



Analysis of Spatial and Temporal Distribution of Middle Clouds in Khuzestan Province

Fatemeh Saghi¹ , Mohammad Bafghizadeh^{2✉} , Gebraeil Ghorbanian³ , Reza Borna⁴

1. Department of Geography Management Ahv. C. Islamic Azad University. Ahvaz. Iran.

E-mail: saghifatemeh205@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Geography, Payame Noor Universtiy, Tehran, Iran.

E-mail: mobafghizadeh@pnu.ac.ir

3. Department of Geography Management, Ahv.C., Islamic Azad university, Ahvaz, Iran. E-mail: ga.ghorbanian@iau.ac.ir

4. Department of Geography Management, Ahv.C., Islamic Azad university, Ahvaz, Iran. E-mail: Bornareza@iau.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 17 May 2025

Revised: 15 September 2025

Accepted: 28 September 2025

Published: 10 May 2026

Keywords:

Cloudiness,
Mid-level clouds,
Temporal and spatial
distribution,
Khuzestan province.

ABSTRACT

Introduction: Clouds are among the most important climatic elements affecting atmospheric and hydrological systems and play a key role in Earth's energy balance and hydrological cycle. Understanding the spatial and temporal patterns of mid-level clouds is crucial due to their influence on precipitation, temperature, and radiative balance, which is vital for water resources management, agriculture, and weather forecasting.

Objective: This study aimed to investigate the spatial distribution and long-term (30-year, 1990–2020) trends of mid-level clouds in Khuzestan Province and to analyze their variations during warm and cold seasons.

Methodology: Mid-level cloud data were obtained from the ERA5 reanalysis dataset with a spatial resolution of 0/25° for the 30-year period. Analyses included calculating spatial and seasonal averages of cloudiness, examining 30-year time series trends using the Sen's slope estimator and the non-parametric Mann-Kendall test, and visualizing the data using GIS software.

Findings: Results indicated that mid-level clouds have a higher contribution to total cloudiness during the cold season, with an average cloudiness of about 37% compared to only 0/5% in the warm season. Spatial distribution varied, with the northern and northeastern regions exhibiting the highest cloudiness and the southern and southeastern regions the lowest. Although annual fluctuations were observed over the 30-year period, no statistically significant long-term trend was detected.

Conclusion: Understanding the spatial and temporal patterns of mid-level clouds can support water resource management, agricultural planning, precipitation forecasting, and drought risk reduction. However, limitations such as spatial and temporal errors in reanalysis data and unconsidered short-term fluctuations exist. Future studies could provide more precise analyses using higher-resolution satellite and ground-based observations.

Cite this article: Saghi, F., Bafghizadeh, M., Ghorbanian, G. & Borna, R. (2026). Analysis of Spatial and Temporal Distribution of Middle Clouds in Khuzestan Province. *Journal of Geography and Planning*, 30(96), 310-325. <http://doi.org/10.22034/gp.2025.67295.3406>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2025.67295.3406>

Publisher: University of Tabriz.

Introduction

Mid-level clouds, typically residing between approximately 2,000 and 6,000 meters in altitude, constitute a vital yet complex component of the Earth's climate system. Their significance stems from a dual role in atmospheric processes: they exert a critical influence on the planetary radiation balance by both reflecting incoming solar shortwave radiation and trapping outgoing terrestrial longwave radiation, and they are intrinsically linked to the hydrological cycle, often serving as precursors to various precipitation types. Despite their importance, mid-level clouds remain less studied compared to their low and high-altitude counterparts, presenting a considerable uncertainty in climate models. This study narrows this focus to investigate mid-level clouds over Khuzestan Province in southwestern Iran, a region characterized by a hot and arid climate but also marked by significant seasonal variability and vulnerability to extreme climatic events, including droughts and intense precipitation. Its location adjacent to the moisture source of the Persian Gulf makes its cloud and precipitation dynamics particularly sensitive to regional climatic shifts. The overarching goal of this research is to conduct a detailed spatiotemporal analysis of mid-level cloud patterns over a substantial 30-year period, from 1990 to 2020. This extended timeframe is crucial for distinguishing long-term climatic trends from short-term meteorological variability. A specific objective is to generate and analyze high-resolution spatial distribution maps that delineate patterns specifically for the warm and cold seasons separately, acknowledging the region's stark seasonal contrasts. Preliminary data indeed confirms a major seasonal disparity, with the frequency of cloudy days in winter being more than double that observed in summer, highlighting the necessity of a seasonally-disaggregated investigation. A primary aim of this study is to quantitatively determine the contribution of mid-level clouds to the total cloud cover, with a particular emphasis on the cold season where their presence is most pronounced. Furthermore, employing advanced statistical trend analysis techniques, the research rigorously analyzes the long-term trends in mid-level cloud cover during both seasons to identify any potential signals of climate change manifesting in this region. The practical impetus for this work is robust; a precise understanding of these cloud patterns is indispensable for enhancing the accuracy of local weather forecasting models, optimizing strategic planning in water resource management—a critical concern for this arid region—informing agricultural practices, and improving preparedness for climate-related crises. By addressing a pronounced research gap in the regional climatology of a vulnerable area, this study ultimately seeks to provide a refined understanding of regional climate behavior, thereby contributing valuable insights for effective environmental planning and proactive crisis management.

Objective:

This study aimed to conduct a comprehensive analysis of the spatial distribution and long-term (30-year: 1990–2020) trends of mid-level clouds over Khuzestan Province, Iran. A primary focus was placed on quantifying and understanding the pronounced seasonal disparities in cloud cover between the warm and cold periods of the year. This research addresses a critical gap in regional climatological studies, as mid-level clouds play a pivotal yet understudied role in the area's radiation balance, hydrological cycle, and overall climate dynamics.

Materials and Methods

The investigation utilized high-resolution mid-level cloud data extracted from the ERA5 global reanalysis dataset, which provides a detailed spatial resolution of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Data in NetCDF format for the specified 30-year period formed the core of the analysis. The methodological framework involved several key steps: calculating long-term seasonal (warm and cold periods) and spatial averages, mapping the geographical distribution patterns of cloudiness, and performing a robust time-series trend analysis. The non-parametric Mann-Kendall test was employed to assess the statistical significance of observed trends, while Sen's slope estimator was used to quantify the magnitude of these trends. All spatial visualizations, including comparative maps for four decadal snapshots (1990, 2000, 2010, and 2020), were generated using Geographic Information Systems (GIS) software.

Results

The analysis revealed a stark seasonal contrast in the influence of mid-level clouds. During the cold season, these clouds contributed significantly to the total cloud cover, with an average cloudiness of approximately 37%. In stark contrast, their contribution during the warm season was negligible, averaging a mere 0.5%. Spatially, the highest concentrations of mid-level cloudiness were consistently identified in the northern and northeastern sectors of the province, whereas the southern and southeastern regions exhibited the lowest values. Despite notable inter-annual variability observed throughout the three-decade period, the Mann-Kendall test confirmed that there was no statistically significant long-term increasing or decreasing trend in mid-level cloud cover over Khuzestan Province as a whole.

Conclusion and Practical Implications:

This study concludes that mid-level clouds are a dominant feature of the cold-season climate in Khuzestan Province, with a distinct and persistent spatial pattern. The absence of a significant long-term trend suggests a relative stability in this climatic variable over the past 30 years, within the limitations of the data. The findings have substantial practical implications; a detailed understanding of these patterns is invaluable for enhancing the accuracy of regional precipitation forecasts, improving water resource management strategies, optimizing agricultural planning, and developing more effective drought early warning systems. A key limitation of this study is the inherent uncertainty associated with reanalysis data, which can smooth out localized, short-term fluctuations. Future research should aim to integrate and validate these findings with higher-resolution satellite imagery and ground-based ceilometer observations to achieve a more granular and precise understanding of cloud dynamics in the region.

Keywords: Cloudiness, Mid-level clouds, Temporal and spatial distribution, Khuzestan province.



تحلیل توزیع مکانی و زمانی ابرهای میانی در استان خوزستان

فاطمه ساقی^۱، محمد بافقی زاده^۲، جبرائیل قربانیان^۳، رضا برنا^۴

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: saghifatemeh205@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: mobafghizadeh@pnu.ac.ir

۳. استادیار، گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: ga.ghorbanian@iau.ac.ir

۴. دانشیار، گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: Bornareza@iau.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

مقدمه: ابرها از مهم ترین عناصر اقلیمی تأثیرگذار بر سامانه های جوی و هیدرولوژیکی زمین هستند و نقش کلیدی در بیلان انرژی و چرخه هیدرولوژیک دارند. شناخت الگوهای فضایی و زمانی ابرهای میانی به دلیل تأثیر آن ها بر بارش، دما و توازن تابشی، برای مدیریت منابع آب، کشاورزی و پیش بینی های جوی اهمیت ویژه ای دارد.

هدف: این پژوهش با هدف بررسی الگوی توزیع فضایی و روند بلندمدت (۳۰ ساله، ۱۹۹۰-۲۰۲۰) ابرهای میانی در استان خوزستان و تحلیل تغییرات آن ها در دوره های گرم و سرد سال انجام شد.

روش تحقیق: داده های ابرهای میانی از پایگاه بازتحلیل ERA5 با رزولوشن فضایی ۰/۲۵ درجه برای دوره ۳۰ ساله دریافت شد. تحلیل ها شامل محاسبه میانگین فضایی و فصلی ابرناکی، بررسی روند سری زمانی با استفاده از تخمینگر شیب Sen و آزمون ناپارامتریک من کندال و تجسم داده ها با استفاده از نرم افزار GIS بود.

یافته ها: نتایج نشان داد که ابرهای میانی در دوره سرد سال سهم بیشتری از ابرناکی کل استان دارند، به طوری که میانگین ابرناکی در دوره سرد حدود ۳۷ درصد و در دوره گرم تنها حدود ۰/۵ درصد بوده است. توزیع فضایی ابرها نیز متفاوت بوده و بخش های شمالی و شمال شرقی بیشترین میزان ابرناکی و بخش های جنوبی و جنوب شرقی کمترین میزان را داشته اند. روند ۳۰ ساله نشان داد که نوسانات سالانه ابرناکی وجود دارد، اما روند معنی دار بلندمدت مشاهده نشد.

