

fluctuations in spring, Analysis of decadal cloud cover distribution autumn and winter in Iran

Fatemeh Heydari¹ and Foroogh Golkar^{2*}

¹ MSc Student, Department of Water Engineering and Oceanic and Atmospheric Research Center,
Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

² Assistant Professor, Department of Water Engineering and Oceanic and Atmospheric Research Center,
Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 09 April 2025

Accepted: 25 June 2025

Extended abstract

Introduction

Clouds play a vital role in Earth's energy balance, and changes in their properties, frequency, and distribution can have either positive or negative feedback effects on global warming. Cloud formation and its impact on the Earth's climate remain key topics in environmental sciences. By influencing the global energy budget, clouds alter convection patterns and cloud distribution, significantly affecting the global water cycle. Total cloudiness refers to the extent of coverage by any type of cloud in the sky, and this concept is used to describe the proportion of the sky covered by clouds. Cloud cover refers to the fraction of the sky covered by any type of cloud, typically expressed in oktas, ranging from 0 to 9. The aim of this study is to conduct a spatial and temporal analysis of significant changes in TCC on a seasonal scale over six decades across Iran. This analysis is based on statistical and observational evaluations during the selected study period. Due to Iran's climatic characteristics, summer season—which is generally associated with atmospheric stability, low precipitation, and minimal cloud cover—was excluded from the scope of the study, this allows the research to focus on the seasons that experience the most atmospheric activity and variations in cloud cover.

Materials and methods

The monthly total cloud cover data used in this study were extracted from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ERA5 reanalysis dataset, with a spatial resolution of 0.25°. The study period spans 60 years (1961–2021). By averaging the monthly data (three months per season), a seasonal time series of total cloud cover was generated over a 60-year period. For each season the distribution of total cloud cover over the six decades of the study was compared across different grid points. The significance of differences in cloud cover for each decade compared to other decades at each grid point was determined using the Mann–Whitney U test, with randomness mitigated via Monte Carlo randomization technique with 10,000 iterations, at a 95% significance level. Statistically significant differences were expressed as percentages.

Results and discussion

Analysis of the 60-year climatological mean of TCC over Iran reveals a decreasing gradient in total cloud cover variability from the northwest to the southeast during spring, autumn, and winter. Comparison of the seasonal distribution of total cloud cover in Iran revealed that spring cloud cover variability has significantly increased in the southern and southwestern regions of the country, while a notable decrease has been observed in the northeast, east, and southeast. In autumn, significant changes are limited to small areas in the northern part of the country, while most regions show no notable variations. However, in winter a widespread significant declines in TCC, particularly across the Zagros Mountains and southwestern Iran. This decline was most pronounced during the sixth decade (2011–2021), affecting regions that historically experienced moderate to high cloud cover.

Conclusion

Analysis of significant changes in total cloud cover revealed that during spring, significant decreasing and increasing cycles are observable across different decades, with these variations being most pronounced in the arid and semi-arid regions of the east and southeast of the country. Therefore, in future research,

* Corresponding author: foroogh.golkar@gmail.com

investigating potential changes in the formation and arrival of precipitation systems affecting the region could be considered. In autumn, significant change in cloud cover were rarely observed, highlighting the need to investigate monthly cloud cover variations to detect potential fluctuations in autumn cloudiness. For winter, the widespread and significant reduction in cloud cover, particularly in the sixth decade compared to the previous five decades, is of great importance. Notably, when comparing the fifth and sixth decades, the entire country experienced a significant decrease in cloud cover. These findings is significant for understanding energy balance and potential changes in winter precipitation, and could be a focus of future research. The periodic cloud cover variations observed in this study could have implications for water resource management, rainfed agriculture, and evapotranspiration, necessitating further in-depth research.

Keywords: Iran, Mann-Whitney test, Monte Carlo method, Seasonal cloudiness, Total cloud cover

Cite this article: Heydari, F., Golkar, F., 2025. Analysis of decadal cloud cover distribution fluctuations in spring, autumn and winter in Iran. *Water. Eng. Manag.* 17(3), 390-405.

© 2025, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



تحلیل نوسانات توزیع دهه‌ای پوشش ابر در فصول بهار، پاییز و زمستان در گستره ایران

فاطمه حیدری^۱ و فروغ گل کار^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی آب و مرکز پژوهش‌های علوم جوی و اقیانوسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
^۲ استادیار، بخش مهندسی آب و مرکز پژوهش‌های علوم جوی و اقیانوسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰

چکیده مبسوط

مقدمه

ابرها نقش حیاتی در تعادل انرژی زمین ایفا می‌کنند و تغییر در ویژگی‌ها، فراوانی و توزیع آنها می‌تواند بازخوردهای مثبت یا منفی بر گرمایش جهانی داشته باشد. تشکیل ابر و تأثیر آن بر آب‌وهوای کره زمین پیوسته از مباحث مورد توجه در علوم زیست‌محیطی است که با تأثیر بر بیلان انرژی کره زمین و در نتیجه تغییر در الگوهای همرفت و تشکیل و توزیع ابر می‌تواند اثرات مهمی بر چرخه آب جهانی نیز داشته باشد. ابرناکی کل به‌میزان پوشش هر نوع ابر در آسمان اشاره دارد و این مفهوم برای توصیف مقدار آسمانی که توسط ابرها پوشیده شده است، استفاده می‌شود. پوشش ابر بر حسب اکتا یا هشتم آسمان بیان می‌شود و دامنه‌ای بین صفر تا نه دارد. هدف این پژوهش، مقایسه مکانی و زمانی تغییرات معنی‌دار پوشش ابر کل در مقیاس فصلی و طی شش دهه در گستره ایران است که این مهم بر پایه تحلیل آماری و مشاهده‌ای نتایج طی دوره آماری برگزیده انجام پذیرفته است. با توجه به ویژگی‌های اقلیمی ایران، فصل تابستان که عموماً با پایداری جو، کم‌بارشی و پوشش ابری بسیار اندک همراه است، از دامنه بررسی حذف شد تا تمرکز پژوهش بر فصولی قرار گیرد که بیشترین فعالیت جوی و تغییرات پوشش ابری را تجربه می‌کنند.

مواد و روش‌ها

داده‌های باز تحلیل ماهانه پوشش ابری کل استخراج شده از مرکز اروپایی ECMWF، نسخه ERA5 و با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه منبع داده مورد استفاده در این پژوهش است. بازه زمانی مورد مطالعه دوره ۶۰ ساله بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۱ است. با میانگین‌گیری از داده‌های ماهانه (سه ماه در هر فصل)، سری زمانی ابرناکی کل به‌صورت فصلی طی ۶۰ سال تهیه شد. برای هر فصل طی شش دهه مورد پژوهش توزیع ابرناکی کل با دیگر دهه‌ها برای هر شبکه مورد مقایسه قرار گرفت. تعیین معنی‌داری تفاوت ابرناکی هر دهه از دهه‌های مورد مقایسه برای هر شبکه با شبکه متناظر بر اساس آزمون من-ویتنی و با تکرار و حذف رخدادهای تصادفی به‌روش مونت‌کارلو با ۱۰۰۰۰ تکرار و در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد انجام گرفت و مقادیر تفاوت معنی‌دار به‌صورت درصد نمایش داده شد.

نتایج و بحث

بررسی میانگین اقلیمی ۶۰ ساله ابرناکی در گستره ایران نشان دهنده الگوی کاهشی شیب تغییرات ابرناکی کل از شمال غرب به جنوب شرق کشور در فصول بهار، پاییز و زمستان است. مقایسه توزیع فصلی ابرناکی کل در ایران نشان داد که

تغییرات ابرناکی بهاره به‌طور معنی‌داری در مناطق جنوب و جنوب غرب کشور افزایش یافته است، درحالی‌که در شمال شرق، شرق و جنوب شرق کاهش قابل توجهی مشاهده می‌شود. در پاییز، تغییرات معنی‌دار محدود به مناطقی کوچک از شمال کشور بوده و بیشتر مناطق تغییرات قابل ملاحظه‌ای نشان نمی‌دهند. اما در زمستان، کاهش ابرناکی به‌صورت گسترده‌ای در سراسر کشور، به‌ویژه در مناطق زاگرس و جنوب غرب، نمایان است. این کاهش در دهه ششم (۲۰۲۱-۲۰۱۱) نسبت به دهه‌های قبلی شدت بیشتری داشته و شامل مناطقی با ابرناکی متوسط تا زیاد است.

نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات معنی‌دار ابرناکی کل نشان داد که در فصل بهار چرخه‌های کاهشی و افزایشی معنی‌دار در مقایسه دهه‌های مختلف قابل مشاهده است که این تغییرات بیشتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک شرق و جنوب شرق کشور قابل مشاهده بود. لذا، در پژوهش‌های آتی، مطالعه تغییرات احتمالی در تشکیل و ورود سامانه‌های بارشی مؤثر بر منطقه می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. در فصل پاییز، تغییرات معنی‌دار ابرناکی به‌ندرت مشاهده شد که ضرورت بررسی تغییرات ماهانه ابرناکی برای تشخیص نوسانات احتمالی ابرناکی پاییزه را برجسته می‌کند. برای فصل زمستان، کاهش گسترده و معنی‌دار ابرناکی به‌ویژه در دهه ششم نسبت به پنج دهه پیشین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طوری‌که در مقایسه دهه پنجم و ششم کل گستره کشور با کاهش معنی‌دار ابرناکی مواجه بوده است. این مهم در بحث بیلان انرژی و همچنین بررسی تغییرات احتمالی در ریزش‌های جوی زمستانه می‌تواند مورد توجه پژوهش‌های آتی باشد. تغییرات دوره‌ای ابرناکی مشاهده شده در این پژوهش، پیامدهایی برای مدیریت منابع آب، کشت دیم و تبخیر و تعرق می‌تواند داشته باشد و نیازمند پژوهش‌های عمیق‌تر است.

واژه‌های کلیدی: ابرناکی فصلی، آزمون من-ویتنی، ایران، پوشش ابر کل، روش مونت کارلو

مقدمه

(Zhu and Poulsen, 2020; Hang, 2016). محل و زمان

تشکیل ابر، نوع ابر به‌لحاظ ضخامت نوری و ارتفاع کف ابر و ذرات تشکیل دهنده ابر از دیگر ویژگی‌هایی هستند که در پژوهش‌های مرتبط با اثر تغییر اقلیم در سطح کره زمین مورد توجه بوده و تغییرات معنی‌داری را نشان می‌دهند (Collow et al., 2016).

تغییر اقلیم جهانی اثرهای گوناگونی را در منطقه خاورمیانه به‌دنبال داشته است. کشور ایران نیز در گذر چند دهه اخیر با تغییرات آب‌وهوایی و چالش‌های محیط زیستی بسیاری روبه‌رو بوده است. در این راستا، پژوهش‌های ارزشمندی بر روندیابی مؤلفه‌های اقلیمی مانند دما، رطوبت، بارش، رطوبت خاک و غیره در پهنه‌های گوناگون کشور انجام شده است (Dostan and Hadi et al., 2022; Akbary and Sayad, 2021; Alijani, 2016).

این در حالی است که واکاوی چندانی در حوضه تغییرپذیری ابرناکی به‌عنوان مؤلفه اقلیمی تأثیرگذار بر توازن انرژی و تأثیرپذیر از تغییرات اقلیمی نشده و بخش بزرگی از پژوهش‌ها تنها بر تغییرپذیری ساعات آفتابی،

اهمیت ابر در بیلان انرژی کره زمین و دگرگونی در توازن انرژی، از چالش برانگیزترین مؤلفه‌های سیستم اقلیم است (IPCC 2001a, 2001b). به‌طوری‌که ابرها از طریق بازتاب انرژی به خارج از جو (در ابرهای بلند) و هم از طریق بازتاب انرژی به سطح زمین (در ابرهای پایین) در خصوص بیلان انرژی تحت عنوان بازخوردهای مثبت و منفی اقلیمی مورد بررسی قرار می‌گیرند. براینکه این بازخوردها به‌دلیل نقش دو جانبه ابر بسیار پیچیده بوده و در پژوهش‌های گوناگونی مورد ارزیابی قرار گرفته است (Koshiro et al., 2022; Zelinka et al., 2022; Gettelman et al., 2016).

وجود ابر در آسمان بر توازن انرژی از طریق تغییرات در آلبیدو، اثر گلخانه‌ای، گردش انرژی از طریق آزادسازی گرمای نهان و جریانات همرفت و در نتیجه گردش عمومی جو نیز تأثیرگذار است (Ceppi and Nowack, 2021). از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی خود بر تشکیل ابر و میزان ابرناکی در مناطق مختلف کره زمین اثر می‌گذارد که پژوهش‌های گسترده‌ای را به خود اختصاص داده است

مواد و روش‌ها

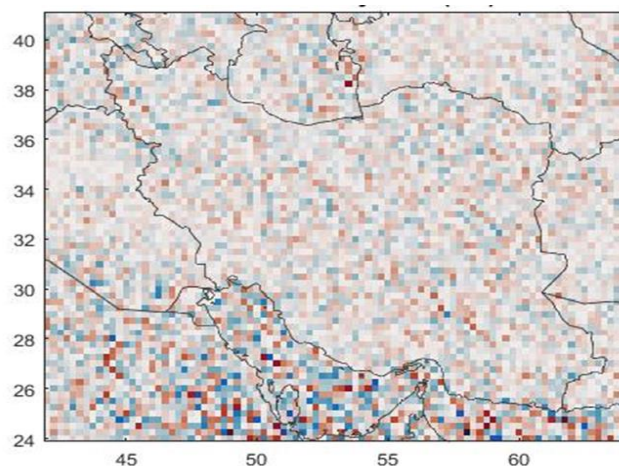
روش پژوهش: گستره کشور ایران محدوده مورد مطالعه در پژوهش حاضر است. داده‌های بلند مدت ابرناکی کل طی شش دهه متوالی از سری داده‌های باز تحلیل^۲ مرکز اروپایی ECMWF و نسخه ERA5 تهیه شد. سری داده‌های بازتحلیل با بهره‌گیری از داده‌های اندازه‌گیری زمینی، ماهواره‌ای و الگوریتم‌های شبیه‌سازی، شبکه منظم و با طول دوره آماری قابل توجهی را در اختیار کاربران قرار می‌دهد و از منابع داده قابل استناد برای پژوهش در زمینه‌های گوناگون مانند مطالعات اقلیمی و پیش‌بینی عددی وضع هوا هستند (Frnda et al., 2022). مقادیر ابرناکی کل برای گستره کشور نیز در پژوهش‌های گوناگونی همچون (Rashedi et al., 2024) بیشتر مورد استفاده بوده است و بهره‌گیری از این سری داده را برای این پژوهشگران قابل استنادتر کرده است. سری داده‌های TCC با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه (که با توجه به بزرگ مقیاس بودن این پژوهش از دقت مکانی مناسبی برخوردار است) و تفکیک زمانی ماهانه به صورت شبکه منظم دریافت شد که تعداد شبکه‌های واقع در پهنه کشور به بیش از ۴۰۰۰ می‌رسد (شکل ۱).

شمار روزهای ابری و یا توزیع مکانی ابر تأکید داشته است (Hatami Masoudian and Kaviani, 2007) (Ahmadi et Bahmanbeiglou and Movahedi, 2017) (Ghasemifar et al., 2018; al., 2018).

این پژوهش بر آن است با بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌بندی شده مدل‌های جهانی و بر پایه روش‌های تحلیل آماری، تغییرات در توزیع پوشش ابر کل^۱ در ایران را برای فصول بهار، پاییز و زمستان در گذر شش دهه متوالی از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۱ را ارزیابی کند.

فصل تابستان به دلیل اندک بودن روزهای همراه با ابرناکی و شرایط پایدار جوی در بیشتر مناطق کشور از روند محاسبات این پژوهش حذف شد. یادآور می‌شود که پوشش ابری کل، به وضعیت آسمان از لحاظ پوشیدگی هر نوع ابر در سطوح مختلف جو (بالا، پایین و متوسط) هنگام دیدن از یک مکان معین گفته می‌شود.

به‌بیانی دیگر، به سهمی از آسمان که از ابر پوشیده شده است برمی‌گردد. در هواشناسی، پوشش ابر بر حسب اکتا یا هشتم آسمان اندازه‌گیری می‌شود و دامنه‌ای بین صفر تا نه دارد. عدد صفر نشان از آسمان کاملاً صاف، یک، دو و سه کمی ابری، چهار و پنج پوشش ابر پراکنده، شش، هفت ابرهای منقطع و هشت تمام ابری هست. مقدار نه نیز برای شرایطی هست که آسمان به‌دلایلی مانند مه قابل دیده‌بانی نیست (WMO, 2008).



