



Synoptic Analysis of Heavy Rainfall in the Eastern Half of Iraq (Case Study: April 12, 2023)

Hayder Abdullah Zwaed Al-Arjane, ²⁸

1. College of Basic Education, Misan University, Iraq. Email: hayder8a@gmail.com

Article Info

Article type

Research Article

Article history:

Received

4 February 2026

Received in revised

26 April 2026

Accepted

29 May 2026

Available online

30 June 2026

Keywords:

Torrential Rainfall,
Synoptic Analysis,
Trough,
Low Pressure,
Iraq.

ABSTRACT

Objective: Heavy and torrential rainfall in arid and semi-arid regions such as Iraq, although rare, can cause significant damage to infrastructure and human populations when they occur. On April 12, 2023, widespread heavy rainfall occurred in the eastern half of Iraq, leading to street flooding, disruption of normal life, and damage to various sectors. The aim of this study is to analyze and investigate the synoptic and dynamic patterns governing the atmosphere during the occurrence of this rainfall event, in order to provide more accurate predictions of similar events in the future by identifying the contributing factors.

Method: For this purpose, data from four synoptic maps were used, including precipitation, 500 hPa geopotential height, 850 hPa vorticity, sea level pressure, relative humidity, 850 hPa streamlines, and 100 hPa wind. The research method was based on visual analysis and physical interpretation of these maps on the study day, which were prepared and plotted using specialized meteorological software.

Results: The results showed that a deep trough in the mid-troposphere (500 hPa) over the eastern Mediterranean, along with a strong surface low-pressure system over the Persian Gulf, created conditions for dynamic ascent and moisture convergence. The moisture required for this system was injected into the region from the Red Sea, Persian Gulf, and Arabian Sea via southerly winds. The presence of strong positive vorticity at 850 hPa and relative humidity exceeding 85% intensified atmospheric instability, leading to the formation of cumulonimbus clouds and torrential rains accompanied by thunderstorms. Furthermore, the significant pressure difference between the Persian Gulf low-pressure system and European high-pressure systems increased the pressure gradient and intensified the southerly flow.

Conclusions: In conclusion, the simultaneous combination of a deep trough, surface low pressure, high atmospheric moisture, and severe atmospheric instability were the main factors causing the torrential rains in southern and eastern Iraq on the studied date. This research demonstrates that the coincidence of synoptic and dynamic factors at different atmospheric levels plays a decisive role in the occurrence of torrential rainfall in arid regions.

Cite this article: Al-Arjane, H, (2026). Synoptic Analysis of Heavy Rainfall in the Eastern Half of Iraq (Case Study: April 12, 2023), 1(1), 174-184.. <https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.11.1>



© © Author(s) retain the copyright and full publishing rights

Publisher: : Lorestan University.



DOI: <https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.11.1>

1. Introduction

Climate change has increased extreme weather events in the Middle East, including Iraq. Iraq faces hazards like drought, dust storms, and floods, impacting environment, agriculture, and water availability. Annual rainfall averages 221 mm, decreasing from north to south. Mid-latitude precipitation depends on upper-level circulation, with 500 hPa troughs over the eastern Mediterranean enhancing instability and heavy rainfall. Studies (Jabbar et al., 2019; Khalifa University, 2023) show cut-off systems

2. Methodology

Eastern half of Iraq (29°–37°N, 39°–49°E), including Basra, Maysan, Dhi Qar, Wasit, Diyala, Sulaymaniyah, Erbil, and Dohuk provinces, where over 50 mm of rainfall was recorded on April 12, 2023.

Synoptic analysis using ERA5 reanalysis data (0.25° × 0.25° resolution) including 500 hPa

and atmospheric rivers play key roles in torrential rains. Research emphasizes 500 hPa geopotential height for forecasting, with troughs and cut-off systems driving air ascent (Jabbar & Hassan, 2023; Kazem et al., 2022). Moisture sources include the Red Sea and Persian Gulf (Mohammed et al., 2023). This study aims to comprehensively analyze synoptic, dynamic, and thermodynamic patterns on April 12, 2023, to understand the causes of this heavy rainfall event in eastern Iraq.

geopotential height, 100 hPa wind speed, relative humidity, 850 hPa streamlines and vorticity, and sea level pressure. Visual interpretation and physical understanding of synoptic maps were employed to identify and interpret weather systems affecting the region..

3. Results

The precipitation map showed a concentrated rainfall zone in eastern Iraq with over 50 mm in the core, indicating a significant event for this arid region. A deep 500 hPa trough over the eastern Mediterranean and northern Arabia, with a strong subtropical jet stream exceeding 50 knots, provided dynamic ascent mechanisms. Strong positive vorticity ($>3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) at 850 hPa over eastern Iraq, resulting from a surface low-pressure system (1000 hPa) over the Persian Gulf, indicated low-level

cyclogenesis. A 100 hPa jet stream ($>140 \text{ km/h}$) placed Iraq in an upper-level divergence zone. A strong pressure gradient between the Persian Gulf low and a Mediterranean high (1020 hPa) generated southerly winds transporting moisture. An 850 hPa moisture tongue exceeding 85% relative humidity, combined with streamline convergence and a low-level jet (25-30 knots), created ideal conditions for rapid convective uplift and cumulonimbus formation.

