



Estimation of Cloudiness in the Atmosphere of Iran Using Multi-Angle Imaging SpectroRadiometer (MISR)

K. Raispour^{1*} and R. Razmi²

Abstract

Cloudiness is of particular importance among other climatic elements and is one of the important issues in predicting climate change on a global and regional scale. The purpose of this study is to investigate the spatial distribution and estimate the long-term average of cloudiness on a seasonal and monthly time scale in the geographical area of Iran's atmosphere. Therefore, Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR) products were used during the years 2001-2019. The cloud products used were extracted with monthly temporal resolution and spatial resolution of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ and after quality control and preprocessing, were used to build network layers. Cloud cover data from 44 synoptic meteorological stations were used to verify the accuracy of the cloud data of the MISR sensor. Based on the results, the average percentage of cloudiness in Iran's atmosphere is about 25%, which is low compared to the global average cloudiness (50%). In the long-term study, the maximum cloudiness was estimated on the southern and western coasts of the Caspian Sea and the highlands of Azerbaijan, Zagros and Khorasan ranked next. On the other hand, the lowest amount of cloudiness was observed in a wide area of central, eastern and southeastern Iran. Among the seasons, the highest and the lowest cloud fraction was estimated in winter and in summer, respectively. On a monthly time scale, it was found that the highest/lowest amount of cloud fraction is related to February/September. These differences indicate changes in the weather during different months of the year. Also the decreasing trend of cloud fraction during the study period is important in terms of global warming and climate change.

Keywords: Cloud Fraction, MISR Sensor, Temporal and Spatial Distribution, Atmosphere of Iran.

Received: August 3, 2020

Accepted: November 23, 2020

برآورد ابرناکی در جو ایران با استفاده از فرآورده‌های ابر پرتوسنج طیفی تصویربرداری چندزاویه‌ای (MISR)

کوهزاد رئیس‌پور^{۱*} و رباب رزمی^۲

چکیده

ابرناکی از اهمیت ویژه‌ای در میان سایر عناصر اقلیمی برخوردار است و از جمله مباحث مهم در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی توزیع مکانی و برآورد میانگین بلندمدت ابرناکی در مقیاس زمانی فصلی و ماهانه در محدوده‌ی جغرافیایی جو ایران است. بنابراین از فرآورده‌های ابر سنجنده‌ی MISR در طول سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۱۹ استفاده گردید. فرآورده‌های ابر مورد استفاده با گام‌های زمانی ماهانه و مکانی $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ استخراج و پس از کنترل کیفی و پیش‌پردازش، برای ساخت لایه‌های شبکه‌ای به کار گرفته شد. جهت بررسی صحت داده‌های ابرناکی سنجنده‌ی MISR از داده‌های پوشش ابر ۴۴ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک استفاده گردید. براساس نتایج؛ میانگین درصد ابرناکی در جو ایران حدود ۲۵ درصد است که در مقایسه با میانگین ابرناکی جهانی (۵۰ درصد) ایران کشوری کم‌ابر می‌باشد. در بررسی بلندمدت، بیشینه‌ی ابرناکی در سواحل جنوبی و غربی دریای خزر و پس از آن در نواحی مرتفع آذربایجان، زاگرس و خراسان برآورد گردید. از سویی دیگر کمترین مقدار ابرناکی در گستره‌ی وسیعی از ایران مرکزی، شرق و جنوب‌شرق ایران مشاهده شد. در میان فصول بیشترین درصد ابرناکی در فصل زمستان و کمترین مقدار آن در فصل تابستان به دست آمد. در مقیاس زمانی ماهانه مشخص گردید که بیشترین/کمترین درصد ابرناکی مربوط به ماه‌های فوریه/سپتامبر (بهمن/شهریور) است. این تفاوت‌ها نشان‌دهنده‌ی تغییرات وضعیت آب‌وهوایی در طول ماه‌های مختلف سال است. از دیگر نتایج، روند کاهش درصد ابرناکی در طول سری زمانی مورد مطالعه است که بررسی آن از منظر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم مهم می‌باشد.

کلمات کلیدی: درصد ابرناکی، سنجنده‌ی MISR، توزیع زمانی- مکانی، جو ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۵/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۹/۳

1- Assistant Professor in Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Email: Raispour@znu.ac.ir

2- Ph.D. Student in Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

*- Corresponding Author

۱- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

Andrew and Li and Thompson (2016) et al. (2016) Roger (2019) انجام گرفت. اما مطالعات داخلی مرتبط با موضوع پژوهش بسیار اندک است. در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های Mobasher et al. (2004), Sadeghi et al. (2005), Sahraian et al. (2007), Mir Rahimi (2007), Qasemi (2012), Rassoli et al. (2014), Hatami and Movahhedi (2018) اشاره نمود. این محققان اغلب، جنبه‌های دیگر ابر را از قبیل: تغییرات ابر، رابطه‌ی بارش با ابر، پیش‌بینی بارش، تشخیص و طبقه‌بندی ابرها مورد توجه قرار داده و تاکنون در رابطه با توزیع زمانی و مکانی پوشش ابر، مطالعات زیادی صورت نگرفته است. از سویی دیگر، گرچه ابرها از دیرباز مورد توجه محققان آب‌وهواشناسی بوده‌اند، ولی به دلیل اینکه انواع ابرها به دلیل شکل، ترکیبات متغیر، دما و ارتفاع دارای ویژگی‌های تابشی پیچیده‌ای هستند، تا چند دهه‌ی قبل پژوهش‌های زیادی بر روی آنها انجام نگرفته بود. ماهواره‌ها به دلیل اینکه تصاویری از پوشش جهانی ابر را با دقت و جزئیات بالا تهیه می‌نمایند، تحلیل‌های زمانی و فضایی رخداد ابر و ویژگی‌های آن را ممکن می‌سازند؛ زیرا ماهواره‌ها قادرند خصوصیات فیزیکی و اقلیمی ابرها مانند: ضخامت، توسعه‌ی افقی، محتوای رطوبتی، دما، فشار و اندازه‌ی قطره‌های آب را با دقت اندازه‌گیری نمایند (Delgadot et al., 2020; Vignesh et al., 2020). این توانایی به باز شدن زمینه‌های تحقیقاتی جدیدی در مطالعه‌ی ابرها منجر شد و پژوهشگران زیادی تحقیقات خود را در این زمینه متمرکز نمودند (Li et al., 2007; Parajka and Bloschi, 2008; Hyear et al., 2011; Corbett et al., 2015; An and Wang, 2015; Amanda et al., 2017; Platnick et al., 2017; Holger et al., 2020; Desmons et al., 2020). از مهم‌ترین ویژگی‌های ابرها، توزیع فضایی ابرناکی (درصد ابرناکی) است که می‌تواند اولین پارامتر در راستای دستیابی به توزیع فضایی دیگر ویژگی‌های ابر در نظر گرفته شود (King et al., 2013). در این میان استفاده از داده‌های سنجنده‌ی MISR سوار بر ماهواره‌ی TERRA مورد توجه محققین متعددی از قبیل Diner et al. (2008), Marchand et al. (2010), Bruegge et al. (2013), Marchand et al. (2014), Limbacher et al. (2017) و Lorent et al. (2017) قرار گرفت. گام‌های زمانی- مکانی مناسب و جهانی بودن داده‌های سنجنده‌ی MISR، آن را در ردیف یکی از پرکاربردترین سنجنده‌ها در زمینه‌ی تخمین مقدار ابرناکی قرار داده است. به نظر می‌رسد، کشور ایران به دلیل موقعیت و ویژگی‌های خاص جغرافیایی، از توزیع ابرناکی با رفتار ویژه‌ای برخوردار باشد. علیرغم معدود مطالعات انجام شده در این زمینه، تاکنون مطالعه‌ای که با استفاده از فرآورده‌های ابر سنجنده‌ی MISR به واکاوی زمانی- فضایی ابرناکی در گستره‌ی جغرافیایی ایران پرداخته باشد، انجام نگرفت. بنابراین پژوهش حاضر تلاش دارد

ابرها توده‌ای از قطره‌های بسیار ریز آب یا یخ هستند که در طبقه‌های پایینی و میانی جو تشکیل شده و به ندرت به سطح زمین می‌رسند (Jones, 1992). مقدار ابرناکی جو، مقدار رطوبت ورودی و درصد احتمال بارندگی را نشان می‌دهد (Kaviani and Alijani, 2013). ابرها تغییرپذیری زمانی و مکانی زیادی دارند و می‌توانند اقلیم سیاره‌ی زمین را از طریق روابط پیچیده‌ای تحت تأثیر قرار دهند و چرخه‌ی آب را درگیر نمایند (Hatami and Movahhedi, 2018)؛ چرا که از یک طرف در مجموعه سامانه‌های همدید، باعث انتقال مقادیر زیادی از رطوبت اقیانوس‌ها به خشکی‌ها می‌گردند و از طرف دیگر نقش تعیین‌کننده‌ای در توزیع این رطوبت به صورت بارش دارند (Rassoli et al., 2013). همچنین، به علت تأثیر بر مقادیر تابش خورشیدی و مقدار خروج انرژی از سطح زمین، کنترل‌کننده‌ی تعادل انرژی زمین می‌باشند (Caldwell et al., 2016; Boucher et al., 2013; Bony et al., 2006). بنابراین ایجاد هرگونه تغییرات در آنها می‌تواند بر سایر عناصر اقلیمی تأثیرگذار بوده و باعث تغییرات اقلیمی پیچیده‌ای گردد (Kay et al., 2016; Hwang and Frierson, 2013). یکی از مهم‌ترین مسائل حال حاضر در زمینه‌ی آب و هوا، مسأله تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای آب‌وهوایی می‌باشد. مطالعه‌ی تغییرات پوشش ابر به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای آب‌وهوایی از این نظر حائز اهمیت است که ابرها در رأس چرخه‌ی آب قرار دارند و تغییرات آنها منجر به ایجاد تغییر در توزیع زمانی و مکانی بسیاری از پارامترهای آب‌وهوایی مانند بارش، دما، تابش خورشیدی و تبخیر- تعرق خواهد شد (Trenberth and Fasullo, 2010; Bodas-Salcedo et al., 2014; Kay et al., 2012). البته مطالعه‌ی ابرها از زوایای دیگری از قبیل پیش‌بینی‌های آب‌وهوایی (Stephens et al., 2002; Field et al., 2008; Hong et al., 2006; Hack et al., 2009; et al., 2009)، مدل‌های هیدرولوژیکی، بهبود مدل‌های تغییر اقلیم (Jiang et al., 2010)، بارورسازی ابرها، بازخوردهای اقلیمی (Schiffer and Cornuelle, 2005; Otkin and Greanwald, 2008) و دور (Li et al., 2014a, b; Gordon and Norris, 2010; Gordon et al., 2005) و مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی (Martinez chico et al., 2011) نیز حائز اهمیت است. بنابر آنچه در بالا ذکر شد، مطالعه‌ی تغییرات زمانی و مکانی ابرها، همچنان در ردیف اولویت‌های پژوهشی محققان زیادی در سطح دنیا قرار دارد. بر همین اساس در خارج از کشور مطالعات متعددی بر روی ویژگی‌های ابر توسط پژوهشگران پرشماری از جمله Evan et al. (2000), Tselioudis et al. (2005), Gordon et al. (2007), Bender et al. (2013), Bonder et al. (2011), Ceppi and Hartmann (2015), Marchand (2013), Norris,

