Dynamic-climatic study of dust storms in Southwest Iran

Davood Pishdar [a], Maryam Rezazadeh [*b], Vahid Salamati Hormozi [c]
[a]*Davood Pishdar, Master of Meteorology, Marine and Atmospheric Science Department, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, BandarAbbas, Iran*
[b]*Associate Professor, Marine and Atmospheric Science Department, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, BandarAbbas, Iran*
[c]*PhD in Meteorology, Hormozgan Meteorological Administration, BandarAbbas, Iran*

Research Full Paper
Article History (Received: 2025/04/15 Accepted: 2025/05/21

Extended abstract

1- Introduction

Dust storms are prominent atmospheric phenomena involving the uplift of large volumes of dust particles from desert and arid surfaces into the atmosphere. The transport and dispersion of these particles over long distances are largely governed by prevailing meteorological conditions. This study investigates the dynamic and climatic drivers of dust storms in southwestern Iran. The research area includes selected synoptic stations located in the provinces of Khuzestan, Bushehr, Fars, and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad.

To analyze the spatiotemporal patterns of dust storms, hourly meteorological data, including sea level pressure, wind direction and speed, temperature, and relative humidity, were obtained from national synoptic stations and analyzed using statistical and synoptic-dynamic methods. In addition, reanalysis data from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) for the period 1985–2019 were employed to extract variables such as sea level pressure, geopotential height, zonal and meridional wind components, vertical velocity, streamlines, surface incoming shortwave radiation, and boundary layer height. Aerosol Optical Depth (AOD) data for the same period were acquired from the MODIS satellite platform.

Iran's location within the global dry and semi-arid belt, coupled with its proximity to arid neighboring countries such as Saudi Arabia, Iraq, and Syria, regions characterized by limited vegetation cover, has led to the development of vast desert areas highly prone to dust emissions. These conditions, driven by low precipitation and high temperatures, create an environment conducive to frequent dust activity. Recurrent droughts, along with atmospheric turbulence and strong winds, further intensify dust uplift, particularly in southwestern Iran. Additionally, unsustainable land use practices and ongoing environmental degradation both within Iran and across its borders have contributed to the increasing frequency and severity of dust storms in the region.

Although numerous studies have investigated dust phenomena in Iran, and several have examined the mechanisms underlying dust storms in the western and southwestern regions, a comprehensive analysis of the dominant dynamic processes and regional atmospheric circulation patterns driving dust storm formation in southwestern Iran remains lacking. This study aims to address this gap by analyzing the regional atmospheric circulation and identifying the key dynamic and climatic mechanisms that contribute to the development and intensification of dust storms in the area.

2- Results

Trend analysis using the Mann-Kendall test revealed a statistically significant increase in the annual frequency of dust storms at most meteorological stations in southwestern Iran, with the exception of Dezful Airport, Omidiyeh Airport, Bushehr Coastal Shiraz, and Velar Airport in Bushehr. Sen's slope estimator further confirmed significant upward trends at the 95% confidence level in stations such as Bostan, Abadan, Bandar Mahshahr, Omidiyeh, Aghajari, Dogonbadan, Khark Island, Zarghan, and Fasa. Notably, Dezful Airport and Bushehr Airport showed increases at the 95% and 99% confidence levels,

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

respectively. Seasonal analysis for the period 1985–2019 also indicated consistent upward trends in dust storm occurrences across most stations and during all seasons.

3- Discussion & Conclusions

Synoptic and dynamic analyses revealed the presence of persistent low-pressure systems over Iran, Iraq, and Saudi Arabia during dust storm events, significantly influencing the weather patterns in southwestern Iran. Prominent low-pressure centers were identified at both the 850 hPa and 500 hPa atmospheric levels over Iran. Additionally, a jet stream core with wind speeds ranging from 40 to 60 m/s was observed at the 200 hPa level, facilitating the transport of dust from Iraq into southwestern Iran.

Dynamic analysis revealed significant vorticity at the 500 hPa level during dust storm events, indicating atmospheric rotational patterns conducive to dust uplift and long-range transport. MODIS satellite imagery, supported by HYSPLIT trajectory modeling, identified the primary sources of dust in Iraq, Sudan, and Saudi Arabia, with dust plumes intensifying while traveling toward southwestern Iran.

Examination of boundary layer dynamics showed that dust events were accompanied by an increase in boundary layer height, which strongly correlated with elevated AOD in the region. Additionally, analysis of surface-level incoming shortwave radiation demonstrated a marked decrease during dust storms, with higher dust concentrations causing more substantial reductions in solar radiation reaching the Earth's surface.

Overall, this study advances the understanding of the dynamic and climatic factors driving dust storm formation in southwestern Iran, providing valuable insights for improving forecasting and mitigating the environmental and health impacts of dust events in the region.

Key Words: Dust storms, spatial-temporal patterns, trends, trends, southwest Iran.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

Cite this article: Pishdar, D., Rezazadeh, M., & Salamati Hormozi, V. (2025). Dynamic-climatic study of dust storms in Southwest Iran. *Journal of Environmental Erosion Research. 2025; 15 (3) :1-23.* http//doi.org/10.61186/jeer.15.3.1

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/10.61186/jeer.15.3.1
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

بررسی دینامیکی- اقلیمی طوفان‌های گردوغبار در جنوب غرب ایران

داود پیش‌دار: *دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد هواشناسی، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکدهٔ علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس*
مریم رضازاده*: *دانشیار، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکدهٔ علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس*
وحید سلامتی هرمزی: *دکتری آب و هواشناسی، اداره هواشناسی استان هرمزگان ، بندرعباس*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۹)
DOI: http//doi.org/10.61186/jeer.15.3.1

چکیده

طوفان‌های گردوغبار هرساله مقادیر عظیمی از ذرات را از سطوح بیابانی و خشک وارد جو می‌کنند و سبب فرسایش مناطق مختلف می‌شوند. در این تحقیق به بررسی دینامیکی- اقلیمی طوفان‌های گردوغبار در جنوب غرب ایران پرداخته شده است. منطقه‌ی موردمطالعه جنوب غرب ایران شامل ایستگاه‌های منتخب استان‌های خوزستان، بوشهر، فارس و کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد. برای تحلیل، از داده‌های ساعتی ایستگاه همدیدی شامل فشار سطح دریا، سمت و سرعت باد، دما، رطوبت نسبی و دید افقی اخذشده از سازمان هواشناسی و همچنین داده‌های مربوط فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه‌ی باد مداری و باد نصف‌النهاری، تاوایی و سرعت قائم، خطوط جریان، تابش موج‌کوتاه ورودی سطحی، ارتفاع لایه‌مرزی از مجموعه‌داده‌های دوباره واکاوی شده مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا طی سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۸۵ و عمق نوری ذرات از سنجنده ماهواره آکوا و ترا اخذ شد. بررسی تغییرات گردوغبار سالانه با استفاده از آزمون من - کندال نشان داد که روند گردوغبار سالانه در اکثر ایستگاه‌های جنوب غرب ایران روند افزایشی داشته است. بررسی فصلی تغییرات گردوغبار با استفاده از آزمون‌های مذکور نشان داد که روند گردوغبار در غالب ایستگاه‌ها و در همه فصل‌ها افزایشی می‌باشد. نتایج حاکی از وجود هسته‌های کم‌فشار محدوده ایران، کشور عراق و عربستان بوده که در روز وقوع طوفان گرد غبار زبانه‌های کم‌فشار ایران را خصوصاً در منطقه جنوب و جنوب غرب تحت‌تأثیر قرار داده است. نقشه‌های دینامیکی طوفان‌های گردوغبار در روزهای منتخب بیان می‌کند که مکان‌گزینی چرخندگی مثبت (منفی) در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال هم‌زمان با رخداد توفان گردوخاک در نقشه‌های مذکور مشهود است. مشاهدات تصاویر ماهواره‌ای از سنجنده مودیس، منشأ رخداد گردوخاک را کشورهای عراق، سودان و عربستان نشان می‌دهدکه پس از تقویت، جنوب غرب ایران را تحت‌تأثیر خود قرارمی‌دهد. در بررسی ارتباط لایه‌مرزی با عمق نوری آئروسل مشخص شد که بانفوذ پدیده گردوغبار عمق لایه‌مرزی و همچنین عمق نوری ذرات در منطقه موردمطالعه هم‌افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: طوفان‌های گردوغبار، الگوهای فضایی-زمانی، تاوایی، روند، جنوب غرب ایران.

* **نویسندهٔ مسئول:** rezazadeh@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]
[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

۱ـ مقدمه

امروزه معضل افزایش فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار به علت تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های متوالی، به بحرانی منطقه‌ای - جهانی تبدیل‌شده است. آثار زیان‌بار گردوغبار را نمی‌توان مختص اقلیم خاصی دانست؛ زیرا ذرات ناشی از طوفان‌های گردوغبار می‌توانند تا کیلومترها دورتر از منطقه چشمه رفته و آثار زیستی و زمین‌شناختی و آب‌وهوایی روی آن منطقه بگذارند. یکی از پیامدهای زیست‌محیطی طوفان‌های گردوغبار، اثراتی است که روی پخش و جذب تابش خورشیدی می‌گذارد که در درازمدت پیامدهای اقلیمی را به دنبال دارد؛ اما اینکه گردوغبار باعث گرم‌شدن یا سرد شدن منطقه می‌شود، بستگی به‌اندازه و خواص شیمیایی ذرات دارد (Goudie & Midelton, 2001). طوفان‌های گردوغبار یکی از مخاطرات مهم آب‌وهوایی است که هرساله باعث به‌وجودآمدن خسارات زیان‌باری در سراسر جهان می شود. رویداد طوفان گردوغبار یا طوفان ماسه‌ای تحت‌تأثیر الگوهای گردش همدید جو در مقیاس منطقه‌ای و جهانی قرار دارد. باد عامل اصلی حرکت و جابه‌جایی خاک به‌حساب می آید. در اثر برخورد باد با سطح زمین به دلیل ناهمواری‌های سطحی، پیچک‌هایی تولید می‌شود و علاوه بر جریانات افقی، حرکات عمودی بالاسو و پایین‌سو به وجود می‌آید که موجب بلندشدن ذرات خاک به هوا می‌شود. به بادهایی که با سرعت زیاد در مدت کوتاهی می‌وزند طوفان می‌گویند. طوفان‌ها معمولاً با هوای ناپایدار همراه هستند اگر هوای ناپایدار رطوبت داشته باشد طوفان رعدوبرق یا تندری و اگر خشک باشد طوفان گردوغبار نامیده می‌شود. بر اساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی (WMO) هرگاه در ایستگاهی سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه (حدود ۳۰ نات) تجاوز کند و دید افقی به علت گردوغبار به کمتر از یک کیلومتر برسد طوفان گردوغبار گزارش می‌شود. از عوامل اصلی و مؤثر در رخداد پدیده گردوغبار، موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی مناطق منشأ و مناطق تحت‌تأثیر این پدیده است (Salamati Hormozi et al, 2017). بر اساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی، شدت گردوغبار ازنظر میدان دید افقی به چهارطبقه تقسیم‌بندی می‌شود که عبارت‌اند از: گردوغبار ضعیف با میدان دید افقی بیشتر از ۱۰ کیلومتر، گردوغبار متوسط با میدان دید بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر، طوفان شدید با میدان دید بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و طوفان خیلی شدید با میدان دید کمتر از ۲۰۰ متر (Tan et al, 2014). طوفان‌های گردوغبار معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک عرض‌های معتدله، حاره و جنب‌حاره جایی که میانگین بارش سالانه ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است (Indoitu et al, 2012)، درنتیجه سرعت زیاد باد و تلاطم آن بر روی سطح خاک بدون پوشش و مستعد فرسایش رخ می‌دهد (Goudie, 2009). پدیده گردوغبار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اشکال آلودگی‌های جوی در ابعاد مختلف موردتوجه محققان قرار گرفته است. قرارگیری ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و از طرف دیگر مجاورت با کشورهایی چون عربستان، عراق و سوریه که دارای فقر پوشش گیاهی بوده و به دلیل بارش اندک و دمای بالا اغلب مساحت این کشورها از بیابان تشکیل‌شده است و تحت‌تأثیر شرایط بیابانی، ناپایداری هوا و جریان باد در این مناطق که معمولاً شدید می‌باشد باعث بلندشدن گردوغبار از این نواحی می‌گردد. خشکسالی‌های متناوب در این مناطق سبب رخداد متناوب پدیده گردوغبار در نواحی غرب و جنوب غربی ایران شده است . از طرف دیگر استفاده نامطلوب از منابع طبیعی و محیط‌زیست توسط انسان در داخل ایران و کشورهای همسایه سبب تشدید رخداد پدیده گردوغبار گردیده است (Salamati Hormozi et al, 2017). در پژوهشی مناطق مرزی بین ایران، پاکستان و افغانستان به‌عنوان منطقه اصلی منبع گردوغبار در جنوب غربی آسیا که سالانه حدود ۸۱

