

وردایی فصلی ابرهای مایع در گستره ایران مبتنی بر داده‌های سنجنده MODIS ماهواره Terra

محمود احمدی^۱

عباسعلی داداشی رودباری^۲

بهناز نصیری خوزانی^۳

طیبه اکبری ازیرانی^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۲/۰۱

چکیده

ابر پدیده ویژه‌ای است که در اثر دگرگونی‌های دینامیکی و ترمودینامیکی گردش عمومی هواسپهر به وجود می‌آید. ابرها حد واسط بین سامانه‌های همدیدی و شرایط آب و هوای سطح زمین هستند و از اهمیت ویژه‌ای در رژیم بارش برخوردارند. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات زمانی-مکانی ابرهای مایع (LWCOT^۵) فصلی ایران است. بر این اساس داده‌های سنجنده MODIS ماهواره Terra (۲۰۰۱-۲۰۱۵) و داده‌های بلند مدت ۳۱ ایستگاه آب و هواشناسی همدید (۱۹۶۰-۲۰۱۵) اخذ و پردازش شدند. نتایج نشان داد از شمال به جنوب و از غرب به شرق از فراوانی ابرهای مایع کاسته می‌شود. ابرهای مایع ایران دارای یک رابطه غیرخطی و احتمالاً پیچیده هستند و عواملی همچون جهت‌گیری دامنه‌ها، سامانه‌های بارشی، دوری از منابع رطوبتی در وردایی ابرها نقش چشمگیری دارند. بیشینه فراوانی ابرهای مایع در فصول سرد سال و عمدتاً در عرض‌های جغرافیایی بالا قرار دارند. جهت‌گیری دامنه‌ها، سامانه‌های کلان مقیاس همدید و دوری و نزدیکی از منابع رطوبتی مهمترین عوامل تغییرات ابرهای مایع ایران هستند. فراوانی روزهای ابر مایع در فصل زمستان منطبق بر مسیر حرکت چرخندها و توده‌های هوای وارد شده به کشور محور غربی-شرقی دارند. فراوانی چشمگیر ابرهای مایع فصل بهار در شمال غرب کشور و ارتفاعات ناشی از همرفت دامنه‌ای و ناپایداری شدید است که منجر به رشد ابر شده است. در فصل تابستان با افزایش دما و استقرار پرفشار جنب حاره‌ای آזור بر گستره کشور در بیرون از منطقه‌ی خزری ابرهای مایع در خور توجهی مشاهده نمی‌شود؛ فصل پاییز نیز بیشینه ابرهای مایع در سواحل شمالی کشور به دلیل ورودی سامانه پرفشار سیبری است.

واژه‌های کلیدی: ابرهای مایع، سنجنده MODIS، ماهواره Terra، ایران.

۱- دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران (نویسنده مسئول) ma_ahmadi@sbu.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران dadashiabbasali@gmail.com

۳- کارشناسی ارشد آب و هواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران behnaznasiri1395@gmail.com

۴- استادیار آب و هواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران takbariirani@gmail.com

۱- مقدمه

می‌شوند که از سایر روش‌های برداشت به دست می‌آیند. مطالعات ابرها در ایران معمولاً به وردایی زمانی-مکانی (حاتمی بهمن بیگلو و موحدی، ۱۳۹۷؛ احمدی و همکاران، ۲۰۱۸)، روند تغییرات (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷) و چشمه‌های رطوبتی آنها اختصاص داده شد و تاکنون پژوهش مستقل و ساختارمندی در خصوص فاز ابر و تغییرات زمانی-مکانی آن در ایران انجام نشده است.

اهمیت تعیین حالت ابر (از لحاظ مایع یا یخی بودن آن) علاوه بر اثر آن‌ها بر سازوکار بازخورد هواسپهر، از جهاتی دیگر نیز اهمیت دارد و آن ارتباط ارتفاع ابرها با حالت و وضعیت آن‌هاست؛ چرا که هرچه ارتفاع ابر بالاتر باشد، حالت ابر نیز به طرف وضعیت‌های یخی تمایل می‌یابد و بالعکس؛ بنابراین تعیین وضعیت ابر در جهت ارزیابی دقت ارتفاع بسیار حائز اهمیت است (فرج زاده، ۱۳۸۶).

این اهمیت زمانی بیشتر می‌شود که درمی‌یابیم ایران سرزمینی نسبتاً خشک و مقدار بارش در آن کمتر از یک سوم متوسط بارش در سطح دنیاست. بارش‌های سالانه اندک، نوسانات شدید، رگباری و کوتاه بودن بارش‌ها از مشخصه‌های بارز بارندگی ایران محسوب می‌شود. این ویژگی همراه با توپوگرافی پیچیده آن موجب گردیده است؛ تا توزیع جغرافیایی مکانیسم‌های بارش‌ها در ایران از تغییرات زمانی- مکانی زیادی برخوردار باشد لذا شناخت صحیح ابرها در ایران می‌تواند پیش درآمد مناسبی برای شناخت بارش باشد.

ابرها براساس شیوه‌های گوناگونی تقسیم‌بندی می‌شوند که می‌توان به: ۱- طبقه‌بندی ابرها بر اساس منشأ تشکیل (ابرهای دریایی و خشکی)؛ ۲- طبقه‌بندی ابرها براساس شکل ظاهری (ابرهای پوششی، جوششی و پر مانند) و ۳- تقسیم‌بندی ابرها از نظر فیزیکی (ابرهای گرم یا مایع و سرد یا یخی) اشاره کرد.

در این پژوهش ابرها را بر اساس مشخصه‌های فیزیکی آنها تقسیم‌بندی خواهیم کرد. در این تقسیم‌بندی ابرها به چهار دسته تقسیم می‌شوند: ابرهای یخی، ابرهای مایع،

ابر پدیده ویژه‌ای است که در اثر دگرگونی‌های دینامیکی و ترمودینامیکی گردش عمومی هواسپهر به وجود می‌آید (Bony et al, 2015:261) و حدود ۶۸ درصد از سطح جهان را پوشش می‌دهد (Stubenrauch et al, 2013:1032).

ابرها از راه پراکندگی و بازتاب تابش خورشیدی (Mueller et al, 2011:2316) بودجه انرژی تابشی زمین را دچار دگرگونی می‌کنند (Zhou et al, 2016: 871) و با تولید بارش در شکل‌های گوناگون (Wang, 2013:21) بر چرخه آب‌شناختی زمین تأثیر می‌گذارند. مطالعه ابرها به علت اینکه حد واسط بین سامانه‌های هم‌دید و شرایط آب و هوای سطح زمین هستند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و هرگونه تغییر در پارامترهای آن می‌تواند سرآغاز زنجیره‌ای از واکنش‌ها در دیگر عناصر آب و هوایی گردد که اثر آن به صورت مستقیم در فرآیندهای آب‌شناسی ظاهر می‌شود (رسولی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۵).

عدم اطمینان در بازخورد ابرها به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع خطا در پیش‌بینی‌های فعلی آب و هوا در قرن ۲۱ شناخته می‌شود (Flato et al, 2013:742). همچنین پیش‌بینی بارش در بین مدل‌های مختلف جهانی از مدلی به مدل دیگر متفاوت است که اغلب این تفاوت ناشی از عدم شناخت صحیح ابر و حالت‌های مختلف آن است (Stephens et al, 2010:115).

نقش و اهمیت سنجش از دور به عنوان یک ابزار کنترل و پایش هواسپهر هر روز بیشتر و ضروری‌تر می‌گردد (Ackerman et al, 1998:32141). سنجش از دور این امکان را فراهم آورده است تا بتوان ابرها را از جنبه‌های متعددی مانند ارتفاع (ابرهای سطوح بالا، میانی و ابرهای پایین) و فاز (ابرهای مایع، یخی و یا مخلوطی از هر دو) طبقه‌بندی کرد (فرج زاده، ۱۳۸۶).

