

## **Investigating the Relationship Between Dust Storm Index and Some Climatic Parameters, Vegetation Index and Land Form Types (Yazd-Ardakan Plain)**

P. Kamali<sup>1</sup>, M. Tazeh<sup>2</sup>, S. Kalantari<sup>3\*</sup>, M. Fehrest<sup>4</sup>, A. Jebali<sup>5</sup>

1. MSc of Desert management and control, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan. Iran.
2. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
4. Assistant Professor, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
5. Postdoctoral researcher, Environmental and Desert Studies School, Yazd University, Yazd, Iran.

\* Corresponding Author: skalantari@ardakan.ac.ir

Received date: 14/02/2023

Accepted date: 20/03/2023

 [10.22034/JDMAL.2023.1989675.1407](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2023.1989675.1407)

### **Abstract**

Dust is one of the most important atmospheric phenomena, which has attracted the attention of many scientists as an emergent phenomenon. Current research has studied trend of the number of dust days and its relation to climatic parameters and vegetation index from 2005 to 2017 in the Yazd-Ardakan plain. The DSI was computed for the two meteorological stations at Yazd and Meybod. By classifying the two Landsat 7 and 8 satellite images, the land form/cover maps, including agricultural lands, urban, mantled pediments, covered pediment and erg have been prepared. The NDVI layer was then computed in two classes for the Landsat 7 and 8 satellites. The class area was calculated for all levels of the region and also within two buffers of 10 and 20 km at the center of stations Yazd and Meybod. The relationship between the climatic parameters, including annual average temperature, annual average precipitation and annual average relative humidity, was then calculated. Finally, the relationship between dust index and land form types, NDVI layer and climatic parameters has been investigated. The results showed that the relationship between the DSI and the erg type is direct, but there is an inverse relation with the mantled pediments, covered pediment and agricultural land. Based on the results obtained, urban lands have little effect on the dust storm index. By comparing the DSI with the NDVI, with the increase in the region's dust storm index, the NDVI values for all levels decreased. By comparing the DSI with the climatic parameters, with the decrease in annual average precipitation and relative humidity and the increase in annual average temperature, the dust Storm index increased.

**Keywords:** Dust; Landsat; Image classification; Buffer





## بررسی رابطه شاخص غبارناکی با برخی از متغیرهای اقلیمی، شاخص پوشش گیاهی و تیپ‌های اراضی (مطالعه موردی: دشت یزد-اردکان)

پریسا کمالی<sup>۱</sup>، مهدی تازه<sup>۲</sup>، سعیده کلانتری<sup>۳\*</sup>، مسعود فهرستی<sup>۴</sup>، عاطفه جبالی<sup>۵</sup>

۱. کارشناس ارشد مدیریت کنترل و بیابان، گروه طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
۲. دانشیار گروه طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
۳. استادیار گروه طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
۴. استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
۵. پژوهشگر پسادکتری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

\* نویسنده مسئول: [skalantari@ardakan.ac.ir](mailto:skalantari@ardakan.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۹

doi: [10.22034/JDMAL.2023.1989675.1407](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2023.1989675.1407)

### چکیده

گردوغبار یکی از مهم‌ترین پدیده‌های اتمسفری رایج در مناطق خشک و نیمه خشک است که طی دهه اخیر مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است. پژوهش حاضر، تعداد روزهای گردوغبار و رابطه آن با ویژگی‌های اقلیمی، پوشش گیاهی و تیپ‌های اراضی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی، واقع در منطقه دشت یزد-اردکان مورد بررسی قرار داده است. شاخص غبارناکی منطقه مورد مطالعه در دو ایستگاه هواشناسی یزد و میبد، محاسبه و با طبقه‌بندی تصاویر دو ماهواره لندست ۷ و ۸ در سال‌های مذکور، نقشه تیپ‌های اراضی در واحدهای کاری اراضی زراعی، اراضی شهری، دشت‌سر اپانداژ، دشت‌سر پوشیده و ارگ، تهیه شد، سپس لایه NDVI در دو طبقه، برای ماهواره‌های لندست ۷ و ۸ محاسبه شد. مساحت طبقات برای تمام سطوح منطقه و همچنین در دو حریم ۱۰ و ۲۰ Km به مرکز ایستگاه‌های یزد و میبد، محاسبه گردید. در گام بعد رابطه متغیرهای اقلیمی شامل میانگین دما، بارش و رطوبت نسبی سالانه محاسبه و در پایان رابطه بین شاخص غبارناکی با تیپ اراضی، لایه NDVI و متغیرهای اقلیمی به دست آمد. نتایج نشان داد که رابطه بین شاخص DSI با تیپ ارگ مستقیم، ولی با تیپ‌های دشت‌سر اپانداژ، دشت‌سر پوشیده و اراضی زراعی رابطه عکس دارد. طبق نتایج بدست آمده، تیپ اراضی شهری بر روی شاخص غبارناکی دارای تأثیر چندانی نیست. در بررسی شاخص DSI با شاخص NDVI با افزایش شاخص غبارناکی منطقه، مقادیر NDVI برای تمام سطوح کاهش یافته است. رابطه متغیرهای اقلیمی با شاخص DSI نیز نشان داد که با کاهش میانگین بارش سالانه و رطوبت نسبی و افزایش دمای میانگین، شاخص غبارناکی افزایش یافته است.

واژگان کلیدی: بافر؛ طبقه‌بندی تصاویر؛ گرد و غبار؛ لندست



## ■ مقدمه

توفان گردوغبار، یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی است که جایگاه ویژه‌ای نزد پژوهشگران دارد. شناسایی مکان‌های گردوغبار و نمایش وقایع توفان در مدل‌های عددی، کلیدی برای برآورد تأثیر گردوغبار بر محیط و جامعه است (۱). این فرایند پیچیده، ناشی از تعامل بین ویژگی‌های خاک، گردش هوا و فعالیت‌های انسانی است که در پایان موجب ایجاد گردوغبار می‌شود. پدیده‌های انتقال و فرونشست گردوغبار و پیچیدگی‌های زمانی و مکانی آن، در مدل مفهومی پیشنهادی مک‌تانیس به‌خوبی بررسی شده است. طبق این مدل در ابتدا با تغییر الگوی فصلی در منبع تولید اولیه، باعث تولید گردوغبار شده و سپس انتقال آن در جهت باد می‌باشد و با کاهش سرعت باد فروکش می‌کند (۱۰). امکان دارد رسوب اولیه با افزایش فعالیت‌های انسانی و سرعت باد، تحت تأثیر تغییرات ثانویه واقع شود و در جهت باد منتقل گردد و ذرات ریزتر به‌عنوان رسوب ثانویه فرونشینند. به‌طور کلی می‌توان گفت که نرخ فرونشست گردوغبار به تعامل متغیرهای مختلف جوی مانند باد، رطوبت نسبی، بارندگی و دما بستگی دارد (۱۴).

