

Evaluation of the effect of dust storm on heat flux and radiation balance in Hirmand basin

Nahid Alipour¹, Tayebeh Mesbahzadeh^{*2}, Hasan Ahmadi³,
Mohamad Jafari⁴, Sara Karami⁵, Ali Mohamad Tahmasebi Birgani⁶

1. Ph.D. Student in Management and Control of Desert, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: nahidalipour@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: tmesbah@ut.ac.ir
3. Professor, Dept. of Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: ahmadi@ut.ac.ir
4. Professor, Dept. of Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: jafari@ut.ac.ir
5. Faculty Member Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Tehran, Iran. E-mail: karamis.62@gmail.com
6. Faculty Member of Forests, Rangelands and Watershed Management Organization, Tehran, Tehran, Iran. E-mail: ambirgani@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 02.19.2022
Revised: 05.19.2022
Accepted: 06.10.2022

Keywords:
Dust,
Heat flux,
Radiation indices,
Re-analysis data,
Satellite data

ABSTRACT

Background and Objectives: Dust storm is a phenomenon that occurs in arid and semi-arid regions due to high wind speed and turbulence on the surface of the soil without cover and prone to erosion. Dust changes the radiant budget of the earth's surface and changes the temperature of the earth's surface and atmosphere. Therefore, dust affects the energy exchange between the surface and the atmosphere as well as the dynamics of the atmosphere. Recognizing and studying the trend of dust storms and their relationship with climate change is one of the most important ways to reduce the damage caused by this phenomenon. This study aims to evaluate the effect of dust storms on radiation indices and heat flux according to the combination of satellite remote sensing information and re-analysis data in Hirmand basin.

Materials and Methods: In this research ERA5 re-analysis and Terra satellite data used for the August 23-26, 2010 event in Hirmand. Products and satellite data used to include true color images and AOD and re-analysis data including Surface latent heat flux (SLHF), Surface Sensible Heat Flux (SSHF), Surface net Solar Radiation (SSR), Surface net Thermal Radiation (STR) and Balance Radiation (R_n). Dust particles were routed using the HYSPLIT model and wind speed in the study area was also assessed using the analysis data. Also, for validation of satellite data and re-analysis, visibility and air temperature data, at height of 2 meters, at Zabol Meteorological Station, closest station to the study area, were analyzed.

Results: According to the HYSPLIT model output, most of the dust particles were collected from the deserts of Turkmenistan and then the dry areas around Lake Hamun and parts of northern Pakistan. AOD values showed that from August 21, the value of this index gradually increased so that on the 25th day, the maximum AOD value reached 1.25. Examination of the values of radiation and heat flux indices showed a significant decrease in SSHF, SSR, STR and R_n indices and their values reached the lowest value on the 26th day and the SLHF index with a slight difference on the 25th day reached its lowest value of 58 w/m². Correlation study showed that SSR and R_n indices with -0.370 and -0.359 respectively had the highest and SLHF index with -0.153 showed the lowest correlation with AOD index.

Conclusion: The results of this study showed that the western parts of Hirmand Basin, Lavar or North wind has emitted dust particles into atmosphere, and the region and rotational currents has caused the distribution of these particles in the study area. The results of satellite data and their re-analysis and matching with real images showed that the study event increased the optical depth of dust particles, which resulted in tangible and surface heat fluxes, solar and thermal radiation, as well as balance. Radiation was greatly reduced. Evaluation of horizontal visibility and air temperature data at a height of 2 meters at Zabol station also confirmed the results of satellite images and re-analysis data.

Cite this article: Alipour, Nahid, Mesbahzadeh, Tayebah, Ahmadi, Hasan, Jafari, Mohamad, Karami, Sara, Tahmasebi Birgani, Ali Mohamad. 2022. Evaluation of the effect of dust storm on heat flux and radiation balance in Hirmand basin. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (1), 53-73.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19967.3539

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی تأثیر طوفان گردوغبار بر روی شار گرمایی و بیلان تابش در حوزه هیرمند

ناهد علی‌پور^۱، طیبه مصباح‌زاده^{۲*}، حسن احمدی^۳، محمد جعفری^۴،
سارا کریمی^۵، علی محمد طهماسبی بیرگانی^۶

۱. دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: nahidalipour@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: tmesbah@ut.ac.ir
۳. استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: ahmadi@ut.ac.ir
۴. استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: jafary@ut.ac.ir
۵. عضو هیأت علمی پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران. رایانامه: karamis.62@gmail.com
۶. عضو هیأت علمی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، تهران، ایران. رایانامه: amtbirgani@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: طوفان گردوغبار پدیده‌ای است که عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک در نتیجه سرعت زیاد باد و تلاطم آن بر روی سطح خاک بدون پوشش و مستعد فرسایش به‌وجود می‌آید. گردوغبار، بودجه تابشی سطح زمین را تغییر داده و باعث تغییر دمای سطح زمین و جو می‌شود. بنابراین گردوغبار تبادل انرژی بین سطح و جو و همچنین دینامیک جو را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شناخت و بررسی روند طوفان‌های گردوغبار در کشور و میزان ارتباط آن با نوسانات اقلیمی، یکی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش خسارت ناشی از این پدیده است. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی تأثیر طوفان‌های گردوغبار بر روی شاخص‌های تابشی و شار گرمایی با توجه به ترکیب اطلاعات سنجش‌ازدور ماهواره‌ای و داده‌های بازتحلیل در حوزه هیرمند می‌باشد.
واژه‌های کلیدی: داده‌های بازتحلیل، داده‌های ماهواره‌ای، شاخص‌های تابشی، شار گرمایی، گردوغبار	مواد و روش‌ها: در این پژوهش از داده‌های بازتحلیل ERA5 و داده‌های ماهواره‌ای برای رخداد ۲۳ تا ۲۶ اوت ۲۰۱۰ در حوزه هیرمند استفاده شد. محصولات و داده‌های ماهواره‌ای مورداستفاده شامل تصاویر رنگی حقیقی و AOD، و داده‌های بازتحلیل شامل شار گرمای نهان سطحی (SLHF)، شار گرمای محسوس سطحی (SSHf)، تابش خورشیدی خالص سطحی (SSR)، تابش حرارتی خالص سطحی (STR) و بیلان تابش (R _n) است. مسیریابی ذرات گردوغبار با استفاده از مدل HYSPLIT انجام شد و سرعت باد در منطقه مورد مطالعه نیز با استفاده از داده‌های بازتحلیل مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین جهت صحت‌سنجی داده‌های ماهواره و بازتحلیل از داده‌های دید افقی و دمای هوا در ارتفاع ۲ متری ایستگاه هواشناسی زابل که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه مطالعاتی بود استفاده گردید.

یافته‌ها: بر اساس خروجی مدل HYSPLIT بیش‌تر ذرات گردوغبار از بیابان‌های ترکمنستان و سپس مناطق خشک اطراف دریاچه هامون و بخش‌هایی از مناطق شمال پاکستان برداشت شدند. مقادیر AOD نشان داد که از روز ۲۱ام اوت مقدار این شاخص به تدریج افزایش یافت به گونه‌ای که در روز ۲۵ام بیشینه مقدار AOD به ۱/۲۵ رسید. بررسی مقادیر شاخص‌های تابشی و شار گرمایی نشان‌دهنده کاهش قابل‌توجه شاخص‌های SSHF، SSR، STR و R_n بود و مقادیر آن‌ها در روز ۲۶ام به کم‌ترین مقدار رسید و شاخص SLHF با اندکی تفاوت در روز ۲۵ام به کم‌ترین مقدار خود یعنی ۵۸ وات بر مترمربع رسید. بررسی همبستگی نشان داد که شاخص‌های SSR و R_n به ترتیب با مقدار $-۰/۳۷۰$ و $-۰/۳۵۹$ بیش‌ترین و شاخص SLHF با مقدار $-۰/۱۵۳$ کم‌ترین میزان همبستگی را با شاخص AOD نشان داد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد در قسمت‌های غربی حوزه هیرمند، باد لوار یا شمال باعث ورود ذرات گردوغبار به منطقه شده و جریان‌های چرخشی باعث پخش این ذرات در منطقه مطالعاتی می‌شود. نتایج حاصل از داده‌های ماهواره‌ای و بازتحلیل و تطبیق آن‌ها با تصاویر حقیقی نشان داد رخداد موردبررسی باعث افزایش عمق نوری ذرات گردوغبار شد که به تبع آن شارهای گرمایی محسوس و سطحی، تابش‌های خورشیدی و حرارتی و هم‌چنین بیلان تابش به مقدار زیادی کاهش یافت. ارزیابی داده‌های دید افقی و دمای هوا در ارتفاع ۲ متری در ایستگاه زابل نیز نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های بازتحلیل را تأیید نمود.

