

واکاوی پیوند سپیدایی با ارتفاع، شیب و وجه‌شیب در ایران‌زمین

امیدرضا کفایت مطلق^{۱*}، محمود خسروی^۲ و سید ابوالفضل مسعودیان^۳

^۱ دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

^۲ استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

^۳ استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲)

چکیده

سپیدایی رویه فراسنجی کلیدی است که تابعی از نوع سطح زمین است. در این پژوهش برای واکاوی پیوند سپیدایی با مؤلفه‌های ارتفاعی در ایران از داده‌های ترکیبی (ترازا/اکوا) سنجنده مودیس در بازه زمانی ۱۳۷۹/۱/۱ تا ۱۳۹۷/۱۲/۲۹ (۶۹۴۰ روز) به صورت روزانه و در تفکیک مکانی ۵۰۰ متر بهره گرفته شد. همچنین داده‌های مدل رقومی ارتفاع ایران در تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و با سیستم تصویر سینوسی هماهنگ با تفکیک و سیستم تصویر داده‌های سپیدایی از تارنمای سازمان فضایی ناسا برداشت شد. در داده‌های مدل رقومی ارتفاع به کار رفته افزون بر ارتفاع نقاط، اطلاعات شیب و وجه‌شیب برای هر یاخته نیز در دسترس است. پیش از به کارگیری داده‌ها برخی پیش‌پردازش‌ها بر روی داده‌های رقومی انجام گرفت. بر مبنای نزدیک به ۶۰ میلیارد یاخته، پیوند سپیدایی و ارتفاع از تراز دریا، یک الگوی قطعه به قطعه خطی را نشان داد. یعنی در ارتفاعات پایین رفتار سپیدایی یکنواخت، سپس کاهش و از ارتفاع ۱۳۰۰ متری با افزایش ارتفاع، به سبب افزایش پوشش برفی سپیدایی افزایش می‌یابد. پیوند سپیدایی و وجه‌شیب نیز نشان داد که دامنه‌های جنوبی ایران، به سبب آفتاب‌گیری بیشتر، حدود ۳ درصد سپیدایی بیشتری از دامنه‌های شمالی دارند. پیوند میان سپیدایی و شیب، خطی مستقیم است. به طوری که تا شیب ۳۰ درجه سپیدایی کاهش می‌یابد اما در شیب‌های بالای ۳۰ درجه سپیدایی افزایش خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: سپیدایی، ارتفاع، شیب، وجه‌شیب، مودیس، ایران

۱ مقدمه

سپیدایی یکی از فراسنج‌های مهم در ترازمندی تابش زمین است و از نسبت چگالی شار بازتابی به چگالی شار برخوردی به یک جسم به دست می‌آید. 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 مرئی تابش حدود $0/8$ و سپیدایی آب آرام و ژرف به شرطی که آفتاب بر آن عمود بتابد حدود $0/4$ است. سپیدایی، وابسته به زاویه تابش است و با افزایش ارتفاع خورشید سپیدایی بسیاری از اجسام کاهش می‌یابد (<http://glossary.ametsoc.org>). در ادبیات و مبانی نظری پژوهش از سپیدایی رویه زمین 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 رِک، ۱۹۷۹). واکاوی داده‌های بلندمدت سپیدایی می‌تواند ویژگی‌ها و اثرات تغییرات سپیدایی را آشکار کند و اطلاعات ارزشمندی برای مدل‌سازی آب و هوایی فراهم آورد. از این رو پژوهش‌های زیادی بر روی آب-وهواشناسی سپیدایی رویه زمین انجام شده است. در برخی از پژوهش‌ها، تأثیر و نقش عوامل توپوگرافی بر دقت داده‌های دورسنجی واکاوی شده است. یادداشت‌هایی که در ادامه آورده شده است به این مهم پرداخته می‌شود.

در مجموع دقت بازیابی سپیدایی در باند سرخ حدود ۱۰ درصد و میانه خطا در حد ۵ درصد است. این درصدها در مقایسه با سپیدایی واقعی محاسبه شده‌اند. در باند فرسرخ نزدیک، دقت بازیابی‌ها حدود ۵ درصد و میانه خطا حدود ۳ درصد است. اگر پراکنش زاویه‌ای نسبتاً کاتوره‌ای باشد؛ ابرناکی اثر چندان زیادی بر دقت

داده‌های ترکیبی MODIS و MISR ندارد. اما اگر تنها از نمونه‌های زاویه‌ای مودیس استفاده شود، ابرناکی تا چندین درصد مقدار خطاها را افزایش می‌دهد. در مورد زوایای سرسویی که بسیار دور از زوایای دیدبانی‌ها بوده‌اند، خطای برون‌یابی‌ها چنان‌که، انتظار می‌رفت تا حدودی زیاد بود. در مورد باند سرخ میانه خطاها حدود ۸ درصد است و در بدترین شرایط، به بیش از ۲۰ درصد می‌رسد. در باند فرسرخ نزدیک، میانه خطا حدود ۴ درصد بوده، و در این مورد نیز در بدترین شرایط به ۲۰ درصد هم می‌رسد. با توجه به زوایای نمونه‌گیری موجود برای این سنجنده‌ها و نیز آزمون‌های بسیار سختگیرانه‌ای که روی این برون‌یابی‌ها به کار گرفته شد، این نتایج رضایت‌بخش هستند. در شرایط معمول، سپیدایی را می‌توان برای هر زاویه سرسوی دلخواه با خطای حدود ۱۰ درصد بازیابی کرد. این مقدار دقت نسبت به سایر شگردها برای بازیابی سپیدایی که آشکارا اثرات دوسویه رویه را در نظر نمی‌گیرند، پیشرفت بزرگی به‌شمار می‌آید. ساخت مدل BRDF برای دیده‌بانی‌های MODIS، MERIS یا AVHRR مستلزم آن است که در طی یک دوره معینی داده‌هایی از زوایای مختلف و از مدارهای گوناگون گردآوری شود تا داده‌هایی که برای ساخت مدل به کار گرفته می‌شود طیف گسترده‌ای از زوایا را پوشش دهد، این داده‌ها تا حدی آلوده به نوفه هستند. علت این نوفه‌ها تفاوت ناچیزی است که در رطوبت رویه، شرایط جوی، ارتفاع، موقعیت جغرافیایی و اندازه چارچوب تصویر برداری دو مدار متوالی وجود دارد (استرالر و همکاران، ۱۹۹۹). تغییرات مکانی و زمانی سپیدایی رویه در شیب شمالی آلاسکا با استفاده از برداشت‌های زمینی و داده‌های دورسنجی بررسی شد. برداشت‌های زمینی تابش خورشیدی دریافتی و بازتاب شده در چندین ایستگاه در طول بزرگراه دالتون در طی سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۹۸ برای