4. Discussion

The heavy rainfall resulted from simultaneous interaction of multiple synoptic systems. The 500 hPa trough provided upper-level divergence and cold air advection, while the surface low over the Persian Gulf and Mediterranean high created a strong pressure gradient driving moist southerly winds. An atmospheric river transported moisture from the Red Sea, Persian Gulf, and Arabian Sea.

Positive vorticity advection at 850 hPa and streamline convergence enhanced convective uplift. The overlapping of upper-level divergence, low-level convergence, abundant moisture, and thermal instability produced cumulonimbus clouds and torrential rain. Spatial distribution, with maxima in eastern Iraq, was influenced by trough position, moisture pathways, and orographic

enhancement by the Zagros Mountains. This mechanism, combining deep trough, surface low, positive vorticity, high moisture, and

5. Conclusion

The April 12, 2023, heavy rainfall in eastern Iraq resulted from a multi-layered atmospheric mechanism. A deep 500 hPa trough provided dynamic forcing for ascent, while a surface low (1000 hPa) over the Persian Gulf and a Mediterranean high created a strong pressure gradient driving moist southerly winds. An atmospheric river transported high humidity (>85%) from the Red Sea, Persian Gulf, and Arabian Sea. Strong positive vorticity at 850 hPa and intense streamline convergence created ideal conditions for convective ascent. The overlap of upper-level divergence, low-level

convergence, creates a spring flood-producing system recurring every few years in southern Iraq.

convergence, abundant moisture, and thermal instability formed deep cumulonimbus clouds and torrential rainfall. Maximum precipitation in eastern Iraq was influenced by trough alignment, moisture pathways, and Zagros Mountains orographic enhancement. This study confirms that the combination of a deep mid-tropospheric trough, surface low pressure, strong positive vorticity, high moisture content, and streamline convergence creates a spring flood-producing mechanism that recurs periodically in southern Iraq, highlighting the need for high-resolution monitoring and forecasting to mitigate flood damages.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Ethical Considerations

All authors affirm that this research was conducted in accordance with ethical standards, with no data fabrication, falsification, or plagiarism.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements

We are very grateful to everyone who assisted us in conducting this research.

Funding

This research was conducted with the support of the [Institutional Name]. The authors would like to express their sincere gratitude and appreciation to these institutions for their valuable support.



تحلیل سینوپتیکی بارش سنگین در نیمه شرقی عراق (مطالعه موردی: ۱۲ آوریل ۲۰۲۳)

حیدر عبدالله زوید العرجانی  ^۱

۱. دانشکده آموزش پایه، دانشگاه میسان، عراق. رایانامه: hayder8a@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

کلیدواژه‌ها:

بارش سیل آسا،

تحلیل سینوپتیکی،

ناوه،

کم فشار،

عراق.

هدف: بارش‌های سنگین و سیل آسا در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند عراق، اگرچه پدیده‌ای نادر محسوب می‌شوند، اما در صورت وقوع می‌توانند خسارات جانی و مالی قابل توجهی به زیرساخت‌ها، تأسیسات شهری و جمعیت انسانی وارد آورند. در تاریخ ۱۲ آوریل ۲۰۲۳، بارش‌های شدید و گسترده‌ای در نیمه شرقی عراق رخ داد که منجر به آبگرفتگی معابر، اختلال در زندگی عادی شهروندان و وارد آمدن خسارات به بخش‌های مختلف گردید. هدف از این مطالعه، تحلیل و بررسی الگوهای سینوپتیکی و دینامیکی حاکم بر جو در زمان وقوع این رخداد بارشی است تا با شناسایی عوامل مؤثر، بتوان پیش‌بینی دقیق‌تری از رویدادهای مشابه در آینده ارائه داد.

روش‌ها: بدین منظور، از داده‌های مربوط به چهار نقشه سینوپتیک شامل نقشه بارش، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، فشار تراز دریا، رطوبت نسبی، خطوط جریان در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و باد تراز ۱۰۰ هکتوپاسکال استفاده شد. روش تحقیق مبتنی بر تحلیل دیداری و تفسیر فیزیکی این نقشه‌ها در روز مورد مطالعه بود که توسط نرم‌افزارهای تخصصی هواشناسی تهیه و ترسیم گردیدند.

نتایج: نتایج حاصل از تحلیل نقشه‌ها نشان داد که یک ناهه عمیق در تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) در شرق مدیترانه، همراه با یک کم‌فشار قوی در سطح زمین بر روی خلیج فارس، شرایط را برای صعود دینامیکی و همگرایی رطوبت فراهم کرده بود. رطوبت مورد نیاز این سامانه از دریای سرخ، خلیج فارس و دریای عرب و توسط بادهای جنوبی به منطقه تزریق شده است. وجود تاوایی مثبت شدید در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی بالای ۸۵ درصد، ناپایداری جو را تشدید کرده و منجر به تشکیل ابرهای کومولونیمبوس و بارش‌های رگباری و رعد و برق گردید. همچنین، اختلاف فشار قابل توجه بین کم‌فشار خلیج فارس و پرفشارهای اروپایی، سبب افزایش شیو فشار و شدت جریانات جنوبی شده بود.