* نویسندهٔ مسئول: rezazadeh@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

طوفان گردوغبار ایجاد می‌کند، معرفی شده است که از این تعداد بیش از ۳۰ مورد در سیستان گزارش‌شده است (Middleton, 1986b). در بررسی گردوغبار واقع در غرب دریاهای جنوب چین که از عربستان حمل می‌شود، نتیجه گرفته شد که همه گردوغباری که موجب غبار در جو خاورمیانه می‌شود، لزوماً از منابع محلی نشات نگرفته است. بلکه از صحرای بزرگ آفریقا و از بیابان‌های شمال غربی هند و پاکستان و احتمالاً از جنوب آمریکا حمل می‌شوند (Prospero et al, 1981). با استفاده از مدل HYSPLIT طوفان‌های گردوغبار سال ۲۰۰۸ بررسی و چهار منطقه آفریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان و شمال غرب چین با فراوانی بالای رخداد گردوغبار بیان شده است (Wang et al, 2011). در پژوهشی به تحلیل آماری سینوپتیکی پدیده‌ی گردوغبار و ارتباط آن با عناصر اقلیمی ایستگاه‌های ایلام و دهلران در طول دوره‌ی آماری ۲۰ساله پرداخته شده است و نتایج نشان داد که در ایستگاه ایلام بالاترین همبستگی مربوط به متغیر سرعت باد با ۸۹ درصد و در ایستگاه دهلران متوسط دما با ۹۲ درصد، بیشترین همبستگی را با پدیده طوفان‌های گردوغبار دارند (Boheiraei et al, 2011). چشمه‌های اصلی گردوغبار در خاورمیانه به‌وسیله تحلیل اطلاعات هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه‌های زمینی از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳، ۴ منطقه سودان و قسمت‌هایی از عربستان سعودی و عراق، پاکستان، قسمت‌هایی از ایران و افغانستان معرفی شده است (Rezazadeh et al, 2013). همچنین به نوع پدیده گردوغبار باتوجه‌به الگوی باد در مناطق یادشده پرداخته‌شده است. در پژوهشی دیگر مشاهدات گردوغبار/ طوفان‌های شن و غبار/ طوفان‌های شن شدید باهم به‌عنوان موارد طوفان گردوغبار در نظر گرفته شدند (Rashki et al, 2015). توزیع تعداد طوفان‌های گردوغبار مشاهده‌شده نشان داد که بیشتر ایستگاه‌ها مشاهدات کمتری نسبت به تعداد میانگین مشاهدات دارند. علاوه بر این، ایستگاه‌های با تعداد زیاد طوفان‌های گردوغبار مشاهده‌شده در منطقه شرقی یعنی نزدیک به بیابان‌های سوریه و عراق واقع‌شده‌اند. همچنین، میانگین ماهانه تعداد طوفان‌های گردوغبار مشاهده‌شده نشان داد که تعداد آن‌ها از ماه مارس، یک ماه نسبتاً سرد، تا ماه می، یک ماه نسبتاً گرم دوبرابر شده است. روند توزیع سالانه طوفان‌های گردوغبار نشان داد که دوره مطالعه می‌تواند به دو دوره تقسیم شود: از سال ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۴، با نرخ افزایش بالا، و از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۸، با نرخ کاهش پایین. ویژگی‌های سینوپتیک و دینامیکی رخداد طوفان گردوغبار در شمال عربستان در فصل بهار از ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۸ با استفاده از مشاهدات طوفان گردوغبار سطحی از ۱۱ ایستگاه و داده‌های هواشناسی از مجموعه داده‌های تجزیه‌وتحلیل مجدد NCEP / NCAR مطالعه شده است (Mashat et al, 2020). نتایج نشان داد که در این مطالعه، دو سیستم سینوپتیک مرتبط با حوادث گردوغبار شناسایی شد و این سیستم‌ها با افزایش فشار و گرادیان دما بر روی شبه‌جزیره عربستان شمالی و تغییر جهت شرق در حداکثر باد به‌عنوان یک رویداد طوفان گردوغبار از مراحل قبل و بعد از رویداد رخ می‌دهد. مطالعه دینامیکی همچنین نشان داد که در طول مرحله قبل از رویداد، جو باروکلینیک بود و دارای اختلالات دینامیکی توسط سیستم‌های جبهه‌ای بود. علاوه بر این، سیستم‌های جبهه‌ای منجر به تشدید کمی بیشتر از سیستم‌های شمالی می‌شوند. علاوه بر این، مطالعه دینامیکی نشان داد که انرژی جنبشی (KE) به سمت شرق و انرژی پتانسیل موجود (APE) از طریق مجموعه‌ای از مناطق واردکننده و صادرکننده KE و APE به سمت شمال منتقل‌شده است. نمای عمودی منطقه متوسط انرژی نشان می‌دهد که لایه اصلی که در آن گرمای محسوس به KE تبدیل می‌شود، در بالای ابر گردوغبار قرار دارد. برای مطالعه ساختار و ابعاد سه‌بعدی طوفان‌های گردوغبار در تابستان ۲۰۱۸ روی شبه‌جزیره عربستان از محصولات پیشرفته ماهواره‌ای مانند SEVIRI، AEROIASI

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

و CALIPSO استفاده شده است (Francis et al, 2021). دینامیک و ترمودینامیک لایه‌مرزی در طول این رویداد با استفاده از تجزیه‌وتحلیل مجدد ERA5 و مشاهدات زمینی به طور کامل تجزیه‌وتحلیل شد. نتایج نشان داد یک طوفان بزرگ گردوغبار توسط بادهای شمال، منجر به توسعه طوفان در کویر و انتشار گردوغبار و توسعه ابرهای همرفت و باران می‌شود. سیکلون‌زایی بر روی این منطقه طوفان گردوغبار شدید دوم را ایجاد کرده و به مدت ۳ روز متوالی شبه‌جزیره عربستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گردوغبار بلند شده توسط طوفان که به ارتفاع ۵ کیلومتر رسیده و بودجه تابشی را در سطح تغییر می‌دهد، باعث گرم‌شدن قابل‌توجه در شب و خنک شدن در روز می‌شود. دینامیک جوی شیوع گردوغبار صحرا در میندلو، جزایر کیپ ورد را مطالعه شده است. تجزیه‌وتحلیل نشان می‌دهد که طوفان گردوغبار در سمت کوه‌های اطلس صحرا (SAM) در الجزایر در ۱۰ نوامبر ۲۰۱۷ آغازشده است. این طوفان گردوغبار با وقفه مضاعف موج راسبی در ارتباط با بازتاب موج غیرخطی همراه بود. دو وقفه متوالی موج راسبی به تقویت موج در اقیانوس اطلس شمالی شرقی کمک کرد که هوایی را با پتانسیل سرعت بزرگی (potential vorticity) به قاره آفریقای شمالی منتقل می‌کند (Cosentino et al, 2020). علت تشکیل گردوغبار در بیابان‌ها ناشی از ناپایداری هوا است درحالی‌که جو بالای سطح بیابان‌ها ازنظر همرفتی بسیار ناپایدار بوده و شرایط تکوین پدیده‌های ناپایداری مثل پیچانه‌های کوچک گردوغباری را دارند (Kaviani, 2001). بررسی طوفان‌های گردوغباری استان خوزستان طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۸ نشان می‌دهد که طی دوره گرم سال، همگرایی مداری سامانه کم‌فشار ایران و پاکستانی از سمت شرق و سامانه پرفشار آزور از سمت غرب و درنتیجه افزایش شیب فشار روی خوزستان طی روزهای اوج طوفان‌های گردوغباری باعث انتقال و انتشار پدیده گردوغبار در استان خوزستان و استان‌های اطراف می‌شود (karami, 2009). جریان هوای آلوده به ریزگردها از بیابان‌های عراق و عربستان در این طوفان‌ها عامل اصلی قلمداد شده است. نتایج تحلیل آماری و اقلیمی طوفان‌های گردوغبار در ایران نشان داد که زابل دارای بیشترین رخداد گردوغبار در سال ۲۰۱۵ بوده است. بیشترین سرعت باد و شدیدترین کاهش دید در ایستگاه زابل در ۶ جولای ۲۰۱۵ مشاهده‌شده است. توده‌های گردوغباری در اراک و فسا از غرب و شمال غرب عراق و در زابل از افغانستان وارد ایران شده است. نتایج نشان داد که در ۲۱ جولای ۲۰۱۵ که شدیدترین کاهش دید در فسا روی داده، بیانگر حضور یک‌کم ارتفاع بر روی روسیه و یک پرفشار بر روی شمال دریای سیاه است. یک سامانه کم‌فشار نیز روی پاکستان مشاهده‌شده است که زبانه‌های آن تا مناطق شرقی و جنوبی ایران کشیده شده است. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین رویداد تعلیق در شهرهای فسا و اراک با سرعت‌های کم‌تر باد همراه است. بادهای شمال شرقی در دوره سرد سال می تواند به سبب بادهای ۱۲۰ روزه سیستان باشد که تأثیر آن در شهر زابل بیشتر خواهد بود. در روزی که بیشترین کاهش دید مشاهده می‌شود اکثر مناطق کشور تحت‌تأثیر زبانه‌های مرکز پرفشار واقع روی غرب عراق که در حرکت شرق سوی خود به مرکز ایران رسیده است، قرار گرفته‌اند (Fatahi Masrour & Rezazadeh, 2020). در پژوهشی دیگر (Ahmadi et al, 2019) به بررسی ارتباط لایه‌مرزی در طوفان‌های گردوغبار جنوب غرب ایران (مطالعه موردی ۲۱ تا ۲۴ فوریه ۲۰۱۶) پرداخته شده است. نتایج نشان داد لایه‌مرزی هواسپهر در ایجاد تلاطم و انتقال گردوغبار به کشور نقش مهم و غیرقابل‌انکاری را دارا می‌باشد. به‌طوری‌که در هر ۴ روز موردمطالعه همبستگی بین ارتفاع لایه‌مرزی و عمق نوری ذرات بیشتر از ۷۰ درصد بوده است. هرچند مطالعات فراوانی در مورد جنبه‌های مختلف پدیده گردوغبار بر روی ایران

