

## بررسی پتانسیل شدت طوفان گرد و غبار با استفاده از مقایسه داده‌های میدان دید افقی و شاخص **DSI** در استان یزد

فاطمه درگاهیان<sup>۱\*</sup>، سعیده اشرفی<sup>۲</sup>

۱- عضو هیئت علمی بخش تحقیقات بیابان موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۲- فارغ التحصیل دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز

### چکیده

با وجودیکه پدیده‌ی گردوغبار جزء لاینفک مناطق خشک و بیابانی است اما ارمغانی است که در بستر جریانات جوی به سایر مناطق منتقل می‌شود. این پدیده تحت تاثیر عوامل طبیعی از جمله تغییر اقلیم و خشک‌سالی و فعالیت‌های انسانی به‌ویژه در سال‌های اخیر به یکی از مشکلات اساسی در نواحی خشک و بیابانی و مناطق مجاور آن تبدیل شده است. استان یزد یکی از قسمت‌های خشک و بیابانی کشور است که روزهای گردوغباری زیادی را در سال تجربه می‌کند. از این رو مطالعه‌ی پدیده گردوغبار در این استان اهمیت بالایی دارد. به منظور بررسی شدت طوفان‌های گردوغبار از شاخص **DSI** استفاده می‌شود. این شاخص براساس کدهای هواشناسی استوار است. در مواردی که دسترسی به کدهای هواشناسی امکان‌پذیر نیست یا آمار مربوط به آن ناقص و مشکوک است، می‌توان از داده‌های میدان دید افقی برای بررسی فراوانی شدت و غلظت طوفان‌های گردوغبار استفاده نمود. در این مقاله امکان جایگزینی داده‌های میدان دید افقی با داده‌های مورد نیاز برای محاسبه شاخص شدت گردوغبار به پژوهشگران معرفی شده است. بدین منظور داده‌های میدان دید افقی و کد پدیده‌های مربوط به گردوغبار که در محاسبه شاخص **DSI** استفاده می‌شوند، طی دوره آماری ۲۰۱۷ - ۲۰۰۳ برای ۱۱ ایستگاه سینوپتیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان داد که هر دو روش با هم مطابقت داشته و می‌توانند در بررسی شدت طوفان گردوغبار با هم همپوشانی داشته باشند. براساس هر دو روش قسمت‌های مرکزی و غربی استان یزد روزهای گردوغباری بیشینه را تجربه کرده‌اند که این امر به دلیل موقعیت جغرافیایی کریدور باد و همچنین وجود رسوبات ریزدانه با قطر کم و حجم زیاد در این منطقه می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** کریدور باد، رسوبات ریزدانه، کد پدیده، گردوغبار بیشینه، دید افقی بحرانی.

## مقدمه

نشان داد که طوفان‌های گردوغبار وقتی به وجود می‌آیند که مجموع بارش سالانه به‌طور قابل‌توجهی از بارش میانگین بلندمدت کمتر شود (Arabi Aliabad et al., 2017). علاوه بر بارش سرعت باد در مقیاس ماهانه ارتباط مستقیمی با فراوانی گردوغبار دارد که این نشان‌دهنده اهمیت فاکتور باد در ایجاد این رخداد است (Mesbahzadeh et al., 2017) به‌طوریکه بوگل و همکاران (Bogle et al., 2015) از بین پارامترهای اقلیمی مختلف در خشک‌سالی‌های طولانی، قدرت باد را به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر موثر بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای معرفی کردند. ارتباط بین شدت وقوع طوفان‌های گردوغبار با دما و بارندگی در شمال چین تایید شده است (Gu et al., 2010). بررسی اثر سرعت باد و رطوبت نسبی در غلظت گردوغبار در نواحی نیمه‌خشک نشان داد که غلظت گردوغبار اتمسفری به‌طور مستقیم با رطوبت نسبی ارتباط ندارد (Csavina et al., 2014). بررسی الگوهای فشار رخدادهای گردوغبار جنوب غرب ایران نشان داد پراارتفاع جنب‌حاره، کم‌فشار حرارتی عربستان و پاکستان در رخدادهای گردوغبار موثر هستند (Sehatkashani et al., 2015). بررسی ارتباط بین شاخص اتروسل‌ها و دما و بارندگی در فصل بهار نشان داد، افزایش دما و کاهش بارندگی از علل اصلی تشدید رویدادهای گردوغبار در خاورمیانه بوده است (Namdari et al., 2018). بررسی ارتباط بین پارامترهای اقلیمی و شدت شاخص گردوغبار در غرب استان خراسان رضوی نشان داد با مساعد شدن شرایط اقلیمی برای افزایش گردوغبار، روزهای با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر افزایشی بوده است (Naemi et al., 2020). رابطه بین خشکسالی و تعداد روزهای گردو خاک با میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله، معنی‌دار است (Khaliqi Sigaroudi et al., 2010). بخش اعظمی از ریزگردهای ثبت شده در محدوده شهر یزد، همزمان با تشدید شرایط بادناکی بر غلظت آن‌ها افزوده می‌شود (Jabali et al., 2017). شناسایی مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر تغییر غلظت PM10 در نزدیکی دشت یزد-اردکان و ارتباط آن با رخداد فرسایش بادی نشان داد که هیچ رابطه‌ی خطی معنی‌داری بین پارامترهای هواشناسی و غلظت ذرات معلق وجود نداشته است (Ebrahimi Khosfi and. Dargahian, 2018).