(۲۸۲/۷۳۵-۰/۱) در مقایسه با داده‌های نسخه ۵ ثابت بیشتری دارد. همچنین سطوح کمتری از نوفه (به‌عنوان تغییرپذیری با بسامد بالا در سری زمانی مشاهده می‌شود) در نسخه ۶ در مقایسه با نسخه ۵، بهبود سری فراسنج‌ها BRDF را تأیید می‌کند. این نتایج تأیید می‌کند که فراورده MCD43A1 نسخه ششم نمایانگر ناهمسانگردی از ویژگی‌های رویه است و باعث دقت در جهت‌گیری بازتاب در هر هندسه خورشیدی و زاویه دید نسبت به نسخه قبلی می‌شود (چه و همکاران، ۲۰۱۷). منابع اصلی تغییرات سیدایی رویه زمین؛ تغییر در پوشش برف، تغییر در میزان رطوبت‌خاک، خشکسالی، تغییر در فنولوژی پوشش گیاهی، تغییر در مؤلفه‌های ارتفاعی، آتش‌سوزی جنگل، تغییر پوشش زمین و تغییر کاربری زمین است که به‌طور مستقیم با فعالیت‌های انسانی مانند جنگل‌زدایی، آبیاری و شهرنشینی مرتبط است. سیدایی جنگل‌ها از سیدایی بوته‌زارها، کشتزارها، علفزارها و زمین‌های بایر کوچک‌تر است. در نتیجه تبدیل جنگل به این نوع پوشش‌ها منجر به افزایش سیدایی رویه می‌شود. این تغییرات می‌تواند پسخوراند‌های محلی و منطقه‌ای داشته باشد، زیرا افزایش سیدایی رویه سبب کاهش تابش خالص، شار تلاطمی گرما، ابرهای همرفتی و بارش می‌شود و در نتیجه هواسپهر خشک‌تر می‌شود. وقتی کربن سیاه بر روی برف و یخچال‌های طبیعی می‌نشیند، باعث کاهش سیدایی می‌شود؛ زیرا با برف دانه‌ها ترکیب شده، سطح برف و یخ را تیره می‌کند و ذوب سطحی را افزایش می‌دهد. غبارهای هواویز مانندی که وارد هواسپهر شده و توسط باد به مناطق کوهستانی منتقل می‌شوند بر روی برف و یخچال‌ها می‌نشینند، سیدایی را کاهش می‌دهند و موجب تشدید گرمایش در ارتفاعات بالا می‌شوند. گرچه بارش به‌عنوان منبع اصلی تغییرات رطوبت خاک شناخته شده اما اثر آن بر روی سیدایی وابسته به تبخیر، نوع خاک، مقدار تابش، پوشش گیاهی و ناهمواری زمین است

تعیین سیدایی رویه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای محاسبه سیدایی داده‌های دورسنجی از ماهواره AVHRR که از مرکز ملی داده‌های برف و یخ تهیه شده، به دست آمد. یافته‌ها نشان داد که سیدایی رویه بیش از ۰/۹ برای سطوح پوشش برف در شرایط بارش بسیار زیاد تا کمتر از ۰/۱ برای سطح خاک تندرا متفاوت است. شیب شمالی که به سه منطقه بر اساس الگوهای تغییرات فصلی تقسیم شده بود. منطقه محدوده کوه بروک با ارتفاع بالای ۱۰۰۰ متر در مقایسه با دو منطقه دیگر در زمستان دارای کمترین مقدار سیدایی رویه از ۰/۴-۰/۷ و در تابستان نسبتاً بالا از ۰/۱۵-۰/۲ بوده است. منطقه فرورفتگی بروک با ارتفاع ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ متر دارای سیدایی نسبتاً بالا در زمستان (۰/۸) و بالاترین مقدار آن در تابستان (۰/۲) سیدایی رویه در این منطقه به سرعت از ۰/۲ به ۰/۸ در عرض چند هفته در بهار تغییر کرده است. منطقه ساحلی با ارتفاع کمتر از ۳۰۰ متر دارای بالاترین سیدایی رویه در زمستان (بالاتر از ۰/۸) و کمترین آن در تابستان (کمتر از ۰/۱۵) بوده است. یافته‌های نهایی نشان داد که سیدایی رویه و سطح برف در مدل‌های سطح زمینی، برای برف در عرض‌های بالا نسبت به برف در عرض‌های میانی به‌ویژه در ماه‌های زمستان متفاوت بوده است (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۳). با لامبرتی فرض کردن سطح زمین مقدار خطای نسبی برآورد بازتاب رویه در باند مرئی بین ۳ تا ۱۲ درصد و در باند فرورسرخ نزدیک بین ۰/۷ تا ۵ درصد خواهد شد و در نتیجه برآورد مقدار NDVI را با خطایی حدود یک درصد و سیدایی را با خطایی کمتر از یک درصد روبرو می‌کند (فرانچ و همکاران، ۲۰۱۳). مقایسه میان فراورده MCD43A1 نسخه ۵ با نسخه ۶ سنجنده مودیس نشان داد که نسخه ششم با ضریب تعیین بالاتر (۰/۹۵۵-۰/۶۳)، دامنه وایازی نزدیک به مرکز (۰/۷۱۸-۰/۹۵۵)، ریشه اختلاف میانگین مربعات پایین (۱۴۲/۴۲۲-۳/۰) و میانگین خطای مطلق پایین

(کریسولاکی و همکاران، ۲۰۱۹).