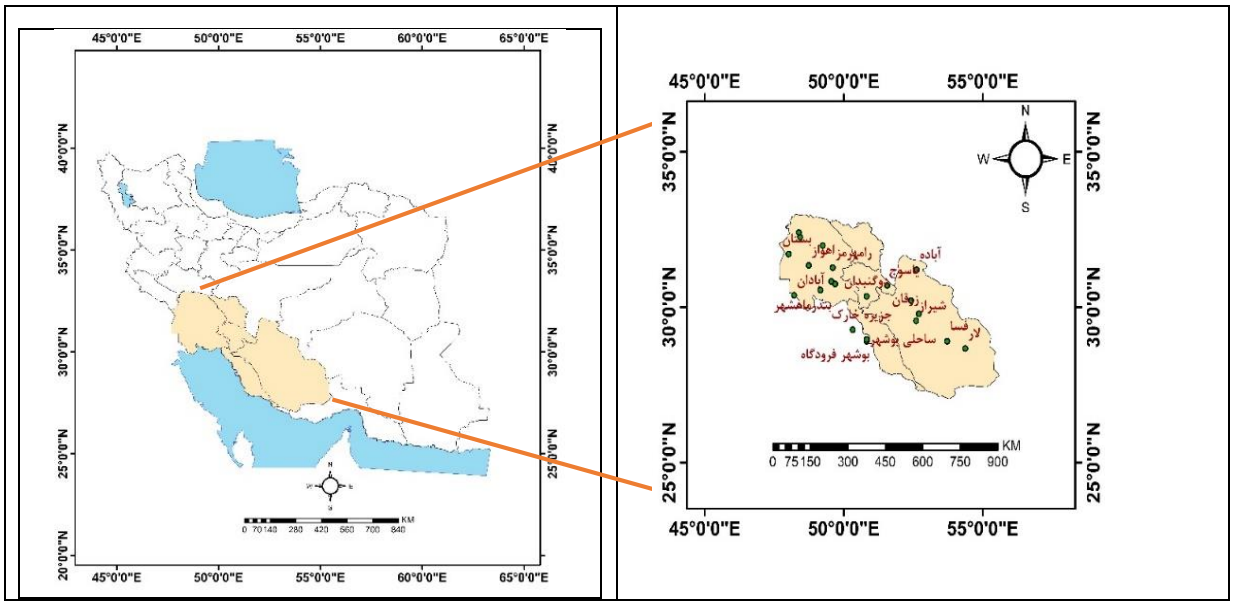
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

صـورت‌گرفته و در برخی از آن‌ها به طور خاص سـازوکارهای حاکم بر وقوع طوفان‌های غرب و جنوب غرب کشور نیز مورد بررسـی قرار گرفته اسـت؛ اما به نظر می‌رسـد که هنوز سـازوکار اصـلی حاکم در زمان وقوع طوفان‌های گردوغباری در منطقه جنوب غرب کشـور، روند پدیده گردوغبار، سـاختار دینامیکی جو و همچنین گردش جو در مقیـاس منطقه‌ای که نقش مهمی در ایجاد طوفان‌های گردوغباری دارد موردتوجه دقیق قرار نگرفته اسـت؛ لذا در این پژوهش سـعی می‌گردد سـاختار منطقه‌ای گردش جو و سـازوکارهای اصلی حاکم بر وقوع طوفان‌های گردوغباری در جنوب غرب ایران مورد بررسـی قرارگرفتـه و الگوهای دینامیکی- اقلیمی به‌وجودآورنده طوفان‌های گردوغبار تعیین گردد. ازجمله آثار زیان‌بار دیگر ناشی از طوفان‌های گردوغبار، می‌توان به فرسایش و ویرانی خاک در مناطق چشمه و انتقال ذرات گردوغبار و مواد معدنی به مناطق مسـکونی و مناطق کشـاورزی که باعث ایجاد آلودگی در آن منطقه می‌شـود اشـاره کرد. هدف از انجام این تحقیق شـناخت تغییرات روند زمانی گردوغبار طی دوره آماری مشـخص و همچنین تحلیل دینامیکی طوفان‌های گردوغبار جنوب غرب ایران، در راسـتای آگاهی از وجود یا عدم وجود روند تغییرات در طوفان‌های گردوغبار می‌باشد تا ضمن شناخت این تغییرات، نتایج حاصل از تحقیق در امور مختلف محیطی جهت تدوین برنامه‌های منطقه‌ای مورداستفاده قرار گیرد.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه ایسـتگاه بندرعباس با مختصـات ۲۷/۲۱ درجه عرض شـمالی و ۵۶/۳۷ دقیقه طول شـرقی از نصـف‌النهار گرینوچ واقع شـده اسـت. شـهرستان بندرعباس از جهت شمال با ارتفاعات کوه گنو و از جهت جنوب با آب‌های گرم خلیج‌فارس و دریای عمان محصور شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

جدول۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

نام استان	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
خوزستان	صفی‌آباد دزفول	۳۲/۲۵	۴۸/۴۳	۸۲/۹
	فرودگاه دزفول	۳۲/۴	۴۸/۳۸	۱۴۳
	بستان	۳۱/۷۱	۴۸/۰۱	۷/۸
	اهواز	۳۱/۳۴	۴۸/۷۴	۲۲/۵
	مسجدسلیمان	۳۱/۹۸	۴۹/۲۴	۳۲۰/۵
	رامهرمز	۳۱/۲۷	۴۹/۶۰	۱۵۰/۵
	فرودگاه امیدیه	۳۰/۸۳	۴۹/۵۵	۳۴/۹
	آبادان	۳۰/۳۸	۴۸/۲۱	۶/۶
	بندر ماهشهر	۳۰/۵۵	۴۹/۱۶	۶/۲
	امیدیه (آقاجاری)	۳۰/۷۴	۴۹/۶۹	۲۷
کهگیلویه و بویراحمد	دوگنبدان	۳۰/۳۵	۵۰/۸۲	۷۲۶
	یاسوج	۳۰/۷۰	۵۱/۵۶	۱۸۱۶/۳
بوشهر	جزیره خارک	۲۹/۲۷	۵۰/۳۲	-۱/۲
	ساحلی بوشهر	۲۸/۹۰	۵۰/۸۲	۸/۴
	بوشهر فرودگاه	۲۸/۹۶	۵۰/۸۲	۹
فارس	فسا	۲۸/۹۰	۵۳/۷۲	۱۲۶۸
	لار	۲۸/۶۷	۵۴/۳۷	۷۹۲
	آباده	۳۱/۲۰	۵۲/۶۲	۲۰۳۰
	درودزن	۳۰/۲۱	۵۲/۴۲	۱۶۴۲
	زرقان	۲۹/۷۸	۵۲/۷۰	۱۵۹۶
	شیراز	۲۹/۵۶	۵۲/۶۰	۱۴۸۸

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

تهیه پایگاه داده‌ای مناسب یکی از اصول صحیح انجام یک پژوهش می‌باشد. منطقه‌ی موردمطالعه در این پژوهش جنوب غرب ایران شامل ایستگاه‌های منتخب استان های خوزستان، بوشهر، فارس و کهگیلویه و بویراحمد در این تحقیق رویدادهای پدیده های گردوغبار بر اساس تعاریف سازمان هواشناسی جهانی و باتوجه‌به کدهای سینوپتیکی استخراج می‌شوند. بدین منظور از کدهای پدیده‌های گردوغبار شامل ۹۸، ۳۵، ۳۴، ۳۳، ۳۲، ۳۱، ۳۰، ۹، ۸، ۷، ۶ و ۵ مربوط به داده‌های استخراج‌شده از ایستگاه‌های همدیدی منتخب جنوب غرب طی سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۱۹ ایران استفاده می‌شود. برای تحلیل آماری و همچنین دینامیکی - سینوپتیکی برای شناسایی الگوهای فضایی - زمانی طوفان‌های گردوغبار از داده‌های ساعتی ایستگاه همدیدی شامل فشار سطح دریا، سمت و سرعت باد، دما، رطوبت نسبی و دید افقی اخذشده از سازمان هواشناسی و همچنین داده‌های مربوط فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه‌ی باد مداری (uwd) و باد نصف‌النهاری (vwnd) (متر بر ثانیه) شامل داده های دوباره واکاوی شده ERA5 مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

اروپا (ECMWF) با تفکیک مکانی ۰/۱۱۱ درجه قوسی و زمانی ۶ ساعت قابل دریافت از تارنمای www.ecmwf.int مورداستفاده قرار خواهد گرفت. برای بررسی بزرگ‌مقیاس شرایط همدید پدیده مذکور از داده‌های واکاوی شده (بازتحلیل) مرکز اروپایی پیش‌بینی آب‌وهوا در محدوده میان‌مدت در ترازهای مختلف اتمسفری به‌صورت برنامه‌نویسی در گردس انجام پذیرفت. در این پژوهش از فراسنج‌های فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری، باد نصف‌النهاری، دما و مؤلفه عمودی باد در سطوح مختلف و همچنین تاوایی ، سرعت قائم و خطوط جریان استفاده شده است. محدوده مورد بررسی بین مختصات ۲۷/۶۷ تا ۳۲/۴۰ عرض شمالی و ۴۸/۰۱ تا ۵۴/۳۷ طول شرقی را دربرمی‌گیرد.

۲-۳-روند طوفان های گردوغبار جنوب غرب کشور با استفاده از روش من کندال و شیب‌خط سن

روش‌های پارامتریک عمدتاً بر اساس رابطه رگرسیونی بین سری داده‌ها بازمان استوار می‌باشند. روش‌های ناپارامتریک از کاربرد نسبتاً وسیع‌تر و چشمگیرتری نسبت به روش‌های پارامتریک برخوردارند. برای سری‌هایی که توزیع آماری خاصی بر آن‌ها قابل برازش نیست و چولگی یا کشیدگی زیادی دارند استفاده از روش‌های ناپارامتریک مناسب‌تر است. آزمون من-کندال جزء متداول-ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌روند با استفاده از روش من-کندال تغییرات داده‌ها شناسایی، نوع و زمان آن مشخص می‌شود. آزمون ناپارامتری من-کندال بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت (Mann, 1945; Kendall, 1975). این روش به طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب‌بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی‌بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد.

این آزمون در سال ۱۹۸۸ به‌وسیله سازمان جهانی هواشناسی پیشنهاد شد و در بررسی معنی‌داری روند سری‌های اقلیمی به‌کرات و در موارد مختلف استفاده‌شده است.

مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

رابطهٔ ۱

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j-k+1}^{n} sgn(x_j - x_k)$$

که با قبول فرض H0 توزیع S در حد $n \to \infty$ نرمال است.

n، مدت سری زمانی داده‌ها؛ x_k و x_j نیز داده‌های متوالی kام و jام سری است. که در این رابطه $k,j \leq n$ و $k \neq j$ است Sgn، تابع علامت است؛ و تابع علامت نیز از روابط زیر مشخص می‌شود:

رابطهٔ ۲

$$gn(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 \; if \; (x_j - x_k) > 0 \\ 0 \; if \; (x_j - x_k) = 0 \\ -1 \; if \; (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

آزمون آماره‌ی S میانگین صفر دارد و واریانس آن نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

رابطهٔ ۳

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2t+5) - \sum t(t-1)(2t+5)}{18}$$

در رابطه بالا t اندازه یک بازه زمانی در سری داده‌ها است و $\sum t$ نیز مجموع بازه‌ها (سری زمانی داده‌ها) است. برای مواردی که مدت سری زمانی داده‌های بیشتر از ۱۰ باشد (n>10) آماره Z استانداردشده را باید به کمک رابطه زیر محاسبه کرد.