تا با استفاده از این داده‌ها به برآورد مقدار ابرناکی در جو ایران طی بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۱ بپردازد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- داده‌های MISR

در سال‌های اخیر، استفاده از فرآورده‌های ماهواره‌ای در اقلیم‌شناسی ابر کاربرد گسترده‌ای پیدا نمود. در این میان استفاده از فرآورده‌ی ابر سنجنده‌ی MISR مبنای مطالعات پرشماری در جهان قرار گرفته است. پرتوسنج طیفی تصویربرداری چندزاویه‌ای که به اختصار MISR^۲ نامیده می‌شود، ابزاری علمی است که بر روی ماهواره‌ی تحقیقاتی TERRA مستقر می‌باشد (Di Girolamo et al., 2010). سنجنده‌ی MISR به طور تخصصی به منظور اندازه‌گیری شدت تابش خورشیدی بازتاب شده توسط سطح زمین و جو، در جهت‌ها و باندهای طیفی مختلف طراحی شده و داده‌های به‌دست آمده از این سنجنده در علوم جوی، اقلیم‌شناسی و پایش فرایندهای زمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Marchand et al., 2010). این سنجنده به طور مداوم فرآورده‌های ابر منطقه‌ای و جهانی (روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه) را با پوشش طیفی زیاد و تفکیک مکانی بالا در باندهای کلیدی جو-زمین تهیه می‌نماید که در سنجش‌گرهای قبلی و ژرفاسنج‌ها وجود ندارد (Evan et al., 2007). تصاویر دریافتی توسط سنجنده‌ی مذکور در ۴ زاویه‌ی مختلف توسط ۹ سنجنده و در چهار طول موج آبی (۴۴۳ nm)، سبز (۵۵۵ nm)، قرمز (۶۷۰ nm) و مادون قرمز نزدیک (۸۶۵ nm) تهیه می‌گردد (Chopping et al., 2008). این تصاویر اطلاعات کاملی از ذرات جو، ابرها، فرم ابرها، پوشش زمین و آئروسول‌ها را فراهم نموده که به کمک تصاویر چندطیفی آن می‌توان مدل‌های سه بعدی از مقدار و برآورد کل نور خورشید منعکس شده در محیط‌های مورد مطالعه ایجاد نمود (Bender et al., 2011; Norris and Evan, 2015; Peterson et al., 2020). در این تحقیق نیز از فرآورده‌ی ابر آماده و کالیبره شده‌ی سطح ۳ سنجنده‌ی MISR/Terra L3 Monthly Standard Physical Retrieval MISR (MIL3MCF_A1) (V001) که از تارنمای <https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C188637669-LARC.html> قابل دریافت است استفاده گردید. در میان فرآورده‌های ابر سنجنده‌ی MISR فراسنج‌های مختلفی وجود دارد که در این پژوهش از فراسنج درصد ابرپوش^۳ استفاده شد (Christoph et al., 2019). فراسنج درصد ابرناکی (مقدار پوشش ابر) عبارت است از کسری از آسمان که به وسیله‌ی ابر پوشیده می‌شود و بر اساس درصد بیان می‌شود (Marchand, 2013). داده‌های مربوطه که دارای سیستم تصویر UTM با دیتوم WGS84 می‌باشند، با فرمت داده‌ای سلسله مراتبی

(HDF) استخراج گردید و پس از کنترل کیفی و پیش‌پردازش، توسط نرم‌افزارهای تخصصی (ENVI، ArcGIS و EXCELL) مورد پردازش قرار گرفت. این داده‌ها که به صورت رقومی بوده و مقادیر آنها ارزش عددی مقدار ابرناکی بر حسب درصد (%) به ازای هر پیکسل است، با استفاده از امکاناتی که نرم‌افزارهای فوق در اختیار کاربر قرار می‌دهد، با اعمال پردازش‌های لازم، تبدیل به داده‌های شبکه‌ای و جداول اطلاعاتی شده و خروجی‌های لازم بر اساس مرز جغرافیایی ایران استخراج گردید. به طور کلی خروجی‌های حاصل از داده‌های MISR نتیجه‌ی اعمال محاسبات بر روی دو ماتریس ماهانه به ابعاد ۲۴۰ × ۶۶۰ (۲۴۰ معرف تعداد مشاهدات در ماه‌های پیاپی از ۲۰ سال مورد مطالعه (۱۲ × ۲۰) و ۶۶۰ معرف تعداد نقاط شبکه‌بندی شده‌ی سنجنده‌ی MISR با قدرت تفکیک مکانی افقی 0.5° x 0.5° و قائم ۵۰۰ متر در پهنه‌ی ایران) و فصلی به ابعاد ۸۰ × ۶۶۰ (۸۰ معرف تعداد مشاهدات در فصول پیاپی (۴ × ۲۰) است (شکل ۱). به عبارتی دیگر، میانگین درصد ابرناکی ماهانه از میانگین ابرناکی روزانه‌ی متعلق به هر ماه و میانگین فصلی از میانگین سه ماه مربوط به هر فصل برای جو ایران استخراج گردید. به لحاظ مکانی نیز، مقادیر هر پیکسل شرایط میانگین مقدار ابرناکی مربوط به هر سری زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه) در طول دوره‌ی آماری است. در مرحله نهایی جهت درک هرچه بهتر رفتار مکانی-زمانی مقدار ابرناکی در جو ایران، نتایج به صورت نقشه، گراف و نمودار ارائه گردید و به واکاوی، تفسیر و استنباط‌های استدلالی یافته‌ها برای دست‌یابی به هدف تحقیق پرداخته شد.

۲-۲- واسنجی داده‌ها

واسنجی و صحت‌سنجی داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای، یکی از مهمترین الزامات قبل از ارائه‌ی یافته‌های حاصل از به کارگیری داده‌ها در حوزه‌های مطالعاتی مختلف است. گرچه هدف از پژوهش حاضر اعتبارسنجی داده‌های ماهواره‌ای نیست؛ اما به منظور نشان دادن دقت این داده‌ها و صحت‌سنجی آنها نیاز به استفاده از داده‌های زمینی وجود دارد. در این مطالعه نیز، جهت بررسی صحت داده‌های ابرناکی سنجنده‌ی MISR ماهواره‌ی TERRA از داده‌های مشاهده‌ای مقادیر میانگین پوشش ابر ۴۴ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ایران که به طور نسبی پوشش مناسبی از کل کشور را فراهم نموده و مقادیر ابرناکی آنها بر اساس اکتا ثبت می‌شود استفاده شد. بر اساس واحد اکتا، پوشش ابری کامل ۸ اکتا در نظر می‌گرفته می‌شود، بنابراین هر واحد اکتا برابر با ۱۲/۵ درصد است (Kotarba, 2009). سپس برای یکسان‌سازی معیار ابرناکی هر دو پایگاه داده، واحد اکتا نیز به درصد تبدیل گردید. در گام بعدی مقادیر ابرناکی مربوط به پیکسل‌هایی (۴۴ پیکسل و هر

۲-۳- منطقه‌ی مورد مطالعه

کشور ایران از منظر زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و اقلیمی از تنوع ویژه‌ای برخوردار بوده و به لحاظ جغرافیایی با وسعتی معادل $1/648/195$ کیلومتر مربع در مختصات 25 تا 40 درجه‌ی عرض شمالی و 44 تا 64 درجه‌ی طول شرقی، نسبت به نیمروز گرینویچ قرار دارد. ایران از شمال به کشورهای آذربایجان، ترکمنستان و دریای خزر، از شرق به افغانستان و پاکستان، از غرب به عراق و ترکیه و از جنوب به خلیج فارس و دریای عمان محدود می‌شود. میانگین بارش سالانه‌ی آن حدود 250 میلی‌متر و بر بیش از 70 درصد از وسعت آن اقلیم خشک و فراخشک حاکم است. توپوگرافی ایران در دامنه‌ای بین -28 متر پایین تر تا 5598 متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد. پراکنش نقاط شبکه‌بندی شده‌ی سنجنده‌ی MISR با تفکیک مکانی $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ و ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی بر روی نقشه‌ی توپوگرافی ایران در شکل ۱ قابل مشاهده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- توزیع بلندمدت

پراکنش مکانی میانگین ابرناکی جو ایران در طول دوره آماری ($2019-2001$) در شکل ۲ ترسیم شده است. طبق این نقشه، بیشترین مقدار ابرناکی در کرانه‌ی ساحلی دریای خزر با میانگین تا حدود 60 درصد برآورد گردید که پس از این ناحیه، ارتفاعات آذربایجان با میانگین ابرناکی حدود 50 درصد در اولویت بعدی قرار گرفت.