نتیجه گیری: شناخت الگوهای فضایی و زمانی ابرهای میانی می تواند در مدیریت منابع آب، برنامه ریزی کشاورزی، پیش بینی بارش و کاهش خطر خشکسالی مفید باشد. با این حال، محدودیت هایی نظیر خطاهای مکانی و زمانی داده های بازتحلیل و عدم لحاظ نوسانات کوتاه مدت وجود دارد. پژوهش های آینده می توانند با داده های ایستگاهی و ماهواره ای با رزولوشن بالاتر تحلیل دقیق تری ارائه دهند.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰

کلیدواژه ها:

ابرناکی،

ابرهای میانی،

توزیع مکانی و زمانی،

استان خوزستان

استناد: ساقی، فاطمه؛ بافقی زاده، محمد؛ قربانیان، جبرائیل و برنا، رضا (۱۴۰۵). تحلیل توزیع مکانی و زمانی ابرهای میانی در استان خوزستان. *جغرافیا و برنامه ریزی*،

۳۰ (۹۶)، ۳۲۵-۳۱۰.

<http://doi.org/10.22034/gp.2025.67295.3406>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

ابرها جزء حیاتی سیستم آب و هوایی زمین هستند که از طریق توزیع مکانی-زمانی خود به طور قابل توجهی بر تعادل تابش، چرخه هیدرولوژیکی و تغییرات آب و هوایی منطقه‌ای تأثیر می‌گذارند (Wu, Y.; et al. 2024). ابرها از مهم‌ترین عناصر اقلیمی تأثیرگذار بر سامانه‌های اقلیمی سطح کره زمین می‌باشند، بنابراین هرگونه تغییرات زمانی و مکانی در ابرها می‌تواند بر سایر عناصر اقلیمی تأثیر گذار بوده و باعث تغییرات پیچیده اقلیمی نیز شود. هرگونه تغییر در اقلیم می‌تواند سرآغاز زنجیره‌ای از واکنش‌ها شود که اثر آن بصورت مستقیم در فرایندهای هیدرولوژیک پدیدار گردد.

ابرها به عنوان یکی از مهمترین پدیده‌های آب و هوایی از اهمیت بالایی برخوردار هستند ابرها در بیلان انرژی سطح زمین نقش دارند و علاوه بر آن در رأس چرخه هیدرولوژیکی قرار دارند (ونجینگ و همکاران، ۲۰۱۴). پوشش ابری آسمان با تأثیرگذاری بر بودجه گرمایی سطح زمین عامل مهم و اساسی در تغییرات دیگر کمیت‌های هواشناسی نیز به شمار روند. ابرها از راه پراکندگی و بازتاب تابش خورشیدی (مولر و همکاران، ۲۰۱۱) بودجه انرژی تابشی زمین را دچار تغییرات می‌کنند (زهو و همکاران، ۲۰۱۶) و با ایجاد و تولید بارش در فرم‌های مختلف بر چرخه آب شناختی زمین تأثیراتی را بجا می‌گذارند (وانگ، ۲۰۱۳). طبق دستور العمل سازمان هواشناسی جهانی، ابر، یک توده از ذرات خیلی ریز آب یا بلورهای یخ یا ترکیبی از هر دو می‌باشد، که در بالای سطح زمین قرار گرفته و در یک مکان دیدبانی قابل مشاهده می‌باشد. در مطالعه و تحلیل رفتار اقلیم‌شناختی هر منطقه، بررسی توزیع مکانی و زمانی پدیده ابرهای میانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ارتفاع پایه ابر (CBH) یک پارامتر حیاتی در تحقیقات جوی است که ساختار عمودی جو را شکل می‌دهد و بر الگوهای آب و هوایی و پدیده‌های اقلیمی تأثیر می‌گذارد (Brüning and Tost, 2025). ابرهای میانی که در ارتفاع بین ۲۰۰ تا ۶۰۰۰ متر از سطح زمین قرار دارند، نقش کلیدی در تنظیم اقلیم منطقه و فرایندهای آب‌وهوایی ایفا می‌کنند. این ابرها بر میزان و نوع بارش، تغییرات دما، و همچنین توازن تابشی منطقه تأثیرگذار هستند. استان خوزستان، به دلیل قرارگیری در منطقه جنوبی و هم‌مرز با خلیج فارس، با اقلیم گرم و مرطوب، همواره در معرض تغییرات اقلیمی قابل توجه قرار دارد. شناخت الگوهای توزیع مکانی و زمانی ابرهای میانی در این منطقه، می‌تواند به درک عمیق‌تر سیستم‌های جوی، پیش‌بینی‌های جوی، و برنامه‌ریزی منابع طبیعی و مدیریت بحران کمک کند. علاوه بر این، بررسی روندهای بلندمدت و فصلی ابرهای میانی در خوزستان، برای ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی اهمیت فراوانی دارد. در این مطالعه، با بهره‌گیری از داده‌های اقلیم‌شناختی معتبر و بلندمدت، سعی شده است الگوهای فضایی و زمانی تداخل و توزیع این نوع ابرها تحلیل گردد تا شناخت بهتری نسبت به رفتار اقلیم در این منطقه به دست آید. بر اساس آمار سازمان هواشناسی کشور، میانگین سالانه روزهای ابری در این استان حدود ۳۵ روز است، در حالی که در فصل زمستان این مقدار بیش از دو برابر تابستان گزارش شده است. چنین اختلافی اهمیت بررسی الگوهای فصلی و بلندمدت ابرهای میانی را آشکار می‌سازد. لذا هدف از انجام این پژوهش آشکارسازی الگوی توزیع فضایی و تعیین روند بلندمدت (۱۹۹۰-۲۰۲۰) و تولید نقشه‌های توزیع فضایی ابرهای میانی به تفکیک دوره گرم و سرد در سطح استان خوزستان می‌باشد.

شناخت الگوهای مکانی و زمانی ابرهای میانی نه تنها در حوزه اقلیم‌شناسی اهمیت دارد، بلکه می‌تواند در مدیریت منابع آب، کشاورزی، پیش‌آگاهی رخدادهای بارشی، و حتی هشدارهای جوی و کاهش خسارات ناشی از مخاطرات اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد. اگرچه مطالعات متعددی در ایران و جهان به بررسی الگوهای ابرناکی پرداخته‌اند، اما بیشتر این پژوهش‌ها یا به کل پوشش ابری پرداخته و یا به بررسی ابرهای پایین و بالا محدود شده‌اند. در خصوص ابرهای میانی و نقش آن‌ها در سامانه‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی به ویژه در مناطق حساس و آسیب‌پذیری مانند استان خوزستان، پژوهش‌های جامع و بلندمدت بسیار محدود است. این خلأ پژوهشی ضرورت مطالعه حاضر را توجیه می‌کند. در این پژوهش در پی پاسخ به این سوالات هستیم که آیا ابرهای میانی در دوره سرد سال چه سهمی از ابرناکی آسمان را در استان خوزستان دارا می‌باشند؟ و اینکه در طی دوره آماری ابرناکی چه روندی را در دوره گرم و سرد سال طی کرده است؟

پیشینه پژوهش

الف) مطالعات خارجی

دیم و همکاران^۱ (۲۰۱۱) با استفاده از مقایسه داده‌های ابرناکی دو سنجنده MODIS و NOAA، به بررسی تحلیل روند سری زمانی ابرناکی در هند پرداختند نتایج نشان داد که کاهش مشاهده شده به طور کلی در ابرهای پایین نمود بیشتری داشته است. زانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۱) به مطالعه نوسانات ابرناکی بر روی فلات تبت در طول سال‌های ۱۹۷۱-۲۰۰۴ پرداختند. نتایج این مطالعه بیانگر آن بود که از جنوب شرق به شمال شرق منطقه میزان ابرناکی کاهشی بوده و از نظر فصلی روند قابل ملاحظه‌ای در سری روزهای ابری نسبت به سال‌های گذشته دیده شده است. ریاجیک^۳ (۲۰۱۲) به بررسی روند مدت زمان ساعات آفتابی بر روی منطقه آمریکای جنوبی پرداخت. در این مطالعه استفاده از تحلیل روند من‌کندال به این نتیجه رسیدند که روند افزایشی معنی‌داری را در ساعات آفتابی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد پس نتایج حاکی از کاهش میزان ابرناکی در منطقه مورد مطالعاتی بوده است. وو و لیو^۴ (۲۰۱۳)، به مطالعه تغییرات ابر در شرق آسیا پرداختند نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات زمانی و مکانی پوشش ابر در مقیاس جهانی و منطقه‌ای در شرق آسیا روند کاهشی داشته است. در غرب ایالات متحد آمریکا روند کاهشی بوده و در شرق آن روند افزایشی (تانگ و لنگ، ۲۰۱۳) اما در آمریکای جنوبی روند کاهشی (وارن و همکاران، ۲۰۰۷) بوده است. وینجینگ^۵ و همکاران (۲۰۱۴) به مطالعه توزیع زمانی و مکانی تغییرات پوشش ابر در دلتای رودخانه یانسته پرداختند نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرپذیری ابر و پوشش آن به شدت از شرایط جهانی در قالب سامانه‌ها و الگوهای پیوند از دور و شرایط محلی و فصلی تبعیت می‌کند. جزول^۶ (۲۰۱۶) به تغییرپذیری و تغییرات پوشش ابر هندوستان را در دوره ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ پرداختند. نتایج نشان داد که روند کاهشی در میانگین پوشش ابری در منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود و تغییرپذیری ابری با پارامترهای اقلیمی مانند دمای روزانه ارتباط دارد. کانگ^۷ و همکارانش (۲۰۲۵) به آشکارسازی و تحلیل توزیع مکانی-زمانی ابرهای همرفتی عمودی در حال توسعه بر فراز فلات تبت و شرق آسیا پرداختند. در این مطالعه ابرهای همرفتی با رشد عمودی (VDCCs) به‌عنوان پیش‌سازهای مهم پدیده‌های جوی شدید شناخته می‌شوند، اما محدودیت داده‌ها و روش‌های رهگیری مانع از تحلیل دقیق آن‌ها شده است. این پژوهش با استفاده از الگوریتم جریان نوری و داده‌های ماهواره GK2A توانست تشخیص پیکسلی VDCC را فراهم کرده و الگوهای مکانی-زمانی متفاوتی در تبت و شرق آسیا آشکار سازد. ژی^۷ و همکارانش (۲۰۲۵) در مطالعه خود به تغییرپذیری مکانی-زمانی پارامترهای ابر و تأثیرات اقلیمی آنها بر آسیای مرکزی بر اساس داده‌های ماهواره‌ای چند منبعی و ERA5 پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که پوشش ابر طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ کاهش یافته و این تغییرات با تشدید گرمایش سطحی و تغییر الگوهای بارش در ارتباط است. ابراهیم و همکارانش (۲۰۲۵) در پژوهش خود به بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های پوشش ابر بر فراز عراق پرداختند. این پژوهش با استفاده از داده‌های ERA5 طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ به بررسی تغییرات مکانی-زمانی ویژگی‌های ابری در عراق پرداخته و نشان داد بیشترین پوشش ابر در شمال و بیشترین ارتفاع پایه ابر در جنوب رخ می‌دهد. همچنین، فعالیت ابری در برخی ماه‌ها به‌ویژه تابستان به‌طور کامل متوقف می‌شود که اهمیت پایش مداوم ابرها را برای مدیریت منابع و پیش‌بینی دقیق‌تر برجسته می‌سازد.