شکل ۱- موقعیت داده‌های شبکه‌بندی شده با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه در گستره کشور و مناطق اطراف

Fig. 1. Location of graded data with a spatial resolution of 0.25 degrees across the country and surrounding areas

سال-سه ماه داده در هر فصل) برای هر شبکه در هر فصل است. سپس میانگین سه ماهه در هر شبکه برای دست

بر پایه داده‌های ماهانه TCC، سری زمانی فصلی این پارامتر فراهم شد که در برگیرنده ۱۸۰ داده ماهانه (۶۰

^۲ Reanalysis

^۱ Total Cloud Cover (TCC)

و شبیه‌سازی رفتار سیستم‌های پیچیده تحت عدم قطعیت موجود در پیش‌بینی یک پیشامد احتمالی است. در این پژوهش، از روش بازنمونه‌گیری مونت کارلو به عنوان روشی غیرپارامتری برای برآورد دقیق‌تر مقدار p-value در آزمون من-ویتنی استفاده شده است.

هدف از به کارگیری این روش، کاهش وابستگی به فرضیات توزیعی و افزایش دقت در تشخیص معنی‌داری تفاوت بین دهه‌های مختلف داده‌های ابرناکی بوده است. روش‌های مونت کارلو در تمامی علوم برای شبیه‌سازی پدیده‌های پیچیده و تصادفی به کار می‌روند، اما شیوه اجرا و پیاده‌سازی آنها متناسب با نوع داده و هدف تحلیل متفاوت است. وجه مشترک تمام این روش‌ها، استفاده از اعداد تصادفی برای شبیه‌سازی رفتار یک پدیده طبیعی یا آزمون آماری است.

در این پژوهش، ابتدا آماره آزمون U برای داده‌های اصلی در آزمون من-ویتنی محاسبه شد. سپس با ترکیب تصادفی داده‌های دو گروه و تقسیم مجدد آنها به دو گروه جدید، این فرایند هزاران بار تکرار شد و در هر بار آماره U مجدداً محاسبه شد. در نهایت، توزیعی از آماره U به دست آمد و از روی آن، مقدار تقریبی p-value به صورت تجربی محاسبه شد که تخمین دقیق‌تری از معناداری آماری نسبت به روش‌های کلاسیک ارائه می‌دهد.

تعداد تکرارها در این فرایند برابر با ۱۰۰۰۰ تکرار تعیین شد. این عدد بر پایه توصیه‌های متون استاندارد آماری (Efron and Tibshirani, 1993) انتخاب شد که بیان می‌دارند برای دستیابی به تخمین‌های پایدار از مقادیر p-value، تعداد تکرارهای چند هزار تایی ضروری است. برای اطمینان از پایداری نتایج، همگرایی مقادیر p-value حاصل از تکرارهای متوالی بررسی شد. نتایج نشان دهنده همگرایی فرایند مونت کارلو و اعتبار تخمین‌ها در ۱۰۰۰۰ تکرار بود.

نتایج و بحث

تحلیل تغییرات مکانی پوشش ابر در فصول مختلف در گستره ایران: شکل (۲) میانگین اقلیمی ۶۰ ساله ابرناکی در گستره ایران را برای هر سه فصل مورد پژوهش نشان می‌دهد. این نقشه بر پایه میانگین‌گیری از سری

یابی به TCC فصلی محاسبه گردید. بر این اساس سری زمانی ۶۰ ساله برای تمامی شبکه‌ها در سه فصل تهیه شد. سال‌های برگزیده برای هر دهه مورد مطالعه به ترتیب شامل دهه اول ۷۱-۱۹۶۱، دهه دوم ۸۱-۱۹۷۱، دهه سوم ۹۱-۱۹۸۱، دهه چهارم ۲۰۰۱-۱۹۹۱، دهه پنجم ۲۰۱۱-۲۰۰۱ و دهه ششم ۲۰۲۱-۲۰۱۱ است.

برای بررسی تفاوت توزیع ابرناکی کل، هر شبکه با شبکه متناظر مقایسه شد. این مقایسه با بهره‌گیری از آزمون من-ویتنی و تکرار جایگزین مونت کارلو^۱ انجام گرفت که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. بدین ترتیب، معنی‌داری تفاوت توزیع پوشش ابر کل در هر دهه و برای هر شبکه مجزا، به تفکیک از دهه‌های برگزیده بعدی (برای نمونه تفاوت دهه اول به ترتیب از دهه‌های دوم تا ششم و یا تفاوت دهه دوم از دهه‌های سوم تا ششم) در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد و با ۱۰۰۰۰ تکرار بررسی شد و در نهایت نقشه‌های مربوطه ترسیم شد.

در این پژوهش آزمون من-ویتنی^۲ (Mann and Whitney, 1947) بر پایه بازنمونه‌گیری مونت کارلو برای مقایسه تغییرات ابرناکی در دو دهه جداگانه در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد به کار گرفته شد. آزمون من-ویتنی یک آزمون آماری ناپارامتری است که برای مقایسه دو گروه مستقل به کار می‌رود، به‌ویژه وقتی که فرض نرمال بودن داده‌ها برقرار نیست. حال اگر نیاز باشد این آزمون بر پایه بازنمونه‌گیری مونت کارلو انجام داد، از یک روش عددی برای شبیه‌سازی توزیع آماره آزمون استفاده می‌شود.

این کار به خصوص زمانی مفید است که حجم نمونه کم باشد، توزیع آماره آزمون دقیق مشخص نباشد و نیاز باشد دقت بیشتری در تخمین p-value لازم باشد. یادآور می‌شود در این آزمون تفاوت معنی‌دار میان رتبه یک متغیر در دو گروه مستقل ارزیابی می‌شود (رابطه ۱). که در این رابطه n_1 و n_2 تعداد مشاهدات در گروه اول و دوم و R_1 مجموع رتبه‌های گروه اول است.

$$U = R_1 - \frac{n_1(n_1+1)}{2} + n_1 n_2 \quad (1)$$

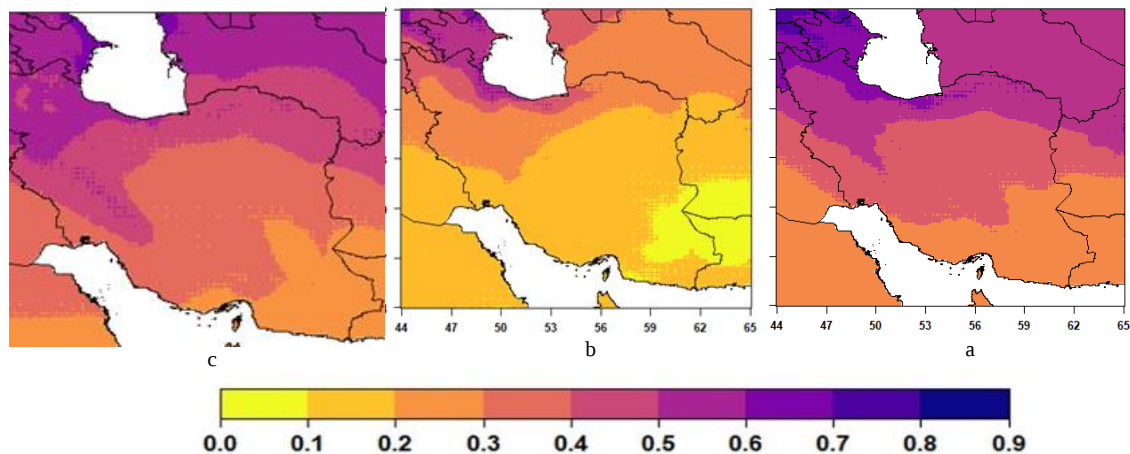
روش مونت کارلو، یک الگوریتم محاسباتی است که از نمونه‌گیری تصادفی برای محاسبه نتایج استفاده می‌کند. به‌بیانی دیگر، یک روش محاسباتی برای بررسی