استناد: علی‌پور، ناهید، مصباح‌زاده، طیبه، احمدی، حسن، جعفری، محمد، کرمی، سارا، طهماسبی بیرگانی، علی‌محمد (۱۴۰۱). ارزیابی تأثیر طوفان گردوغبار بر روی شار گرمایی و بیلان تابش در حوزه هیرمند. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹ (۱)، ۷۳-۵۳.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19967.3539



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

طوفان گردوغبار پدیده‌ای است که عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک در نتیجه سرعت زیاد باد و تلاطم آن بر روی سطح خاک بدون پوشش و مستعد فرسایش به وجود می‌آید (۱). از دیدگاه عمومی منشأ اصلی طوفان‌های گردوغبار در مناطق خشک جهان مانند شرق آسیا، خاورمیانه، آمریکای لاتین، استرالیا، بخش‌هایی از اروپا، شرق و جنوب افریقا، آمریکای شمالی و صحرا واقع شده است (۲). در سال‌های اخیر وقایع گردوغبار در سطح جهان، به‌ویژه منطقه آسیا با فراوانی و شدت بیشتری اتفاق افتاده (۳) و گردوغبار نقش مهمی در تغییرات آب‌وهوای جهان بر عهده دارد (۴). ذرات گردوغبار بر روی بودجه تابشی، چرخه‌های بیوژئوشیمیایی جهانی، ساختار خاک، شیمی جو، کیفیت هوا و سلامت و بهداشت عمومی به صورت قابل توجهی تأثیر می‌گذارند (۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰). گردوغبار، بودجه تابشی سطح زمین را تغییر داده و باعث تغییر دمای سطح زمین و جو می‌شود. بنابراین گردوغبار تبادل انرژی بین سطح و جو و همچنین دینامیک جو را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۱). شناخت و بررسی روند طوفان‌های گردوغبار در کشور و میزان ارتباط آن با نوسانات اقلیمی، یکی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش خسارت ناشی از این پدیده است (۱۲). با توجه به اهمیت موضوع، مطالعات زیادی در زمینه پایش و ارزیابی پدیده گردوغبار در سراسر جهان و همچنین داخل ایران با استفاده از داده‌های زمینی، ماهواره‌ای، مشاهداتی و همچنین مدل‌سازی‌های عددی انجام گرفته است که با توجه به هدف این پژوهش در ادامه قید خواهد شد. فوتوکوپس و همکاران (۲۰۲۰)، یکی از طوفان‌های گردوغبار شدید در خاورمیانه و اثر آن بر خواص نوری گردوغبار و

بودجه تابشی را با استفاده از مدل WRF-Chem^۱ و تصاویر مودیس تحلیل کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند، مطابق با نتایج ماهواره‌ای، این مدل کاهش قابل توجه تابش موج کوتاه سطحی (۱۵۰ تا ۳۰۰ وات بر مترمربع) را در شرق شبه‌جزیره عربستان و آب‌های خلیج پیش‌بینی کرد (۱۳). نتایج مغربی (۲۰۱۷) نشان داد که طوفان‌های گردوغبار عمق نوری گردوغبار و پخش تابشی را به شدت افزایش داده و مؤلفه‌های تابش خورشیدی جهانی و توان آنگستروم را کاهش می‌دهند (۱۴). مالت و همکاران (۲۰۰۹)، اثرات ذرات گردوغبار بر روی بودجه تابشی سطحی و بالای جو، دمای سطحی، شار گرمای محسوس، نرخ گرمای جو و جریان‌های همرفتی در غرب افریقا در مارس ۲۰۰۶ را بررسی کردند. نتایج، کاهش لحظه‌ای قابل توجه تابش موج کوتاه (SW^2) سطحی با میانگین منطقه‌ای ۱۳۷- وات بر مترمربع را در ساعات ۹ تا ۱۲ نشان داد. میزان دمای سطحی (تا ۴ درجه سانتی‌گراد) و شار گرمای محسوس (تا ۱۰۰ وات بر مترمربع) در نتیجه وجود گردوغبار کاهش قابل توجهی داشتند که با مشاهدات تجربی مطابقت داشت (۱۵). مصباح‌زاده و همکاران (۲۰۲۰)، طی پژوهشی نشان دادند که بیابان‌های عربستان و جنوب غربی ایران و همچنین حوزه هیرمند در کشور افغانستان و جنوب شرقی ایران را می‌توان به‌عنوان منابع اصلی گردوغبار در فلات مرکزی ایران شناسایی کرد (۱۶). نتایج راشکی و کاسکائوتیس (۲۰۱۹) نشان داد بیش‌ترین فراوانی طوفان‌های گردوغبار در حوزه سیستان در ایران و اطراف بیابان‌های جنوب افغانستان مشاهده شد، و بخش‌هایی از دریاچه‌های هامون و بخش شرقی حوزه سیستان فعال‌ترین مناطق برای انتشار

1- The Weather Research and Forecasting model coupled to Chemistry

2- Short wave

با توجه به ترکیب اطلاعات سنجش از دور ماهواره‌ای و داده‌های بازتحلیل برای رخداد گردوغبار ۲۳ تا ۲۶ اوت سال ۲۰۱۰ در حوزه هیرمند بررسی می‌شود. داده‌های بازتحلیل جوی ترکیبی از برآورد مدل عددی پیش‌بینی آب و هوا (NWP^۲) به همراه مشاهدات زمینی و داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد (۲۳). ERA5^۳ جدیدترین داده بازتحلیل جوی است که توسط ECMWF^۴ تولید شده است. این نوع داده‌ها در اوایل فوریه ۲۰۱۹ برای استفاده عمومی در دسترس قرار گرفت، که در آینده نزدیک تا سال ۱۹۵۰ نیز گسترش خواهد یافت. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع گردوغبار و جدید بودن این نوع داده‌ها، پژوهش حاضر صورت پذیرفت.

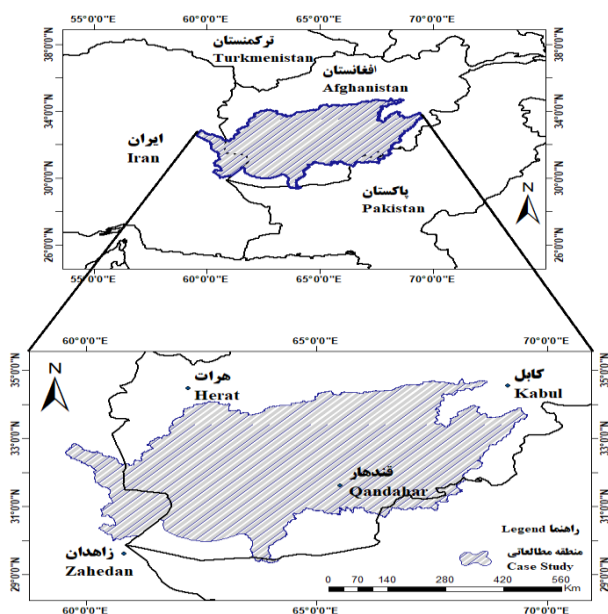
مواد و روش‌ها

هیرمند با حوزه آبریزی به گستره ۳۵۰ هزار کیلومترمربع بزرگ‌ترین رود خاوری ایران و کشور افغانستان است. هیرمند در محل کوهک به دو شاخه اصلی تقسیم شده که یکی از این شاخه‌ها به نام رود سیستان، در ایران به دریاچه هامون می‌ریزد و دیگری که پریان مشترک نام دارد، قسمتی از مرز ایران و افغانستان را تشکیل می‌دهد که در نهایت به هامون پوزک در سرزمین افغانستان می‌ریزد (۱۰). در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

گردوغبار هستند (۱۷). اشرفی و همکاران (۲۰۱۷) در یک پژوهش دو رخداد طوفان گردوغبار را با استفاده از مدل WRF-Chem شبیه‌سازی و تأثیر آن بر کیفیت هوا و بودجه تابشی در ایران را ارزیابی نمودند. با توجه به نتایج معلوم شد که ذرات معلق گردوغبار منجر به آشفته‌گی منفی تابش‌های موج‌کوتاه در سطح زمین و جو می‌شوند درحالی‌که این آشفته‌گی‌های تابشی برای تابش‌های موج‌بلند مثبت بودند (۱۸). علیزاده چوبیری و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند در مقیاس جهانی، گردوغبارهای معدنی باعث کاهش انرژی تابشی خالص و کاهش دما در سطح می‌شوند (۱۹). بیگوم و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه ویژگی‌های تابشی و نوری گردوغبار، نتیجه گرفتند واداشت تابشی مستقیم گردوغبار (ARF^۱) در ماه‌های بهار و تابستان دارای مقادیر زیاد و در ماه‌های پاییز و زمستان دارای مقادیر کم است. هم‌چنین روند گرمای جو در نتیجه واداشت تابشی تغییر می‌کند که بالاترین مقدار آن در ماه ژوئن و کمترین مقدار آن در ماه نوامبر رخ داد (۲۰). ژائو و همکاران (۲۰۱۵)، طی پژوهشی اثرات مستقیم ذرات گردوغبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک را با استفاده از یک سیستم جفت شده آئروسول-اقليم شبیه‌سازی کرده و بیان نمودند ذرات معلق گردوغبار تابش موج کوتاه را جذب و پراکنده می‌کنند که منجر به کاهش تابش خورشیدی در سطح و کاهش دمای سطحی می‌شود (۲۱). صراف و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که در زمان رخداد گردوغبار، تابش خالص در سطح زمین کاهش یافته که باعث سرمایش در سطح زمین و در نتیجه کاهش شار گرمای محسوس و نهان سطحی در منطقه می‌شود (۲۲). در پژوهش حاضر اثر طوفان‌های گردوغبار بر روی شاخص‌های تابشی و شار گرمایی

2- Numerical Weather Prediction
3- ECMWF Reanalysis v5
4- European Center for Medium-Range Weather Forecasts

1- Aerosol Radiative Forcing



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.
Figure 1. Geographical location of the study area.