ب) مطالعات داخلی

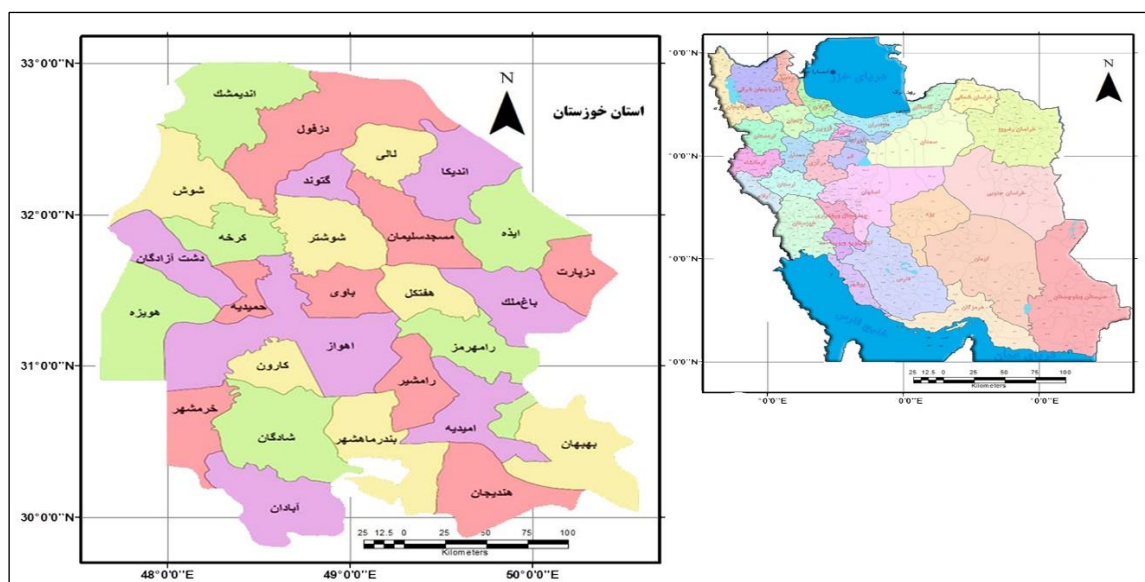
کریمی احمدآباد و همکارش (۱۳۹۶) در پژوهش خود به انتخاب بهترین روش ریزمقیاس‌سازی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو در زیرحوضه آذربایجان غربی انجام شده است. برای این منظور سه روش LARS-WG، SDSM و تناسبی با استفاده از

1. Dim
2. Zhang
3. Raichijk
4. Wenjing
5. Jaswal
6. Kang
7. Xie

شاخص‌های آماری و تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS ارزیابی و رتبه‌بندی شدند. نتایج نشان داد مدل SDSM عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها داشته و برای بررسی تغییرات آبی دما و بارش منطقه انتخاب شد. فلاحی خوشجی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی الگوی تغییرات مکانی-فراوانی رخداد و شدت ابرهای باران‌زا در ایران پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی رخداد ابرهای سطح پایین جو ایران در قسمت‌های شمال و شمال غرب کشور وجود داشته است. احمدی و همکاران (۱۳۹۷) به واکاوی روند تغییرات و الگوی فضایی ابرناکی سالانه و فصلی در ایران پرداختند. نتایج بیانگر آن بود که از شمال به جنوب و از غرب به شرق ایران تعداد روزهای ابری کاهش می‌یابد و تفاوت مکانی زیادی در تعداد روزهای ابرناکی در ایران وجود دارد. هوشیار و همکارانش (۱۳۹۷) در پژوهش خود با استفاده از مدل SDSM و خروجی CanESM2 تحت سناریوهای RCP به بررسی روند دماهای حداکثر در ایستگاه ارومیه طی دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) و آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۱) پرداختند. نتایج نشان داد دما در دوره پایه روند افزایشی غیرمعدار دارد و مدل SDSM توانایی شبیه‌سازی مناسبی برای دماهای حداکثر دارد. همچنین پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش 0.7 درجه دمای حداکثر نسبت به دوره پایه است که بیشترین افزایش در تابستان ($1/6$ درجه) و کمترین در زمستان (0.1 درجه) رخ می‌دهد. رییس پور و همکاران (۱۳۹۹) به برآورد ابرناکی در جو ایران پرداختند نتایج این مطالعه نشان داد در میان فصول بیشترین درصد ابرناکی در فصل زمستان و کمترین مقدار آن در فصل تابستان بود. احمدی (۱۳۹۹) به مطالعه فصلی ابرهای مایع در گستره ایران پرداختند نتایج این مطالعه نشان داد که از شمال به جنوب و از غرب به شرق از فراوانی ابرهای مایع کاسته شده است. شامحمدی و همکارانش (۱۴۰۳) در پژوهش خود به تحلیل زمانی و مکانی پوشش ابر سطح پایین جو در گستره ایران پرداختند. در این تحقیق با استفاده از داده‌های ERA5 طی سال‌های ۱۹۶۳ تا ۲۰۲۲ به بررسی تغییرات مکانی و زمانی پوشش ابرهای سطح پایین در ایران پرداخته است. نتایج نشان داد که حدود 99.7 درصد از کشور دارای روند کاهشی سالانه پوشش ابر و تنها 0.2 درصد دارای روند افزایشی است، ضمن آنکه نقش عرض جغرافیایی در تغییرات مکانی پررنگ‌تر از سایر عوامل بوده و چرخه‌های متنوع پوشش ابر تحت تأثیر عوامل محلی و سامانه‌های کلان‌مقیاس شکل گرفته‌اند. زارعی و همکارانش (۱۴۰۲) در مطالعه خود با استفاده از مدل SDSM و خروجی CanEMS2 تحت سناریوهای RCP، تغییرات بارش و دما در ۱۲ ناحیه اقلیمی ایران را در سه دوره آینده بررسی کردند. نتایج نشان داد مدل در شبیه‌سازی دما عملکرد بهتری نسبت به بارش دارد و بارش در همه نواحی کاهش خواهد یافت (بیشترین کاهش 35% در بیابانی نیمه‌گرم و 32% در خیلی مرطوب و معتدل). همچنین کمینه و بیشینه دما عمده‌تاً روند افزایشی دارند و بیشترین افزایش آن‌ها تحت RCP8.5 در ناحیه کوهستانی سرد (حدود 3 تا $4/3$ درجه) پیش‌بینی شده است. یوسفی و همکارانش (۱۴۰۳) در مطالعه خود در جنوب شرق ایران، روند تغییرات پوشش ابر زمستانی با استفاده از داده‌های ۲۳ ایستگاه سینوپتیک و داده‌های بازکاوی ERA5 طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۲ بررسی کردند. نتایج نشان داد که پراکندگی مکانی پوشش ابر تحت تأثیر عوامل جغرافیایی از جمله عرض و طول جغرافیایی، ارتفاع و الگوهای جوی است. تحلیل روند بارش من-کندال و رگرسیون خطی نشان داد که پوشش ابر در ماه‌های زمستانی (دی، بهمن و اسفند) روندی کاهشی دارد و بیشترین کاهش در ماه دی مشاهده شده است. این یافته‌ها اهمیت بسزایی در فهم تغییرات اقلیمی منطقه و بهبود مدل‌های پیش‌بینی داشته و می‌تواند در مدیریت منابع آب، کشاورزی و انرژی مناطق خشک و نیمه‌خشک کاربرد داشته باشد. ملکی مرشد و همکارانش (۱۴۰۳) در مطالعه خود تغییرات بارش شمال غرب ایران را با مدل‌های CanESM5 و MPI تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 بررسی کردند. نتایج نشان داد بارش در اغلب ایستگاه‌ها روند معناداری ندارد و تنها مراغه کاهش معنادار دارد. پیش‌بینی‌ها حاکی از کاهش بارش به‌ویژه در تابستان و پاییز است و مدل MPI دقت بیشتری نسبت به CanESM5 نشان داد. حیدری و همکارانش (۱۴۰۴) در پژوهش خود با استفاده از داده‌های ماهانه بازتحلیل ERA5 (1961-2021) به بررسی تغییرات فصلی پوشش ابر کل (TCC) در ایران پرداختند و نشان دادند که ابرناکی بهاره در جنوب و جنوب غرب افزایش یافته، در حالی که در شمال شرق، شرق و جنوب شرق کاهش داشته است. تغییرات پاییزی محدود به نواحی کوچک شمالی بوده و زمستان با کاهش گسترده پوشش ابر، به ویژه در زاگرس و جنوب غرب، همراه است، به‌ویژه در دهه ششم دوره آماری که شدت کاهش بیشتر بوده است. نتایج این مطالعه اهمیت تغییرات ابرها را از منظر بیابان انرژی و ریزش‌های جوی برجسته می‌سازد و نیازمند بررسی‌های بیشتر است.