همانطور که بحث شد در سال‌های اخیر هواشناسان و آب و هواشناسان در مطالعات ابر پیشرفت‌های درخورنگرشی در نتیجه پرتاب ماهواره هواشناسی در مدار زمین کسب نموده‌اند و اکنون داده‌های ابر برای منطقه‌ی وسیعی از کره‌ی زمین در دسترس قرار دارد و این داده‌ها مکمل اطلاعاتی

و ارزیابی ضخامت نوری ابرهای مایع (LWCOT) در ایران براساس خروجی سنجنده MODIS ماهواره Terra پرداخته است. لذا در مرور منابع سعی می گردد تا به تحقیقاتی رجوع شود که بیشتر ابرها را از نظر حالت ترمودینامیکی مورد مطالعه قرار داده‌اند.

دی گیرولمو و همکاران (۲۰۱۰) به ارزیابی جهانی ابرهای مایع با تلفیق داده‌های چهار ساله CALIPSO-CALIPOP پرداختند و دریافتند که فراوانی رخداد‌های همپوشانی ابرهای مایع در جهان بر اساس اطلاعات این ماهواره به مراتب ناچیزتر از مقداری است که اشاره می‌شود. همچنین نامبردگان ابراز داشتند که CALIPOP برای مطالعه ابرها مناسب‌تر است. ارزیابی آب و هواشناسی ماهواره‌ای از آب مایع آب ابر در جنوب شرقی اقیانوس آرام بین سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۹ پژوهشی است که اونیل و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های AMSR-E به مطالعه آن پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داده است که تغییرات فضایی و فصلی قابل توجهی در سراسر جنوب شرقی اقیانوس آرام، به ویژه در ارتباط با شاخه جنوبی منطقه همگرایی بین حاره (SITCZ) و منطقه همگرایی جنوب شرقی اقیانوس آرام (SPCZ) وجود دارد. همچنین دو چرخه متمایز سالانه ابرهای مایع نیز آشکار شد، که هر دو در پاییز در اوج قرار دارند. کریستینسن و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که ابرهای مایع خروجی CloudSat عدم قطعیت بالایی دارند؛ این عدم قطعیت بیشتر مربوط به شناسایی نامناسب ابرها و اشتباه در تفسیر بارندگی ابر است.

لینون و همکاران (۲۰۱۶) به مقایسه الگوریتم ابر مایع CloudSat و MODIS پرداختند و به این نتیجه رسیدند که خروجی‌های MODIS در تشخیص فاز ابر بخصوص در حالت مایع کارا تر است. به رغم مطالعات بسیاری که در سطح جهانی ابرها را از دیدگاه‌های بسیاری مورد مطالعه قرار دادند اما در ایران مطالعات مربوط به فاز ابر در آغاز راه قرار دارد و بیشتر مطالعات به ارزیابی زمان - مکانی

ابرهای مختلط و ابرهای نامعلوم. ابرهای مختلط شامل ابرهایی است که در آنها هستک‌های یخی و مایع به صورت مختلط وجود دارند.

در مطالعات ماهواره‌ای برای تعیین فاز ابر معمولاً بحث از ویژگی‌های ترمودینامیکی است؛ حالت ترمودینامیکی بدین معناست که ابر از قطرک‌های آب مایع، آب بسیار سرد یا بلورهای یخ و برف شکل گرفته است؛ البته در بسیاری اوقات، ابرها آمیزه‌ای از همه‌ی این موارد هستند و با توجه به رشد قائم و گسترش افقی ابر، حالت‌های گوناگونی رخ می‌دهد. تعیین حالت ترمودینامیکی ابر برای استنباط و رسیدن به دو پراسنج شعاع قطرک‌ها و ضخامت نوری مهم و ضروری است؛ زیرا آب و یخ ویژگی‌های درآشامی و پراکندگی کاملاً متفاوتی دارند. در برون‌داد سنجنده MODIS، از نظر عددی برای حالت ترمودینامیکی ابر چند عدد ویژه دیده می‌شود (افتخاری، ۱۳۹۲: ۴۳) که عبارتند از: ۰: بدون ابر؛ ۱: ابر محتوای آب؛ ۲: ابر محتوای یخ؛ ۳: ابر آمیخته و ۶: خطا در ثبت داده.

تا به امروز ابهامات زیادی در مورد کارایی ابرناکی بر سامانه‌های آب‌وهوایی و تغییرات آن وجود دارد که از اهم این اثرات می‌توان به ارتفاع، ضخامت، میزان برد افقی و تنوع، محتوای آب، نوع فاز ابر (مایع یا یخی)، اندازه قطرات، نوع کریستال ابر و ابرهای مایع و یخی اشاره کرد. همچنین موقعیت جغرافیایی ابرها، بازتاب و درجه حرارت سطوح مختلف ابر و زمان شکل‌گیری آن نیز از موضوعات مهم حوزه مطالعاتی ابرهاست که تاکنون در ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

مطالعه ابرها چه در فاز یخی و یا مایع به علت اینکه حد واسط بین سامانه‌های هم‌دیدگی و شرایط آب‌وهوایی سطح زمین هستند و نماینده وضعیت رطوبتی هوا سپهر می‌باشند از اهمیت دوچندانی برخوردار است؛ این مهم زمانی آشکارتر می‌شود که تاکنون در ایران هیچ پژوهشی در این خصوص انجام نشده است. این پژوهش به مطالعه

پوشش ابر پرداخته‌اند؛ ارزیابی تغییرات فضایی - زمانی از کسر ابر براساس ویژگی‌های جغرافیایی در ایران، پژوهشی است که قاسمی فر و همکاران (۱۳۹۷) بر اساس داده‌های ۱۵ ساله سنجنده MODIS در ماهواره Terra و Aqua، ۱۲۰ ایستگاه آب و هوایی، پایگاه ECMWF و داده‌های جغرافیایی (عرض، ارتفاع و پوشش گیاهی) انجام شد. نتایج پژوهش آنها نشان داد حداکثر انحراف استاندارد در پاییز برای هر دو مشاهدات ماهواره‌ای است. همچنین تجزیه و تحلیل روند داده‌های ERA-Interim و ماهواره‌ای نشان داد که روند معناداری در بیشتر ماه‌ها دیده نمی‌شود. در پژوهشی دیگر قاسمی فر و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تغییرات فضایی - زمانی ابرناکی بر پایه ویژگی‌های جغرافیایی و داده‌های سنجنش از دور در ایران پرداختند. در این پژوهش از همان داده‌های پژوهش قاسمی فر و همکاران (۱۳۹۷) استفاده شد؛ نتایج حاصل از بررسی ماهانه درصد ابرناکی در ایران نشان داد که ابرناکی بیشتر از ۶۵ درصد را برای ماه‌های سرد به‌ویژه فوریه و ژانویه و ۷ تا ۲۵ درصد را در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر نمایش می‌دهد. احمدی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از داده‌های مجموع پوشش ابر (TCC) برای سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۵ بر اساس داده‌های پایگاه ECMWF نسخه ۱۹۷۹ و ERA-Interim و داده‌های ابرناکی ۴۲ ایستگاه هواشناسی در دوره‌ی آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۵، ضخامت نوری ابر طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۵ سنجنده MODIS، به بررسی دگرگونی فضایی زمانی ابرناکی در ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بالاترین پوشش ابر و ضخامت نوری (COT) در ماه‌های زمستان رخ داده و از شمال به جنوب و از غرب به شرق کاهش می‌یابد.