است و به همین دلیل HYSPLIT را مدلی دوگانه می‌نامند. چندین نوع داده برای ورودی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد که در منطقه مطالعاتی تنها امکان استفاده از داده‌های GDAS می‌باشد. GDAS مجموعه داده‌های جهانی با دو شبکه هستند که یک شبکه دارای تفکیک ۱ درجه با سطوح فشاری و شبکه دیگری با تفکیک ۰/۵ درجه با سطوح سیگما می‌باشند و برای هر سه ساعت در دسترس هستند (۲۵) که در پژوهش جاری با تفکیک افقی ۰/۵ درجه در ارتفاع ۵۰۰ متری با روش پسگرد و به صورت ماتریسی از روز ۲۲ تا ۲۶ اوت سال ۲۰۱۰ برای ۲۴ ساعت قبل اجرا شد. برای تعیین ارتباط میان ذرات گردوغبار با تابش جوی، کمیت AOD بررسی شد. AOD یک کمیت بی‌بعد است که مربوط به مقدار ذرات معلق در ستون عمودی جو می‌باشد که مقادیر بالاتر از ۰/۳ به‌عنوان گردوغبار سنگین تعریف می‌شود (۲۶). این کمیت با الگوریتم ترکیبی Deep Blue و Dark Target از

در این پژوهش ابتدا تصاویر حقیقی^۱ اخذ شده از ماهواره ترا به منظور شناسایی مناطق تحت‌تأثیر گردوغبار و تعیین الگوی گردوغبار در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای شناسایی الگوی باد حاکم بر منطقه در زمان این رخداد، نقشه‌های سرعت و جهت باد با استفاده از داده‌های ERA5 با تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه، به فرمت NetCDF^۲ از سایت Copernicus^۳ ترسیم گردید. جهت شناسایی کانون‌های فعال گردوغبار در این مورد مطالعاتی، از مدل HYSPLIT^۴ آنلاین^۵ و داده‌های GDAS^۶ استفاده گردید. این مدل برای شبیه‌سازی خطوط سیر گردوغبار و شناسایی مناطق خاستگاه و هم‌چنین مناطق تحت‌تأثیر طوفان گردوغبار به کار گرفته می‌شود که ترکیبی از دیدگاه‌های اویلری و لاگرانژی

- 1- True- color images
- 2- Network Common Data Form
- 3- <https://cds.climate.copernicus.eu>
- 4- Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory
- 5- <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>
- 6- Global Data Assimilation System

(STR) است (۲۷). تمامی واحدها بر حسب (w/m^2) می‌باشند. در این بخش جهت ایجاد توازن، علامت منفی برای STR در نظر گرفته شد و با توجه به آن بیلان تابش محاسبه گردید. جهت ارزیابی صحت داده‌های ماهواره‌ای گردوغبار از داده‌های ساعتی دید افقی تنها ایستگاه هواشناسی در دسترس یعنی زابل با مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی برای روزهای مورد نظر استفاده گردید. هم‌چنین به دلیل عدم دسترسی به داده‌های تابش این ایستگاه، از داده‌های ساعتی دمای هوای در ارتفاع ۲ متری به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر متأثر از تابش‌های خورشیدی، برای مقایسه با داده‌های بازتحلیل دمای هوا در ارتفاع ۲ متر استفاده شد.

در گام پایانی ارزیابی ارتباط میان شاخص AOD با شاخص‌های تابشی و شار گرمایی به روش همبستگی پیرسون محاسبه گردید که در این مرحله تمامی پیکسل‌های این شاخص‌ها در منطقه مطالعاتی برای روزهای موردبررسی با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شماره ۲ تصویر حقیقی رخداد گردوغبار روزهای ۲۲ تا ۲۷ ماه اوت سال ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲ الف، در روز ۲۲م ماه اوت توده گردوغبار در جنوب شرقی ترکمنستان و شمال‌غربی افغانستان مشاهده شد و در روز ۲۳م نواحی جنوب‌غربی افغانستان و بخش‌های اندکی از شرق ایران را تحت تأثیر قرار داد (شکل ۲ ب). در روز بعد به تدریج مناطق بیش‌تری از مرکز و جنوب افغانستان و هم‌چنین بخش‌هایی از شمال‌غربی پاکستان متأثر از پدیده گردوغبار شدند (شکل ۲ ج). در روز ۲۵م گردوغبار بیش‌تر در نیمه جنوبی منطقه مطالعاتی و هم‌چنین بخش‌های اندکی از پاکستان مشاهده گردید

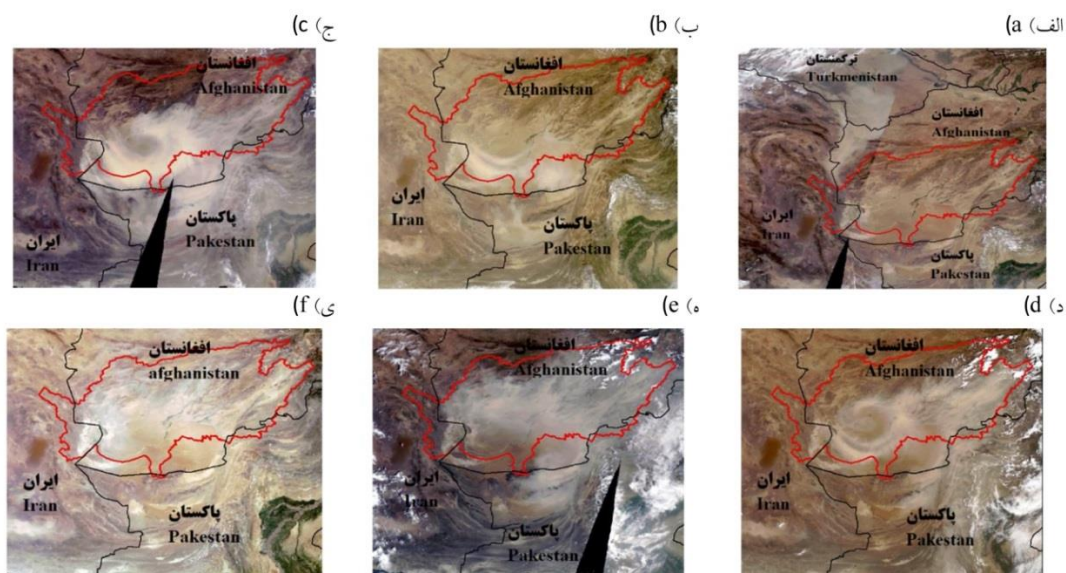
سایت Giovanni^۱ متعلق به ماهواره آکوا (سنجنده مادیس) به فرمت Tiff تهیه شد و هم‌چنین داده‌های بازتحلیل از پایگاه داده ERA5 در ساعت ۱۰ UTC روزهای ۲۳م تا ۲۶م در منطقه مورد نظر اخذ گردیدند. در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار GrADS^۲ نسخه ۲,۰,۲ هم نقشه‌های موردنظر تهیه گردید و هم به فرمت Tiff درآمدند تا در نرم‌افزار GIS^۳ جهت بررسی روابط، به داده‌های اکسل تبدیل شود. به دلیل ناهمسان بودن اندازه پیکسل شاخص‌ها، در نرم‌افزار GIS روند همسان‌سازی پیکسل‌ها انجام گرفت. از آن‌جایی‌که علامت‌های منفی و مثبت شاخص‌ها تنها نشان‌دهنده جهت این تابش‌ها هستند بنابراین در ارزیابی آنان نیز قدرمطلق این مقادیر در نظر گرفته شدند. شاخص‌های تابشی که در این پژوهش ارزیابی می‌شوند شامل شار گرمای نهان سطحی^۴، شار گرمای محسوس سطحی^۵، تابش خورشیدی خالص سطحی^۶، تابش حرارتی خالص سطحی^۷ و بیلان تابش می‌باشند که طبق قرارداد مدل، شارهای رو به پایین مثبت و شارهای رو به بالا منفی هستند. در مرحله بعد بیلان تابشی برای روزهای موردنظر با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$R_n = (R_{sd} - R_{su}) + (R_{ld} - R_{lu}) \quad (1)$$

که در آن، R_n بیلان تابش، R_{sd} تابش موج کوتاه فرودی، R_{su} تابش موج کوتاه به سمت بالا، R_{ld} تابش موج بلند فرودی و R_{lu} تابش موج بلند به سمت بالاست. در واقع $(R_{sd} - R_{su})$ همان تابش موج کوتاه خالص (SSR) و $(R_{ld} - R_{lu})$ تابش موج بلند (حرارتی) خالص

- 1- <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>
- 2- The Grid Analysis and Display System
- 3- Geographic Information System
- 4- Surface latent heat flux (SLHF)
- 5- Surface sensible heat flux (SSHF)
- 6- Surface net Solar Radiation (SSR)
- 7- Surface net thermal radiation (STR)

(شکل ۲ د). با توجه به شکل ۲ ه در روز ۲۶م، بیشتر منطقه مطالعاتی تحت تأثیر پدیده گردوغبار اما با شدت کم تر قرار گرفت و همان گونه که در شکل



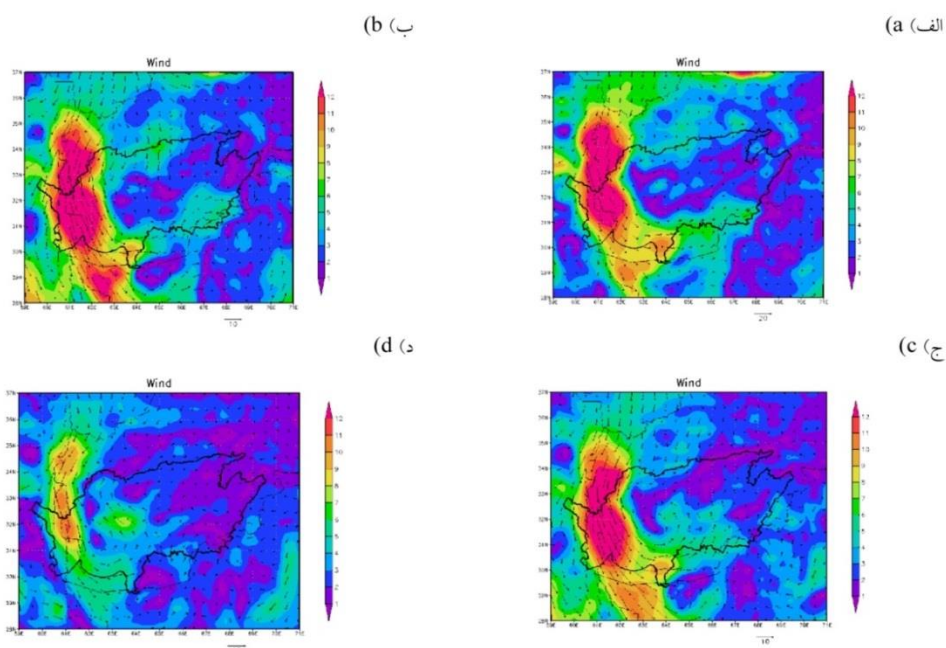
شکل ۲- تصویر رنگی حقیقی سنجنده مودیس ماهواره ترا برای طوفان گردوغبار

در روز الف) ۲۲، ب) ۲۳، ج) ۲۴، د) ۲۵، ه) ۲۶ و ی) ۲۷ اوت ۲۰۱۰.