در پژوهشی با تحلیل توفان‌های گردوغبار استان سیستان و بلوچستان با استفاده از شاخص  $DDI^1$  و  $DSI^2$  و متغیرهای سرعت باد و دید افقی، اقدام به بررسی تغییرات لحظه‌ای سرعت باد و دید افقی در ایستگاه همدیدی زابل شد. نتایج نشان داد که در بازه زمانی ۲۷ ساله، منطقه سیستان نسبت به سایر مناطق ایران وضعیت بحرانی‌تری از غبارناکی را دارد (۱۲). در تحقیقی دیگر در بررسی توزیع مکانی و دسته‌بندی شاخص توفان‌های گردوغبار با استفاده از گشتاور خطی، اقدام به محاسبه این شاخص در ۴۴ ایستگاه کشور شد که براساس نتایج، از منظر شاخص توفان‌های گردوغبار، کشور به ۶ منطقه همگن تقسیم گشت. نتایج نشان داد برای گروه‌های همگن ۱، ۴، ۵ و ۶ تابع پیرسون ۳ و برای گروه‌های همگن ۲ و ۳، تابع لجستیک تعمیم‌یافته، به‌عنوان بهترین تابع توزیع منطقه‌ای

است (۱۵). نتایج بررسی روند داده‌های مشاهده‌ای ۱۱۲ ایستگاه هواشناسی از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۴، برای بررسی وضعیت تغییرات توفان‌های گردوغبار در ایران، نشان داد، روند گردوغبار با دما، تبخیر و بارش همبستگی دارد، ولی با ارتفاع و ژئومورفولوژی همبستگی ندارند (۱۳). در بررسی تغییرات پدیده گردوغبار در شمال چین یک شاخص جدید به نام  $DSE^3$  با در نظر گرفتن عوامل مختلف که شامل سرعت و جهت باد می‌باشد، تعریف شد و همچنین برای مشخص شدن کارایی آن با شاخص  $DSF^4$  مقایسه نمودند. نتایج نشان داد بین شاخص‌های  $DSE$  و  $DSF$  در توصیف ویژگی‌های منطقه‌ای گردوغبار تفاوت وجود دارد و شاخص  $DSE$  کارایی بهتری دارد (۲۰). در بررسی مدل‌سازی انتشار گردوغبار در شمال چین، به‌منظور شناسایی رابطه گردوغبار با انواع پوشش‌های زمین، محققان اقدام به طراحی مدل فرسایش بادی نمودند. با توجه به داده‌های پوشش زمین و تصاویر سنجنده مودیس، میزان انتشار گردوغبار در مناطق طبیعی بیشتر از مناطق انسانی به دست آمد (۶). در پژوهشی، مدلی مفهومی برای ارزیابی قطر ذرات گردوغبار مؤثر با استفاده از تفاوت دمای باندهای مادون قرمز در ماهواره متئوست در آسیای غربی ارائه شد. نتایج نشان داد این مدل در ارائه داده‌های مرجع مستقل برای مدل‌های غبار جوی، پیش‌بینی پدیده‌های گردوغبار، کارایی لازم را دارد (۲). محققان در بررسی توفان‌های گردوغبار براساس مشاهدات زمینی و ماهواره‌ای، سازگاری مناسبی بین عمق نوری<sup>۵</sup> با استفاده از سنجنده مودیس و اندازه‌گیری داده‌های جمع‌آوری شده توسط پایگاه شبکه رباتیک زمینی در کویت بدست آوردند (۱۷).

علم سنجش از دور امروزه کاملاً در اختیار شاخه‌های مختلف علوم قرار گرفته و می‌توان، آن را یک ابزار قوی و کارآمد برای تولید داده‌های مکانی نامید. در نتیجه با بهره‌گیری از این فناوری، با صرف زمان و هزینه کمتر، می‌توان پروژه‌های متعددی را در سطوح ملی، منطقه‌ای و جهانی به نتیجه رساند. علاوه بر این، قابلیت تکرار اخذ

<sup>4</sup> Dust Storm Frequency

<sup>5</sup> Aerosol Optical Depth

<sup>1</sup> Dusty Days Index

<sup>2</sup> Dust Storm Index

<sup>3</sup> Dust Storm Event

جغرافیایی  $15^{\circ} 31'$  تا  $15^{\circ} 32'$  شمالی، با مساحت تقریبی ۲۱۹۹ Km<sup>۲</sup> واقع شده است. این دشت یکی از مهم ترین دشتهای استان یزد از دیدگاه منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی به شمار می رود و شهرهای یزد، تفت، اردکان، میبد، اشکذر و مهریز را در بر می گیرد و به وسیله رشته کوه های شیرکوه در جنوب، کوه هنگران و مرغ زرد در غرب، کوه های هفت آدمین و خونزا در شرق کوه چک چک محصور شده است (شکل ۱).