پوشش ابر پرداخته‌اند؛ ارزیابی تغییرات فضایی - زمانی از کسر ابر براساس ویژگی‌های جغرافیایی در ایران، پژوهشی است که قاسمی فر و همکاران (۱۳۹۷) بر اساس داده‌های ۱۵ ساله سنجنده MODIS در ماهواره Terra و Aqua، ۱۲۰ ایستگاه آب و هوایی، پایگاه ECMWF و داده‌های جغرافیایی (عرض، ارتفاع و پوشش گیاهی) انجام شد. نتایج پژوهش آنها نشان داد حداکثر انحراف استاندارد در پاییز برای هر دو مشاهدات ماهواره‌ای است. همچنین تجزیه و تحلیل روند داده‌های ERA-Interim و ماهواره‌ای نشان داد که روند معناداری در بیشتر ماه‌ها دیده نمی‌شود. در پژوهشی دیگر قاسمی فر و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تغییرات فضایی - زمانی ابرناکی بر پایه ویژگی‌های جغرافیایی و داده‌های سنجنش از دور در ایران پرداختند. در این پژوهش از همان داده‌های پژوهش قاسمی فر و همکاران (۱۳۹۷) استفاده شد؛ نتایج حاصل از بررسی ماهانه درصد ابرناکی در ایران نشان داد که ابرناکی بیشتر از ۶۵ درصد را برای ماه‌های سرد به‌ویژه فوریه و ژانویه و ۷ تا ۲۵ درصد را در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر نمایش می‌دهد. احمدی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از داده‌های مجموع پوشش ابر (TCC) برای سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۵ بر اساس داده‌های پایگاه ECMWF نسخه ۱۹۷۹ و ERA-Interim و داده‌های ابرناکی ۴۲ ایستگاه هواشناسی در دوره‌ی آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۵، ضخامت نوری ابر طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۵ سنجنده MODIS، به بررسی دگرگونی فضایی زمانی ابرناکی در ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بالاترین پوشش ابر و ضخامت نوری (COT) در ماه‌های زمستان رخ داده و از شمال به جنوب و از غرب به شرق کاهش می‌یابد.

جمع‌بندی پیشینه موردبررسی نشان داد که: ۱- بین مطالعات مرتبط با مؤلفه‌های ابرناکی در ایران و مطالعات جهانی فاصله بسیاری هم به جهت کمیت و هم به جهت استفاده از فناوری‌های روزآمد وجود دارد. چرا که در مطالعات انجام‌شده در ایران بخصوص توسط آب و هواشناسی به شکل سنتی از داده‌های کدهای دیدبانی

۲- داده‌ها و روش

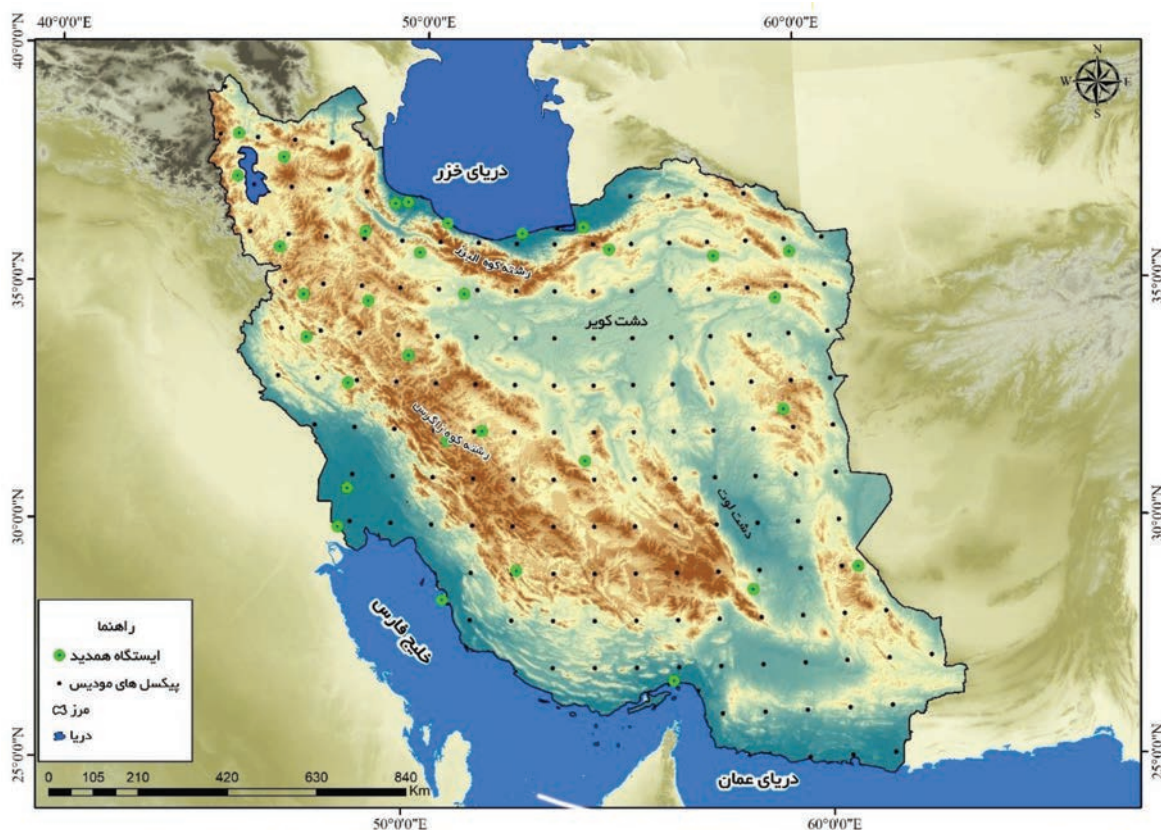
۲-۱- داده‌ها و پیش پردازش

۲-۱-۱- ایستگاه‌های همدید

جهت دستیابی به اهداف این تحقیق و بررسی ابرهای مایع در کشور، ابتدا از مجموع ایستگاه‌های هواشناسی موجود در کل کشور، ۳۱ ایستگاه طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۶۰ گزینش شد (نگاره ۱). سعی بر آن بود که این ایستگاه‌های هواشناسی در تمام استان‌های کشور پراکنده شده و از توزیع مکانی مناسبی برخوردار باشند. به این منظور طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا هر ایستگاه، جهت انتخاب مورد استفاده قرار گرفت. پست‌ترین نقطه ایستگاهی بابلسر با ۲۷- متر و مرتفع‌ترین با ۲۰۴۸/۹ متر ایستگاه شهرکرد است. در گام بعدی با استفاده از داده‌های دیدبانی ساعتی وضعیت هواسپهر، از بین ۹۹ کد هوای حاضر، کدهایی که نماینده‌ی ابرهای مایع بودند، جدا و سپس فراوانی این کدها برای هر سال و هر ساعت به تفکیک ایستگاه‌ها محاسبه و میانگین سالانه و فصلی آنها

1- Liquid Water Cloud Optical Thickness (LWCOT)

2- Ice Cloud Optical Thickness (ICOT)



نگاره ۱: منطقه مورد مطالعه به همراه یاخته‌های سنجنده MODIS و ایستگاه‌های همدید منتخب

محاسبه شد. جدول (۱) کدهای دیدبانی مربوط به ابرهای مایع را نشان می‌دهد که در این پژوهش برای ۳۱ ایستگاه همدید مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱: کدهای هوای حاضر پدیده‌ی ابرناکی (ابرهای مایع) (WMO, 2011)

MODIS توسط سازمان ملی هوا و فضا ایالات متحده آمریکا تحت برنامه سامانه دیدبانی زمین (EOS^۱) با دو ماهواره Aqua و Terra در سامانه مدارگرد قطبی فعالیت می‌کند. سنجنده MODIS دستگاهی با تفکیک رادیومتریکی زیاد (۱۲ بیت) است و همان‌طور که گفته شد با دو ماهواره آمریکایی Terra (از سال ۲۰۰۰ - تاکنون) و Aqua (از سال ۲۰۰۲ - تاکنون) حمل می‌شود. زمان عبور دو ماهواره Terra و Aqua از خط استوا ۱۰:۳۰ و ۱۳:۳۰ به وقت محلی است (حمیدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۷۸). این سنجنده مؤلفه‌های منطقه‌ای و جهانی ابر را با پوشش طیفی زیاد و همچنین با تفکیک مکانی بالا ارائه می‌دهد که در ماهواره‌ها و سنجنده‌های پیشین چنین قابلیتی کمتر وجود داشته است (King et al, 2013: 3826; Platnick et al, 2017: 505). سنجنده MODIS برای پایش ابر و مشخصه‌های آن از الگوریتم‌های مختلفی بهره می‌برد که الگوریتم ابر پوشه^۲

جدول ۱: کدهای هوای حاضر پدیده‌ی ابرناکی (ابرهای مایع) (WMO, 2011)

شماره کد	تعریف کد
۱۴-۱۵	بارندگی خارج از ایستگاه
۲۰-۲۹	انواع بارندگی‌ها، مه یا رعد و برق که در خلال ساعت گذشته در ایستگاه مشاهده شده ولی در زمان دیدبانی وجود ندارد.
۵۰-۵۹	باران ریزه در زمان دیدبانی
۶۰-۶۹	مخصوص باران
۸۰-۸۹	مخصوص رگبار و یا بارندگی‌هایی که با رعد و برق همراه هستند.