پیکسل با ابعاد تقریبی 50 در 50 کیلومتر) که ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی بر روی آنها قرار می‌گرفتند برآورد شد و مقادیر اختلاف و همبستگی بین دو پایگاه داده، در مقیاس سالانه فصلی و ماهانه محاسبه گردید. یافته‌ها نشان داد؛ مقادیر بلندمدت ابرناکی برآورد شده توسط سنجنده‌ی MISR در گستره‌ی ایران $2/4$ درصد بیش از مقادیر ابرناکی حاصل از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک است. به لحاظ فصلی نیز مقادیر ابرناکی برآورد شده توسط سنجنده‌ی مورد استفاده، در فصل پاییز (سپتامبر، اکتبر و نوامبر) $1/6$ درصد کمتر از برآورد ابرناکی ایستگاه‌های هواشناسی است، اما در سایر فصول (بهار، تابستان و زمستان) سنجنده‌ی MISR برآورد بیشتری را نشان داده است. در این میان کمترین اختلاف با مقدار $1/8$ درصد مربوط به فصل تابستان (ژوئن، ژولای و اوت) و بیشترین اختلاف با مقدار $5/8$ درصد مربوط به فصل زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) است. به لحاظ ماهانه نیز کمترین میزان اختلاف با مقدار $1/2$ درصد مربوط به ماه ژولای و بیشترین اختلاف با مقدار $6/8$ درصد در ماه ژانویه برآورد گردید. همچنین برآورد همبستگی داده‌ها براساس ضریب همبستگی پیرسون (R_p) نشان داد که مقدار همبستگی بین مقادیر ابرناکی برآورد شده توسط سنجنده‌ی MISR و ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی، در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه از $0/86$ تا $0/94$ درصد متغیر بوده است که همبستگی بالایی را نشان می‌دهد.

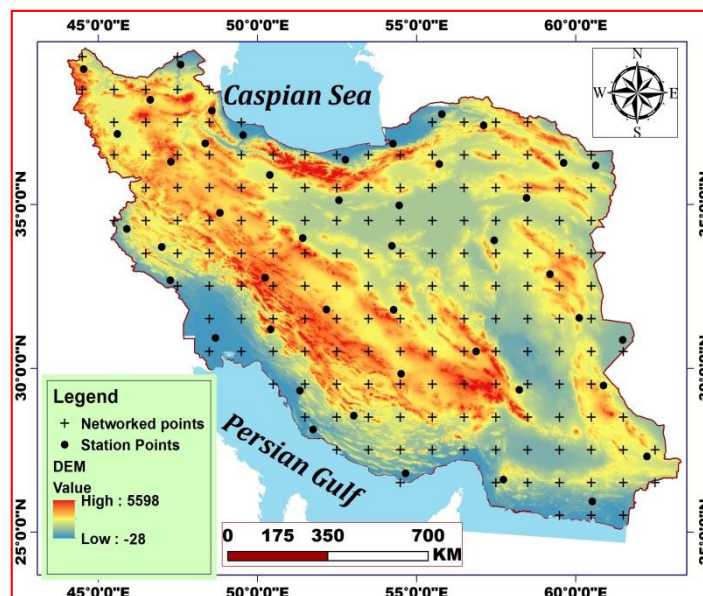


Fig. 1- Distribution of networked points of MISR sensor with spatial resolution of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ and selective synoptic stations in Iran

شکل ۱- پراکنش نقاط شبکه‌بندی شده سنجنده‌ی MISR با تفکیک مکانی $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ و ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی در ایران

درصد است. پیکسل‌های با مقدار ابرناکی بین ۷۰ تا ۸۰ درصد کمترین فراوانی را داشتند. بدین مفهوم که تعداد پیکسل‌های کم‌بر بسیار بیشتر از پیکسل‌های با ابرناکی بالا بوده‌اند. سری زمانی درصد ابرناکی براساس میانگین ماهانه‌ی ابرناکی از ژانویه سال ۲۰۰۱م تا دسامبر سال ۲۰۱۹م (۲۴۰ ماه پیاپی) در شکل ۵ ترسیم شده است. بر اساس این نگاره، روند تغییرات مقدار ابرناکی به خوبی تأییدکننده‌ی روند کاهش‌ی درصد ابرناکی در جو ایران است. به گونه‌ای که متوسط درصد ابرناکی در جو ایران از حدود ۲۵/۵ درصد در سال ۲۰۰۱ به حدود ۲۳ درصد در سال ۲۰۱۹، کاهش ۲/۵ درصدی یافته‌است. بررسی سالانه‌ی مقدار ابرناکی نیز حاکی از افت‌وخیزهایی در مقادیر ابرناکی است، به طوری که در میان سال‌های مورد مطالعه، بیشترین درصد ابرناکی مربوط به سال ۲۰۰۹ (۲۶/۲ درصد) و کمترین مقدار آن مربوط به سال ۲۰۱۰ (۲۱/۲ درصد) است (شکل ۶). به نظر می‌رسد کاهش میزان ابرناکی، ناشی از پدیده‌ی گرمایش جهانی و به تبع آن تغییر اقلیم باشد که می‌تواند موضوع مهمی در تحقیقات آینده باشد.

۳-۲- توزیع فصلی

نمودار و نقشه‌های مربوط به میانگین درصد ابرناکی و پراکنش مکانی آن در فصول چهارگانه ایران در آشکال ۷ و ۸ آمده است. همان‌طوری که شکل ۷ نشان می‌دهد؛ حداکثر مقدار ابرناکی در فصل زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) با ۳۴ درصد و کمترین مقدار آن در فصل تابستان (ژوئن، ژوئیه و اوت) با ۱۲ برآورد گردید. در فصل بهار (مارس، آوریل و می) و پاییز (سپتامبر، اکتبر و نوامبر) میانگین ابرناکی به ترتیب برابر با ۳۳ درصد و ۱۹ درصد است. توزیع مکانی ابرناکی در جو ایران نشان می‌دهد که در فصل بهار، بیشینه‌ی مقدار ابرناکی در سواحل جنوبی دریای خزر (۶۰ درصد) و در اولویت بعدی در ناحیه‌ی شمال غرب (حدود ۵۵ درصد) اتفاق می‌افتد. کمینه‌ی ابرناکی در این فصل نیز در ناحیه‌ی جنوب‌شرقی کشور حداکثر با فراوانی ۲۰ درصد برآورد گردید. بالا بودن مقدار ابرناکی فصل بهار در شمال غرب به این دلیل است که در این فصل، هنوز بادهای غربی (که رطوبت را به منطقه وارد می‌کنند) از منطقه خارج نشده و از سوی دیگر به دلیل تابش عمودی آفتاب به دامنه‌های آفتابگیر، هوای لایه‌ی مرزی سطح زمین بسیار گرم‌تر از هوای مجاور شده و همرفت دامنه‌ای منجر به ناپایداری شدید هوا و تشکیل ابرهای جوششی می‌شود. از طرفی دیگر سرما و پایداری فصل زمستان هم وجود ندارد. این فرایند منجر به افزایش مقدار ابرناکی در این منطقه می‌گردد. بیشینه‌ی درصد ابرناکی در فصل تابستان نیز در سواحل جنوبی دریای خزر (حداکثر ۵۵ درصد) و کمینه‌ی آن در نواحی مرکزی و شرقی ایران تا نزدیک به صفر (تقریباً فاقد ابرناکی) برآورد گردید. در فصل پاییز بیشینه‌ی مقدار ابرناکی

در ناحیه‌ی کوهستانی زاگرس و ارتفاعات خراسان مقدار ابرناکی ۳۵ درصد و بر فراز برخی از قله مرتفع تا ۴۰ درصد نیز برآورد شده‌است. بر اساس این شکل کمترین مقدار ابرناکی در گستره‌ی وسیعی از ایران مرکزی کمتر از ۲۰ درصد و در بخش‌هایی از جنوب شرق و شرق ایران کمتر از ۱۵ درصد است. با این تفاسیر، اساساً کمربند شمالی ایران در حوالی مدار 36° درجه نسبت به نقاط جنوبی دو برابر ابرناکتر می‌باشد. در سراسر بخش‌های واقع در بین مدارهای 25° تا 36° عرض شمالی، مقدار ابرناکی ایران حدود ۲۵ درصد در نوسان است. نواحی واقع در بین مدارهای 36° تا $38/5^{\circ}$ درجه‌ی قوسی ابرناک‌ترین ناحیه‌ی ایران محسوب شده، به طوری که در این ناحیه میانگین ابرناکی بین ۳۰ تا ۶۰ درصد متغیر است (شکل ۲). بنابراین می‌توان مدار 36° درجه را منطقه‌ی گذر ابرناکی در ایران معرفی نمود که مناطق ابرناک شمالی را از مناطق کم‌ابر جنوبی جدا می‌کند (شکل ۳B و ۴B). این نتایج انطباق بسیار خوبی با یافته‌های Masoodian and Kaviani (2008) در ناحیه‌بندی مقدار ابرناکی جو ایران با استفاده از داده‌های ابر ایستگاه‌های هواشناسی دارد. نمودارهای هاف مولر نیز تغییرات مقدار ابرناکی را در راستای طول و عرض جغرافیایی در شکل ۴ نشان می‌دهند. نمودارهای هاف مولر نمودارهایی هستند که برای نشان دادن تغییرات یک فراسنج جوی در ابعاد طول جغرافیایی و زمان یا عرض جغرافیایی و زمان به کار می‌روند. این نمودارها در واقع نیمرخ‌های عمودی فراسنج‌های جوی محسوب می‌شوند که برای ارزیابی یا تشخیص رفتار یک فراسنج جوی در امتداد طول و عرض جغرافیایی (معمولاً در مقیاس نیمکره‌ای) در طول زمان به کار می‌روند (Raispour and Khosravi, 2019). بر اساس این نمودارها، مقدار ابرناکی در راستای عرض جغرافیایی (۴B)، هماهنگ با تغییرات عوامل صعود هوا از جنوب به شمال افزایش و در راستای طول جغرافیایی (۴A) از غرب به شرق کاهش می‌یابد. به عبارتی دیگر بخش‌های شمالی و غربی کشور از مقدار ابرناکی بیشتری نسبت به بخش‌های جنوبی و شرقی برخوردار می‌باشند. بنابراین بر اساس آرایش مکانی مقدار ابرناکی در جو ایران، رطوبت لازم برای بارندگی در شمال و غرب ایران مهیاتر از جنوب و شرق آن است. واکاوی بلندمدت میانگین ماهانه‌ی مقدار ابرناکی در هسیتوگرام A شکل ۳ نشان می‌دهد که میانگین پوشش ابر در گستره‌ی جغرافیایی جو ایران حدود ۲۵ درصد است. با توجه به میانگین جهانی ابرناکی که حدود ۵۰ درصد است، ایران کشوری کم‌ابر به شمار می‌آید. براساس این هسیتوگرام، بیشترین مقدار ابرناکی برآورد شده در پیکسل‌های مورد مطالعه حدود ۸۵ درصد و کمترین مقدار آن به ۱ درصد هم نمی‌رسد. مقدار انحراف معیار درصد ابرناکی نیز ۱۷ درصد برآورد گردید که بیانگر نوسان بالای مقدار ابرناکی در جو ایران می‌باشد. از سویی دیگر بیشترین فراوانی ابرناکی مربوط به پیکسل‌هایی می‌باشد که مقدار ابرناکی در آنها کمتر از ۱۰