یکی از چالش‌های اساسی که در حال حاضر مناطق خشک و بیابانی با آن مواجه است پدیده گردوغبار است (Pelletier et al, 2015). وقوع پدیده گردوغبار می‌تواند یکی از اثرات تغییر اقلیم باشد (Yarahmadi et al., 2014). هرچند که بیشتر طوفان‌های گردوغبار، به‌ویژه طوفان‌های گردوغبار حاکم بر ایران، اغلب ماهیت منطقه‌ای دارند، اما کانون‌های محلی، در کمربند گردوغبار و به‌طور خاص در ایران، نقش به‌سزایی ایفا می‌کنند. تعداد روزهای غباری ایران رابطه معکوس با روزهای بارانی دارد. بنابراین پدیده گردوغبار خاص مناطق گرم و کم بارش ایران است (Heidarnejad et al., 2013). استان یزد یکی از مناطق مستعد و همراه با گردوغبار کشور از گذشته‌های دور بوده است به‌طوری‌که یکی از خاستگاه‌های گردوغبار محلی در این کمربند، شهر یزد و گنبد‌های نمکی شمال شرق اردکان است (Sharifi Pichun et al., 2017). بررسی فراوانی رخداد‌های گردوغبار در فلات مرکزی ایران نشان داد استان‌های سیستان و بلوچستان و کرمان به دلیل نزدیکی به رسوبات ریزدانه تالاب‌های خشکیده هامون و جازموریان بیشترین فراوانی روزهای گردوغباری را دارند (Soleimani Sardoo et al., 2020). با توجه به وجود پتانسیل رسوبات ریزدانه در منطقه میبد- یزد بیشتر گردوغبارهای این منطقه منشاء محلی دارد. اثر هدایتی دره توپوگرافی اردکان - یزد تأثیر بسیار زیادی در کانالیزه شدن بادهای شدید و افزایش سرعت آن دارد. علاوه بر آن عبور یک سامانه کم فشار با جبهه سرد و خشک از سمت غرب - شمال غرب همراه با وجود ناوه در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و ناپایداری‌های محلی، مهم‌ترین علل بروز این بادهای شدید در منطقه است (Omidevar et al., 2010). شرایط ۴۰ طوفان شدید گردوغبار در فاصله سال‌های ۱۹۸۲- ۲۰۱۷ در استان یزد با استفاده از حداکثر سرعت باد و ارتفاع ژئوپتانسیل مدل‌سازی شد نتایج نشان داد که باد مهم‌ترین عامل محرک ذرات گردوغبار است (Mesbahzadeh et al., 2020) علاوه بر شرایط توپوگرافیک، شرایط اقلیمی یک منطقه نیز از فاکتورهای تعیین‌کننده وقوع گردوغبار است. بررسی ارتباط بارندگی با تعداد روزهای گردوغباری یزد، در مقیاس سالانه

در این مطالعه رفتار پدیده گردوغبار در استان یزد براساس داده‌های میدان دید افقی و نیز شاخص طوفان‌های گردوغبار (DSI) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. شاخص DSI روشی مناسب برای پیش‌فرسایش بادی در مقیاس وسیع با استفاده از سوابق هواشناسی است که نمایه‌ای از فرکانس و شدت طوفان گردوغبار در منطقه را محاسبه می‌کند. استفاده از میدان دید افقی نیز روشی برای بررسی و برآورد فرکانس و شدت طوفان گردوغبار است در این پژوهش سعی شده است تا مطابقت و همخوانی این دو روش در برآورد فرکانس شدت طوفان گردوغبار آشکار گردد و در مواقع عدم وجود داده‌های یک روش، از جایگزینی داده‌ها و روش دیگر در انجام پروژه‌های تحقیقاتی بهره جست.

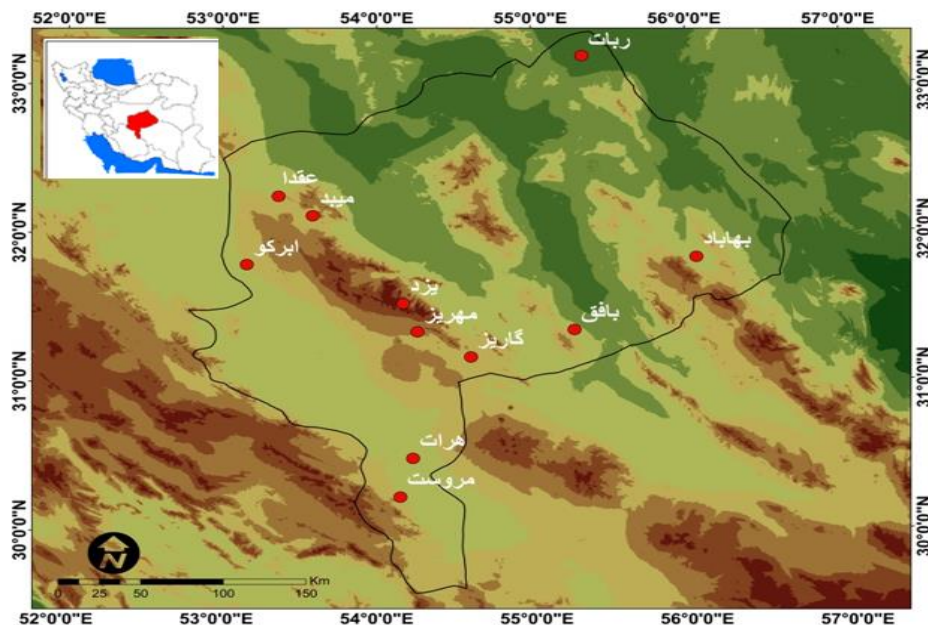
#### منطقه مورد مطالعه

استان یزد بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی قرار گرفته است. بارش استان یزد در مجموع کم بوده و از ۴۵ میلی‌متر تا ۱۱۵ میلی‌متر در سطح استان توزیع شده است. توزیع بارش علاوه بر عوامل بیرونی مانند دوری از منابع رطوبتی و در مسیر عبور نبودن سیستم‌های بارانزا و قرارگیری بر روی کمربند خشکی، از عوامل محلی مانند توپوگرافی تبعیت می‌کند. میانگین بارش بلندمدت استان ۷۱ میلی‌متر است.