۲-۲- سنجنده MODIS

در این پژوهش از داده‌های سنجنده MODIS برای دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ ماهواره Terra استفاده می‌شود.

1- Earth Observing System (EOS)

2- Cloud Mask

جدول ۲: مؤلفه‌های کامل الگوریتم ابر پوشه سنجنده MODIS دو ماهواره Aqua و Terra

(Platnick et al, 2003:460)

پارامتر بازیابی شده	فرآورده تعیین اطلاعات زمینی	باندهای طیفی استفاده شده در MODIS	تفکیک فضایی (درجه)	ورودی کمکی MODIS	ورودی کمکی غیر MODIS
ابر پوشه	MOD35	Up to 20 bands, VIS thru IR	0.25, 1		پوشه برف/ یخ دریا
مؤلفه‌های ابر	MOD06				
مشخصه‌های ابرهای بالا					
فشار و دمای قله ابر، شعاع مؤثر و سپیدایی		11um and co2 Bands (31-36)	5	MOD35	مدل جذب T / پروفیل‌های SST, P
مشخصه‌های نوری و میکروفیزیکی ابر					
ضخامت نوری ابر، شعاع مؤثر ذرات، مسیر ابر (مایع و جامد)		VIS, NIR, SWIR, MWIR (BANDS 1, 2, 5, 6, 7, 20)	1	MOD35, MOD06 (P, T)	پوشه برف/ یخ دریا، مدل جذب T / پروفیل‌های SST, P
فاز ترمودینامیکی (خوارزمیک IR)		8.5, 11 um bands (bands 29, 31)	5		

رابطه (۱) به دست می‌آید (Stephens & Kummerow, 2007:3742):

$$WP = \frac{2}{3} \tau r_{epl}$$

در این رابطه τ عمق نوری ابر، r_e مقدار تابش مؤثر ذرات آب (یخ) و l_{p} چگالی آب مایع می‌باشد. مقدار توزیع ذرات یخ با همین مدل به دست می‌آید ولی به جای مقدار تابش مؤثر ذرات از مقدار مؤثر تابش کریستال یخ استفاده می‌شود. پس از رمزگشایی داده‌ها و محاسبات لازم؛ نقشه‌های هر فصل در محیط ARCGIS با استفاده از روش کریجینگ ترسیم گردید.

۳- یافته‌های تحقیق

۳-۱- توزیع فصلی زمانی-مکانی میانگین فراوانی روزهای ابر مایع ساعت ۰۹:۰۰ (همگام با مسیر ماهواره Terra)

همانطور که در نگاره (۲-الف) نشان داده شده است؛ توزیع میانگین فراوانی روزهای ابر مایع در فصل زمستان اغلب محور غربی-شرقی است که نیمه شمالی کشور را در بر می‌گیرند و بیشتر بر مسیر حرکت چرخندها و توده‌های هوای وارد شده به کشور (قاسمی، ۱۳۹۱) منطبق هستند.

یکی از مهمترین آنهاست (جدول ۲). در این خوارزمیک از تابندگی ۱۴ باند طیفی (۱، ۲، ۵، ۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۶، ۲۷، ۳۱، ۳۲ و ۳۵) استفاده می‌شود تا مشخص نماید یک یاخته بخصوص ابر است یا هواویز و اینکه به‌وسیله سایه ابر دیگری مورد احاطه قرار گرفته است.

۳-۲- محتوی/مقدار ذرات (آب، یخ) ابر (CWIP^۱)

فاز ابر (محتوی آب یا یخ) نقش مهمی در تنظیم بودجه انرژی زمین دارد. آب و یخ ابر واکنش‌های متفاوتی به تابش‌های مشابه نشان می‌دهند. بین طول‌موج ۱۰ تا ۱۲ میکرومتر مقدار جذب بیشتری در فاز یخی ابر اتفاق می‌افتد؛ بنابراین تغییر در فاز ابر بر روی نحوه واکنش ابرها بر آب‌وهوا تأثیر می‌گذارد که باید در مدل‌های جهانی آب‌وهوا در نظر گرفته شود. منطقه مادون‌قرمز طیف نور خورشید، از باند ۸ تا ۱۱ میکرومتر می‌تواند دگرگونی در محتویات میکروفیزیکی ابرها و یا به عبارت دیگر تفاوت بین فازهای ابر را تشخیص دهد. این پارامتر نشان‌دهنده‌ی مقدار مایع و یخ در ستون ابر می‌باشد و تخمینی در مورد توزیع قطرات آب و یخ ارائه می‌دهد (Menzel et al, 2010:22). این پارامتر مطابق

1- Cloud Water Inertial Probe (CWIP)

وارد ایران و به سوی شمال شرق حرکت می‌کند و در بعضی مواقع در وضعیت خاص همدید رطوبت کافی را از طریق دریای عمان، خلیج فارس و خلیج عدن کسب و به داخل ایران می‌آورد و سبب ناپایداری و رشد ابر می‌شود (مفیدی، ۱۳۸۳).

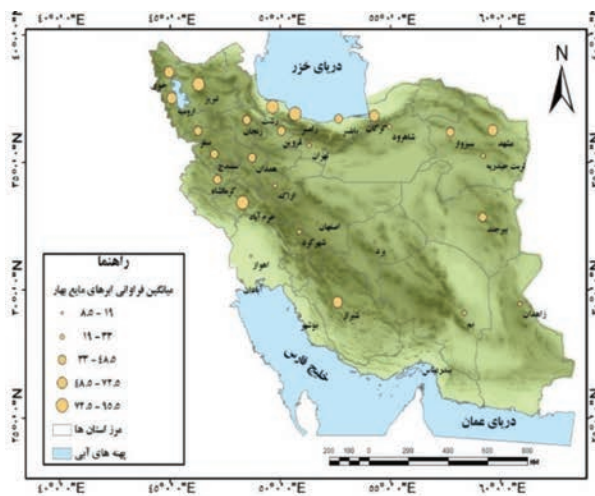
با توجه به نگاره (۲-ب) ملاحظه می‌شود که در فصل بهار از فراوانی ابرها کاسته می‌شود که به نظر می‌رسد به علت عقب‌نشینی تدریجی بادهای غربی به طرف شمال باشد و بیشینه فراوانی ابر مایع به عرض‌های بالاتر و مناطق مرتفع در کوهستان‌های البرز و زاگرس محدود می‌شود. به این صورت که در درجه اول در ایستگاه‌های رشت، رامسر، خرم‌آباد، تبریز و خوی به ترتیب با ۹۵/۵، ۹۱/۵، ۸۱، ۷۷ و ۷۲/۵ روز و در درجه دوم در ایستگاه‌های گرگان، شیراز، مشهد، ارومیه و بابلرس با ۷۱/۵، ۶۴/۵، ۵۸/۶۶، ۵۶/۵ و ۴۸/۵ روز ابر مایع مشاهده می‌شود. کمینه فراوانی روزهای ابر مایع نیز در نواحی مرکزی و جنوب شرق کشور با کمتر از ۱۹ روز ابر مایع قرار دارد.

فصل تابستان (نگاره ۲-ج) تقریباً بیشتر کشور بدون ابر مایع است. فقط در نوار ساحلی در حاشیه‌ی خزر ایستگاه‌های رشت، رامسر، بابلرس و گرگان به ترتیب با ۱۵۳، ۹۳/۳۳، ۷۷/۶۶ و ۲۶ روز از فراوانی ابر مایع بیشینه برخوردار بوده‌اند. در بیرون از منطقه‌ی خزری ایستگاه تبریز با ۱۴ روز ابری بعد از نوار ساحلی خزر بیشینه ابر مایع را دارا بوده است. در بقیه نقاط کشور فراوانی ابر مایع خیلی کم بوده یا اصلاً وجود نداشته است. به علت این‌که در این فصل با افزایش دما و استقرار پرفشار جنب حاره‌ای آزور بر گستره کشور، مانع حرکت هوا شده و در نتیجه امکان صعود و تشکیل ابر وجود ندارد.

