

ارزیابی درصد ابرپوش در ایران با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس ترا (مطالعه موردی: سال ۲۰۰۷ میلادی)

خداکرم حاتمی بهمن‌بیگلو - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان
سعید موحدی* - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۸

چکیده

هدف از این پژوهش ارزیابی مقدار درصد ابرپوش در ایران است. درصد ابرپوش یکی از پارامترهای مهم اقلیمی و هواشناسی است که بیانگر میزان ابرناکی است. برای دستیابی به هدف، از پارامتر درصد ابرپوش فرآورده ابر سنجنده مودیس ماهواره ترا استفاده شده است و نتایج آن شامل توزیع مکانی، میانگین فصلی و سالانه ابرناکی در کشور است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که بیشینه سالانه توزیع مکانی ابرناکی در سواحل دریای خزر و کمینه آن در جنوب شرق کشور دیده می‌شود. در مقیاس فصلی، بیشینه ابرناکی در بیشتر فصول در سواحل جنوبی دریای خزر دیده می‌شود؛ اما در فصل زمستان بر روی مناطق کوهستانی رشته‌کوه البرز و شمال غرب کشور است و کمینه فصلی آن در بیشتر فصول در مناطق جنوب و جنوب شرقی کشور دیده می‌شود؛ اما در فصل تابستان در مناطق غربی و شرقی کشور دیده می‌شود. میانگین ابرناکی سالانه کل کشور ۲۷/۵ درصد است که در هنگام صبح و عصر به ترتیب ۲۵/۳ درصد و ۲۹/۷ درصد است. در مقیاس فصلی، بیشترین و کمترین مقدار ابرناکی به ترتیب در فصل زمستان (۴۶/۱ درصد) و تابستان (۹/۹ درصد) رخ می‌دهد. در مجموع، در مقیاس فصلی و سالانه، تغییرات مکانی و زمانی ابرناکی در کشور ناهمگن است.

کلیدواژه‌ها: ایران، توزیع مکانی، درصد ابرپوش، مودیس ترا.

مقدمه

تقریباً ۵۰ درصد از سطح زمین در هر زمان مشخص به وسیله ابرها پوشیده می‌شود. ابر به عنوان یک توده مرئی از قطره‌های آب چگالش‌یافته یا بلورهای یخی معلق در هواسپهر بر روی سطح زمین تعریف می‌شود (آسمالا و شاوون، ۲۰۱۲: ۲۲۱). ابرها نقش هم‌سنگ در چرخه آب زمین ایفا می‌کنند و به تغییر در تابش و چرخه آب منجر می‌شوند و در راه‌اندازی گردش‌های جوی و اقیانوسی مشارکت دارند؛ زیرا حرکت‌های هواسپهری بخار آب را انتقال می‌دهد و ابر و بارش را پدید می‌آورد (روسوف و شیفر، ۱۹۹۹: ۲۲۶۲) و اقلیم زمین را از طریق سازوکارهای پراکنش عمودی و افقی تابش خورشیدی و گرمای نهان (گرمایش) و از طریق تابش گرمایی (سرمایش)، که موجب به‌جریان‌انداختن گردش‌های هواسپهر می‌شود، تحت تأثیر قرار می‌دهند و در تغییر میدان تابشی سامانه زمین - هواسپهر دارای اهمیت‌اند (چن و همکاران، ۲۰۰۰: ۲۶۴) و همراه بخار آب تعدیل‌کننده‌های مهم اقلیمی‌اند و در بازخوردهای اقلیمی به‌شدت گردش‌های هواسپهری و توازن انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (ژیانگ و همکاران، ۲۰۱۲: ۲-۱).

این مطالعه به بررسی توزیع زمانی و مکانی پوشش ابر در ایران با استفاده از داده‌های دورسنجی می‌پردازد که در مطالعات داخلی رسولی و همکاران (۱۳۹۲: ۸۵)، با استفاده از مقادیر پوشش ابر ماهانه ایستگاه‌های همدید، بیشینه پوشش ابرناکی سالانه کشور را در سواحل جنوبی دریای خزر و کمینه آن را در مناطق جنوبی کشور مشخص کرده‌اند. علاوه بر این، امیدوار (۱۳۸۱: ۴۲) به بررسی ویژگی‌های اقلیم‌شناسی ابر در ارتفاعات جنوبی کرمان به منظور ارزیابی امکان اجرای پروژه‌های افزایش بارش پرداخته است. حاجی میررحیمی و بای (۱۳۸۷: ۱) به طبقه‌بندی انواع ابر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در دو روز بارانی پرداختند و از راهکار گروه‌بندی شیء‌گرا به شناسایی گونه ابرها و برآورد مساحت آن‌ها بهره جستند. در مطالعات خارج از کشور، توزیع مکانی و زمانی پوشش ابر در مقیاس جهانی با استفاده از داده‌های مودیس ترا و اکوا بررسی شد و میزان درصد ابرپوش را تقریباً ۶۷ درصد برآورد نمودند و بیشترین پوشش ابر را در مناطق کمربند همگرایی حاره‌ای و کمترین آن را در گرداگرد اقیانوس‌های جنب حاره‌ای مشخص کردند (کینگ و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این، وایل و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیشینه پوشش ابر در مقیاس جهانی را به ترتیب در مناطق کمربند همگرایی حاره‌ای، کمربندهای طوفانی عرض‌های میانی، شمال اقیانوس اطلس، شمال اقیانوس آرام، و اقیانوس جنوبگان و کمینه آن را در اقیانوس‌ها و بیابان‌های مناطق پرفشار جنب حاره‌ای مشخص کردند (وایل و همکاران، ۲۰۰۵: ۳۰۲۶). روسوف و شیفر (۱۹۹۱: ۱۴) مقدار پوشش ابر را در مسیر طوفان‌های اقیانوسی عرض‌های میانی و منطقه همگرایی حاره‌ای بیش از ۷۰ درصد و در بیابان‌های جنب حاره‌ای کمتر از ۴۰ درصد برآورد کردند و بیان کردند که در برخی از مناطق اقیانوس‌های جنب حاره‌ای، به ویژه اقیانوس آرام شرقی، مقادیر ابر به طور چشم‌گیری کمتر از ۵۰ درصد است. چوی و همکاران (۲۰۱۰: ۱۲۴۱-۱۲۴۳) با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس و کالیپسو^۱ مشخص کردند که با افزایش عرض جغرافیایی پوشش ابر کاهش می‌یابد. علاوه بر این، توزیع زمانی و مکانی پوشش ابر در کشورهای اسپانیا (گارسیا و همکاران، ۲۰۰۸)، لهستان (فلیپیاک و همکاران، ۲۰۰۹)، و چین (لی و همکاران، ۲۰۰۴) بررسی شده است.

مطالعات اقلیمی اندکی درباره پدیده ابر در کشور صورت گرفته است؛ در بیشتر این مطالعات از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استفاده شده است؛ اما در این مطالعه از داده‌های دورسنجی در مقیاس روزانه با تفکیک مکانی بالا استفاده شده که مزیت آن نسبت به سایر پژوهش‌های مرتبط با ابر است. علاوه بر این، با توجه به روش به‌کاربرده شده و نتایج آن، نقطه آغازی است تا پژوهشگران از پارامترهای مختلف سنجنده‌های مودیس در مقیاس زمانی بلندمدت (اقلیمی) با تفکیک مکانی متعدد (۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ متر) در مطالعات خویش بهره‌گیرند.

با توجه به اینکه پدیده ابر نقش مهمی در چرخه آب، تابش، دما، بارش، و پیش‌بینی و پیش‌یابی پدیده‌های اقلیمی و غیره دارد و اطلاعات کافی از توزیع مکانی ابر در ایران به‌جز اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک کشور وجود ندارد، ضروری است تا اطلاعات پایه ابر فراهم شود و، برای شناخت دقیق‌تر و جامع‌تر این پدیده، بهره‌گیری از روش‌های نوین جمع‌آوری داده‌ها و پردازش آن‌ها ضرورت دارد. بنابراین، در این پژوهش به بررسی پراکنش مکانی پوشش ابر در ایران با بهره‌گیری از داده‌های دورسنجی پرداخته شده است تا از نتایج این پژوهش بنیادی در موضوعات کاربردی از قبیل پیش‌بینی اقلیمی، مدل‌سازی اقلیمی، بارورسازی ابرها، و مکان‌یابی صفحات خورشیدی استفاده شود.