روش پژوهش

استان خوزستان یکی از استان‌های جنوبی ایران است که در دامنه جنوب غربی رشته‌کوه‌های زاگرس و در کنار رودخانه‌های دز و کارون قرار دارد. این استان به دلیل موقعیت جغرافیایی و تاریخی‌اش، از اهمیت فراوانی برخوردار است و به عنوان یکی از قطب‌های اقتصادی و کشاورزی کشور شناخته می‌شود. خوزستان به واسطه وجود منابع غنی نفت و گاز، نقش مهمی در اقتصاد ملی دارد و همچنین به دلیل آب‌وهوا گرم و مرطوب در تابستان‌ها، یکی از مناطق با اقلیم خاص در ایران است. این منطقه با تاریخ غنی و میراث فرهنگی ارزشمند، از جمله مناطق مهم تاریخی و تمدنی ایران محسوب می‌شود. استان خوزستان با مساحت ۶۳۶۳۳٫۶ کیلومتر مربع بین ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ در جنوب غربی ایران قرار دارد و از شمال با استان لرستان، از شمال شرقی و مشرق با استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب شرقی با استان بوشهر، از جنوب با خلیج فارس، و از مغرب با کشور عراق هم مرز است شکل (۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

(ب) روش‌شناسی**۱- داده‌های مورد استفاده**

داده‌های مربوط به ابر در این تحقیق از پایگاه پیش بینی‌های میان برد اروپا^۱ (ECMWF)، نسخه جدید ERA5 اخذ شده است که در آن داده‌های ابرهای میانی^۲ در دسترس است. محصول باز تحلیل شده این پایگاه درصد ابرناکی^۳ آسمان توسط این ابر را به تفکیک روزانه و ماهانه، با قدرت تفکیک فضایی ۰/۲۵ درجه قوسی تا ۱ درجه قوسی نشان می‌دهد. این داده‌ها با فرمت NC از پایگاه تجمیعی داده‌های اقلیمی کپرنیکس^۴، برای دوره آماری ۳۰ ساله، ۱۹۹۰-۲۰۲۰، به صورت میانگین ماهانه درصد ابرناکی آسمان دانلود گردید. داده‌های این پایگاه از سال ۱۹۸۰ تاکنون در دسترس است. منبع این داده‌ها در واقع داده‌های ایستگاهی، داده‌های ماهواره‌ای و بازتحلیل مدل‌های اقلیمی است (جدول ۱). برای اطمینان از کیفیت داده‌ها، قبل از تحلیل، داده‌های ناقص یا دارای مقادیر پرت حذف شد. همچنین مقایسه‌ای بین مقادیر بازتحلیل ERA5 و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان (از جمله اهواز و دزفول) انجام گرفت که نشان‌دهنده همبستگی مطلوب و اعتبار بالای داده‌ها بود.

جدول ۱. مشخصات داده‌های ابرناکی اخذ شده از پایگاه کپرنیکس

نوع ابر	کد اختصاصی در پایگاه کپرنیکس	رزولشن فضایی-درجه قوسی	واحد
ابرهای سطوح میانی	LCC	۰/۲۵	درصد از آسمان هر پیکسل ۰/۲۵ درجه قوسی

۲- روش کار

به طور کلی این تحقیق در دو گام اساسی انجام گرفت. در گام اول اقدام به تحلیل فضایی ساختار ابرناکی اتمسفر استان خوزستان در دو دوره سرد و گرم سال برای ابر میانی انجام شد. در این پژوهش، ماه‌های نوامبر تا آوریل (آبان تا فروردین) به عنوان دوره سرد و ماه‌های مه تا اکتبر (اردیبهشت تا مهر) به عنوان دوره گرم سال در نظر گرفته شدند که بر اساس معیارهای اقلیم‌شناسی و دمای غالب استان تعیین شده است، لذا برای این بخش از تحقیق، وضعیت ابرناکی اتمسفر استان خوزستان در مقیاس دو دوره سرد و گرم در ۴ دوره آماری یعنی سال‌های، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های آمار فضایی ابرهای سطح میانی، در مقیاس فصلی مقایسه شد. در گام دوم تحقیق روند سری زمانی ابرناکی طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۳۰)، به صورت میانگین فضایی کل استان، به تفکیک دوره گرم و سرد سال برای پارامتر ابرهای میانی مورد بررسی قرار می‌گیرد تا روند ابرناکی مشخص گردد. از دو روش تحلیل روند تخمینگر شیب Sen و آماره ناپارامتریک من کندال برای آگاهی از نوع روند و نیز معنی داری آن در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($P_value=0.05$) استفاده شد.

۳- تحلیل فضایی ابرناکی

تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی اثرات قابل‌توجهی بر الگوهای جوی و توزیع ابرهای میانی در مناطق مختلف، از جمله استان خوزستان دارند. افزایش دما و تغییر در میزان رطوبت هوا منجر به تغییرات در تشکیل، توسعه و توزیع این ابرها می‌شود. در خوزستان، وضعیتی که عمدتاً با اقلیم گرم و مرطوب شناخته می‌شود، تغییرات اقلیمی ممکن است باعث تغییر در زمان‌بندی و میزان فعالیت ابرهای میانی گردد، به طوری که این ابرها در فصول مختلف سال، به‌ویژه در فصول گرم‌تر، شدت و فراوانی بیشتری پیدا کنند. این تغییرات می‌تواند بر الگوهای بارش، میزان سیلاب‌ها و حتی توزیع منابع آبی تاثیرگذار باشد، و در نتیجه تأثیر مستقیم بر کشاورزی، مدیریت منابع آب و توسعه پایدار منطقه داشته باشد. بنابراین، مطالعه و تحلیل تغییرات در توزیع زمانی

1. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

2. Low Cloud Cover

3. Cloud Fraction

4. <https://cds.climate.copernicus.eu/>

و مکانی ابرهای میانی در خوزستان، با در نظر گرفتن اثرات تغییرات اقلیمی، ضروری است تا بتوان برنامه‌های سازگاری و مدیریت بحران مؤثرتری تدوین کرد.

در این بخش از تحقیق، اقدام به بررسی ساختار توزیع فضایی ابرناکی در سطح استان خوزستان با استفاده از داده‌های نسل جدید پایگاه ERA5 می‌شود. این داده‌ها با رزولوشن فضایی ۰/۲۵ درجه قوسی برای استان از پایگاه تجمیع شده داده‌های محیطی Copernicus^۱، برای دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰، به صورت میانگین ماهانه با فرمت NC دریافت گردید. برای بررسی ساختار فضایی ابرناکی برای ابرهای میانی در مقیاس فصلی طی ۴ گام زمانی ده ساله یعنی دوره‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۰، ۲۰۱۰-۲۰۲۰، اقدام به بررسی وضعیت ابرناکی در سطح استان خوزستان گردید. برای محاسبه میانگین فضایی، از میانگین‌گیری وزنی سلول‌های شبکه در محدوده مرزهای استان استفاده شد. میانگین‌های فصلی نیز با میانگین‌گیری از مقادیر ماهانه هر فصل (سه‌ماهه) استخراج گردید. جهت تجسم داده‌ها از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد و نقشه‌های پهنه‌بندی و نمودارهای سری زمانی برای نمایش تغییرات مکانی و زمانی ترسیم گردیدند. لازم به ذکر است که داده‌های بازتحلیل ERA5 علیرغم دقت بالا، دارای محدودیت‌هایی هستند. از جمله می‌توان به خطاهای مکانی ناشی از تفکیک شبکه (۰/۲۵ درجه قوسی $\approx$ ۲۵ کیلومتر)، خطاهای زمانی در بازنمایی فرآیندهای همرفتی کوتاه‌مدت و همچنین ناهمگنی داده‌ها در مناطق با ایستگاه‌های کم‌تراکم اشاره کرد. بنابراین نتایج این مطالعه باید با در نظر گرفتن این محدودیت‌ها و در ترکیب با مشاهدات ایستگاهی و مطالعات تکمیلی تفسیر شود.

نتایج

الف) ابرهای میانی

ابرهای میانی عموماً به ابرهایی که دارای ارتفاع بین ۸ تا ۱۱ هزار پا (۲ تا ۴ کیلومتر و کمتر) از سطح دریا قرار دارند، سطح میانی^۲ گفته می‌شود. این ابرها شامل آل‌تواستراتوس‌ها، التوکومولس‌ها، هستند. در این بخش با استفاده از داده‌های شبکه بندی شده ERA5 اقدام به بررسی روند دوره‌ای ابرهای سطح میانی (MCC) در مقیاس فصلی می‌شود. این داده‌ها با فرمت NC و با استفاده از نرم افزار GIS فراخوانی و تحلیل شده‌اند.

۱- ابرهای میانی در فصل بهار

در شکل شماره (۲) توزیع فضایی ابرناکی بهاره (میانگین ماه‌های آوریل تا ژوئن) در پهنه استان خوزستان با شبکه بندی ۰/۲۵ درجه قوسی ارائه شده است. همانطور که در این نقشه‌ها دیده می‌شود، به طور در سال ۱۹۹۰ در سطح استان خوزستان میزان ابرناکی سطح میانی از ۰/۰۶ درصد تا ۲۱ درصد متفاوت بوده است. میانگین فضایی ابرناکی در این سال برابر ۱۱ درصد بوده است (جدول ۱) ضریب تغییرپذیری فضایی ابرناکی بهاره ابرهای سطح میانی در سطح استان خوزستان نیز در بهار سال ۱۹۹۰ برابر ۷ درصد بوده است که به نوعی بیانگر توزیع فضایی نسبتاً ناهمگون ابرناکی در سطح استان است. در بخش‌های شمال شرقی استان بالاترین میزان ابرهای سطح میانی مشاهده می‌شود در این نواحی میزان ابرناکی به بیش از ۲۰ درصد می‌رسد در حالیکه تمامی قسمت‌های جنوبی ابرناکی کاهش یافته و گاهی تا نزدیک به صفر هم رسیده است.

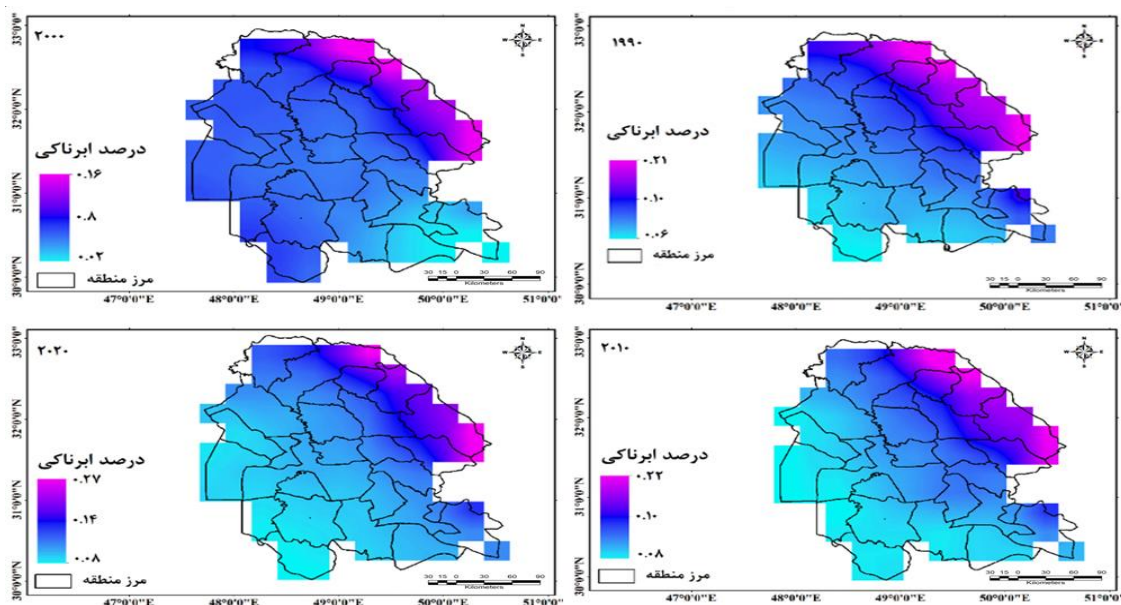
در سال ۲۰۰۰ به طور کلی در بهار، میانگین فضایی ابرناکی ابرهای سطح میانی جو کاهش پیدا کرده است و به حدود ۳ درصد رسیده است. در این دوره، ابرهای میانی به طور متوسط از ۰/۰۲ تا ۱۶ درصد در پهنه استان خوزستان متفاوت بوده است. بخش‌های جنوبی استان درصد ابرناکی ابرهای میانی در این سال به کمترین مقدار رسیده است. در این سال بیشترین میزان ابرناکی در بخش‌های شرق و شمال شرق استان دیده شده و تا ۱۶ درصد از آسمان رسیده است.

