

Determining the contribution of neighboring countries in the emission of dust to Khuzestan province

F. Dargahian^{1*}, A. Gohardoust², S. Lotfinasabas³ and S. Teimouri⁴

1- Associate Professor, Research institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: dargahian@rifr-ac.ir

2- Researcher, Desert research division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Research institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran.

4- Assistant Professor, Poplar and fast growing trees Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Terhran, Iran.

Received: 07/16/2023

Accepted: 06/10/2024

Abstract

Background and Objectives

Numerous studies have individually examined the influence of neighboring countries on dust generation in southwestern Iran (Khuzestan). However, the specific countries and regions within those countries with the most significant impact on dust events in the southwest still need to be clarified. This study aimed to identify the primary sources of dust emissions affecting Khuzestan using the Aerosol Optical Depth (AOD) index for dust detection and the HYSPLIT model for tracing dust pathways.

Methodology

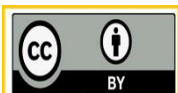
Dust events in Khuzestan province from 2003 to 2017 were identified using MODIS imagery and a suitable dust detection algorithm. Three criteria were applied to each event: spatial extent exceeding 50% of synoptic stations, horizontal field of view less than 5 km, and detection in at least three consecutive synoptic reports. Considering typical dust ingress into Iran at lower and middle atmospheric layers, dust pathways were investigated at 500, 1000, and 1500 meters above ground level. HYSPLIT model outputs for dust event days were combined with AOD images from each year's day before the event in Khuzestan. Areas with the highest dust emissions towards Khuzestan were identified by analyzing AOD concentrations in the days preceding dust events. Regions exceeding a threshold of 30 times the AOD concentration were designated as dust sources or intensification zones. This analysis was performed for each year and the entire period, allowing for prioritization of the most significant dust source areas.

Results

Our analysis of dust events revealed that different regions dominated dust emissions toward Khuzestan across the study period. In 2003, northern and eastern Arabia contributed the most dust. Subsequent years exhibited varying source regions, including the Iraq-Syria border (2004), Saudi Arabia (2005), southern Iraq (2006), southern and southeastern Iraq (2007-2008), southwestern Iraq and northern Iraq alongside northern and eastern Arabia (2009), southern and southwestern Iraq (2010), western, southern, and northern/eastern Iraq alongside Arabia (2011), and again southern and southwestern Iraq (2012-2013). In 2014 and 2015, northern and eastern Arabia re-emerged as the primary source. Finally, the Iraq-Syria border, western Iraq, and southern Iraq were identified as dominant sources in 2016 and 2017, respectively. Across the entire study period (2003-2017), eastern Iraq, the Iraq-Syria border, southern Iraq, and northern and eastern Arabia emerged as the most significant dust source regions impacting Khuzestan.

Conclusion

Our analysis revealed that Iraq contributes the highest proportion of dust emissions impacting Khuzestan province (68.8%), followed by Saudi Arabia, Syria, and Kuwait. Considering anticipated climate change and



intensified dam construction activities in upstream countries, particularly Iraq, dust generation will likely worsen. The dust originating from these regions, situated along the path of synoptic systems towards Iran, has significantly impacted the environment, especially the Zagros forests. Identifying the primary dust source areas empowers policymakers to develop tailored and effective diplomatic strategies for controlling and mitigating the effects of regional fine dust.

Keywords: HYSPLIT model, modis images, neighboring countries, origin of dust; tracking.

تعیین سهم کشورهای همسایه در گسیل گردوغبار به استان خوزستان

فاطمه درگاهیان^{۱*}، آزاده گوهر دوست^۲، سکینه لطفی نسب اصل^۳ و سارا تیموری^۴

۱- دانشیار پژوهش، عضو هیئت علمی بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: dargahian@rifr-ac.ir

۲. کارشناس ارشد پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳. استادیار پژوهشی، عضو هیئت علمی بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- استادیار پژوهشی، عضو هیئت علمی بخش تحقیقات جنگل و صنوبر، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

چکیده

سابقه و هدف

مطالعات زیادی نقش کشورهای همسایه را به طور موردی در گردوغبار جنوب غرب ایران (خوزستان) بررسی کرده اند اما اینکه در بین کشورهای همسایه کدام کشور و در بخش های مختلف یک کشور کدام قسمت بیشترین اثر را در گسیل گردوغبار به جنوب غرب ایران دارد، مطالعه نشده است. در این تحقیق پس از آشکارسازی رخداد گردوغبار، با استفاده از شاخص AOD و ردیابی مسیر آن توسط مدل هایسپلیت مهمترین منابع گسیل گردوغبار مؤثر بر جنوب غرب ایران، شناسایی شدند.

مواد و روش ها

به منظور شناسایی مناطق خارجی مؤثر بر گسیل گردوغبار به استان خوزستان، از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۱۷، یک روز قبل از گزارش پدیده گردوغبار، روز رخداد گردوغبار و یک روز بعد، بر روی تصاویر مادیس، با انتخاب الگوریتم مناسب رخداد گردوغبار آشکارسازی شد. برای هر رخداد گردوغباری سه شرط اعمال شد؛ گسترش مکانی در بیش از ۵۰ درصد ایستگاه های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه، میدان دید افقی کمتر از ۵ کیلومتر و ثبت رخداد در بیش از سه گزارش سینوپ متوالی. با توجه به بررسی های انجام شده، ورود گردوغبار به ایران عموماً در تراز پایین و میانی جو حادث می شود، بنابراین در سه سطح ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر بررسی مسیر ورود گردوغبار انجام شد. در تصاویر مربوط به مدل HYSPLIT، خروجی روش HYSPLIT در روز رخداد به همراه تصویر AOD مربوط به روز قبل از رخداد گردوغبار در خوزستان برای تمام روزها و سالها قرار داده شد. به این ترتیب مناطقی که بیشترین گسیل گردوغبار به سمت خوزستان را داشتند شناسایی شدند و مناطقی که حداقل ۳۰ بار با استفاده از بررسی میزان غلظت AOD در روزهای قبل از وقوع گردوغبار، به عنوان مناطق و مراکز تشکیل و یا تشدید و گسیل گردوغبار بودند، شناسایی و نتایج آن برای هر سال و در نهایت کل دوره پهنه بندی شد و سهم مهمترین مناطق مؤثر بر گردوغبار خوزستان به ترتیب اولویت مشخص گردید.

نتایج

بررسی خروجی تمام رخداد های گردوغبار مورد مطالعه نشان داد طی سال های مختلف مناطق مختلفی بیشترین سهم را در گسیل گردوغبار به خوزستان داشته اند؛ در سال ۲۰۰۳ شمال و شرق عربستان بیشترین گسیل گردوغبار به سمت خوزستان را داشته و به همین ترتیب در سال های بعد، در سال ۲۰۰۴ مرز بین عراق و سوریه، در سال ۲۰۰۵ عربستان، در سال ۲۰۰۶ جنوب عراق، در سال ۲۰۰۷، جنوب و جنوب شرق عراق، در سال ۲۰۰۸، جنوب و جنوب شرق عراق، در سال ۲۰۰۹، جنوب غرب عراق، شمال عراق،

شمال و شرق عربستان، در سال ۲۰۱۰، جنوب و جنوب غرب عراق، در سال ۲۰۱۱، غرب عراق، جنوب عراق، شمال و شرق عربستان، در سال ۲۰۱۲، جنوب و جنوب غرب عراق، در سال ۲۰۱۳، جنوب و جنوب غرب عراق، در سال ۲۰۱۴، شمال و شرق عربستان، در سال ۲۰۱۵ شمال و شرق عربستان، در سال ۲۰۱۶ مرز عراق و سوریه، غرب عراق و جنوب عراق، در سال ۲۰۱۷، مرز بین عراق و سوریه. در طول دوره مورد مطالعه (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷) بیشترین سهم در گسیل گردوغبار؛ شرق عراق، مرز بین عراق و سوریه، جنوب عراق، شمال و شرق عربستان بوده است.

نتیجه گیری

عراق با ۶۸/۸ درصد بیشترین سهم را در گسیل گردوغبار ورودی به استان خوزستان دارد و عربستان، سوریه و کویت به ترتیب در رتبه های بعدی قرار دارند. با توجه به تغییرات اقلیمی پیش رو و تلاش مضاعف کشورهای بالادست آب از طریق احداث سد های خاکی، کشور عراق به منبع عظیمی از گردوغبار مبدل خواهد شد. گردوغبار تولید شده در این کشور به دلیل قرارگیری در مسیر سیستم های سینوپتیک به سمت ایران، اثرهای زیست محیطی زیادی در سال های اخیر به ویژه در زوال جنگل های زاگرس داشته است. شناسایی مناطقی که بیشترین گسیل گردوغبار را دارند، برنامه ریزان و تصمیم گیرندگان را برای اتخاذ دیپلماسی مناسب و کارآمد در کنترل و کاهش اثرهای ریزگرد منطقه ای یاری می کند.

واژه های کلیدی: ردیابی، کشورهای همسایه، منشأ گردوغبار، تصاویر مادیس، مدل هایسپلیت.