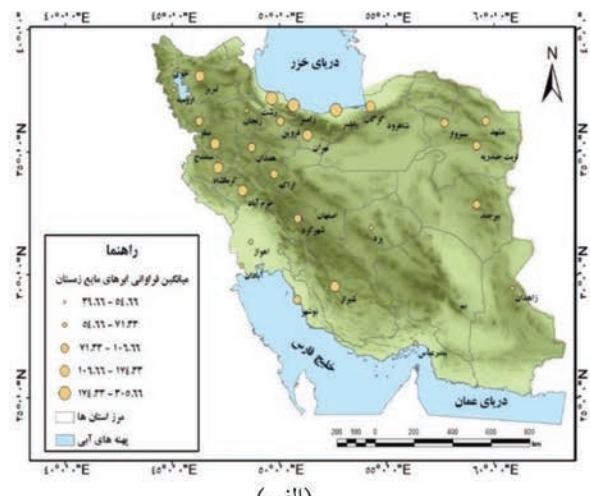
همانطور که گفته شد در فصل تابستان به علت استقرار پرفشار جنب حاره‌ای آزور فصلی خشک می‌باشد. ولی چون منطقه خزر در این فصل از نفوذ پرفشار جنب حاره‌ای بیرون است، عامل صعود یعنی گرمایش سطح زمین و عبور موج‌های بادهای غربی در همه جای آن دیده می‌شود عامل

ایستگاه‌های رشت، رامسر، بابلرس و گرگان مربوط به این مناطقند که با فراوانی تجمعی ۱۷۴/۳۳ تا ۳۰۵/۶۶ روز از بیشینه فراوانی ابر مایع برخوردارند. علاوه بر این به علت این‌که بادهای غربی و موج‌های کوتاه در نیمه شمالی کشور فراوان‌ترند، تعداد چرخندها در نیمه شمالی ایران بیشتر از نیمه جنوبی می‌باشد (علیچانی، ۱۳۸۹).

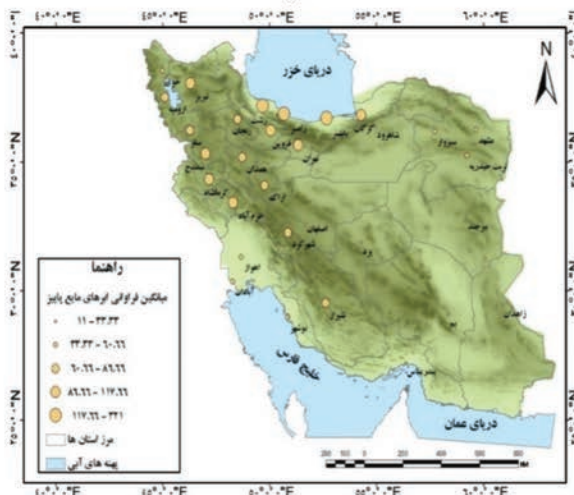
در نیمه غربی کشور فراوانی روزهای ابر مایع محور شمال‌غربی- جنوب شرقی دارند که شامل ایستگاه‌های شیراز، کرمانشاه، خرم‌آباد، سنندج، تهران، تبریز و قزوین با فراوانی تجمعی بین ۱۰۶/۶۶ تا ۱۷۴/۳۳ روز بعد از سواحل دریای خزر بیشینه ابر مایع را تجربه کرده‌اند. به جهت اینکه رشته‌کوه زاگرس بر سامانه‌های هوای غربی ورودی به کشور اثر دینامیکی دارد و آن‌ها را وادار به صعود و تخلیه رطوبت می‌کند. مقایسه آمار ایستگاه مشهد در ناحیه کوهپایه شرقی و ایستگاه تبریز در ناحیه بلندی‌ها در این ساعت در فصل زمستان نشان می‌دهد علی‌رغم اینکه هر دو منطقه در یک عرض جغرافیایی قرار دارند، در پاییز به جهت گسترش هوای سرد سیبری، سامانه‌های غربی نمی‌توانند به‌صورت فراوان وارد خراسان شوند در نتیجه رشد ابر و بارندگی کمتر است؛ بنابراین فراوانی روزهای ابر مایع مشهد کمتر از تبریز بوده است. در فصل بهار، فراوانی روزهای ابر مایع نسبت به فصل زمستان در تمامی ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه‌های تبریز، زنجان و خوی کاهش یافته است. برای اینکه هنوز بادهای غربی از آذربایجان خارج نشده‌اند و از طرف دیگر بر اثر تابش عمودی آفتاب به دامنه‌های آفتاب‌گیر سطح زمین بسیار گرم‌تر از هواسپهر مجاور شده و همرفت دامنه‌ای و نهایتاً رشد ابر و ناپایداری شدید را سبب می‌شود. خارج از مناطق مورد بحث جنوب و جنوب غرب ایران به نمایندگی از ایستگاه‌های بوشهر، شیراز و اهواز نیز ابرهای مایع قابل توجهی را نشان داده‌اند؛ علت افزایش فراوانی روزهای ابر مایع در ایستگاه اهواز، بوشهر و شیراز، احتمالاً ناشی از سامانه‌های کم‌فشار سودانی و منطقه‌ی همگرایی دریای سرخ است که سودانی از دو مسیر نواحی جنوب غربی و بندرلنگه



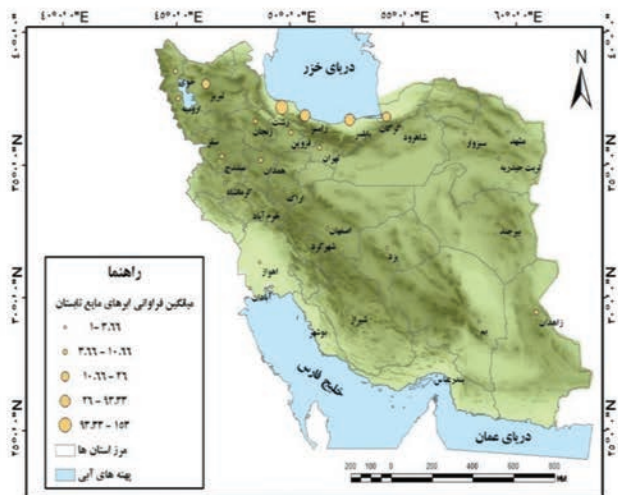
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

نگاره ۲: توزیع مکانی میانگین فراوانی ابرهای مایع طی دوره آماری ۱۹۶۰-۲۰۱۵ میلادی

(الف) فصل زمستان؛ (ب) فصل بهار؛ (ج) فصل تابستان؛ (د) فصل پاییز

هوای مختلف به کشور میانگین فراوانی روزهای ابر مایع از ۱۱ تا ۳۲۱ بار فراوانی متغیر می‌باشد (نگاره ۲-د). در این فصل بیشینه فراوانی روزهای ابر مایع در ایستگاه‌های سواحل دریای خزر و سپس در ایستگاه‌های خرم‌آباد، تبریز، سنندج، کرمانشاه، تهران، قزوین و ارومیه دیده می‌شود. ایستگاه شیراز و ایستگاه شهرکرد به ترتیب با ۷۸ و ۶۵/۶۶ روز فراوانی با هم برابری می‌کنند. کمینه فراوانی ابر مایع در ایستگاه بم با ۱۱ روز نمایان است.

اصلی بارش در پاییز همرفت وزشی و در تابستان نسیم دریا می‌باشد. از طرف دیگر، استقرار نسیم دریا در طول روز رطوبت دریا را به‌طور مساوی به تمام قسمت‌های ساحلی می‌رساند (علیچانی، ۱۳۱۹).