1. <https://cds.climate.copernicus.eu/>

2. High Level

در سال ۲۰۱۰، الگوی کلی ابرناکی در سطح استان خوزستان به شکل سال ۱۹۹۰ بوده است. نوار شمال و شمالشرق استان دارای بالاترین میزان ابرناکی بوده اند و درصد ابرناکی ابرهای سطح بالا در این بخش از استان خوزستان به بیش از درصد می‌رسد. بخش‌های مرکزی از استان خوزستان تا جنوب در سال ۲۰۱۰ نیز کمترین مقدار ابرناکی را داشته اند.

اما در سال ۲۰۲۰ نیز الگوی توزیع فضایی ابرناکی در سطح استان خوزستان همانند سال سه سال دیگر بوده است اما میزان ابرناکی در سطح منطقه بین ۰/۸ تا ۲۷ درصد متفاوت بوده است و افزایش یافته است. استان‌های شمالی و شمال شرق منطقه دارای بیشترین میزان ابرناکی و بخش‌های جنوب شرق و جنوب استان خوزستان دارای کمترین میزان ابرناکی بوده است.



شکل ۲. توزیع فضایی درصد ابرناکی آسمان بر اثر ابرهای سطح میانی در فصل بهار (میانگین ماه‌های آوریل تا ژوئن) طی ۴ دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰

همانطور که در شکل (۲) دیده می‌شود، بالاترین میانگین فضایی ابرناکی ابرهای سطح میانی در بهار، مربوط به بهار سال ۲۰۰۰ بوده است البته بالاترین انحراف معیار نیز مربوط به همین سال بوده است.

جدول ۲. درصد ابرناکی آسمان بر اثر ابرهای سطح میانی در فصل بهار (میانگین ماه‌های آوریل تا می) طی ۴ دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰

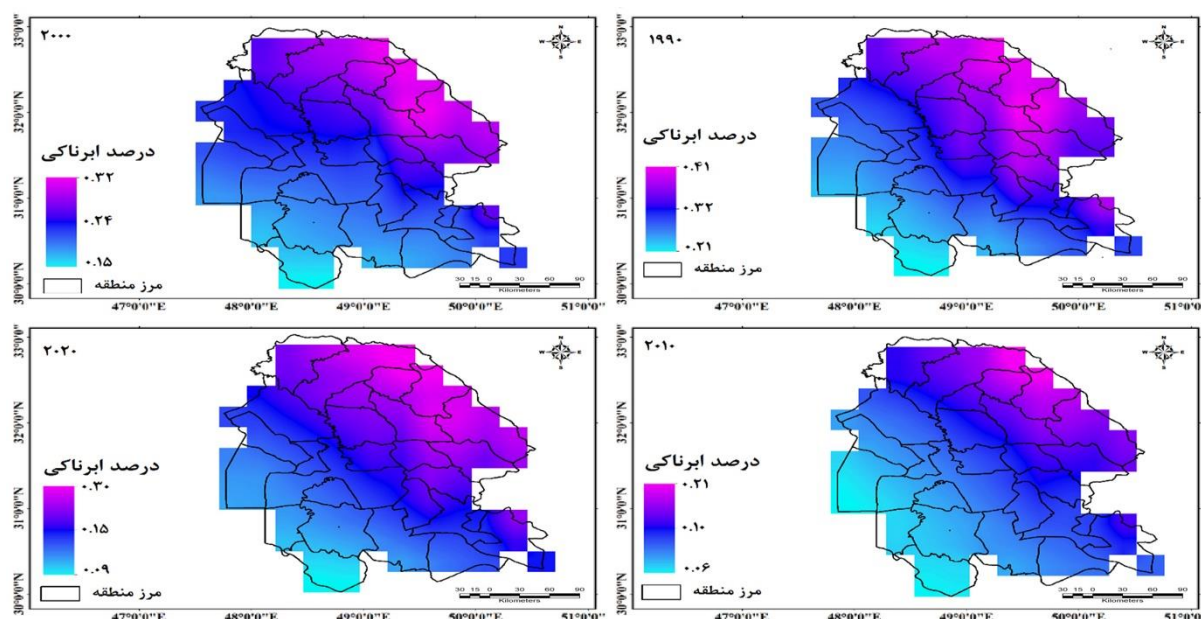
میانگین فضایی ابرناکی (درصد)	انحراف معیار فضایی ابرناکی (درصد)	
۱۱	۳	۱۹۹۰
۰/۰۶	۰/۰۲	۲۰۰۰
۱۱	۳	۲۰۱۰
۱۳	۴	۲۰۲۰

نتایج نشان داد که در بهار، بیشترین تمرکز ابرهای میانی در شمال و شمالشرق استان بوده است. این الگو را می‌توان ناشی از صعود اوروگرافیک ناشی از رشته‌کوه زاگرس دانست که شرایط لازم برای تشکیل ابرهای میانی را فراهم می‌کند. در مقابل، مناطق جنوبی و جلگه‌ای استان به دلیل تأثیر توده‌های هوای گرم و خشک از سمت خلیج فارس و پایداری جو، درصد پایینی از ابرناکی را تجربه کرده‌اند. کاهش میانگین ابرناکی در سال ۲۰۰۰ را می‌توان با کاهش نفوذ سامانه‌های بارشی مدیترانه‌ای در آن سال و افزایش پایداری جنب‌حاره‌ای توضیح داد. یافته‌های ما با نتایج پژوهش حسینی و همکاران (۱۳۹۷) همخوانی دارد که نقش زاگرس را در تمرکز ابرهای میانی جنوب غرب ایران تأیید کرده‌اند. از منظر کاربردی، کاهش پوشش ابری در بهار می‌تواند هشداردهنده کاهش بارش‌های مؤثر در آغاز فصل کشت محصولات دیم در استان باشد.

۲- ابرهای میانی در فصل زمستان

در شکل شماره (۳) توزیع فضایی ابرناکی زمستان (میانگین ماه‌های ژانویه تا مارس) در استان خوزستان با شبکه بندی ۰/۲۵ درجه قوسی ارائه شده است. همانطور که در این نقشه‌ها دیده می‌شود، به طور کلی در سال ۱۹۹۰ در سطح استان خوزستان میزان ابرناکی سطح میانی از ۸ درصد تا ۵۴ درصد متفاوت بوده است. میانگین فضایی ابرناکی در این سال برابر ۳۱ درصد بوده است (جدول ۳) ضریب تغییرپذیری فضایی ابرناکی زمستانه ابرهای سطح میانی در سطح استان خوزستان نیز در زمستان سال ۱۹۹۰ برابر ۵ درصد بوده است که به نوعی بیانگر توزیع فضایی نسبتاً ناهمگون ابرناکی در سطح استان خوزستان است. در بخش‌های شمالی و شمالشرقی استان خوزستان درصد ابرناکی ابرهای سطح میانی، به بیش از ۳۰ درصد و تا ۴۱ درصد می‌رسد در حالی که در بخش‌های مرکزی و جنوبشرقی استان، میزان ابرناکی به کمتر از ۳۰ درصد افت می‌کند. در سال ۲۰۰۰ به طور کلی در زمستان، میانگین فضایی ابرناکی ابرهای سطح میانی جو کاهش پیدا کرده است و به حدود ۲۳ درصد رسیده است. در این دوره، ابرهای میانی به طور متوسط از ۱۵ تا ۳۲ درصد در پهنه استان خوزستان متفاوت بوده است. در این سال نیز توزع فضایی ابرناکی همانند سال ۱۹۹۰ بوده است. در این دوره ضریب تغییرپذیری ابرناکی ابرهای بالا در سطح استان خوزستان به ۴ درصد رسیده است.

در سال ۲۰۱۰، الگوی کلی ابرناکی در سطح استان خوزستان به شکل سال ۲۰۰۰ بوده است با این تفاوت که کاهش محسوسی در میزان ابرناکی در سطح استان دیده شده است. نوار شمالشرقی استان دارای بالاترین میزان ابرناکی بوده اند و درصد ابرناکی ابرهای سطح میانی در این بخش از استان به بیشتر از ۱۵ درصد می‌رسد. بخش‌های مرکزی و جنوبی استان درصد ابرناکی کاهش یافته و در این سال به کمتر از ۱۰ درصد ابرناکی رسیده است. در این سال میانگین فضایی ابرناکی در سطح استان خوزستان به ۱۲ درصد رسیده است و انحراف معیار فضایی ابرناکی ابرهای سطح بالا نیز در سطح استان خوزستان به ۳ درصد رسیده است. اما در سال ۲۰۲۰ نیز الگوی توزیع فضایی ابرناکی در سطح استان خوزستان همانند سال ۲۰۱۰ بوده است اما میزان ابرناکی در سطح استان خوزستان بین ۰/۰۹ تا ۳۰ درصد متفاوت بوده است. نواحی شمالی و شمال شرق استان دارای بیشترین میزان ابرناکی (بین ۱۵ تا ۳۰ درصد) و بخش‌های جنوب شرق و جنوب استان دارای کمترین میزان ابرناکی (کمتر از ۱۵ درصد) بوده است.



شکل ۳. توزیع فضایی درصد ابرناکی آسمان بر اثر ابرهای سطح میانی در فصل زمستان (میانگین ماه‌های ژانویه تا مارس)

طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰

همانطور که در جدول (۳) دیده می‌شود، بالاترین میانگین فضایی ابرناکی ابرهای سطح میانی در زمستان، مربوط به زمستان سال ۱۹۹۰ بوده است البته بالاترین انحراف معیار نیز مربوط به همین سال بوده است.