رابطهٔ ۴

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{Var(s)}} \; if \; s > 0 \\ 0 \quad if \quad s = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{Var(s)}} \; if \; s < 0 \end{cases}$$

بنابراین، در آزمون دوطرفه روند، اگر رابطه $|Z| \leq Z_{\frac{a}{2}}$ در سطح اطمینان ۰/۰۹۵ برقرار باشد، باید فرضیه H0 (قبول تصادفی بودن سری داده‌ها) را پذیرفت و در غیر این صورت باید فرضیه H1 (وجود روند) را قبول کرد. اگر معنی‌داری در سطح α =۰/۰۱ (سطح ۹۹ درصد اطمینان) آزمون شد، فرضیه صفر H0 در صورتی رد می‌شود که $|Z| > Z_{0.995} =$ 2.575 برقرار باشد. مقادیر مثبت روند Z روند صعودی و مقادیر منفی Z روند نزولی سری داده‌ها را نشان می‌دهند (Vivekanandan, 2007).

اگر روند در سری داده‌ها مشاهده شد، شیب واقعی (میزان تغییر در واحد زمان) را می‌توان با استفاده از روش ناپارامتری ساده‌ای که توسط سن توسعه داده شده برآورد نمود. ابتدا باید شیب هر جفت داده‌ی متوالی سری را از رابطه زیر به دست آورد:

رابطهٔ ۵

$$Q_1 = \frac{(x_i - x_k)}{j-k} \; for \; i - 1.2. \ldots n$$

که دراین‌رابطه x_k و x_i به ترتیب مقادیر داده‌ها در زمان‌های j و k است که باهم یک واحد زمانی اختلاف دارند. Q_1 مقدار میانه‌ی n برآورد شده شیب نمودار سن است. اگر n فرد باشد، برآورد کننده شیب سن به این صورت محاسبه خواهد شد:

رابطهٔ ۶

$$Q_{med} = Q_{(n+2)/2}$$

و اگر n زوج باشد، برآوردکننده شیب سن از این رابطه به دست می‌آید:

رابطهٔ ۷

$$Q_{med} = (Q_{(n)/2} + Q_{(n+2)})/2$$

اگر مقدار Q_{med} را با آزمون دوطرفه در سطح اطمینان 100(1-α) درصد بررسی شود شیب واقعی نمودار روند را می‌توان به دست آورد (Vivekanandan, 2007). اگر عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج‌شده قرار بگیرد فرض صفر تائید شده و درنتیجه بر سری زمانی مورد آزمون نمی‌توان هیچ روندی را در سطح اطمینان موردنظر نسبت داد. در

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

غیر این صورت فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی‌داری در سطح اطمینان مورد آزمون است.

بررسی مسیرهای انتشار گردوغبار با استفاده از مدل HYSPLIT، بررسی تصاویر سنجنده موریس[1]، بررسی ارتباط لایه‌مرزی[2] و بررسی تابش موج کوتاه ورودی سطحی از دیگر روش‌های بکار رفته در این تحقیق می‌باشد. ارتفاع لایه‌مرزی مبتنی بر برونداد پایگاه مرکز پیش‌بینی هوا سپهر اروپایی می‌باشد. داده‌های مرکز مذکور نتیجه برهم‌کنش پیچیده‌ای میان داده‌های موجود و نتایج الگوهای هواسپهری بوده که به‌صورت داده‌های شبکه‌بندی عرضه‌شده است.

جدیدترین محصول عرضه‌شده این محصول داده نسخه ERA5 می‌باشد. ERA5 نسل پنجم تجزیه‌وتحلیل مجدد ECMWF برای اقلیم و آب‌وهوای جهانی در ۴ تا ۷ دهه گذشته است. در حال حاضر داده‌ها از سال ۱۹۵۰ در دسترس هستند، به ورودی‌های Climate Data Store برای سال‌های ۱۹۵۰-۱۹۷۸ (توسعه اولیه) و از سال ۱۹۷۹ به بعد (نسخه نهایی به همراه به‌روزرسانی‌های به‌موقع، این صفحه) در دسترس هستند. ERA5 جایگزین تحلیل مجدد ERA-Interim شده است. در این مطالعه ارتفاع لایه‌مرزی برای روزهای موردمطالعه به‌صورت میانگین روزانه با تفکیک مکانی می‌باشد. این پارامتر عمق هوای سطح زمین است که بیشترین تأثیر را از مقاومت در برابر انتقال تکانه، گرما یا رطوبت در سطح زمین می‌گیرد. ارتفاع لایه‌مرزی می‌تواند تا چند ده متر کم شود، مثلاً در هوای خنک در شب، یا بیابان در وسط یک روز آفتابی گرم تا چندین کیلومتر ارتفاع داشته باشد. هنگامی‌که ارتفاع لایه‌مرزی کم باشد، غلظت‌های بالاتری از آلاینده‌ها (ساطع‌شده از سطح زمین) می‌تواند ایجاد شود. محاسبه ارتفاع لایه‌مرزی بر اساس عدد ریچاردسون (معیار شرایط جوی) می‌باشد (https://cds.climate.copernicus.eu).

۴-یافته‌ها

۴-۱- روند سالانه گردوغبار به تفکیک ایستگاه‌های جنوب غرب ایران

در بررسی تغییرات گردوغبار سالانه با استفاده از آزمون من - کندال مشاهده شد که روند گردوغبار سالانه در اکثر ایستگاه‌های جنوب غرب ایران (به‌جز فرودگاهی دزفول، فرودگاهی امیدیه، شیراز ساحلی بوشهر و بوشهر فرودگاهی و لار) روند افزایشی داشته که این روند در ایستگاه‌های جزیره خارک، زرقان و فسا در سطح ۹۹/۹ درصد و در ایستگاه‌های بستان، آبادان، بندر ماهشهر، امیدیه آقاجاری، دو گنبدان و فرودگاهی بوشهر در سطح ۹۹ درصد و در ایستگاه‌های مسجدسلیمان و یاسوج در سطح ۹۵ درصد و در ایستگاه اهواز در سطح ۹۰ درصد معنی‌دار و افزایشی است. آماره‌های آزمون تخمین شیب سن در سطوح اطمینان مورد بررسی نشان دادند که در ایستگاه‌های بستان، آبادان، بندر ماهشهر، امیدیه آقاجاری، دوگنبدان، جزیره خارک، زرقان و فسا ۹۹ درصد در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار افزایشی بوده، و همچنین ایستگاه‌های فرودگاهی دزفول و فرودگاهی بوشهر در سطح اطمینان ۹۹ درصد کاهشی می‌باشد. به این دلیل که عدد صفر بین دو شیب استخراج‌شده قرار نمی‌گیرد فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که در ایستگاه‌های مذکور سری زمانی دارای روند معنی‌داری در سطوح اطمینان مورد آزمون می‌باشد. از طرف دیگر در سایر ایستگاه‌ها چون عدد صفر بین دو شیب تخمین سن استخراج‌شده قرار می‌گیرد بنابراین می‌توان پذیرفت که سری زمانی‌های موردنظر دارای روند معنی‌داری در سطوح اعتماد مورد آزمون نیست.

1 Modis
2 Boundary layer height

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

جدول ۲: آماره من-کندال و شیب‌خط سن روند گردوغبار سالانه (کد ۰۶) جنوب غرب ایران دوره ۲۰۱۹-۱۹۸۵

سری زمانی	روند من کندال			تخمین شیب سن			
	Test Z	signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
صفی‌آباد	۱/۲۲		۰/۰۰۰	-۱/۲۹۶	۳/۲۸۸	-۰/۵۲۳	۲/۷۲۶
فرودگاهی دزفول	-۳/۲۷	**	-۱/۸۳۳	-۳/۴۲۹	-۰/۴۵۸	-۳/۰۰۰	-۰/۸۰۰
بستان	۳/۱۵	**	۱/۱۳	۰/۴۲۵	۳/۵۷۱	۰/۷۶۰	۳/۲۲۵
اهواز	۱/۶۶	+	۱/۲۰۰	-۰/۹۵۰	۲/۸۵۷	-۰/۱۸۶	۲/۴۵۶
مسجدسلیمان	۲/۰۷	*	۱/۲۹۴	-۰/۲۸۶	۳/۰۰۰	۰/۱۰۵	۲/۵۵۰
رامهرمز	۰/۵۳		۰/۲۸۶	-۱/۰۰۰	۱/۶۵۶	-۰/۶۶۷	۱/۳۱۷
آباده	۱/۳۱		۰/۲۷۳	-۰/۲۴۸	۰/۶۶۷	-۰/۰۹۱	۰/۶۰۰
فرودگاهی امیدیه	-۰/۶۷		-۰/۵۰۰	-۲/۳۳۹	۱/۳۴۲	-۱/۸۷۴	۰/۹۰۰
آبادان	۲/۹۶	**	۱/۶۲۵	۰/۳۱۵	۳/۱۰۱	۰/۶۳۸	۲/۷۵۰
بندر ماهشهر	۲/۸۰	**	۱/۱۷۶	۰/۱۵۴	۲/۳۷۵	۰/۳۷۷	۲/۰۲۴
امیدیه آقا جاری	۲/۷۶	**	۱/۴۵۰	۰/۱۰۱	۲/۷۱۴	۰/۳۹۶	۲/۳۵۳
دوگنبدان	۲/۹۱	**	۱/۰۷۷	۰/۰۸۳	۲/۴۵۸	۰/۲۹۴	۲/۱۵۸
یاسوج	۱/۹۹	*	۰/۷۷۳	-۰/۱۳۲	۲/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۵۴۳
درودزن	۰/۰۷		۰/۰۰۰	-۰/۵۸۴	۰/۷۰۶	-۰/۴۰۰	۰/۵۳۸
جزیره خارک	۳/۴۰	***	۰/۳۹۴	۰/۱۱۸	۰/۷۶۵	۰/۲۲۲	۰/۶۰۰
زرقان	۳/۵۹	***	۰/۵۷۹	۰/۱۳۳	۱/۰۰۰	۰/۲۲۰	۰/۸۴۷
شیراز	-۰/۶۵		-۰/۴۷۸	-۲/۰۱۹	۱/۲۸۸	-۱/۵۸۲	۰/۹۲۱
بوشهر ساحلی	-۰/۶۱		-۰/۵۰۰	-۲/۴۰۲	۱/۱۶۷	-۲/۰۰۰	۰/۸۰۳
بوشهر فرودگاهی	-۲/۹۳	**	-۲/۹۲۹	-۵/۳۳۳	-۰/۲۷۴	-۴/۳۸۶	-۱/۱۱۳
فسا	۴/۵۱	***	۲/۰۰۰	۰/۸۳۲	۳/۲۰۰	۱/۱۵۴	۲/۸۰۴
لار	-۰/۵۰		-۰/۲۷۸	-۲/۹۲۹	۱/۵۵۱	-۲/۱۵۶	۰/۹۷۹