مواد و روش‌ها

اقلیم‌شناسی ابر از دو منبع بنیادی به‌دست می‌آید: ۱. داده‌های دریافت‌شده از ماهواره‌ها؛ ۲. داده‌های به‌دست‌آمده از مشاهدات سطح زمین و هواپیما (شیفر و روسوف، ۱۹۸۳: ۷۷۹). در این پژوهش از داده‌های پارامتر درصد ابرپوش^۲ فرآورده ابر سطح ۲ با نام لاتین^۳ در طیف نوری ۲/۱ میکرومتر از داده‌های سنجنده مودیس سوار بر ماهواره ترا نسخه ۶

1. Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO)

2. Cloud Fraction

3. MOD06_L2.A

در سال ۲۰۰۷ میلادی به صورت روزانه از تارنمای مودیس به نشانی پانوش^۱ استفاده شده است. سنجنش گر مودیس سوار بر ماهواره ترا و آکوا پوشش جهانی روزانه از پارامترهای رویه زمین و هواسپهر تهیه می‌کند. اگرچه سنجنده مودیس به طور فنی سنجنش گر پژوهشی است، بهره‌گیری از آن در کاربردهای عملیاتی به طور گسترده در حال افزایش است (هایر و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۷۹). سنجنده مودیس یکی از پنج سنجنده‌ای است که بر روی ماهواره ترا سوار است و دارای ۳۶ باند طیفی است. سازمان ناسا این ماهواره را در تاریخ ۱۳۷۸/۹/۲۷ به فضا پرتاب و از تاریخ ۱۳۷۸/۱۲/۵ برداشت داده‌ها را آغاز کرد. زمان عبور آن از مدار استوا ساعت ۱۰:۳۰ صبح و ۲۲:۳۰ شب (به وقت محلی گرینویچ) است. دامنه طیفی این سنجنده ۰/۴۲-۱۴/۲۴ میکرومتر است و در هر ۵ دقیقه در مسیر پرواز با ابعاد ۲۳۳۰ در ۲۰۰۰ کیلومتر از سطح زمین (هواسپهر) تصویر برداشت می‌کند و تفکیک مکانی آن از ۲۵۰ متر تا ۱ کیلومتر متغیر است (ناود و همکاران، ۲۰۱۳: ۹۹۸۳). با استفاده از الگوریتم‌های مختلف و اعمال آن بر روی تصاویر، ابرپوشه^۲ مودیس تهیه می‌شود. ابرپوشه مودیس یکی از فرآورده‌های کاربردی است که اطلاعات ابر و سطح زمین را گردآوری می‌کند و به صورت یک مرجع استاندارد برای مقایسه با نتایج سنجنده‌های دیگر استفاده می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۱۴-۳۱۵). در الگوریتم ابرپوشه مودیس از تابندگی ۱۴ باند طیفی (۱، ۲، ۵، ۶، ۲۱-۱۸، ۲۶-۲۹، ۳۱، ۳۲، ۳۵) استفاده می‌شود تا برآورد نماید که آیا یک یاخته مشخص از رویه زمین ابر یا هواویز سبتر است یا به وسیله سایه ابر تحت تأثیر قرار گرفته است. بنابراین، استفاده از آزمون‌های مختلف با آستانه‌های متعدد با کمک طیف‌های متنوع احتمال تشخیص یک ابر را افزایش می‌دهد (اکرم و همکاران، ۱۹۹۸: ۳۲۱۴۱).

در این مطالعه از پارامتر درصد ابرپوش (مقدار ابرناکی) با تفکیک مکانی ۵ در ۵ کیلومتر موجود در فرآورده ابرسنجنده مودیس استفاده شده است. درصد ابرپوش یکی از خواص ابر است که در تفکیک مکانی ۵ در ۵ کیلومتر از داده‌های ۱×۱ کیلومتری ابرپوشه مودیس تهیه می‌شود (هوبنکس و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۵-۴۷). پارامتر درصد ابرپوش عبارت است از کسری از آسمان که به وسیله ابر پوشیده می‌شود. مقدار درصد ابرپوش به صورت درصد بیان می‌شود. کمینه و بیشینه آن به ترتیب ۰ تا ۱۰۰ است (اکرم و پلاتنیک، ۲۰۱۱: ۳) و هر ۱۲/۵ درصد آن معادل یک اکتا فرض می‌شود (کناربا، ۲۰۰۹: ۵۲۴). در این پژوهش، وقتی که پوشش ابر در قسمتی از کشور بین ۲۰ تا ۴۰ درصد بیان می‌شود، در واقع، منظور این است که مقادیر پوشش ابر آن بین ۱/۶ اکتا تا ۳/۲ اکتا است.

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش کشور ایران است که در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی در نیمکره شمالی واقع شده است. با توجه به اینکه مودیس ترا در شبانه‌روز در دو بازه زمانی از فراز ایران، یکی در ساعات ۶ تا ۹ به وقت گرینویچ (زمان خورشیدی) و دیگری ۱۷ تا ۲۰ به وقت گرینویچ (زمان خورشیدی)^۳ می‌گذرد (شکل ۱)، اولی به عنوان هنگام صبح و دومی هنگام عصر تعریف شد. این نام‌گذاری بدین سبب است که با داده‌های شب و روز در فرآورده ابر مودیس اشتباه نشود. در ادامه تصاویر این دو بازه زمانی بر فراز ایران از یکدیگر مجزا شدند. با توجه به اینکه مختصات جغرافیایی تصاویر در روزهای متوالی نامنظم‌اند (سطح دو)، لازم است تا داده‌ها با مختصات جغرافیایی منظم و متوالی مجدداً پردازش شوند تا بررسی اقلیمی (بلندمدت) بر روی پدیده ابر انجام پذیرد. در این زمینه کینگ و همکاران (۲۰۰۳)، پلاتنیک و همکاران (۲۰۰۳) داده‌های فرآورده ابر^۴ را با تفکیک مکانی ۱×۱ درجه طول و عرض جغرافیایی به فرآورده^۵ ابر تبدیل کردند که در مقیاس مکانی منطقه‌ای کاربرد چندانی ندارد.