در ایران در پژوهش‌های جامعی تأثیر مؤلفه‌های ارتفاعی بر فراسنج‌هایی چون بارش (عساکره و همکاران، ۱۴۰۰)، برف (کیخسروی کیانی و مسعودیان، ۱۳۹۵) و دمای رویه زمین (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵) بررسی شده است. اما تاکنون در پژوهش جامعی تأثیر مؤلفه‌های ارتفاعی بر سپیدایی ایران زمین انجام نشده است. تنها پژوهشی که در گستره ایران انجام شده می‌توان به کار کفایت مطلق و همکاران (۱۳۹۹) اشاره کرد. ایشان میانگین بلندمدت سپیدایی ایران زمین را محاسبه کرده و پیوند آن را با یکی از مؤلفه‌های ارتفاعی بررسی کردند. یافته‌های ایشان نشان داد که پیوند سپیدایی و ارتفاع از تراز دریا در گستره ایران زمین یک 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 ۱۴۰۰-۱۲۰۰ متری به سبب کاربری اراضی متفاوت، مقدار سپیدایی از ۱۲-۳۶ درصد متغیر است. از ارتفاع ۱۴۰۰ متری پیوند نیرومند مستقیمی بین سپیدایی و ارتفاع از تراز دریا در گستره ایران زمین دیده می‌شود؛ به طوری که با افزایش ارتفاع به سبب کاهش دما و افزایش پوشش برفی بر سپیدایی افزوده شده و در ارتفاع ۴۰۰۰ متری سپیدایی نزدیک به ۶۰ درصد را تجربه می‌کند. همچنین ایشان بر این باورند که این پیوند نسبی سپیدایی 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 ولی در ارتفاعات کمتر از ۱۰۰۰ متر غیرمستقیم است و با افزایش ارتفاع از سپیدایی کاسته می‌شود. برخی پژوهشگران دیگر نیز تنها یکی از مؤلفه‌های ارتفاعی را برای یک ناحیه محدود و محلی استفاده کردند (نظری و همکاران، ۱۳۹۱؛ فیروزی و

همکاران، ۱۳۹۷). از آنجایی که سپیدایی فراسنج فیزیکی بسیار مهمی در مطالعات زیست محیطی، هواشناسی و بیلان تابشی به‌شمار می‌رود و بر حیات زیست‌بوم‌های گیاهی و حیوانی تأثیرگذار است لازم است تغییرات آن در ارتفاع، شیب و دامنه‌های مختلف کشور بررسی شود و آشکار شود که در چه کمربندهای ارتفاعی مقدار سپیدایی بیشینه و در چه کمربندهایی کمینه است؟ شیب بحرانی سپیدایی چند درجه است؟ در کدام دامنه‌ها مقدار سپیدایی بیشینه و در کدام دامنه کمینه است؟ دلایل این کمینه و بیشینه بودن سپیدایی در مؤلفه‌های ارتفاعی خاص چیست؟

پاسخ به هر یک از این پرسش‌ها به شناخت جغرافیایی کشور کمک شایانی می‌نماید. چرا که با بررسی پیوند سپیدایی در کمربندهای ارتفاعی، شیب و وجه‌شیب می‌توان به تغییرات محیطی پی برد. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، پیوند سپیدایی با مؤلفه‌های ارتفاعی تنها در پژوهش‌های نادری، آن هم برای یک دوره نسبتاً کوتاه یا بر روی پهنه‌ای محلی انجام شده، اما در این پژوهش پیوند سپیدایی و مؤلفه‌های ارتفاعی برای یک دوره میان‌مدت (۱۳۹۷-۱۳۷۹ خورشیدی) پردازش شده است. افزون بر این، این پژوهش در گستره وسیع کشور ایران انجام شده است. از این رو می‌تواند به‌عنوان یک پژوهش جامع در خصوص تحلیل فضایی-زمانی سپیدایی به‌شمار رود.

۲ داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش برای بررسی پیوند سپیدایی با مؤلفه‌های ارتفاعی در ایران زمین از باند نخست فرآورده MCD43A4 سنجنده مودیس در محدوده ۰/۶۷-۰/۶۲ میکرون و در بازه زمانی ۱۳۷۹/۱/۱ تا ۱۳۹۷/۱۲/۲۹ خورشیدی به مدت ۶۹۴۰ روز استفاده شد. این فرآورده بر اساس تابع توزیع بازتابندگی دو راستایی (BRDF) تهیه شده است. این تابع تعیین می‌کند که وقتی انرژی تابشی از راستایی معین به