### تعاریف

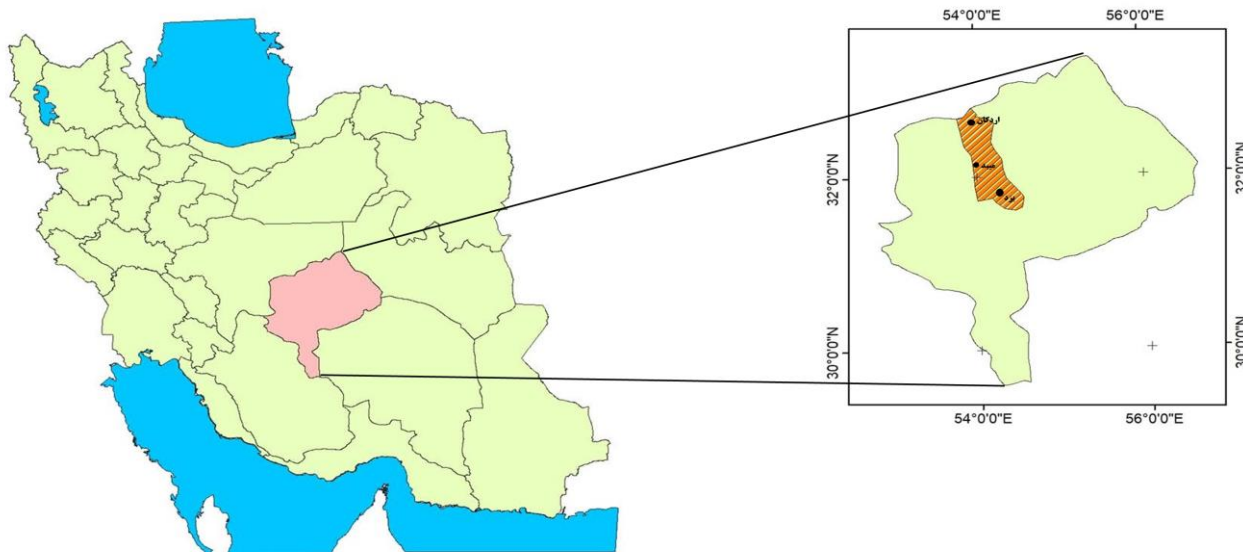
ارزیابی شاخص DSI روشی مناسب برای پایش فرسایش بادی در مقیاس وسیع با استفاده از سوابق هواشناسی است. این شاخص ترکیبی از سه نمایه است که عبارتند از: رویدادهای گردوغبار محلی<sup>۱</sup> (LDE)، توفان های گردوغبار متوسط<sup>۲</sup> (MDS) و توفان های گردوغبار شدید<sup>۳</sup> (SDS)، که بر مبنای تعداد دفعات ثبت کدهای پدیده گردوغبار در ایستگاه های همدیدی، براساس کاهش میدان دید نسبت به عوامل مختلف، محاسبه شده است. براساس محاسبات سازمان هواشناسی استرالیا<sup>۴</sup>، معیار تعریف پدیده های توفان گردوغبار، براساس میدان دید شناسایی می شود (۲۲، ۱۵).

داده های ماهواره ای به فاصله زمانی چند ساعت تا چند روز در طول ماه یا سال، امکان مطالعات تغییرات و پایش پدیده های زمینی را به خوبی برای بشر فراهم ساخته است (۲۱). در این پژوهش قابلیت داده های ماهواره ای موجب شده، روند پدیده گردوغبار قابل شناسایی شود. همچنین با مقایسه شاخص غبارناکی و نتایج داده های ماهواره ای پدیده گردوغبار و تغییرات اقلیمی و شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده، می توان به بررسی روند این پدیده و متغیرهای مؤثر در آن پرداخت. هدف از پژوهش حاضر تعیین تعداد روزهای گردوغبار در بازه زمانی مورد مطالعه و همچنین بررسی ارتباط فراوانی گردوغبار با متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی است. همچنین روابط و تغییرات متغیرهای اقلیمی و تعداد روزهای گردوغبار مورد ارزیابی و پایش قرار گرفت. از آنجا که پوشش گیاهی نیز تابعی از تغییرات شرایط اقلیمی می باشد، تأثیرگذاری این متغیر نیز در فرسایش بادی و گردوغبار بررسی شد.

### ■ مواد و روش

#### منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه واقع در دشت یزد- اردکان در طول جغرافیایی  $15^{\circ} 53'$  تا  $15^{\circ} 54'$  شرقی و در عرض



شکل ۱. محدوده مورد بررسی

<sup>3</sup> Severe Dust Storms

<sup>4</sup> Australian Bureau of Meteorology

<sup>1</sup> Local Dust Events

<sup>2</sup> Moderate Dust Storms

تهیه لایه اطلاعاتی تیپ اراضی

تهیه لایه اطلاعاتی تیپ‌های اراضی موجود در منطقه مورد مطالعه ملزم به استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی آن می‌باشد، برای این کار، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ در ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن و جولای از پایگاه سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) در محدوده مورد مطالعه دشت یزد-اردکان با فرم ۳۸-۱۶۲ در زون ۴۰ از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی انتخاب شد. انتخاب تصاویر ماهواره‌ای بر مبنای تاریخ، فیلترهای ابرناکی و کیفیت بصری تصاویر بود. در گام بعد رفع خطای SLC ماهواره لندست ۷ صورت گرفت. نرم‌افزار ENVI قابلیت رفع خطای SLC ماهواره لندست ۷ را داراست به همین منظور برای افزایش بازده کار باید اقدام به رفع این خطا نمود که از اکستنشن Landsat-gapfill استفاده شد. سپس تصویر رنگی کاذب ایجاد شد که از تلفیق باندهای مختلف به دست می‌آید.

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

که در آن:

DSI: شاخص توفان‌های گردوغبار در n ایستگاه، که در آن‌ها رویداد گردوغبار در یک بازه زمانی مشخص مشاهده و ثبت شده است، مدت زمان یک دوره نرمال، یک سال است اما می‌تواند چند ماه در یک سال هم باشد.