1. ftp://ladsftp.nascom.nasa.gov/allData/6/MOD06_L2/

2. Cloud Mask

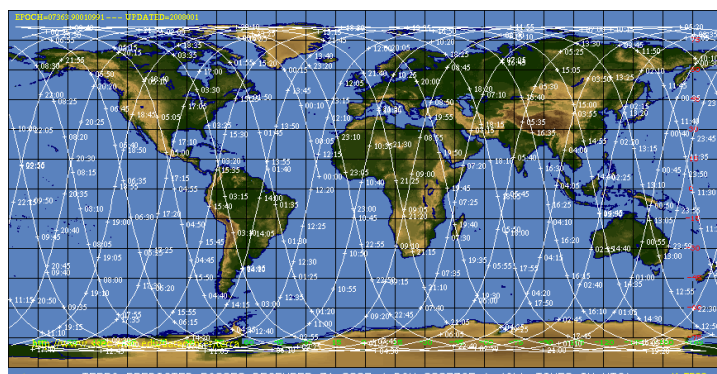
3. Solar Time

4. MOD06 and MYD06

5. MOD08 and MYD08

برای دستیابی به هدف، روش زیر اعمال شد. با توجه به اینکه تصاویر دارای پوشش مشترک‌اند، پوشش مشترک تصاویر در هر بازه به صورت مجزا حذف شد تا در مقادیر ابرناکی اختلال کمتری وارد شود. سپس، یک شبکه مختصات جغرافیایی با تفکیک مکانی (یاخته‌ای) 5×5 کیلومتر همسان با تفکیک مکانی داده‌ها، بر اساس چارچوب ایران (عرض جغرافیایی $25-40$ درجه شمالی و طول جغرافیایی $33-63$ درجه شرقی) به عنوان شبکه منظم یا مرجع با ابعاد 353×618 (ستون و 353 ردیف) تهیه شد و با استفاده از طول و عرض جغرافیایی هر یاخته در شبکه منظم، چارچوبی با ابعاد $1/5$ برابر فاصله هر یاخته به یاخته مجاور در نظر گرفته شد و بر روی مختصات جغرافیایی تصاویر گسترده شد و از داده‌های درون چارچوب، بر حسب نزدیک‌ترین فاصله، یک داده به یاخته مورد نظر در شبکه منظم منتقل شد. این فرایند برای تک‌تک یاخته‌های شبکه منظم در هر روز اجرا شد تا داده‌های درصد ابرپوش در هر هنگام به صورت روزانه به شبکه منظم منتقل شود. پس از فرایند شبکه‌بندی منظم، اجرای عملیات محاسبه آماری امکان‌پذیر شد. با استفاده از این داده‌ها، تحلیل آماری و توزیع مکانی پارامتر درصد ابرپوش در هنگام صبح و هنگام عصر مودیس ترا در سال 2007 میلادی به صورت سالانه و فصلی بررسی شد. علاوه بر این، برای صحت‌سنجی داده‌های درصد ابرپوش سنجنده مودیس ترا از داده‌های مقادیر پوشش ابر برخی از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک کشور، که بر اساس اکتا برداشت می‌شود، پس از تبدیل به درصد (هر اکتا برابر با $12/5$ درصد) استفاده شد. در این فرایند، نزدیک‌ترین زمان برداشت مقادیر پوشش ابر ایستگاه‌های سطحی در هنگام صبح (ساعت ۶ به وقت گرینویچ) انتخاب شد و داده‌های یاخته‌ای مودیس در شعاع 30 کیلومتری اطراف هر ایستگاه میانگین‌گیری شد. اختلاف و همبستگی داده‌های هر دو پایگاه در مقیاس سالانه برآورد شد (← کنارها).

در این پژوهش، هر تصویر حداقل 20 مگابایت و حداکثر 150 مگابایت حجم دارد که برای پوشش کامل ایران در یک هنگام حداقل یک و حداکثر ۴ تصویر در روز نیاز است. سال منتخب به دلیل نداشتن نواقص آماری در مقیاس روزانه برای مطالعه موردی برگزیده شد.



شکل ۱. مسیر مودیس ترا بر فراز ایران و جهان در روز ۳۶۵ ژوئیه سال ۲۰۰۷ میلادی
(منبع: <https://www.ssec.wisc.edu/datacenter/tera/>)

یافته‌های پژوهش

صحت‌سنجی

صحت‌سنجی داده‌های درصد ابرپوش مودیس با داده‌های مقدار پوشش ابر ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک در سال 2007 (جدول ۱) نشان می‌دهد که شدت همبستگی دو پایگاه داده در همه ایستگاه‌ها بیشتر از 0.7 است که همبستگی بالایی را نشان می‌دهد. اختلاف داده‌های مقدار درصد ابرپوش مودیس از داده‌های پوشش ابر ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک منتخب نشان می‌دهد که تقریباً در 73 درصد ایستگاه‌ها، داده‌های مودیس تخمین بیشتری نسبت به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک دارد و فقط در ایستگاه لارستان ($2/6$ درصد از ایستگاه‌ها) بین دو برآورد اختلافی

مشاهده نشده است. علاوه بر این، در میان ایستگاه‌ها، بیشترین اختلاف مربوط به ایستگاه‌های ایلام (۱۰ درصد)، اهواز (۹ درصد)، و بوشهر (۸ درصد) بوده است و کمترین اختلاف در ایستگاه لارستان (۰) سپس در ایستگاه‌های تبریز، رشت، بجنورد، قزوین، تهران، سمنان، و ... با اختلاف ۱ درصد برآورد شده است. در مجموع، میانگین کل اختلاف داده‌های هر دو پایگاه داده تقریباً ۳+ درصد است که بیانگر تخمین بیشتر مودیس نسبت به داده‌های پوشش ابر ایستگاه‌های سینوپتیک کشور است. با بررسی یافته‌های محققانی که به مقایسه دو پایگاه داده پرداخته‌اند، همچون بیسولی و پال (۲۰۰۱) در آلمان ۶+ درصد و کتاربا (۲۰۰۹) در ماه‌های ژولای ۴/۳۸+ درصد و ژانویه ۷/۲۸+ درصد (در سال ۲۰۰۴) اختلاف مقادیر پوشش ابر دو پایگاه داده در کشور از خطای زیادی برخوردار نیست که در این زمینه می‌توان به کتاربا (۲۰۰۹) رجوع کرد.

جدول ۱. صحت‌سنجی داده‌های مقدار درصد ابرپوش مودیس با داده‌های پوشش ابر ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک

نام ایستگاه	همبستگی	# اختلاف	نام ایستگاه	همبستگی	اختلاف	نام ایستگاه	همبستگی	اختلاف	نام ایستگاه	همبستگی	اختلاف
پارس‌آباد	۰٫۷	۷	خرم‌آباد	۰٫۸	۵	آباده	۰٫۷	۱	گرگان	۰٫۸	۲
خوی	۰٫۸	۶	کاشان	۰٫۷	۴	یزد	۰٫۸	-۱	مشهد	۰٫۸	۲
تبریز	۰٫۸	-۱	دزفول	۰٫۸	۴	آبادان	۰٫۷	۷	سنندج	۰٫۸	۴
ارومیه	۰٫۸	۵	شهرکرد	۰٫۸	۳	یاسوج	۰٫۸	۳	تهران	۰٫۷	-۱
خلخال	۰٫۸	۸	اصفهان	۰٫۶	۳	کرمان	۰٫۸	-۱	سمنان	۰٫۷	۱
رشت	۰٫۸	۱	بیرجند	۰٫۸	۳	شیراز	۰٫۷	-۲	کرمانشاه	۰٫۸	۶
بجنورد	۰٫۸	۱	اهواز	۰٫۷	۹	زاهدان	۰٫۸	-۶	همدان	۰٫۸	۲
زنجان	۰٫۸	۲	اردبیل	۰٫۷	-۲	بوشهر	۰٫۸	۸	اراک	۰٫۸	۲
قزوین	۰٫۷	-۱	امل	۰٫۸	۷	لارستان	۰٫۷	۰	* در ستون‌های اختلاف دو پایگاه داده، مقادیر مثبت نشان‌دهنده تخمین بیشتر مودیس است و بر حسب درصد است		
بندرعباس	۰٫۷	-۶	ایلام	۰٫۸	۱۰	قم	۰٫۷	۱			

واکاوی آماری

واکاوی آماری پارامتر درصد ابرپوش (ابرناسی) در کشور (جدول ۲) نشان می‌دهد که میانگین سالانه مقدار ابرناسی در هنگام صبح و در عصر به ترتیب ۲۵/۳ درصد و ۲۹/۷ درصد است. بنابراین، در کشور مقدار ابرناسی در هنگام عصر بیشتر از هنگام صبح است. در مقیاس فصلی، بیشترین مقدار ابرناسی در فصل زمستان با ۴۶/۱ درصد و کمترین آن در فصل تابستان با ۹/۹ درصد رخ می‌دهد. در فصل پاییز، مقدار ابرناسی در هنگام صبح بیشتر از فصل بهار است، اما در هنگام عصر در فصل بهار مقدار درصد ابرپوش بیشتر از فصل پاییز است. در بیشتر فصول مقدار درصد ابرپوش در هنگام عصر بیشتر از هنگام صبح است. اما در فصل زمستان در هنگام صبح بیشتر از هنگام عصر است. با محاسبه میانگین مقدار ابرناسی در هنگام صبح و عصر در مقیاس سالانه (میانگین درصد ابرپوش عصر+ میانگین درصد ابرپوش صبح تقسیم بر ۲) می‌توان گفت که میانگین کل درصد ابرپوش سالانه در کشور تقریباً ۲۷/۵ درصد است و این برآورد با مقایسه میانگین بلندمدت مقدار پوشش ابر ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک کشور (به مقدار ۲۶ درصد) به دست آمده از یافته‌های مسعودیان و کاویانی (۱۳۸۷) ۱/۵ درصد بیشتر است که در مقیاس زمانی مورد استفاده منطقی به نظر می‌رسد. در مقیاس سالانه، حداقل و حداکثر مقدار درصد ابرپوش در هنگام صبح به ترتیب ۷ و ۶۷ درصد است که در هنگام عصر افزایش می‌یابد و به ترتیب به ۱۱ و ۷۹ درصد می‌رسد. انحراف معیار داده‌های درصد ابرپوش سالانه در هنگام صبح ۱۱ درصد و