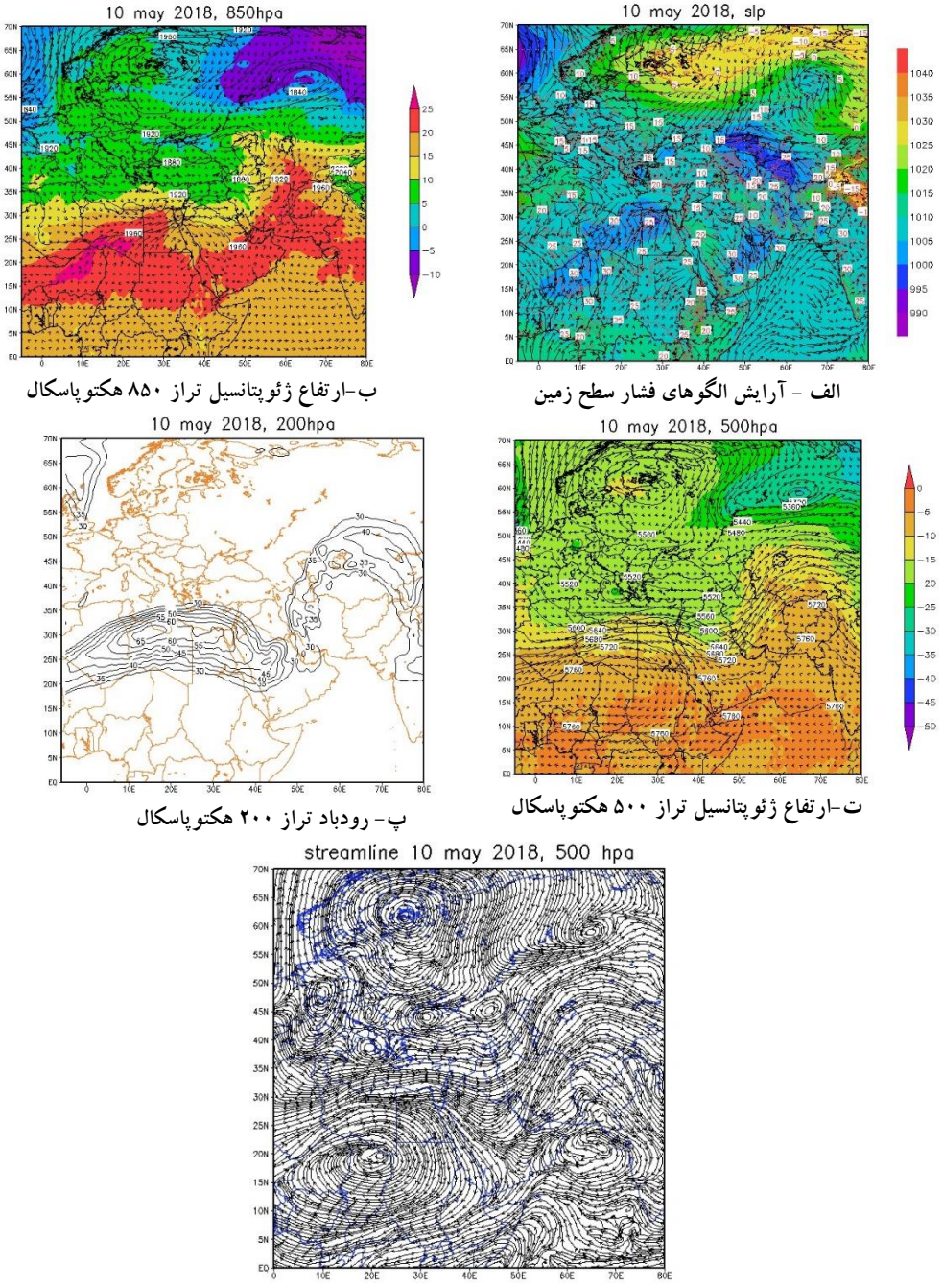
۲-۴- تحلیل و بررسی نقشه‌های سینوپتیکی و دینامیکی طوفان‌های گردوغبار جنوب غرب ایران

انتخاب رویداد طوفان‌های گردوغبار جهت تحلیل دینامیکی طوفان‌های گردوغبار جنوب غرب ایران بر اساس نوع پدیده گردوغبار و فراگیر بودن طوفان گردوغبار (بیشترین ایستگاه‌های منطقه موردمطالعه مواجه با پدیده گردوغبار در یک روز) انجام گردید. بر این اساس روز ۱۰ تا ۱۲ می ۲۰۱۸ برای بررسی طوفان‌های گرد و غبار انتخاب شد. در روز ۱۰ می ۲۰۱۸ یک پرفشار با هسته ۱۰۲۵ هکتوپاسکال با دمای ۰ درجه سلسیوس در منطقه شرق اروپا و کم‌فشار دیگری با هسته‌ی ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و دمای ۲۵+ درجه سلسیوس بر روی ایران (شمال شرق ایران) که زبانه‌های این کم‌فشار ایران و کشورهای همسایه (عراق و سوریه) را تحت شعاع قرار داده است. بر روی کشور عراق و سوریه زبانه کم‌فشار ۱۰۰۰ هکتوپاسکال با دمای ۱۵ درجه سلسیوس واقع‌شده است از طرف کم‌فشاری با هسته ۹۵۵ هکتوپاسکال بر روی کشور امارات و عربستان واقع شده است (شکل ۲- الف). در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی یک‌کم ارتفاع با هسته ۱۶۰۰ با دمای ۵- درجه سلسیوس بر روی سیبری واقع‌شده است و یک پر ارتفاع با هسته ۲۰۰۰ با دمای ۰ درجه سلسیوس بر روی شرق اروپا قرار گرفته است. زبانه‌های کنتوری ۱۸۸۰ تا ۱۹۶۰ بر روی ایران واقع‌شده است که بر روی نیمه جنوبی ایران دما ۲۰+ درجه سلسیوس و بر روی نیمه شمالی دما ۱۰+ درجه سلسیوس قرار دارد (شکل۲- ب). در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال یک‌کم ارتفاع با هسته ۵۵۰۰ بر روی ترکیه واقع‌شده است که زبانه‌های ۵۶۰۰ تا ۵۷۲۰ بر روی ایران گذر کرده است که دما بر روی جنوب غرب ایران

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

۱۵- درجه سلسیوس وبر روی شمال غرب ایران ۲۰- درجه سلسیوس می‌باشد (شکل۲- ت). از طرفی یک‌کم ارتفاع با هسته ۵۲۴۰ با دمای ۴۰- درجه سلسیوس بر روی سیبری دیده می‌شود. یک پر ارتفاع با هسته ۵۶۴۰ با دمای ۲۰- درجه سلسیوس بر روی شرق اروپا واقع‌شده است. جت جنب حاره با هسته سرعت ۶۵ متر بر ثانیه بر روی عرض‌های ۲۵ تا ۳۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۱۰ تا ۲۰ درجه شرقی و جت قطبی در جنوب غربی ایران با سرعت ۴۰ متر بر ثانیه به هم نزدیک می‌شوند (شـکل ۲- پ). نقشه خطوط جریان نشان می‌دهد که در این روز جریان باد از سمت شمال کشور عربستان و جنوب کشور عراق به‌سوی منطقه موردمطالعه است (شکل ۲- ح).



ب-ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

الف - آرایش الگوهای فشار سطح زمین

پ- رودباد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال

ت-ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

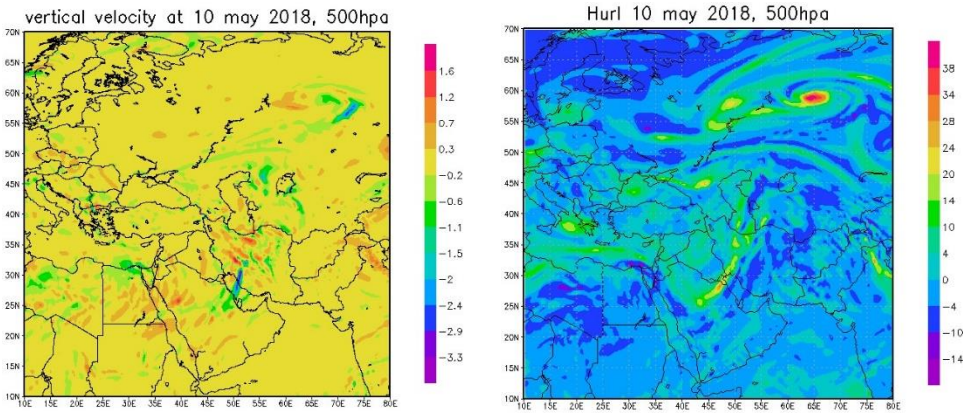
ح-خطوط جریان ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۲: نقشه‌های سطوح مختلف جو ساعت صفر UTC روز ۱۰ می۲۰۱۸ (دما : درجه سلسیوس، فشار : هکتوپاسکال و ارتفاع: متر)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

شـکل نقشـه تاوایی (شـکل۳ - الف) با گردش چرخندی در سطح ۵۰۰ هکتو پاسکال مطابقت دارد و بر این اساس حداکثر تاوایی با در شـمال دریاچه خزر در محدوده جغرافیایی ۶۰ درجه شـمالی و ۷۰ درجه شرقی مشاهده‌می‌شود. در محدوده کشـور ایران میزان تاوایی ۱۴ تا ۳۴ بوده و از شـمال کشـور عربسـتان و جنوب کشور عراق به سمت جنوب غربی ایران می‌باشد. چون در جنوب غرب ایران تاوایی در روز واقعه نسبت به دور روز قبل آن افزایش‌یافته نشان‌دهنده عامل رشد گردوغبار در منطقه می‌تواند باشد. در نقشه سرعت قائم (شکل۳- ب) مشاهده می‌گردد بر روی کشور عراق و غرب ایران سرعت قائم بین ۰/۵- تا ۰/۷ متر بر ثانیه و در مناطق غرب و جنوب غرب ایران بین ۰/۵- تا ۰/۷ متر بر ثانیه نشان می‌دهد.

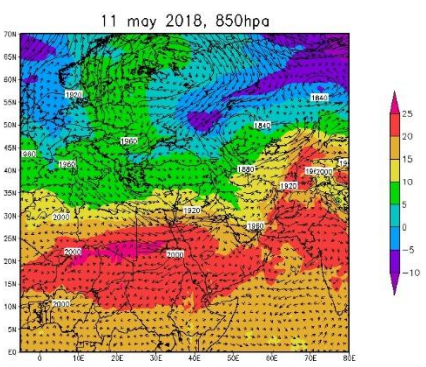


ب- امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال | الف- تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

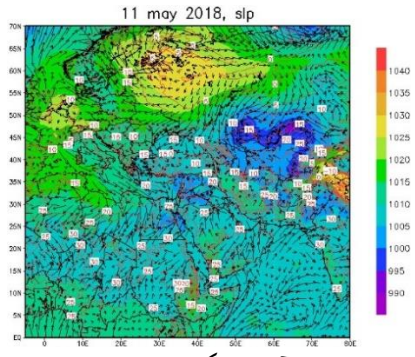
شکل ۳: نقشه‌های تاوایی و امگا سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت صفر UTC روز ۱۰ می ۲۰۱۸ بررسی وضعیت تاوایی و امگا در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال

در این روز همان هسـته فشاری ۱۰۲۵ هکتوپاسکال در محدوده شرق اروپا با دمای ۵ درجه سلسیوس واقع‌شده است و کم‌فشـار با هسـته ۹۹۵ هکتوپاسکال و دمای ۱۵ درجه سلسیوس با حرکت شرق سوی خود بر روی ترکمنستان قرار دارد. بر روی کشـور عراق و کشور سوریه زبانه کم‌فشار ۱۰۰۵ هکتوپاسکال با دمای ۱۵ درجه سلسیوس واقع‌شده‌است (شـکل ۴- الف). در تراز ۸۵۰ هکتوپاسـکال بر روی سیبری یک‌کم ارتفاع با هسته ۱۶۴۰ با دمای ۵- بسته‌شده است و یک پر ارتفاع با هسته ۲۰۰۰ با دمای ۰ درجه سلسیوس بر روی شرق اروپا قرار دارد بر روی ایران زبانه‌های کنتور بین ۱۹۲۰ تا ۱۹۶۰ واقع‌شـده که دمای آن در نیمه جنوبی ۱۵ درجه سـلسـیوس و در نیمه شمالی ۵ درجه سلسیوس می‌باشد (شـکل ۴- ب). در تراز ۵۰۰ هکتوپاسـکال یک‌کم ارتفاع با هسته ۵۳۶۰ با دمای ۳۵- درجه سلسیوس بر روی سیبری واقع‌شـده است که زبانه‌های ۵۵۶۰ تا ۵۷۲۰ بر روی ایران قرار دارد دما در نیمه جنوبی ایران ۱۵- درجه سلسیوس و در نیمه‌ی شـمالی ۲۰- درجه سـلسـیوس می‌باشد و بر روی کشور عراق جریانات مداری است (شکل ۴- ت). نقشه جت نشـان می‌دهد که یک جت جنب‌حاره‌ای با هسـته سـرعت ۶۵ متر بر ثانیه و حرکت شرق سوی خود به مناطق جنوب غربی ایران نزدیک شـده و در عرض جغرافیایی ۱۸ تا ۳۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۰ تا ۵۰ درجه شرقی واقع‌شده و به جت قطبی در محدوده کشـور ایران نزدیک شده است (شکل ۴- پ). نقشه خطوط جریان نشان می‌دهد که در این روز جهت جریان باد از سمت کشور عربستان و عراق به‌سوی منطقه موردمطالعه است (شکل ۴-ح).