جدول ۳. درصد ابرناکی آسمان بر اثر ابرهای سطح میانی در فصل زمستان (میانگین ماه‌های ژانویه تا مارس) طی ۴ دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰

سال	میانگین فضایی ابرناکی (درصد)	انحراف معیار فضایی ابرناکی (درصد)
۱۹۹۰	۳۱	۵
۲۰۰۰	۲۳	۴
۲۰۱۰	۱۲	۳
۲۰۲۰	۱۹	۵

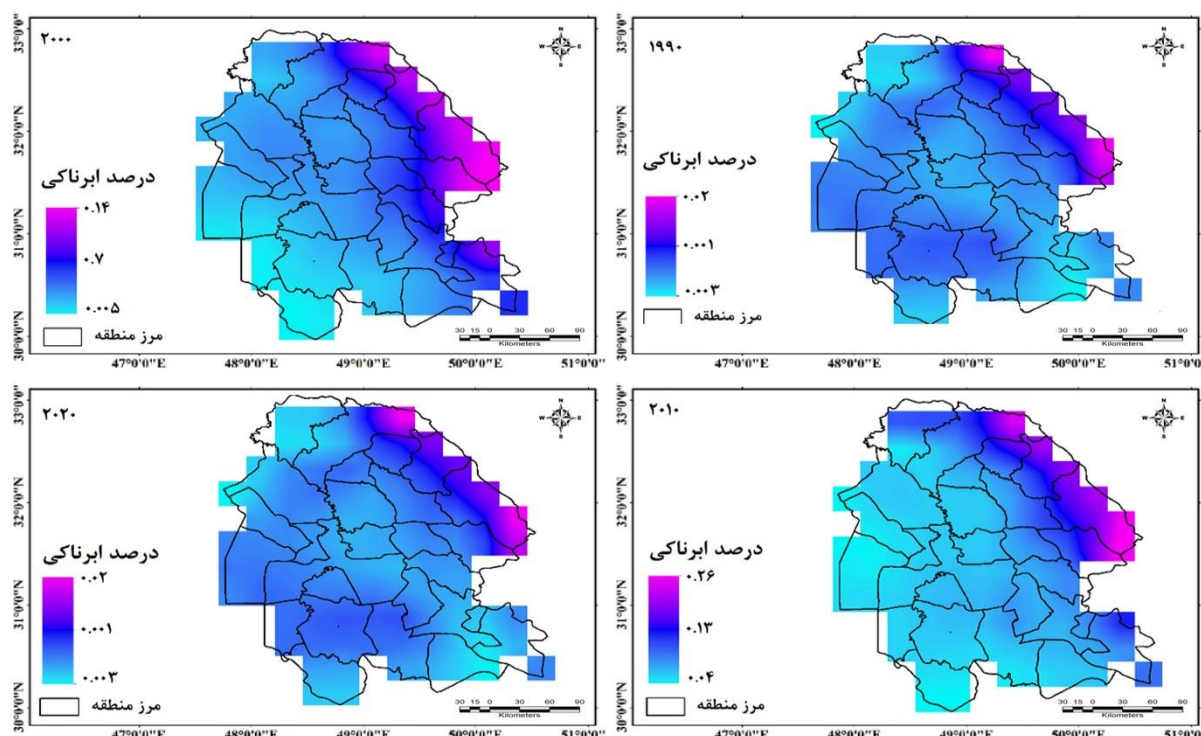
در زمستان میانگین ابرناکی ابرهای میانی به‌طور معناداری بیشتر از فصل‌های دیگر بوده است. این وضعیت نشان‌دهنده تسلط سامانه‌های بارشی مدیترانه‌ای و سودانی بر استان است. بیشترین تمرکز ابرها در شمال و شمال‌شرق استان تأیید می‌کند که عامل اوروگرافی زاگرس همچنان نقش اصلی را دارد. کاهش میانگین ابرناکی در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ را می‌توان ناشی از تغییرات ساختاری در مسیر حرکت سامانه‌های مدیترانه‌ای و نیز کاهش رطوبت سطحی دانست. نتایج مشابهی توسط Della Marta و همکاران (۲۰۱۹) در منطقه مدیترانه گزارش شده است. پیامد عملی این نتایج آن است که تغییرات مشاهده‌شده می‌تواند بر حجم آب ورودی به سدهای استان در فصل تغذیه‌ای نقش کلیدی داشته باشد

۳- ابرهای میانی در فصل تابستان

در شکل شماره (۴) توزیع فضایی ابرناکی تابستان (میانگین ماه‌های جولای تا سپتامبر) در سطح استان خوزستان با شبکه بندی ۰/۲۵ درجه قوسی ارائه شده است. همانطور که در این نقشه‌ها دیده می‌شود، به‌طور کلی در سال ۱۹۹۰ در سطح استان میزان ابرناکی سطح میانی از ۰/۰۳ درصد تا ۰/۲۰ درصد متفاوت بوده است. میانگین فضایی ابرناکی در این سال برابر ۰/۰۷ درصد بوده است (جدول ۴) ضریب تغییرپذیری فضایی ابرناکی زمستانه ابرهای سطح میانی در سطح استان نیز در زمستان سال ۱۹۹۰ برابر ۰/۰۳ درصد بوده است. در بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی استان درصد ابرناکی ابرهای سطح میانی، بالا بوده است در حالی که دیگر بخش‌های استان خوزستان میزان ابرناکی نزدیک به صفر است.

در سال ۲۰۰۰ به‌طور کلی در تابستان، میانگین فضایی ابرناکی ابرهای سطح میانی جو افزایش پیدا کرده است و به حدود ۰/۰۴ درصد رسیده است. در این دوره، ابرهای میانی به‌طور متوسط از ۰ تا ۱۴ درصد در پهنه استان متفاوت بوده است. جنوب منطقه و مرکز و همچنین غرب منطقه درصد ابرناکی ابرهای میانی در این سال به صفر رسیده است. در این فصل نیز بیشترین میزان ابرناکی در بخش‌های شرق و شمال شرق به استان بوده است. در این دوره ضریب تغییرپذیری ابرناکی ابرهای میانی در سطح استان به ۰/۰۳ درصد رسیده است.

در سال ۲۰۱۰، الگوی کلی ابرناکی در سطح استان خوزستان به شکل سال ۲۰۰۰ بوده است با این تفاوت که میزان ابرناکی افزایش یافته است. در این فصل نیز بیشترین میزان ابرناکی در بخش‌های شرق و شمال شرق استان بوده است. در این دوره ضریب تغییرپذیری ابرناکی ابرهای میانی در سطح استان خوزستان به ۰/۰۴ درصد رسیده است. در سال ۲۰۲۰ نیز الگوی توزیع فضایی ابرناکی در سطح استان خوزستان همانند سال‌های دیگر بوده است اما میزان ابرناکی در سطح استان بشدت کاهش یافته و نزدیک به صفر بوده است.



شکل ۴. توزیع فضایی درصد ابرناکی آسمان بر اثر ابرهای سطح میانی در فصل تابستان (میانگین ماه‌های جولای تا سپتامبر) طی ۴ دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰

همانطور که در جدول (۴) دیده می‌شود، بالاترین میانگین فضایی ابرناکی ابرهای سطح میانی در تابستان، مربوط به تابستان سال ۲۰۱۰ بوده است البته بالاترین انحراف معیار نیز مربوط به همین سال بوده است.

جدول ۴. درصد ابرناکی آسمان بر اثر ابرهای سطح میانی در فصل تابستان (میانگین ماه‌های جولای تا سپتامبر) طی ۴ دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰

میانگین فضایی ابرناکی (درصد)	انحراف معیار فضایی ابرناکی (درصد)	
۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۱۹۹۰
۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۲۰۰۰
۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۲۰۱۰
۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۲۰۲۰

در تابستان درصد ابرناکی به حداقل رسیده است. این الگو نشان‌دهنده تسلط کامل پراتفاق جنب‌حاره‌ای و شرایط وارونگی حرارتی بر استان است که مانع رشد ابرهای میانی می‌شود. افزایش نسبی ابرناکی در سال ۲۰۱۰ می‌تواند به رخدادهای خاص جوی و یا نفوذ موقتی توده‌های مرطوب از خلیج فارس یا دریای سرخ مرتبط باشد. به هر حال، کمترین سهم ابرها در تابستان تأکید می‌کند که بارش‌های مؤثر این فصل در خوزستان تقریباً ناچیز است و در برنامه‌ریزی منابع آب کشاورزی نباید روی آن حسابی باز کرد.

۴- ابرهای میانی در فصل پاییز

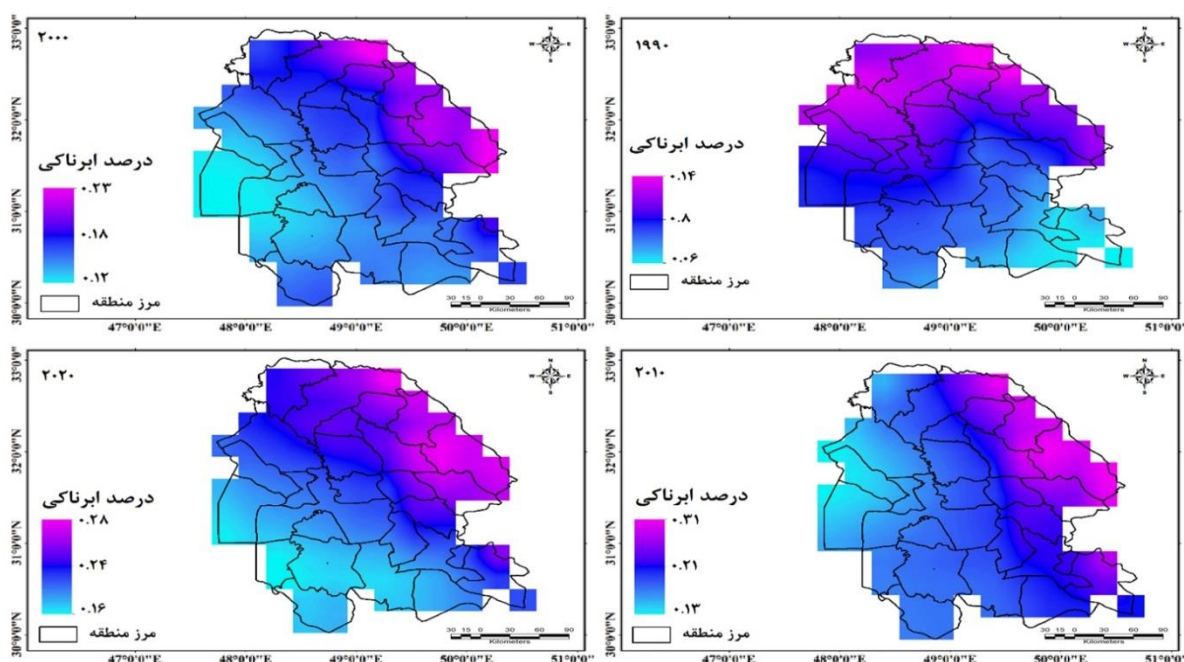
در شکل شماره (۵) توزیع فضایی ابرناکی پاییز (میانگین ماه‌های نوامبر تا دسامبر) در استان خوزستان با شبکه بندی ۰/۲۵ درجه قوسی ارائه شده است. همانطور که در این نقشه‌ها دیده می‌شود، به طور کلی در سال ۱۹۹۰ در سطح استان میزان ابرناکی سطح میانی از ۰/۰۶ درصد تا ۱۴ درصد متفاوت بوده است. میانگین فضایی ابرناکی در این سال برابر ۱۰ درصد بوده است (جدول ۵)