در هنگام عصر ۱۲ درصد است. میانه داده‌ها در هنگام صبح و عصر کمتر از میانگین داده‌ها است که نشان‌دهنده چولگی داده‌ها به سمت چپ یا مقدار درصد ابرپوش کمتر است. علاوه بر این، نشان‌دهنده فقر پوشش ابر در کشور است. در مقیاس فصلی، آماره‌های درصد ابرپوش نشان می‌دهد که در فصل تابستان در مناطقی از کشور حداقل درصد ابرپوش در هنگام صبح و عصر صفر است که بیانگر پدیدارنبودن ابر در آن مناطق است. در فصل پاییز نیز حداقل رخداد درصد ابرپوش ۱ درصد است که نشان‌دهنده کمی پوشش ابر در کشور در این فصل است. حداکثر رخداد درصد ابرپوش در هنگام صبح و عصر در میان فصول مختلف در فصل زمستان رخ می‌دهد که در هنگام صبح به ۹۱ درصد و در هنگام عصر به ۱۰۰ درصد می‌رسد. در سایر فصول، در هنگام عصر، حداکثر درصد ابرپوش بیشتر از هنگام صبح است. میانه داده‌های درصد ابرپوش در هنگام صبح در فصول بهار، تابستان، و پاییز کمتر از میانگین است. اما در فصل زمستان بیشتر از میانگین است که نشان‌دهنده افزایش پوشش ابر در فصل زمستان (چولگی داده‌ها به سمت راست) است. در هنگام عصر، در همه فصول میانه از میانگین کمتر است و داده‌ها به سمت چپ یا مقدار درصد ابرپوش کمتر متمایل‌اند. علاوه بر این، با استفاده از شاخص ضریب تغییرات، همگنی و ناهمگنی داده‌های درصد ابرپوش در کشور برآورد شد و مقادیر بیش از ۳۳ درصد ناهمگن در نظر گرفته شد (مرآت، ۱۳۸۶: ۷۵). یافته‌ها نشان می‌دهد که در مقیاس فصلی و سالانه ابرناکی در کشور ناهمگن‌اند. بیشترین ناهمگنی در فصل تابستان در هنگام صبح (۱۶۳/۶ درصد) و کمترین ناهمگنی در فصل زمستان در هر دو بازه زمانی صبح و عصر دیده می‌شود. از نظر مکانی، در مقیاس سالانه و فصلی، در مناطقی از کشور ابرناکی زیاد و در مناطق دیگر ابرناکی بسیار کمی وجود دارد. همچنین، از نظر زمانی ابرناکی در کشور در فصل تابستان کاهش و در فصل زمستان افزایش می‌یابد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در مقیاس زمانی و مکانی ابرناکی در کشور ناهمگن است. ناهمگنی ابرناکی می‌تواند به تغییر در تابش، همرفت، لایه مرزی، بارش، رطوبت و گرمای نهان منجر شود (فوربز و آهلگریم، ۲۰۱۵).

جدول ۲. مشخصات آماری درصد ابرپوش مودیس ترا در کشور (مقادیر بر حسب درصد است)

مقیاس زمانی	مشخصات آماری درصد ابرپوش در هنگام صبح				مشخصات آماری درصد ابرپوش در هنگام عصر					
	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	ضریب تغییرات	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	ضریب تغییرات
سالانه	۷	۶۷	۲۵٫۳	۲۳	۴۳٫۵	۱۱	۷۹	۲۹٫۷	۲۶	۴۰٫۱
فصل بهار	۲	۷۰	۲۲٫۳	۲۰	۵۳٫۸	۹	۹۰	۳۳٫۴	۳۱	۳۸٫۹
فصل تابستان	۰	۷۲	۵٫۵	۳	۱۶۳٫۶	۰	۷۴	۱۴٫۳	۱۲	۸۳٫۹
فصل پاییز	۱	۷۴	۲۶٫۳	۲۵	۴۹٫۴	۱	۸۷	۲۷٫۱	۲۴	۵۱٫۶
فصل زمستان	۱۱	۹۱	۴۸٫۲	۴۹	۳۵٫۱	۱۱	۱۰۰	۴۴٫۱	۴۱	۳۸٫۵

همبستگی (پیرسون) و معناداری متغیرها (درصد ابرپوش در هنگام صبح و عصر با طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، و ارتفاع) با احتمال ۹۵ درصد برآورد شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی به دست آمده بین همه متغیرها در سطح ۰/۰۵ معنادار است. بنابراین، شدت همبستگی متغیر درصد ابرپوش در هنگام صبح و عصر ۰/۸۸+ است که نشان‌دهنده همبستگی قوی متغیرها در صبح و عصر است. علاوه بر این، در هنگام صبح، شدت همبستگی متغیر درصد ابرپوش با طول جغرافیایی ۰/۶۷- و در هنگام عصر ۰/۰۶- است که نشان‌دهنده همبستگی قوی متغیرهاست و نشان می‌دهد که با افزایش طول جغرافیایی از غرب به شرق کشور مقدار درصد ابرپوش کاهش می‌یابد. شدت همبستگی درصد ابرپوش با عرض جغرافیایی در هنگام صبح ۰/۸۲+ و در هنگام عصر ۰/۷۶+ است که نشان‌دهنده همبستگی قوی میان دو متغیر است. بنابراین، با افزایش عرض جغرافیایی از جنوب به شمال ابرناکی در کشور افزایش می‌یابد. شدت همبستگی مقدار درصد ابرپوش با ارتفاع نشان می‌دهد که در هنگام صبح همبستگی ضعیف (۰/۳۳+) اما در هنگام عصر

همبستگی متوسط (+۰/۳۲) دارد. به‌رغم شدت همبستگی ضعیف و متوسط مقدار درصد ابرپوش با ارتفاع، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش ارتفاع ناهمواری‌ها در کشور مقادیر ابرناکی افزایش می‌یابد (جدول ۳ جدول ۳).

واکاوی توزیع مکانی درصد ابرپوش

در این قسمت به واکاوی توزیع مکانی ابرناکی و مساحت زیر پوشش آن (جدول ۴ جدول ۴) بر فراز کشور در هنگام صبح و عصر پرداخته می‌شود.