نتیجه‌گیری: در مجموع، ترکیب همزمان ناهه عمیق، کم‌فشار سطحی، رطوبت بالای جو و ناپایداری شدید جو، عامل اصلی بارش‌های سیل آسا در جنوب و شرق عراق در تاریخ مورد مطالعه بود. این پژوهش نشان می‌دهد که همزمانی عوامل همدیدی و دینامیکی در ترازهای مختلف جو، نقش تعیین‌کننده‌ای در وقوع بارش‌های سیل آسا در مناطق خشک دارد.

استناد: العرجانی، ح، حاجری، (۱۴۰۵). تحلیل سینوپتیکی بارش سنگین در نیمه شرقی عراق (مطالعه موردی: ۱۲ آوریل ۲۰۲۳)، (۱)، ۱۷۴-۱۸۴.

<https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.11.1>



<https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.11.1>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه لرستان.

۱. مقدمه

روند تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر منجر به افزایش فراوانی و شدت رویدادهای حدی آب و هوایی در بسیاری از نقاط جهان، از جمله خاورمیانه شده است. منطقه عراق به دلیل موقعیت جغرافیایی خود، همواره در معرض مخاطرات طبیعی متعددی از جمله خشکسالی، طوفان‌های گرد و غبار و سیلاب قرار دارد. خشکسالی‌ها، سیلاب‌ها، امواج گرما و طوفان‌های گرد و غبار، تأثیرات منفی بر محیط زیست، کشاورزی، در دسترس بودن آب و سایر جنبه‌های زندگی روزمره جمعیت عراق گذاشته‌اند. میانگین بارش سالانه این کشور حدود ۲۲۱ میلی‌متر است که از شمال (مرطوب‌تر) به جنوب (خشک‌تر) به شدت کاهش می‌یابد. بارش در عرض‌های میانی به شدت به الگوهای گردش جو در سطوح فوقانی وابسته است. وجود یک ناوه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی شرق مدیترانه، از طریق فرارفت هوای گرم و مرطوب از مناطق حاره‌ای، می‌تواند ناپایداری باروکلینیک را بر فراز عراق افزایش داده و منجر به بارش‌های سنگین و سیل‌آسا گردد. مطالعات متعددی به بررسی ارتباط بین سامانه‌های بریده و ناوه‌ها با بارش‌های سنگین در عراق پرداخته‌اند. (Jabbar, M. A. R., & Hassan, A. S, 2023). در پژوهشی با عنوان «تحلیل دینامیکی رویدادهای باران شدید در عراق» نشان دادند که سامانه‌های بریده در تراز میانی جو می‌توانند تقویت‌کننده سامانه‌های کم‌فشار سطحی بوده و در صورت وجود رطوبت کافی، مقادیر قابل توجهی بارش ایجاد کنند. به تازگی، محققان دانشگاه خلیفه در ابوظبی در مطالعه‌ای که در مجله "Geophysical Research Letters" منتشر شد، نشان دادند که پدیده‌ای به نام «تنداب‌های رود جوی» نقشی اساسی در بارش‌های سیل‌آسا در خاورمیانه داشته است. این مطالعه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی، نشان داد که یک رود جوی قدرتمند که رطوبت را از منابع متعددی به منطقه مکش می‌کرد، علت اصلی این رویدادها بوده است. تحقیقات متعددی به اهمیت نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در پیش‌بینی و تحلیل بارش‌های سنگین تأکید کرده‌اند. این مطالعات نشان می‌دهند که کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل نسبت به عرض جغرافیایی نرمال، نشان‌دهنده