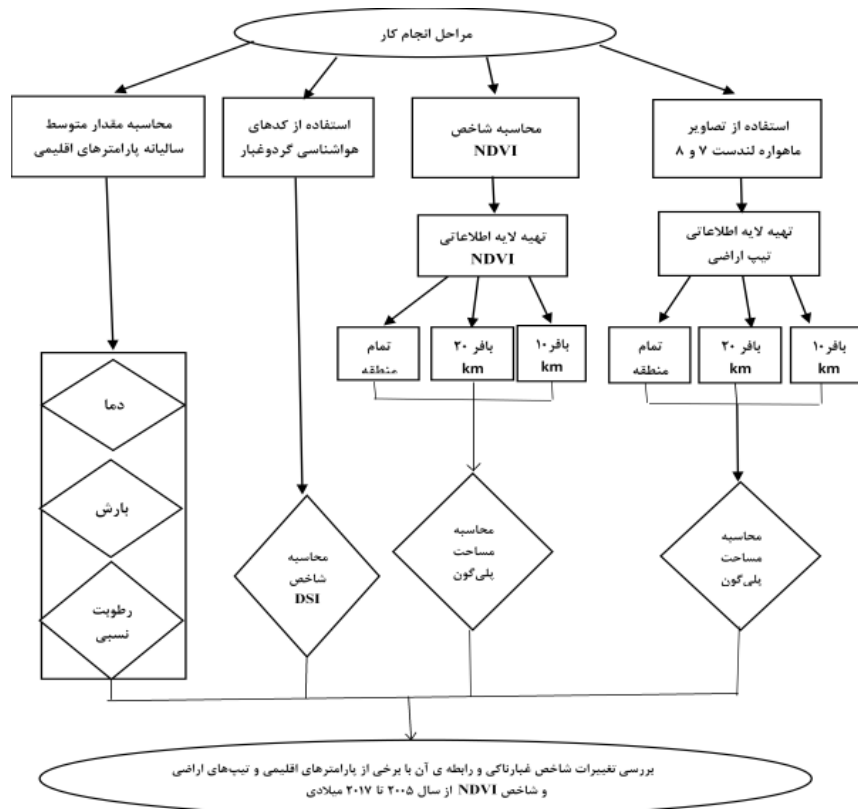
SDS: روزهای توفانی با گردوغبار شدید، مجموع کدهای گردوغبار حداکثر روزانه ۳۳-۳۴-۳۵، دید افقی کمتر از ۲۰۰m.

MDS: روزهای توفانی با گردوغبار میانگین، مجموع کدهای گردوغبار حداکثر روزانه ۰۹-۳۰-۳۱-۳۲-۳۳-۳۴-۳۵، دید افقی بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰m.

LDE: روزهای با گردوغبار محلی، مجموع کدهای گردوغبار حداکثر روزانه ۰۷-۰۸، دید افقی بیشتر از ۱۰۰۰m.

روش کار

انجام پژوهش حاضر در چند بخش به شرح ذیل و مطابق شکل ۲ انجام گرفت.



شکل ۲. فلوجارت انجام کار

نقطه‌ای و در محل ایستگاه می‌باشد، بافرهای ۱۰ و ۲۰km از اطراف ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی یزد و میبد، برای بررسی تیپ اراضی و تغییرات آن ترسیم شد (شکل ۳) و سپس تأثیر تیپ‌ها و تغییرات آن در محدوده مذکور بر روی شاخص‌های غبارناکی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

### رابطه مساحت تیپ‌های اراضی و شاخص DSI

به منظور بررسی رابطه بین مساحت تیپ‌های اراضی و شاخص DSI کل منطقه و همچنین برای افزایش اطمینان و دقت بیشتر از پروژه مطالعاتی از ابزار بافر به مرکز هر کدام از ایستگاه‌ها استفاده شد. سپس از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی نمودار رسم شد و براساس خط برازش داده شده هر دو نمودار نقش پدیده گردوغبار بر روی هر تیپ اراضی مشخص شد.

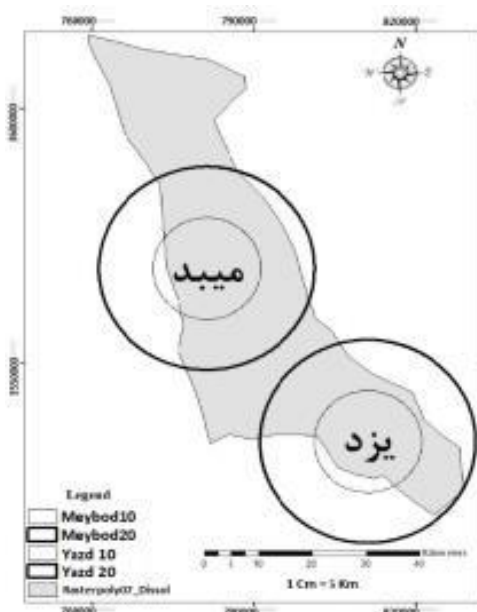
### رابطه بین شاخص طوفان‌های گردوغبار با متغیرهای اقلیمی

داده‌های مربوط به متغیرهای بارش، دما و رطوبت نسبی از دو ایستگاه هواشناسی سینوپتیک یزد و میبد اخذ شد (۸). سپس برای تمام سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی میانگین بارش، دما و میانگین رطوبت نسبی در مقیاس سالانه محاسبه شد و برای هر کدام از متغیرهای اقلیمی با شاخص DSI، نمودار رسم شد.

انتخاب این باندها بر مبنای وضوح بیشتر براساس مشاهدات بصری می‌باشد که برای تمام سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی ایجاد شد. در مرحله بعد به منظور مطالعه بهتر تصاویر رنگی کاذب بر روی محدوده مورد نظر برش داده شد و در ادامه برای ایجاد دقت بیشتر در این محدوده و تمرکز بیشتر بر روی اراضی که مستعد فرسایش بادی هستند، قسمت اراضی کوهستان حذف شد. در گام بعد طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در پنج طبقه تیپ اراضی صورت گرفت. این بخش با استفاده از ابزار Classification Work flow در نرم‌افزار ENVI، طبقه‌بندی نظارت‌شده بر روی FCC برش داده شده در ۵ طبقه تیپ اراضی که شامل دشت‌سر پانداژ، دشت‌سر پوشیده، ارگ، اراضی زراعی و اراضی شهری با ایجاد نمونه‌های تعلیمی متعدد برای هر کدام از تیپ‌ها انجام گرفت. به منظور کاهش خطا در انجام محاسبات و افزایش مفهوم مشاهدات بصری تصاویر طبقه‌بندی شده، اقدام به ادغام پلی‌گون‌های بسیار کوچک یعنی کمتر از  $25000m^2$  با تیپ‌های مجاور شد تا خطاهای مربوطه در فرایند محاسباتی برطرف گردد و در گام آخر مساحت تیپ‌های اراضی برای تمام تصاویر طبقه‌بندی شده محاسبه شد.

### ایجاد بافر ۱۰ و ۲۰km

از آن‌جا که اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی به صورت



شکل ۳. منطقه مورد مطالعه همراه با حریم ۱۰ و ۲۰km ایستگاه‌های هواشناسی یزد و میبد

لندست ۸ به دو طبقه ۱ تا ۰/۱۵ و ۰/۱۷ تا ۱- طبقه‌بندی گشت. باید ذکر نمود که علت انتخاب بازه‌های عددی مذکور این است که در شاخص NDVI به طور کلی بازه ۱- تا ۰ پدیده‌های آب، ۰ تا ۰/۱ پدیده خاک و بازه ۰/۱ تا ۱ پدیده‌های مربوط به پوشش گیاهی را مشخص می‌کند، لازم به ذکر است که گاهی اوقات پدیده‌های خاکی در بازه ۰ تا ۰/۱ یا حتی ۰ تا ۰/۲ نمایان است.