جدول ۳. میزان همبستگی مقدار درصد ابرپوش در هنگام صبح و عصر، ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی

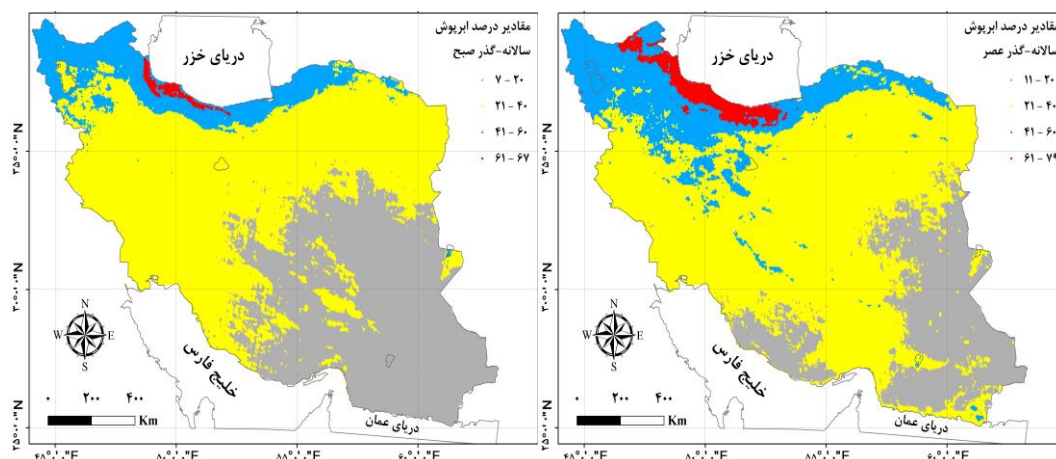
میزان همبستگی	درصد ابرپوش سالانه در صبح	درصد ابرپوش سالانه در عصر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
درصد ابرپوش سالانه در صبح	۱	+۰/۸۸	-۰/۶۷	+۰/۸۲	+۰/۲۳
درصد ابرپوش سالانه در عصر	+۰/۸۸	۱	-۰/۵۹	+۰/۷۶	+۰/۳۲

جدول ۴. مساحت گستره درصد ابرپوش در کشور بر حسب درصد

درصد ابرپوش	هنگام صبح					هنگام عصر				
	۰-۲۰	۲۱-۴۰	۴۱-۶۰	۶۱-۸۰	۸۱-۱۰۰	۰-۲۰	۲۱-۴۰	۴۱-۶۰	۶۱-۸۰	۸۱-۱۰۰
سالانه	۳۷/۶	۵۲/۲	۹/۵	۰/۶	۰	۲۱/۷	۶۰/۵	۱۵/۲	۲/۶	۰
زمستان	۲/۸	۳۱/۶	۳۶/۶	۲۸/۳	۰/۸	۳	۴۴/۲	۳۶/۴	۱۲/۹	۳/۵
بهار	۵۰/۸	۴۰/۲	۸	۱	۰	۱۲/۱	۶۳	۱۹/۳	۵/۱	۰/۴
تابستان	۹/۵	۳/۲	۱/۶	۰/۳	۰	۷۲/۲	۲۴/۹	۲/۲	۰/۸	۰
پاییز	۳۷	۴۸/۳	۱۳/۶	۱/۲	۰	۳۹/۱	۴۱/۶	۱۶/۶	۲/۷	۰

توزیع مکانی سالانه درصد ابرپوش در هنگام صبح و عصر در ایران (شکل ۲) نشان می‌دهد که در هنگام صبح، بیشینه درصد ابرپوش با مقدار حداکثر ۶۷ درصد در سواحل جنوبی و جنوب غربی دریای خزر و کمینه آن در جنوب شرقی کشور دیده می‌شود؛ این نتایج با یافته‌های رسولی و همکاران (۱۳۹۲) و مسعودیان و کاویانی (۱۳۸۷) مطابقت دارد. در هنگام عصر، بیشینه درصد ابرپوش کشور با مقدار حداکثر ۷۹ درصد در حاشیه جنوبی دریای خزر تا شمال غرب کشور و کمینه آن با مقدار درصد ابرپوش کمتر از ۲۰ درصد در سواحل خلیج فارس و شرق کشور دیده می‌شود. بررسی گستره مقدار درصد ابرپوش در کشور (جدول ۴ جدول ۴) نشان می‌دهد که بیشترین گستره کشور در هنگام صبح و عصر مربوط به مقدار درصد ابرپوش ۲۱-۴۰ درصد است که در هنگام صبح ۵۲/۲ درصد (۸۶۰۷۳۷ کیلومتر مربع) و در هنگام عصر ۶۰/۵ درصد (۹۹۷۹۹۳ کیلومتر مربع) از مساحت کشور را در بر می‌گیرد که مناطقی از شمال شرقی، مرکزی، و غربی کشور را می‌پوشاند و در هنگام عصر به مناطق جنوبی کشور گسترده‌تر می‌شود. مقدار درصد ابرپوش کمتر از ۲۰ درصد از نظر گستره پوشش ابر در ردیف دوم قرار دارد که در هنگام صبح ۳۷/۶ درصد (۶۲۰۴۷۳ کیلومتر مربع) و در هنگام عصر ۲۱/۷ درصد (۳۵۷۲۴۶ کیلومتر مربع) از مساحت کشور است که مناطق جنوب و جنوب شرقی کشور را در بر می‌گیرد. اما در هنگام عصر مقدار درصد ابرپوش در سواحل دریای عمان و تنگه هرمز افزایش می‌یابد و مقدار درصد ابرپوش کمتر از ۲۰ درصد از این سواحل جدا می‌شود و مناطق جنوب شرقی و قسمتی از سواحل خلیج فارس را می‌پوشاند. کمترین گستره کشور در هنگام صبح و عصر مربوط به مقدار درصد ابرپوش بیش از ۶۱ درصد است که در

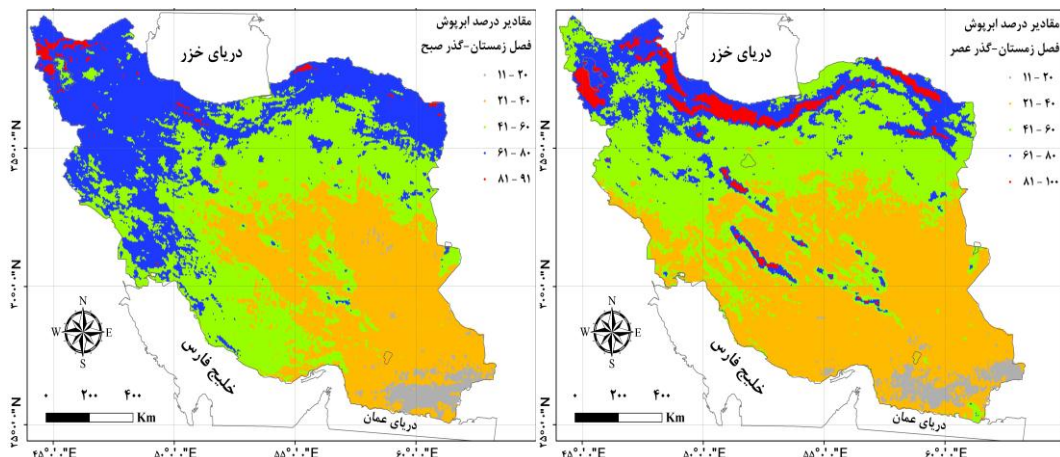
صبح ۰/۶ درصد (۱۰۰۸۲ کیلومتر مربع) و عصر ۲/۶ درصد (۴۳۲۸۰ کیلومتر مربع) از مساحت کشور را در برمی‌گیرد که در سواحل جنوب شرقی دریای خزر دیده می‌شود. در مجموع، در هنگام عصر، گستره مقدار درصد ابرپوش کمتر از ۲۰ درصد نسبت به صبح کاهش می‌یابد و گستره‌ای با مقدار درصد ابرپوش بیش از ۲۱ درصد افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده افزایش میزان ابرناکی کشور در هنگام عصر است.



شکل ۲. نقشه‌های توزیع مکانی سالانه درصد ابرپوش هنگام صبح (راست) و هنگام عصر مودیس ترا (چپ)

در فصل زمستان، توزیع مکانی درصد ابرپوش در هنگام صبح و عصر (شکل ۳) نشان می‌دهد که در هنگام صبح بیشینه درصد ابرپوش حداکثر با مقدار ۹۱ درصد در شمال غربی و به طور پراکنده در شمال شرق کشور و کمینه آن با مقدار کمتر از ۲۰ درصد در جنوب شرقی کشور دیده می‌شود. در هنگام عصر، بیشینه مقدار درصد ابرپوش حداکثر با ۱۰۰ درصد بر روی ارتفاعات کوهستان‌های تالش، البرز، هزار مسجد، و به طور پراکنده بر روی ارتفاعات زاگرس و در مناطق شمال غربی کشور دیده می‌شود که کاملاً از سواحل دریای خزر جدا شده است. در هنگام عصر، کمینه پوشش ابر با مقدار درصد ابرپوش کمتر از ۲۰ درصد در جنوب شرقی کشور دیده می‌شود. در مجموع، در همه فصول بیشینه درصد ابرپوش در سواحل جنوبی دریای خزر قرار دارد، اما در فصل زمستان، بیشینه درصد ابرپوش از سواحل جنوبی دریای خزر جدا می‌شود و بر روی ارتفاعات کوهستانی کشور قرار می‌گیرد که تفاوت آن با سایر فصول است.