هوای ناپایدار است. (Jabbar, M. A. R., & Hassan, A. S, 2023). در مطالعه موردی خود ارتباط مستقیم بین الگوهای آب و هوایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و کم‌فشار سطحی را بررسی کردند. همچنین، مطالعه‌ای دیگر توسط (Kadhum, J. H., Al-Zuhairi, M. F., & Hashim, A. A, 2022). به تحلیل سینوپتیک و دینامیک چهار رویداد بارش حدی در عراق پرداخت که در آن از داده‌های ماموریت اندازه‌گیری بارش جهانی (GPM) استفاده شد. نتایج این مطالعات همگی حاکی از آن است که کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل و تشکیل یک ناوه یا سامانه بریده در این تراز، موتور محرکه اصلی صعود هوا و ناپایداری است. در مقابل، تحقیقات (Mutashar, H. H, 2026). به بررسی نقش فرورفتگی‌های ناوه‌ای در بارش‌های مرکز و جنوب عراق در فصول سرد سال (زمستان و بهار) پرداخته است. منابع رطوبتی که بارش‌های عراق را تغذیه می‌کنند، توسط محققان مختلف بررسی شده است. (Mohammed, A. J., Hashim, A. A., Kadhum, J. H., & Mohammed, S. K, 2023). با استفاده از مدل مسیر یابی برگشتی (HYSPLIT) نشان دادند که دریای سرخ و خلیج فارس بیشترین تأثیر را در میزان رطوبت توده‌های هوای رسیده به عراق دارند. بررسی نقشه‌های تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان، یکی از کلیدهای اصلی برای تشخیص مناطق همگرایی و چرخندزادی در سطوح پایین جو است. این سامانه‌ها مسئول جمع‌آوری و انتقال رطوبت به سمت منطقه هدف می‌باشند. یک رویکرد نوین در این زمینه، مطالعه رودخانه‌های جوی است. پژوهشی جدید توسط فرانسیس و همکاران (در دست انتشار) نشان داد که یک رود جوی قدرتمند و «تنداب‌های» درون آن، نقش کلیدی در بارش‌های ویرانگر در عراق و سایر کشورهای منطقه ایفا کرده است. تحلیل‌های آماری و اقلیمی بارش عراق: در کنار تحلیل‌های همدید، مطالعات آماری بلندمدت نیز به شناسایی رژیم‌های بارش عراق کمک کرده‌اند. (Rashidi AhmadAbad, E, 2015). در پژوهشی با عنوان «واکاوی زمانی و مکانی بارش در سرزمین عراق» با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده، الگوهای زمانی و مکانی بارش در این کشور را تحلیل کرد. این مطالعات نشان

تحقیق، تحلیل جامع و لایه لایه الگوهای سینوپتیکی، دینامیکی و ترمودینامیکی حاکم بر جو در روز ۱۲ آوریل ۲۰۲۳ است تا با شبیه سازی شرایط جوی و بررسی نقشه های همدید، بتوان به درک روشنی از زنجیره علل و عواملی که منجر به وقوع این بارش شدید شد، دست یافت

هواشناسی سینوپتیک برای شناسایی و تفسیر سیستم های جوی مؤثر بر یک منطقه خاص است. داده های مورد استفاده در این پژوهش شامل متغیرهای ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، سرعت باد در تراز ۱۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی، خطوط جریان و تلاویی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و همچنین فشار متوسط تراز دریا می باشد، این داده ها به صورت داده های باز تحلیل با قدرت تفکیک مکانی ۰,۲۵×۰,۲۵ درجه هستند که از پایگاه ERA5 اخذ گردیده است.

از نظر زمانی و مکانی، بیشینه بارش منطبق بر منطقه ای است که در سایر نقشه ها (تاوایی مثبت، رطوبت بالا و همگرایی جریان) همپوشانی دارند. نکته جالب اینکه بارش در شرق عراق (نزدیک مرز ایران) اندکی بیشتر از جنوب خالص (بصره) است. این افزایش را می توان به اثر توپوگرافی زاگرس نسبت داد: بادهای مرطوب جنوب شرقی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال هنگام برخورد به ارتفاعات غربی ایران، صعود اجباری پیدا کرده و بارش را تشدید کرده اند. همچنین، نبود بارش در غرب عراق (مثل استان الانبار) نشان می دهد که محور ناوه به اندازه کافی شرقی بوده و رطوبت دریاهای جنوبی مستقیماً به بخش شرقی عراق هدایت شده است. بنابراین، این نقشه به خوبی گویای این واقعیت است که بارش ۱۲ آوریل ۲۰۲۳ یک رویداد «شرقی-جنوبی» برای عراق بوده و نه یک سامانه مدیترانه ای کلاسیک (شکل ۱).

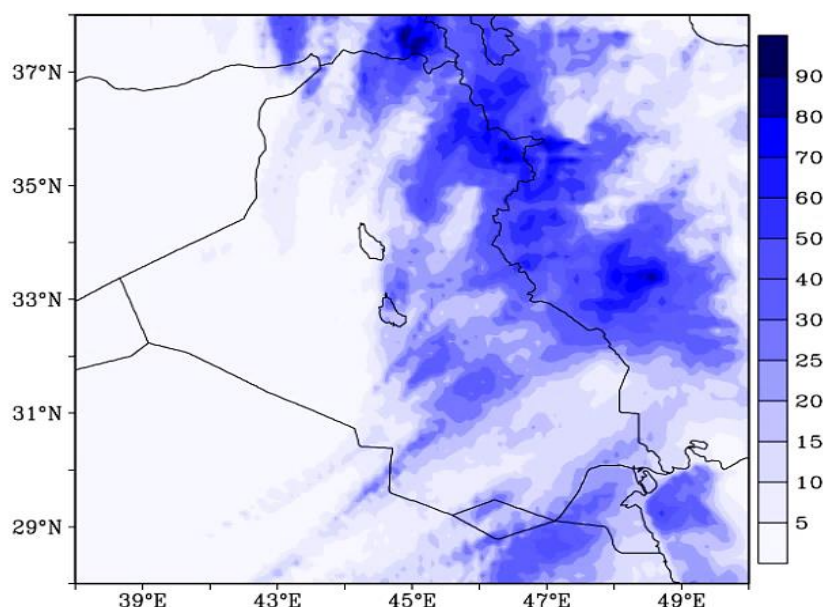
می دهند که بخش جنوبی عراق خشک ترین ناحیه است و کمترین میزان بارش را دریافت می کند، که این موضوع اهمیت وقوع بارش های سنگین و ناگهانی در این مناطق را دوچندان می کند. جدول زیر خلاصه ای از مهم ترین مطالعات انجام شده در این زمینه را نشان می دهد. هدف از انجام این