تغییر شرایط جوی منطقه در این فصل نسبت به سایر فصول است که بیشینه مقدار ابرناکی از سواحل جنوبی دریای خزر دور می‌شود. در این فصل کمینه مقدار ابرناکی در جنوب شرقی کشور حداکثر با مقدار ۲۰ درصد مشاهده گردید (شکل ۸).

همچنان بر فراز سواحل جنوبی دریای خزر (حدود ۵۵ درصد) و کمینه آن در جنوب شرق ایران (کمتر از ۱۵ درصد) مشهود است. در فصل زمستان بیشترین مقدار ابرناکی بر روی ارتفاعات البرز و سواحل جنوب غربی دریای خزر، ارتفاعات تالش و ارتفاعات شمال شرق کشور قرار می‌گیرد. این آرایش در سایر فصول دیده نشده که نشان دهنده‌ی

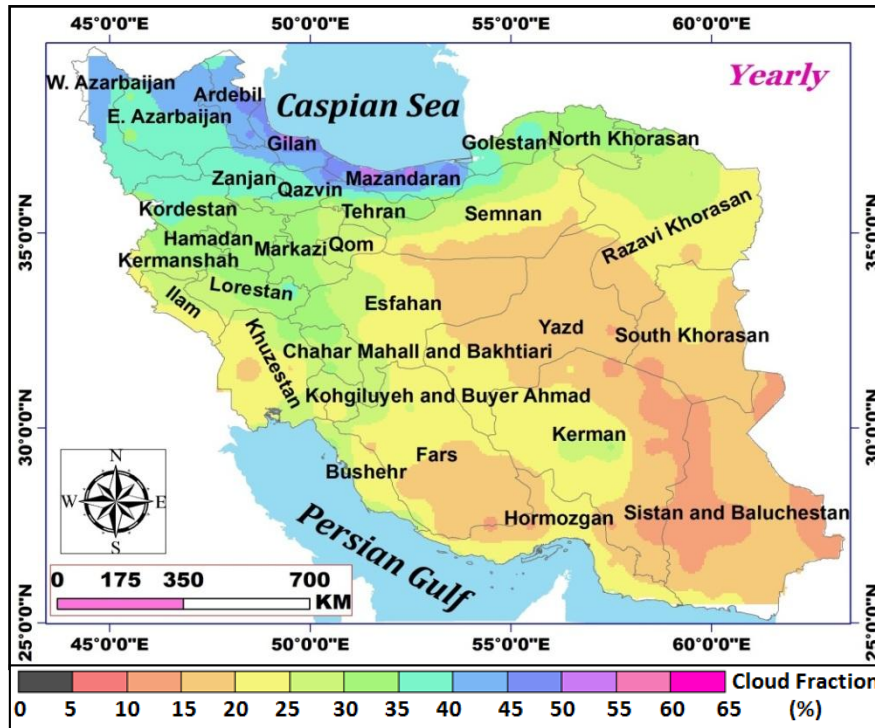


Fig. 2- Spatial distribution of long-term average of cloud fraction in the atmosphere of Iran (2001-2019)
 شکل ۲- توزیع فضایی میانگین بلندمدت درصد ابرناکی در جو ایران (۲۰۱۹-۲۰۰۱)

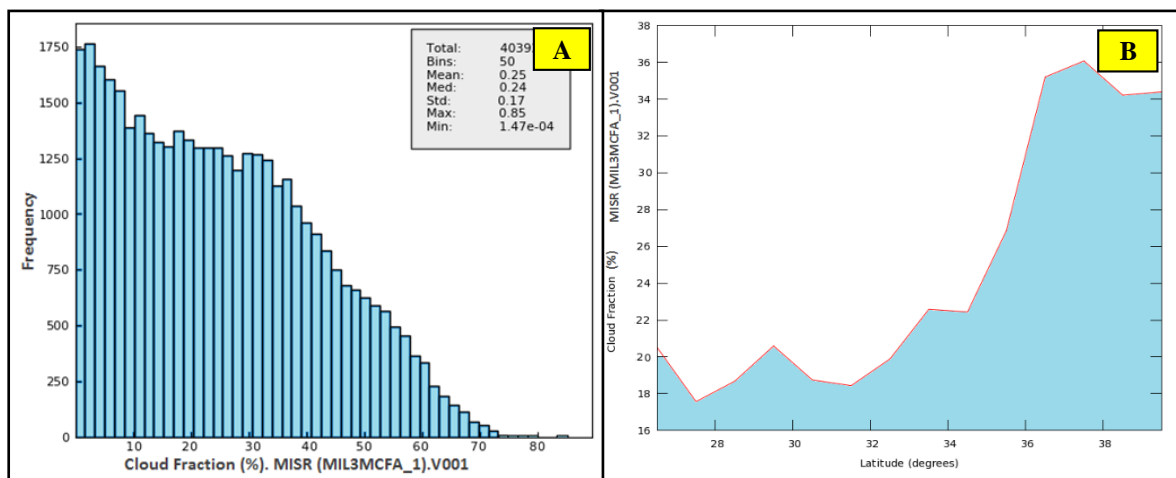


Fig. 3- Statistical description of cloud fraction (a) and Zonal average cloud fraction (b) in the atmosphere of Iran (2001-2019)

شکل ۳- توصیف آماری درصد ابرناکی (الف) و میانگین مداری درصد ابرناکی (ب) در جو ایران (۲۰۱۹-۲۰۰۱)

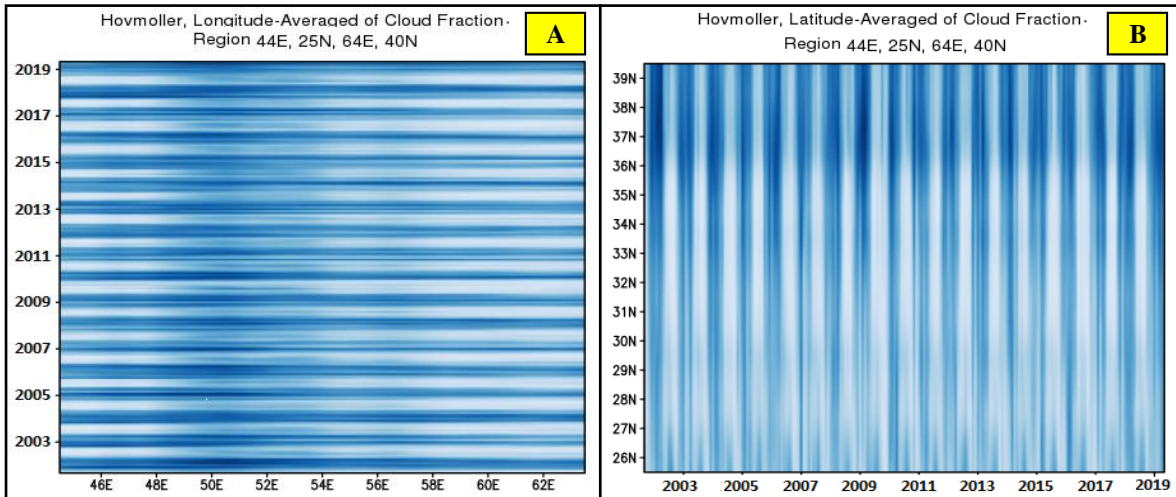


Fig. 4- Hov-Müller diagram of cloud fraction distribution based on longitude (A) and latitude (B)
 شکل ۴- نمودار هافمولر توزیع ابرناکی بر مبنای طول جغرافیایی (A) و عرض جغرافیایی (B)

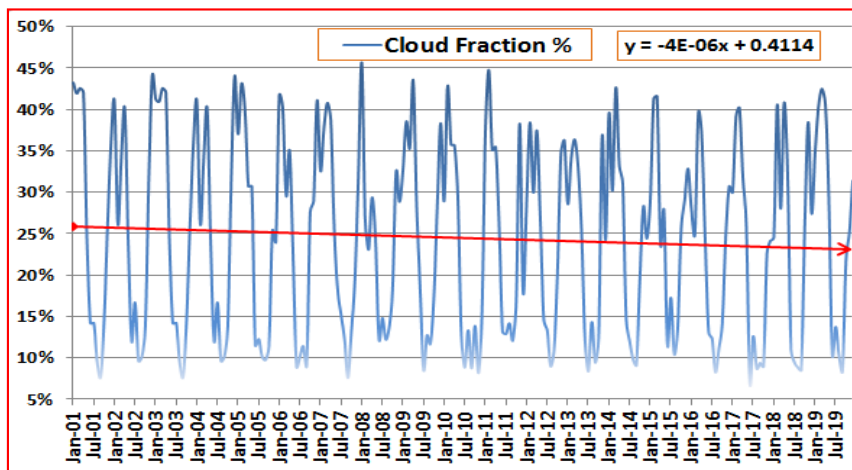


Fig. 5- Monthly time series of cloud fraction in the atmosphere of Iran (2001-2019)
 شکل ۵- سری زمانی ماهانه‌ی درصد ابرناکی در جو ایران (۲۰۰۱-۲۰۱۹)