#### مواد و روش

رخداد پدیده گردوغبار در هر ایستگاه هواشناسی هر سه ساعت یک بار با کدهای مختلف گزارش می‌شود. بنابراین در یک شبانه روز، این پدیده طی ۸ سینوپ گزارش می‌شود. از آنجایی که اگر در ایستگاهی یک سینوپ گردوغبار گزارش شود یک روز همراه با گردوغبار محسوب می‌شود و اگر ۸ سینوپ یعنی کل ۲۴ ساعت گردوغبار باشد نیز یک روز به حساب می‌آید؛ در این مقاله به منظور بالا بردن دقت کار از آمار مربوط به ساعات سینوپ همراه با گردوغبار استفاده شده است. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده را نشان می‌دهد.

در بررسی و پیش‌فرکانس و شدت طوفان‌های گردوغبار بسیاری از مطالعات از شاخص DSI استفاده کرده‌اند؛ Vali و Roustai (2018) با استفاده از شاخص DSI به بررسی روند فرسایش بادی در ایران مرکزی در بازه زمانی ۱۹۶۵-۲۰۱۴ پرداختند. رابطه بین شاخص DSI و عناصر آب و هوایی و پوشش گیاهی نشان داد که ۲۷ درصد از تغییرات این شاخص با دمای هوا و ۵۰ درصد با بارش و سرعت باد قابل توجه است (Ebrahimi Khusfi et al., 2020). اثرات عوامل اقلیمی بر گردوغبار غرب استان خراسان رضوی نشان داد که شرایط اقلیمی برای افزایش گردوغبار مساعد شده و روند تغییرات DSI افزایشی بوده است (Naemi et al., 2020). بررسی طوفان‌های گردوغبار سیستان با استفاده از شاخص‌های DSI و DDI نشان داد که تغییرات شاخص‌های مورد بررسی کاملاً وابسته به تغییرات سرعت باد می‌باشد (Miri, 2020). بررسی توزیع مکانی و دسته‌بندی شاخص طوفان‌های گردوغبار (DSI) با استفاده از روش گشتاور خطی برای ۴۴ ایستگاه سینوپتیک کشور محاسبه شد و کشور به ۶ منطقه همگن از منظر شاخص طوفان گردوغبار تقسیم شد (Pouyan and Ekhtesasi, 2019). با وجودیکه مطالعات بیشتری از شاخص DSI برای شناسایی شدت و فرکانس گردوغبار استفاده کرده‌اند اما مطالعات کمتری از میدان دید افقی برای برآورد شدت شاخص گردوغبار استفاده کرده‌اند؛ Ekhtesasi و همکاران (2002) روند غبارناکی در محدوده شهر اصفهان را با استفاده از دو شاخص دید افقی و شاخص تعداد روزهای طوفان‌های گردوغباری مورد مطالعه قرار دادند. بررسی گستره تغییرپذیری دید افقی مناطق متأثر از رخداد‌های گردوغبار در استان یزد میدان دید افقی و مقدار شاخص AOD مقایسه شده است (Jebali et al., 2020). Dargahian و Razavizadeh (2021) توزیع مکانی فرکانس و شدت پدیده گردوغبار در استان خوزستان را براساس میدان دید افقی بررسی کردند. Pourgholam-Amiji و همکاران (۱۴۰۰) ارتباط رخداد‌های گردوغبار و دما را در نیمه غربی کشور مورد مطالعه قرار داده و دریافتند که متوسط دما تأثیر بالایی در رخداد گردوغبار دارد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در استان یزد

استخراج شد (جدول ۱). بعد از استخراج رخدادهای گردوغبار پارامتر میدان دید افقی مربوط به هر رخداد استخراج و بر روی داده‌ها طبقه‌بندی انجام شد و رخدادهای گردوغبار براساس میدان دید افقی در ۵ طبقه قرار گرفت. میدان دید افقی ۱۰۰ متر به عنوان رخدادهای فوق بحرانی و میدان دید افقی ۱۰۰۰ متر به عنوان رخدادهای بحرانی، میدان دید افقی ۳۰۰۰ متر و کمتر به عنوان میدان دید با اهمیت ویژه در امر هوانوردی و حمل و نقل هوایی، میدان دید افقی ۵۰۰۰ متر و ۹۰۰۰ متر برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان برای دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ استخراج و در محیط نرم-افزار GIS پهنه‌بندی شد.

به منظور بررسی پدیده گردوغبار در استان یزد، یک دوره آماری مشترک از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ جهت مطالعه انتخاب گردید. در این مطالعه هدف بررسی مطابقت دو روش استفاده از میدان دید افقی و استفاده از شاخص شدت طوفان گردوغبار برای بررسی وضعیت طوفان‌های گردوغبار در یک منطقه است. برخلاف بارش و دما که پارامترهای اقلیمی هستند و در ایستگاه‌های سنجش دیگر مانند ایستگاه‌های کلیماتولوژی و بارانسنجی هم اندازه‌گیری می‌شوند، گردوغبار یک پدیده اقلیمی است که تنها در ایستگاه‌های سینوپتیک اصلی و تکمیلی توسط کدهای هواشناسی ثبت و گزارش می‌شود. جهت استخراج رخداد گردوغبار از بین ۱۰۰ کد پدیده (۹۹-۰)، کدهای مربوط به رخداد گردوغبار