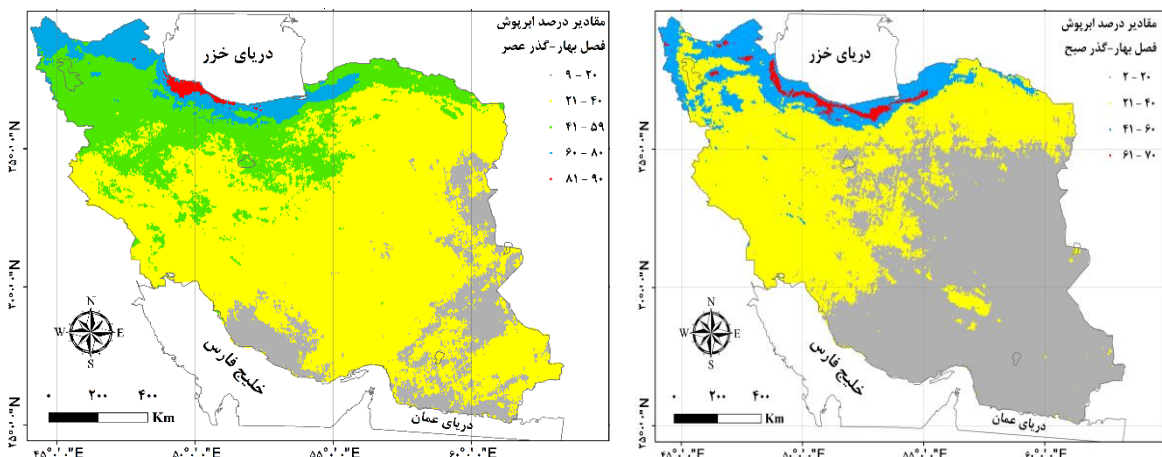
بررسی گستره مقدار درصد ابرپوش در فصل زمستان (جدول ۲) نشان می‌دهد که بیشترین گستره کشور در هنگام صبح مربوط به مقدار درصد ابرپوش ۶۰-۴۱ درصد با مساحت ۳۶۶ درصد (۶۰۲۷۳۷ کیلومتر مربع) است که مناطق غربی و مرکزی کشور را می‌پوشاند و در هنگام عصر مربوط به مقدار درصد ابرپوش ۴۰-۲۱ درصد است که ۴۴/۲ درصد (۷۲۸۴۸۹ کیلومتر مربع) از مساحت کشور را می‌پوشاند و در نیمه جنوبی کشور دیده می‌شود. در این فصل، گستره مقدار درصد ابرپوش ۸۰-۶۱ درصد در هنگام صبح ۲۸/۳ درصد (۶۴۶۸۵۸ کیلومتر مربع) و در هنگام عصر ۱۲/۹ درصد (۲۱۳۳۴۱ کیلومتر مربع) از مساحت کشور را در بر می‌گیرد که نسبت به صبح کاهش می‌یابد و بیشتر مناطق کوهستانی کشور را در بر می‌گیرد. کمترین گستره کشور در هنگام صبح مربوط به مقدار درصد ابرپوش بیش از ۸۱ درصد با مساحت ۰/۸ درصد (۱۲۵۰۹ کیلومتر مربع) است که به طور پراکنده شمال غربی و شمال شرقی کشور را در بر می‌گیرد. در هنگام عصر، مقدار درصد ابرپوش کمتر از ۲۰ درصد کمترین گستره کشور را با مساحت ۳ درصد (۴۹۱۴۱ کیلومتر مربع) جنوب شرقی کشور را می‌پوشاند.



شکل ۳. نقشه‌های توزیع مکانی درصد ابرپوش فصل زمستان در هنگام صبح (راست) و هنگام عصر (چپ) مودیس ترا

در فصل بهار، توزیع مکانی درصد ابرپوش هنگام صبح و هنگام عصر (شکل ۴) نشان می‌دهد که در هنگام صبح بیشینه درصد ابرپوش حداکثر با ۷۰ درصد بر روی ارتفاعات البرز، تالش، و سواحل جنوبی دریای خزر و کمینه آن از جنوب و جنوب شرق تا مرکز و شرق کشور گسترش می‌یابد. در هنگام عصر، بیشینه درصد ابرپوش حداکثر با ۹۰ درصد در جنوب غرب دریای خزر دیده می‌شود و کمینه آن در جنوب و جنوب شرق کشور دیده می‌شود.

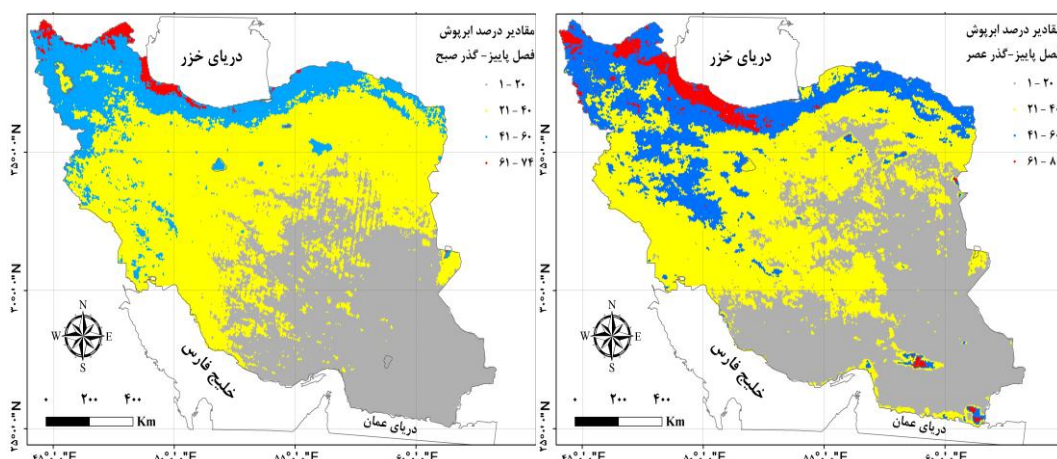
بررسی گستره مقدار درصد ابرپوش در فصل بهار (جدول ۲) نشان می‌دهد که بیشترین گستره کشور در هنگام صبح مربوط به مقدار درصد ابرپوش کمتر از ۲۰ درصد با مساحت ۵۰٫۸ درصد (۸۳۷۱۸۳ کیلومتر مربع) است که مناطق جنوبی و مرکزی کشور را در بر می‌گیرد و سپس مربوط به مقدار درصد ابرپوش ۲۱-۴۰ درصد با مساحت ۴۰٫۲ درصد (۶۶۲۴۴۲ کیلومتر مربع) است که نیمه غربی تا شمال شرقی کشور را در بر می‌گیرد. در هنگام عصر بیشترین گستره کشور مربوط به مقدار درصد ابرپوش ۲۱-۴۰ درصد با مساحت ۶۳ درصد (۱۰۳۸۵۶۳ کیلومتر مربع) است که نسبت به هنگام صبح تا سواحل جنوبی کشور گسترش می‌یابد. کمترین گستره کشور در هنگام صبح مربوط به مقدار درصد ابرپوش بیش از ۶۱ درصد با مساحت ۱ درصد (۱۶۴۸۲ کیلومتر مربع) بر روی قله مرتفع البرز و تالش است و در هنگام عصر مربوط به مقدار درصد ابرپوش بیش از ۸۱ درصد است که ۰٫۴ درصد (۷۳۴۸ کیلومتر مربع) از مساحت کشور را می‌پوشاند و سواحل جنوب شرقی دریای خزر را در بر می‌گیرد.