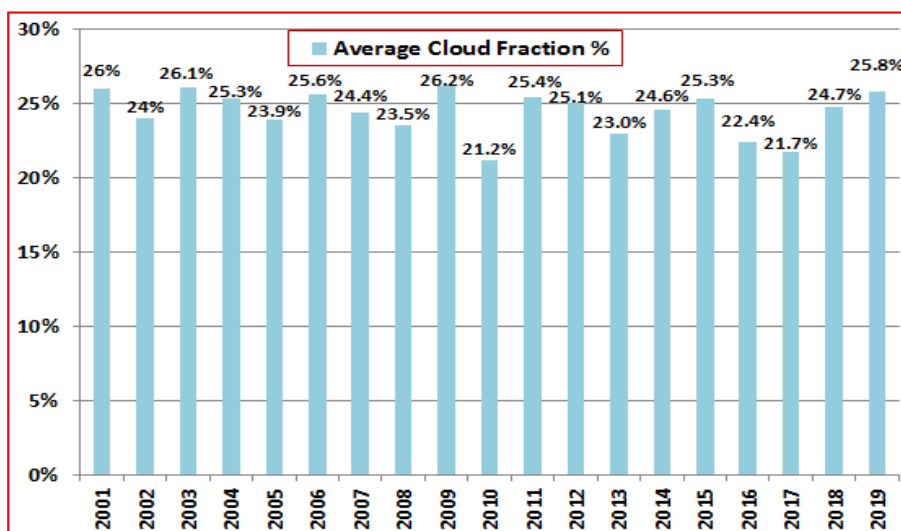


Fig. 6- Annual average of cloud fraction in the atmosphere of Iran (2001-2019)
 شکل ۶- میانگین سالانه‌ی درصد ابرناکی در جو ایران (۲۰۰۱-۲۰۱۹)

این بدان معناست که فرایند تشکیل ابر در جو ایران عمدتاً منشأ دینامیکی دارد. در دوره‌ی سرد سال که سامانه‌های کم‌فشار دینامیکی، جبهه‌ها و بادهای غربی جو کشور ایران را در برمی‌گیرند، مقدار ابرناکی از دوره‌ی گرم سال که سامانه‌های پرفشار دینامیکی بر آن غلبه دارند، بیشتر است. از سویی دیگر ابرناکی با رطوبت نسبی در ارتباط مستقیم می‌باشد؛ زیرا در دوره‌ی سرد سال مقدار رطوبت نسبی به حداکثر مقدار ممکن خود می‌رسد. به همین دلیل بیشترین مقدار ابرناکی در جو ایران مربوط به فصل زمستان و کمترین مقدار آن مربوط به فصل تابستان است.

۳-۳- توزیع ماهانه

بررسی میانگین ماهانه‌ی مقدار ابرناکی در جو ایران نشان می‌دهد که در مجموع، بیشترین (۳۷ درصد) و کمترین (۱۱ درصد) مقدار ابرناکی به ترتیب در ماه‌های فوریه و سپتامبر (معادل بهمن و شهریور) رخ می‌دهد. پس از ماه فوریه مقدار ابرناکی در ماه‌های مارس و آوریل به مقدار ۳۶ درصد برآورد گردید. به طور کلی مقدار ابرناکی در جو ایران از ماه می (اردیبهشت) تا سپتامبر (شهریور) کاهش می‌یابد. از ماه اکتبر (مهر) به بعد با شروع دوره‌ی سرد سال، درصد ابرناکی افزایش یافته و در ماه فوریه یا بهمن با میانگین ۳۷ درصد به اوج خود می‌رسد (شکل ۹). تحلیل توزیع مکانی میانگین ماهانه‌ی مقدار ابرناکی نشان می‌دهد که بیشینه‌ی مقدار ابرناکی (تا ۶۵ درصد) در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل (دی، بهمن، اسفند و فروردین) بر روی ارتفاعات کوهستانی البرز، تالش، هزار مسجد و قتل مرتفع شمال غرب رخ می‌دهد. در همین ایام کمینه‌ی مقدار ابرناکی در نواحی جنوب و جنوب شرق کمتر از ۲۵ درصد است. در این ماه‌ها به دلایل متعددی از

قبیل ورود و گسترش سامانه‌های غربی، کاهش قابل‌ملاحظه‌ی دما، فراوانی عوامل صعود و سازوکارهای منجر به ناپایداری هوا، درصد ابرناکی در تمامی گستره‌ی جو ایران افزایش یافته به طوری که می‌توان گفت ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل ابرناک‌ترین ماه‌ها در میان ماه‌های سال می‌باشد (شکل ۱۰). با شروع دوره‌ی گرم سال از ماه می (اردیبهشت) و افزایش مقدار دما در ماه‌های پیش‌رو از قبیل ژوئن، ژولای، اوت و سپتامبر (خرداد تا شهریور) مقدار ابرناکی بخصوص در نواحی مرکزی، شرقی و جنوبی ایران به دلایلی از قبیل افزایش دما (کاهش رطوبت نسبی)، خروج کامل بادهای غربی و استقرار تدریجی پرفشار جنب‌حاره‌ای کاهش شدیدی نسبت به ماه‌های مربوط به دوره‌ی سرد پیدا نموده است. به طوری که در بخشی از نواحی مرکزی و شرقی ایران درصد ابرناکی تا سرحد صفر (فاقد ابرناکی) کاهش می‌یابد. با آغاز دوره‌ی سرد سال در ماه اکتبر (مهر) مقدار ابرناکی در سرتاسر ایران افزایش می‌یابد. مقدار آن در ناحیه‌ی بیشینه‌ی کشور (جنوب غرب دریای خزر از انزلی تا آستارا) به ۶۰ درصد می‌رسد (شکل ۱۱). در این بخش از ایران، تأثیر همرفت وزشی ناشی از وزش بادهای سرد سیبری از روی دریای خزر، عامل اصلی افزایش مقدار ابرناکی می‌باشد. پس از ماه اکتبر (نوامبر و دسامبر) نیز اثر کوهستان‌ها در توزیع مقدار ابرناکی به ویژه در ناحیه‌ی شمال غرب مشهود است. در دیگر نواحی نیز به همین روال افزایش می‌یابد. در این زمان متوسط درصد ابرناکی در نواحی خشک ایران از جمله دشت لوت و دشت کویر به حدود ۲۵ درصد می‌رسد. در ارتفاعات زاگرس با گسترش بادهای غربی به طرف جنوب، مقدار ابرناکی نیز افزایش یافته است. به طوری که در بخش‌هایی از زاگرس (نواحی کردستان، کرمانشاه، چهارمحال و بختیاری و همدان) مقدار ابرناکی تا حدود ۵۰ درصد افزایش یافته است.

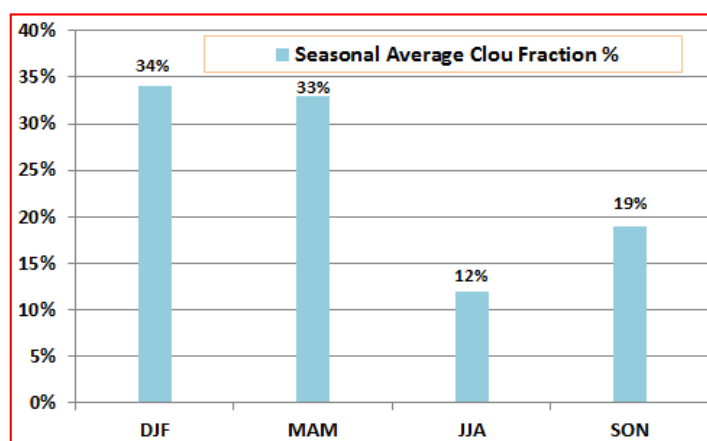


Fig. 7- Seasonal average of cloud fraction in the atmosphere of Iran (2001-2019)

شکل ۷- میانگین فصلی درصد ابرناکی در جو ایران (۲۰۰۱-۲۰۱۹)