جدول ۱- کدهای هواشناسی مربوط به ثبت و گزارش رخداد پدیده گردوغبار

شرح پدیده	پدیده گردوغبار	کد پدیده
گرد و خاک معلق در هوا که در اثر طوفان شن و خاک نقاط خارج از ایستگاه به ایستگاه آمده است.	گرد و خاک معلق	۶
گرد و خاک یا شنی که به وسیله باد در ایستگاه یا در نزدیکی آن در ساعت دیدبانی بلند شده است.	گرد و خاک	۷
گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف آن	گردباد	۸
طوفان گرد و خاک در ساعت دیدبانی در اطراف ایستگاه	طوفان ملایم یا متوسط	۹
طوفان ملایم یا متوسط گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است	طوفان گرد و خاک ملایم	۳۰
طوفان ملایم یا متوسط گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است	طوفان گرد و خاک با ماسه ملایم	۳۱
طوفان ملایم یا متوسط گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است	طوفان گرد و خاک با ماسه ملایم	۳۲
طوفان شدید گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است	طوفان گرد و خاک با ماسه شدید	۳۳
طوفان شدید گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است	طوفان گرد و خاک با ماسه شدید	۳۴
طوفان شدید گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است	طوفان گرد و خاک با ماسه شدید	۳۵

## شاخص DSI

روش دیگر برای مطالعه‌ی فرکانس و شدت پدیده گردوغبار استفاده از روش شاخص طوفان‌های گردوغبار DSI است. شاخص DSI روشی مناسب برای پیش‌فرسایش بادی در مقیاس وسیع با استفاده از سوابق هواشناسی است که نمایه‌ای از فرکانس و شدت طوفان گردوغبار در منطقه را محاسبه می‌کند. این شاخص ترکیبی از سه نمایه‌ی روزهای طوفانی با گردوغبار محلی LDE، روزهای طوفانی با گردوغبار متوسط MDS و روزهای طوفانی با گردوغبار شدید SDS است که بر مبنای تعداد دفعات ثبت کدهای پدیده گردوغبار در ایستگاه‌های سینوپتیک براساس کاهش میدان دید نسبت به عوامل مختلف، محاسبه می‌شوند. مقادیر سه نمایه بالا براساس کدهای گزارش شده از محل ایستگاه‌های سینوپتیک مناطق مورد مطالعه براساس تعاریف زیر استخراج و محاسبه می‌شود:

SDS = روزهای طوفانی با گردوغبار شدید، مجموع

مشاهدات کدهای گردوغبار حداکثر روزانه کد ۳۳-۳۵

MDS = روزهای طوفانی با گردوغبار متوسط، مجموع

مشاهدات کدهای گردوغبار حداکثر روزانه ۳۰، ۳۲ و ۹۸

LDE = روزهای با گردوغبار محلی، مجموع مشاهدات

کدهای گردوغبار حداکثر روزانه ۰۷ و ۰۹

در نهایت برای محاسبه شاخص DSI از رابطه زیر استفاده می‌شود (O'Loingsigh et al., 2014):

$$DSI = \sum_{i=1}^n [(5 \times SDS) + MDS + (0.05 \times LDE)]_i$$

جهت تهیه نقشه‌های توزیع میدان دیده‌های مختلف از آمار رخدادهای ساعتی گردوغبار و روش کریجینگ استفاده شده است. کریجینگ یک تکنیک بهینه است که بدون پیش‌فرض، برای منطقه‌ای (پهنه‌ای) کردن متغیرهای نقاط در مناطق بدون نمونه تخمین می‌زند. کریجینگ زمانی قابل اجراست که از (نیمه) پراش‌نگار بهره گرفته شود. صحت تخمین‌های کریجینگ به خوبی مدل نیمه پراش‌نگار بستگی دارد (Mardikis et al, 2005).

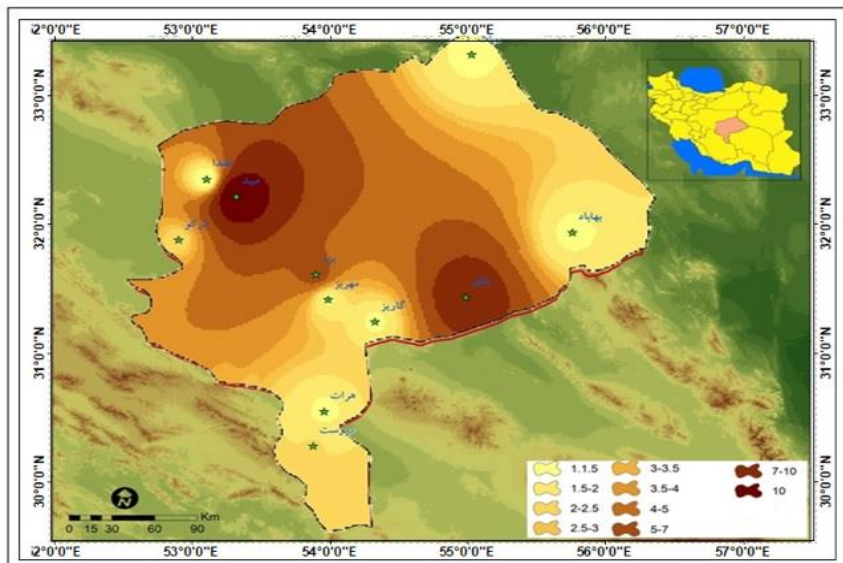
امروزه به منظور پیش‌شدت طوفان گردوغبار علاوه بر کدهای گردوغبار می‌توان از داده‌های مربوط به میدان دید افقی نیز استفاده کرد. در این مطالعه هدف بررسی میزان مطابقت این دو روش برای شناسایی مناطقی است که فرکانس و شدت گردوغبار بیشتری دارند. در نهایت براساس توزیع مکانی رخداد طوفان‌های گردوغبار با استفاده از هر دو روش باهم میزان مطابقت و امکان جایگزینی هر روش با روش دیگر بررسی و تحلیل شد.