مقدمه

گردوغبار یکی از پدیده های مخرب اقلیمی است که آثار و پیامدهای زیست محیطی نامطلوبی برجای می گذارد. این پدیده یکی از مهمترین منابع آلاینده هوا در استان خوزستان می باشد که زندگی مردم را دچار اختلال کرده و کیفیت زندگی را در این استان به شدت تحت تأثیر قرار داده است؛ به طوری که شهر اهواز مرکز این استان از سوی سازمان بهداشت جهانی به عنوان یکی از آلوده ترین شهرهای جهان از نظر مشکلات تنفسی ساکنان شناخته شد (saeedi et al., 2014). طوفان های گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران در سال های اخیر تشدید شده است، این پدیده باعث اختلال در زندگی روزمره مردم شده و آسیب های قابل توجهی را به بخش های مختلف اقتصادی، اجتماعی، بهداشتی، زیست محیطی و حمل و نقل وارد کرده است. با توجه به آسیب های این پدیده و افزایش شدت و وقوع آن در سال های آینده و نیز با توجه به اهمیت منطقه، مطالعه و پایش گردوغبار و اجرای راهکارهای مناسب ضروریست. با پیشرفت فناوری سنجش از دور، پژوهش هایی در سطح بین المللی با استفاده از تصاویر ماهواره ای انجام شده است. با توجه به اینکه استفاده از

تصاویر ماهواره ای کاربرد زیادی در بررسی ویژگی های طوفان های غبارزا از جمله مناطق برداشت ذرات گردوغبار و ویژگی های انتشار آنها اعم از طول مسیر، جهت طوفان ها و سطوح پوشیده از گردوغبار دارد، از این رو استفاده از مدل های مناسب و کارآمد که در آنها از فناوری سنجش از دور برای پایش و مدل سازی گردوغبار استفاده شده باشد، از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و از سوی دیگر، از آنجایی که طوفان های گردوغبار یکی از مهمترین پدیده های ایران است، پیش بینی وقوع آنها و کاهش اثر این طوفان ها برای کشور ما بسیار حائز اهمیت است (Rahmani et al., 2011). امروزه یکی از روش های متداول شناسایی و ردیابی کانون های گردوغبار، استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و فناوری سنجش از دور است. منظور از شناسایی گردوغبار با به کارگیری اندازه گیری های ماهواره ای، یعنی شناسایی محدوده تحت پوشش پیکسل هایی از تصویر که در اثر آلوده بودن به ذرات گردوغبار رفتار بازتابندگی، جذب و پراکنش آنها در طول موج های مختلف یک سنجنده تحت تأثیر قرار گرفته است و سبب تغییر رفتار آنها نسبت به زمان نبود گردوغبار می شود. بنابراین پدیده گردوغبار، فرایند پیچیده ای است که

تعاملات زمین و اتمسفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Mei et al., 2008). مرور پیشینه تحقیقات انجام شده در زمینه پدیده گردوغبار نشان می‌دهد، روش‌های مختلفی با استفاده از سنجش از دور برای مطالعه گردوغبار بکار برده شده‌اند. بررسی منابع موجود نشان می‌دهد تحقیقات متعددی در زمینه مطالعه طوفان‌های گردوغبار در ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای انجام شده‌است. بخش زیادی از این تحقیقات از داده‌های سنجنده MODIS استفاده کرده‌اند. ویژگی‌های سنجنده MODIS شامل پوشش وسیع و زمان بازدید دوباره سریع، آن را برای مطالعه رخداد‌های گردوغبار مناسب کرده است. پس از آن، داده‌های مجموعه ماهواره‌های لندست برای مطالعه رویدادهای منحصربه‌فرد گردوغبار استفاده شده است. غلظت غبارها و ذرات معلق در هوا به حدی است که نمی‌توان توسط باندهای مرئی به پایش و ردیابی آنها پرداخت. از آنجا که MODIS در پایش‌های خود علاوه بر باندهای مرئی، تعداد متنوعی از باندهای حرارتی و مادون قرمز را نیز به‌کار می‌گیرد، طیف وسیعی از غبارها از دید این سنجنده پنهان نمانده و می‌توان تا حد مطلوبی از صحت نتایج مبتنی بر اطلاعات به‌دست آمده از آن مطمئن شد (Kaufman et al., 2001). Faraj Zadeh و Bahrami (۲۰۱۰)، در پژوهش خود قابلیت‌های استفاده از داده‌های سنجش از دور در مطالعه طوفان‌های گردوخاک، سیلاب و بارش‌های شدید را ارزیابی کردند. در این تحقیق مخاطرات طوفان گردوخاک ۱ و ۲ جولای ۲۰۰۸ در خوزستان، سیلاب ۱۱ فوریه ۲۰۰۵ در چابهار و بارش شدید گنو ۶ جون ۲۰۰۷ برای بررسی، انتخاب شدند. ارزیابی این مخاطرات توسط سنجنده‌های VISSR, SEAWIFS, MODIS, AVHRR و در مواردی MSS و TM انجام شد. آنان برای تشخیص مخاطرات در تصاویر، از روش مشاهده بصری استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برای مسیریابی مخاطرات، سنجنده‌های دارای قدرت تفکیک زمانی بالاتر و برای اطلاع از جزئیات و منبع مخاطرات سنجنده‌های دارای قدرت تفکیک مکانی بالاتر مفید می‌باشند. سنجنده

MODIS و SEAWIFS برای آشکارسازی طوفان‌های گردوخاک و سنجنده MODIS برای آشکارسازی سیلاب مفیدتر از دیگر سنجنده‌ها هستند. برای ارزیابی بارش‌های شدید نیز سنجنده ماهواره METEOSAT به‌دلیل قدرت تفکیک زمانی هر ۳۰-۱۵ دقیقه بهترین سنجنده است. Fallah zazuli و همکاران (۲۰۱۴)، در تحقیق خود به پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده گردوغبار با استفاده از سنجش از دور و GIS پرداختند. در این پژوهش منشأ رخداد پدیده گردوغبار مربوط به ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲ که در نواحی غرب و جنوب‌غرب کشور رخ داده است، به کمک تصاویر ماهواره‌ای و با استفاده از باندهای مرئی و باندهای حرارتی سنجنده مادیس و با به‌کارگیری شاخص اکرمین شناسایی شد. معلوم گردید که منشأ اصلی آن محل اتصال رودخانه‌های دجله و فرات بوده که در محدوده شمال و شمال‌شرق عراق و غرب سوریه است و در ادامه مشخص شد تصاویر سنجنده مادیس به دلیل در دسترس بودن، هزینه کم و تکرارپذیری آن در ۲ بازه زمانی در ۲۴ ساعت برای پایش گردوغبار مناسب است. همچنین تحلیل سینوپتیکی آن برای شناسایی چگونگی حرکت گردوغبار از منشأ به داخل ایران با استفاده از داده‌های سینوپتیکی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی، فشار تراز دریا و نقشه‌های جهت جریان باد ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی بررسی شد. نتایج مطالعه آنان نشان داد، تحلیل سینوپتیکی، یافتن منشأ و نحوه انتقال گردوغبار را بهینه کرده و تصمیم‌گیری مناسب‌تری را برای پیش‌بینی مسیر حرکت گردوغبار ممکن می‌کند. درنهایت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و با به‌کارگیری ابزار Spatial Analysis Tools نمایش حرکت آن از منشأ تا داخل ایران رهگیری شد. Legrand و همکاران (۲۰۰۱)، در تحقیق خود به شناسایی ماهواره‌ای گردوغبار با استفاده از تصاویر مادون قرمز ماهواره Meteosat پرداختند. آنان از شاخص گردوغبار تفاضلی مادون قرمز شناسایی ماهواره‌ای گردوغبار (IDDI) که یک محصول گردوغبار ماهواره‌ای است، برای کاربردهای محیط‌زیست، به‌ویژه برای سنجش از