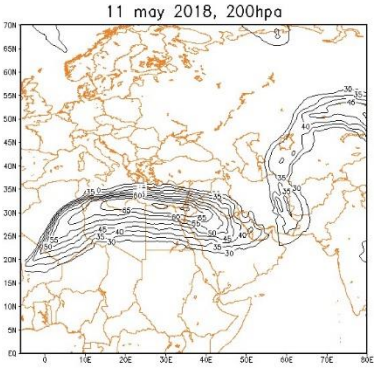
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]
[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]



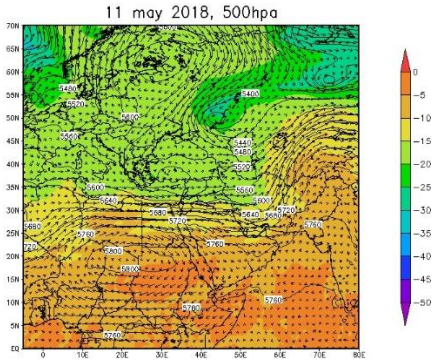
ب-ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال



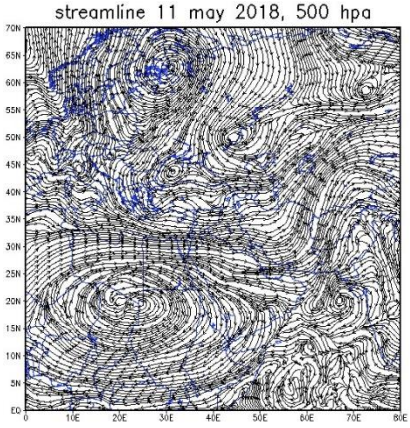
الف - آرایش الگوهای فشار سطح زمین



پ- رودباد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال



ت-ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



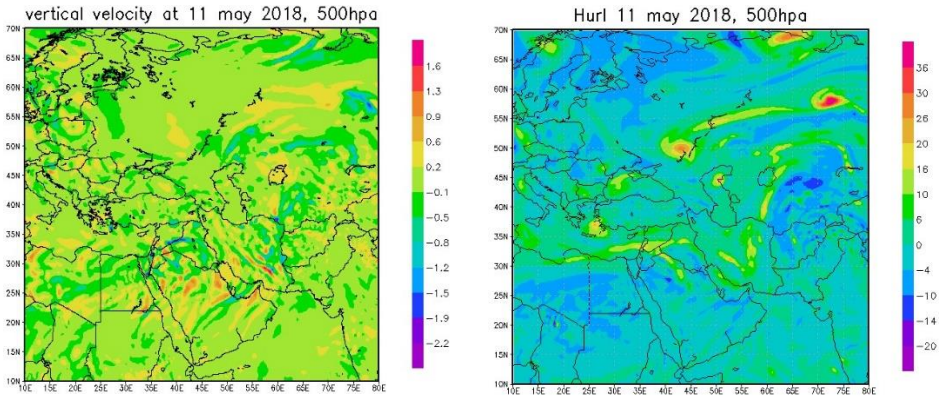
ح-خطوط جریان ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۰: نقشه‌های سطوح مختلف جو ساعت صفر UTC روز ۱۱می ۲۰۱۸ (دما برحسب درجه سلسیوس، فشار برحسب هکتوپاسکال و ارتفاع برحسب متر)

شـکل نقشه تاوایی (۵- الف) با گردش چرخندی در سطح ۵۰۰ هکتو پاسکال مطابقت دارد و بر این اساس حداکثر تاوایی با در شمال دریاچه خزر در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه شمالی و ۴۰ درجه شرقی مشاهده می‌شود. بر روی غرب ایران تاوایی بین ۰ تا ۱۰ بوده و در نیمه‌شـمالی عراق بین ۱۰ تا ۲۰ و بر روی جنوب غرب ایران ۶ تا ۱۰ مشـاهده می گردد. در نقشـه سـرعت قائم مشاهده شد که بر روی کشور عراق و غرب ایران سرعت قائم بین ۰/۵- تا ۲ بوده و در مناطق غرب و جنوب غربی ایران بین ۰/۵- تا ۰/۶ را نشان می‌دهد (شکل۵- ب).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

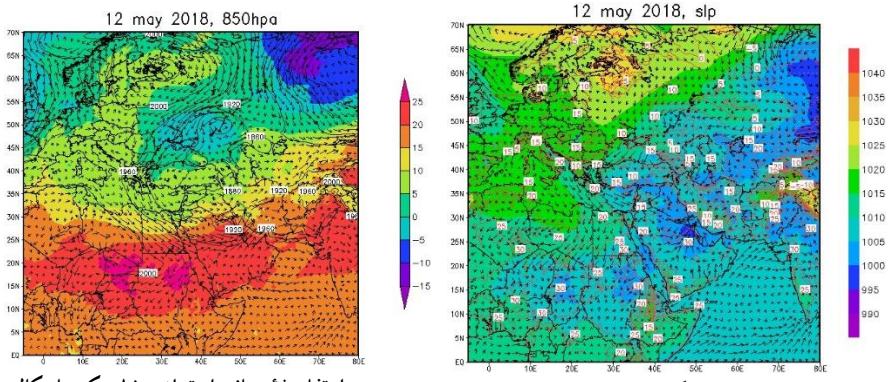
[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]



الف- تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ب- امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

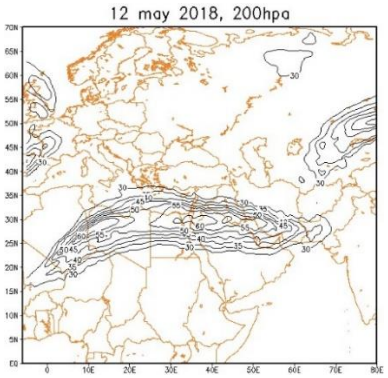
شکل ۵: نقشه‌های تاوایی و امگا سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت صفر UTC روز ۱۱ می ۲۰۱۸ بررسی وضعیت تاوایی و امگا در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال

نقشه‌های سینوپتیکی روز ۱۲ می ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که همچنان بر روی منطقه شرق اروپا پرفشار با هسته ۱۰۲۵ با دمای ۵ درجه سلسیوس و همچنین یک‌کم فشار با هسته ۹۹۷٫۵ هکتوپاسکال و دمای ۳۰ درجه سلسیوس بر روی عربستان و غرب خلیج‌فارس واقع شده است (شکل ۶- الف). در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال یک‌کم ارتفاع با هسته ۱۸۴۰ با دمای ۵-درجه سلسیوس بر روی شمال ترکیه واقع‌شده و گرادیان کنتوری بر روی همسایه‌های غربی ایران و ایران با کنتور ۱۹۲۰ تا ۱۹۶۰ دیده می‌شود. دمای آن در نیمه جنوبی منطقه ۲۰+ درجه سلسیوس و در نیمه شمالی بین ۵ تا ۱۵ درجه سلسیوس می‌باشد (شکل ۶- ب). در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با تقویت هسته کم‌ارتفاع ۵۳۶۰ با دمای -۳۵ درجه سلسیوس و حرکت آن به‌سوی جنوب و واقع‌شدن بر روی شمال ترکیه، سبب ایجاد گرادیان و تراف (ناوه) بر روی کشور عراق و مناطق غربی ایران شده و خطوط کنتوری از ۵۵۲۰ تا ۵۷۵۰ بر روی همسایه‌های غربی ایران و ایران واقع‌شده که دمای آن در نیمه جنوبی منطقه ۱۵- درجه سلسیوس و در نیمه شمالی منطقه ۲۰- درجه سلسیوس مشاهده می‌شود (شکل۶- ت). نقشه جت در این روز حاکی از آن است که جت جنب حاره (بین عرض‌های جغرافیایی ۱۵ تا ۳۵ درجه شمالی و طول ۰ تا ۶۵ درجه شرقی) با هسته سرعت ۴۵ متر بر ثانیه بر روی جنوب غرب ایران قرار گرفته است (شکل ۶- پ). نقشه خطوط جریان نشان می‌دهد که در این روز جهت جریان باد از سمت کشور عربستان و عراق به‌سوی منطقه موردمطالعه است (شکل ۶- ح).

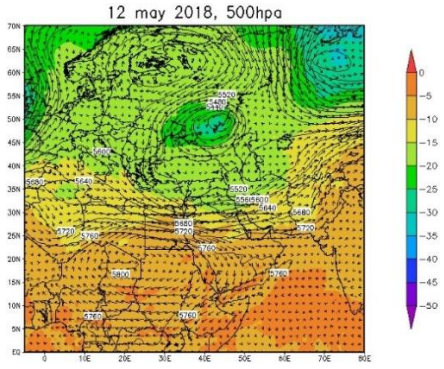


ب-ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال الف - آرایش الگوهای فشار سطح زمین

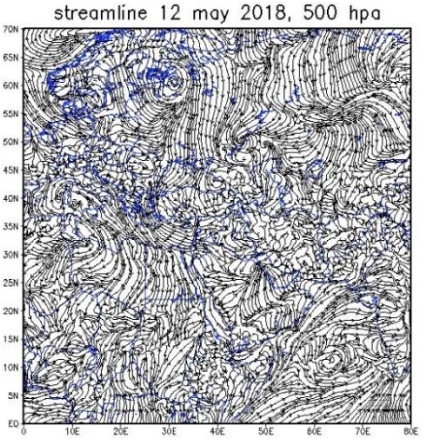
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]
[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]



پ- رودباد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال



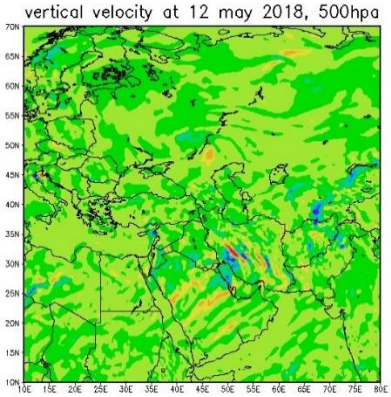
ت-ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