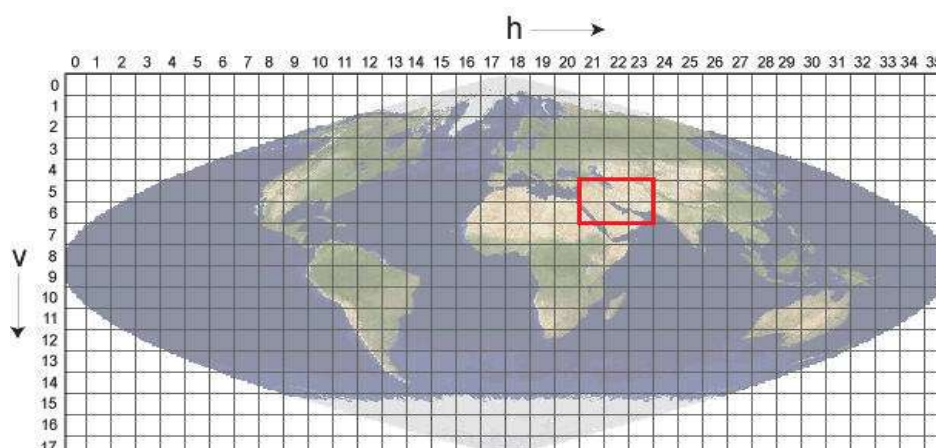
متری بوده در هر روز ۷۵۴۱۵۰۲ یاخته درون ایران قرار دارد. بنابراین یک ماتریس زمان-مکان به ابعاد ۷۵۴۱۵۰۲ × ۶۹۴۰ که سطرهای آن نشان دهنده شمار روزها و ستون-ها نشان دهنده تعداد یاخته‌ها بود، مبنای داوری قرار گرفت. برای بررسی پیوند سپیدایی با مؤلفه‌های ارتفاعی نخست میانگین بلندمدت سپیدایی کشور طی بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۷ محاسبه شد؛ یعنی برای ۶۹۴۰ روز سپیدایی بررسی شده و در نهایت میانگین‌گیری شد. شکل ۴ میانگین بلندمدت سپیدایی کشور را نشان می‌دهد. همان‌گونه که اشاره شد، تفکیک داده‌های سپیدایی ۵۰۰ متر بود. برای بررسی پیوند میان سپیدایی و ارتفاع، شیب و وجه شیب به یک مدل رقومی ارتفاعی نیاز بود که تفکیک آن همانند داده‌های سپیدایی ۵۰۰ متر و سیستم تصویر آن نیز سینوسی باشد. برای این منظور مدل رقومی ارتفاع با مشخصات یادشده، از تارنمای سازمان فضایی ناسا دریافت شد. در مدل رقومی ارتفاع افزون بر داده‌های ارتفاع برای هر یاخته در تفکیک ۵۰۰ متر، اطلاعات درجه شیب و وجه شیب نیز در دسترس است. در نگاره ۲ مدل رقومی ارتفاعی ایران با سیستم تصویر سینوسی نشان داده شده است. در گام بعدی به کمک برنامه‌نویسی در نرم‌افزار متلب، برای هر گروه ارتفاعی از ارتفاع ۲۹- تا ۵۴۷۶ متر با گام‌های ارتفاعی یک متری، میانگین بلندمدت سپیدایی محاسبه شد. این مقادیر در مدل رقومی ارتفاع ایران، پایین‌ترین و بالاترین ارتفاع در تفکیک ۵۰۰ متری است. با توجه به گام‌های ارتفاعی یک متری، رفتار سپیدایی در همه کمربندهای ارتفاعی بررسی شد. در گام بعدی نیز پیوند سپیدایی و وجه شیب در گام‌های ۱ درجه در دامنه‌های مختلف بررسی شد. همچنین کد دیگری در نرم‌افزار متلب تعریف شد تا رفتار سپیدایی در شیب‌های مختلف با گام‌های ۱ درجه آشکار شود. بر هیچ یک از ما پوشیده نیست که تقویم خورشیدی ایرانی به دلیل

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 عبور داده می‌شوند. این بدان معنی است که این تابع، تابعی از طول موج می‌باشد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

واحد این تابع، بر استرادیان (sr^{-1}) بوده و $\theta_i, \phi_i; \theta_v, \phi_v$ به ترتیب زاویه سرسو و زاویه سمت مربوط به راستای فرودی و دید هستند. $E(\theta_i, \phi_i; A)$ تابش فرودی در راستای تابش در طول موج A و $L_v(\theta_i, \phi_i; \theta_v, \phi_v; E_i; A)$ تابندگی در راستای دید و در طول موج A تحت شرایط نوردهی می‌باشد (نیکودموس و همکاران، ۱۹۷۷؛ استرالرو و همکاران، ۱۹۹۹).

داده‌های فرآورده MCD43A4 سنجنده مودیس ترکیبی از ماهواره‌های ترا و آکوا با پوشش مکانی ۵۰۰ متر بوده است. فرمت داده‌ها HDF بوده و بازه زمانی آن روزانه است که از تاریخ ۱۳۷۸/۱۲/۵ خورشیدی (با چند روز دیر هنگامی) بر روی تارنمای مودیس در دسترس می‌باشد. همچنین مختصات این داده‌ها سینوسی است و ایران در مختصات ۵ و ۶ عمودی و ۲۱ تا ۲۳ افقی قرار دارد. 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 (شکل ۱). با توجه به این که داده‌های به کار گرفته شده خارج از گستره ایران زمین را نیز در بر می‌گرفت، به کمک تابع Inpolygon در نرم‌افزار متلب، تنها داده‌هایی که درون مرز جغرافیایی ایران را پوشش می‌داد، استخراج گردید. از آنجایی که داده‌ها روزانه و دارای تفکیک ۵۰۰



شکل ۱. مختصات کاشی‌های استفاده شده در این پژوهش.