^۲ Mann Whiteny test

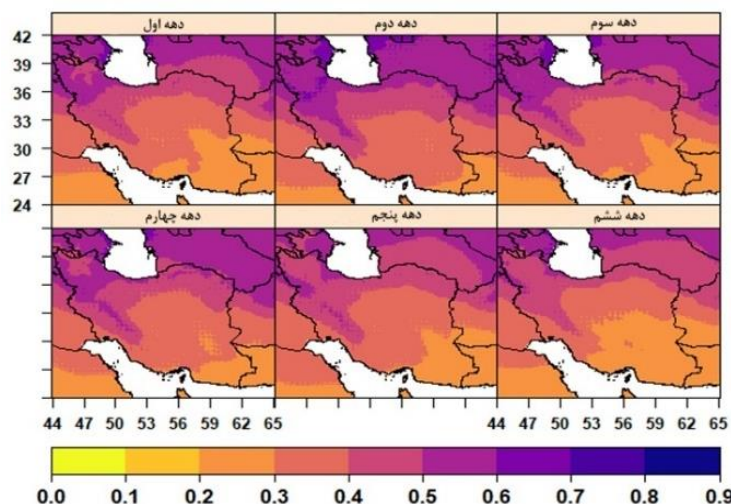
^۱ Monte Carlo resampling

نقشه میانگین دهه‌ای ابرناکی کل نیز با میانگین‌گیری از مقادیر TCC در هر شبکه برای هر یک از شش دهه مورد پژوهش ترسیم شد که در شکل ۳ برای فصل زمستان ارائه شده است. الگوی کلی تغییرات ابرناکی از شمال غرب به جنوب شرق مشابه شکل ۲ است (که برای فصل‌های بهار و پاییز نیز مشابه است). در این شکل، اگر برای نمونه منطقه یا شبکه خاصی در نظر گرفته شود، احتمالاً تغییرات ابرناکی طی دهه‌های گوناگون مشاهده می‌شود (همچنین برای هر دو فصل دیگر بهار و پاییز). سنجش معنی‌داری این تغییرات ابرناکی از دهه‌ای به دهه دیگر پرسش اصلی این پژوهش است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

زمانی ۶۰ ساله مقادیر فصلی TCC در هر شبکه ترسیم شده است (مقادیر TCC با توجه به توضیحات پیشین در دامنه اعداد صفر تا ۰/۹ گزارش شده است). شیب تغییرات TCC به‌طور کلی برای هر سه فصل بهار، پاییز و زمستان از سوی شمال غرب به سمت جنوب شرق کشور کاهش یافته است. بیشترین میانگین اقلیمی پوشش ابری کل در همه فصل‌ها، مربوط به نوار سبز شمالی و شمال غربی کشور و کمترین آن در نواحی جنوب شرقی و به‌ویژه استان سیستان و بلوچستان است که مشابه نتایج ارائه شده توسط Ahmadi et al., (2018) است.



شکل ۲- میانگین اقلیمی ۶۰ ساله TCC بر حسب اکتا برای (a) بهار (b) پاییز و (c) زمستان
Fig. 2. 60-year climatological average of TCC in Okta for a) spring b) autumn and c) winter



شکل ۳- میانگین دهه‌ای TCC بر حسب اکتا برای شش دهه مورد مطالعه
Fig. 3. Decadal average of TCC in Okta for the 6 decades studied

تغییرات مکانی-زمانی ابرناکی فصلی در گستره

ایران: تغییرات زمانی ابرناکی کل بر پایه مقایسه این پارامتر در هر دهه با دهه‌های پس از آن برای هر شبکه برآورد شد که در شکل‌های ۴ تا ۶ به ترتیب برای فصول بهار، پاییز و زمستان نمایش داده شده است. در این شکل‌ها برای نمونه ابرناکی دهه اول به ترتیب از دهه های بعدی در هر شبکه کسر شده است. در این شکل‌ها عناوین ۱-۲، ۳-۱، ۴-۱ و غیره به ترتیب کسر TCC دهه اول از دهه‌های بعدی (دهه دوم تا دهه ششم) است که در ردیف اول شکل‌های ۴ تا ۶ ارائه شده است. در ردیف‌های بعدی این شکل‌ها نیز به ترتیب کسر ابرناکی کل دهه‌های دوم، سوم، چهارم و پنجم از دهه های بعدی را نشان می‌دهد. یادآور می‌شود، برای این مقایسه از آزمون من-ویتنی بر پایه تکرار مونت کارلو و در سطح اطمینان ۹۵ درصد بهره برده شد.

در این شکل‌ها گستره‌های سفید رنگ نشان دهنده بخش‌هایی از ایران است که در گذر دو دهه مورد مقایسه تفاوت معنی‌داری در ابرناکی آن فصل در سطح اطمینان ۹۵ درصد دیده نشده است. رنگ‌های گرم نشان دهنده تفاوت معنی‌دار و بیشتر بودن ابرناکی یک دهه نسبت به دهه مورد مقایسه پیشین و رنگ‌های سرد نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در کاهش ابرناکی یک دهه نسبت به دهه مورد مقایسه پیشین است که در قالب درصد تغییرات معنی‌دار نشان داده شده است.

آنچه از شکل (۴-الف) و TCC بهاره قابل مشاهده است افزایش معنی‌دار ابرناکی در مناطقی از جنوب و جنوب غرب کشور و دهه‌های دوم تا ششم در مقایسه با سال‌های ۷۱-۱۹۶۱ (دهه اول) است. با در نظر گرفتن شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود که این تغییرات بیشتر در مناطق با ابرناکی متوسط تا کم (ابرناکی ۰/۲ تا ۰/۴) رخ داده است. این در حالی است که طی مقایسه دهه های ۲، ۳ و ۴ با دهه‌های بعدی در شمال شرق، شرق، جنوب شرق و کمی از نواحی جنوب کشور کاهش TCC قابل رویت است (شکل‌های ۴-ب، پ و ت).

این کاهش معنی‌دار ابرناکی در گستره‌هایی با کمینه میزان ابرناکی در کشور (با توجه به شکل‌های ۲ و ۳) مطابقت دارد. مجدداً در مقایسه دهه‌های ۵ و ۶

(۵-۶) افزایش معنی‌دار TCC در جنوب شرق و شرق کشور رخ داده است. به بیان دیگر، کاهش معنی‌دار TCC در دهه ۵ در مقایسه با دهه ۶ (سال‌های ۲۱-۲۰۱۱) در مناطق نامبرده نشان از افزایش ابرناکی بهاره در این مناطق در دهه اخیر دارد (شکل ۴-ث).

بررسی روند بارش، سامانه‌های بارشی غالب و فرایندهای همرفت در این مناطق و گستره اقیانوس هند با توجه به تغییرات دمایی سال‌های اخیر در توجیه چرایی این تغییرات می‌تواند نتایج جالبی را نشان دهد. مناطقی با ابرناکی بیشتر در فصل بهار که مربوط به شمال، شمال غرب و غرب کشور می‌شود با تغییرات معنی‌دار در TCC بهاره همراه نبوده‌اند و این مقایسه به لحاظ مطالعات بیلان انرژی، تبخیر-ترقرق و حتی بارش می‌تواند حائز اهمیت باشد.

همانگونه که اشاره شد، تغییرات توزیع ابرناکی کل در این فصل به‌طور کلی به‌صورت ترکیبی از افزایش و کاهش معنی‌دار در مناطق مختلف کشور ظاهر شده است. تغییرات معنی‌دار افزایشی در محدوده غرب و جنوب غرب و تغییرات معنی‌دار کاهشی برای شرق و شمال شرق مشاهده شد که مناطق با ابرناکی اندک را شامل می‌شود. نکته قابل تامل افزایش مجدد ابرناکی در دهه ششم (۲۰۲۱-۲۰۱۱) نسبت به دهه پنجم (۲۰۱۱-۲۰۰۱)، به‌ویژه در مناطق کم‌ابر مانند کرمان و سیستان و بلوچستان بود.

مطالعات متعدد پیشین (Nazemosadat et al., 2023؛ Pourasghar et al., 2014, 2019؛ Ghaedamini et al., 2024) گویای تأثیرپذیری ابرناکی گستره کشور و به‌ویژه پهنه‌های جنوبی از پیوند از دور و سیستم‌های همرفت شکل گرفته در این مناطق است. برای نمونه در مطالعات (Pourasghar et al., 2014, 2019) برای دو دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۴ و ۲۰۱۵-۱۹۶۱ نوسانات ابرناکی و تشکیل ابر و نهایتاً بارش به‌طور کلی در جنوب و جنوب شرق ایران به الف) تشدید انتقال رطوبت از اقیانوس هند تحت تأثیر فاز مثبت نوسان دوقطبی اقیانوس هند^۱ و ب) نقش نوسانات مادر-جولیان^۲ در تقویت فاز همرفتی در منطقه، زمانی که در فازهای فعال قرار دارد، ربط داده شده است. لذا در پژوهش‌های آتی،

^۲ Madden-Julian Oscillation (MJO)

^۱ Indian Ocean Dipole (IOD)

بررسی همبستگی زمانی بین شاخص‌های اقلیمی مذکور و تغییرات ابرناکی در مناطقی مانند جنوب و جنوب شرقی ایران پیشنهاد می‌شود.