Figure 2. True color image of the MODIS satellite sensor of the dust storm on a) 22, b) 23, c) 24, d) 25, e) 26, f) 27 August 2010.

غربی افغانستان، شرق ایران و شمال غرب پاکستان با سرعت و شدت زیاد در حال وزیدن بود که باعث حمل و جابجایی ذرات گردوغبار در حوزه مورد مطالعه شد. در روزهای ۲۴م تا ۲۶م چرخش بردارهای باد در بخش های مرکزی مشاهده می شود که باعث چرخش و پخش بیشتر ذرات گردوغبار شد که با تصاویر حقیقی به دست آمده تطابق داشت. در روز ۲۶م از سرعت و شدت باد کاسته شد و گردوغبار در محدوده وسیع تری از منطقه مطالعاتی مشاهده شد (شکل ۳ د).

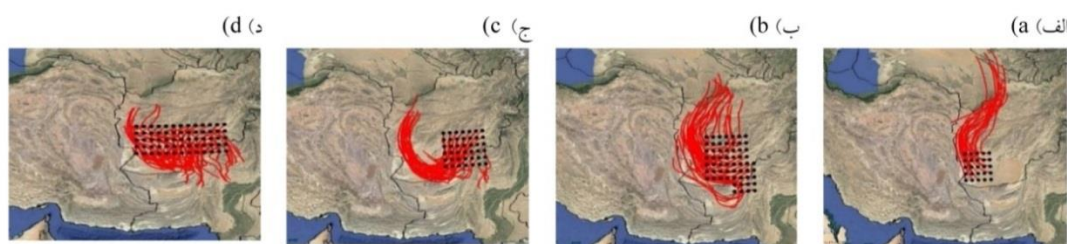
نقشه سرعت و جهت باد در ارتفاع ۲ متری برای رخداد گردوغبار ۲۳ تا ۲۶ اوت سال ۲۰۱۰ نشان داد که باد غالب در منطقه مطالعاتی، باد شمال غربی (باد شمال یا لوار) است که سبب انتقال ذرات گردوغبار و تمرکز آنها در بخش های غربی شده است (شکل ۳ الف، ب، ج و د). باد لوار ناشی از گرادیان فشار بین سیستم پرفشار سرد بر روی رشته کوه هندوکش و کم فشار گرمایی در مناطق بیابانی شرق ایران و غرب افغانستان است (۲۸). با توجه به شکل های ۳ الف، ب و ج در روزهای ۲۳م تا ۲۵م این باد در بخش های



شکل ۳- نقشه سرعت و جهت باد در ارتفاع ۱۰ متری در روز الف) ۲۳، ب) ۲۴، ج) ۲۵، د) ۲۶ اوت ۲۰۱۰.
Figure 3. Map of wind speed and direction at the height of 10 meters on a) 23, b) 24, c) 25, d) 26 August 2010.

منطقه مورد نظر رسیده و تمرکز یافتند (شکل ۴ الف). در روزهای ۲۴ ام و ۲۵ ام با افزایش شدت باد، ذرات گردوغبار علاوه بر مناطق مذکور از بخش‌هایی از مناطق بیابانی در شمال پاکستان نیز برداشت شده و بخش‌های وسیع‌تری را پوشش دادند (شکل ۴ ب و ج). در روز ۲۶ ام تحت تأثیر جریان‌های چرخشی در بخش‌های مرکزی، ذرات گردوغبار بیش‌تر از بخش‌های جنوبی و غربی منطقه مطالعاتی برداشت شده و در منطقه پراکنده گردیدند (شکل ۴ د).

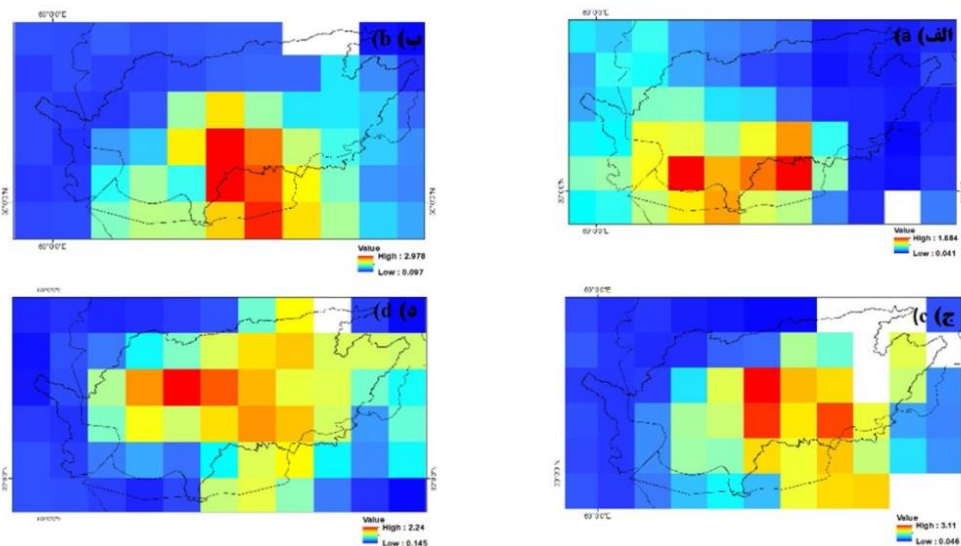
مسیریابی طوفان گردوغبار با استفاده از مدل HYSPLIT آنالین به روش پسگرد برای ۲۴ ساعت قبل از رخداد نشان داد که در روز ۲۳ ام ذرات گردوغبار عمدتاً از بیابان‌های ترکمنستان (بیابان قره‌قوم و دشت توران در شرق ترکمنستان) و هم‌چنین دریاچه هامون و بخش شرقی حوزه سیستان که راشکی و همکاران (۲۰۱۹) به عنوان منابع اصلی انتشار آنبوه گردوغبار معرفی کردند برداشت شد (۱۷). سپس به وسیله باد غالب که عمدتاً از بخش‌های شمال شرقی ایران به سمت شرق و جنوب شرق می‌وزند، به



شکل ۴- مسیریابی طوفان گردوغبار با مدل HYSPLIT به روش پسگرد در روز الف) ۲۳، ب) ۲۴، ج) ۲۵، د) ۲۶ اوت ۲۰۱۰.
Figure 4. HYSPLIT model back trajectory of dust storm on a) 23, b) 24, c) 25 and d) 26 August 2010.

مرکزی تحت تأثیر قرار گرفت (شکل ۵ ج). با توجه به شکل ۵ د مقدار AOD در روز ۲۶م اندکی کم تر بوده اما محدوده وسیع تری را تحت پوشش قرار داده است که با تصاویر حقیقی این روزها مطابقت دارد. براساس نقشه های به دست آمده در این روز در محدوده توده گردوغبار مقدار AOD به بیش از ۲ رسیده که با رنگ قرمز در تصویر مشخص شده است.

ارزیابی نقشه های AOD برای روزهای ۲۳ تا ۲۶ اوت ۲۰۱۰ (شکل ۵) نشان داد شدت این شاخص در روز ۲۳م در مناطق جنوب غربی و سپس جنوبی حوزه هیرمند بیش از سایر نقاط منطقه مورد مطالعه بود (شکل ۵ الف). با توجه به نقشه این روز مقدار AOD در محدوده توده گردوغبار به بیش از ۱ رسید که نشان دهنده افزایش میزان ذرات معلق است. در روز ۲۴م بیشترین مقدار در نواحی جنوبی مشاهده گردید (شکل ۵ ب) اما در روز بعد بیش تر مناطق

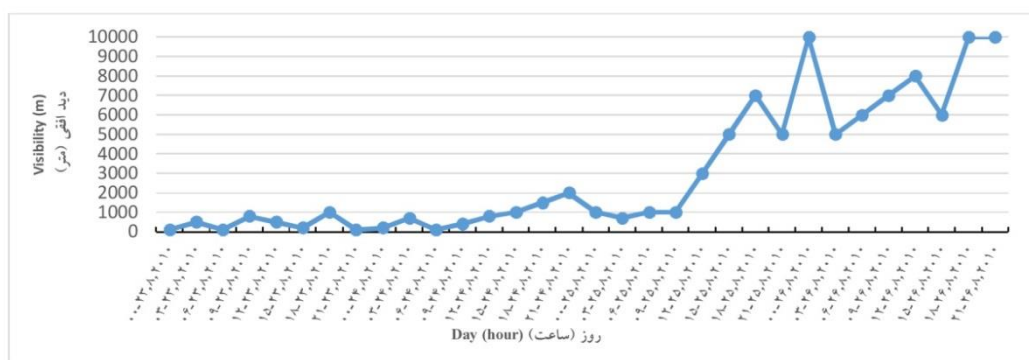


شکل ۵- نقشه AOD در روز الف) ۲۳ ب) ۲۴ ج) ۲۵ د) ۲۶ اوت ۲۰۱۰.