۲. مواد و روش

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، نیمه شرقی عراق است که بر اساس نقشه بارش، محدوده آن بین عرض های جغرافیایی ۲۹ تا ۳۷ درجه شمالی و طول های جغرافیایی ۳۹ تا ۴۹ درجه شرقی قرار دارد. این ناحیه شامل استان های بصره، میسان، ذی قار، واسط، دیالی، سلیمانیه، اربیل و دهوک می شود که در روز ۱۲ آوریل ۲۰۲۳ بیشترین میزان بارش (بیش از ۵۰ میلی متر) در آنها ثبت شده است. در این مطالعه، به منظور تحلیل سینوپتیکی بارش روز ۱۲ آوریل ۲۰۲۳ در نیمه شرقی عراق از روش تحلیل نقشه های همدید استفاده شد. این روش یکی از رایج ترین رویکردها در مطالعات

۳. یافته های تحقیق

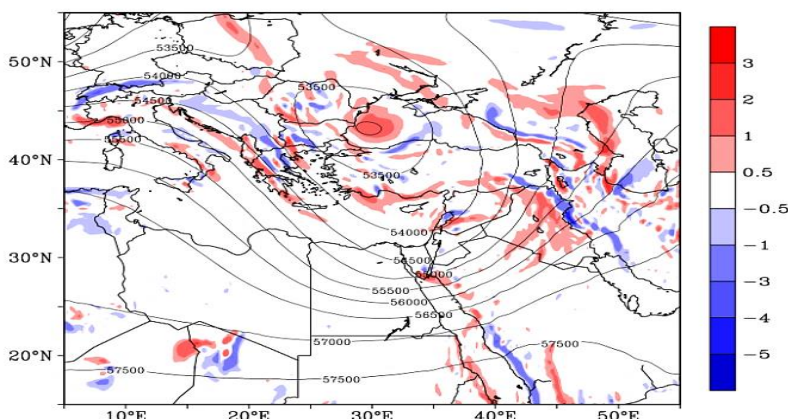
در نقشه بارش مربوط به ۱۲ آوریل ۲۰۲۳، پهنه بارشی به وضوح در نیمه شرقی عراق متمرکز شده است. شکل نوارهای هم بارش به صورت بیضی گون با کشیدگی شمال غربی- جنوب شرقی ترسیم شده است که همسو با جهت جریان باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال می باشد. مقدار بارش در هسته مرکزی به بیش از ۵۰ میلی متر می رسد که برای منطقه ای با اقلیم خشک و نیمه خشک مانند عراق جنوبی، یک رویداد قابل توجه محسوب می شود. الگوی بارش از نوع پراکنده ولی پیوسته دیده می شود که نشان از ماهیت همرفتی-جبهه ای سامانه دارد؛ به عبارت دیگر، توده های ابر کومولونیمبوس در امتداد یک خط همگرایی یا جبهه ساکن شکل گرفته اند. همچنین، حاشیه شمالی و غربی عراق از بارش قابل ملاحظه ای بی بهره بوده که حاکی از کنترل دقیق موقعیت ناوه و کم فشار سطحی بر توزیع بارش است. در مجموع، این نقشه تأیید می کند که نیمه شرقی عراق در روز مذکور در معرض یک سامانه بارش زای قوی قرار داشته است (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه تجمعی بارش با استفاده از داده‌ی GPM مربوط به روز ۱۲ آوریل ۲۰۲۳

در شکل دوم، ابتدا به الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) می‌پردازیم. یک ناوه عمیق با محور شمالی-جنوبی از شرق مدیترانه (حدود ۳۵ درجه شرقی) تا شمال عربستان (حدود ۳۰ درجه شمالی) کشیده شده است. خطوط هم ارتفاع در شرق این ناوه به شدت فشرده هستند که نشان از وجود جت‌استریم جنب‌حاره‌ای با سرعت بیش از ۵۰ گره دارد. محور ناوه دقیقاً بر روی غرب عراق قرار دارد؛ در نتیجه، جلوی ناوه (بخش شرقی آن) منطبق بر شرق عراق می‌شود. در این ناحیه، فرارفت هوای سرد در جو میانی باعث افزایش ناپایداری و صعود دینامیکی می‌شود. ارتفاع ژئوپتانسیل در منطقه مورد مطالعه حدود ۵۵۴۰ تا ۵۵۶۰ دکامتر برآورد می‌شود که نسبت به نرمال فصل پایین‌تر است و نشان از نفوذ هوای سرد به عرض‌های پایین دارد (شکل ۲). در کنار این، نقشه تاوایی نسبی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (نزدیک سطح زمین) یک هسته قوی از تاوایی مثبت را نشان