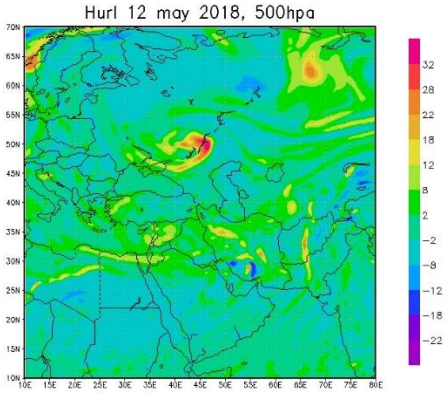
ح-خطوط جریان ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۶: نقشه‌های سطوح مختلف جو ساعت صفر UTC روز ۱۲ می ۲۰۱۸ (دما برحسب درجه سلسیوس، فشار برحسب هکتوپاسکال و ارتفاع برحسب متر)

شـکل نقشه تاوایی (۷- الف) با گردش چرخندی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال مطابقت دارد و بر این اساس حداکثر تاوایی با در شمال دریاچه خزر در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه شمالی و ۴۰ درجه شرقی مشاهده می‌شود. بر روی غرب ایران (عراق و سوریه) تاوایی ۸ تا ۱۲ بوده و بر روی جنوب غرب ایران ۱۸- تا ۰ یعنی فرونشینی بوده است. نزول هوا بر روی غرب و جنوب غرب ایران کاملاً مشهود است. در نقشه سرعت قائم (شکل ۷- ب) مشاهده می‌شود که بر روی کشور عراق و غرب ایران سرعت قائم در نیمه جنوبی عراق بین ۰/۴ تا ۱/۱ و در نیمه شمالی عراق ۰/۴- تا ۰/۴+ است و در مناطق غرب و جنوب غربی ایران افت سرعت قائم مشاهده می‌شود و مقدار آن ۰/۸- تا ۱/۹- است.



ب- امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



الف- تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

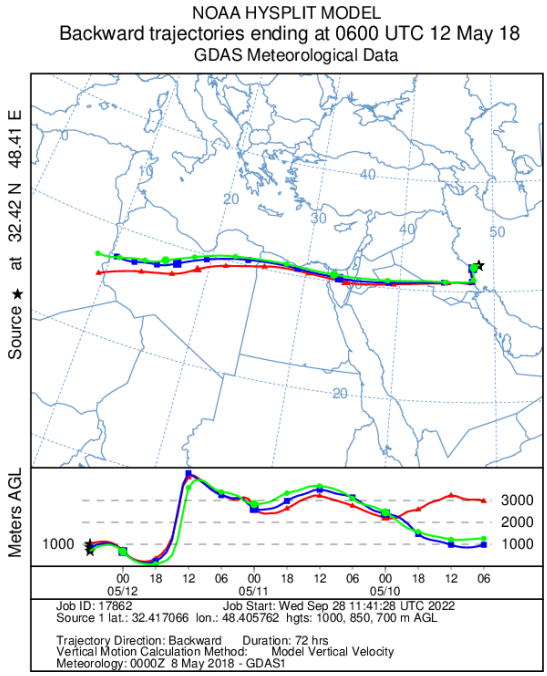
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

شکل ۷: نقشه‌های تاوایی و امگا سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت صفر UTC روز ۱۲ می ۲۰۱۸ بررسی وضعیت تاوایی و امگا در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال

۳-۴- بررسی مسیرهای انتشار گردوغبار با استفاده از مدل HYSPLIT

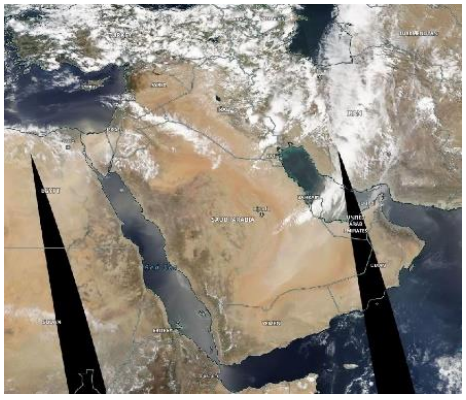
نتایج اجرای مدل HYSPLIT برای مسیریابی انتشار ذرات گردوغبار با گام زمانی ۷۲ ساعته ، بیانگر وجود رخداد پدیده گرد وغبار در تعداد قابل‌توجهی از ایستگاه‌های جنوب غرب ایران می‌باشد. یکی از مهم‌ترین مناطق منشأ تولید گردوغبار کشور عراق و عربستان می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود مسیر باد به‌صورت مستقیم طول جغرافیایی را طی کرده و پس از گذر از کشورهای عربستان و عراق به جنوب غرب ایران می‌رسد.



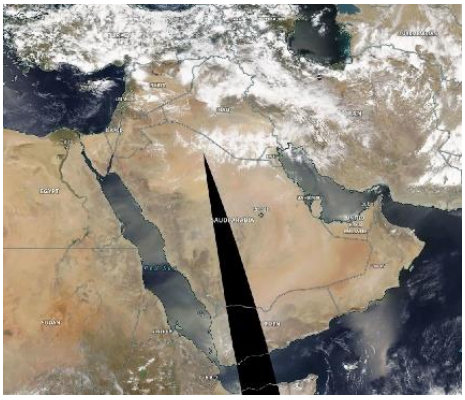
شکل ۸ : ردیابی پسگرد مسیر باد با گام زمانی ۷۲ ساعته ۱۲ می ۲۰۱۸

۴-۴- بررسی تصاویر سنجنده موریس

باتوجه به تصاویر دریافتی از سنجنده مودیس، گردوخاک از قاره آفریقا (کشور سودان) پس از عبور از دریای سرخ به کشور عربستان رسیده و با تقویت در کشور عربستان در تاریخ ۱۱ و ۱۲ می ۲۰۱۸ به جنوب غرب ایران می‌رسد.



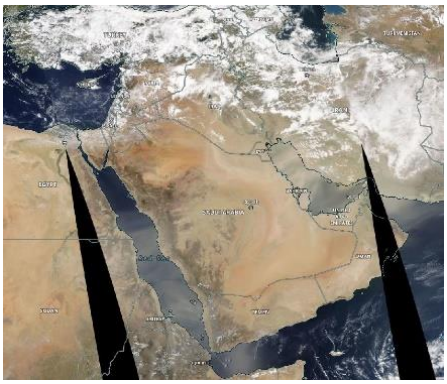
الف- تصویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس ۱۰ می ۲۰۱۸



ب- تصویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس ۱۱ می ۲۰۱۸

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]



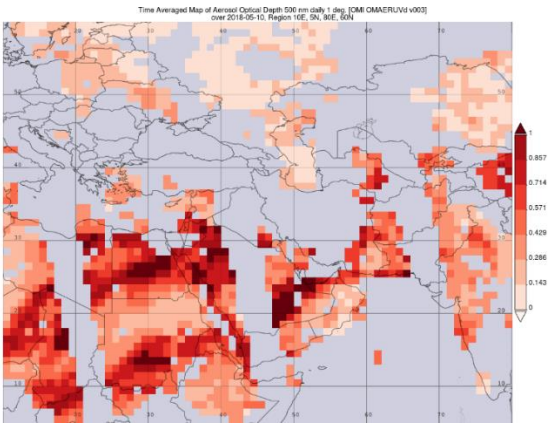
پ- تصویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس ۱۲ می ۲۰۱۸

شکل ۹: تصاویر دریافتی از سنجنده مودیس ۰۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ می ۲۰۱۸

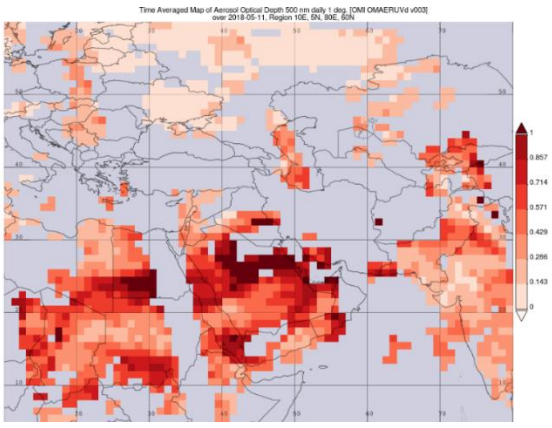
ارتفاع لایه‌مرزی در روزهای ۱۰ تا ۱۲ می ۲۰۱۸ در جدول شماره ۳ آورده شده است. بیشینه و میانگین لایه‌مرزی در روز ۱۲ ژوئن به حداکثر خود در منطقه موردمطالعه می‌رسد. بانفوذ و گسترش طوفان گردوغبار از سمت غرب کشور (مرز بین کشورهای عراق و عربستان) عمق ذرات نوری افزایش‌یافته که این تغییرات در شکل ۱۰ نشان‌داده‌شده است. در روز اول نفوذ گردوغبار بیشتر از قسمت‌های جنوبی و از سمت کشور عربستان با گذر از خلیج‌فارس وارد منطقه موردمطالعه می‌شود.

جدول ۳: ارتفاع لایه‌مرزی روز ۱۰ تا ۱۲ می ۲۰۱۸

روز	ارتفاع لایه‌مرزی (متر)		
	کمینه	بیشینه	میانگین
۲۰۱۸-۰۵-۱۰	۲۹۲	۱۴۶۴	۸۷۸
۲۰۱۸-۰۵-۱۱	۱۲۱	۱۸۲۵	۹۷۳
۲۰۱۸-۰۵-۱۲	۲۷۵	۱۷۰۹	۹۹۲



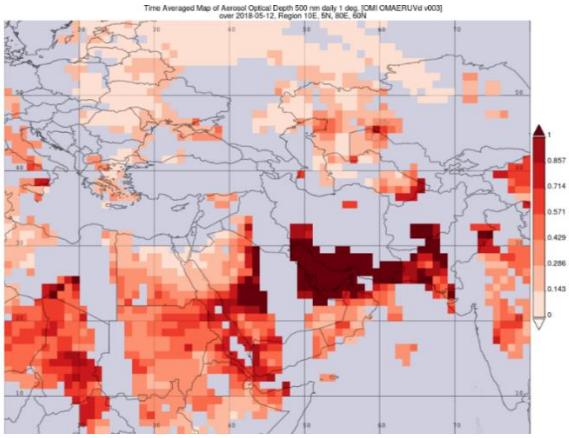
الف-۱۰ می ۲۰۱۸



ب-۱۱ می ۲۰۱۸

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

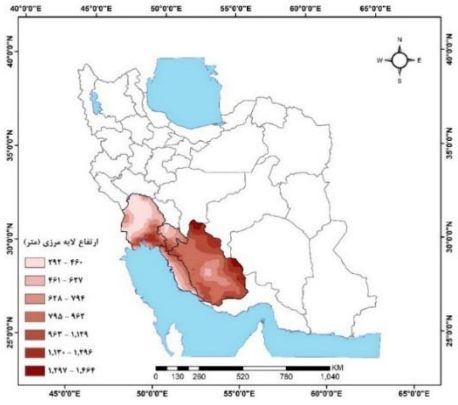
[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]