را نشان می‌دهد. در این پهنه‌ها با افزایش ارتفاع به سبب افزایش دمای رویه زمین، سپیدایی به شدت افزایش می‌یابد. به طوری که سپیدایی از ۴ درصد به حدود ۱۶ درصد می‌رسد. الگوی دوم رفتار یکنواخت سپیدایی در ارتفاع ۸۰۰-۸۰۰ متری را نشان می‌دهد. الگوی سوم رفتار کاهش سپیدایی با ارتفاع در کمربند ۱۳۰۰-۸۰۰ متری آشکار شده است. یکی از دلایل کاهش سپیدایی در این کمربندهای ارتفاعی، می‌تواند گسترش شهرها و به تبع آن کاهش سپیدایی به خاطر سطح صاف آسفالت خیابان‌ها و سنگفرش خیابان‌ها باشد. در الگوی چهارم پیوند مستقیم سپیدایی با ارتفاع در کمربند ۳۵۰۰-۱۳۰۰ متری مشاهده می‌شود. یکی از دلایل اصلی افزایش سپیدایی در این کمربند ارتفاعی، افزایش پوشش برفی در این کمربند ارتفاعی است. بر اساس پژوهش کیخسروی کیانی (۱۳۹۵) در این کمربند ارتفاعی، شرایط دمایی برای انباشت برف فراهم بوده و پوشش برفی چشمگیری دیده می‌شود. الگوی پنجم نیز پیوند مستقیم سپیدایی و ارتفاع بالای ۳۵۰۰ متری را نشان می‌دهد و ادامه الگوی چهارم است، با این تفاوت که این الگو تا حدودی نظم خود را از دست داده و یک الگوی پراکنده را از خود نشان می‌دهد (شکل ۳). بررسی‌ها نشان می‌دهد برهم خوردن پیوند میان

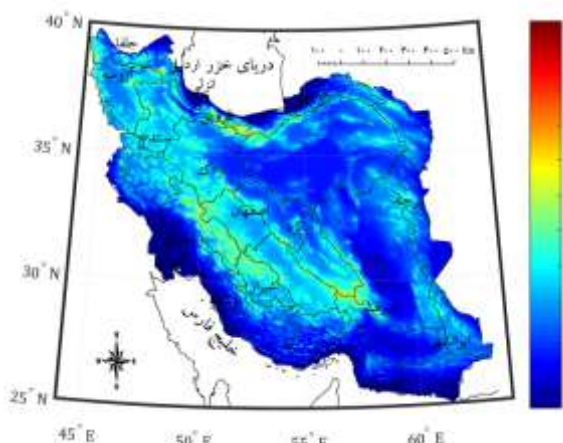
هماهنگی با واقعیات نجومی بسیار کاراتر از تقویم میلادی است. به ویژه در پژوهش‌های آب و هواشناختی برتری تقویم ایرانی بر تقویم میلادی آشکار است. بر این اساس و به خاطر در دسترس بودن داده‌های روزانه به جای تقویم میلادی از تقویم خورشیدی بهره گرفته شد.

۳ نتایج و بحث

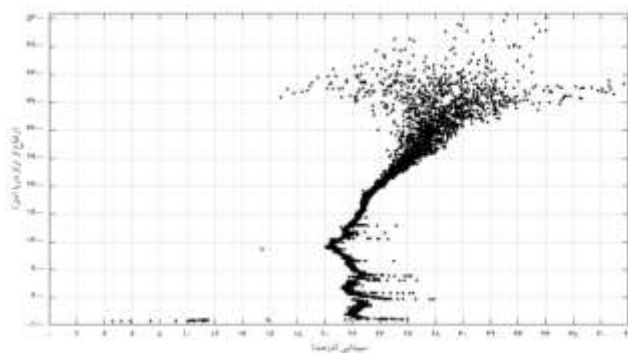
عوامل توپوگرافی از جمله عواملی هستند که بر پراکنش سپیدایی نقشی برجسته‌ای دارند. مهم‌ترین عامل توپوگرافی، ارتفاع از تراز دریا است. بر اساس مدل رقومی ارتفاع با تفکیک ۵۰۰ متری، پست‌ترین نقطه ایران با ۲۹ متر زیر سطح دریا در کرانه‌های دریا خزر و بالاترین نقطه با ارتفاع ۵۴۷۶ متر در چکاد دماوند دیده می‌شود. بر اساس این مدل رقومی، میانگین ارتفاع ایران ۱۲۵۴ متر است (شکل ۲). بررسی رابطه میان سپیدایی و ارتفاع در ایران نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع، بر سپیدایی نیز افزوده می‌شود. اما این افزایش تا یک ارتفاع ویژه‌ای دیده می‌شود و پس از آن نظم خود را از دست داده و به یک الگوی پراکنده میل می‌کند. روی هم رفته پیوند سپیدایی با افزایش ارتفاع دارای ۵ الگوی متفاوت است. الگوی نخست مربوط به رفتار سپیدایی در ارتفاع زیر سطح دریا

نمونه میانگین سپیدایی ارتفاع ۲۹۰۰ متر از روی ۲۴۸ یاخته و ارتفاع ۴۰۰۸ متر تنها به کمک یک یاخته محاسبه شده است. این دو عامل اصلی سبب می‌شود تا در ارتفاعات بالا یک الگوی پراکنده میان ارتفاع و سپیدایی در کشور دیده شود. البته در این میان می‌توان وجه شیب و به دنبال آن، وزش باد را نیز از دیگر عوامل مهم دانست.

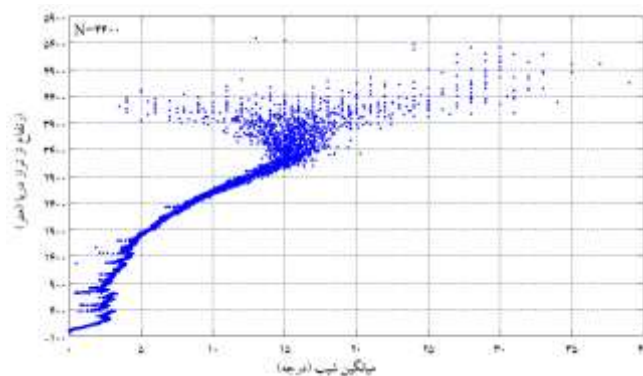
سپیدایی و ارتفاع در بلندی‌ها ریشه در چند عامل دارد، نخست آن که در ارتفاعات بر تندی شیب افزوده می‌شود و وجود شیب‌های تند سبب می‌شود تا سپیدایی حالت ناپایدار داشته باشد و شرایط مناسب برای انباشت برف و سپیدایی بالا مهیا نباشد (شکل ۴). دوم آن که شمار یاخته - هایی که در گروه‌های بالای ارتفاعی جای دارند در مقایسه با ارتفاعات پایین‌تر بسیار کمتر می‌باشند. برای