### نتایج و بحث

#### تیپ‌های اراضی منطقه

بعد از تهیه نقشه تیپ اراضی، مساحت تیپ‌ها در بازه زمانی مورد بررسی برآورد و نمودار مساحتی آن ترسیم شد. تغییرات مساحت تیپ اراضی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی در شکل ۴ نشان داده شده است که در مجموع دو تیپ دشت‌سر اپانداز و اراضی زراعی با کاهش مساحت، اما دشت‌سر پوشیده، ارگ و اراضی شهری با افزایش مساحت روبرو است. با این وجود در بازه زمانی بررسی شده نوساناتی در مساحت تیپ‌های مختلف اراضی مانند تیپ ارگ، اراضی مسکونی و غیره مشاهده شد. بخشی از این نوسانات در مساحت تیپ‌های در سال‌های مختلف ناشی از خطای طبقه‌بندی به دلیل تشابه بالای انعکاس‌های طیفی خاک در تیپ‌های ارگ، دشت‌سر و اراضی مسکونی بود؛ و بخشی دیگر به دلیل تغییر در سطح پوشش گیاهی منطقه در طی سال‌های مختلف بود. به‌طوریکه با کاهش سطح پوشش گیاهی واقع در محدوده دشت‌سر و یا سایر تیپ‌ها بر مساحت تیپ دیگر افزوده شد و بالعکس.

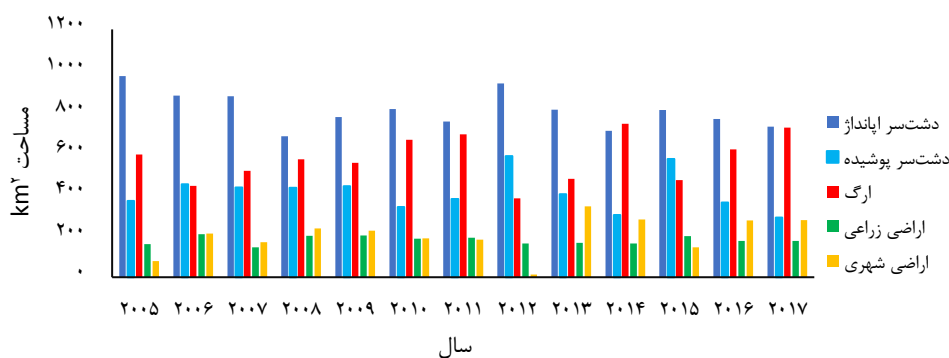
رابطه بین شاخص طوفان‌های گردوغبار با شاخص NDVI به‌منظور کاهش اثر عوامل ناخواسته مانند تأثیرات توپوگرافی، بازتاب پوشش‌های سنگی، خاک لخت و افزایش اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی می‌توان حداقل دو باند را باهم ترکیب نموده و شاخص پوشش گیاهی ایجاد نمود. هدف از ایجاد این شاخص آن است که برخی از ویژگی‌های پوشش گیاهی نظیر خصوصیات تاج پوشش، بیومس (زیست‌توده)، تولید، سطح برگ یا درصد پوشش گیاهی پیش‌بینی و ارزیابی شود. از معروف‌ترین شاخص‌های گیاهی، شاخص NDVI یا شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده<sup>۱</sup> می‌باشد که فرمول آن به‌صورت زیر است (۲):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (2)$$

NDVI: شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده، NIR:

محدوده مادون قرمز، Red: محدوده قرمز

به‌منظور ساخت لایه NDVI، ابتدا می‌بایست بر روی تمام تصاویر ماهواره‌ای منتخب، تصحیح خطاهای رادیومتریک و اتمسفریک صورت گیرد. نرم‌افزار ENVI دارای این قابلیت می‌باشد که پس از ورود فایل در محیط این نرم‌افزار با استفاده از دو ابزار Radiometric Calibration و Quick Atmospheric Correction به ترتیب اقدام به تصحیح خطاهای رادیومتریک و اتمسفریک نماید، در نتیجه با استفاده از ابزار NDVI می‌توان لایه نام‌برده را ساخت. در نهایت برای داده‌های مربوط به شاخص NDVI در لندست ۷ دو بازه ۱ تا ۰/۱۵ و ۰/۱۵ تا ۱- اما داده‌های مربوط به



شکل ۴. مساحت تیپ‌های اراضی منطقه

<sup>۱</sup> Normalized Difference Vegetation Index

ارگ و اراضی شهری می‌باشد و مساحت تپ‌های اراضی شهری، ارگ و دشت‌سر پوشیده افزایش، اما اراضی زراعی و دشت‌سر اپانداز در ایستگاه میبد، کاهش یافته است.