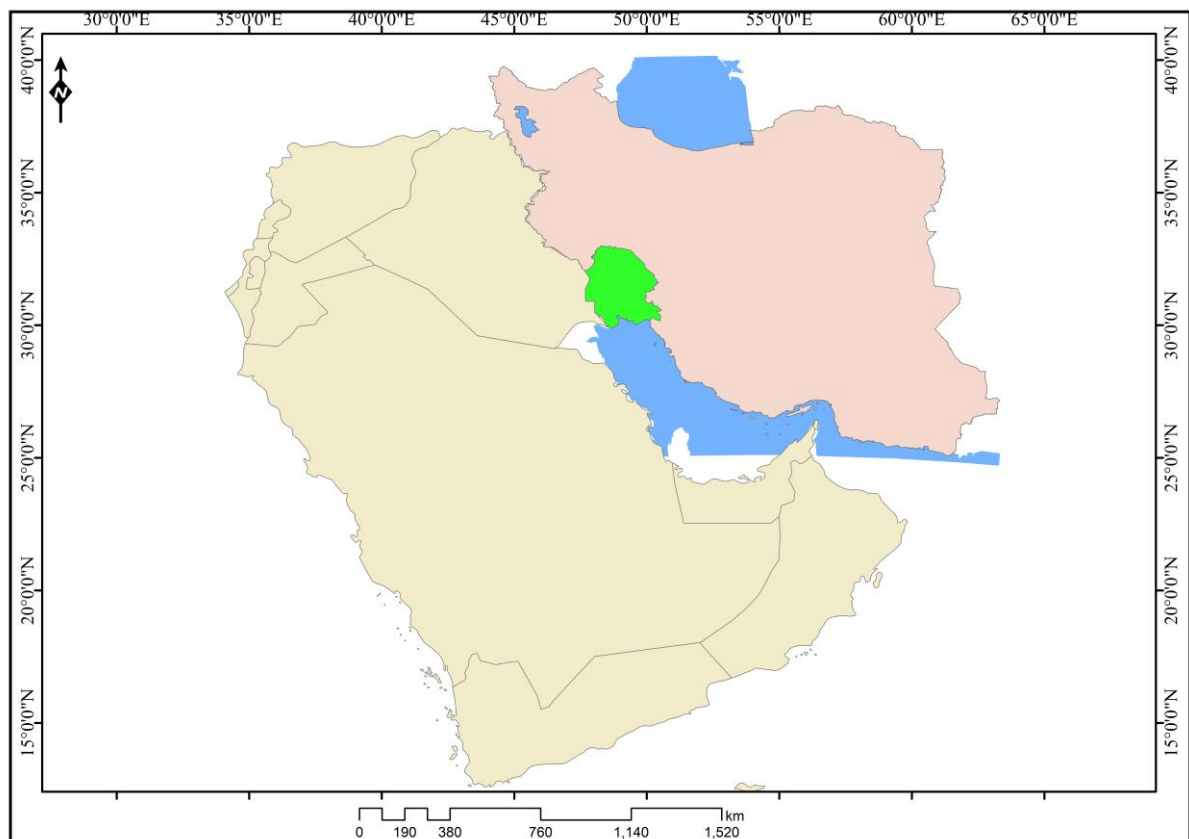
کردند. ورودی‌های ANN شامل تصاویر حاصل از شاخص‌های BTD برای باندهای ۲۳ و ۳۱، BTD بین باندهای ۳۱ و ۳۲ و باندهای ۱ و ۳ و ۴ می‌باشند. در این پژوهش برای ارزیابی روش‌ها از شاخص‌هایی مانند TPR, FPR, ACC و FDR استفاده شد. در این پژوهش از ۵۰ نمونه داده در تاریخ‌های مختلف استفاده شده است که ۴۱ مورد از آنها شامل مواردی هستند که گردوغبار در آنها مشاهده شده است و بقیه مربوط به موارد بدون گردوغبار می‌باشند. خروجی این روش باینری بوده و به صورت داده‌های گردوغبار و غیر گردوغبار می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد روش ANN استفاده شده، نتایج بهتری نسبت به روش Thermal Infrared Integrated Dust Index در روی بیابان Sahara ارائه می‌دهد. ANN آموزش داده شده در روی صحرای Gobi، دقتی برابر با ۸۸ درصد داشته است. روش شبکه عصبی ارائه شده کاهش اثرهای ابر و سایه مشهود بوده و این روش توانسته است میزان گردوغبار بیشتری را نسبت به TIIDI در روی آنها تشخیص دهد. با وجود اینکه این روش برای منطقه Sahara آموزش داده شده بود ولی در بیابان Gobi نیز با وجود کاهش عملکرد جزئی، دقت مناسبی از خود نشان داد. این روش در تشخیص طوفان‌های گردوغبار از زمین‌های شنی و صاف عملکرد مناسبی دارد. به منظور شناسایی منابع گردوغبار، علاوه بر تصاویر ماهواره‌ای از مدل‌های هواشناسی رهگیری جریان باد، مدل HYSPLIT می‌توان کمک گرفت (Stein et al., 2015). در مطالعات زیادی از این مدل برای ردیابی مسیر و شناسایی منابع گردوغبار مؤثر بر ایران استفاده شده است. Jafari و همکاران (۲۰۱۹) شمال عربستان، Hejazizadeh و همکاران (۲۰۱۹) غرب عراق و شرق سوریه و Pilehvaran و همکاران (۲۰۲۱) مناطق واقع در شمال غرب کشور عراق، مناطق شرقی سوریه و مناطق شرقی عراق (هورالعظیم) را به عنوان منابع گردوغبار مؤثر بر جنوب غرب ایران شناسایی کردند. با توجه به تأثیرات وسیع گردوغبار در تغییر اقلیم در مقیاس جهانی و محلی، تغییر بر تابش ورودی، تغییرات در چرخه

دور گردوغبار در مناطق خشک مانند ساحل و صحرا طراحی شده، استفاده کردند. این شاخص بر مبنای تأثیر گردوغبار در جو بر روی تصاویر Meteosat-IR می‌باشد که از اثر آلودگی‌های گردوغبار بر روی اشعه مادون قرمز حرارتی خارج شده به فضا استفاده می‌کند. همچنین برای اعتبارسنجی و ایجاد ارتباط بین مقادیر اقلیم‌شناسی IDDI از ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد رابطه شبه خطی بین تأثیر گردوغبار بر روی تصاویر ماهواره‌ای و عمق نوری مستقیم موج کوتاه وجود دارد که این مورد حساس به توزیع اندازه ذرات و خواص سطح شعاعی می‌باشد. از سوئی، بخار آب به طور قابل ملاحظه‌ای بر سیگنال‌های ماهواره‌ای تأثیر می‌گذارد. Jafar و Malekian (۲۰۱۵)، در مقاله‌ای به بررسی و مقایسه ۵ الگوریتم تشخیص گردوغبار شامل Mille, Roskovensky and Liou و TDI, NDDI, Ackerman با استفاده از تصاویر MODIS در منطقه خاورمیانه پرداخته‌اند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که کارایی هر الگوریتم از رویدادی به رویداد دیگر متفاوت بوده و استفاده از حد آستانه‌های ارائه شده در مقالات مختلف در منطقه مورد مطالعه ناممکن بوده است. الگوریتم‌های MODIS AOD و OMI AI برای تشخیص اولیه گردوغبار بسیار مؤثر بوده و هر دو همبستگی بسیار بالایی با تصاویر گردوخاک در مقیاس استان ($p\text{-value} < 0.001$) داشتند، اما کاربرد این محصولات در مقیاس محلی به دلیل قدرت تفکیک مکانی ضعیفشان محدود بود. نتایج آنان همچنین نشان داد که الگوریتم‌های مبتنی بر باندهای مادون قرمز حرارتی (TIR) در MODIS و یا ترکیبی از باندهای TIR و بازتابی، بهتر از شاخص‌های بازتاب به تنهایی بودند. همچنین در میان الگوریتم‌های مبتنی بر TDI, TIR در روی سطوح آبی و منابع گردوغبار بهترین عملکرد را داشته و در حدود ۹۳٪ و ۹۰٪ تغییرات در داده‌های AOD و OMI AI را به خود اختصاص داد. El-ossta و همکاران (۲۰۱۴)، در مقاله‌ای از روش شبکه عصبی برای شناسایی طوفان‌های گردوغبار بیابان Sahara و بیابان Gobi استفاده

ایران از جمله مناطقی است که نقش چندانی در انتشار گردوغبار منطقه ندارد (Bettina, Wilkerson, 1991; 2012)، اما به دلیل هم‌جواری با کشورهایمانند عراق، عربستان، کویت و اردن خسارت‌های فراوانی را از طوفان‌های گردوغبار متحمل شده است (Zarasvandi et al., 2011). از این‌رو برای پیش‌گرددوغبار ورودی، شناسایی مسیرهای ورودی و کانون آن با انتخاب محدوده وسیعی (ایران و کشورهای همسایه) با مساحت ۵۵۴۰۶۴۲ کیلومتر مربع، بررسی شد. منطقه مورد مطالعه بر روی کمربند خشک کره زمین واقع شده است، بنابراین بی‌نظمی و تغییرپذیری در بارش و بالا بودن دما و تبخیر از ویژگی‌های آن می‌باشد. در این منطقه دشت‌های رسوبی، تالاب‌های خشکیده، زمین‌های دیم رها شده و سایر منابع گردوغبار وجود دارد. وجود منابع گردوغبار و همراهی آن با جریان‌ات رژی‌م باد منطقه منجر به رخداد طوفان‌های گردوغبار شده است. بررسی مؤلفه‌های اقلیمی مؤثر بر طوفان‌های گردوغبار نشان می‌دهد گردوغبار متأثر از یک عامل نیست بلکه عوامل اقلیمی متعددی در رخداد گردوغبار سهم هستند و در هم آمیختگی مجموعه رخدادهای دمایی، بارشی و خشکسالی در کنار سوء مدیریت به شکل دو سویه آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه را در تولید گردوغبار افزایش داده است. در صورت عدم توجه به مدیریت یکپارچه چند رخدادی برای افزایش ظرفیت سازگاری و تاب‌آوری، روند وضعیت موجود تا اواخر قرن بیست و یکم، چالش‌های اساسی در کنترل طوفان گردوغبار و پیامدهای زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی آن ایجاد خواهد کرد.