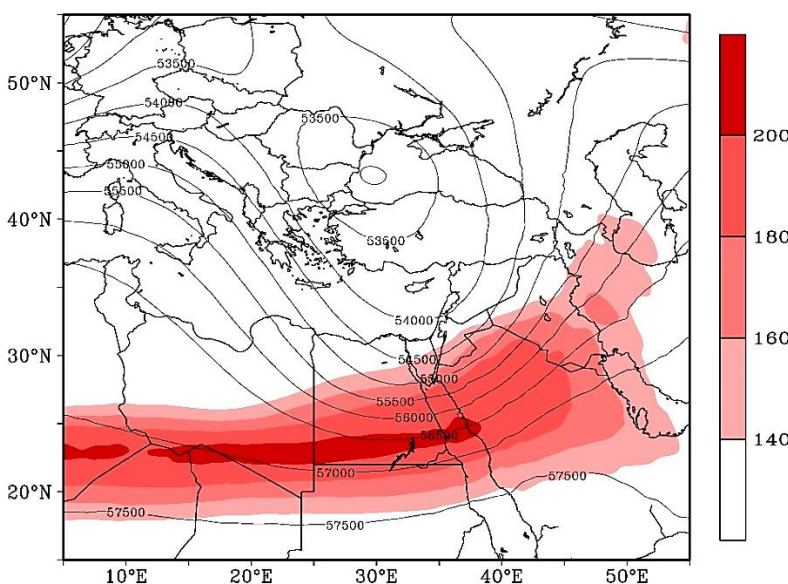
می‌دهد که دقیقاً روی نیمه شرقی عراق متمرکز شده است. مقدار تاوایی در این هسته به بیش از $10^{-5} \times 3$ بر ثانیه می‌رسد که برای یک منطقه غیرحاره‌ای عدد بزرگی محسوب می‌شود. این تاوایی مثبت ناشی از چرخندزایی زیرین است؛ به عبارت دیگر، یک کم‌فشار سطحی بر روی خلیج فارس و شرق عربستان شکل گرفته که با چرخش پادساعتگرد خود، هوای گرم و مرطوب را به سمت عراق می‌چرخاند. همجواری این تاوایی سطح پایین با جلوی ناوه تراز میانی، یک سازوکار کلاسیک برای بارش شدید ایجاد می‌کند: واگرایی بالایی (به دلیل خروجی جت در جلوی ناوه) بر روی همگرایی پایینی (ناشی از چرخند سطحی) قرار می‌گیرد و صعود هوا را تشدید می‌نماید. در نتیجه، این نقشه به وضوح نشان می‌دهد که ترکیب ناوه عمیق در تراز ۵۰۰ و تاوایی مثبت در تراز ۸۵۰، موتور اصلی دینامیکی بارش ۱۲ آوریل بوده است (شکل ۲).



شکل ۲. ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

مطالعه (عراق) کشیده شده که سرعت آن در تراز ۱۰۰ هکتوپاسکا ب بیش از ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌رسد. موقعیت ناوه به گونه‌ای است که عراق در سمت شرقی (جلویی) آن قرار گرفته و بنابراین در منطقه واگرایی بالایی قرار دارد که هوا را از بالا مکش می‌کند و به صعود کمک می‌نماید (شکل ۳).

کمینه ارتفاع ۵۳۵۰ دکامتر در عرض‌های بالای ۴۰ درجه شمالی و بیشینه ۵۷۵۰ دکامتر در عرض‌های ۲۰ درجه شمالی. شیو شدید ارتفاعی (حدود ۴۰۰ دکامتر در ۲۰ درجه عرضی) نشان‌دهنده وجود یک جت‌استریم قدرتمند جنب‌حاره‌ای با راستای تقریباً غربی-شرقی بر روی عرض‌های ۳۰-۳۵ درجه شمالی است. زبانه ای از این جت‌استریم به منطقه مورد



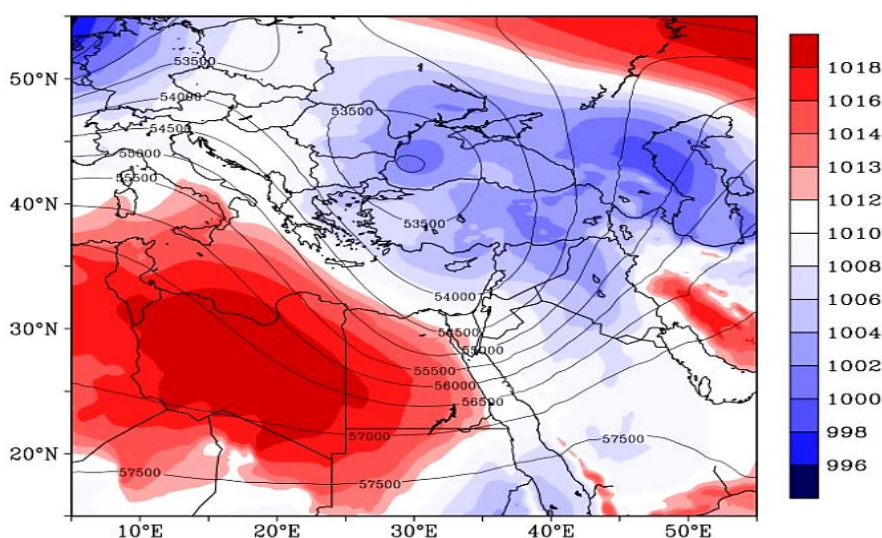
شکل ۳. سرعت باد در تراز ۱۰۰ هکتوپاسکال و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