## نتایج و بحث

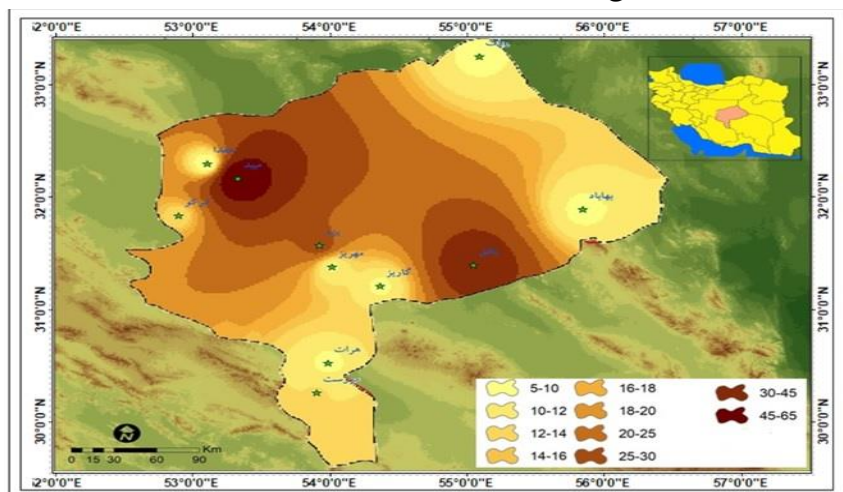
وقوع میدان دید افقی ۱۰۰-۲۰۰ متر حاکی از شرایط فوق بحرانی در یک منطقه گردوغباری است که شعاع دید در آن به کمترین میزان می‌رسد. این شرایط ناشی از وجود حجم بالای گردوغبار در جو یک منطقه می‌باشد. بررسی نقشه‌ی فراوانی وقوع میدان دید افقی ۱۰۰-۲۰۰ متر در استان یزد نشان داد که ۲ هسته بیشینه وقوع به صورت جدا در محدوده میبد و بافق وجود دارد. هسته‌های بیشینه، فراوانی ۱۰ روزه و بیشتر داشته‌اند که در مجموع ۵/۷ درصد از سطح استان را در بر می‌گیرد (شکل ۲).

وقوع میدان دید افقی ۱۰۰۰ متر حاکی از شرایط بحرانی در یک منطقه گردوغباری است. بررسی نقشه فراوانی وقوع میدان دید افقی ۱۰۰۰ متر در استان یزد نشان دهنده وجود ۲ هسته بیشینه در محدوده میبد و یزد می‌باشد که در مجموع ۱۰/۴ درصد از سطح استان را شامل می‌شود (شکل ۳).

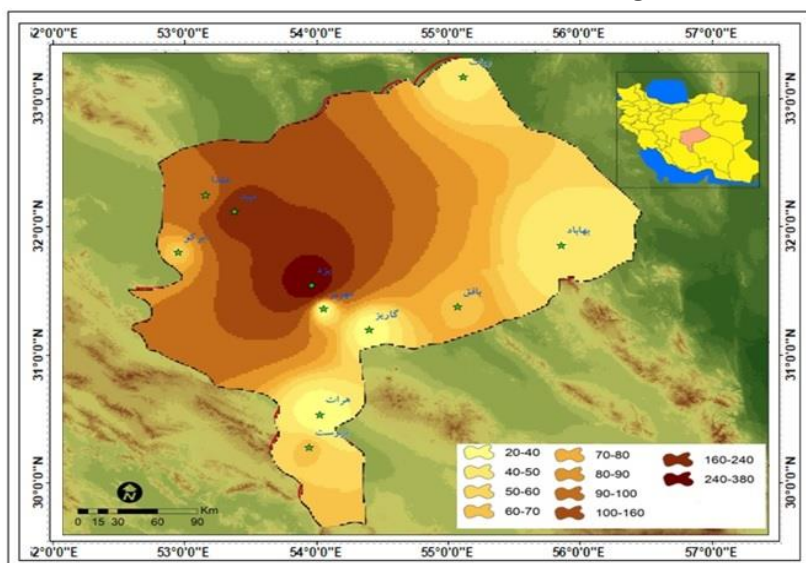
اهمیت وقوع میدان دید افقی ۳۰۰۰ متر حاکی از شرایطی است که تعیین‌کننده شرایط حمل و نقل هوایی و داشتن مجوز پرواز در یک منطقه گردوغباری است. بررسی نقشه فراوانی میدان دید افقی ۳۰۰۰ متر در استان یزد نشان می‌دهد که یک هسته بیشینه وقوع در محدوده یزد می‌باشد که ۶/۸ درصد از سطح استان را پوشش می‌دهد. دومین منطقه بیشینه در میبد قرار دارد. چند هسته‌ی کمینه با سطح کوچک در هرات، گاریز و مهریز دیده می‌شود (شکل ۴).