بررسی تغییرات معنی‌دار ابرناکی کل برای فصل پاییز (شکل ۵-ب) نشان می‌دهد که به‌جز تفاوت دهه دوم از ششم (۶-۲) در سایر مقایسه‌ها تفاوت معنی‌داری در داخل کشور به‌لحاظ تغییرات ابرناکی مشاهده نمی‌شود (به‌جز گاهی در مناطق بسیار محدوده از شمال کشور که تنها در حد چند شبکه است).

در این مقایسه ابرناکی سال‌های ۸۱-۱۹۷۱ با دهه اخیر نشان از ابرناکی کمتر این دهه در مناطقی از جنوب و مرکز کشور در مقایسه با دهه اخیر دارد که می‌تواند در استان‌هایی مانند فارس و کرمان به‌لحاظ برنامه ریزی کشت دیم مورد توجه باشد. ولی آنچه شایان توجه است عدم تغییرات معنی‌دار ابرناکی در فصل پاییز در مقایسه‌های گوناگون در گستره کشور است.

در توضیح بیشتر این نتایج برای فصل پاییز می‌توان به تأخیر در بارش‌های پاییزه (Hejazizadeh et al., 2024) در مناطق مختلفی از کشور اشاره کرد که از دیدگاه کلی می‌تواند به کاهش ابرناکی کل و سهم ابرهای باران‌زا مرتبط باشد. اگر این تأخیر را بتوان با کاهش ابرناکی کل مرتبط دانست مقایسه فصلی ابرناکی ممکن است قادر به تشخیص آن نباشد و مقایسه نوسانات ابرناکی ماهانه این تغییرات را بهتر نشان دهد. در این راستا، پژوهش انجام شده در استان فارس با بهره‌گیری از سامانه‌های فشار دینامیکی و حرارتی در دو سطح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در دوره ۶۸ ساله (۲۰۱۵-۱۹۴۸) نشان از تأخیر بارش‌های پاییزه (و احتمالاً تأخیر در تشکیل ابرهای باران‌زا و در نتیجه تأثیر بر ابرناکی کل) به مدت میانگین ۳ هفته داشت (Karbakhsh, 2019). لذا، با بررسی و مقایسه سری زمانی ماهانه ابرناکی در این فصل ممکن است تغییرات معنی‌دار ابرناکی و احتمالاً تأخیر در رخداد بارش پاییزه قابل شناسایی باشد.

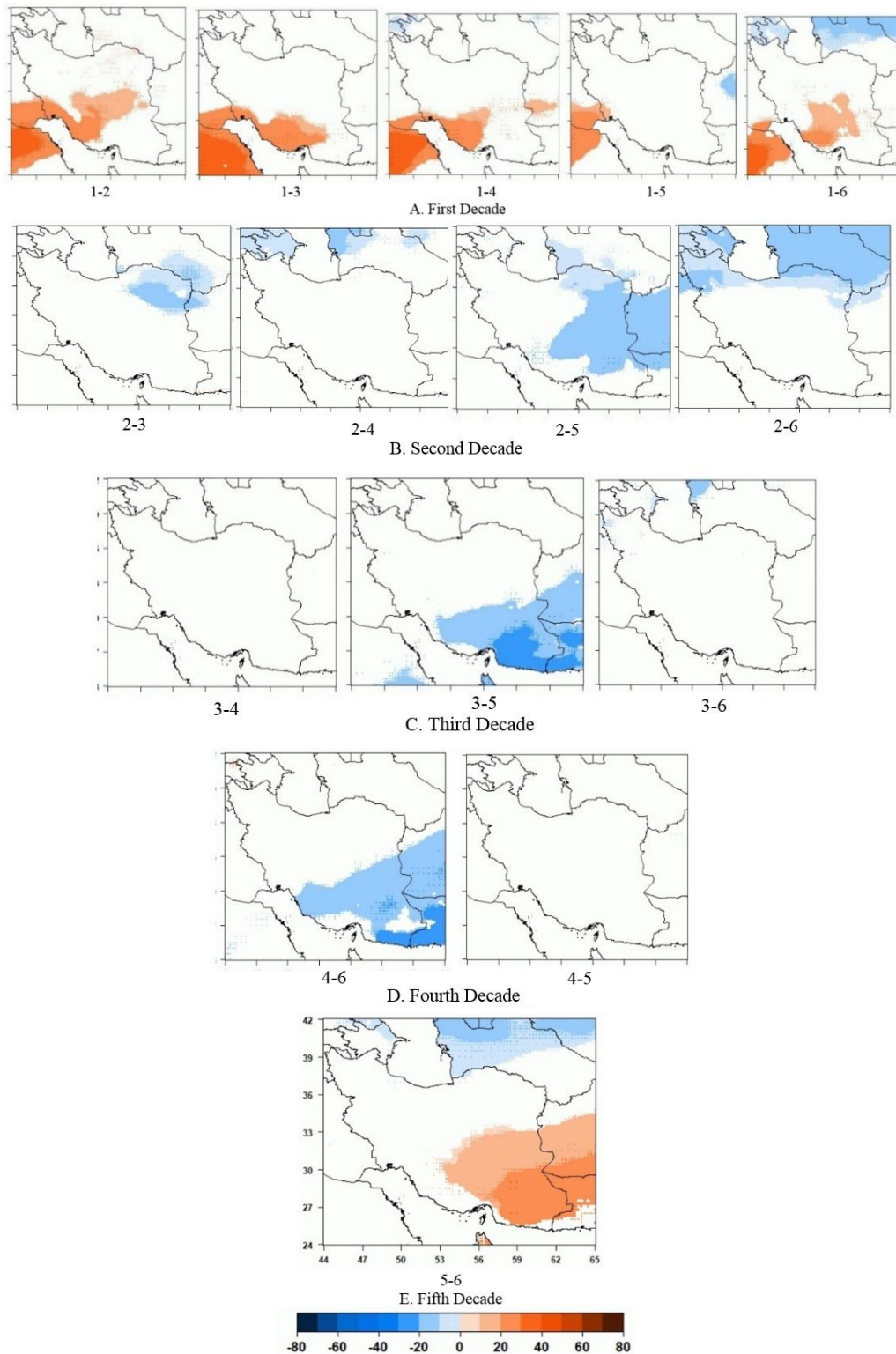
از بررسی شکل ۶ نمایان است که ابرناکی کل در فصل زمستان در گذر دهه‌ها بیشتر دستخوش تغییرات

کاهشی معنی‌دار بوده است (به‌جز مقایسه دهه دوم و اول (۱-۲) که در مناطقی از شمال شرق و چند شبکه در غرب کشور افزایش ابرناکی معنی‌دار را نشان می‌دهد (شکل ۶-الف)). کاهش ابرناکی کل در ابتدا در مقایسه دهه اول و ششم (۶-۱) قابل مشاهده است که گستره وسیعی از کشور را در بر گرفته است و شامل موج کاهشی معنی‌دار از شمال غرب به مرکز و نهایتاً شرق کشور است و حتی قسمت‌هایی از جنوب غرب کشور را نیز شامل می‌شود (شکل ۶-الف).

در مقایسه دهه دوم (۸۱-۱۹۷۱) با دهه‌های بعدی شدت کاهش ابرناکی و همچنین گستره آن کاهش یافته است ولی مجدداً در مقایسه دهه دوم و دهه ششم (۲-۶) کاهش ابرناکی کل کشور را در بر گرفته و در مناطقی در شمال شرق و جنوب شرق شدت کاهش ابرناکی قابل ملاحظه است (شکل ۶-ب).