ضریب تغییرپذیری فضایی ابرناکی پاییزه ابرهای سطح میانی در سطح استان خوزستان نیز در پاییز سال ۱۹۹۰ برابر ۱ درصد بوده است که به نوعی بیانگر توزیع فضایی نسبتاً ناهمگون ابرناکی در سطح استان است. توزیع فضایی ابرها به گونه‌ای بوده است که تمام نواحی ای که در نوار شمالی استان خوزستان قرار دارند میزان ابرناکی بالایی را داشته‌اند و به سمت جنوب منطقه مزالعاتی از میزان ابرناکی کاسته می‌شود.

در سال ۲۰۰۰ به طور کلی در پاییز، میانگین فضایی ابرهای سطح میانی جو افزایش پیدا کرده است و به حدود ۱۶ درصد رسیده است. در این دوره، ابرهای میانی به طور متوسط از ۱۲ تا ۲۳ درصد در پهنه استان متفاوت بوده است. بخش‌های جنوبی استان به ویژه جنوب غرب استان درصد ابرناکی ابرهای میانی در این سال به صفر رسیده است. در این فصل نیز بیشترین میزان ابرناکی در بخش‌های شمال و شمال شرق استان بوده است که به بیش از ۲۰ درصد از آسمان رسیده است. در این دوره ضریب تغییرپذیری ابرناکی ابرهای بالا در سطح استان خوزستان به ۲ درصد رسیده است.

در سال ۲۰۱۰، الگوی کلی ابرناکی متفاوت تر بوده و اندکی نزدیک به سال ۲۰۰۰ بوده است. نوار شمال شرق استان دارای بالاترین میزان ابرناکی بوده‌اند و درصد ابرناکی ابرهای سطح میانی در این بخش از استان به بیش از ۲۰ درصد می‌رسد. در حالی که بخش‌های جنوب استان در این سال در فصل پاییز، کمترین میزان ابرناکی را داشته‌است. در این سال میانگین فضایی ابرناکی در سطح استان به ۲۲ درصد رسیده است و انحراف معیار فضایی ابرهای سطح بالا نیز در سطح استان خوزستان به ۴ درصد رسیده است.

اما در سال ۲۰۲۰ نیز الگوی توزیع فضایی ابرناکی در سطح استان خوزستان همانند سال ۲۰۱۰ بوده است اما میزان ابرناکی در سطح استان بین ۱۶ تا ۲۸ درصد متفاوت بوده است و نسبت به سال ۲۰۱۰ کاهش یافته است. نوار شمال شرق استان دارای بالاترین میزان ابرناکی بوده‌اند و درصد ابرناکی ابرهای سطح میانی در این بخش از استان به بیش از ۱۵ درصد می‌رسد. در حالی که بخش‌های جنوبی استان و خصوصاً جنوب غرب در این سال در فصل پاییز، کمترین میزان ابرناکی را داشته‌است. در این سال میانگین فضایی ابرناکی در سطح استان به ۱۰ درصد رسیده است و انحراف معیار فضایی ابرهای سطح بالا نیز در سطح استان به ۳ درصد رسیده است.



شکل ۵. توزیع فضایی درصد ابرناکی آسمان بر اثر ابرهای سطح میانی در فصل پاییز (میانگین ماه‌های اکتبر تا نوامبر)

طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰

همانطور که در جدول (۵) دیده می‌شود، بالاترین میانگین فضایی ابرناکی ابرهای سطح میانی در پاییز، مربوط به پاییز سال ۲۰۱۰ بوده است البته بالاترین انحراف معیار نیز مربوط به همین سال بوده است.

جدول ۵. درصد ابرناکی آسمان بر اثر ابرهای سطح میانی در فصل پاییز (میانگین ماه‌های اکتبر تا نوامبر) طی ۴ دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰

سال	میانگین فضایی ابرناکی (درصد)	انحراف معیار فضایی ابرناکی (درصد)
۱۹۹۰	۱۰	۱
۲۰۰۰	۱۶	۲
۲۰۱۰	۲۲	۴
۲۰۲۰	۲۱	۳

در پاییز افزایش ابرناکی نسبت به تابستان مشهود است که بیانگر آغاز نفوذ سامانه‌های بارشی مدیترانه‌ای است. بیشترین ابرناکی در شمال و شمال شرق استان دیده شده که باز هم نقش کوهستان زاگرس را برجسته می‌کند. کاهش محسوس ابرناکی در سال ۲۰۲۰ می‌تواند به روندهای اخیر تغییر اقلیم و افزایش دمای سطحی منطقه مرتبط باشد. این کاهش پیامدهایی چون تأخیر در شروع بارش‌های پاییزه دارد که برای کشاورزان استان (به‌ویژه کشت‌های پاییزه مثل گندم و جو) اهمیت حیاتی دارد.

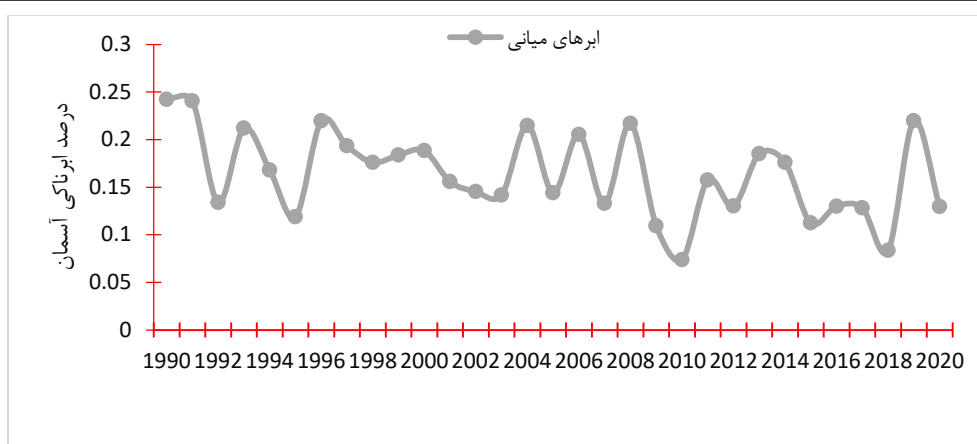
ب) روند سری زمانی ابرناکی

در این بخش اقدام به بررسی وضعیت روند بلندمدت ابرناکی متوسط سطح استان خوزستان طی یک دوره آماری ۳۰ ساله، یعنی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰، به تفکیک دو فصل گرم (میانگین ماه‌های می تا سپتامبر) و سرد (میانگین ماه‌های نوامبر تا مارس) می‌شود. در جدول (۶) مشخصات آمار توصیفی ویژگی‌های ابرناکی متوسط سطح استان طی دوره آماری ۳۰ ساله ارائه شده است. همانطور که در این جدول دیده می‌شود، به طور متوسط در فصل سرد سال، ابرهای میانی سهمی ۰/۱۶ درصدی و در فصل گرم سهم ۰/۰۲ در پوشش ابرناکی آسمان استان داشته‌اند. در دوره گرم سال به طور کلی درصد ابرناکی آسمان به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. براساس شاخص ابرناکی کل در دوره گرم، ۰/۰۲۲ درصد آسمان ابری بوده است و در دوره سرد سال حد ۳۷ درصد از آسمان ابری بوده است.

جدول ۶. ویژگی‌های ابرناکی آسمان استان خوزستان طی دوره آماری ۳۰ ساله

دوره گرم	دوره سرد	
۰/۰۲۲	۰/۳۷	ابرناکی کل (درصد از آسمان)
۰/۰۲	۰/۱۶	ابرهای میانی (درصد از آسمان)

در شکل (۶) روند سری زمانی ۳۰ ساله درصد ابرناکی ثبت شده در استان خوزستان ابرهای میانی در دوره سرد سال (نوامبر تا مارس) ارائه شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، به طور کلی طی دوره ۳۰ ساله مورد بررسی درصد ابرناکی در سطح استان دارای نوسانات سالانه قابل توجهی بوده است که این نوسانات سالانه در ابر میانی دیده می‌شود. اما به طور کلی روند قابل مشاهده و معنی داری در سری زمانی ۳۰ ساله ابرناکی در استان در دوره سرد سال دیده نشد.



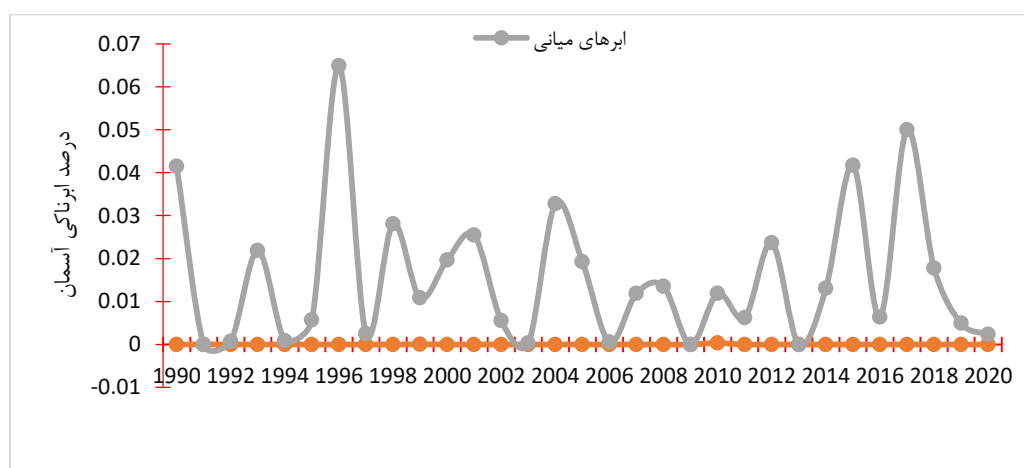
شکل ۶. روند سری زمانی ۳۰ ساله درصد ابرناکی متوسط استان خوزستان برای ابرهای میانی در دوره سرد سال (نوامبر تا مارس)

همانطور که در جدول (۷) دیده میشود، براساس دو تست آنالیز روند من کندال و تخمین گر شیب Sen در روند ابرناکی آسمان استان خوزستان (ابرهای میانی)، در دوره سرد سال روند معنی داری دیده نشده است.