فراوانی روزهای ابر مایع ایستگاه زاهدان در جنوب شرقی کشور در این فصل نیز نسبت به دیگر مناطق جنوبی می‌تواند متأثر از ورود سامانه‌های موسمی از سمت جنوب شرقی به کشور باشد.

در فصل پاییز با کاهش تدریجی دما و ورود توده‌های

جدول (۳): ارتباط ابرهای مایع ایران با مؤلفه‌های جغرافیایی مکان

ضخامت ابرهای مایع (MODIS-Terra)			فصل	مؤلفه جغرافیایی
ضریب تعیین (R ^۲)	p-values	همبستگی (Pearson)		
۰/۵۰۸	۰/۰۰۰	-۰/۷۱۳	زمستان	طول جغرافیایی
۰/۵۹۵	۰/۰۰۰۱ >	-۰/۷۷۱	بهار	
۰/۱۹۵	۰/۰۰۰۱ >	-۰/۴۴۲	تابستان	
۰/۵۹۶	۰/۰۰۰۱ >	-۰/۷۷۲	پاییز	
۰/۱۵۳	۰/۰۰۰	۰/۳۹۱	زمستان	عرض جغرافیایی
۰/۲۸۳	۰/۰۰۰۱ >	۰/۵۳۲	بهار	
۰/۵۵۱	۰/۰۰۰۱ >	۰/۷۴۲	تابستان	
۰/۲۹۳	۰/۰۰۰۱ >	۰/۵۴۱	پاییز	
۰/۰۲۶	۰/۰۴۵	۰/۱۶۲	زمستان	ارتفاع
۰/۰۴۴	۰/۰۰۹	۰/۲۱۰	بهار	
۰/۰۲۶	۰/۰۴۶	۰/۱۶۱	تابستان	
۰/۰۳۷	۰/۰۱۶	۰/۱۹۴	پاییز	

باتنا و همکاران (۱۹۹۰) در خصوص نقش کوهستان در فرآیند ابرزایی ابراز داشته‌اند که ابرها در نتیجه فرایندهای همرفتی و دینامیکی در نواحی کوهستانی شکل می‌گیرند. در بهار و پاییز همرفت دامنه‌ای را به ویژه برای ساعات عصر مهیا می‌کند. در حقیقت با تابش خورشید جوی بالای سطح شیب‌دار توسط شار گرمای محسوس از سطح گرم شده و همگرایی باد و وجود رطوبت سبب تشکیل ابر در این ارتفاعات می‌شود. در خصوص ارتفاع نیز باید توجه داشت ایستگاه‌هایی با ارتفاع صفر و حتی منفی (ارتفاع ایستگاه بابلسر از سطح دریا ۲۷- متر است) در سواحل شمالی ایران بیشینه ابرناکی را دارا می‌باشند. همچنین ارتباط بین طول جغرافیایی و ابرهای مایع در ایران منفی است.

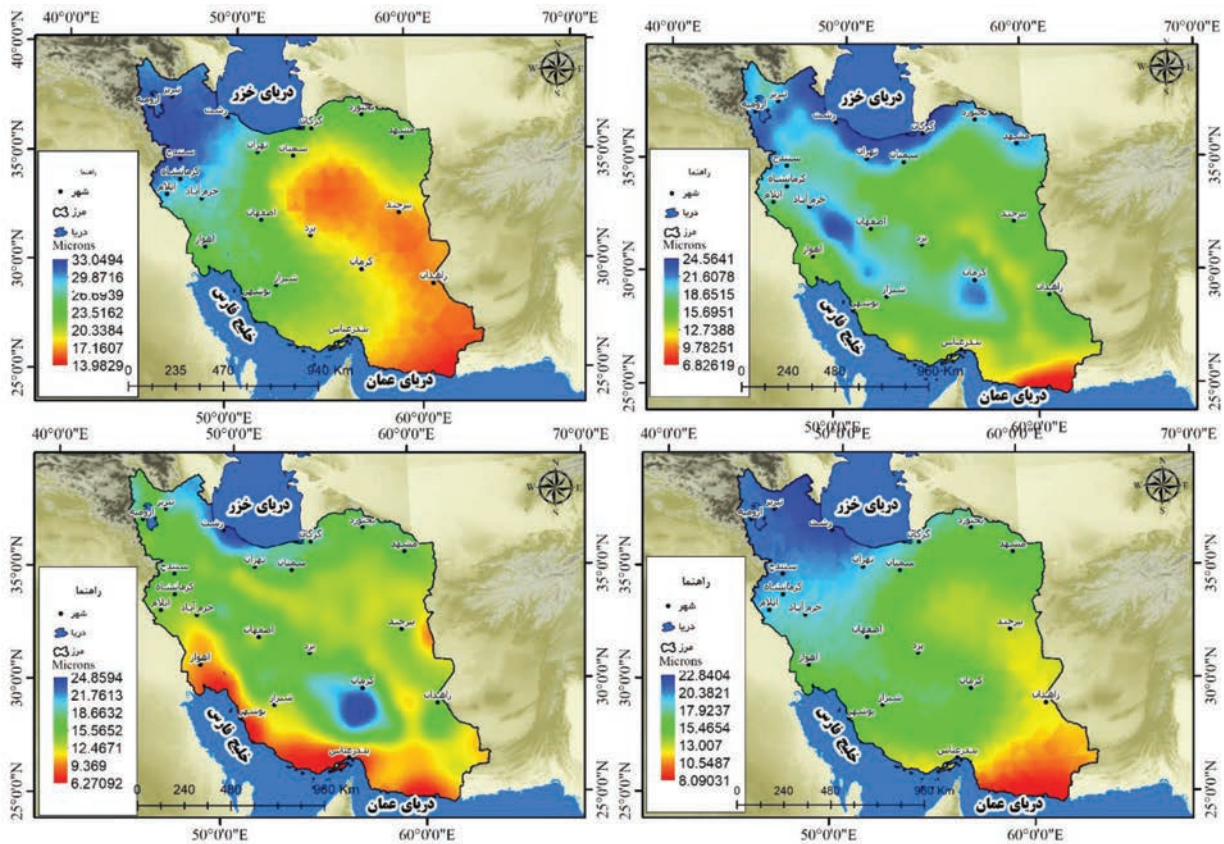
۳-۳- توزیع زمانی-مکانی روند دگرگونی ابرهای

مایع فصلی مبتنی بر داده‌های سنجنده MODIS

میانگین ضخامت ابرهای مایع در ایران در مقیاس فصلی به ترتیب در فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز ۲۲/۱۳، ۱۷/۱۳، ۱۴/۱۱ و ۱۶/۰۷ میکرون بدست آمده

۳-۲- ارتباط ابرهای مایع با مؤلفه‌های جغرافیایی مکان در ایران

جدول (۳) همبستگی پارامترهای جغرافیایی (ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی) را با ابرهای مایع نشان داده است. نتایج نشان داد ابرهای مایع ارتباط مستقیم و معنی‌داری با عرض جغرافیایی در ایران دارند. با افزایش عرض جغرافیایی بر تعداد روزهای ابری و ضخامت ابرهای مایع در ایران افزوده می‌شود البته باید توجه داشت که این یک ارتباط خطی کامل نمی‌باشد بطوری که در فصل تابستان در عرض‌های جغرافیایی پایین به سبب تأثیر سامانه مونسون ابرناکی قابل توجه در جنوب شرق کشور داریم. فصول بهار و تابستان بیشینه ارتباط با عرض جغرافیایی را نشان داده‌اند. در فصل تابستان به دلیل سامانه‌های مهاجر بسیار که ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند ابرناکی یکنواختی بر کشور حاکم است و از شمال به جنوب و از غرب به شرق از ضخامت ابرهای مایع کاسته می‌شود. همبستگی ابرهای مایع در مقیاس فصلی با ارتفاع در ایران مستقیم است. بطوری که با افزایش ارتفاع بر تعداد روزهای ابری مایع افزوده می‌شود.