Figure 5. Map of AOD on a) 23 b) 24 c) 25 d) 26 August 2010.

حاصل از AOD نیز نشان داد در روزهای ۲۳م تا ۲۵م نسبت به روز ۲۶م، مقدار این شاخص در بخش های شرقی ایران روند افزایشی داشت (شکل ۶).

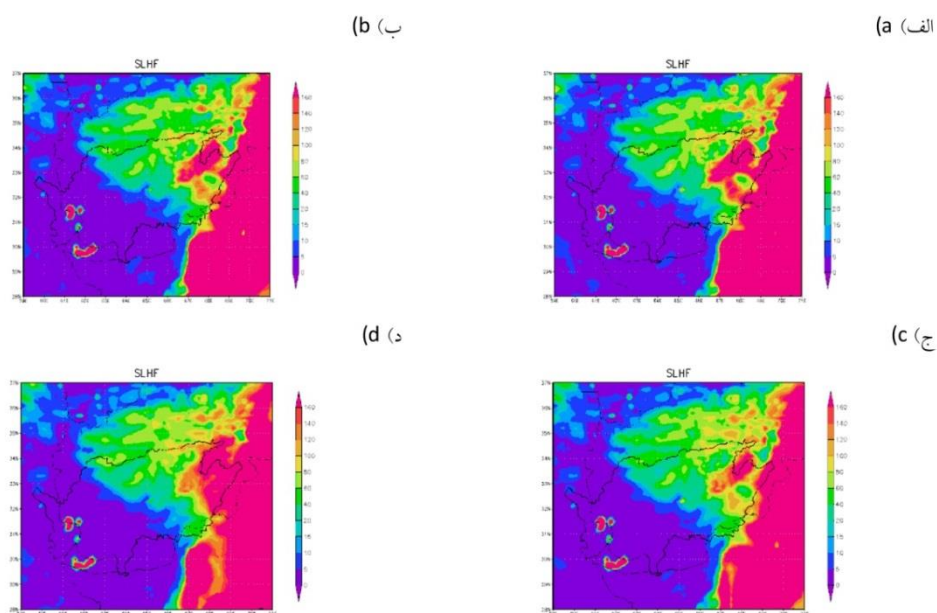
با بررسی پارامتر دید افقی در ایستگاه هواشناسی زابل مشخص گردید در روزهای ۲۳م تا ۲۵م دید افقی به کم تر از ۱۰۰۰ متر رسید ولی در روز ۲۶م دوباره مقدار آن افزایش یافت. ارزیابی نقشه های



شکل ۶- مقادیر ساعتی دید افقی در ایستگاه زابل در روز الف) ۲۳ ب) ۲۴ ج) ۲۵ د) ۲۶ اوت ۲۰۱۰.
 Figure 6. Hourly value of visibility at Zabol station on a) 23 b) 24 c) 25 d) 26 August 2010.

نیمه غربی منطقه که تمرکز گردوغبار نیز بیشتر بود کم‌تر از سایر مناطق ثبت شد و در سایر روزها روند یکسانی نشان دادند.

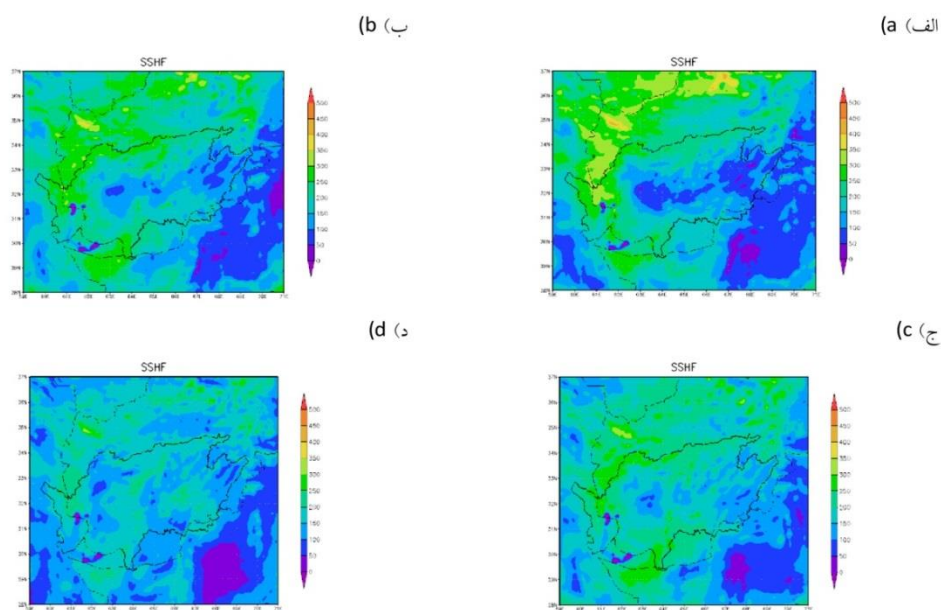
بر اساس نقشه‌های شار گرمای نهان سطحی (SLHF) در روزهای ۲۳ تا ۲۶ ام اوت ۲۰۱۰ که در شکل ۷ نشان داده شده است، مقدار این شاخص در



شکل ۷- نقشه SLHF در روز الف) ۲۳ ب) ۲۴ ج) ۲۵ د) ۲۶ اوت ۲۰۱۰.
 Figure 7. Map of SLHF on a) 23 b) 24 c) 25 d) 26 August 2010.

کاهش یافت (شکل ۸ الف، ب، ج). در روز ۲۶ ام که توده گردوغبار به طور نامنظم مناطق بیشتری را تحت تأثیر قرار داد، مقدار این شاخص در بیشتر منطقه مطالعاتی کاهش یافت که این نتایج با تصاویر حقیقی گردوغبار مطابقت دارد (شکل ۸د).

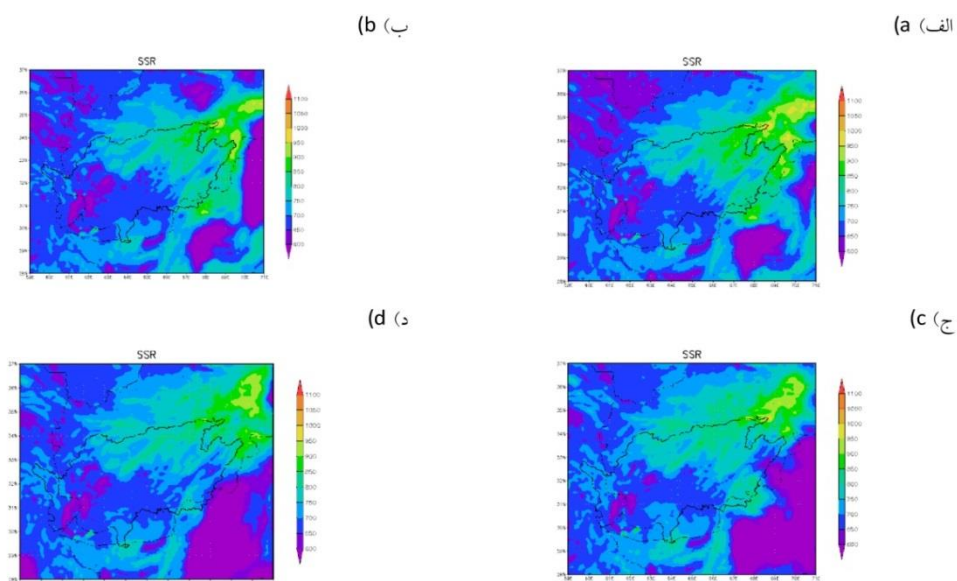
ارزیابی شاخص SSHF نشان داد از روز ۲۳ مقدار این شاخص در نواحی مرکزی به تدریج کاهش یافته است. در روزهای ۲۴ و ۲۵ مقدار این شاخص نسبت به روز ۲۳ اندکی افزایش نشان داد اما به‌طورکلی در مناطق بیشتری از حوزه مطالعاتی



شکل ۸- نقشه SSHF در روز الف) ۲۳ ب) ۲۴ ج) ۲۵ د) ۲۶ اوت ۲۰۱۰.
Figure 8. Map of SSHF on a) 23 b) 24 c) 25 d) 26 August 2010.

کاهش مقدار کم‌تر بود اما محدوده بیش‌تری را تا مرکز منطقه در برگرفت (شکل ۹ ج). در روز ۲۶ ام این کاهش مقدار بیش‌تر از روز قبل مشاهده گردید و محدوده وسیع‌تری از منطقه مطالعاتی را متأثر کرد (شکل ۹ د).