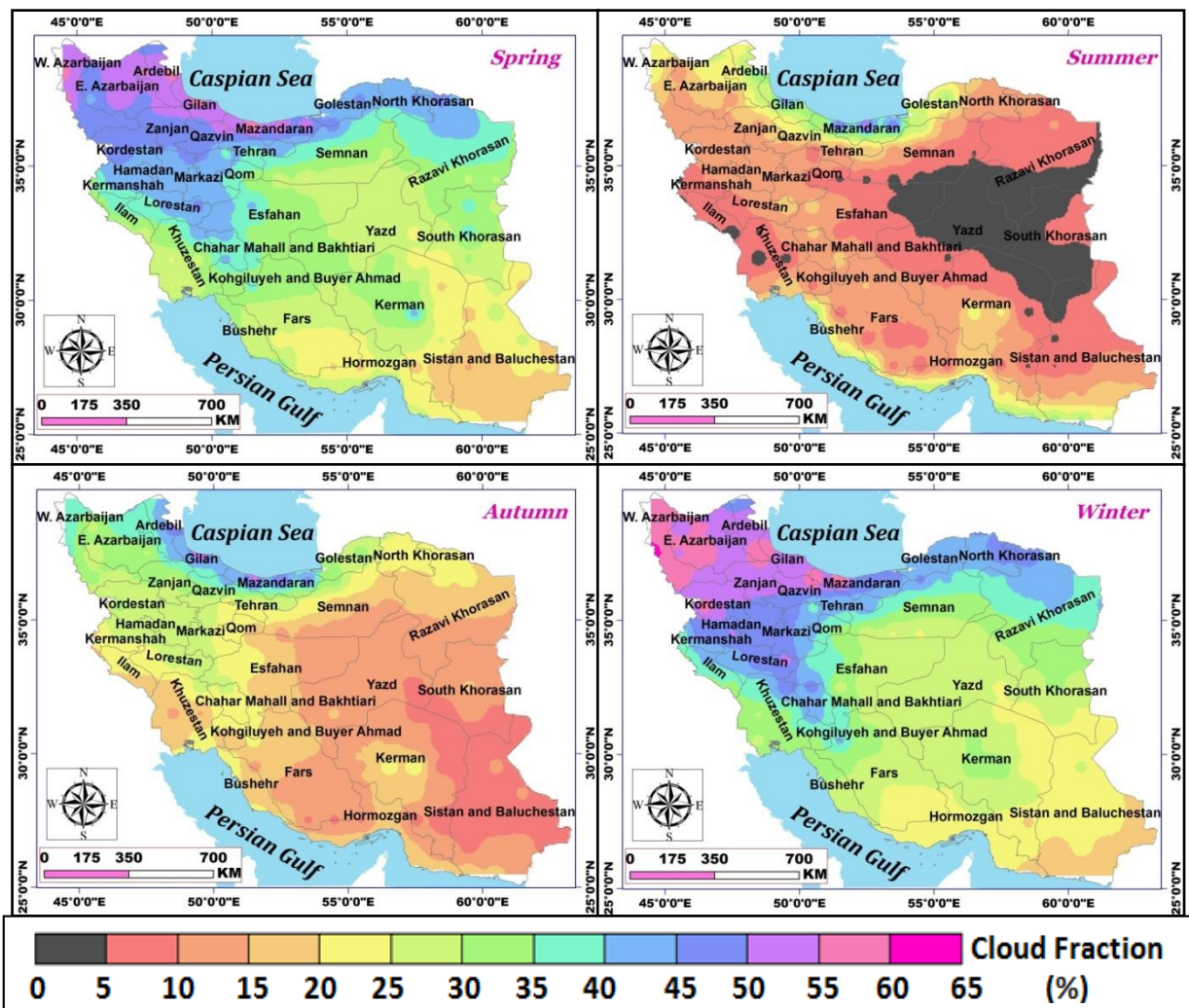


Fig. 8- Spatial distribution of the seasonal average of cloud fraction in the atmosphere of Iran (2001- 2019)
 شکل ۸- توزیع مکانی میانگین فصلی درصد ابرناکی در جو ایران (۲۰۰۱-۲۰۱۹)

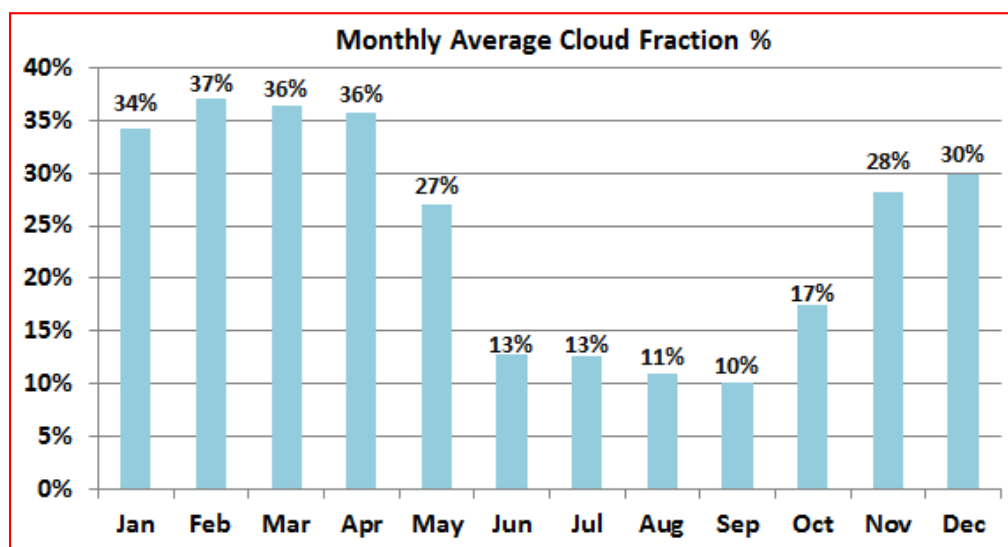


Fig. 9- Monthly average of cloud fraction in the atmosphere of Iran (2001-2019)
 شکل ۹- میانگین ماهانه درصد ابرناکی در جو ایران طی دوره‌ی آماری (۲۰۰۱-۲۰۱۹)

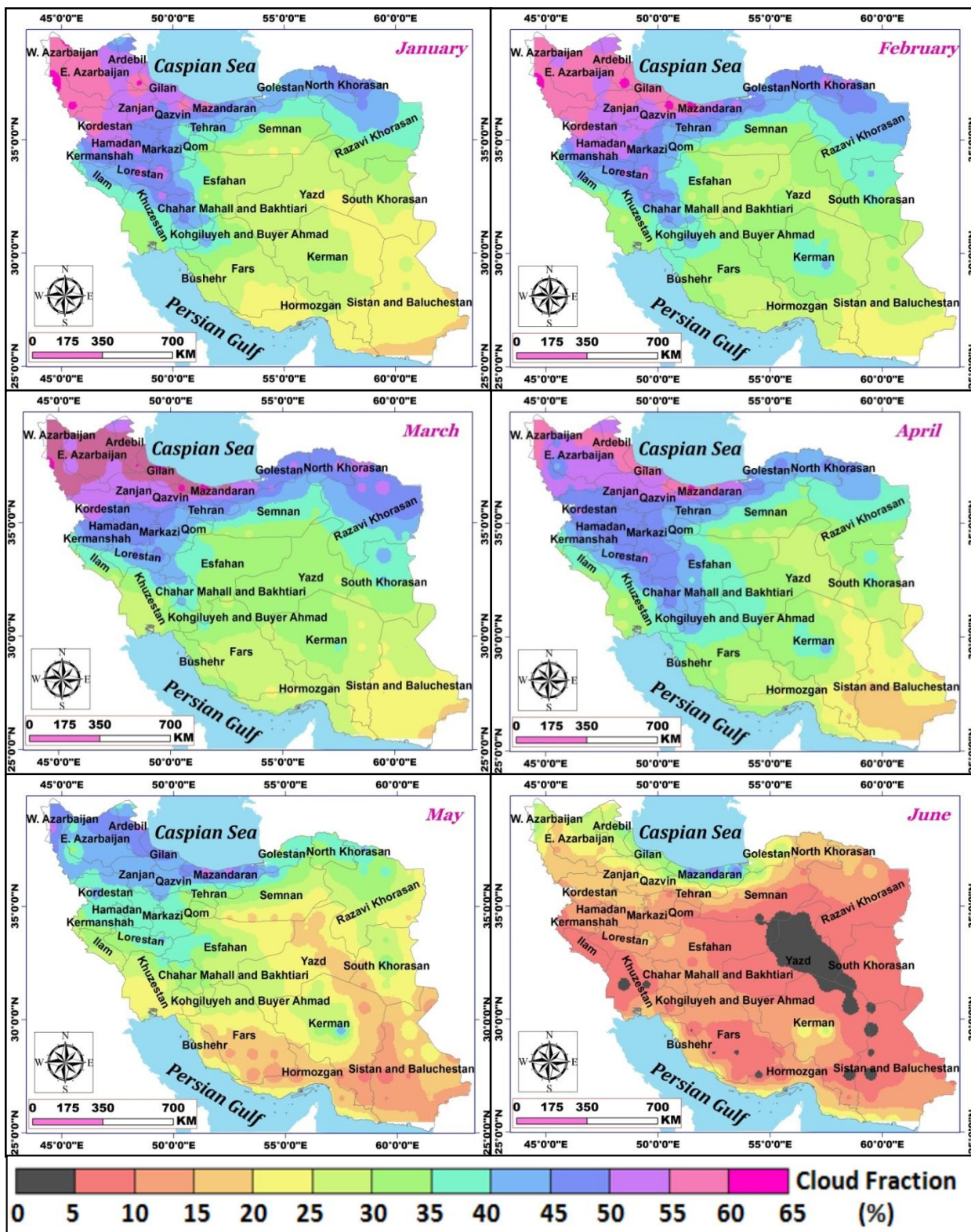


Fig. 10- Spatial distribution of the monthly average of cloud fraction in the atmosphere of Iran (2001-2019)
 شکل ۱۰- توزیع مکانی میانگین ماهانه‌ی درصد ابرناکی در جو ایران (۲۰۱۹-۲۰۰۱)