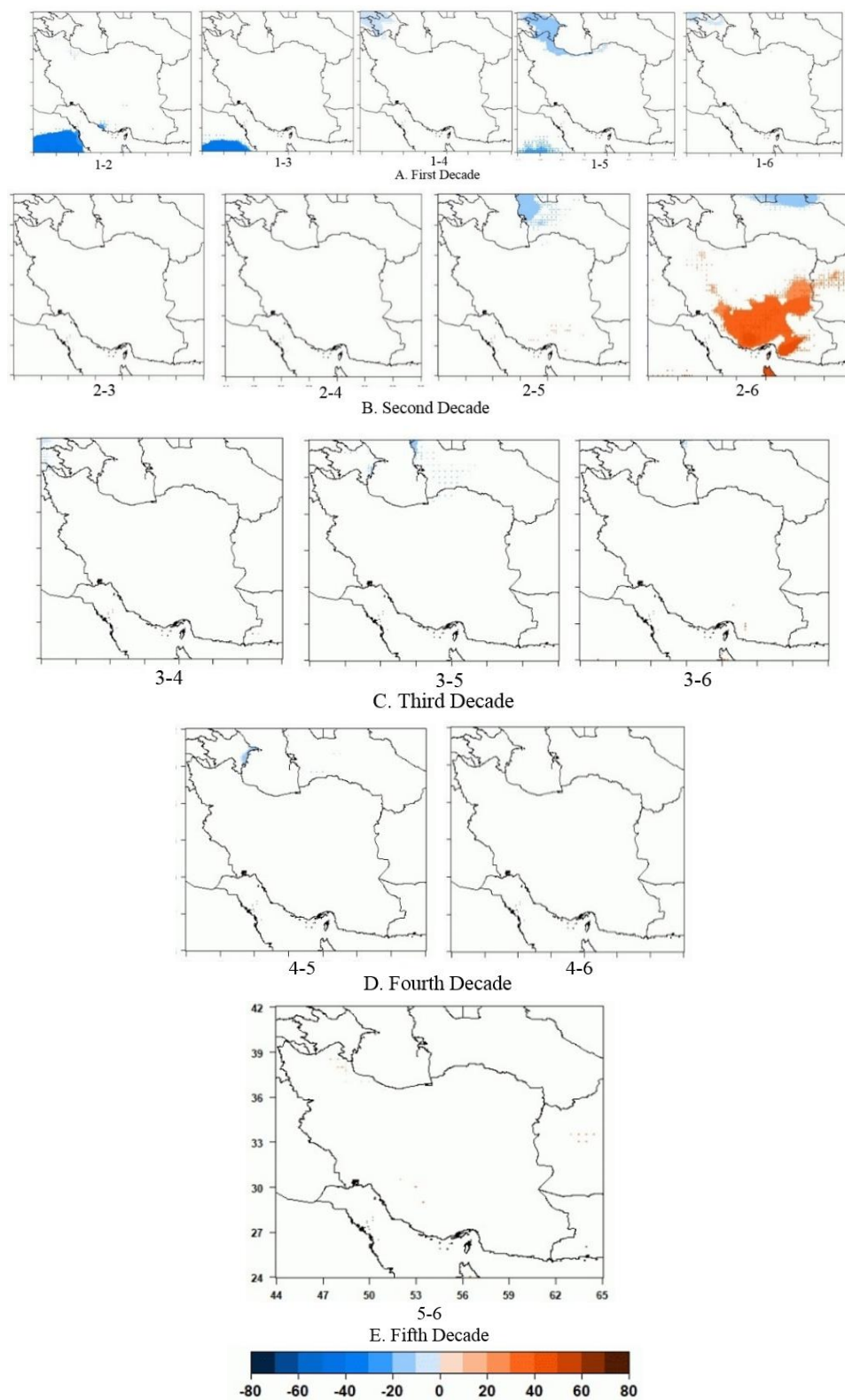
در مقایسه سایر دهه‌ها با دهه ششم (۲۱-۲۰۱۱) همچنان کاهش ابرناکی در محدوده رشته کوه زاگرس، جنوب غرب، مرکز و شرق کشور قابل مشاهده است که این گستره کاهشی در مقایسه دهه پنجم از ششم (۵-۶) گسترده‌تر نیز می‌شود (شکل ۶-ث).

در واقع در فصل زمستان و به‌ویژه در دهه ششم کاهش ابرناکی گستره کشور و به‌ویژه مناطق با ابرناکی متوسط تا زیاد را شامل می‌شود که با الگوی کاهش‌های ابرناکی بهاره کمتر شباهت دارد و مناطق مربوط به رشته کوه‌های زاگرس و استان‌هایی مانند فارس که به لحاظ کشاورزی حائز اهمیت هستند را شامل می‌شود. با توجه به اهمیت ابرناکی زمستانه و تأثیر احتمالی آن بر بارش این فصل، توجه به مکانیزم‌های فیزیکی مؤثر بر نوسانات ابرناکی در کشور جایگاه ویژه‌ای دارد. در این راستا، تحلیل همزمان مکانیزم‌هایی همچون جبهه‌های هوا، رفتار رودبادهای فصلی، موقعیت و شدت ناوه‌ها و پشته‌ها و فراوانی استقرار سامانه‌های کم فشار و پرفشار (Fattahi and Rahimzadeh, 2009) و (Sepadeh et al., 2020) برای تبیین دقیق‌تر سازوکارهای دینامیکی کاهش ابرناکی حائز اهمیت است.



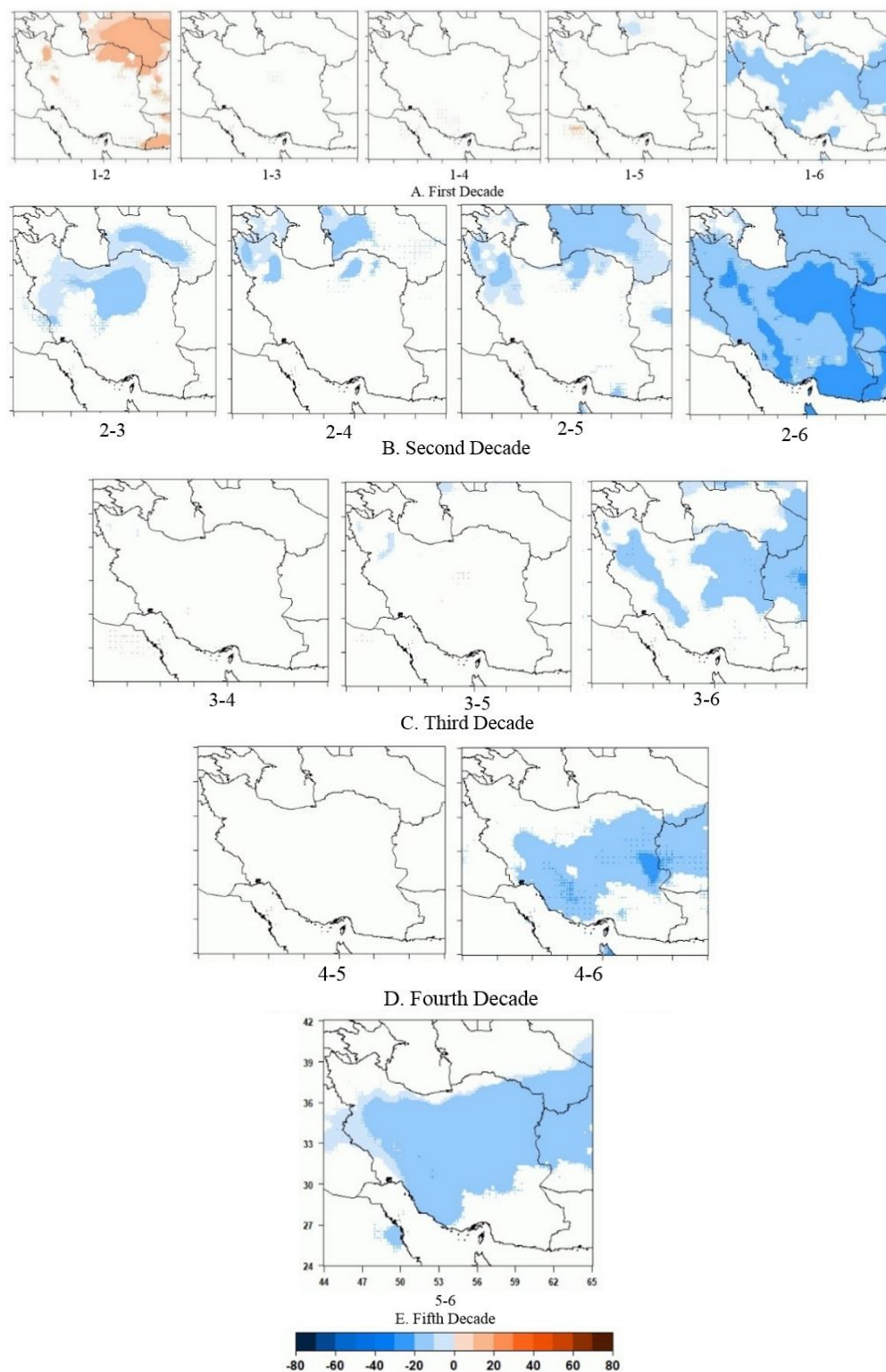
شکل ۴- مقایسه ابرناکی کل هر دهه با دهه‌های بعدی (الف تا ه) برای فصل بهار

