش‌های مختلف کشور دیده می‌شود. ناحیه سوم با رنگ زرد دامنه ۲۲-۲۶ درصد را دربر گرفته و بیشتر در مرکز کشور پراکنده شده است. ناحیه چهارم با رنگ سرخ دامنه ۲۶-۶۲ درصد را دربر گرفته که بالاترین مقدار سپیدایی را نشان می‌دهد. در این ناحیه پهنه‌های پوشیده از برف کوهستان‌ها (برف‌پوش‌ها) مانند ارتفاعات البرز و زاگرس و پهنه‌هایی که در گذر زمان سرشار از نهشته‌های تبخیری سپیدرنگ شده‌اند (شورابه‌گیرها) دیده می‌شود. بخش‌های زیادی از این ناحیه به سبب برف دائمی یا نهشته‌های تبخیری سپیدایی بیش از میانگین سیاره‌ای کره زمین (۲۴ درصد) دارند.

جدول ۱. طبقه‌بندی آماری سپیدایی سرخ‌فام مناطق مختلف ایران زمین

ضریب تغییرات	کشیدگی	چولگی	واریانس	انحراف معیار	دامنه	میانگین	بیشینه	کمینه	نبود داده	فراوانی	چارک
۲۱٫۷۶	۶٫۴۵	-۱٫۸۸	۱۱٫۴۴	۳٫۳۸	۱۷٫۳۹	۱۵٫۵۳	۱۸٫۸۵	۱٫۴۵	۶۶۴۶	۱۸۷۸۷۲۹	اول
۴٫۶۲	۱٫۸۲	-۰٫۰۶	۰٫۹۱	۰٫۹۵	۳٫۳۵	۲۰٫۵۸	۲۲٫۲۰	۱۸٫۸۵	۳۷۸۶	۱۸۸۱۵۸۹	دوم
۴٫۳۱	۱٫۸۳	۰٫۱۱	۱٫۰۷	۱٫۰۳	۳٫۶۲	۲۳٫۹۰	۲۵٫۸۲	۲۲٫۲۰	۴۵۵۰	۱۸۸۰۸۲۶	سوم
۱۰٫۶۷	۷٫۰۸	۱٫۶۷	۹٫۸۲	۳٫۱۳	۳۵٫۲۵	۲۹٫۳۳	۶۱٫۰۸	۲۵٫۸۲	۱۵۲۸	۱۸۸۳۸۴۸	چهارم