نگاره ۳: توزیع زمانی-مکانی ابرهای مایع فصلی مبتنی بر داده‌های سنجنده MODIS طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۱-۲۰۱۵ از بالا سمت چپ به راست فصل زمستان؛ فصل بهار؛ فصل تابستان و فصل پاییز

بر دامنه‌های یاد شده تندتر از زمین‌های مسطح است. این اختلاف دما به ناپایداری هوای روی دامنه می‌انجامد و سبب صعود آن می‌شود. در این فصل بیشینه ضخامت ابر مایع به عرض‌های بالاتر و مناطق مرتفع در کوهستان‌های البرز و زاگرس با $24/6$ میکرون محدود می‌باشد (نگاره ۳). کمینه ضخامت ابر مایع در این فصل با $6/82$ میکرون مربوط به نواحی جنوب شرق کشور می‌باشد. در تابستان به جهت استقرار پرفشار جنب حاره‌ای و خروج بادهای غربی از ایران، سامانه‌های بیرونی به داخل کشور وارد نمی‌شوند (علیچانی، ۱۳۸۹) و از طرفی چون که سواحل دریای خزر در تمام سال زیر نفوذ بادهای غربی قرار دارد و در تابستان هم عامل غالب تأمین رطوبت در این فصل نسیم دریا است و آن هم به نقاط دورتر نمی‌رسد و یا رطوبت کمتری منتقل می‌کند و به جهت عرض جغرافیایی بالاتر آن، بنابراین

است؛ میانگین ضخامت ابرهای مایع به سمت فصول گرم سال کاسته می‌شود. بیشینه ضخامت ابرهای مایع در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب $33/04$ ، $24/56$ ، $22/84$ ، $24/85$ و کمینه ضخامت ابرهای مایع نیز به ترتیب فصول مقادیر $13/98$ ، $6/27$ ، $6/82$ ، $8/09$ را نشان می‌دهد. نگاره (۳) نشان می‌دهد که تمرکز فراوانی ابرهای مایع در فصل زمستان نوار ساحلی دریای خزر و غرب و بیشینه ضخامت ابرهای مایع با مقدار $33/04$ میکرون در شمال غرب و غرب بوده و از شمال به جنوب و از غرب به شرق از فراوانی ابرهای مایع کاسته می‌شود. همانطور که گفته شد که در این فصل تمام ایران زیر نفوذ بادهای غربی قرار می‌گیرد و مسیرهای چرخندی در سطح زمین تشکیل می‌شود. مناطق جنوب و مرکزی کشور با $11/05$ میکرون کمینه ضخامت ابر مایع را دارند. در بهار زاویه تابش آفتاب

هدف تغییرات زمان-مکانی ابرهای مایع ایران از داده‌های سنجنده MODIS ماهواره Terra (۲۰۱۵-۲۰۰۱) و داده‌های بلند مدت ۳۱ ایستگاه آب و هواشناسی همدید طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۶۰ استفاده شد.

نتایج نشان داد که بالاترین فراوانی ابرهای مایع زمستانی و پاییزی، عمدتاً در عرض‌های جغرافیایی بالا در نواحی شمال، مسیر غرب به شرق دامنه جنوبی البرز، شمال غرب و غرب کشور استقرار داشته و برای فصل تابستان، سواحل دریای مازندران و برای فصل بهار، نیمه شمالی کشور و جنوب شرق را می‌توان به عنوان بیشینه ابرهای مایع ایران نام برد که این مسئله بر اساس فعالیت سامانه‌های مورد انتظار و عوامل محلی در هر فصل به خوبی قابل توجیه می‌باشد. ابرهای مایع ایران دارای یک رابطه غیرخطی و احتمالاً پیچیده هستند و عواملی همچون جهت‌گیری دامنه‌ها، سامانه‌های بارشی، دوری از منابع رطوبتی، نبود عامل صعود، نبود رطوبت کافی و ده‌ها و یا شاید صدها عامل دیگر در این خصوص نقش‌آفرینی می‌کنند. ارزیابی‌های حاصل از ضخامت ابرهای مایع نیز نشان داد که نواحی مرتفع زاگرس مرکزی و غرب کشور بیشینه میزان ضخامت ابرهای مایع در دوره سرد سال را دارا می‌باشند. افزایش ارتفاع ابرها با کاهش تأثیر ناهمواری‌ها در گستره ایران همراه است. با کاهش تأثیر توپوگرافی انتظار کاهش بارندگی‌ها در گستره ایران وجود دارد. در دوره سرد سال سامانه‌های کم‌فشار، جبهه‌ها و امواج میانی هواسپهر نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش ابرناکی بازی می‌کنند که با نتایج مسعودیان (۱۳۹۰) همخوانی دارد. مؤلفه‌های مکانی (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع) در مقیاس فصلی مشخص کرد که عامل عرض جغرافیایی یک عامل مهم مکانی است که در وضعیت فراوانی ابرهای مایع در ایران نقش مؤثر و مستقیمی را ایفا می‌کند و بیشترین همبستگی معنی‌داری را با ابرهای مایع دارد و این به دلیل این است که با افزایش عرض جغرافیایی به منابع رطوبتی داخلی نزدیک می‌شویم. در واقع در عرض‌های جغرافیایی بالاتر که مناطق شمالی

بیشینه فراوانی ابرهای مایع در این فصل در ناحیه خزری با ۲۴/۸۵ میکرون نمایان می‌شود. در بیرون از منطقه ساحل خزر ایستگاه کرمان نیز با ناحیه خزری با هم برابری می‌کنند. در بقیه مناطق کشور خصوصاً مناطق جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب ضخامت ابرهای مایع ۶/۲۷ میکرون می‌باشد که در نگاره (۳)، پراکندگی مکانی آن‌ها دیده می‌شود. در فصل پاییز (نگاره ۳) به دلیل آغاز دوره سرد سال و ورود بادهای غربی به کشور و پیشروی آن‌ها به جنوب تا اواخر پاییز و تأثیر همرفت وزشی ناشی از وزش بادهای سرد سیبری از روی دریای خزر، بیشینه ضخامت ابرهای مایع در شمال ایران با مقدار ۲۲/۸۴ میکرون نمایان است و از آنجایی که در این فصل بادهای غربی ابتدا از آذربایجان وارد شده و با خود ناپایداری و رطوبت می‌آورند، فلات آذربایجان به همراه نقاط کوهپایه‌ای جنوب البرز و شرق زاگرس و ارتفاعات خراسان نیز بیشینه ضخامت ابر مایع را دارند. در ارتفاعات زاگرس با پیشروی بادهای غربی به طرف جنوب فراوانی ابرهای مایع نیز افزایش یافته است. در واقع دامنه‌های غربی زاگرس اغلب از توده‌های معتدل و مرطوب مدیترانه و رطوبت خلیج فارس بهره‌مند می‌شوند و مسیرهای چرخندی کشور هم از منطقه زاگرس مرکزی عبور می‌کنند. در این محدوده بیشینه مقدار در ارتفاعات زاگرس از سقز تا خرم‌آباد دیده می‌شود که به دلیل موقعیت ویژه آن از نظر تابش آفتاب و ورود چرخندهای مدیترانه می‌باشد. مناطق مرکزی و سواحل دریای عمان و خلیج فارس با کمتر از ۸/۰۹ میکرون از ضخامت ابر مایع کمتری برخوردارند.

۴- نتیجه گیری

امروزه دگرگونی آب و هوایی یکی از مهم‌ترین عواملی است که باعث تشدید و تغییر توزیع زمانی-مکانی مخاطرات آب و هوایی گردیده است. یکی از مهم‌ترین پارامترهای آب و هوایی ابر می‌باشد. ابرها نقش حیاتی بر سامانه‌های آب و هوایی و دگرگونی آب و هوایی دارند. در این پژوهش با

کشور واقع شده‌اند و به عرض‌های میانی نزدیک‌اند، رخداد ابرهای مایع این مناطق بیشتر بوده است. شمال غرب و نوار البرز در بیشتر روزهای سال تحت تأثیر بادهای غربی قرار دارند و از آنجایی که بادهای غربی بر فراز دریای مدیترانه عبور می‌کنند و این دریا نیز دارای رطوبت کافی است ابرناکی قابل توجهی را برای این منطقه به همراه داشته‌اند. نتیجه به دست آمده با مطالعه علیجانی (۱۳۸۹) که فراوانی تعداد روزهای ابری در بالای کوه‌های البرز، ارتفاعات خراسان و شمال آذربایجان را ۱۲۰ روز عنوان کرده است همخوانی دارد. افزایش ابرناکی جنوب و جنوب شرق ایران در دوره گرم سال با سامانه مونسون در ماه‌های ژوئیه تا سپتامبر مرتبط است که قاسمی فر و همکاران (۲۰۱۸) و یاداو (۲۰۱۶) نیز آن را تأیید کردند. مقایسه نتایج بدست آمده این پژوهش با مطالعه احمدی و همکاران (۲۰۱۸) که ضخامت نوری ابر (COT) و مجموع پوشش ابری (TCC) ایران را بررسی کردند همخوانی بالایی دارد و به عبارت دیگر نتایج بدست آمده در این پژوهش را تأیید می‌کند.