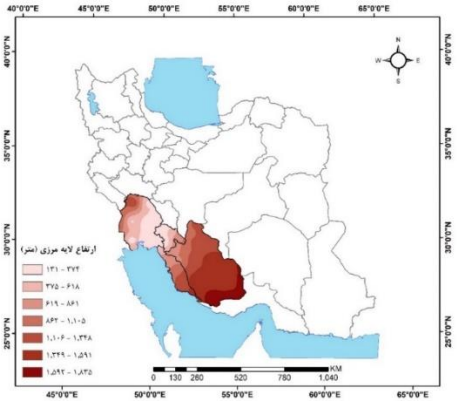
پ- ۱۲ می ۲۰۱۸

شکل۱۰: عمق ذرات نوری **AOD 500** منطقه موردمطالعه سنجنده مودیس با تفکیک مکانی ۰/۵ درجه روز ۱۰ می ۲۰۱۸

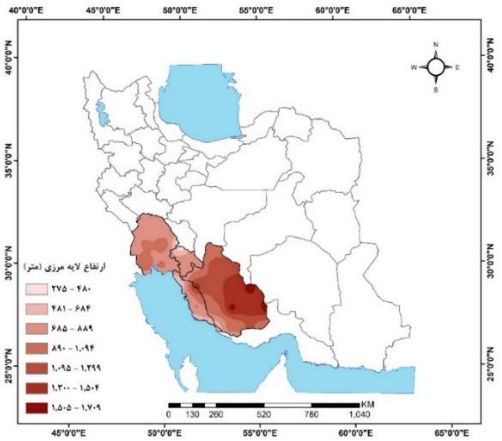
باتوجه به نفوذ گردوغبار ارتفاع لایه‌مرزی در ایستگاه‌های جنوبی منطقه موردمطالعه افزایش می‌یابد. در روز ۱۱ می با تداوم گردوغبار از سمت جنوب و غرب (کشورهای عربستان و عراق) عمق نوری ذرات در استان‌های غربی افزایش می‌یابد. باتوجه به مسیر ورودی پدیده گردوغبار ارتفاع لایه‌مرزی در دو ناحیه شمال و جنوب منطقه موردمطالعه افزایش‌یافته است. در روز ۱۲ می بیشترین نفوذ گردوغبار از سمت کشور عربستان می‌باشد به‌نحوی‌که مناطق جنوبی‌تر را بیشتر تحت‌تأثیر قرار داده است. باتوجه به مسیر ورودی گردوغبار ارتفاع لایه‌مرزی در ایستگاه‌های جنوبی افزایش‌یافته است.



الف-۱۰ می ۲۰۱۸



ب-۱۱ می ۲۰۱۸



پ- ۱۲ می ۲۰۱۸

شکل ۱۱: ارتفاع لایه‌مرزی روز ۱۱ الی ۱۲ می ۲۰۱۸

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

در بررسی تغییرات گردوغبار سالانه با استفاده از آزمون من - کندال مشاهده شد که روند گردوغبار سالانه در اکثر ایستگاه‌های جنوب غرب ایران (به‌جز فرودگاهی دزفول، فرودگاهی امیدیه، شیراز ساحلی بوشهر و بوشهر فرودگاهی و لار) روند افزایشی داشته است. آماره‌های آزمون تخمین شیب سن در سطوح اطمینان مورد بررسی نشان دادند که در ایستگاه‌های بستان، آبادان، بندر ماهشهر، امیدیه آقاجاری، دوگنبدان، جزیره خارک، زرقان و فسا در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار افزایشی بوده، و همچنین ایستگاه‌های فرودگاهی دزفول و فرودگاهی بوشهر در سطح اطمینان ۹۹ درصد کاهشی می‌باشد. در بررسی تغییرات گردوغبار در فصول با استفاده از آزمون من-کندال مشاهده شد که روند گردوغبار همه فصل‌ها در غالب ایستگاه‌های جنوب غرب ایران روند افزایشی دارد و همچنین آماره‌های آزمون تخمین شیب سن در سطوح اطمینان مورد بررسی نشان دادند که روند گردوغبار در اکثر ایستگاه‌ها روند افزایشی در طی دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۹ دارند. منابع اصلی گردوغبارهایی که به غرب ایران واردشده‌اند بیشتر از نواحی بیابانی نسبتاً نزدیک به این منطقه مثل صحرای سوریه، کشور عراق و یا صحرای نفود در شمال شبه‌جزیره عربستان منشأ می‌گیرند. با توجه به روزهای گردوغباری بررسی‌شده، در مواقعی که الگوهای فشار با شرایط زیر آرایش یافته باشند، می‌توان شدیدترین طوفان‌های گردوغباری با حداقل قدرت دید را در غرب ایران به‌ویژه نیمه‌ی جنوبی آن انتظار داشت. در سطح زمین نیز می‌تواند مرکز کم‌فشاری هماهنگ و مرتبط با فرود تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در محدوده‌ی جغرافیایی ۳۵ الی ۴۵ درجه شرقی و پایین‌تر از ۴۵ درجه شمالی و بر روی کشورهای عراق و سوریه و غرب ترکیه مستقر باشد که فشار مرکزی آن حدود ۱۰۰۵ هکتوپاسکال یا کمتر از آن باشد. به‌طورکلی موقعی که کم‌فشارهای حرارتی در قسمت‌های شمالی کشور عراق تا قسمت‌های شمالی شبه‌جزیره عربستان و یا روی خلیج‌فارس مستقر هستند، به دلیل نزدیکی به منطقه نقش بیشتری در تشدید و فعالیت گردوغبار بازی می‌کند. بیشترین تأثیر کم‌فشارهای حرارتی کشور عراق در تشدید و ازدیاد گردوغبار در منطقه‌ی موردمطالعه زمانی است که یک فرود تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در موقعیت و فاصله‌ای مناسب از آن‌ها در غرب یا شمال غرب ایران واقع‌شده باشد تا بتواند با این فروبارهای حرارتی ارتباط پیدا کرده و ضمن حمایت و تقویت آن‌ها باعث تشدید فعالیت آن‌ها نیز بشود. این صورت کم‌فشارهای حرارتی ویژگی حرارتی - دینامیکی پیدا می‌کنند. باتوجه به نقشه‌های سطوح مختلف جو، به‌طورکلی می‌توان گفت، وجود کم‌فشار سطح زمین، ناوه‌های عمیق در سطوح ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در محدوده کشور ایران و همچنین قرارگرفتن هسته جت با سرعت ۴۰ تا ۶۰ متر بر ثانیه در سطح ۲۰۰ هکتوپاسکال بر روی غرب و نیمه جنوبی ایران (منطقه موردمطالعه) در هدایت گردوغبار از سوی کشور عراق به سمت جنوب غربی ایران نقش دارد. مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری در شکل خطوط جریان سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال حاکی از آن است که جهت جریان باد از سمت شمال عراق تا جنوب عربستان به سمت ایران به‌ویژه جنوب غربی ایران (منطقه موردمطالعه) می‌باشد. نقشه تاوایی با گردش چرخندی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال مطابقت دارد و براین‌اساس حداکثر تاوایی در شمال کشور عراق مشاهده می‌شود. خروجی‌های مدل HYSPLIT نشان داد که در طوفان گردوغبار، ذرات غبار از سمت بیابان‌های آفریقا با گذر از شمال عربستان و جنوب عراق وارد جنوب غرب ایران می‌شود. مشاهدات تصاویر ماهواره‌ای از سنجنده مودیس، حاکی از آن است که منشأ رخداد گردوخاک از کشورهای عراق، سودان و کشور عربستان بوده که پس از تقویت، جنوب غرب ایران را

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

تحت‌تأثیر خود قرارمی‌دهد. در بررسی ارتباط لایه‌مرزی با عمق نوری آئروسل مشخص شد که بانفوذ پدیده گردوغبار عمق لایه‌مرزی افزایش‌یافته و از طرفی عمق نوری ذرات در منطقه موردمطالعه هم‌افزایش می‌یابد.

منابع

1. Ahmadi, M., Dadashi Roudbari, A. A, & Jafari, M. (2019). The Effect of Boundary Layer Height on Dust Storm in Southwest of Iran (Case Study: February 21-24, 2016). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8 (19). (in Persian)
2. Boheiraei, H., Ayazi, S. M., Rajaie, M. A., & Ahmadi, H. (2011). Synoptic statistical analyze dust phenomenon in Ilam. *Quartevly Journal of Human Geography*, 4 (1), 47-67. (in Persian)
3. Cosentino, N. J., Gaiero, D. M., Torre, G., Pasquini, A. I., Coppo, R., Arce, J. M., & Vélez, G. (2020). Atmospheric dust dynamics in southern South America: A 14-year modern dust record in the loessic Pampean region. *The Holocene*, 30(4), 575-588. https://doi.org/10.1177/0959683619875198
4. Fatahi Masrour, P., & Rezazadeh, M. (2020). Statistical and Climate Analysis of Dust Storms in Iran. *The Environmental Science and Technology Journal*, 22 (11). (in Persian)
5. Francis, D., Chaboureau, J. P., Nelli, N., Cuesta, J., Alshamsi, N., Temimi, M., Pauluis, O., & Xue, L. (2021). Summertime dust storms over the Arabian Peninsula and impacts on radiation, circulation, cloud development and rain. *Atmospheric Research*, 250 (105364). https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105364
6. Goudie, A. S. (2009). Dust storms: Recent developments. *Journal of environmental management*, 90(1), 89-94. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.007
7. Goudie, A., & Midelton. N. J. (2001). Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth Science Review*, 56. 179-204. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00067-8
8. Indoitu, R., Orlovsky, L., & Orlovsky, N. (2012). Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations. *Journal of Arid Environments*, 85: 62-70. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.03.018
9. Karami, F. (2009). *The role of systemic convergence of pressure on the occurrence of dust storms in Khuzestan province*. M.Sc. Thesis. (In Persian)
10. Kaviani, M. R. (2001). Climate investigation on aridity and drought indices. *Journal of Geographical Research* 16(1):71-89 (In Persian)
11. Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. 4th Edition, Charles Griffin, London.
12. Mann, H. B. (1945). Non-parametric test against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 13(2), 245-259.
13. Mashat, A. W. S., Awad, A. M., Assiri, M. E., & Labban, A. H. (2020). Dynamic and synoptic study of spring dust storms over northern Saudi Arabia. *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 619-634. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03095-6
14. Prospero, J. M., Glaccum, R. A., & Nees, R. T. (1981). Atmospheric transport of soil dust from Africa to South America. *Nature*, 289 (5798), 570-572.
15. Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Francois, P., Kosmopoulos, P. G., & Legrand, M. (2015). Dust-storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research*, 16, 35-48. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2014.10.003
16. Rezazadeh, M., Irannejad, P., & Shao, Y. (2013). Climatology of the Middle East dust events. *Aeolian Research*, 10, 103-109. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.04.001
17. Salamati Hormozi, V., Hamzehnejad, M., Omidvar, K., & Hosein pour, M. (2017). Synoptic-Remote Sensing Analysis of Dust Storm Hormozgan Province (November 2016). *The Environmental Science and Technology Journal*, 21 (12). (in Persian)
18. Tan, M., Li, X., & Xin, L., (2014). Intensity of dust storms in China from 1980 to 2007: A new definition. *Atmospheric environment*. 85, 215-222. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.12.010

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]

19. Vivekanandan, N. (2007). Analysis of Trend in Rainfall Using Non Parametric Statistical Methods. *International symposium on rainfall rate and radio wave propagation*, P101-113. https://doi.org/10.1063/1.2767019
20. Wang, Y., Stein, A. F., Draxler, R. R., Jesús, D., & Zhang, X. (2011). Global sand and dust storms in 2008: observation and HYSPLIT model verification. *Atmospheric Environment*. 45(35), 6368-6381. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.035

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-10-03]

[DOI: 10.61186/jeer.15.3.1]