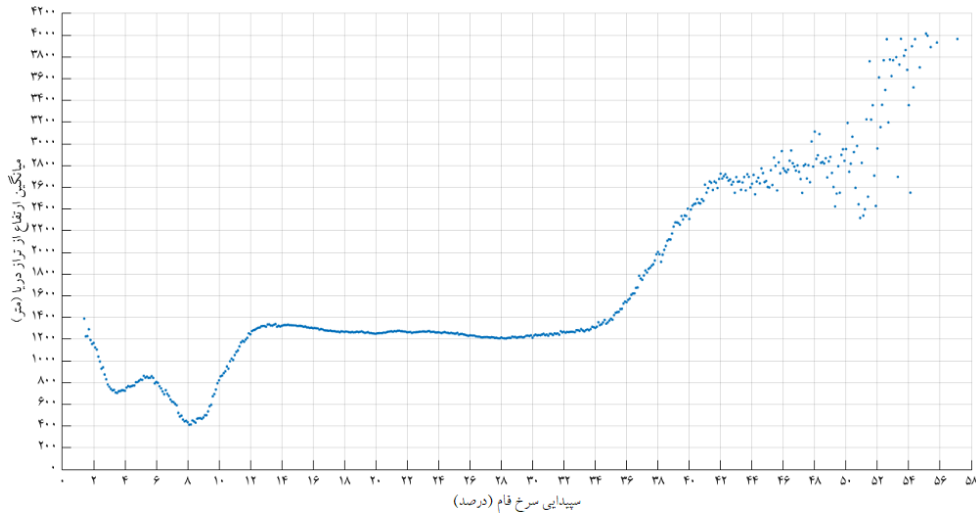


شکل ۲. میانگین بلندمدت سپیدایی سرخ‌فام ایران ۱۳۷۹-۱۳۹۶

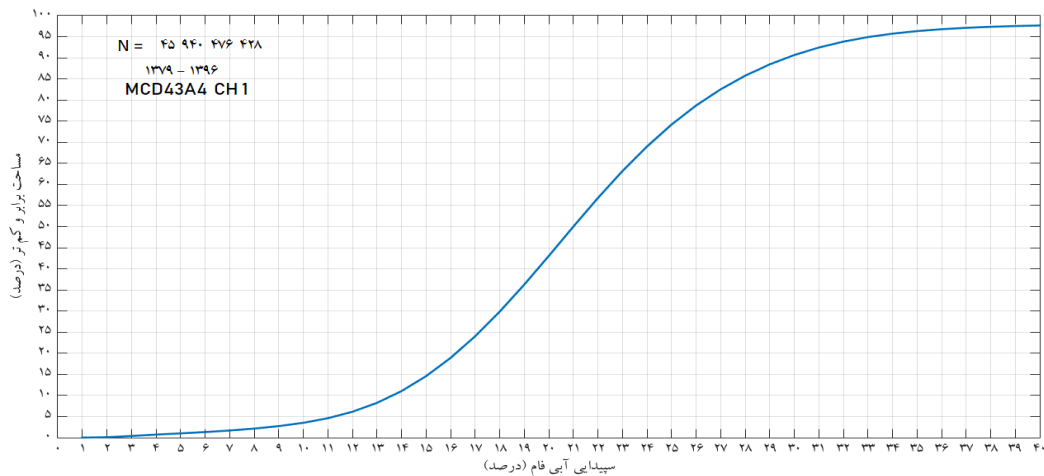
شکل ۳ پیوند سپیدایی سرخ‌فام و ارتفاع از تراز دریا در گستره ایران زمین را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این پیوند قطعه به قطعه خطی است؛ به طوری که تا ارتفاع ۱۲۰۰ متری با افزایش ارتفاع سپیدایی کاهش می‌یابد. مقدار سپیدایی در این دامنه ارتفاعی کمتر از ۱۲ درصد است. در ارتفاع ۱۲۰۰-۱۴۰۰ متری به سبب کاربری اراضی متفاوت، مقدار سپیدایی از ۱۲-۳۶ درصد متغیر است. از ارتفاع ۱۴۰۰ متری پیوند نیرومند مستقیمی بین سپیدایی سرخ‌فام و ارتفاع از

تراز دریا در گستره ایران زمین دیده می‌شود؛ به طوری که با افزایش ارتفاع به سبب کاهش دما و پوشش برفی بر سپیدایی افزوده شده و در ارتفاع ۴۰۰۰ متری سپیدایی نزدیک به ۶۰ درصد را تجربه می‌کند. به طور کلی، می‌توان گفت این پیوند نسبی سپیدایی سرخ‌فام و ارتفاع از تراز دریا در گستره ایران زمین برگرفته از پیچیدگی پیکربندی و کاربری اراضی است. به همین سبب، این پیوند در ارتفاعات بالای ۱۴۰۰ متری مستقیم است و با افزایش ارتفاع سپیدایی افزایش می‌یابد و در ارتفاعات کمتر از ۱۰۰۰ متر غیرمستقیم است و با افزایش ارتفاع کاهش سپیدایی مشاهده می‌شود.

شکل ۴ پراکنش مکانی سپیدایی سرخ‌فام بر روی ایران زمین را نشان می‌دهد. میانگین بلندمدت سپیدایی ایران زمین ۲۱ درصد است؛ در این شکل نیز دیده می‌شود که نیمی از گستره ایران زمین سپیدایی کمتر از ۲۱ درصد دارد و نیمی بالاتر از آن. اگر براساس یافته‌های سلطانی اکمل (۱۳۹۷) میانگین سیاره‌ای سپیدایی کره زمین را ۳۰ درصد در نظر بگیریم، آن‌گاه سپیدایی کل کشور در مقایسه با سپیدایی سیاره‌ای بسیار کمتر است و نزدیک به ۹۰ درصد گستره ایران سپیدایی کمتر از میانگین سیاره‌ای را تجربه می‌کند. اما براساس یافته‌های ژانگ و همکاران (۲۰۱۰: ۲۹۶) میانگین سیاره‌ای سپیدایی کره زمین ۲۴ درصد است. از این رو، سپیدایی کل کشور نزدیک به سپیدایی سیاره‌ای است.