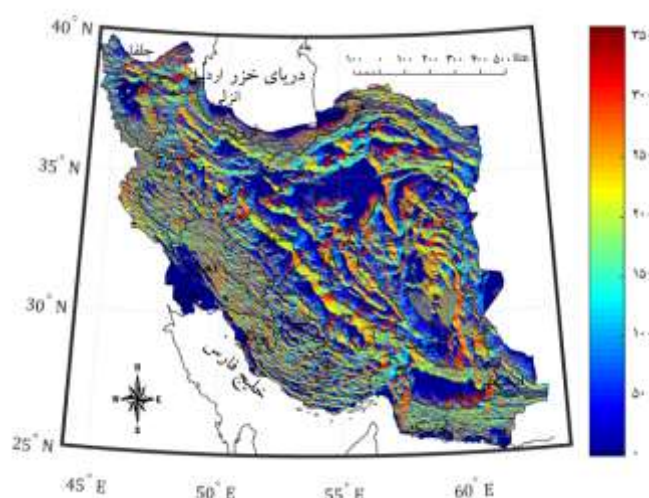
شکل ۲. پراکنش ارتفاع از تراز دریا در ایران.



شکل ۳. پیوند سپیدایی و ارتفاع از تراز دریا در ایران.



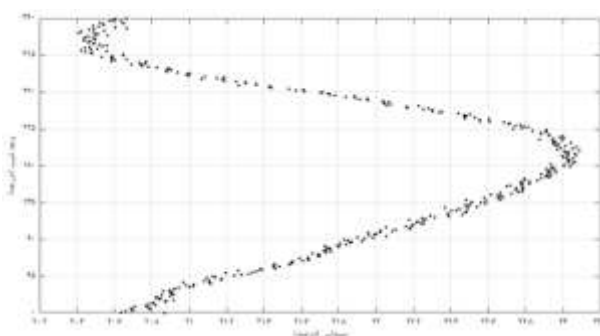
شکل ۴. پراکنش میانگین شیب در کمربندهای ارتفاعی مختلف.



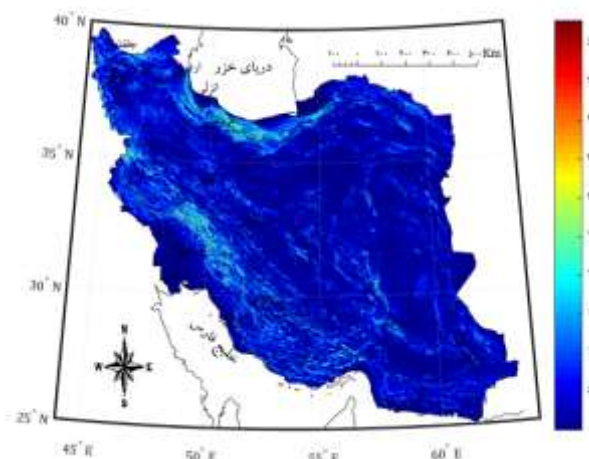
شکل ۵. پراکنش وجه شیب در ایران.

با تغییر وجه شیب به سوی شمال مقدار انرژی دریافتی هر واحد از سطح کاهش می‌یابد. شکل ۶ نشان‌دهنده پیوند میان سپیدایی و وجه شیب در ایران می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود پیوند نیرومندی میان سپیدایی و جهت شیب در کشور دیده می‌شود. بیشینه سپیدایی در وجه شیب‌هایی است که در واقع به نوعی نشانگر جهت جنوب می‌باشند. هرچه وجه شیب از سوی جنوب به سوی شرق و شمال میل می‌کند، به دنبال آن نیز سپیدایی رو به کاهش می‌گذارد، چراکه انرژی دریافتی از خورشید نیز به دنبال این تغییر جهت، کاهش می‌یابد. به‌طور کلی در دامنه‌های جنوبی میانگین سپیدایی به ۲۳ درصد نیز می‌رسد، این در حالی است که در دامنه‌های شمالی میانگین سپیدایی به حدود ۲۰ درصد می‌رسد.

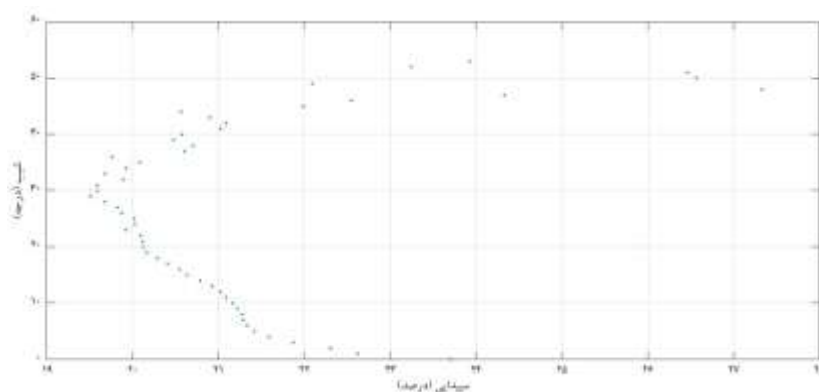
یکی دیگر از عوامل توپوگرافی، وجه شیب است. بر اساس داده‌های رقومی وجه شیب با تفکیک ۵۰۰ متری، در چاله‌های پست داخلی مانند چاله لوت، جازموریان و کرانه‌های دریای خزر، دریاچه ارومیه، دشت کویر و دشت خوزستان دامنه یا وجه شیب ایران با صفر درجه تخت بوده و در برخی نواحی کاملاً شمالی شده و به بالای ۳۳۷/۵ درجه هم می‌رسد. بر اساس این مدل رقومی، میانگین دامنه‌های ایران ۱۳۴ درجه است که به‌عنوان دامنه‌های جنوب‌شرقی شناخته می‌شوند (شکل ۵). هر واحد از سطح در وجه شیب‌های مختلف مقدار انرژی متفاوتی را دریافت می‌کند. دامنه‌های جنوبی به سبب آفتاب‌گیری بیشتر مقدار انرژی خورشیدی بیشتری را دریافت می‌نمایند. از این رو سپیدایی بالاتری نیز دارند. اما



شکل ۶. پیوند سپیدایی و وجه شیب در ایران.