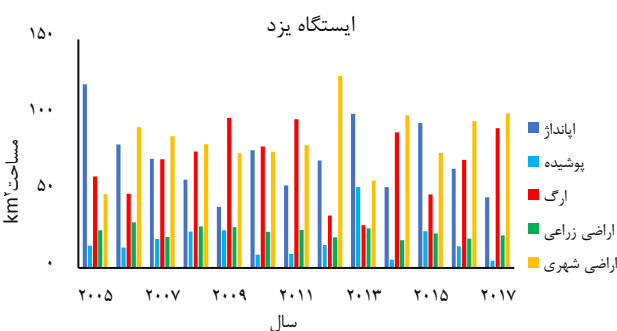
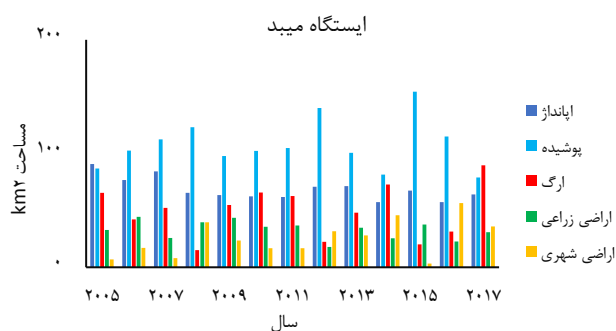
**رابطه بین نمودارهای شاخص DSI و سطوح تپ اراضی**  
افزایش سطوح شهری و توسعه فیزیکی مناطق شهری عملاً موجب کاهش سطوح فرسایش‌پذیری شده است (شکل ۷). نمودار ارائه شده نشان می‌دهد که با افزایش سطح اراضی شهری مقدار شاخص غبارناکی نیز اضافه شده است. اما در عمل و در واقعیت چنین چیزی بالعکس بوده و انتظار بر آن است که با افزایش سطوح شهری و کاهش سطوح در معرض فرسایش بادی شاخص غبارناکی نیز کاهش یابد. علت این تناقض را می‌توان به دو عامل نسبت داد. یکی اینکه عواملی مهم‌تر و تأثیرگذارتر از تغییرات سطح شهری در منطقه وجود داشته و تأثیر آنها غالب بر تأثیر توسعه اراضی شهری بوده است و دوم اینکه توسعه شهری به‌ویژه در نواحی حومه موجب تردد و بهم ریختگی خاک و ایجاد شیار در سطح منطقه شده و به‌خصوص ایجاد کننده جاده‌های خاکی و محل تخلیه نخاله‌ها بوده است.

### تپ‌های اراضی در بافرهای ۱۰ و ۲۰ Km

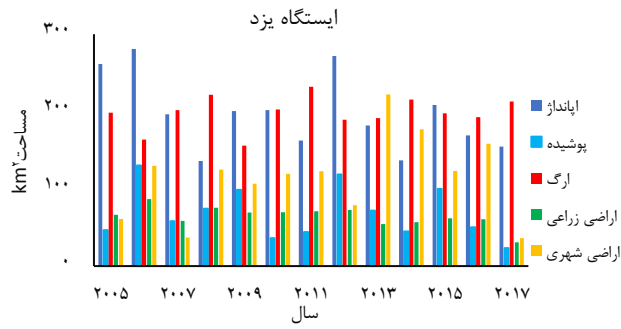
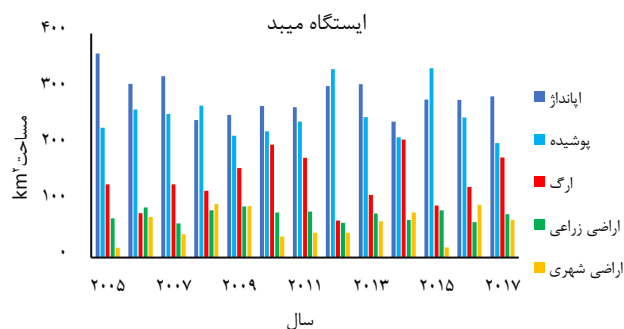
از آن‌جا که نمی‌توان تأثیر تغییرات تپ اراضی را بر روی شاخص غبارناکی محاسبه کرد، لذا این تغییرات در بافرهای ۱۰ و ۲۰ Km در مجاورت ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت. وضعیت تپ اراضی و تغییرات مساحت آنها، در بافرهای ۱۰ Km در ایستگاه هواشناسی یزد و میبد از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی در شکل ۵ نشان داده شده است.

در ایستگاه یزد با استفاده از مشاهدات بصری می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر مساحت تپ‌های اراضی دشت‌سر اپانداز، دشت‌سر پوشیده و اراضی زراعی کاهش یافته، اما اراضی شهری و ارگ با افزایش مساحت مواجه است. اما ایستگاه میبد براساس محاسبات صورت گرفته، مساحت اراضی دشت‌سر اپانداز و اراضی زراعی کاهش یافته، اما دشت‌سر پوشیده، ارگ و اراضی شهری افزایش مساحت را در پی داشته است.

مقادیر استخراج شده تپ‌های اراضی در بافر ۲۰ Km ایستگاه یزد و میبد در سال‌های مذکور در شکل ۶ آمده است که در ایستگاه یزد نشان‌دهنده کاهش مقادیر دشت‌سر اپانداز، دشت‌سر پوشیده و اراضی زراعی و افزایش مساحت

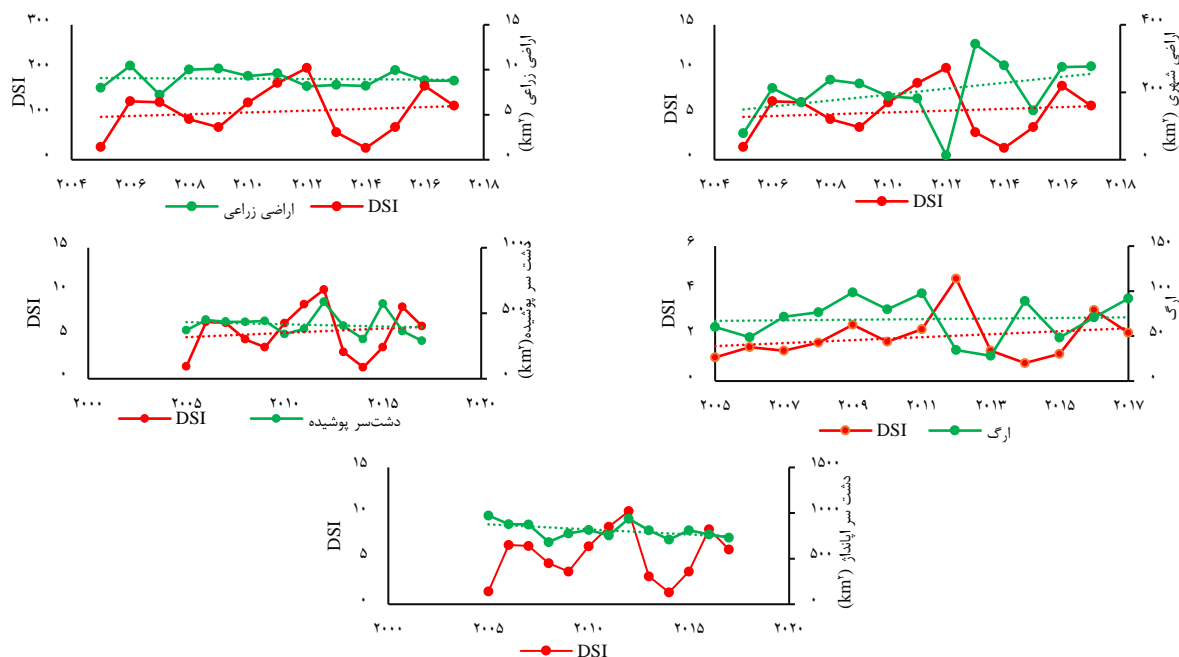


شکل ۵. نمودار مساحت تپ‌های اراضی در حریم ۱۰ km ایستگاه یزد و میبد



شکل ۶. نمودار مساحت تپ‌های اراضی در حریم ۲۰ km ایستگاه یزد و میبد





شکل ۷. رابطه بین نمودارهای شاخص DSI و سطوح تیپ اراضی

رسید که خط برازش داده شده نمودار مساحت دشت سرپوشیده کاهشی بوده در حالی که این خط روند در مورد نمودار شاخص غبارناکی به حالت افزایشی است.