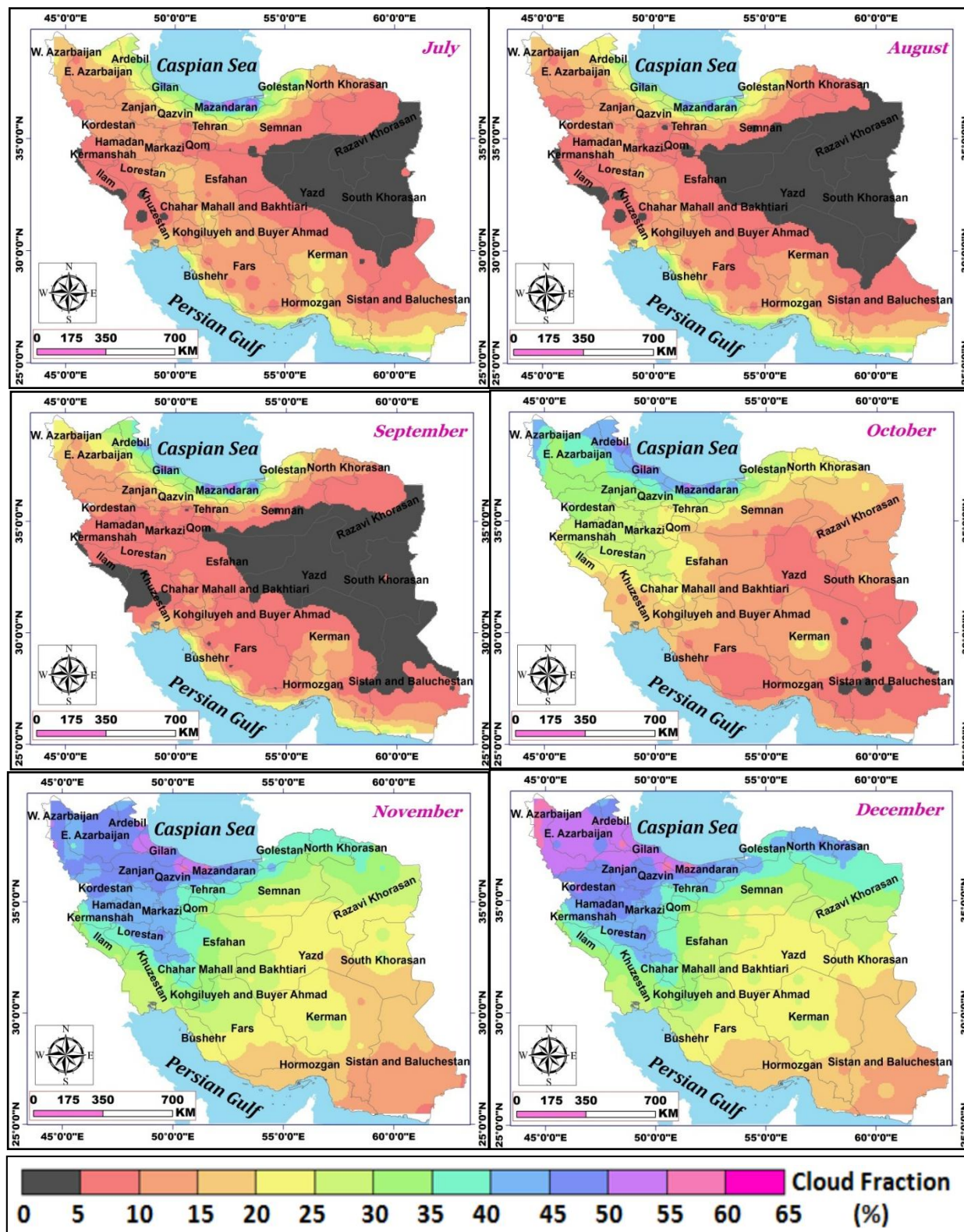


Fig. 11- Spatial distribution of the monthly average of cloud fraction in the atmosphere of Iran (2001-2019)

شکل ۱۱- توزیع مکانی میانگین ماهانه درصد ابرناکی در جو ایران (۲۰۰۱-۲۰۱۹)

۴- نتیجه‌گیری

همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که هرچند دقت داده‌های ابر سنجنده‌ی MISR برای برآورد مقدار ابرناکی در بازه‌های زمانی مورد مطالعه یکسان نبوده و ممکن است برآورد بیش از مقدار واقعی در برخی از مناطق کشور، از محدودیت‌های بکارگیری این داده‌ها تلقی شود؛ اما داده‌های این سنجنده می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در برآورد مقدار بارش و افزایش کارایی مدل‌های اقلیمی در کشور داشته باشند. بنابراین پیشنهاد می‌شود علاقمندان به پژوهش در این زمینه، جهت بررسی دمای ابر، میزان بارش ابر، تراکم ابر، ارتفاع ابر و همچنین به عنوان شاخص مؤثر در مطالعه‌ی تغییرات پارامترهای آب و هوایی از آنها استفاده نمایند.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Teleconnection Patterns
- 2- Multi-Angle Imaging SpectroRadiometer
- 3- Cloud Fraction

۵- مراجع

- Amanda G, Michael F (2017) A MODIS-Derived value-added climatology of maritime cloud liquid water path that conserves solar reflectance. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 56(6):1767–1781
- An N, Wang K (2015) A comparison of MODIS-Derived cloud fraction with surface observations at five SURFRAD sites. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 54(5):1009-1020
- Bender F, Ramanathan V, Tselioudis T (2011) Changes in extratropical storm track cloudiness 1983-2008: Observational support for a poleward shift. *Journal of Climatology Dynamic* 38(9-10):2037–2053
- Bodas-Salcedo A, Williams K, Ringer M, Beau I, Cole J, Dufresne J-L, Koshiro T, Stevens B, Wang Z, Yokohata T (2014) Origins of the solar radiation biases over the southern ocean in CFMIP2 models. *Journal of Climate* 27(1):41–56
- Bony S, Colman R, Kattsov V, Allan R, Bretherton C, Dufresne J-L, Hall A, Hallegatte S, Holland M, Ingram W, Randall D, Soden B, Tselioudis G, Webb M (2006) How well do we understand and evaluate climate change feedback processes? *Journal of Climate* 19(15):3445–3482
- Boucher O, Randall D, Artaxo P, Bretherton C (2013) Clouds and aerosols in climate change, the physical science basis, contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press 107:571–658

ابرناکی از مهمترین پارامترهای جوی است که به دلیل نقش آن در واداشتهای تابشی در تعادل اقلیم کره‌ی زمین بسیار اثرگذار است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از این جهت از نقاط قوت مطالعات اقلیمی است که می‌توان کل منطقه‌ی مورد مطالعه را با استفاده از نقاط با فواصل یکسان پوشش داد. در این پژوهش سعی شده است مقدار ابرناکی جو ایران را با استفاده از فرآورده‌های ابر سنجنده‌ی MISR ماهواره‌ی TERRA در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه برآورد نمود. واسنجی داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از داده‌های مقادیر ابرناکی ایستگاهی نشان داد که داده‌های ماهواره‌ای از دقت بالایی برخوردار بوده و برای برآورد ابرناکی قابلیت بالایی را نشان می‌دهند. یافته‌ها نشان داد میانگین ابرناکی جو ایران در طی سال‌های آماری مورد مطالعه (۲۰۱۹-۲۰۰۱) حدود ۲۵ درصد است که در مقایسه با میانگین ابرناکی جهانی که حدود ۵۰ درصد است، ایران کشوری کم‌ابر به شمار می‌رود. گستره‌ی بیشینه‌ی ابرناکی در سواحل جنوبی و غربی دریای خزر و پس از آن بر فراز ارتفاعات آذربایجان برآورد گردید. در اولویت‌های بعدی نیز مقدار ابرناکی بر فراز قله مرتفع ناحیه‌ی کوهستانی زاگرس و ارتفاعات خراسان قابل توجه است. از سویی دیگر کمترین مقدار ابرناکی در گستره‌ی وسیعی از ایران مرکزی، شرق و جنوب‌شرق ایران برآورد گردید. به طور کلی کمربند شمالی ایران در نواحی واقع در بین مدارهای 36° تا $38/5^{\circ}$ درجه‌ی قوسی ابرناک‌ترین ناحیه‌ی ایران محسوب شده، به طوری که در این ناحیه میانگین ابرناکی بین ۳۰ تا ۶۰ درصد در نوسان است. از سویی دیگر روند تغییرات درصد ابرناکی بیانگر روند کاهشی آن در جو ایران است، به طوری که متوسط درصد ابرناکی از حدود ۲۵/۵ درصد در سال ۲۰۰۱ به حدود ۲۳ درصد در سال ۲۰۱۹ کاهش یافته‌است. بررسی سالانه‌ی مقدار ابرناکی نیز حاکی از افت‌وخیزهایی در مقادیر ابرناکی بوده است. همچنین آرایش مکانی مقدار ابرناکی فصلی حاکی از استقرار بیشینه‌ی ابرناکی در فصول پاییز، تابستان و بهار در سواحل غربی و جنوبی دریای خزر می‌باشد؛ اما در فصل زمستان گستره‌ی بیشینه‌ی مقدار ابرناکی بر فراز ارتفاعات کوهستانی البرز، شمال‌شرق، شمال‌غرب و سواحل جنوب‌غربی دریای خزر قرار می‌گیرد. در زمستان درصد ابرناکی هماهنگ با روند تغییرات عوامل صعود از شمال به جنوب و از غرب به شرق کاهش می‌یابد. در مقیاس زمانی ماهانه مشخص گردید که بیشترین/کمترین مقدار ابرناکی مربوط به ماه‌های فوریه/سپتامبر (بهمن و شهریور) است. تغییرات مقدار ابرناکی در جو ایران نشان‌دهنده‌ی تغییرات شرایط آب و هوایی در طول ماه‌های مختلف سال است. از مهم‌ترین دلایل این امر می‌توان به نقش عوامل مختلف محلی و بیرونی در شکل‌گیری وضعیت ابرناکی ایران اشاره نمود.