نشان می‌دهد (حدود ۲۸ درجه شمالی، ۵۰ درجه شرقی). در مقابل، یک پرفشار مهاجر با مرکز حدود ۱۰۲۰ هکتوپاسکال

در سطح دریا (فشار تراز دریا)، نقشه یک کم‌فشار بسته با مرکز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال را بر روی خلیج فارس و شرق عربستان

منطقه جنوب و شرق عراق (به دلیل شکل توپوگرافی و آرایش فشار) صعود اجباری ایجاد می‌کند. بنابراین، نقشه ترکیبی مذکور به خوبی نشان می‌دهد که همزمانی کم‌فشار سطحی در جنوب (منبع رطوبت و همگرایی) و ناوه در تراز میانی (واگرایی و صعود دینامیکی) یک سیستم کامل و مؤثر برای تولید بارش‌های سنگین در جنوب و شرق عراق فراهم کرده است (شکل ۴).

از سمت دریای مدیترانه به سمت شمال عراق (حدود ۳۷ درجه شمالی، ۴۰ درجه شرقی) گسترش یافته است. گرادیان شدید فشار بین این دو سامانه (اختلاف ۲۰ هکتوپاسکال در فاصله حدود ۱۰۰۰ کیلومتر) باعث وزش بادهای جنوبی و جنوب شرقی نیرومند در ترازهای پایین بر روی عراق می‌شود. این بادهای که از روی آب‌های گرم خلیج فارس می‌وزند، رطوبت زیادی را به همراه دارند. علاوه بر این، همگرایی این بادهای



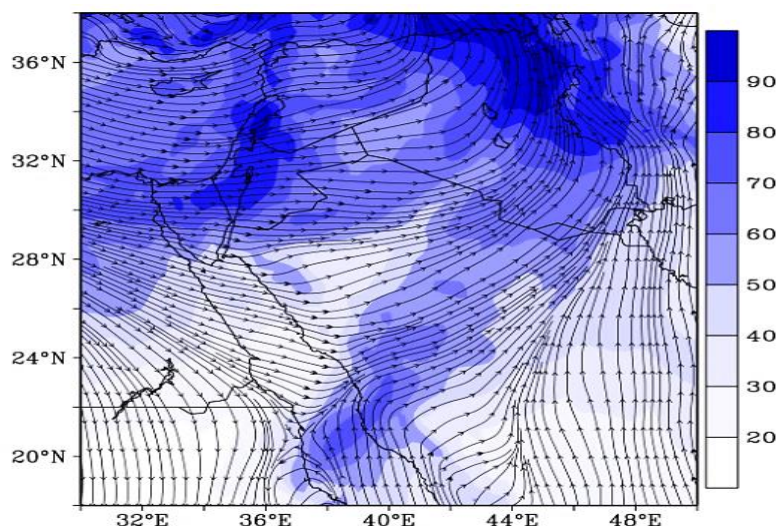
نقشه ۴. نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا

۴۶ درجه شرقی) است. این مرکز چرخندی همان کم‌فشار سطحی است که در تراز پایین‌تر تشدید شده است. در بخش جنوبی و شرقی این چرخند، خطوط جریان به طور قابل ملاحظه‌ای به یکدیگر نزدیک می‌شوند (همگرایی خطی). نزدیک‌ترین فاصله بین خطوط جریان نشان‌دهنده شدیدترین ناحیه همگرایی است که در جنوب شرق عراق (مرز ایران و عراق) رخ می‌دهد. علاوه بر این، یک جت کم‌ارتفاع با سرعت حدود ۲۵-۳۰ گره (حدود ۱۳-۱۵ متر بر ثانیه) از روی خلیج فارس به سمت همین ناحیه همگرا در حال تزریق هوای گرم و مرطوب است. ترکیب رطوبت بسیار بالا، همگرایی شدید خطوط جریان و وجود جت کم‌ارتفاع، شرایط ایده‌آلی را برای صعود سریع هوا، میعان رطوبت و تشکیل ابرهای کومولونیمبوس عمودی فراهم کرده است. بنابراین، این نقشه

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (ارتفاع حدود ۱۵۰۰ متری از سطح دریا)، نقشه رطوبت نسبی نشان می‌دهد که یک زبان رطوبتی طولیل از دریای سرخ به سمت شمال شرق کشیده شده و در جنوب و شرق عراق به مقادیر بیش از ۸۵ درصد می‌رسد. گستردگی این زبان رطوبتی (بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر طول) نشان می‌دهد که منبع رطوبتی پایدار و پیوسته بوده و محدود به یک نوار باریک نیست. ناحیه با رطوبت نسبی بالای ۸۰ درصد تقریباً تمام جنوب و شرق عراق و غرب ایران را پوشش می‌دهد. در مرکز این ناحیه، یک هسته با رطوبت بالای ۹۰ درصد (احتمالاً نزدیک به اشیاع) وجود دارد که دقیقاً منطبق بر بیشینه بارش است (شکل ۵). خطوط جریان در همین تراز (۸۵۰ هکتوپاسکال) نشان‌دهنده یک مرکز چرخندی واضح با چرخش پادساعتگرد بر روی عراق (حدود ۳۳ درجه شمالی،

ناشی از ناوه میانی، به بارش‌های رگباری و رعد و برق منجر شده است.