شکل ۳. پیوند سپیدایی سرخ‌فام و ارتفاع از تراز دریا



شکل ۴. پراکنش مکانی سپیدایی سرخ‌فام

## نتیجه‌گیری

در این نوشتار برای بررسی میانگین بلندمدت سپیدایی ایران زمین از داده‌های روزانه باند نخست سپیدایی سنجنده مودیس در فاصله زمانی ۱۳۷۹/۱/۱ تا ۱۳۹۶/۱۲/۲۹ با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر بهره گرفته شد. پس از پردازش داده‌ها، میانگین بلندمدت سپیدایی سرخ‌فام ایران زمین محاسبه شد. یافته‌ها نشان داد میانگین سپیدایی ایران زمین ۲۱ درصد است. پژوهش‌های انجام شده بر روی سپیدایی کمربند ۴۰-۲۵ درجه عرض جغرافیایی، که ایران نیز در آن قرار دارد، این مقدار سپیدایی را تأیید می‌کنند (سلرز، ۱۹۶۵؛ هومل و رک، ۱۹۷۹؛ کوکلا و رابینسون، ۱۹۸۰). همچنین، یافته‌ها گویای آن است که میانگین سپیدایی رویه ایران نزدیک به میانگین سیاره‌ای است. بر این اساس، این پژوهش هماهنگ با پژوهش ژانگ و همکاران (۲۰۱۰) است. ایشان بر مبنای داده‌های مودیس میانگین جهانی سپیدایی رویه را ۲۴ درصد برآورد کرده‌اند. در گام بعد برای ناحیه‌بندی سپیدایی ایران زمین از چندک‌ها استفاده شد. بر این اساس، کشور ایران به چهار ناحیه تقسیم شد: ناحیه نخست سپیدایی کمتر از ۱۹ درصد را نشان می‌دهد که بیشتر در جنوب شرق کشور، کرانه‌های خزری، و توده‌های آب درون خشکی‌ها مانند دریاچه ارومیه مشاهده می‌شود. ناحیه دوم دامنه ۱۹-۲۲ درصد را دربر می‌گیرد و در بخش‌های مختلف کشور دیده می‌شود. ناحیه سوم دامنه ۲۲-۲۶ درصد را دربر گرفته و بیشتر در مرکز کشور پراکنده شده است. ناحیه چهارم با دامنه ۲۶-۶۲ درصد بالاترین مقدار سپیدایی را نشان می‌دهد. در این ناحیه پهنه‌های پوشیده از برف کوهستان‌ها (برف‌پوش‌ها) مانند ارتفاعات البرز و زاگرس و پهنه‌هایی که در گذر زمان سرشار از نهشته‌های تبخیری سپیدرنگ شده‌اند (شورابه‌گیرها) دیده می‌شود. بخش‌های زیادی از این ناحیه، به سبب برف دائمی یا نهشته‌های تبخیری، سپیدایی بیش از میانگین سیاره‌ای کره زمین (۳۰ درصد) دارند. در گام بعدی پیوند سپیدایی سرخ‌فام و ارتفاع از تراز دریا بررسی شد. یافته‌های این بخش نشان داد این پیوند نسبی است؛ به طوری که تا ارتفاع ۱۲۰۰ متری با افزایش ارتفاع سپیدایی کاهش یافته و در ارتفاع ۱۲۰۰-۱۴۰۰ متری به سبب کاربری اراضی متفاوت مقدار سپیدایی از ۱۲-۳۶ درصد متغیر بوده است. از ارتفاع ۱۴۰۰ متری پیوند نیرومند مستقیمی بین سپیدایی سرخ‌فام و ارتفاع از تراز دریا در گستره ایران زمین دیده می‌شود؛ به طوری که با افزایش ارتفاع به سبب کاهش دما و پوشش برفی بر سپیدایی افزوده شده و در ارتفاع ۴۰۰۰ متری سپیدایی نزدیک به ۶۰ درصد را تجربه می‌کند.

## سپاس‌گزاری

نویسندگان از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به سبب حمایت از این رساله دکتری و مقاله مستخرج از آن (به شماره طرح ۹۷۰۰۹۴۲۸) تشکر و قدردانی می‌نمایند.