بیولوژیکی، زمین‌شناسی و شیمیایی، تأثیر بر سلامت افراد و هزینه‌های بسیار زیاد اقتصادی که برای جوامع بشری به بار می‌آورد (Perez et al., 2012; Barnum et al., 2004)، بررسی و پیش‌دقیق این رخداد لازم و ضروریست. گردوغبار یکی از عمده‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی به‌ویژه در منطقه خاورمیانه و جنوب‌غرب ایران است. بحران‌های زیست‌محیطی علاوه بر صدمه به سلامت افراد جامعه (Schweitzer et al., 2018; Khaniabadi et al., 2017; Goudie, 2020; Nazari et al., 2018; Ghanavati et al., 2018) به‌ویژه در بخش کشاورزی تبدیل شوند (Fountoukis et al., 2018; Shahbazi et al., 2017; Manjezi, 2020). در مرحله بعد می‌تواند زمینه‌ساز بحران‌های سیاسی (Yousefvand et al., 2020; Hafeznia et al., 2016) همکاران، (۲۰۲۰) و پس از آن مسائل امنیتی و تمامیت ارضی یک کشور شود (Abbaszadeh Fathabadi & Mansouri, 2019). مطالعات زیادی نقش کشورهای همسایه را به‌طور موردی در گردوغبار جنوب‌غرب ایران (خوزستان) بررسی کرده‌اند اما اینکه در بین کشورهای همسایه کدام کشور و در بخش‌های مختلف یک کشور کدام قسمت بیشترین اثر را در گسیل گردوغبار به جنوب‌غرب ایران دارد مطالعه نشده است. در این تحقیق پس از آشکارسازی رخداد گردوغبار، با استفاده از شاخص AOD و ردیابی مسیر آن توسط مدل هایسپلینت مهمترین منابع گسیل گردوغبار مؤثر بر جنوب‌غرب ایران، شناسایی شدند.

مواد و روش‌ها
منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area

یک مسیر مشخص تعریف می‌شود (Charlson *et al.*, 1995). مقادیر AOD را می‌توان به کمک دو روش به دست آورد، در روش اول، مقادیر AOD با استفاده از دستگاه نورسنج خورشیدی در سطح زمین، اندازه‌گیری می‌شود. در روش دوم نیز مقادیر متغیر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و کاربرد روش‌های سنجش از دور، تخمین زده می‌شوند (Pourmohamed and Shad, 2015). Ogren (۱۹۹۵) دامنه تغییرات AOD را ۰/۱-۰/۲ برای هوای قاره‌ای صاف و ۰/۰۵-۰/۱ برای هوای بحری صاف پیشنهاد کرد. بیشتر بودن مقادیر AOD از مقادیر نام‌برده نشان‌دهنده بیشتر بودن ذرات معلق در امتداد ستون عمودی هوا بوده، به عبارتی دید در امتداد آن ستون می‌باشد. در این مطالعه از تصاویر AOD، مربوط به هر دو ماهواره آکوا (AQUA/ MODIS) و ماهواره ترا (TERRA/ MODIS) استفاده شد که دارای اختلاف زمانی ۲ تا ۳ ساعته هستند. برای

روش تحقیق

داده‌های گردوغبار

به‌منظور شناسایی مناطقی که بیشترین نقش را در گسیل گردوغبارهای خارجی به استان خوزستان داشته‌اند از داده‌های زمینی ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک (کد پدیده‌های مربوط به گردوغبار) استفاده شد. در این تحقیق رخدادی به عنوان رخداد گردوغباری در نظر گرفته شد که بیش از ۵۰ درصد ایستگاه‌های سینوپتیک استان کد گردوغباری را گزارش داده و میدان دید افقی به کمتر از ۵۰۰۰ متر رسیده باشد.

شاخص AOD (Aerosol Optical Depth)

طبق تعریف، شاخص AOD یک کمیت وابسته به طول موج است که به معنای کاهش نور در واحد طول بر روی

بررسی‌های انجام شده، ورود گردوغبار به ایران به‌طور کلی در تراز پایین و میانی جو انجام می‌شود، بنابراین در سه سطح ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر بررسی مسیر ورود گردوغبار انجام شد. در تصاویر مربوط به مدل HYSPLIT، خروجی روش HYSPLIT در روز رخداد به همراه تصویر AOD مربوط به روز قبل از رخداد گردوغبار در خوزستان برای تمام روزها و سال‌ها قرار داده شد. به این ترتیب مناطقی که بیشترین گسیل گردوغبار به سمت خوزستان را داشتند شناسایی شدند و مناطقی که حداقل ۳۰ بار با استفاده از بررسی میزان غلظت AOD در روزهای قبل از وقوع گردوغبار، به‌عنوان مناطق و مراکز تشکیل و یا تشدید و گسیل گردوغبار بودند، شناسایی و نتایج آن برای هر سال و در نهایت کل دوره پهنه‌بندی شد و سهم مهمترین مناطق مؤثر بر گردوغبار خوزستان به ترتیب اولویت مشخص گردید.

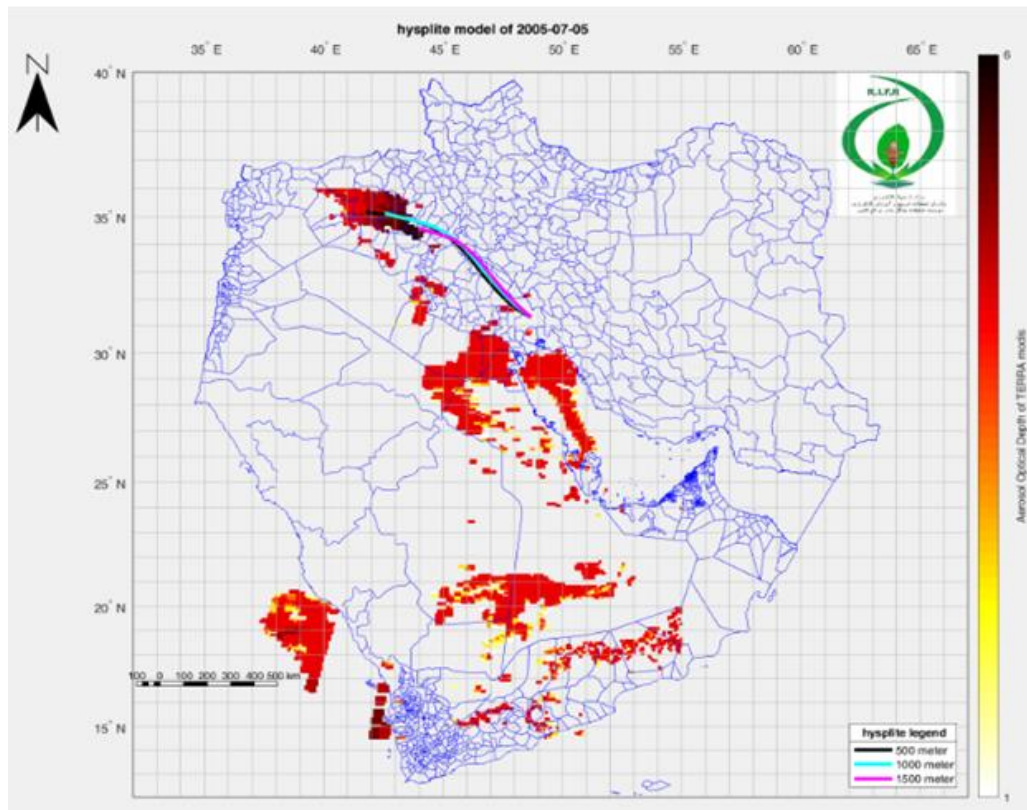
نتایج

نقشه‌های AOD در بازه سه روزه؛ روز قبل از گزارش رخداد، روز وقوع و یک روز بعد از رخداد گردوغبار برای تمام رخداد‌های مورد مطالعه استخراج شد، به دلیل تعداد زیاد موارد مورد مطالعه، به‌عنوان نمونه دو مورد در فصل گرم و فصل سرد در نتایج آمده است. تصویر خروجی الگوریتم AOD مربوط به روز قبل از گزارش گردوغبار در ایستگاه‌های خوزستان (TERRA-MODIS) به همراه خروجی مدل HYSPLIT، مربوط به تاریخ گزارش گردوغبار (۱۴ تیر ۱۳۸۴) نشان داد، در سطوح مختلف جو گردوغبار از منطقه شمال عراق، با جهت شمال‌غرب-جنوب‌شرق به استان خوزستان منتقل شده است (شکل ۲).

شناسایی مناطق گسیل گردوغبار و مسیر حرکت گردوغبار از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷، برای هر تاریخ وقوع تصاویر AOD مربوط به روز قبل از رخداد، همان روز و روز بعد بررسی گردید.