شکل ۲- توزیع مکانی رخداد گردوغبار با میدان دید افقی ۱۰۰-۲۰۰ متر



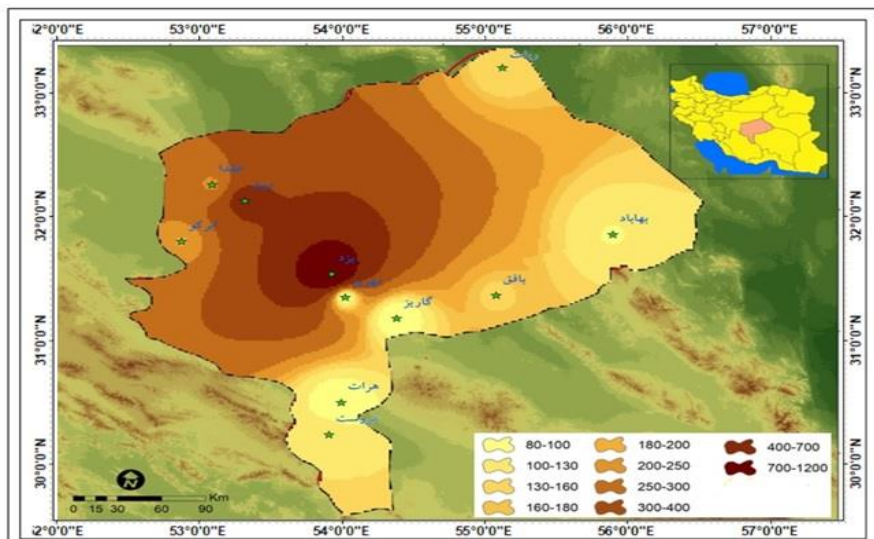
شکل ۳- توزیع مکانی میدان رخداد گردوغبار با میدان دید افقی ۱۰۰۰ متر و کمتر



شکل ۴- توزیع مکانی رخداد گردوغبار با میدان دید افقی ۳۰۰۰ متر

یزد می‌باشد که ۶/۲ درصد از سطح استان را دربردارد. دومین منطقه بیشینه در میبد واقع است. چند هسته کمینه کوچک نیز به صورت پراکنده در بهاباد، گاریز، مهریز و هرات دیده می‌شود (شکل ۵).

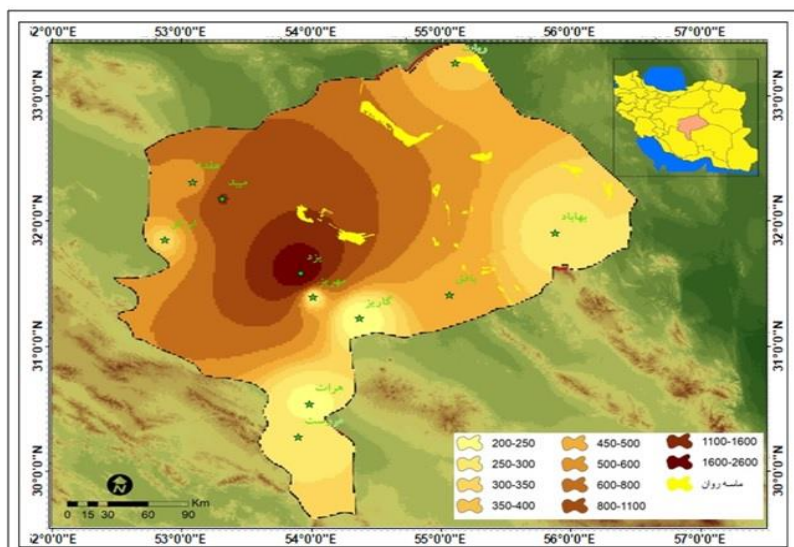
اهمیت وقوع میدان دید افقی ۵۰۰۰ متر حاکی از شرایطی است که وقوع پدیده گردوغبار برهمگان مشهود و قابل لمس است. بررسی نقشه فراوانی میدان دید افقی ۵۰۰۰ متر در استان یزد نشان دهنده وجود ۱ هسته بیشینه در محدوده



شکل ۵- توزیع مکانی رخداد گردوغبار با میدان دید افقی ۵۰۰۰ متر

داشته‌اند (شکل ۶). که با نتایج پهنه‌بندی گردوغبار استان یزد با استفاده از GIS هماهنگی دارد که بیشترین روزهای همراه با گردوغبار رادر یزد و میبد نشان داده است (Kalantari et al., 2015). در مجموع، بررسی‌های انجام شده بر روی نقشه‌های فراوانی وقوع دیدهای مختلف نشان می‌دهد که شرق و جنوب شرق استان کمترین و قسمت‌های مرکزی، غربی و شمالی، بالاترین فراوانی را داشته‌اند.

اهمیت وقوع میدان دید افقی ۹۰۰۰ متر حاکی از شرایطی است که تعیین کننده شرایطی است که وقوع پدیده گردوغبار آغاز می‌شود. بررسی نقشه پهنه‌بندی فراوانی میدان دید افقی ۹۰۰۰ متر در استان یزد نشان می‌دهد که ۱ هسته بیشینه وقوع در محدوده یزد می‌باشد که ۵/۲ درصد مساحت دارد. دومین منطقه بیشینه میبد است. مهریز، گاریز و هرات نیز کمترین فراوانی وقوع دید افقی ۹۰۰۰ متر را



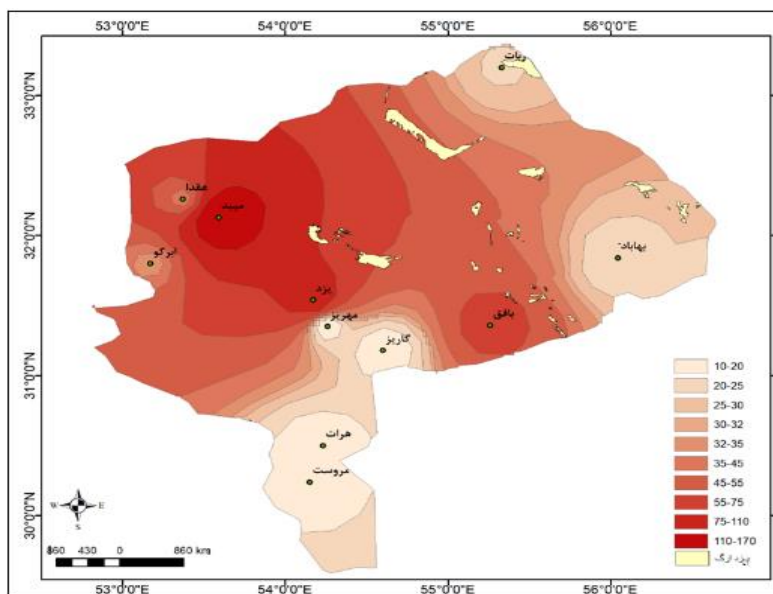
شکل ۶: توزیع مکانی رخداد گردوغبار با میدان دید افقی ۹۰۰۰ متر

شاخص‌های DDI، DSI با پارامترهای سرعت باد و میدان دید افقی همخوانی دارد (Miri, 2020).