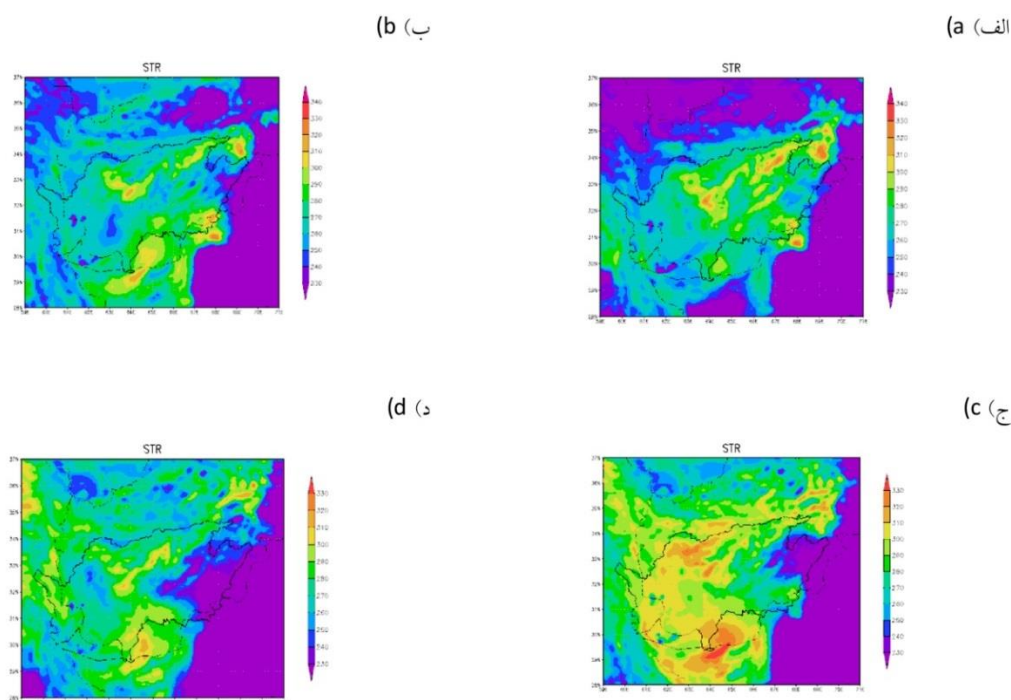
با بررسی شاخص SSR معلوم شد در روزهای ۲۳ ام و ۲۴ ام اوت ۲۰۱۰ مقدار تابش خورشیدی سطحی در نیمه غربی و جنوب غربی منطقه مطالعاتی نسبت به نیمه شرقی آن کم‌تر است (شکل ۹ الف و ب). در روز ۲۵ ام اگرچه نسبت به دو روز قبل این



شکل ۹- نقشه SSR در روز الف) ۲۳ ب) ۲۴ ج) ۲۵ د) ۲۶ اوت ۲۰۱۰.
Figure 9. Map of SSR on a) 23 b) 24 c) 25 d) 26 August 2010.

بیش‌تر بود اما در روز ۲۵ دوباره افزایش یافت (شکل ۱۰ ب و ج). با توجه به نقشه روز ۲۶م، مقدار این شاخص نسبت به روز قبل دوباره روند افزایشی نشان داده است (شکل ۱۰ د).

با توجه به نقشه STR در روز ۲۳م مشاهده شد که مقدار این شاخص در مناطق غرب، جنوب غربی و همچنین بخش‌هایی از قسمت‌های مرکزی حوزه هیرمند، نسبت به سایر مناطق کم‌تر بود (شکل ۱۰ الف). در روز بعد میزان کاهش STR در این مناطق



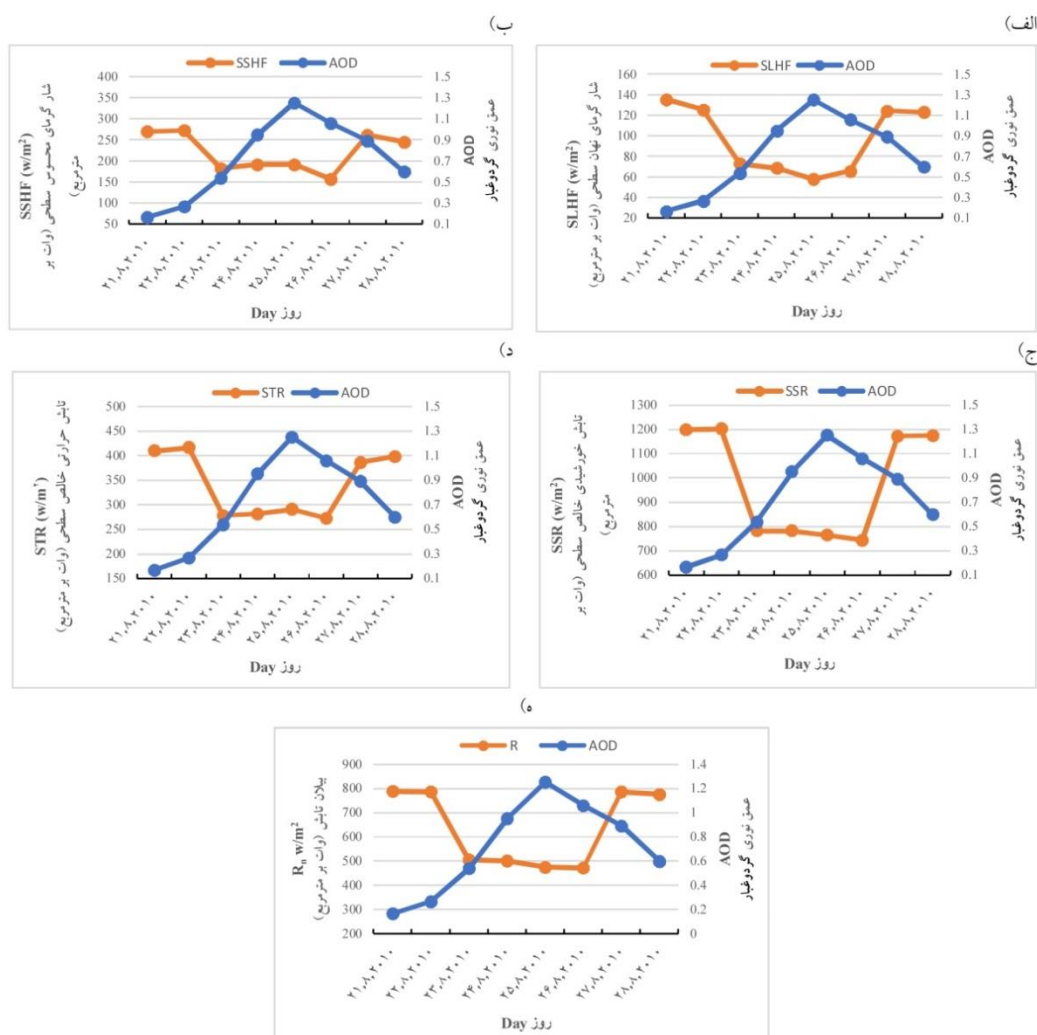
شکل ۱۰- نقشه STR در روز الف) ۲۳ ب) ۲۴ ج) ۲۵ د) ۲۶ اوت ۲۰۱۰.
Figure 10. Map of STR on a) 23 b) 24 c) 25 d) 26 August 2010.

به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۲۷ ثبت شد که نشان‌دهنده حجم بسیار پایین ذرات جو می‌باشد (شکل ۱۱ الف). اما پس از این تاریخ به تدریج میزان آن روند صعودی داشت به طوری که روز ۲۵م به بیش‌ترین مقدار خود یعنی ۱/۲۵ رسید و در روز بعد دوباره مقدار این شاخص به صورت نزولی کاهش یافت. اگرچه در روز ۲۷م مقدار AOD ۰/۹ ثبت گردید اما با توجه به تصاویر حقیقی گردوغبار، در این روز پدیده گردوغبار مشاهده نگردید (شکل ۲ ی). به طور کلی

بررسی شار گرمای نهان سطحی در روزهای ۲۱م تا ۲۶م اوت ۲۰۱۰ نشان داد مقدار آن به تدریج از روز ۲۲م کاهش یافت و به ۷۲ وات بر مترمربع رسید (شکل ۱۱ الف). روند کاهشی این شاخص در روزهای بعد نیز ادامه پیدا کرد و در روز ۲۵م به کم‌ترین مقدار یعنی ۵۸ وات بر مترمربع رسید و در روز ۲۶م اندکی افزایش یافت و در روز بعد به یکباره افزایش نشان داد. با توجه به نتایج حاصل از AOD، مقدار این شاخص در روز ۲۱م و ۲۲م

یعنی ۲۷۲ وات بر مترمربع رسید و پس از آن در روز ۲۷ام دوباره افزایش یافت. با توجه به شکل ۱۱ هـ، ارزیابی بیلان تابش (R_{II}) برای روزهای منتخب نشان داد از روز ۲۲ام میزان آن به یکباره کاهش یافته و به مقدار ۵۰۴ وات بر مترمربع در روز ۲۳ام رسید. این کاهش در روزهای بعد نیز ادامه یافت و در روز ۲۶ام به کم‌ترین مقدار خود یعنی ۴۷۲ وات بر مترمربع رسید و سپس در روز بعد با پایان پدیده گردوغبار مقدار آن دوباره افزایش یافت. به‌طورکلی با شروع گردوغبار از روز ۲۳ام مقدار شاخص‌های تابشی و شارگرمایی کاهش یافت و تا روز ۲۶ام این روند کاهش ادامه یافت و سپس با پایان گردوغبار در منطقه مقادیر این شاخص‌ها نیز دوباره افزایش یافت. صراف و همکاران (۱۳۹۶) به کاهش تابش خالص در سطح زمین و همچنین کاهش شار گرمای محسوس و گرمای نهان (۲۲)، و همچنین مالت و همکاران (۲۰۰۹)، کاهش بوجه تابشی سطحی و شار گرمای محسوس در اثر ذرات گردوغبار را گزارش کردند (۱۵). هم‌چنین علیزاده چوبری و همکاران (۲۰۱۵) نیز کاهش انرژی تابشی خالص به‌وسیله گردوغبارهای معدنی را بیان نمودند (۱۹). با توجه به نتایج این پژوهش‌گران و ارزیابی‌های صورت گرفته می‌توان بیان نمود که این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد.