ردیابی مسیر حرکت گردوغبار ورودی به استان

یکی از روش‌های ردیابی ذرات گردوغبار، استفاده از مدل HYSPLIT (Hybird Single Particle Lagrangian Intergrated Trajectory) است. این مدل به‌عنوان یک مدل سیستم مبنای کامل در رابطه با شناسایی منبع و نحوه پراکنش ذرات گردوغبار، شناخته می‌شود (Draxler and Hess, 1998). دو دیدگاه اساسی بر این مدل حاکم است: یکی رویکرد لاگرانژی؛ در این رویکرد وضعیت و غلظت گردوغبار از دید فردی که با بسته‌های هوا در حرکت است، بررسی می‌شود. به این ترتیب مجموع غلظت ذرات در هر شبکه در طول مسیر حرکت تعیین می‌گردد. دیگری رویکرد اوپلری؛ در این حالت قضیه از دید فردی که در مکان ثابت ایستاده است، بررسی می‌شود. غلظت ذرات برای هر شبکه با استفاده از حرکات پخش و انتقال ذرات تعیین می‌گردد. در بعد مدل‌سازی گردوغبار، لازم است ابتدا مناطقی که منابع انتشار هستند، مشخص گردد. در مدل HYSPLIT به صورت پیش‌فرض مناطقی که به‌صورت بیابانی هستند، به‌عنوان کانون‌های گردوغبار تعریف شده‌اند و با استفاده از این داده‌ها و داده‌های هواشناسی، مدل‌سازی شروع می‌شود. به کمک این مدل و الگوریتم پسرو حرکت بسته‌های هوا، به صورت گام‌های ۲۴ ساعته برای ردیابی مسیر گردوغبار تا ایستگاه منتخب رهگیری شده است. در مرحله اول، مختصات ایستگاه رادیوسوند هدف (اهواز) به‌عنوان ورودی مدل استخراج گردیده است. با توجه به

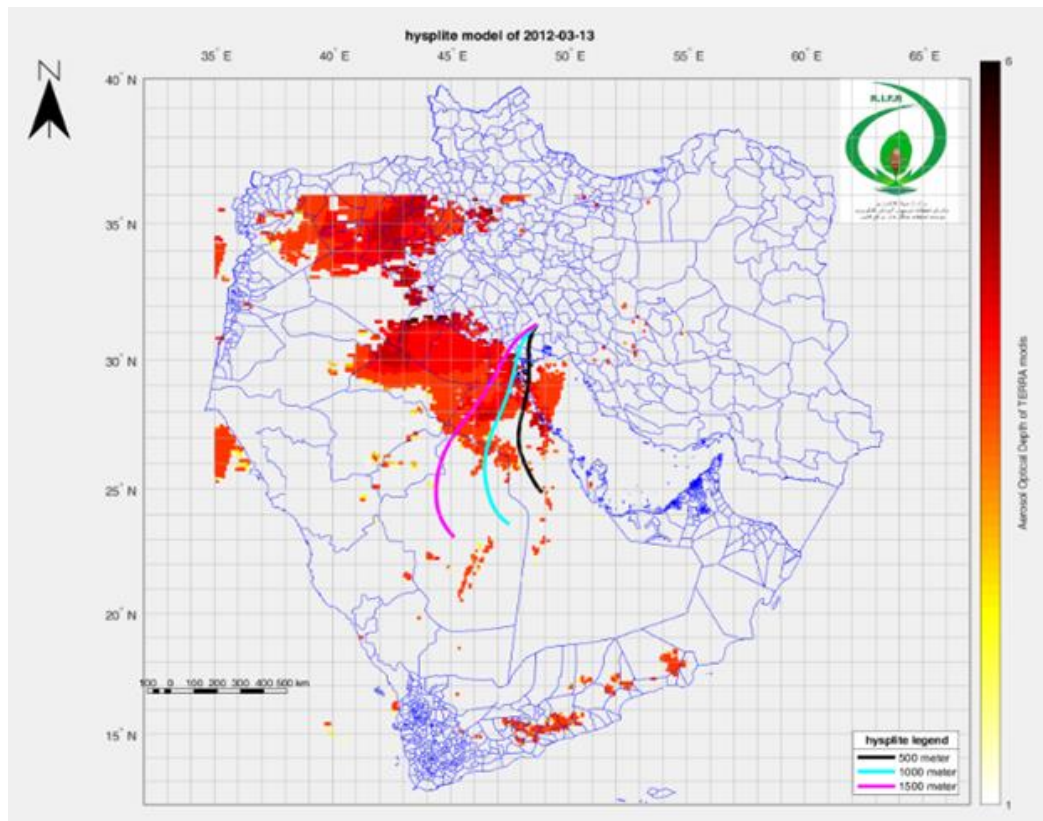


شکل ۲- تصویر AOD روز قبل از گردوغبار و خروجی مدل HYSPLIT مربوط به روز گردوغبار (دوره گرم)

Figure 2- AOD image the day before the dust and the output of the HYSPLIT model related to the day of the dust (warm period)

اسفند ۱۳۸۹) نشان داد در سطوح مختلف جو گردوغبار از منطقه شمال شرق عربستان با جهت جنوب به شمال به استان خوزستان منتقل شده است.

در شکل ۳ تصویر خروجی الگوریتم AOD (TERRA-MODIS) مربوط به روز قبل از گزارش گردوغبار در ایستگاه‌های خوزستان به همراه خروجی مدل HYSPLIT، مربوط به تاریخ گزارش گردوغبار (۲۲)