## منابع

- حاجی‌زاده، ز. (۱۳۹۶). بررسی اثر تغییرات پوشش گیاهی بر تغییرات آلبدو و دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در شهرستان مشکین‌شهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز.
- سلطانی اکمل، ف. (۱۳۹۷). آب‌وهواشناسی سپیدایی ایران به کمک داده‌های CDR، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آب‌وهواشناسی، دانشگاه اصفهان.
- سُنبلی، ز. (۱۳۸۹). تحلیل فضایی تابش در ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آب‌وهواشناسی، دانشگاه تربیت معلم.
- عساکره، ح. (۱۳۹۰). مبانی اقلیم‌شناسی آماری، زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان.
- فرخ‌خان طُرقی، ا. (۱۳۹۲). بررسی نقش مدیریت مناطق حفاظت‌شده در بهبود وضعیت خاک و پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: منطقه حفاظت‌شده آرسباران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز.
- قبادی، ا.ا. (۱۳۹۵). تبیین و تحلیل زمانی- مکانی پدیده جزیره گرمایی شهر کرج با تأکید بر مدیریت آلبدو و مدل‌سازی خرد اقلیم محلی، رساله دکتری رشته آب‌وهواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- لطفی، ح. (۱۳۹۰). برآورد تابش خالص خورشیدی با کاربرد داده‌های سنجنده MODIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته هواشناسی کشاورزی، دانشگاه شیراز.
- موقری، ع.ر. (۱۳۹۴). بررسی تأثیر تغییرات مکانی منطقه همگرایی میان حاره‌ای و نوسان مادن- جولین بر گردش عمومی جو منطقه و اقلیم ایران، رساله دکتری رشته آب‌وهواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- American Meteorological Society, cited 2019: Climatology. Glossary of Meteorology. [Available online at <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Albedo>].
- Asakareh, H. (2011). Fundamentals of statistical climatology, 1 ed. Zanjan: Publisher Zanjan university.
- Benas, N. and Chrysoulakis, N. (2015). Estimation of the land surface albedo changes in the broader Mediterranean area, based on 12 years of satellite observations, *Remote Sensing*, 7(12): 16150-16163.
- Farokhkhan Toroghi, A. (2013). *Assessment the Role of Protected Areas Management to Improving the Soil and Vegetation Cover Status Using Satellite Images (Case Study: Arasbaran Protected Area)*, MS Thesis in RS and GIS, University of Tabriz.
- Ghobadi, A. (2016). *The Spatial- Temporal analysis of urban heat island phenomenon with emphasis on local microclimate modeling and albedo management Case Study: Karaj*, Ph.D Thesis in Climatology, Sistan and Baluchestan University, Zahedan.
- Govaerts, Y. and 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.
- Hajizadeh, Z. (2017). *Evaluating the impact of Vegetation Changes on Albedo and Land Surface Temperature Changes by the Use of Satellite Images in Meshkin-Shahr County*, MS Thesis in RS and GIS, university of Tabriz.
- <https://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>.
- Hummel, J.R. and Reck, R.A. (1979). A global surface albedo model, *Journal of Applied Meteorology*, 18(3): 239-253.
- Jackson, R.D.; Moran, M.S.; Gay, L.W. and Raymond, L.H. (1987). Evaluating evaporation from field crops using airborne radiometry and ground-based meteorological data, *Irrigation Science*, 8(2): 81-90.

- Kukla, G. and Robinson, D. (1980). Annual cycle of surface albedo, *Monthly Weather Review*, 108(1): 56-68.
- Lotfi, H. (2011). *Estimation of solar net Radiation using MODIS Data*, Mohammad Jafar Nazemosadat and Rashid Fallah Shamsi, MS Thesis in Agrometeorology, University of Shiraz.
- Meng, X.; Lyu, S.; Zhang, T.; Zhao, L.; Li, Z.; Han, B.; ... and Luo, S. (2018). Simulated cold bias being improved by using MODIS time-varying albedo in the Tibetan Plateau in WRF model, *Environmental Research Letters*, 13(4): 044028.
- Moaghari, A.R. (2015). *Investigating the effect of spatial variations of the intertropical convergence zone and Madden-Julian oscillation on the atmospheric general circulation region and Iran*, Ph.D Thesis in Climatology, Sistan and Baluchestan University, Zahedan.
- Nicodemus, F.E.; Richmond, J.C.; Hsia, J.J.; Ginsberg, I.W. and Limperis, T. (1977). Geometrical considerations and nomenclature for reflectance, Natl. Bur. Stand. Rep., NBS MN-160, 1(2).
- Pinty, B.; Lattanzio, A.; Martonchik, J.V.; Verstraete, M.M.; Gobron, N.; Taberner, M. ... and Govaerts, Y. (2005). Coupling diffuse sky radiation and surface albedo, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 62(7): 2580-2591.
- Schaaf, C.B.; Gao, F.; Strahler, A.H.; Lucht, W.; Li, X.; Tsang, T. ... and Lewis, P. (2002). First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS, *Remote sensing of Environment*, 83(1-2): 135-148.
- Sellers, W.D. (1965). Physical climatology. *University of Chicago Press*, 272 pp
- Sonboli, Z. (2011). *The Spatial Analysis of Solar Radiation in Iran*, Mohammad Saligeh, MS Thesis in Climatology, Tarbit Moalem University, Tehran.
- Strahler, A.H.; Muller, J.P.; Lucht, W.; Schaaf, C.; Tsang, T.; Gao, F.; ... and 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. and 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. and 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.