در مجموع شدت شاخص DSI در غرب استان بیشتر از شرق آن است. جنوب استان نیز مقادیر کمینه شاخص DSI را دارد. در پهنه‌بندی این شاخص دو عامل موثر بر پراکندگی رخداد گردوغبار کاملاً مشهود است؛ کریدور باد به دلیل قرار گرفتن در منطقه در بین ارتفاعات موازی هم (شکل ۱) که سبب کانالایزه شدن باد در مسیر عقدا-میبد-یزد می‌شود و همچنین وجود رسوبات ریزدانه با قطر کم و حجم زیاد در این منطقه می‌باشد. جدول ۱، درصد مساحت هر کدام از طبقات شاخص DSI را نشان می‌دهد. هسته بیشینه این شاخص در میبد ۱۰/۳ درصد از سطح استان را پوشش می‌دهد.

توزیع مکانی شدت رخداد گردوغبار با استفاده از شاخص DSI

در این روش برای شناسایی توزیع مکانی شدت رخداد طوفان گردوغبار از کد پدیده‌های گردوغباری استفاده شده است. همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است بیشترین مقدار این شاخص در کریدور باد با جهت شمال غرب- جنوب شرق میبد- یزد رخ داده است. هسته دیگر بیشینه این شاخص در بافق قرار دارد. هسته بیشینه شاخص DSI از نظر توزیع مکانی با توزیع مکانی میدان دید افقی ۱۰۰-۲۰۰ متر (فوق بحرانی) و میدان دید افقی ۱۰۰۰ متر (بحرانی) مطابقت دارد. که نتایج آن با مطالعه تحلیل طوفان‌های گردوغبار سیستان با استفاده از



شکل ۳- نقشه شاخص DSI در استان یزد طی دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۳

می‌کنند. استان یزد یکی از نواحی خشک مرکزی کشور بوده و به دلیل وجود نواحی کویری و بیابانی، منطقه‌ای مستعد برای وقوع گردوغبار می‌باشد. به منظور بررسی شاخص‌های مناسب برای پایش و ارزیابی فرکانس و شدت گردوغبار از دو شاخص میزان دید افقی و شاخص شدت طوفان گردوغبار استفاده شد است. برای این منظور از داده‌های میدان دید افقی در ۱۱ ایستگاه سینوپتیک در استان طی دوره آماری ۲۰۱۷-۲۰۰۳ بهره گرفته شد. همچنین با بهره‌گیری از داده‌های مذکور، کد پدیده‌های گردوغبار مربوط به

## نتیجه‌گیری

رخداد گردوغبار در بسیاری از مناطق دنیا هم منشاء انسانی دارد و هم منشاء طبیعی؛ در شرق چین حداقل از ۲۰۰۰ سال پیش، فعالیت‌های انسانی به‌عنوان کنترل غالب فعالیت طوفان گردوغبار، از تنوع طبیعی آب و هوایی پیشی گرفته است (Chen et al, 2020). هر چند که بیشتر طوفان‌های گردوغبار، بویژه طوفان‌های گردوغبار حاکم بر ایران، اغلب ماهیت منطقه‌ای دارند، اما کانون‌های محلی، در کمربند گردوغبار و به‌طور خاص در ایران، نقش به‌سزایی ایفا