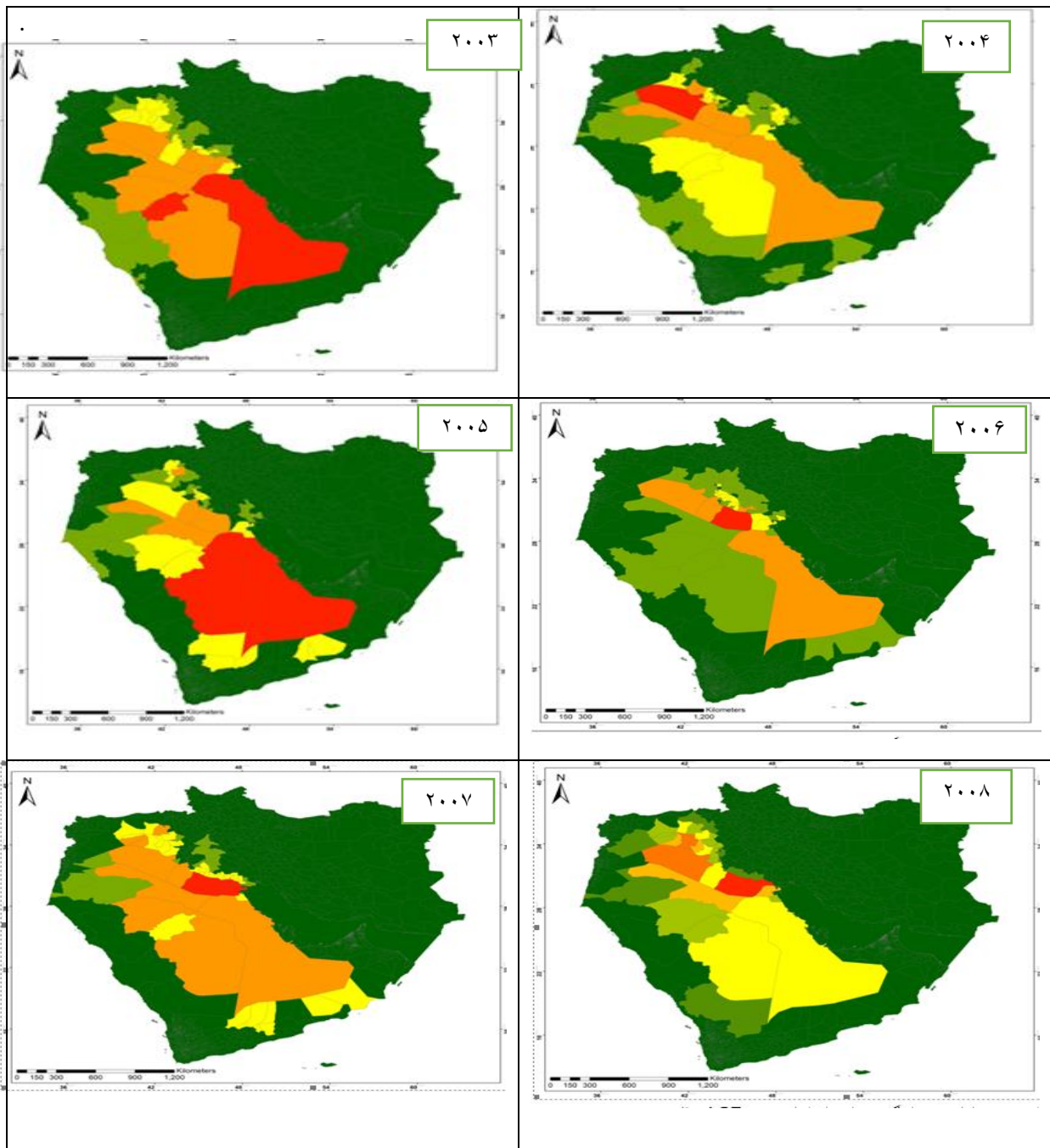


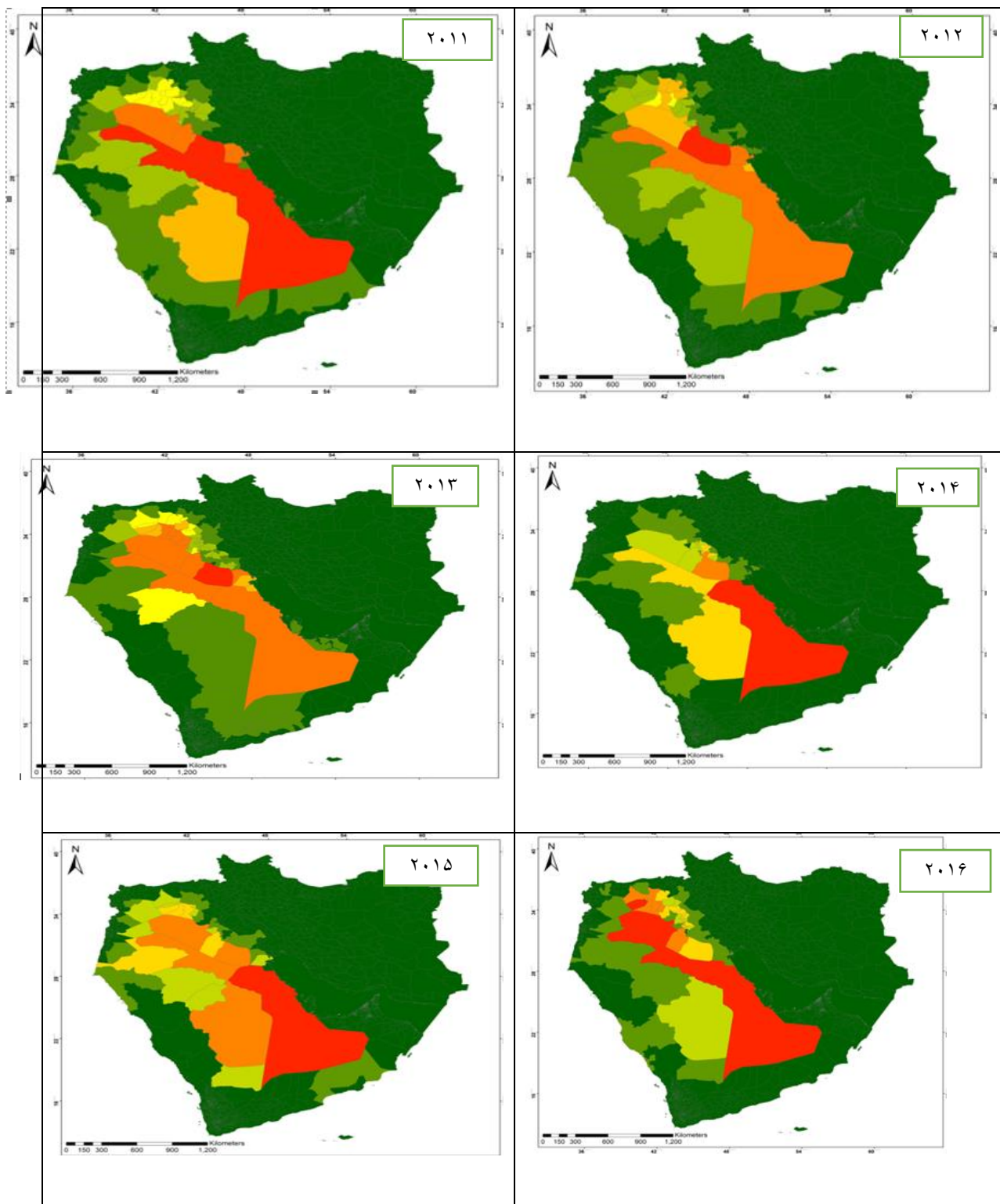
شکل ۳- تصویر AOD روز قبل از گردوغبار و خروجی مدل HYSPLIT مربوط به روز گردوغبار (دوره سرد)

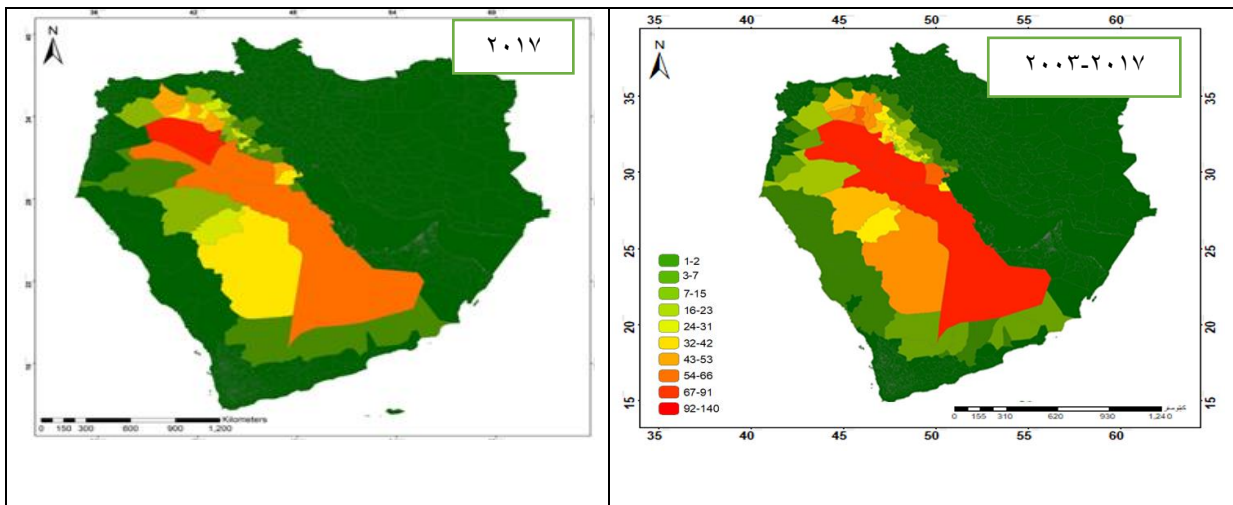
Figure 3- The AOD image of the day before the dust and the output of the HYSPLIT model related to the day of the dust (cold period).

جنوب و جنوب غرب عراق، در سال ۲۰۱۳، جنوب و جنوب غرب عراق، در سال ۲۰۱۴، شمال و شرق عربستان، در سال ۲۰۱۵ شمال و شرق عربستان، در سال ۲۰۱۶ مرز عراق و سوریه، غرب عراق و جنوب عراق، در سال ۲۰۱۷، مرز بین عراق و سوریه. در طول دوره مورد مطالعه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ بیشترین سهم در گسیل گردوغبار؛ شرق عراق، مرز بین عراق و سوریه، جنوب عراق و شمال و شرق عربستان بوده است (شکل ۴). در شکل ۵ فراوانی رخداد گردوغبار حاصل از روش AOD در مناطق تشکیل گردوغبار ورودی به استان خوزستان، در کل دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۷ نشان داده شده است.

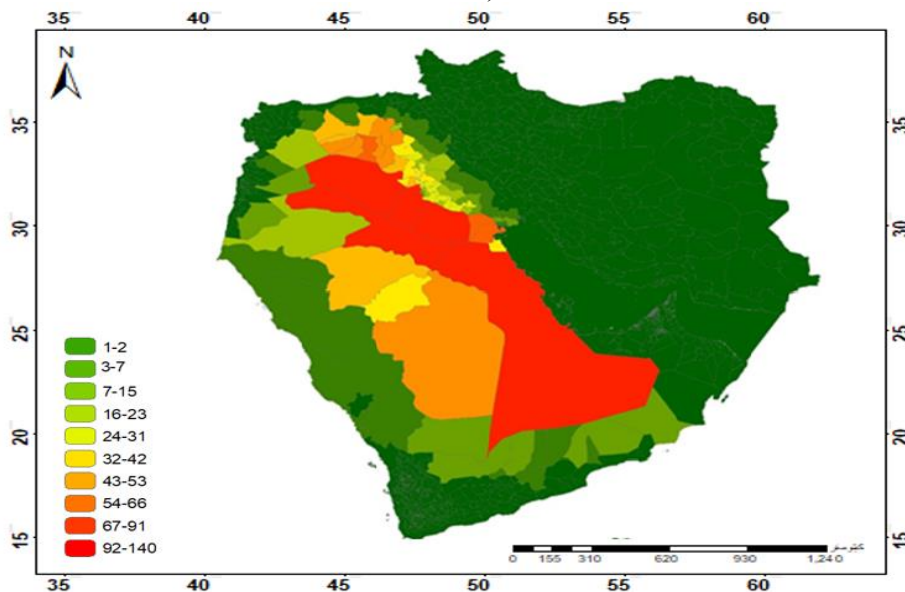
بررسی خروجی تمام رخداد‌های گردوغبار مورد مطالعه نشان داد طی سال‌های مختلف مناطق مختلفی بیشترین سهم را در گسیل گردوغبار به خوزستان داشته‌اند؛ در سال ۲۰۰۳ شمال و شرق عربستان بیشترین گسیل گردوغبار را به سمت خوزستان داشته و به همین ترتیب در سال‌های بعد، در سال ۲۰۰۴ مرز بین عراق و سوریه، در سال ۲۰۰۵ عربستان، در سال ۲۰۰۶ جنوب عراق، در سال ۲۰۰۷، جنوب و جنوب شرق عراق، در سال ۲۰۰۸، جنوب و جنوب شرق عراق، در سال ۲۰۰۹، جنوب غرب عراق، شمال عراق، شمال و شرق عربستان، در سال ۲۰۱۰، جنوب و جنوب غرب عراق، در سال ۲۰۱۱، غرب عراق، جنوب عراق، شمال و شرق عربستان، در سال ۲۰۱۲







شکل ۴- فراوانی رخداد گردوغبار حاصل از روش AOD در مناطق تشکیل گردوغبار ورودی به خوزستان ایران
Figure 4- Frequency of occurrence of dust resulting from AOD method in dust formation areas entering Khuzestan, Iran.