با توجه به نمودار به‌دست آمده در روزهایی که AOD در منطقه مطالعاتی افزایش یافته، مقدار SLHF کاهش یافته است. ارزیابی شاخص SSHF برای روزهای ۲۱ام تا ۲۸ام اوت ۲۰۱۰ نشان داد مقدار آن در روزهای ۲۱ام و ۲۲ام در حدود ۲۷۰ وات بر مترمربع بود اما در روز ۲۳ام با یک شیب تند به ۱۸۳ وات بر مترمربع رسید. کم‌ترین میزان کاهش SSHF در روز ۲۶ام با ۱۵۷ وات بر مترمربع مشاهده شد اما پس از این روز مقدار این شاخص روند افزایشی نشان داد (شکل ۱۱ ب). بنابراین در روزهای که در منطقه مطالعاتی پدیده گردوغبار رخ داده میانگین شار گرمای محسوس سطحی نیز کاهش یافت. ارزیابی شاخص SSR نشان داد در روز ۲۳ام مقدار این شاخص به مقدار زیادی کاهش یافت و به عدد ۷۸۳ وات بر مترمربع رسید (شکل ۱۱ ج). این روند کاهش در روزهای بعد ادامه یافت و در روز ۲۶ام به کم‌ترین مقدار یعنی ۷۴۴ وات بر مترمربع رسید اما در روزهای بعد دوباره افزایش یافت و به بیش از ۱۱۷۰ وات بر مترمربع رسید. با مطالعه شاخص STR مشخص گردید مقدار آن در روزهای ۲۱ام تا ۲۲ام ماه اوت بیش از ۴۱۰ وات بر مترمربع بود اما در روز ۲۳ام به یکباره کاهش شدید نشان داد و عدد ۲۷۸ وات بر مترمربع برای آن ثبت شد (شکل ۱۱ د). در روز ۲۶ام نیز به کم‌ترین مقدار خود



شکل ۱۱- مقادیر SLHF (الف)، SSHF (ب)، SSR (ج)، STR (د) و R_n (و) در مقایسه با AOD برای روزهای ۲۱ تا ۲۸ اوت ۲۰۱۰.
 Figure 11. Values of SLHF (a), SSHF (b), SSR (c), STR (d) and R_n (f) compared to AOD for 21-28 August 2010.

وجود دارد. با توجه به نتایج مشخص شد شاخص‌های R_n و SSR به ترتیب با مقدار $-0/370$ و $-0/359$ بیش‌ترین و شاخص SLHF با مقدار $-0/153$ کم‌ترین میزان همبستگی با شاخص AOD داشتند که در جدول ۱ مشخص شده است.

بررسی ارتباط میان عمق نوری گردوغبار با شاخص‌های تابشی و شارگرمایی با استفاده روش همبستگی پیرسون نشان داد میان شاخص AOD با شاخص‌های SLHF، SSHF، SSR، STR و R_n همبستگی معناداری در سطح $0/01$ و به صورت منفی

جدول ۱- همبستگی میان AOD با شاخص‌های SLHF, SSHF, SSR, STR و R_n برای روزهای ۲۱ تا ۲۸ اوت ۲۰۱۰.

Table 1. Correlation between AOD and SLHF, SSHF, SSR, STR and R_n indices for August 21-28, 2010.

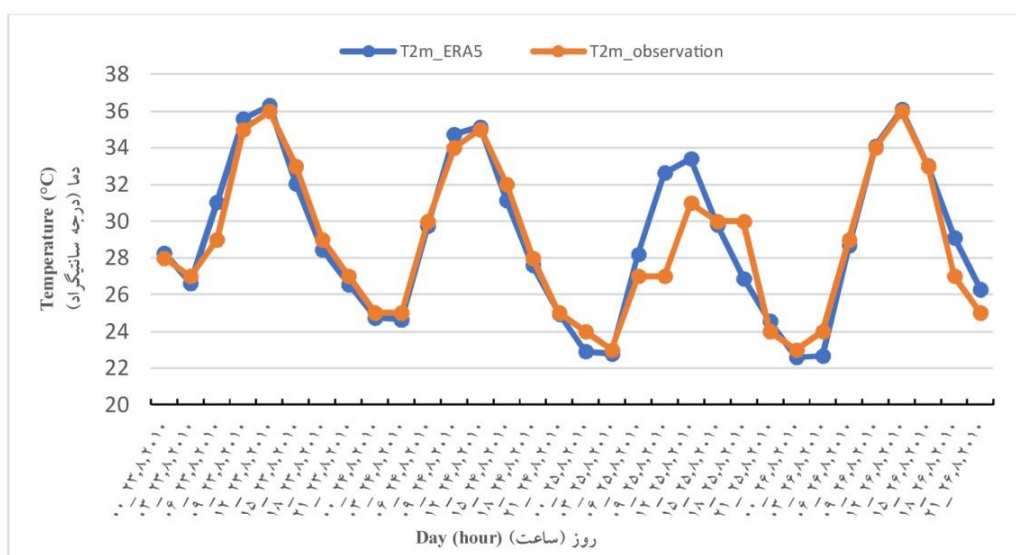
عمق نوری گردوغبار AOD	شار گرمای نهان سطحی SLHF	شار گرمای محسوس سطحی SSHF	تابش خورشیدی خالص سطحی SSR	تابش حرارتی خالص سطحی STR	بیان تابش R_n
سطح معنی داری Significant	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
همبستگی Correlation	-0.153**	-0.205**	-0.370**	-0.267**	-0.359**

** همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی دار است (دوطرفه)

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

دمای بازتحلیل تخمین زده شد (شکل ۱۲). در روز ۲۶م نیز این دو نوع داده دوباره با روند مشابهی تغییر کردند. همان‌گونه که در شکل ۱۲ نیز نشان داده شده، در اواسط روز مقادیر دما به بیش‌ترین مقدار و در نیمه‌شب به کم‌ترین مقدار خود رسیدند.

مقایسه داده‌های هواشناسی دمای هوا در ارتفاع ۲ متری در ایستگاه زابل با داده‌های بازتحلیل دما در طی شبانه‌روز برای روزهای مورد بررسی نشان داد در روزهای ۲۳م تا ۲۴م روند تغییرات این پارامتر تقریباً شبیه یکدیگر است اما در روز ۲۵م در طول روز دمای حاصل از ایستگاه هواشناسی اندکی کم‌تر از



شکل ۱۲- مقادیر ساعتی دمای هوا در ارتفاع ۲ متری در ایستگاه زابل در روز الف) ۲۳ ب) ۲۴ ج) ۲۵ د) ۲۶ اوت ۲۰۱۰.

Figure 12. Hourly value of temperature at height of 2 meters at Zabol station on a) 23 b) 24 c) 25 d) 26 August 2010.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر طوفان‌های گردوغبار بر روی شاخص‌های شار گرمایی و تابشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های بازتحلیل ERA5 برای رخداد گردوغبار ۲۳ تا ۲۶ اوت سال ۲۰۱۰ در حوزه هیرمند انجام گرفت. با توجه به تصاویر حقیقی این رخداد در منطقه مطالعاتی، ابتدا بخش‌های غربی و جنوب‌غربی و به تدریج بیش‌تر مناطق حوزه هیرمند تحت تأثیر گردوغبار قرار گرفت. نتایج حاصل از سرعت و جهت باد در ارتفاع ۲ متری نشان داد که ذرات گردوغبار از طریق باد غالب شمال‌غربی (باد شمال یا لوار) وارد منطقه مطالعاتی شده و در روزهای ۲۴ام تا ۲۶ام به همراه یک جریان چرخشی، توده گردوغبار در بیش‌تر منطقه پراکنده شدند. با توجه به نتایج حاصل از مسیریابی طوفان با استفاده از مدل HYSPLIT به روش پسگرد مشخص شد که ذرات گردوغبار به طور عمده از بیابان‌های ترکمنستان، هامون و بخش‌هایی از مناطق خشک در شمال‌غربی پاکستان برداشت شده‌اند. بررسی نقشه‌های AOD نشان داد که بیش‌ترین مقادیر در روز ۲۳ام در مناطق غربی و جنوبی و در روز ۲۴ام در نواحی جنوبی به دست آمده است. در روزهای بعد مناطق مرکزی نیز تحت تأثیر قرار گرفته‌اند که این نتایج با تصاویر حقیقی به دست آمده مطابقت دارد. مقدار AOD از روز ۲۱ام به تدریج افزایش یافت به گونه‌ای که در روز ۲۵ام بیشینه آن به ۱/۲۵ رسید و دوباره شروع به کاهش کرد. ارزیابی داده‌های حاصل از دید افقی در ایستگاه زابل جهت صحت‌سنجی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد مقادیر دید افقی در روزهای ۲۳ام تا ۲۵ام که توده گردوغبار در بخش‌های شرقی کشور قرار داشت به کم‌تر از ۱۰۰۰ رسید. با توجه به نقشه شاخص‌های تابشی و شار گرمایی در روز ۲۳ام مشخص گردید شاخص SLHF در نیمه غربی،