#### رابطه بین شاخص DSI و سطوح تیپ اراضی در ایستگاه یزد، بافر ۱۰ و ۲۰ Km

رابطه بین متغیر شاخص طوفان‌های گردوغبار با مساحت اراضی شهری در بافر ۱۰ Km حالت صعودی دارد، یعنی با افزایش مناطق شهری میزان غبارناکی منطقه نیز افزایش می‌یابد، اما در مورد این تیپ اراضی در بافر ۲۰ km افزایش سطوح شهری و توسعه فیزیکی آن باعث کاهش میزان فرسایش‌پذیری آن گشته است. یکی از دلایل این امر می‌تواند توسعه شهری به‌ویژه در نواحی حومه باشد که موجب تردد و بهم ریختگی خاک و ایجاد شیار در سطح منطقه شده است. به‌خصوص اینکه ایجاد کننده جاده‌های خاکی و محل تخلیه نخاله‌ها بوده است. تغییرات شاخص غبارناکی و اراضی زراعی در هر دو بافر دارای رابطه معکوس است. به عبارتی کاهش سطح اراضی و باغات، تغییر کاربری آن به سایر کاربری‌ها و یا رها شدن این مناطق و تبدیل آن به اراضی بایر باعث افزایش میزان غبارناکی منطقه می‌شود، زیرا پوشش گیاهی عاملی مهم در جهت کاهش یا جلوگیری

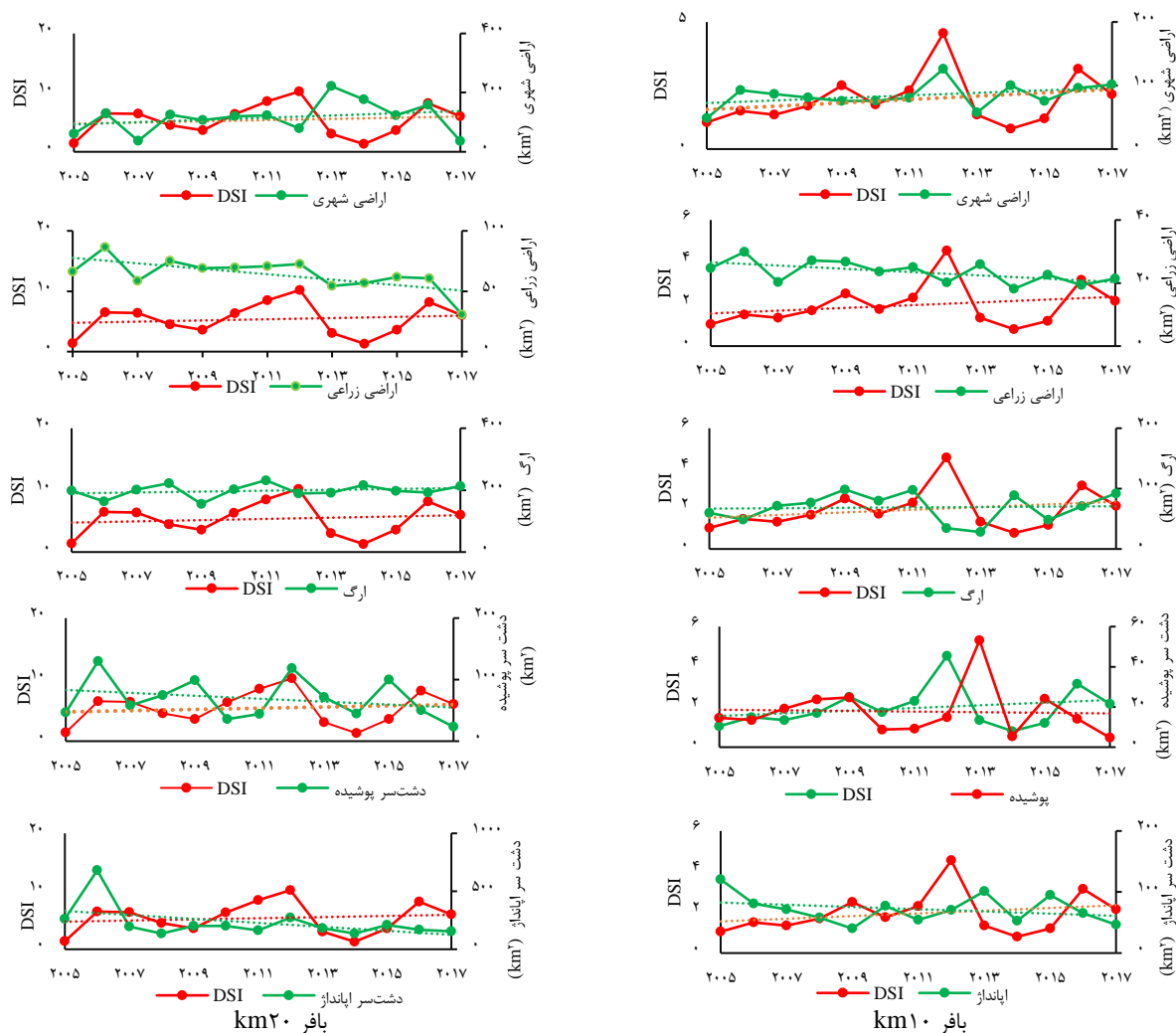
با توجه به دو نمودار مساحت اراضی زراعی و شاخص طوفان‌های گردوغبار کل منطقه، رابطه تغییرات شاخص غبارناکی با مساحت اراضی زراعی معکوس می‌باشد. بنابراین کاهش سطح اراضی زراعی و باغات، تغییر تیپ‌ها به سایر موارد و یا رها شدن این مناطق و تبدیل آن به زمین‌های بایر باعث افزایش فرسایش بادی و شاخص DSI می‌شود. براساس دو نمودار شاخص طوفان‌های گردوغبار و مساحت ارگ کل منطقه، رابطه بین این دو متغیر از نوع مستقیم است. به عبارتی افزایش سطح ارگ‌ها باعث بیشتر شدن طوفان‌های گردوغبار شده است، البته این افزایش یک رابطه دو طرفه می‌باشد. نمودار شاخص غبارناکی کل منطقه حالت صعودی داشته اما خط برازش داده شده نمودار مساحت دشت سرپوشیده به حالت نزولی است. لازم به ذکر است در نگاه اولیه، کاهش سطح اراضی دشت سرپوشیده که معمولاً از مناطق مستعد فرسایش بادی است، انتظار کاهش غبارناکی را همراه دارد، ولی در عمل کاهش سطح آن همراه با افزایش شاخص‌های غبارناکی بوده است. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های غبارناکی عملاً با کاهش سطوح دشت سرپوشیده همبستگی نداشته و یا ارتباطی با این سطوح ندارد. بر اساس مشاهدات دو نمودار شاخص DSI و مساحت دشت سرپوشیده در کل منطقه می‌توان به این نتیجه