Fig. 4. Comparison of total cloudiness of each decade with subsequent decades (A to E) for the spring season



شکل ۵- مقایسه ابرناکی کل هر دهه با دهه‌های بعدی (الف تا ث) برای فصل پاییز

Fig. 5. Comparison of total cloudiness of each decade with subsequent decades (A to E) for the autumn season



شکل ۶- مقایسه ابرناکی کل هر دهه با دهه‌های بعدی (الف تا ث) برای فصل زمستان

Fig. 6. Comparison of total cloudiness of each decade with subsequent decades (A to E) for the winter season

نتیجه گیری

شاخص ابرناکی کل به عنوان شاخصی از پوشش آسمان توسط انواع ابرها (ابرهای بالا، متوسط و پایین)، شناخته می شود و با واحد اکتا بیان می شود. در این پژوهش، برای تحلیل تغییرات بلندمدت این شاخص در ایران از داده های بازتحلیل ECMWF، نسخه ERA5 استفاده شد. این سری داده ها با استفاده از داده های ماهواره ای، ایستگاه های زمینی و مدل های شبیه سازی اقلیمی در سطح جهانی به دست می آیند، و جایگزین مناسبی برای شرایط کمبود داده های ایستگاه زمینی است. در این پژوهش، تراکم ایستگاه ها در بسیاری پهنه های کشور و به ویژه در شرق و جنوب شرق کشور و همچنین به لحاظ طول دوره آماری (۶۰ ساله) محدود بود و بهره گیری از این منبع داده توانست این کاستی را جبران کند.

با وجود ارزشمندی این منبع داده، ارزیابی و دقت سنجی آن نیاز به توجه و بررسی دارد. این مهم به ویژه در صورت نیاز به تحلیل دقیق تر ابرناکی در مقیاس محلی و در مناطق با توپوگرافی پیچیده در مقایسه با دشت ها از اهمیت بیشتری برخوردار است. زیرا ماهیت پیچیده توپوگرافی و امکان نقاط سایه و نوردهی متفاوت در کوه ها می تواند موجب کاهش دقت اندازه گیری های مربوط به ابرناکی در برخی مناطق شود. از سوی دیگر، نتایج ارزیابی پیشین این داده ها نشان می دهد که گاهی عدم تمایز ابرهای نازک در مقایسه با ضخیم در داده های با منبع ماهواره ای و بازتحلیل موجب کم برآوردی^۱ در مقادیر ابرناکی کل می شود (Mieslinger et al., 2022). لذا، در دقت سنجی این داده ها و مقایسه با داده ایستگاه های سینوپتیک توجه با این نکته حائز اهمیت است.

بررسی اثر نوسانات اقلیمی جهانی مانند گرمایش اقیانوس هند و نوسانات اطلس شمالی^۲ می تواند دید دقیق تری نسبت به تغییرات الگوهای ابرناکی در ایران ارائه دهد. پژوهش های پیشین نشان داده است که فازهای مثبت IOD با گرم شدن اقیانوس هند می تواند باعث تغییر در جریان های جوی در آسیا (Park et al., 2024) و الگوهای ابرناکی و بارش ها در بخش هایی از

گستره ایران شود (Zarei et al., 2024). همچنین، نوسانات مثبت NAO باعث تقویت جریان های غربی و بارش بیشتر در ایران می شود، در حالی که فاز منفی آن معمولاً با شرایط خشک تر همراه است (Moradi, 2024). این الگوهای جهانی می تواند تأثیرات عمده ای بر پوشش ابر و تغییرات ابرناکی در ایران و مناطق شمالی خاورمیانه داشته باشند (Demir & Koc, 2021). لذا، در پژوهش های آتی بررسی ارتباط مکانی و زمانی این نوسانات جهانی اقلیمی با تغییرات ابرناکی در گستره کشور پیشنهاد می شود.

ابرناکی یکی از عوامل کلیدی تأثیرگذار بر بیلان انرژی در سطح زمین و تبخیر-تعرق است. افزایش ابرناکی میزان دریافت امواج طول موج کوتاه ورودی^۳ به سطح زمین را کاهش می دهند (Kejna et al., 2021). این اثر سرمایشی ابرها^۴ به ویژه در اقلیم های خشک و نیمه خشک (مانند جنوب شرق ایران که همراه با آسمان غالباً صاف و آفتابی با دریافت انرژی خورشیدی شدید، دمای بالای هوا و تبخیر-تعرق زیاد است) از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به بیان دیگر، در اقلیم های بیابانی، ابرناکی افزایشی یک نیروی تعدیل کننده چشمگیر برای جلوگیری از داغ شدن بیش از حد سطح در طول روز است (Mokhtari et al., 2021). افزایش ابرناکی بر شار امواج فروسرخ (امواج طول موج بلند) نیز تأثیر دوگانه دارد. از یک سو، کاهش دمای سطح (به دلیل افت امواج طول موج کوتاه ورودی)، سبب کاهش تابش امواج طول موج بلند خروجی از سطح می شود.

از سوی دیگر، ابرها خود با بازتاب امواج فروسرخ دریافتی در سطح زیرین، تابش این امواج به سطح را افزایش می دهند. نتیجه این دو اثر متضاد کاهش دامنه نوسان دمای روزانه است (Yang et al., 2020). بنابراین، ابرناکی با تأثیر بر بیلان انرژی سطح، نقش مؤثری در میزان تبخیر-تعرق دارد. برای نمونه در پژوهشی در چین نشان داده شد، افزایش در پوشش ابر می تواند تا حتی ۳۰ درصد تبخیر-تعرق روزانه را کاهش دهد (Zheng et al., 2020). این نکته به ویژه برای مدیریت منابع آبی و

^۳ incoming shortwave radiation^۴ Cloud Albedo Effect^۱ Underestimate^۲ North Atlantic Oscillation (NAO)

همرفتی در خاورمیانه می‌تواند با افزایش شدت بارش همراه باشند (Rosenfeld and Lensky, 1998). از این رو بررسی این ویژگی‌ها می‌تواند در کنار نتایج حاصل از این پژوهش، تصویری جامع‌تر از رفتار ابرها در ارتباط با بازخوردهای مثبت و منفی و چرخه آب در ایران ارائه دهد.

در نهایت، تأخیر احتمالی در تشکیل ابرهای پاییزه، کاهش معنی‌دار ابرناکی به‌ویژه در دهه اخیر و در فصل زمستان و نوسانات ابرناکی بهاره از موارد قابل توجه در کشت دیم، مدیریت منابع آب و بحث‌های مربوط به تبخیرتغرق می‌تواند باشد که نگاه ژرف‌تر و پژوهش‌های بیشتر را می‌طلبد. در این راستا بررسی توأم نقش انسان به لحاظ توسعه شهری و کشاورزی در مقیاس مکانی کوچک‌تر می‌تواند در پژوهش‌های آتی مد نظر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله حاضر بر خود لازم دانسته از مرکز علوم جوی و اقیانوسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز برای مساعدت و همکاری در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

تعارض و منافع

در این مقاله تضاد منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

کشاورزی دیم در مناطق گرم و خشک ایران حائز اهمیت است.

نکته دیگر، بررسی نوسانات ابرناکی در مقیاس‌های زمانی مختلف است. در واقع در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر (دهه‌ای)، در مقابل طولانی‌تر (۳۰ سال اول (دهه‌های اول، دوم و سوم) و سی سال دوم (دهه‌های چهارم، پنجم و ششم)) آزمون آماری انجام شده به دلیل تعداد کمتر مشاهدات و تمرکز بیشتر بر دوره‌های کوتاه‌مدت، قادر به شناسایی نوسانات معنی‌دار گذرا و بیشتری است. در مقابل، در مقیاس بلندتر به دلیل هموار شدن نوسانات و افزایش حجم داده، حساسیت آزمون به تغییرات محدود و گذرا کاهش می‌یابد. این تفاوت در نتایج، بخشی از ماهیت تحلیل آماری در مقیاس‌های زمانی متفاوت است، لذا بررسی دوره‌های آماری متنوع می‌تواند پژوهشگران حوزه اقلیم را به نتایج جالب توجهی برساند.