شکل ۷. پراکنش شیب بر حسب درجه در ایران.



شکل ۸. پیوند سپیدایی و شیب در ایران.

(کارپوزوس و همکاران، ۲۰۱۰). هدف از این نوشتار واکاوی پیوند سپیدایی با مؤلفه‌های ارتفاعی در ایران‌زمین می‌باشد. بدین منظور داده‌های متوسط روزانه سپیدایی در فاصله زمانی ۱۳۷۹/۱/۱ تا ۱۳۹۷/۱۲/۲۹ خورشیدی (۶۹۴۰ روز) با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر از وبگاه مودیس برداشت شد. بر مبنای بیش از ۵۰ میلیارد یاخته، میانگین بلندمدت سپیدایی ایران در طول دوره مورد مطالعه محاسبه شد. سپس برای بررسی پیوند سپیدایی با مؤلفه‌های ارتفاعی همچون ارتفاع از تراز دریا، شیب و وجه‌شیب در ایران از مدل رقومی ارتفاع (DEM) هماهنگ با داده‌های سپیدایی بهره گرفته شد. یافته‌ها نشان داد که مقدار سپیدایی با افزایش ارتفاع دارای ۵ الگوی متفاوت است. الگوی نخست مربوط به رفتار سپیدایی در ارتفاع زیر سطح دریا

میانگین شیب ایران نزدیک به ۴ درجه است و بیش از ۹۵ درصد گستره کشور شیب کمتر از ۱۵ درجه دارد. از این رو ایران کشوری کم‌شیب و هموار به حساب می‌آید (شکل ۷). بررسی‌ها در ایران نشان می‌دهد با افزایش شیب تا ۳۰ درجه، مقدار سپیدایی کاهش می‌یابد، اما پس از شیب ۳۰ درجه با افزایش شیب، سپیدایی نیز افزایش می‌یابد. در واقع می‌توان گفت در کشور ایران شیب ۳۰ درجه مقدار بحرانی را نشان می‌دهد و با افزایش درجه شیب از این مقدار به بالا، بر بازتاب افزوده می‌شود (شکل ۸).

۴ نتیجه‌گیری

به دلیل دخالت‌های بی‌رویه انسان و تغییرپذیری طبیعی سامانه اقلیم فرض پایایی به‌خودی‌خود باطل است

را نشان می‌دهد. در این پهنه‌ها با افزایش ارتفاع به سبب افزایش دمای رویه زمین، سپیدایی به شدت افزایش می‌یابد. به طوری که سپیدایی از ۴ درصد به حدود ۱۶ درصد می‌رسد. الگوی دوم رفتار یکنواخت سپیدایی در ارتفاع ۸۰۰-۰ متری را نشان می‌دهد. الگوی سوم رفتار کاهشی سپیدایی با ارتفاع در کمربند ۱۳۰۰-۸۰۰ متری آشکار شده است. یکی از دلایل کاهش سپیدایی در این کمربندهای ارتفاعی، می‌تواند گسترش شهرها و به تبع آن کاهش سپیدایی به خاطر سطح صاف آسفالت خیابان‌ها و سنگ فرش خیابان‌ها باشد. در الگوی چهارم پیوند مستقیم سپیدایی با ارتفاع در کمربند ۳۵۰۰-۱۳۰۰ متری مشاهده می‌شود. یکی از دلایل اصلی افزایش سپیدایی در این کمربند ارتفاعی، افزایش پوشش برفی در این کمربند ارتفاعی است. این بخش از یافته‌ها هماهنگ با پژوهش کیخسروی کیانی و مسعودیان (۱۳۹۵) است. ایشان نیز این کمربند ارتفاعی را مناسب انباشت برف دانسته‌اند. الگوی پنجم نیز پیوند مستقیم سپیدایی و ارتفاع بالای ۳۵۰۰ متری را نشان می‌دهد و ادامه الگوی چهارم است، با این تفاوت که این الگو تا حدودی نظم خود را از دست داده و یک الگوی پراکنده را از خود نشان می‌دهد. پیوند سپیدایی و وجه شیب نشان داد که دامنه‌های جنوبی به سبب آفتاب‌گیری بیشتر حدود ۳ درصد بیش از دامنه‌های شمالی بازتاب می‌کنند. همچنین یافته‌های پیوند سپیدایی با شیب گویای آن است که با افزایش شیب تا ۳۰ درجه، مقدار سپیدایی کاهش می‌یابد، اما پس از شیب ۳۰ درجه با افزایش شیب، سپیدایی نیز افزایش می‌یابد. در واقع می‌توان گفت در کشور ایران شیب ۳۰ درجه مقدار بحرانی را نشان می‌دهد و با افزایش درجه شیب از این مقدار به بالا، بر بازتاب افزوده می‌شود.