- by MISR and MODIS. *Journal of Atmospheric Chemistry Physic* 19(11):7547–7565
- Gordon N, Norris J, Weaver C, Klein S (2005) Cluster analysis of cloud regimes and characteristic dynamics of midlatitude synoptic systems in observations and a model. *Journal of Geophysics Research* 110(D15):476–488
- Gordon ND, Norris JR (2010) Cluster analysis of midlatitude oceanic cloud regimes: Mean properties and temperature sensitivity. *Journal of Atmospheric Chemistry Physic* 10(13):6435–6459
- Hatami Bahman Biglou K, Movahedi S (2018) Seasonal and monthly identification of cloudy in Iran using Terra satellite Modis cloud sensor product data. *Journal of Geography and Development* 6(50):213–230 (In Persian)
- Holger S, Steffen B, Steffen D, Marloes GP, De V, Christoph H, Christian B, Simon W, Thomas W (2020) MICRU background map and effective cloud fraction algorithms designed for UV/vis satellite instruments with large viewing angles. *Journal of Atmospheric Measurement Techniques* 10:1-58
- Hubanks P, Platnick S, King M, Ridgway B (2015) MODIS atmosphere L3 gridded product algorithm theoretical basis document for C6. *Journal of Applied Meteorology* 31(7):732-741
- Hwang YT, Frierson D (2013) Link between the double-intertropical convergence zone problem and cloud biases over the Southern ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110:4935–4940
- Hyer EJ, Reid JS, 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. *Journal of Measurement Techniques* 4(3): 379 – 408
- Jiang J H, Su H, Pawson S, Liu H, Read, W, Waters J, Santee M, Wu D, Schwartz M (2010) Five-year (2004–2009) Observations of upper tropospheric water vapor and cloud ice from MLS and comparisons with GEOS-5 analyses. *Journal of Geophysucai Research*. 115 (15103): 1 -15
- Jones PA (1992) Cloud-cover distributions and correlations. *Journal of Applied Meteorology* 31(7):732-741
- Kaviani M, Alijani B (2013) Fundamentals of climatology. Samat Publications, 16th Edition, 600p (In Persian)
- Kay J, Wall C, Yettella V, Medeiros B, Hannay C, Caldwell P, Bitz C (2016) Global climate impacts of fixing the southern ocean shortwave radiation bias in Bruegge C, Val S, Diner D, Jovanovic V, Gray E, Girolamo L, Zhao G (2014) Radiometric stability of the Multi-Angle Imaging Spectroradiometer (MISR) following 15 years on-orbit. *Journal of Processing Earth Observing Systems* 14:9218 – 9242
- Caldwell P, Zelinka M, Taylor K, Marvel K (2016) Quantifying the sources of intermodel spread in equilibrium climate sensitivity. *Journal of Climate* 29(2):513–524
- Ceppi P, Hartmann D (2015) Connections between clouds, radiation and midlatitude dynamics: A review. *Journal of Current Climate Change* 1(2):94–102
- Chopping M, Su L, Rango A, Martonchik JV, Peters DPC, Laliberte A (2008) Remote sensing of woody shrub cover in desert grasslands using MISR with a geometric-optical canopy reflectance model. *Journal of Remote Sensing of the Environment* 112(1):19-34
- Christoph B, Odran S, Johannes M, Johannes Qu, Susanne C (2019) Cloud base height retrieval from multi-angle satellite data. *Atmospheric Measurement Techniques* 12(3):1841-1860
- Corbett G, Loeb N (2015) On the relative stability of CERES reflected shortwave and MISR and MODIS visible radiance measurements during the terra satellite mission. *Journal of Climate Geophysics Research Atmosphere* 120(22):11608–11616
- Delgado A, Marshak A, Yang Y, Oreopoulos L (2020) Daytime variability of cloud fraction from DSCOVR/EPIC observations. *Journal of Geophysical Research Letters* 43(10):358–364
- Desmons M, Wang P, Stammes P, Tilstra LG, Fresco B (2019) A fast cloud retrieval algorithm using oxygen B-band measurements 10 from GOME-2. *Journal of Atmospheric Measurement Techniques* 12:2485–2498
- Di Girolamo L, Menzies A, Zhao G, Mueller K, Moroney C, Diner DJ (2010) MISR level 3 cloud fraction by altitude algorithm theoretical basis Jet Propulsion Laboratory Rep. Jet Propulsion Laboratory D-62358, 24pp
- Diner DJ, Beckert JC, Reilly T, Bruegge C, Conel J (2008) Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR) description and experiment overview. *IEEE T. Geoscience Remote Sensing* 36(4):1072–1087
- Evan T, Heidinger A, Vimont D (2007) Arguments against a physical long-term trend in global ISCCP cloud amounts. *Geophysics Research Letter* 34(4):1029-1041
- Geiss A, Marchand R (2019) Cloud responses to climate variability over the extratropical oceans as observed

- Marchand R, Ackerman T, Smyth M, Rossow W (2010) A review of cloud top height and optical depth histograms from MISR, ISCCP, and MODIS. *Journal of Geophysics Research* 115(D1):693–718
- Masoodian SA, Kaviani MR (2008) *Climatology of Iran*. First Edition, Isfahan University Press, 179p (In Persian)
- Mir Rahimi M (2007) Classification of cloud types using AVHRR sensor images. M.Sc. Thesis in Remote Sensing, University of Tabriz (In Persian)
- Mobasheri M, Rezaei Y (2007) Fog detection and St Short clouds using MSG-1 satellite imagery. *Journal of the Faculty of Engineering* 40(8):1107–1119 (In Persian)
- Norris J, Allen R, Evan A, Zelinka M, O'Dell C, Klein S (2016) Evidence for climate change in the satellite cloud record. *Nature* 536(7614):72–75
- Norris J, Evan A (2015) Empirical removal of artifacts from the ISCCP and PATMOS-x satellite cloud records. *Journal of Atmospheric Ocean Technology* 32(4):691–702
- Otkin JA and Greenwald TJ (2008) Comparison of WRF model-simulated and MODIS-derived cloud data. *Journal of Monthly Weather Review* 136(6):1957–1970
- Parajka J, Bloschl G (2008) Spatio-temporal combination of MODIS images-potential for snow cover mapping. *Water Resource Research* 44(3):3406–3417
- Peterson C A, Yue Q, Kahn B H, Fetzer E, Huang X (2020) Evaluation of AIRS cloud phase classification over the Arctic Ocean against combined cloud Sat-CALIPSO observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 59(8):1277–1294
- Platnick S, Meyer K, King M, Wind G, Amarasinghe N, Marchant B, Arnold G, Zhang Z, Hubanks P, Holz R, Yang P, Ridgway W, Riedi J (2017) The MODIS cloud optical and microphysical products: Collection 6 Updates and Examples from Terra and Aqua, IEEE T. *Journal of Geoscience Remote Sensing* 55(1):502–524
- Qasemi AR (2012) Modeling the temporal and spatial changes of cloud cover, with emphasis on rainy days in Iran. Ph.D. Thesis in Natural Geography, Climatology, University of Tabriz (In Persian)
- Raispour K, Khosravi M (2019) Analysis of long term behavior of Aerosol Optical Depth (AOD) in Sistan Plain using MERRA-2 model. 2nd International Conference on Dust in Southwest Asia, Zabol (In Persian)
- the Community Earth System Model (CESM). *Journal of Climate* 29(12):4617–4636
- Kay JE, Hillman BR, Klein SA, Zhang Y, Medeiros R, Pincus R, Gettelman A, Eaton B, Boyle J, Marchand R, Ackerman T (2012) Exposing global cloud biases in the Community Atmosphere Model (CAM) using satellite observations and their corresponding instrument simulators. *Journal of Climate* 25(15):5190–5207
- King MD, Platnick S, Menzel WP, Ackerman S A, Hubanks PA (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
- Kotarba A Z (2009) A comparison of MODIS derived cloud amount with visual surface observations. *Journal of Atmospheric Research* 92(4):522–530
- Li Y, Thompson D (2016) Observed signatures of the Barotropic and Baroclinic annular modes in cloud vertical structure and cloud radiative effects. *Journal of Climate* 29(13):4723–4740
- Li Y, Thompson D, Huang Y, Zhang M (2014a) Observed linkages between the northern annular mode/North-Atlantic Oscillation, cloud incidence, and cloud radiative forcing. *Journal of Geophysics Research Letter* 41(5):1681–1688
- Li Y, Thompson D, Stephens G, Bony S (2014b) A global survey of the instantaneous linkages between cloud vertical structure and large scale climate. *Journal of Geophysics Research Atmospheric* 119(7):3770–3792
- Li Z, Jun Li W, Paul M, Timothy J, Schmit A (2007) Comparison between current and future environmental satellite images on cloud classification using MODIS. *Journal of Remote Sensing of Environment* 108(3):311–326
- Limbacher JA, Kahn RA (2017) Updated MISR dark water research aerosol retrieval algorithm– Part 1: Coupled 1.1 Km Ocean surface chlorophyll a retrievals with empirical calibration corrections. *Journal of Atmospheric Measurement Technic* 10:1539–1555
- Lorente A, Boersma KF, Stammes P, Tilstra G, Richter A, Yu H, Kharbouche S, Muller JP (2017) The importance of surface reflectance anisotropy for cloud and NO₂ retrievals from GOME-2 and OMI. *Journal of Atmospheric Measurement Techniques* 11(7):4509–4529
- Marchand R (2013) Trends in ISCCP, MISR and MODIS cloud-top-height and optical-depth histograms. *Journal of Geophysics Research* 118(4):1941–1949

- Schneider N and Cornuelle B (2005) The forcing of the pacific decadal oscillation. *Journal of Climate* 18(21):4355–4373
- Trenberth K, Fasullo J (2010) Simulation of present-day and twenty-first-century energy budgets of the southern oceans. *Journal of Climate* 23(2):440–454
- Tselioudis G, Zhang Y, Rossow W (2000) Cloud and radiation variations associated with northern midlatitude low and high sea level pressure regimes. *Journal of Climate* 13(2):312–327
- Vignesh AU, Pangaluru P, Kishore SH, Smay T, Brighton N, Velicogna I (2020) Assessment of CMIP6 cloud fraction and comparison with satellite observations. *Journal of Earth and Space Science* 7(2):1-21
- Rasooli AA, Jahanbakhsh S, Ghasemi AR (2013) Investigation of temporal and spatial changes in cloud cover in Iran. *Journal of Geographical Research* 28(3):85-112 (In Persian)
- Rasooli AA, Jahanbakhsh S, Ghasemi AR (2014) Investigating the relationship between important parameters of cloud and daily rainfall in Iran. *Journal of Geographical Research* 20:23–42 (In Persian)
- Sadeghi Hosseini SA, Hojam S, Tofang Saz P (2005) the relationship between rainwater, clouds and observed rainfall in Tehran. *Journal of Earth and Space Physics* 31 (2): 13-21 (In Persian)
- Sahraian F, Rahimzadeh F, Pedram M (2004) The trend of the average annual cloud cover and the decrease of the average annual maximum temperature in a number of stations in the Iran. *Newar* 45:7–19 (In Persian)