با توجه به یافته‌های این پژوهش در خصوص ابرناکی کل، در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود، تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و نوری ابرها شامل ارتفاع، ضخامت، ژرفای نوری و قطر مؤثر ذرات مورد توجه قرار گیرد. این ویژگی‌ها علاوه بر تعیین ساختار و نوع ابر، نقش مهمی در کنترل موازنه تابشی زمین و تشکیل بارش دارند (Stephens, 2005). مطالعات گوناگون نشان داده‌اند که ویژگی‌های فیزیکی ابر بر بازتاب و جذب انرژی خورشیدی (Zhao and Di Girolamo, 2006) و فرایندهای بارش اثرگذار هستند. برای نمونه، افزایش ضخامت و ارتفاع ابرهای

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, M., Ahmadi, H., Dadashiroudbari, A.A., 2018. Analyzing the trend of changes and the spatial pattern of annual and seasonal clouds in Iran. *Nat. Environ. Hazards* 7(15), 239-256 (in Persian).
- Akbari, M., Sayad, V., 2021. Analysis of climate change studies in Iran. *Nat. Geograph. Res.* 53(1), 37-74 (in Persian).
- Ceppi, P., Nowack, P., 2021. Observational evidence that cloud feedback amplifies global warming. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 118 (30) e2026290118.
- Collow, A.B.M., Miller, M.A., 2016. The seasonal cycle of the radiation budget and cloud radiative effect in the Amazon rain forest of Brazil. *J. Climate* 29(21), 7703-7722.
- Demir, U.S., Koc, A.C., 2021. Investigation of the North Atlantic Oscillation and Indian Ocean Dipole influence on precipitation in Turkey with cross-spectral analysis. *Atmosphere* 12(1), 99.
- Dostan, R., Alijani, B., 2016. Climate change in Iran with a synoptic approach. *Region. Geograph. Develop.* 13(2), 89-113 (in Persian).
- Efron, B., Tibshirani, R.J., 1993. *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman & Hall/CRC.
- Fattahi, E., Rahimzadeh, F., 2009. The relationship between ENSO and Iran's winter atmospheric circulation patterns. *Geograph. Develop.* 7(15), 21-44 (in Persian).
- Frnda, J., Durica, M., Rozhon, J., Vojtekova, M., Nedoma, J., Martinek, R., 2022. ECMWF short-term prediction accuracy improvement by deep learning. *Scientific Reports*.

- Gettelman, A., Sherwood, S.C., 2016. Processes responsible for cloud feedback. *Current climate change reports*. 2, 179-189.
- Ghaedamini, H.A., Nazemosadat, M.J., Morid, S., Mehr Aver, S., 2024. Comparing the S2S hindcast skills to forecast Iran's precipitation and capturing climate drivers signals over the Middle East. *Theoreti. Applied Climatol.* 155, 4941-4962.
- Ghasemifar, E., Farajzade, M., Ghavidel Rahimi, Y., Akbari Bidokhti, A.A., 2018. Investigating spatio-temporal changes of cloudiness based on geographical features and remote sensing data in Iran. *Earth Space Physi.* 44(1), 103-124 (in Persian).
- Hadi, M., Hashemkhani, M., Iravani, E., 2022. Analysis of the scientific research process in the field of climate change in Iran. *Health Environ.* 15(2), 361-378 (in Persian).
- Hang, Y., 2016. The effect of cloud type on earth's energy balance. Doctoral dissertation, University of Wisconsin Madison.
- Hatami Bahmanbeiglou, K., Movahedi, S., 2017. Evaluating the percentage of cloud cover in Iran using MODIS Terra sensor data (case study: year 2007). *Nat. Geograph. Res.* 49(4), 631-643 (in Persian).
- Hejazizadeh, Z., Darand, M., Alijani, B., Nasserzadeh, M., Mirzaei, N., 2024. Investigation into variation in atmospheric circulation affecting the time delay of widespread and effective autumn's precipitation. *Climate Change Climatic Disasters* 3(5), 27-64 (in Persian).
- Intergovernmental Panel on Climate Change., 2001. IPCC: Climate Change 2001a: Impacts, Adaptation & Vulnerability, from <https://www.ipcc.ch>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change., 2001. IPCC: Climate Change 2001b: The Scientific Basis, from <https://www.ipcc.ch>.
- Karbakhsh Ravari, M., 2019. Transient Period of Autumn and Spring Seasons in Fars Province Using Synoptic Maps. Msc. Thesis Shiraz University.
- Kejna, M., Uscka-Kowalkowska, J., Kejna, P., 2021. The influence of cloudiness and atmospheric circulation on radiation balance and its components. *Theoreti. Applied Climatol.* 144, 823-838.
- Koshiro, T., Kawai, H., Noda, A.T., 2022. Estimated cloud-top entrainment index explains positive low-cloud-cover feedback. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 119(29), e2200635119.
- Mann, H.B., Whitney, D.R., 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*. 50-60.
- Masoudian, S.A., Kaviani, M.R., 2007. *Climatology of Iran*. Isfahan University Publications. First edition.
- Mieslinger, T., Stevens, B., Kölling, T., Brath, M., Wirth, M., Buehler, S.A., 2022. Optically thin clouds in the trades. *Atmosph. Chemistry Physics*. 22(11), 6879-6898.
- Moradi, H., 2004. Possible influences of North Atlantic Oscillation on winter reference climate of Iran. *Global Planet. Change*. 42(1-4), 1-10.
- Mokhtari, R., Fakouriyan, S., Ghasempour, R., 2021. Investigating the effect of cloud cover on radiative cooling potential with artificial neural network modeling. *Front. Energy Res.* 8, 658338.
- Nazemosadat, M.J., Shahgholian, K., Ghaedamini, H.A., 2023. The wet and dry spells within the MJO-phase 8 and the role of ENSO and IOD on the modulation of these spells: A regional to continental-scales analysis. *Atmosph. Res.* 285, 106631.
- Park, J., Lee, T., Shin, H., 2024. Impact of Indian Ocean Dipole on climate variability in Southeast Asia. *J. Climate Dynamics*. 48(4), 1123-1140.
- Pourasghar, F., Tozuka, T., Ghaemi, H., Oettli, P., Jahanbakhsh, S., Yamagata, T., 2014. Influences of the MJO on intraseasonal rainfall variability over southern Iran. *Atmosph. Sci. Letters* 16(2), 110-118.
- Pourasghar, F., Oliver, E.C.J., Holbrook, N.J., 2019. Modulation of wet-season rainfall over Iran by the Madden-Julian Oscillation, Indian Ocean Dipole and El Niño-Southern Oscillation. *Int. J. Climatol.* 39(10), 4029-4040.
- Rashedi, S., Sorooshian, A., Tajbar, S., Bobakran O.S., 2024. On the characteristics and long-term trend of total cloud cover in Iran. *Acta. Geophys.* 72, 4633-4648.
- Rosenfeld, D., Lensky, I.M., 1998. Satellite-based insights into precipitation formation processes. *Bullet. America. Meteorol. Soci.* 79(11), 2457-2476.
- Sepadeh, D., Salahi, B., Alijani, B., Zeynali, B., 2020. The status of the polar front in relation to the cold season over Iran. *J. Geograph. Nat. Hazards*. 13(49), 55-66 (in Persian).
- Stephens, G.L., 2005. Cloud feedbacks in the climate system: A critical review. *J. Climate*. 18(2), 237-273.
- World Meteorological Organization., 2008. WMO: International Cloud Atlas, Volume I, from <https://public.wmo.int/en>.
- Yang, P., Baum, B.A., Hu, Y.X., Feng, Q., 2020. Global impact of cloud longwave scattering in an atmosphere. *J. Geophys. Res.: Atmospheres* 125(20), e2020JD033968.
- Zarei, N., Behzadi, F., Vasheghani Farahani, E., Massah Bavani, A., 2024. Assessing the Influence of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and Indian Ocean Dipole (IOD) on Precipitation in Iran Using

- Kendall and Pearson Correlations. Proceedings of the 8th International Electronic Conference on Water Sciences. 14-16 October 2024. MDPI.
- Zhao, G., Di Girolamo, L., 2006. Cloud optical thickness variations with temperature. J. Geophy. Res.: Atmospheres 111(D19).
- Zelinka, M.D., Klein, S.A., Qin, Y., Myers, T.A., 2022. Evaluating climate models' cloud feedbacks against expert judgment. J. Geophy. Res.: Atmospheres 127(2), e2021JD035198.
- Zhu, J., Poulsen, C. J., 2020. On the increase of climate sensitivity and cloud feedback with warming in the community atmosphere models. Geophysical Research Letters. 47, e2020GL089143.