شکل ۴. نقشه‌های توزیع مکانی درصد ابرپوش فصل بهار هنگام صبح (راست) و هنگام عصر (چپ) مودیس ترا

در فصل پاییز، توزیع مکانی درصد ابرپوش در هنگام صبح و عصر (شکل ۵) نشان می‌دهد که در هنگام صبح بیشینه درصد ابرپوش حداکثر با مقدار ۷۴ درصد در سواحل جنوب غربی دریای خزر و در شمال غربی کشور و کمینه آن با مقدار درصد ابرپوش کمتر از ۲۰ درصد در سواحل خلیج فارس، مرکز، و جنوب شرقی کشور دیده می‌شود. در هنگام عصر، بیشینه درصد ابرپوش حداکثر با ۸۰ درصد در سواحل جنوبی و غربی دریای خزر، شمال غربی، و به طور پراکنده در جنوب شرق کشور نیز دیده می‌شود و کمینه آن مشابه با هنگام صبح در جنوب و جنوب شرق کشور دیده می‌شود.

بررسی گستره مقدار درصد ابرپوش در فصل پاییز (جدول ۲) نشان می‌دهد که بیشترین گستره کشور در هنگام صبح و عصر مربوط به مقدار درصد ابرپوش ۲۱-۴۰ درصد است که به ترتیب ۴۸٫۲ درصد (۷۹۴۵۷۷ کیلومتر مربع) و ۴۱٫۶ درصد (۶۸۵۷۷۶ کیلومتر مربع) از مساحت کشور را می‌پوشاند و مناطق مرکزی، غربی، و شرقی کشور را در بر می‌گیرد. کمترین گستره کشور مربوط به مقدار درصد ابرپوش بیش از ۶۱ درصد است که در هنگام صبح و عصر به ترتیب ۱٫۲ درصد (۱۹۷۸۲ کیلومتر مربع) و ۲٫۷ درصد (۴۴۵۰۹۵ کیلومتر مربع) از مساحت کشور را می‌پوشاند و سواحل جنوبی دریای خزر، مناطقی از شمال شرقی، و به طور پراکنده ارتفاعات جنوب شرقی کشور را در بر می‌گیرد.

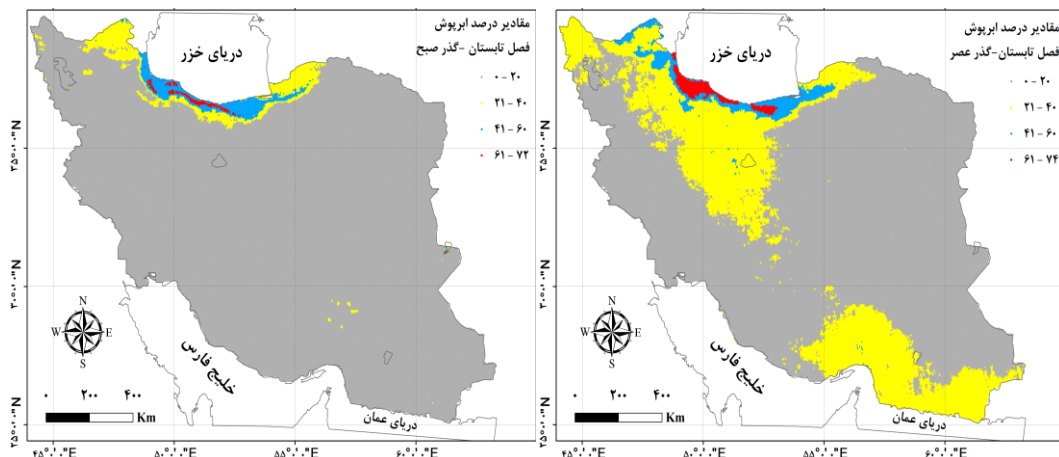


شکل ۵. نقشه‌های توزیع مکانی درصد ابرپوش فصل پاییز هنگام صبح (راست) و هنگام عصر (چپ) مودیس ترا

در فصل تابستان، توزیع مکانی درصد ابرپوش در هنگام صبح و عصر (شکل ۶) نشان می‌دهد که در هنگام صبح بیشینه درصد ابرپوش حداکثر با ۷۲ درصد در سواحل جنوبی دریای خزر است و کمینه آن با مقدار درصد ابرپوش کمتر از ۲۰ درصد از جنوب تا شمال شرق و شمال غرب کشور گسترش یافته است. در هنگام عصر، بیشینه مقدار درصد ابرپوش در سواحل جنوبی و غربی دریای خزر دیده می‌شود و کمینه درصد ابرپوش با مقدار کمتر از ۲۰ درصد از جنوب و جنوب شرق کشور جدا می‌شود و در غرب، مرکز، و شرق کشور دیده می‌شود و در جنوب و جنوب شرق کشور مقدار درصد ابرپوش افزایش می‌یابد و به ۲۱-۴۰ درصد می‌رسد که این آرایش در سایر فصول دیده نمی‌شود.

بررسی گستره مقدار درصد ابرپوش در فصل تابستان (جدول ۲) نشان می‌دهد که بیشترین گستره کشور در هنگام صبح و عصر مربوط به مقدار درصد ابرپوش کمتر از ۲۰ درصد است که به ترتیب ۹۵ درصد و ۷۲٫۲ درصد از مساحت کشور را در بر می‌گیرد. در هنگام صبح، به جز دامنه شمالی البرز یا سواحل جنوبی دریای خزر و مناطقی از ارتفاعات استان کرمان در سایر مناطق کشور مقدار درصد ابرپوش کمتر از ۲۰ درصد است؛ اما در هنگام عصر مقدار درصد ابرپوش در سواحل دریای عمان تا شمال تنگه هرمز و قسمتی از دامنه‌های غربی رشته کوه زاگرس افزایش می‌یابد و آرایش پوشش ابری را نسبت به صبح تغییر می‌دهد که نشان‌دهنده افزایش شکل‌گیری ابر و تغییر مکانیسم تشکیل ابر در هنگام عصر در کشور است. در این فصل، کمترین گستره کشور در هنگام صبح و عصر مربوط به مقدار درصد ابرپوش مساوی و

بالتر از ۶۱ درصد است که به ترتیب ۰٫۳ درصد (۴۹۴۵ کیلومتر مربع) و ۰٫۸ درصد (۱۳۱۸۶ کیلومتر مربع) از مساحت کشور را می‌پوشاند که سواحل جنوبی دریای خزر را در بر می‌گیرد. گستره مقدار درصد ابرپوش ۲۱-۴۰ درصد در هنگام صبح ۳/۲ درصد (۵۲۷۴۳ کیلومتر مربع) از مساحت کشور است و در هنگام عصر به ۲۴/۹ درصد (۴۱۰۴۰۲ کیلومتر مربع) افزایش می‌یابد و سواحل دریای عمان تا شمال تنگه هرمز و قسمتی از دامنه‌های غربی رشته‌کوه زاگرس تا سواحل دریای خزر را در بر می‌گیرد.