شکل ۵- فراوانی مناطق گسیل گردوغبار ورودی به استان خوزستان در کل دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۳

Figure 5- The frequency of dust emission areas entering Khuzestan province in the entire period of 2003-2017

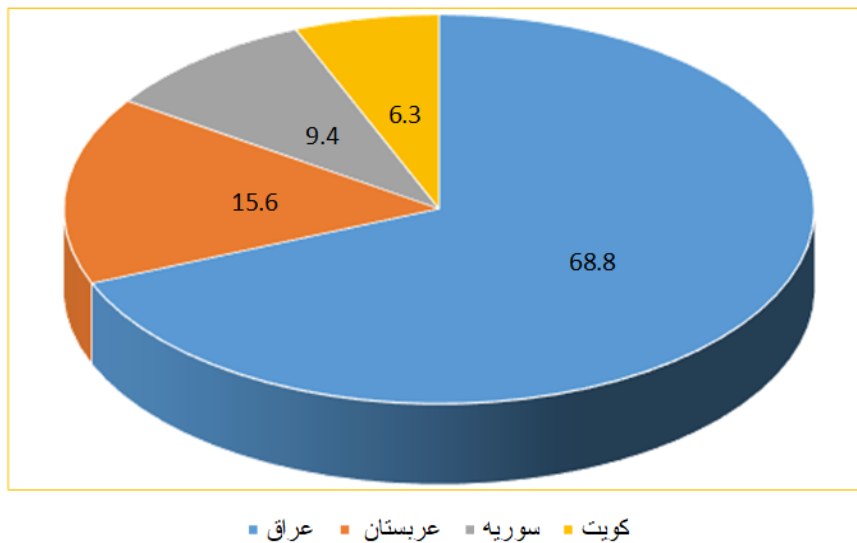
خوزستان به خود اختصاص داده است. در بین قسمت‌های مختلف عراق، استان الانبار عراق بیشترین سهم را دارد. عربستان، دیرالزور سوریه و کویت در درجات بعدی اهمیت قرار دارند.

بررسی بخش‌هایی از منطقه که حداقل ۳۰ بار با استفاده از بررسی میزان غلظت AOD در روزهای قبل از وقوع گردوغبار، به‌عنوان مناطق و مراکز تشکیل و یا تشدید گردوغبار شناسایی شده‌اند نشان داد که در بین کشورهای همسایه، عراق بیشترین سهم را در گسیل گردوغبار

جدول ۱- مناطق با بیش از ۳۰ بار افزایش غلظت AOD در روز قبل از گزارش گردوغبار

Table 1- Areas with more than 30 times increase in AOD concentration on the day before the dust report

Country	Province	Row
Iraq	Al-Anbar	1
Iraq	Al-Anbar	2
Iraq	Al-Anbar	3
Iraq	Al-Anbar	4
Iraq	Al-Anbar	5
Iraq	Al-Anbar	6
Iraq	Al-Anbar	7
Iraq	Al-Basrah	8
Iraq	Al-Muthannia	9
Iraq	An-Najaf	10
Iraq	Babil	11
Iraq	Babil	12
Iraq	Babil	13
Iraq	Karbala'	14
Iraq	Karbala'	15
Iraq	Karbala'	16
Iraq	Ninawa	17
Iraq	Ninawa	18
Iraq	Sala ad-Din	19
Iraq	Sala ad-Din	20
Iraq	Sala ad-Din	21
Iraq	Sala ad-Din	22
Kuwait	Al Ahmadi	23
Kuwait	Al Jahrah	24
Saudi Arabia	Al Hudud ash Shamaliyah	25
Saudi Arabia	Al Quassim	26
Saudi Arabia	Ar Riyad	27
Saudi Arabia	Ash Sharqiyah	28
Saudi Arabia	Ha'il	29
Syria	Dayr Az Zawr	30
Syria	Dayr Az Zawr	31
Syria	Dayr Az Zawr	32



شکل ۶- سهم کشورهای همسایه در گسیل گردوغبار ورودی به ایران در دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷

Figure 6- The share of neighboring countries in the emission of dust entering Iran in the statistical period from 2003 to 2017

بحث

می‌شود، در غیر این صورت سیستم ناپایدار بعلت فقر رطوبتی منجر به بلند شدن گردوغبار در نیمه جنوبی عراق، کویت و شمال و شرق عربستان و انتقال آن به استان خوزستان می‌شود. در دوره گرم سال به علت وجود کم‌فشار حرارتی بر روی خوزستان، با وجودی که در سطوح بالای جو به‌طورکلی تحت تسلط پرفشار جنب حاره می‌باشد؛ اما به محض عبور امواج کم‌دامنه در جو میانی شرایط صعود هوا و گردوغبار با منشأ داخلی و خارجی فراهم می‌شود. در فصل گرم بیشتر گردوغبارها از سمت شمال عراق و مرز عراق و سوریه با جهت شمال‌غرب - جنوب‌شرق و از غرب عراق با جهت غرب به شرق وارد استان خوزستان می‌شود. در این فصل، حلقه بادهای غربی به سمت عرض‌های بالا رفته است و کل منطقه تحت تسلط پرفشار جنب حاره است که با نتایج تحقیقات Azizi و Ranjbar (۲۰۱۲) مطابقت دارد. مطالعات قبلی در مورد مناطق مؤثر بر گردوغبار خوزستان به‌طورکلی نتیجه‌گیری کرده‌اند که کدام کشور بیشترین سهم را در گسیل گردوغبار به استان خوزستان داشته است. به‌طورکلی در مطالعات آنان عراق، سوریه، عربستان و اردن

به منظور شناسایی مناطق و کانون‌های گسیل گردوغبار خارج از مرزهای سیاسی مؤثر بر استان خوزستان ایران از داده‌های مربوط به غلظت گردوغبار (AOD)، یک روز قبل از گزارش گردوغبار توسط ایستگاه‌های هواشناسی و جهت جریان ورودی در سطوح مختلف جو، مناطقی را که نقش بیشتری در گسیل گردوغبار با منشأ خارجی داشتند شناسایی شدند و در نهایت تعداد روزهایی که یک منطقه با افزایش AOD همراه بوده است، به‌صورت نقشه‌های مکانی برای سال‌های مختلف تهیه شد. ردیابی مسیر ورود گردوغبار به استان خوزستان نشان داد در دوره سرد سال بیشتر گردوغبارها از سمت جنوب، جنوب‌غرب و غرب وارد استان خوزستان می‌شوند که با نتایج تحقیقات Azizi و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. خوزستان در فصل سرد در مسیر عبور سیستم‌های سینوپتیک مهاجر ناشی از بادهای غربی و کم‌فشارهای سودانی می‌باشد. در دوره سرد سال، به‌ویژه ژانویه و فوریه، موج بادهای کوتاه غربی تا عرض‌های پایین جغرافیایی نفوذ می‌کنند، در صورت همراهی رطوبت به اندازه کافی منجر به وقوع بارش

بالادست آب از طریق احداث سدهای خاکی، کشور عراق به منبع عظیمی از گردوغبار مبدل خواهد شد. این کشور به دلیل اینکه توپوگرافی نسبتاً همواری دارد گردوغبار آن با توجه به مسیر سیستم‌های سینوپتیک به سمت ایران می‌آید که اثرهای زیست محیطی آن در سال‌های اخیر به‌ویژه در زوال جنگل‌های زاگرس نمایان شده است.

سیاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح شناسایی و ردیابی کانون‌های گردوغبار خارجی و تعیین سهم تولید گردوغبار کانون‌های داخلی خوزستان در مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور می‌باشد، بدینوسیله از همکاری معاونت پژوهشی قدردانی می‌شود.

References:

- Abbaszadeh Fathabadi, M. and Mansouri, M., 2019. The effect of Iraq fragile state on environmental security of Islamic Republic of Iran. *World Politics*, 8(2): 291-322. <https://doi.org/10.22124/wp.2019.3710>.
- Arami, S.A. H., Karimi Sengchini, D. and Dinarvand, M., 2022. Tracking severe dust storms in southwest Iran using HYSPLIT model. *Application of geographic information system and remote sensing in planning*, 13 (1), 7-17.
- Azizi, A., Shamsipour, A., Miri, M. and Safar Rad, T., 2012. Statistical analysis - Synoptic phenomenon of dust in the western half of Iran. *Journal of Environmental Studies*, 38(63): 123-134 (In Persian). 10.22059/JES.2012.29154
- Bettina, H., 2012. Feasibility study of satellite image use to determine dust concentration and measurement of lead and Zinc concentration. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz.
- Charlson, R.J., J.Langner, H.Rodhe, C.B. Leovy, and S.G. Warren. 1995. Perturbation of the northern hemisphere radiative balance by backscattering from anthropogenic sulfate aerosols. *Tellus*, 43B (4): 152-163. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v43i4.11944>.
- Draxler, R. and G.D.Hess.1998. An overview of the HYSPLIT modeling system for trajectories, dispersion, and deposition. *Aust Meteorol Mag*, 47: 308-395.