منابع و مأخذ

- احمدی، احمدی و داداشی رودباری، محمود، حمزه و عباسعلی (۱۳۹۷a)، واکاوی روند تغییرات و الگوی فضایی ابرناکی سالانه و فصلی در ایران، مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۵): ۲۳۹-۲۵۶.
- احمدی، داداشی رودباری و احمدی، محمود، عباسعلی و حمزه (۱۳۹۷b)، پایش دمای شب هنگام سطح زمین در گستره ایران مبتنی بر پرونداد سنجنده MODIS، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۲(۱): ۱۷۴-۱۹۰.
- افتخاری، دانیال (۱۳۹۲)، ارزیابی برخی ویژگی‌های فیزیکی ابر در جنوب ایران به کمک داده‌های ماهواره‌ای در دوره‌ی ۲۰۱۲-۲۰۰۸، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه یزد، دانشکده علوم پایه، یزد.
- حاتمی بهمن بیگلو و موحدی، خداکرم و سعید (۱۳۹۷)، واکاوی تغییرات زمانی و مکانی پوشش ابر در ایران با بهره‌گیری
- از داده‌های سنجش از دور، مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۶): ۱۲۷-۱۴۴.
- رسولی، جهانبخش و قاسمی، علی اکبر، سعید و احمدرضا (۱۳۹۲)، بررسی تغییرات زمانی و مکانی مقدار پوشش ابر در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۸(۳): ۸۵-۱۰۲.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۹)، آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ دهم، تهران، ۲۲۱ ص.
- فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۸۶). تکنیک‌های اقلیم‌شناسی؛ انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)؛ تهران، ۲۸۸ ص.
- قاسمی دستگردی، احمدرضا (۱۳۹۱)، مدل‌سازی تغییرات زمانی و مکانی پوشش ابری با تأکید بر روزهای بارش در ایران؛ رساله دکتری جغرافیای طبیعی؛ دانشگاه تبریز؛ دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی؛ گروه جغرافیای طبیعی.
- قاسمی فر، فرج‌زاده، قویدل رحیمی و علی اکبری بیدختی، الهام، منوچهر، یوسف و عباسعلی (۱۳۹۷)، بررسی تغییرات فضایی- زمانی ابرناکی بر پایه ویژگی‌های جغرافیایی و داده‌های سنجش از دور در ایران، فیزیک زمین و فضا، ۴۴(۱): ۱۰۳-۱۲۴.
- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۹۰)، آب و هوای ایران، انتشارات شریعه توس مشهد، چاپ اول، مشهد، ۲۸۸ ص.
- مفیدی، عباس (۱۳۸۳)، آب و هواشناسی سینوپتیکی بارش‌های سیل‌زا با منشأ منطقه دریای سرخ در خاورمیانه، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۷۵: ۷۱-۹۳.
- Ackerman, S. A., Strabala, K. I., Menzel, W. P., Frey, R. A., Moeller, C. C., & Gumley, L. E. (1998), Discriminating clear sky from clouds with MODIS. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D24), 32141-32157.
- Ahmadi, M., Dadashiroudbari, A., Ahmadi, H. (2018), Spatiotemporal Variations of Total Cloud Cover and Cloud Optical Thickness in Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 44(4), 145-164.
- Banta, R. M. (1990), the role of mountain flows in

Sensing, 3(11), 2305-2320.

24. O'Neill, L. W., Wang, S., & Jiang, Q. (2011), Satellite climatology of cloud liquid water path over the Southeast Pacific between 2002 and 2009. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*, 11(11).

25. Platnick, S., King, M. D., Ackerman, S. A., Menzel, W. P., Baum, B. A., Riédi, J. C., & Frey, R. A. (2003), The MODIS cloud products: Algorithms and examples from Terra. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(2), 459-473.

26. Platnick, S., Meyer, K. G., King, M. D., Wind, G., Amarasinghe, N., Marchant, B., ...& Yang, P. (2017), The MODIS cloud optical and microphysical products: Collection 6 updates and examples from Terra and Aqua. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(1), 502-525.

27. Stephens, G. L., & Kummerow, C. D. (2007), The remote sensing of clouds and precipitation from space: A review. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 64(11), 3742-3765.

28. Stephens, G. L., L'Ecuyer, T., Forbes, R., Gettelmen, A., Golaz, J. C., Bodas Salcedo, A., ...& Haynes, J. (2010), Dreary state of precipitation in global models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D24).

29. Stubenrauch, C. J., Rossow, W. B., Kinne, S., Ackerman, S., Cesana, G., Chepfer, H., ...& Maddux, B. C. (2013), Assessment of global cloud datasets from satellites: Project and database initiated by the GEWEX radiation panel. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(7), 1031-1049.

30. Wang, P. K. (2013), *Physics and dynamics of clouds and precipitation*. Cambridge University Press.

31. WMO (2011), *Manual on Codes - Volume II Regional Codes and National Coding Practices*. WMO.

32. Yadav, R. K. (2016), on the relationship between Iran surface temperature and northwest India summer monsoon rainfall. *International Journal of Climatology*, 36(13), 4425-4438.

33. Zhou, C., Zelinka, M. D., & Klein, S. A. (2016), Impact of decadal cloud variations on the Earth's energy budget. *Nature Geoscience*, 9(12), 871.

making clouds. In *Atmospheric processes over complex terrain* (pp. 229-283). American Meteorological Society, Boston, MA.

15. Bony, S., Stevens, B., Frierson, D. M., Jakob, C., Kageyama, M., Pincus, R., ...& Watanabe, M. (2015), Clouds, circulation and climate sensitivity. *Nature Geoscience*, 8(4), 261.

16. Christensen, M. W., Stephens, G. L., & Lebsock, M. D. (2013), Exposing biases in retrieved low cloud properties from CloudSat: A guide for evaluating observations and climate data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(21).

17. Di Girolamo, L., Liang, L., & Platnick, S. (2010), a global view of one dimensional solar radiative transfer through oceanic water clouds. *Geophysical Research Letters*, 37(18).

18. Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S. C., Collins, W., ...& Forest, C. (2013), Evaluation of climate models. In *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 741-866). Cambridge University Press.

19. Ghasemifar, E., Farajzadeh, M., Perry, M. C., Rahimi, Y. G., & Bidokhti, A. A. (2017), Analysis of spatiotemporal variations of cloud fraction based on geographic characteristics over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-17.

20. King, M. D., Platnick, S., Menzel, W. P., Ackerman, S. A., & Hubanks, P. A. (2013), Spatial and temporal distribution of clouds observed by MODIS onboard the Terra and Aqua satellites. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(7), 3826-3852.

21. Leinonen, J., Lebsock, M. D., Stephens, G. L., & Suzuki, K. (2016), improved retrieval of cloud liquid water from CloudSat and MODIS. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 55(8), 1831-1844.

22. Menzel, W.P. Frey, R.A. and Baum. B.A. (2010), *Cloud top pressures and cloud algorithm theoretical basis document*. Report, 8: 1-62.

23. Mueller, R., Trentmann, J., Träger-Chatterjee, C., Posselt, R., & Stöckli, R. (2011), The role of the effective cloud albedo for climate monitoring and analysis. *Remote*