شکل ۶. نقشه‌های توزیع مکانی درصد ابرپوش فصل تابستان هنگام صبح (راست) و هنگام عصر (چپ) مودیس ترا

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای بررسی توزیع مکانی پوشش ابر در ایران از پارامتر درصد ابرپوش فرآورده ابرسنجنده مودیس ترا به صورت روزانه در سال ۲۰۰۷ میلادی استفاده شد. نخست، با توجه به نامنظم بودن شبکه مختصات جغرافیایی تصاویر، شبکه منظم تهیه شد و طی فرایندی داده‌های درصد ابرپوش به شبکه منظم منتقل گردید. یافته‌های به دست آمده از تحلیل فرآورده ابرسنجنده مودیس ترا در هنگام صبح و عصر بر فراز ایران نشان داد که بیشینه سالانه درصد ابرپوش در سواحل جنوبی دریای خزر و کمینه آن در جنوب شرقی کشور دیده می‌شود. در مقیاس فصلی، بیشینه درصد ابرپوش در فصول بهار، پاییز، و تابستان در سواحل جنوبی دریای خزر قرار دارد؛ اما در فصل زمستان بر روی مناطق مرتفع کوهستانی رشته‌کوه البرز و شمال غرب کشور دیده می‌شود. کمینه درصد ابرپوش در فصول بهار، پاییز، و زمستان در مناطق جنوب شرقی و شرق کشور دیده می‌شود؛ اما در تابستان در شرق و غرب کشور دیده می‌شود که این آرایش مکانی ابرناکی نشان‌دهنده تغییر در فرایند شکل‌گیری ابر در فصل تابستان و زمستان نسبت به سایر فصول است. علاوه بر این، رخداد ابرناکی در کشور ناهمگن است به‌ویژه در فصل تابستان که بیشترین تفاوت در مقادیر ابرناکی شمال و جنوب کشور دیده می‌شود.

صحت‌سنجی مقادیر پوشش ابر دو پایگاه داده نشان داد که در مقیاس سالانه برآورد مودیس +۳ درصد بیشتر از برآورد ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک است.

منابع

- امیدوار، ک. (۱۳۸۰). تحلیل سینوپتیکی سیستم‌های باران‌زا و امکان افزایش بارش آن‌ها به وسیله باروری ابرها در منطقه کرمان، پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۰: ۱۹-۳۲.
- حاجی میررحیمی، س. و بای، ن. (۱۳۸۷). طبقه‌بندی انواع ابر با استفاده از تصاویر AVHRR، همایش ژئوماتیک، تهران.
- رسولی، ع.؛ جهان‌بخش، س. و قاسمی، الف. (۱۳۹۲). بررسی تغییرات زمانی و مکانی مقدار پوشش ابر در ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۳(۲۸): ۸۵-۱۰۲.
- مرآت، الف (۱۳۸۶). مفاهیم و روش‌های آماری (۱)، تهران، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- مسعودیان، س.ا. و کاویانی، م. (۱۳۸۷). اقلیم‌شناسی ایران، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.
- Ackerman, S.A. and Platnick, S. (2011). Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer (MODIS) Cloud Fraction Technical Document (ATBD), pp.1-12.
- Ackerman, S.A.; Strabala, K.I.; Menzel, W.P.; Frey, R.A.; Moeller, C.C. and Gumley, L.E. (1998). Discriminating clear sky from clouds with MODIS, *Journal of Geophysical Research*, 103: 32141-32157.
- Asmala, A. and Shaun, Q. (2012). Cloud masking for remotely sensed data using spectral and principal components analysis, ETASR-Engineering, *Technology and Applied Science Research*, 2(3): 221-225.
- Bissolli, P. and Pahl, U. (2001). Validation of the ISCCP satellite cloud cover climatology over Germany with synoptical data, *ProcEUMETSAT Meteorological Satellite Data Users Conference*, Antalya, 1-5 October.
- Bissolli, P. and Pahl, U. (2001). Validation of the ISCCP satellite cloud cover climatology over Germany with synoptical data, *Proc. 2001 EUMETSAT Meteorological Satellite Data Users Conference*, Antalya, 1-5 October.
- Chen, Ting; William B., Rossow, and Yuanchong, Zhang (2000). Radiative effects of cloud-type variations, *Journal of climate* 13: 264-286.
- Choi, Y.S.; Ho, C.H.; Kim, S.W. and Lindzen, R.S. (2010). Observational diagnosis of cloud phase in the winter Antarctic atmosphere for parameterizations in climate models, *Advances in Atmospheric Sciences*, 27(6): 1233-1245.
- Filipiak, J. and Mietus, M. (2009). Spatial and temporal variability of cloudiness in Poland, 1971–2000, *Int. J. Climatol*, 29(9): 1294-1311.
- Forbes, R. and Ahlgrimm, M. (2015). Representing sub-grid heterogeneity of cloud and precipitation across scales, *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*, pp. 1-31.
- Garcia, P.; Benarroch, A. and Riera, J.M. (2008). Spatial distribution of cloud cover, *International Journal of Satellite Communications and Networking*, 26(2): 141-155.
- Haji mirrahimi, S. and Bai, N. (2008). Cloud types classification by applying the AVHRR granules, *Geomatic Conference*, Tehran.
- Hubanks P.A.; Platnick, S.T.; King, M.I. and Ridgway, B.I. (2015). MODIS Atmosphere L3 Gridded Product Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) & Users Guide, *ATBD Reference number ATBDMOD-3*, NASA, pp. 1-120;
- Hyer, E.J.; Reid, J.S. and Zhang, J. (2011). An over-land aerosol optical depth data set for data assimilation by filtering, correction, and aggregation of MODIS Collection 5 optical depth retrievals, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(3): 379-408.
- Jiang, Jonathan H.; Hui Su; Chengxing Zhai; Vincent S. Perun; Anthony Del Genio; Larissa S. Nazarenko and Leo J. Donner (2012). Evaluation of cloud and water vapor simulations in CMIP5 climate models using NASA, A - Train satellite observations, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(14): 1-24.

- King, M.D.; Menzel, W.P.; Kaufman, Y.J.; Tanre, D.; Gao, B.C.; Platnick, S.; Ackerman, S.; Remer, A.L.A.; Pincus, R. and Hubanks, P.A. (2003). Cloud and aerosol properties, perceptible water, and profiles of temperature and humidity, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 41: 442-458.
- King N J, Bower K N, Crosier J, and Crawford I, (2013). Evaluating MODIS cloud retrievals with in situ observations from VOCALS-Rex, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(1):191-209.
- Kotarba, A.Z. (2009). A comparison of MODIS-derived cloud amount with visual surface observations, *Atmospheric Research*, 92(4): 522-530.
- Li, Z.; Cribb, M.C.; Chang, F.L. and Trishchenko, A.P. (2004). Validation of MODIS-retrieved cloud fractions using whole sky imager measurements at the three ARM sites, *In Proceedings from 14th ARM Science Team Meeting*, Albuquerque, New Mexico.
- Li, Z.,; Li, J.; Menzel, W.P.; Schmit, T.J. and Ackerman, S.A. (2007). Comparison between current and future environmental satellite imagers on cloud classification using MODIS, *Remote Sensing of Environment*, 108(3): 311-326.
- Masoodian, S.A and Kaviani, M.R. (2008). *Climatology of Iran*, Isfahan University publishing. Isfahan, Iran.
- Merat, A. (2007). *Concepts and Statistics Methods*, Book Publishing companies of Iran.
- Naud, C.M.; Booth, J.F.; Posselt, D.J. and Heever, S.C. (2013). Multiple satellite observations of cloud cover in extratropical cyclones, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118.17: 9982-9996.
- Omidvar, k. (2001). The synoptic analysis of rainy systems and the possibility of increasing rainfall them by cloud seeding in Kerman regions, *Geographical researches*, 40: 19-32.
- Platnick, S.; King, M.D.; Ackerman, S.; Paul, A.; Menzel, W.; Baum, B.A. and Frey, R.A. (2003). The MODIS cloud products: Algorithms and examples from Terra, *IEEE Trans, Geosci, Remote Sens*, 41: 459-473.
- Rasooli, A.; Jahanbakhsh, S. and Ghasemi, A. (2013). Evaluation of spatial and temporal variations of the cloud cover amount in Iran, *Geography Research Quarterly*, 3(28): 85-102.
- Rossow, W.B. and Schiffer R.A. (1991). ISCCP Cloud Data Products, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 72: 2-20.
- Rossow, W. B., & Schiffer, R. A. (1999). Advances in understanding clouds from ISCCP. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(11), 2261-2287.
- Schiffer, R.A. and Rossow, W.B. (1983). The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP): The first project of the World Climate Research Programed, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 64: 779-784.
- Wylie, D.; Darren, L.; Jackson, W. ; Menzel, P. and Bates; J. (2005). Trends in global cloud cover in two decades of HIRS observations, *Journal of climate*, 18(15): 3021-3031.