جدول ۷. دو آماره تحلیل روند من-کندال و تخمین گر شیب Sen، برای شاخص های ابرناکی دوره سرد سال استان خوزستان (میانگین فضایی)

ابرهای میانی (درصد از آسمان)	شاخص شیب Q-در سطح اطمینان ۰/۹۵	آماره T محاسباتی من کندال	T بحرانی من-کندال
۰/۰۰۹	۰/۰۰۱۹	± ۱/۹۶	

در شکل (۷) روند سری زمانی ۳۰ ساله درصد ابرناکی ثبت شده متوسط استان برای ابرهای میانی در دوره گرم سال (می تا سپتامبر) ارائه شده است. همانطور که در این شکل دیده می شود، به طور کلی طی دوره ۳۰ ساله مورد بررسی، درصد ابرناکی دارای نوسانات سالانه قابل توجهی بوده است که این نوسانات سالانه در ابر میانی نیز دیده می شود. در دوره گرم سال سهم ابرهای میانی دارای سهم بیشتری بوده اند و به طور کلی نیز نوسان سالانه بالاتری را داشته اند.



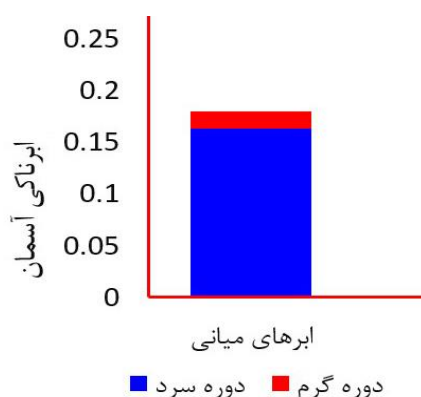
شکل ۷. روند سری زمانی ۳۰ ساله درصد ابرناکی ثبت شده متوسط استان خوزستان برای ابرهای میانی در دوره گرم سال (می تا سپتامبر)

همانطور که در جدول (۸) دیده می شود، براساس دو تست آنالیز روند من کندال و تخمین گر شیب Sen در روند ابرناکی آسمان استان خوزستان ابرهای میانی، در دوره گرم سال روند معنی داری دیده نشده است.

جدول ۸. دو آماره تحلیل روند من-کندال و تخمینگر شیب Sen، برای شاخص‌های ابرناکی دوره گرم سال استان خوزستان (میانگین فضایی)

ابرهای میانی (درصد از آسمان)	شاخص شیب Q-در سطح اطمینان ۰/۹۵	آماره T محاسباتی من کندال	T بحرانی من-کندال
۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۳	± ۱/۹۶	

از لحاظ سهم ابرناکی، درصد ابرناکی آسمان ابرهای میانی در دوره گرم (۰/۰۱۶) و سرد (۰/۱۶۳) سال براساس میانگین دوره ۳۰ ساله در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸. مقایسه درصد ابرناکی آسمان ابرهای میانی در دوره گرم و سرد سال براساس میانگین دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰)

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، الگوی توزیع فضایی و روند بلندمدت ابرهای میانی در استان خوزستان طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) بررسی شد. یافته‌ها نشان داد که ابرهای میانی در دوره سرد سال سهم قابل توجهی در ابرناکی کل استان دارند، در حالی که در دوره گرم سال سهم آن‌ها بسیار کمتر است. همچنین توزیع فضایی ابرها در استان دارای تفاوت‌های قابل توجه مکانی بوده است؛ بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی بیشترین میزان ابرناکی را داشته‌اند و بخش‌های جنوبی و جنوب‌شرقی کمترین میزان را نشان داده‌اند.

اطلاعات حاصل از این مطالعه کاربردهای عملی مهمی دارد. نتایج می‌تواند در مدیریت منابع آب و سدها، برنامه‌ریزی کشاورزی، پیش‌بینی بارش و کاهش خطر خشکسالی، و صدور هشدارهای جوی منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. تحلیل روندهای بلندمدت ابرها همچنین می‌تواند به درک بهتر اثرات تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی بر سیستم‌های جوی و هیدرولوژیک استان کمک کند.

با این حال، پژوهش حاضر محدودیت‌هایی دارد: داده‌های ERA5 با دقت بالا، علی‌رغم بازتحلیل جامع، ممکن است شامل خطاهای مکانی و زمانی باشند و نوسانات کوتاه‌مدت روزانه یا ساعتی ابرها در این تحلیل لحاظ نشده است. پژوهش‌های آینده می‌توانند با استفاده از داده‌های ایستگاهی، ماهواره‌ای با رزولوشن بالاتر، و مدل‌های عددی پیشرفته تحلیل دقیق‌تر و جامع‌تری از رفتار ابرهای میانی ارائه دهند.

References

- Ahmadi, M., Ahmadi, H., & Dadashi Roudbari, A. (2018). An analysis of the trend and spatial pattern of annual and seasonal cloudiness in Iran. *Environmental Hazards Journal*, 7(5), 237–254. (In Persian)
- Brüning, S. and Tost, H.: (2025) A machine learning-based perspective on deep convective clouds and their organisation in 3D. Part I: Influence of deep convective cores on the cloud life-cycle, *EGUsphere* [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-374>,
- Dim, J. R., H. Murakami, T. Y. Nakajima, B. Nordell, A. K. Heidinger, and T. Takamura, (2011), The recent state of the climate: Driving components of cloud-type variability. *J. Geophys. Research.*, 116, 1-14.
- Fallahi Khoshji, A., Alijani, B., Hejazi Zadeh, Z., & Nasarzadeh, M. H. (2017). Spatial pattern of frequency and intensity changes of rain-bearing low-level clouds in Iran. *Environmental Hazards Journal*, 6(13), 1–14. (In Persian)
- Houshyar, M., Sobhani, B., & Hosseini, S. A. (2018). Projection of maximum temperature changes in Urmia using statistical downscaling of CanESM2 model outputs. *Geography and Planning*, 22(63), 305–325. <https://doi.org/10.1016/j.geop.2018.04.015>. (In Persian)
- Ibraheem, N. T., Al-Zuhairi, M. F., Al-Montaser, Z. N., & Al-Jiboori, M. H. (2025). Investigating the spatial variations of cloud cover properties over Iraq. *International Journal of Environmental Sciences*, 11(6), 1742. <https://theaspd.com/index.php>
- Jaswal, A. K. (2017). *Variability and Changes in Cloud Cover Over India During 1951–2010*. (107-127).
- Kang, H., Wang, H., Wu, Q., & Zhang, Y. (2025). Detection and Spatiotemporal Distribution Analysis of Vertically Developing Convective Clouds over the Tibetan Plateau and East Asia Using GEO-KOMPSAT-2A Observations. *Remote Sensing*, 17(8), 1427. <https://doi.org/10.3390/rs17081427>
- Karimi Ahmadabad, M., & Ghasemi, E. (2017). Examining the phenomenon of climate change with a multi-criteria decision-making approach. *Geography and Planning*, 21(61),
- Maleki Morshed, R., Salahi, B., & Saber, M. (2024). Analysis of precipitation changes in northwestern Iran over the coming decades based on GCM models. *Geography and Planning*, 28(90), 367–389. <https://doi.org/10.22034/gp.2024.59552.3212>. (In Persian)
- 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 Sensing*, 3(11), 2305-2320. <https://doi.org/10.3390/rs3112305>
- Raeispor, K., & Razmi, R. (2020). Estimating cloudiness over Iran using MISR multi-angle imaging spectroradiometer products. *Iranian Journal of Water Resources Research*, 16(36), 257–271. (In Persian)
- Raichijk, C. (2012). Observed trends in sunshine duration over South America. *International Journal of Climatology*, 32(5), 669-680
- Shamohammadi, Z., Yarahmadi, D., & Mirhashemi, H. (2024). Temporal and spatial analysis of low-level cloud cover over Iran. *Climate Change and Weather Hazards*, 3(5), e714759. <https://doi.org/10.22034/e714759> (In Persian)
- Wang, P. K. (2013). Physics and dynamics of clouds and precipitation. *Cambridge University Press*
- Wenjing, Z., Ning, Z., & Jianning, S. (2014). Spatiotemporal Variations of Cloud Amount over the Yangtze River Delta, China. *Journal of Meteorological Research*, 28(3), 371-380.
- World Meteorological Organization. (2008). Guide to meteorological instruments and methods of observation. Secretariat of the World Meteorological Organization
- Wu, Y.; Gao, J.; Zhao, A. (2024). Cloud properties and dynamics over the Tibetan Plateau—A review. *Earth-Sci. Rev.* 248, 104633.

- Xie, X., Ma, L., Yao, J., & Mao, W. (2025). Spatiotemporal Variability of Cloud Parameters and Their Climatic Impacts over Central Asia Based on Multi-Source Satellite and ERA5 Data. *Remote Sensing*, 17(15), 2724. <https://doi.org/10.3390/rs17152724>
- Yousefi, M., Saligheh, M., & Karbalaee-Darayi, A. (2024). Analysis of cloud cover changes during the cold season in southeastern Iran. *Climate Change Research*, 5(20), 49–64. <https://doi.org/10.30488/ccr.2024.470082.1233> (In Persian)
- Zarei, Y., Mohammadkhorshiddoust, A., Rezaei Banafshah, M., & Rostamzadeh, H. (2023). Assessing the effects of global climate change on climatic elements of temperature and precipitation in different climatic regions of Iran using RCP scenarios. *Geography and Planning*, 27(83), 63–71. <https://doi.org/10.22034/gp.2023.10791>. (In Persian)
- Zhou, C., Zelinka, M. & Klein, S. Impact of decadal cloud variations on the Earth's energy budget. *Nature Geosci* 9, 871–874 (2016). <https://doi.org/10.1038/ngeo2828>