سپاس‌گزاری

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد. از صندوق

حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به خاطر حمایت از این رساله (به شماره طرح ۹۷۰۰۹۴۲۸) و مقاله مستخرج از آن تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- عساکره، ح.، مسعودیان، س. ا.، ترکارانی، ف.، ۱۴۰۰، تفکیک نقش عوامل درونی و بیرونی در وردایی دهه‌ای بارش سالانه ایران زمین طی چهار دهه اخیر (۱۳۵۵-۱۳۹۴). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۳(۱)، ۹۱-۱۰۷.
- فیروزی، ف.، طاوسی، ت.، محمودی، پ.، امیرجهانشاهی، س. م.، ۱۳۹۷، بررسی تغییرات زمانی-فضایی آلودگی سطح بر روی دشت سیستان در شرق ایران با استفاده از تولیدات سنجنش از دور سنجنده MODIS ماهواره Terra. سنجنش از دور و GIS ایران، ۱۰(۴)، ۸۵-۶۹.
- کفایت مطلق، ا. ر.، خسروی، م.، مسعودیان، س. ا.، کیخسروی کیانی، م. ص.، حمیدیان‌پور، م.، ۱۳۹۹، واکاوی میانگین بلندمدت سپیدایی سرخ‌فام ایران زمین، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۲(۱)، ۸۵-۹۴.
- کیخسروی کیانی، م. ص.، ۱۳۹۵، آب و هواشناسی پوشش برف در ایران با بهره‌گیری از داده‌های دورسنجی، سید ابوالفضل مسعودیان و مجید منتظری، رساله دکتری رشته آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.
- کیخسروی کیانی، م. ص.، مسعودیان، س. ا.، ۱۳۹۵، واکاوی پیوند روزهای برفپوشان با ارتفاع، شیب و وجه‌شیب در ایران زمین. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸(۱)، ۱-۱۴.
- مرادی، م.، صلاحی، ب.، مسعودیان، س. ا.، ۱۳۹۵، بررسی شیب دمای سطح زمین در ایران با داده‌های روزه‌نگام مودیس، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی،

۵۳۲-۵۱۷، (۴)۴۸

نظری، ف.، جاوید، م.، نامجو، ا.، ۱۳۹۱، محاسبه و تعیین نسبت متوسط تابش ماهانه روی سطح شیبدار به سطح افق برای مراکز ۲۰ استان کشور، همایش ملی مهندسی مکانیک، تهران.

- Che, X., Feng, M., Sexton, J., Channan, S., Yang, Y. and Sun, Q., 2017, Assessment of MODIS BRDF/Albedo model parameters (MCD43A1 Collection 6) for directional reflectance retrieval. *Remote Sensing*, 9(11), 1123.
- Chrysoulakis, N., Mitraka, Z. and Gorelick, N., 2019, Exploiting satellite observations for global surface albedo trends monitoring. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(1), 1171-1179.
- Franch, B., Vermote, E. F., Sobrino, J. A. and Fédèle, E., 2013, Analysis of directional effects on atmospheric correction. *Remote Sensing of Environment*, 128, 276-288.
http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main_Page. Accessed May, 19, 2018.
- Hummel, J. R. and Reck, R. A., 1979, A global surface albedo model. *Journal of Applied Meteorology*, 18(3), 239-253.
- Karpouzou, D. K., Kavalieratou, S. and Babajimopoulos, C., 2010, Trend analysis of precipitation data in Pieria Region (Greece). *European Water*, 30, 31-40.
- 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).
- Strahler, A. H., Muller, J., 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.
- Zhang, T., Scambos, T., Haran, T., Hinzman, L. D., Barry, R. G. and Kane, D. L., 2003, Ground-based and satellite-derived measurements of surface albedo on the North Slope of Alaska. *Journal of Hydrometeorology*, 4(1), 77-91.

Analysis of the relationship albedo with Elevation, slope, and Aspect in Iran

Omid Reza Kefayat Motlagh¹, Mahmood Khosravi^{2*} and Seyyed Abolfazl Masoodian³

¹ Ph.D. of Climatology, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

² Prof. of Climatology, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

³ Prof. of Climatology, Department of Physical Geography, University of Isfahan, Isfahan, Iran

(Received: 31 January 2022, Accepted: 11 April 2022)

Summary

Surface albedo is a climatic parameter that is a function of surface type. In this study, to investigate the relationship between albedo and Elevation components in Iran from the combined data (Terra / Aqua) of Modis sensor in the period 3/20/2000 to 3/20/2019 (6940 days) on a daily basis and in a spatial resolution of 500 Meters were utilized. Also, Iran's Digital Elevation Model (DEM) data in spatial resolution of 500 meters and with a sinusoidal projection system coordinated with the spatial resolution and projection system of albedo data were downloaded from the NASA website. In the DEM data used, In data used, in addition to the elevation of the points, the slope and aspect information for each pixel is also in decis. Prior to data usage, some preprocessing was performed on digital data. Based on nearly 60 billion pixels, the albedo and DEM showed a linear fragmentary pattern. The results showed that the amount of albedo has 5 different patterns with increasing elevation. The first pattern shows the whiteness behavior at elevation below sea level. In these zones, albedo increases sharply with increasing elevation due to rising land surface temperature(LST). So that the albedo goes from 4% to about 16%. The second pattern shows the uniform behavior of the albedo at an elevation of 0-800 m. The third pattern of albedo decreasing behavior with elevation is revealed in the 1300-800 m belt. One of the reasons for the decrease in albedo in these elevation belts can be the expansion of cities and consequently the decrease in albedo due to the smooth surface of the asphalt of the streets and the paving of the streets. In the fourth pattern, a direct connection of albedo with elevation is observed in the belt of 3500-1300 meters. One of the main reasons for the increase in albedo in this elevation belt is the increase in snow cover in this elevation belt. The fifth pattern also shows a direct link between albedo and elevation above 3500 meters and is a continuation of the fourth pattern, with the difference that this pattern loses some of its order and shows a scattered pattern. The correlation of albedo and slope also showed that due to more sun exposure, the southern aspect of Iran has about 3% more albedo than the northern aspect. The correlation between the albedo and the slope is a straight line. As the albedo decreases to a slope of 30 °, the albedo will increase on slopes above 30 °.

Keywords: Albedo, elevation, slope, aspect, MODIS, Iran