SSHf در بخش‌های مرکزی، و شاخص‌های SSR و STR در بخش‌های غربی و جنوب‌غربی به مقدار بیش‌تری کاهش یافتند. شاخص SLHF در روزهای بعد تغییرات زیادی نشان نداد اما شاخص SSHf در روز ۲۴ام و ۲۵ام با اندکی افزایش محدوده بیش‌تری را پوشش داد. شاخص SSR از روزهای ۲۴ام تا ۲۶ام روند کاهشی ادامه یافت اما STR پس از اندکی افزایش در روز ۲۵ام نسبت به روز ۲۴ام، روند کاهشی ادامه یافت. ارزیابی هر پنج شاخص به جز SLHF با اندکی تفاوت، نشان داد که کمینه آن‌ها در روز ۲۶ام مشاهده شد. به‌طورکلی تمام شاخص‌های تابشی و شار گرمایی از روز ۲۳ام که توده گردوغبار در منطقه مشاهده شد با یک شیب تند کاهش یافتند و از روز ۲۶ام به بعد با یک شیب تند افزایش یافت. بررسی همبستگی نشان داد شاخص AOD با شاخص‌های SLHF، SSHf، SSR، STR و R_n همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۱ و به صورت منفی دارد که شاخص‌های SSR و R_n به ترتیب با مقدار ۰/۳۷۰- و ۰/۳۵۹- بیش‌ترین، و شاخص SLHF با مقدار ۰/۱۵۳- کم‌ترین میزان همبستگی را نشان دادند. ارزیابی داده‌های هواشناسی دمایی ساعتی ایستگاه زابل با داده‌های بازتحلیل منطقه موردبررسی نشان داد به جز اندکی تفاوت در روز ۲۵ام در روزهای ۲۳ام تا ۲۶ام روند تغییرات این پارامتر تقریباً شبیه یکدیگر است. به‌طورکلی می‌توان بیان نمود با وقوع گردوغبار در روزهای ۲۳ام تا ۲۶ام اوت ۲۰۱۰، کمیت AOD نیز به مقدار زیادی افزایش یافت که هم‌زمان با آن، شاخص‌های شار گرمای نهان و محسوس سطحی و همچنین تابش‌های موج‌بلند و موج‌کوتاه خورشیدی نیز به‌طور واضحی کاهش یافت. کاهش مقادیر تابش‌های موج‌کوتاه و موج‌بلند باعث کاهش بیلان تابش در منطقه مطالعاتی گردید که مقادیر حاصل از همبستگی این شاخص‌ها نتایج به دست آمده را تأیید نمود.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این متن به شکل ذیل است: نویسنده اول: طرح تحقیق و روش‌شناسی، آماده‌سازی داده‌ها، انجام محاسبات، آنالیز داده‌ها، تهیه پیش‌نویس مقاله، نویسنده دوم: اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، نظارت تحقیق، نویسنده سوم: بازبینی مقاله، نویسنده چهارم: بازبینی مقاله، نویسنده پنجم: اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، نظارت تحقیق.

اصول اخلاقی

همه نویسندگان رعایت اصول اخلاقی در انجام و انتشار پژوهش را مدنظر قرار داده‌اند.

حمایت مالی

حمایت مالی این تحقیق در قالب گرنت دانشجویی نویسنده اول مقاله حاضر بوده است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از داوران مقاله حاضر که با نظرات خود موجب بهبود و اصلاح متن مقاله شدند کمال تشکر را دارند.

داده‌ها و اطلاعات

مبنای تهیه داده‌های مقاله حاضر بر اساس رساله دکتری نویسنده اول می‌باشد که در گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام گرفته است و از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول قابل دسترسی می‌باشند.

تعارض منافع

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

منابع

1. Khoshhal Dastjerdi, J., Mousavi, S., and Kashki, A. 2012. Synoptic analysis of Ilam dust storms (1987-2005). *Geography and Environmental Planning*. 23: 2. 15-34. (In Persian)
2. Shao, Y., Wyrwoll, K.H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G.H., Mikami, M., Tanaka, T.Y., Wang, X., and Yoon, S. 2011. Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*. 2: 181-204.
3. Azizi, G., Shamsipour, A., Miri, M., and Safarrad, T. 2012. Synoptic and remote sensing analysis of dust events in southwestern Iran. *Nat. Hazards*. 64: 1625-1638.
4. Yarahmadi, D., and Khoshkish, A. 2014. Zoning dust phenomena in west Iran the period from 1990 to 2009. 13: 31. 211-225. (In Persian)
5. Chadwick, O.A., Derry, L.A., Vitousek, P.M., Huebert, B.J., and Hedin, L.O. 1999. Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature*. 397: 491e497.
6. Reynolds, R., Belnap, J., Reheis, M., Lamothe, P., and Luiszer, F. 2001. Aeolian dust in Colorado Plateau soils: nutrient inputs and recent change in source. *P. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 98: 7123e7127.
7. Jickells, T.D., An, Z.S., Andersen, K.K., Baker, A.R., Bergametti, ..., and Torres, R. 2005. Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate. *Science*. 308: 67e71.
8. Li, J., Okin, G.S., Alvarez, L., and Epstein, H. 2007. Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grassland of southern New Mexico, USA. *Biogeochemistry*. 85: 317e332.
9. Alfaro, S.C. 2008. Influence of soil texture on the binding energies of fine mineral dust particles potentially released by wind erosion. *Geomorphology*. 93:157e167.

10. Chappell, A., Sanderman, J., Thomas, M., Read, A., and Leslie, C. 2012. The dynamics of soil redistribution and the implications for soil organic carbon accounting in agricultural south-eastern Australia. *Global Change Biology*. 18: 2081e2088.
11. Javadnia, E., and Abkar, A.A. 2017. Effect of Dust Storm on Optical and Radiative Properties of Aerosols Over Middle East. *JGST*. 7: 1. 157-173. (In Persian)
12. Araghinejad, S., Ansari Ghojghar, M., PourGholam Amigi, M., Liaghat, A., and Bazrafshan, J. 2019. The Effect of Climate Fluctuation on Frequency of Dust Storms in Iran. *DEEJ*. 7: 21. 13-32. (In Persian)
13. Fountoukis, C., Harshvardhan, H., Gladich, I., Ackermann, L., and Ayoub, M.A. 2020. Anatomy of a severe dust storm in the Middle East: Impacts on aerosol optical properties and radiation budget. *Aerosol and Air Quality Research*. 20: 1. 155-165.
14. Maghrabi, A. 2017. The influence of dust storms on solar radiation data, aerosol properties and meteorological variables in Central Arabian Peninsula. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 14: 8. 1643-1650.
15. Mallet, M., Tulet, P., Serça, D., Solmon, F., Dubovik, O., Pelon, J., ... and Thouyon, O. 2009. Impact of dust aerosols on the radiative budget, surface heat fluxes, heating rate profiles and convective activity over West Africa during March 2006. *Atmos. Chem. Phys*. 9: 7143-7160.
16. Mesbahzadeh, T., Salajeghe, A., Sardoo, F.S., Zehtabian, G., Ranjbar, A., Marcello Miglietta, M., ... and Krakauer, N.Y. 2020. Spatial-temporal variation characteristics of vertical dust flux simulated by WRF-chem model with GOCART and AFWA dust emission schemes (case study: central plateau of Iran). *Applied Sciences*. 10: 13. 4536.
17. Rashki, A., and Kaskaoutis, D. 2019. Assessment of the dust sources over Central and Southwest Asia with emphasis on the Sistan dust storms. In *E3S Web of Conferences*. Vol. 99, p. 01002. EDP Sciences.
18. Ashrafi, K., Motlagh, M.S., and Neyestani, S.E. 2017. Dust storms modeling and their impacts on air quality and radiation budget over Iran using WRF-Chem. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 10: 9. 1059-1076.
19. Alizadeh-Choobari, O., Sturman, A., and Zawar-Reza, P. 2015. Global distribution of mineral dust and its impact on radiative fluxes as simulated by WRF-Chem. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 127: 6. 635-648.
20. Beegum, S.N., Romdhane, H.B., Ali, M.T., Armstrong, P., and Ghedira, H. 2016. Optical and radiative properties of aerosols over Abu Dhabi in the United Arab Emirates. *Journal of Earth System Science*. 125: 8. 1579-1602.
21. Zhao, S., Zhang, H., Feng, S., and Fu, Q. 2015. Simulating direct effects of dust aerosol on arid and semi-arid regions using an aerosol-climate coupled system. *International Journal of Climatology*. 35: 8. 1858-1866.
22. Sarraf, B., Rasouli, A., Zarrin, A., and Najafi, M. 2017. Simulation of Radiative Forcing of Middle Eastern Mineral Dust in Western Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 6: 2. 123-140. (In Persian)
23. Urraca, R., Huld, T., Gracia-Amillo, A., Martinez-de-Pison, F.J., Kaspar, F., and Sanz-Garcia, A. 2018. Evaluation of global horizontal irradiance estimates from ERA5 and COSMO-REA6 reanalyses using ground and satellite-based data. *Solar Energy*. 164(March): 339-354.
24. Etaat, J., and Varzesh, I. 2012. Hydrologic of Hirmand: Reasons, Results and Outcomes. *Human Geography Research*, 44: 193-212. (In Persian)
25. Shao, Y., Wyrwoll, K.H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G.H., Mikami, M., Tanaka, T.Y., Wang, X., and Yoon, S. 2011. Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*. 2: 181-204.
26. Dundar, C., Isik, A.G., and Oguz, K. 2019. Temporal analysis of Sand and

- Dust Storms (SDS) between the years 2003 and 2017 in the Central Asia. In E3S Web of Conferences (Vol. 99, p. 02004). EDP Sciences.
27. Alados, I., Foyo-Moreno, I., Olmo, F.J., and Alados-Arboledas, L. 2003. Relationship between net radiation and solar radiation for semi-arid shrub-land. *Agricultural and Forest Meteorology*, 116: 3-4. 221-227.
28. Rashki, A., Middleton, N.J., and Goudie, A.S. 2021. Dust storms in Iran Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeolian Research*, 48: 100655.