- storms using horizontal visibility Index (Hv) and the standard precipitation index (SPI) (a case study of Esfahan city). The fifth conference of the fifth conference of science and watershed engineering, Esfahan, Iran (2002).
7. Ebrahimi Khusfi, Z., Dargahian, F. 2018. Investigation of the effect of climatic parameters on the change of concentration of suspended particles less than 10 micrometers and its relationship with the occurrence of wind erosion in arid regions. *Quarterly Journal of Geographical Studies of arid regions*. 34: 76-92.
  8. Ebrahimi Khusfi, Z., Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, M., Naghavi, S. 2020. Investigation of the relationship between dust storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran, *Arid Land Research and Management*, 34(3).
  9. GU, Y., Liou, K.N., Chen, W., Liao, H. 2010. Direct climate effect of black carbon in China and its impact on dust storms. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D7).
  10. Ghorbani, S., Modarres, R. 2017. Modeling the relationship between the frequency of dust storms and climatic variables in desert areas of Iran, the 4th National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd.
  11. Heidarnejad, M., Lotfi Mohammadabad, F., Zare Arnani, M. 2013. Study of the Relationship between Drought and Dust Storms, Third National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd. [In Persian]
  12. Jabali, A., Zare, M., Eghtesadi, M.R., Jafari, R. (2017). A study of changes in dust-related phenomena in Yazd, 4th National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd. [In Persian]
  13. Jebali, A., Zare, M., Ekhtesasi, M., Jafari, R. 2020. Investigating of Change Extent of Horizontal Visibility in Regions Affected by Dust events in Yazd Province. *Desert Management*, 8(15): 21-36.
  14. Khaliqi Sigaroudi, S., Shah Bandari Ghouchani, R., Dadfar, S., Kamrani Nogh, F. 2010. Investigating the Relationship between محاسبه شاخص DSI برای ایستگاه‌های مورد بررسی، استخراج و مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان داد که میدان دید ۱۰۰-۲۰۰ متر که معرف شرایط فوق بحرانی است، کمترین فراوانی وقوع را داشته است. هر چه میدان دید افقی وسیع‌تر می‌شود بر فراوانی وقوع آن نیز افزوده می‌شود. مقایسه شدت طوفان گردوغبار براساس دو شاخص نشان داد توزیع مکانی میدان دیدهای مربوط به گردوغبارهای شدید با میدان دید ۱۰۰-۲۰۰ متر و همچنین میدان دید ۱۰۰۰ متر و کمتر با توزیع مکانی رخداد طوفان گردوغبار شدید (SDS) حاصل از روش DSI مطابقت کامل دارد بنابراین در پروژه‌های بررسی و پایش شدت طوفان گردوغبار در صورت عدم دسترسی به داده‌های مربوط به کد پدیده گردوغبار از داده‌های میدان دید افقی می‌توان بهره جست و برعکس.
- ### منابع
1. Arabi Aliabad, F., Mobin, M. H., Zare, A. 2017. Assessing the role of drought on the occurrence of dust in Yazd, 4th National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd.
  2. Bogle, R., Redsteer, M.H, Vogel, J. 2015. Field measurement and analysis of climatic factors affecting dune mobility near Grand Falls on the Navajo Nation, southwestern United States. *Geomorphology*, 228: 41-51.
  3. Chen, F., Chen, S., Zhang, X., Chen, J., Wang, X., Gowan, E. J., & Xu, Q. 2020. Asian dust-storm activity dominated by Chinese dynasty changes since 2000 BP. *Nature communications*, 11(1): 1-7.
  4. Csavina, J., Field, J., Félix, O., Corral-Avitia, A.Y., Sáez, A.E., Betterton, E.A. 2014. Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates. *Science of the Total Environment*, 487: 82-90.
  5. Dargahian, F., Razavizadeh, S. 2021. Spatial distribution of frequency and intensity of dust phenomenon based on horizontal field of view in Khuzestan province, *Iranian Journal of Nature*, 6(2)
  6. Ekhtesasi, M.R., Moradi, N., and Rostami, F. 2002. Investigate the change pattern of dust

- response of Earth's surface to future climatic and land use changes: A review of methods and research needs. *Earth's Future*, 3(7), 220-251.
24. Pourgholam-Amiji, M., ansarighojghar, M., Araghinejad, S., Babaeian, I. 2021. Modeling the Relationship between Dust Storms and Extreme and Average Temperature Variables in the Western Half of Iran, *Climatological Research*, Vol 45, pp 113 – 126.
  25. Pouyan, S., Zare, M., Ekhtesasi, M. (2019). Regional distribution and clustering of dust storm index (DSI) using linear moments approach. *Journal of Range and Watershed Management*, 72(1): 29-43.
  26. Sehatkashani, S., VazifeDoust, M., Kamali, Gh., Bidokhti, A.A (2015), Synoptic Analysis and Pressure Patterns of Dust events in the West and South West of Iran, *Climatological Research*, Vol 21, pp 9 – 20.
  27. Sharifi Pichun, M., Mozaffari, G. A., Mirzaei Manesh, I. 2017. Evaluation of the role of local winds in wind erosion (Case study: Golden Sand), Fourth National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd.
  28. Soleimani Sardoo F, MesbahZadeh T, Nateghi S. 2020. Frequency analysis of spatial variations of dust storms in the central plateau of Iran. 10 (3):56-73.
  29. Yarahmadi, D., Nasiri, B., Khoshkish, A., Nikbakht, H. (2014), the effect of climate fluctuations on the occurrence of dust phenomenon (Case study of dust in western and southwestern Iran), *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 3(5): 19-28.
  30. Vali, A., and Roustae, F. 2018. Investigation of the wind erosion trend in central Iran using dust storm index in the last fifty years. *J. Water Soil Sci.* 21: 189-200.
  - Drought and Dust Storms Case Study: Yazd Province, the Second National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd.
  15. Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohammadi, GH, Sehatkashani, S. 2018. Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmospheric environment*, 173: 265-276.
  16. Naemi, M., Yousefi, M.J., Khosroshahi, M., Zandifar, S., Ebrahimi Khosfi, Z. 2020. Investigation of the effects of climatic factors on dust, a case study: West of Khorasan Razavi province, *Geographical explorations of desert areas*, 7 (2): 25-45.
  17. Mardikis, M. G., Kalivas, D. P., & Kollias, V. J. 2005. Comparison of interpolation methods for the prediction of reference evapotranspiration—an application in Greece. *Water Resources Management*, 19(3), 251-278.
  18. Mesbahzadeh, T., Mirakbari, M., Mohseni Saravi, M., Soleimani Sardoo, F., & Krakauer, N. Y. 2020. Joint Modeling of Severe Dust Storm Events in Arid and Hyper Arid Regions Based on Copula Theory: A Case Study in the Yazd Province, Iran. *Climate*, 8(5), 64.
  19. Mesbahzadeh, T., Mirakbari, M., Mohseni Saravi, M., Khosravi, H. 2017. Investigation of the relationship between climatic parameters affecting the occurrence of dust, 4th National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd.
  20. Miri, A. 2020. Dust storms analysis in the Sistan region using DDI and DSI indices and wind speed, visibility and PM10 parameters. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(1), 1-23.
  21. O'Loingsigh, T, McTainsh GH, Tews EK, Strong CL, Leys JF, Shinkfield P, Tapper NJ. 2014. The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research* 12: 29–40.
  22. Omidevar, K 2010, an Analysis of the Storm and Stormy Wind Regime in Yazd, *Journal of Space Planning and Planning*, 14 (1): 83-105.
  23. Pelletier, J. D., Brad Murray, A., Pierce, J. L., Bierman, P. R., Breshears, D. D., Crosby, B. T., ... & Yager, E. M. (2015). Forecasting the