مکانیسم ترمودینامیکی بارش را نشان می‌دهد: جریان مرطوب و همگرا در لایه زیرین، با کمک صعود دینامیکی



شکل ۵. نقشه رطوبت نسبی و خطوط جریان تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

۴. نتیجه‌گیری

قوی از تاوایی مثبت در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (ناشی از چرخندزادی زیرین) و همگرایی شدید خطوط جریان در این لایه، به همراه ناپایداری حرارتی ناشی از گرمای سطح زمین، شرایط ایده‌آلی را برای صعود سریع و همرفتی توده هوای مرطوب فراهم ساخته است. در نتیجه، ابرهای کومولونیمبوس ضخیم شکل گرفته و بارش‌های رگباری، رعد و برق و احتمالاً تگرگ در منطقه رخ داده است. بنابراین، این مطالعه تأیید می‌کند که ترکیب همزمان ناوه عمیق جو میانی، کم‌فشار سطحی بر روی خلیج فارس، تاوایی مثبت زیرین، رطوبت بالای تزریق شده توسط رود جوی و همگرایی جریان‌ها، یک مکانیسم بارش سیل‌زای بهاری را ایجاد کرده است که هر چند سال یک بار در عراق جنوبی تکرار می‌شود و نیازمند پایش دقیق مدل‌های هواشناسی برای پیش‌بینی و کاهش خسارات ناشی از سیلاب است.

در نتیجه‌گیری جامع این مطالعه، مشخص شد که بارش شدید روز ۱۲ آوریل ۲۰۲۳ در نیمه شرقی عراق، حاصل تعامل همزمان و هماهنگ چندین سامانه جوی در مقیاس سینوپتیک بوده است. در تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال)، حضور یک ناوه عمیق با محور شمالی-جنوبی در شرق مدیترانه و شمال عربستان، با ایجاد واگرایی بالایی و فرارفت هوای سرد، موتور اصلی صعود دینامیکی هوا را فراهم کرده است. همزمان، در سطح زمین، یک کم‌فشار بسته با مرکز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر روی خلیج فارس و شرق عربستان شکل گرفته که در کنار پرفشار مهاجر مدیترانه‌ای، گرادیان فشاری شدیدی را ایجاد نموده است. این گرادیان، بادهای جنوبی و جنوب شرقی نیرومندی را در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال فعال کرده که هوای گرم و بسیار مرطوب (رطوبت نسبی بالای ۸۵ درصد) را از روی آب‌های دریای سرخ به صورت یک رود جوی گسترده به سمت جنوب و شرق عراق تزریق کرده‌اند. وجود یک هسته

5. References

Deagan, E. M., & Al-Jiboori, M. H. (2023). The relationship of CLWC and rainfall to the synoptic cases of two case studies over Iraq. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1262 (8), Article 082038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1262/8/082038>

Francis, D., Fonseca, R., Bozkurt, D., Nelli, N., & Guan, B. (2024). Atmospheric river rapids and their role in the extreme rainfall event of April 2023 in the Middle East. Geophysical Research Letters, 51 (12), e2024GL109446. <https://doi.org/10.1029/2024GL109446>

Jabbar, M. A. R., & Hassan, A. S. (2023). The connection between 500 hPa geopotential height and heavy rainfall over Iraq: A case study. AIP Conference Proceedings, 2830 (1), 050002. <https://doi.org/10.1063/5.0156846>

Kadhum, J. H., Al-Zuhairi, M. F., & Hashim, A. A. (2022). Synoptic and dynamic analysis of few extreme rainfall events in Iraq. Modeling Earth Systems and Environment, 8 (4), 4939–4952. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01419-1>

Kadhum, J. H., Al-Zuhairi, M. F., & Hashim, A. A. (2022). Synoptic and dynamic analysis of few extreme rainfall events in Iraq. Modeling Earth Systems and Environment, 8 (4), 4939–4952. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01419-1>

224

Mohammed, A. J., Hashim, A. A., Kadhum, J. H., & Mohammed, S. K. (2023). The back trajectory study for selected extreme rainfall events over Iraq. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1223 (1), Article 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1223/1/012006>

Mutashar, H. H. (2026). Synoptic analysis of trough depressions and their impact on rainfall in central and southern Iraq during winter and spring. Wasit Journal for Human Sciences, 22 (1), 388–370. <https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss1.1429>

Rashidi AhmadAbad, E. (2015). Temporal and spatial analysis of precipitation in Iraq. *Geographical Researches*, 30(1), 209-