به عنوان مناطق مؤثر بر گردوغبار خوزستان معرفی شده است، به‌طوری‌که در مطالعات Ghaderi و Azizi (۲۰۲۰) عراق، عربستان، سوریه و اردن، در مطالعات Arami و همکاران (۲۰۲۲) عراق و سوریه و در مطالعات Mohammadi و Lashgari (۲۰۲۳) سوریه و غرب عراق. اما در این تحقیق در دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ تمام رخدادهای گردوغباری استان خوزستان شناسایی و مناطق گسیل گردوغبار از یک روز قبل با مدل هایسپلیت شناسایی شدند. به‌طوری‌که بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه که حداقل ۳۰ بار با استفاده از بررسی میزان غلظت AOD در روزهای قبل از وقوع گردوغبار، به‌عنوان مناطق و مراکز تشکیل و یا تشدید گردوغبار شناسایی شده‌اند و گردوغبار را به سمت استان خوزستان گسیل داده و منجر به کاهش میدان دید افقی به ۵ کیلومتر و کمتر شده است شناسایی شدند. در این دوره زمانی مورد مطالعه، ۳۵ منطقه شناسایی شد. در سال‌های مختلف قسمت‌های مختلف عراق بیشترین انتشار گردوغبار را داشته است؛ اما بخش جنوب‌شرق آن در مجاورت استان خوزستان در بیشتر سال‌ها بیشترین فعالیت و گسیل گردوغبار را داشته است. با احتساب تمام قسمت‌ها، کشور عراق با ۶۸/۸ درصد بیشترین سهم را در گسیل گردوغبار به استان خوزستان داشته است. کشور عربستان با ۱۵/۶ درصد در رتبه دوم است. کشور سوریه ۹/۴ درصد نقش داشته اما نکته قابل توجه منطقه دیروالزور مرز بین عراق و سوریه با وجودی که در سال‌ها قبل با توجه به ماهیت بیابانی بودنش از کانون‌های گردوغبار فعال بوده اما به نظر می‌رسد از سال ۲۰۱۶ به بعد بر اثر تحرکات نظامی و جنگی ظرفیت بیشتری برای تولید گردوغبار داشته است. کشور کویت که البته از نظر مساحت هم کوچک و قابل مقایسه با کشورهای قبلی نیست کمترین سهم را در گسیل گردوغبار به سمت خوزستان داشته است. بنابراین عراق با بیشترین مراکز و کانون‌های تولید گردوغبار، بیشترین سهم را در تولید گردوغبار ورودی به استان خوزستان دارد. با توجه به تغییرات اقلیمی پیش‌رو و تلاش مضاعف کشورهای

- El-ossta, E., Qahwaji, R. and Ipson, SS., 2014. Detection of dust storms using MODIS reflective and emissive bands. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6: 2482-2485. DOI: 10.1109/JSTARS.2013.2248131
- Fountoukis, C., Figgis, B., Ackermann, L. and Ayoub, M. A., 2018. Effects of atmospheric dust deposition on solar PV energy production in a desert environment. *Solar Energy*, 164: 94-100.
- Faraj Zadeh Asl, M. and Bahrami, B., 2019. The possibilities of using remote sensing ata in the study of dust storms, floods and heavy rains. *Journal of Natural Geography*, 8(3):1-16.
- Fallah zazuli, M., Vafaiezhad, A., Kheirkhah zarkesh, M. M. and Ahmadi dehka, F., 2014. Source routing of dust haze phenomenon in the west and southwest of Iran and its synoptic analysis by using remote sensing and GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(4), 61-78.
- Goudie, A.S., 2020. Dust storms and human health. In *Extreme Weather Events and Human Health*. 13-24.
- Ghanavati, H., Fatahi Ardakani, A. and Neshat, A., 2018. Economic evaluation of environmental dust phenomenon damage (case of study: Ardakan city). *Environmental Sciences*, 16(1): 141-158.
- Ghaderi, B. and Azizi, Z., 2020. Using Modis satellite imagery in source finding and path determining of dust storms in western and southwestern Iran. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 3(2), 148-160. doi: 10.22034/jmas.2021.291587.1144
- Jafari, R. and Malekian, M., 2015. Comparison and evaluation of dust detection algorithms using MODIS Aqua/Terra Level 1B data and MODIS/OMI dust products in the Middle East. *International journal of remote sensing*, 597-617. doi.org/10.1080/01431161.2014.999880
- Jafari, M., Zehtabian, G., Mesbahzadeh, T. and Nourozi, A.A., 2019. Detection of dust storm paths using numerical models and satellite images (Case Study: Isfahan Province) 26(1): 29-39. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119324
- Hafeznia, M. R., Taheri, A. and Farajzadeh Asl, M., 2016. Political effects resulting from dust storms in Tigris and Euphrates basins. *Geopolitics Quarterly*, 12(44): 13-38. 20.1001.1.17354331.1395.12.44.2.4
- Hejazizadeh, Z., Toulabi Nejad, M., Zarei CHaghabalaki, Z. and Amraeei, B., 2019. Monitoring of dust storm in the midwest of Iran case study: dust storm June 16-19, 2015. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 5 (4):107-124. 10.29252/jsaeh.5.4.107
- Kaufman, Y. J., Smirnov, A., Holben, B. N. and Dubovik, O., 2001. Baseline maritime aerosol: methodology to derive the optical thickness and scattering properties. *Geophysical Research Letters*, 28(17): 3251-3254. https://doi.org/10.1029/2001GL013312
- Khaniabadi, Y. O., Daryanoosh, S. M., Amrane, A., Polosa, R., Hopke, P. K., Goudarzi, G. and Armin, H., 2017. Impact of middle eastern dust storms on human health. *Atmospheric pollution research*, 8(4): 606-613. doi.org/10.1016/j.apr.2016.11.005
- Legrand, M., Plana- Fattori, A. and N'doumé, C., 2001. Satellite detection of dust using the IR imagery of Meteosat: 1. Infrared difference dust index. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D16), 18251-18274. doi.org/10.1029/2000JD900749
- Mei, D., Xiushan, L., Lin, S. and Ping, W.A.N.G., 2008. A dust-storm process dynamic monitoring with multi-temporal MODIS data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 965-970.
- Manjezi, N., 2020. Evaluation of the effects of fine dust crisis on the production of different agricultural sectors in Khuzestan province using the strategic-hierarchical analysis (SWOT-AHP) method. *Natural Hazards*, 9 (23):117-134. 10.22111/JNEH.2019.29510.1509
- Mohammadi, Z. and lashkari, H., 2023. Temporal-spatial distribution and synoptic patterns of storms with horizontal visibility less than 200 meters in western Iran. *Researches in Earth Sciences*, 14(2), 52-70. 10.48308/ESRJ.2023.103510
- Nazari, M., Forouzani, M., Yazdanpanah, M. and Baradaran, M., 2018. Livelihood security of farmers under dust in Susa County. *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*, 13(2): 153-169.
- Ogren, J. A., 1995. A systematic approach to in situ observations of aerosol properties. *Aerosol forcing of climate*, 215, 226.
- Pilehvaran, R., Rastgou., Nikfal, A.H. and Moradpor, B., 2021. Combining remote sensing and

- numerical methods in the study of dust storms, 19(2).
<https://civilica.com/doc/1002653>
- Perez, L., Tobías, A., Querol, X., Pey, J., Alastuey, A., Díaz, J. and Sunyer, J., 2012. Saharan dust, particulate matter and cause-specific mortality: a case-crossover study in Barcelona (Spain). *Environment International*. 48: 150-155.
<http://doi.org/10.1016/j.envint.2012.07.001>
- Pourmohamed, N. and Shad, R., 2015. Feasibility of estimating and monitoring the spatial changes of airfoils with a diameter of less than 2.5 microns. The fourth national congress of new technologies of Iran. Tehran. Iran.
<https://civilica.com/doc/565953>
- Rahmani, A., Kashwarsi, A. and Ahmadi, A., 2011, using integrated model for dust storm monitoring and modeling, third national conference on combating desertification and sustainable development of desert wetlands in Iran, Arak, Islamic Azad University, Arak branch. Iran. <https://civilica.com/doc/223274>
- Ranjbar, A. and Azizi, G.H., 2012. Study of meteorological patterns, identification of dust source and particulate movement paths for the July 2009 Storm. *Natural Geographic Research*, 44(3): 73-92 (In Persian). 10.22059/JPHGR.2012.29215
- Saeedi, J., Bahrami, H.A., Mortazavi, S.H. and Abdullah, H., 2014. Investigation and analysis of the phenomenon of dust in the metropolis of Ahvaz, the first international dust conference, Ahvaz, Shahid Chamran University of Ahvaz. Iran.
<https://civilica.com/doc/539675>
- Schweitzer, M. D., Calzadilla, A. S., Salamo, O., Sharifi, A., Kumar, N., Holt, G. and Mirsaedi, M., 2018. Lung health in era of climate change and dust storms. *Environmental Research*, 163: 36-42.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.02.001>
- Shahbazi, T., Saeedi, M., Nosrati, M. and Jalali Honarmand, S., 2017. Investigation of the effect of fine dust on physiological characteristics and yield of different wheat cultivars (*Triticum sp.*). *Iranian Society of Plant Physiology*, 5 (15), 195-204.
- Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J., Cohen, M. D. and Ngan, F., 2015. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12), 2059-2077. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>
- Wilkerson, D., 1991. Dust and sand forecasting in Iraq and adjoining countries. Air Weather Service, Scot Air Force Base, Illinois. Pp: 62225-5008.
- Yousefvand, S., Salmanvandi, S. and Ghanbari Barzian, A., 2020. Socio-political and economic risks caused by the phenomenon of particulate matter as an obstacle to sustainable development. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22 (3), 39-54.
<https://doi.org/10.22034/jest.2018.29411.3798>
- Zarasvandi, A., Carranza, E.J.M., Moore, F., and Rastmanesh, F. 2011. Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (Southwestern). *Journal of Geochemical Exploration*. 111:138-151.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.04.004>