عنوان کارخانجات، تأسیسات، مجتمع‌های کاشی نزدیک شهر استفاده شده است. باید ذکر نمود که پیش‌بینی کاهش سطح اراضی دشت‌سر پوشیده و شاخص غبارناکی معکوس انتظارات بوده است، در نتیجه می‌توان گفت که کاهش سطوح دشت‌سر پوشیده همبستگی با شاخص DSI ندارد.

تغییرات شاخص DSI با مساحت دشت‌سر اپانداز در هر دو بافر معکوس بوده، با توجه به اینکه شیب موجود این دشت دو تا پنج درصد می‌باشد و نوع قرارگیری آبراهه‌ها به حالت موازی است، افزایش شدت تبخیر در فصول گرم کاهش چسبندگی ذرات خاک و رسوبات را به همراه دارد، در نتیجه باعث از بین رفتن بستر اصلی دشت‌سر اپانداز می‌گردد که افزایش شدت فرسایش بادی در منطقه را به همراه خواهد داشت. نمودارهای مربوطه در شکل ۸ نمایش داده شده است.

از فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار است و این نوع تیپ عامل بیولوژیکی مهمی در کنترل فرسایش بادی و مقابله با آن به حساب می‌آید. با توجه به نمودارهای شاخص غبارناکی و مساحت ارگ در هر دو بافر، رابطه بین آن‌ها از نوع مستقیم است. این مناطق خود نوعی اراضی مستعد در جهت افزایش طوفان‌های گردوغبار هستند. به عبارتی رابطه این دو متغیر از نوع دو طرفه است. زیرا وجود نهشته‌های این مناطق، خود عاملی در جهت افزایش طوفان‌های گردوغبار و شاخص DSI منطقه تلقی می‌شوند.

در هر دو بافر نتایج رابطه بین متغیرهای شاخص طوفان‌های گردوغبار و دشت‌سر پوشیده، نشان می‌دهد تغییرات این دو متغیر ارتباط معکوس دارند. زیرا بر اساس مشاهدات بصری تصاویر ماهواره‌ای، بیشترین درصد دشت‌سر پوشیده در سال ۲۰۰۵ به مرور زمان به علت نزدیک بودن به اراضی شهری تغییر کاربری داده و از آن به



شکل ۸. رابطه بین شاخص DSI و سطوح تیپ اراضی در ایستگاه سینوپتیک یزد، بافر ۱۰ و ۲۰ Km

### رابطه بین شاخص DSI و متغیرهای اقلیمی

نتایج این مبحث نشان می‌دهد که رابطه بین دو شاخص غبارناکی منطقه و میانگین دمای سالانه از نوع مستقیم می‌باشد. بیشتر شدن میزان دمای منطقه بخصوص در ماه‌های گرم، باعث کم‌شدن رطوبت موجود در بین ذرات خاک گشته که در نهایت موجب از هم پاشیده شدن آن می‌گردد و با وزش باد در منطقه باعث حمل ذرات خاک توسط باد و سرانجام فرسایش بادی می‌شود (۳).

با توجه به دو نمودار شاخص DSI و میانگین بارش سالانه، رابطه بین این دو از نوع معکوس می‌باشد. لیکن هرچه میزان ریزش نزولات جوی کمتر، مقدار شاخص طوفان‌های گردوغبار بیشتر می‌شود. لازم به ذکر است که اقلیم حاکم بر منطقه از نوع گرم و خشک می‌باشد که باعث تبخیر شدید رطوبت موجود خاک شده و در نهایت موجب از بین رفتن نیروی چسبندگی بین ذرات خاک می‌گردد و در نتیجه با وزش بادهای فرساینده و غالب، فرسایش بادی رخ می‌دهد. بررسی شاخص غبارناکی منطقه با متغیر میانگین رطوبت نسبی سالانه، نشان‌دهنده این است که رابطه بین هر دو از نوع معکوس است. زیرا کمبود رطوبت برابر با خشکی هوای منطقه می‌باشد و از طرفی گرمای حاکم باعث تبخیر شدید و کم‌شدن چسبندگی رسوبات خاک گردیده و بستر را برای فرسایش بادی مهیا می‌کند. در حالی که رابطه بین دو شاخص غبارناکی منطقه و میانگین دمای سالانه از نوع مستقیم است. براساس دو نمودار شاخص طوفان‌های گردوغبار و میانگین بارش سالانه خط برازش داده شده هر دو نمودار همان‌طور که قابل مشاهده است، به یکدیگر بسیار نزدیک هستند. بنابراین نمی‌توان در این بازه زمانی نتیجه‌گیری قطعی برای آن بدست آورد. ارتباط بین طوفان‌های گردوغبار با متغیر میانگین رطوبت نسبی سالانه از نوع معکوس است. زیرا با کاهش رطوبت نسبی منطقه و وجود گرمای حکم‌فرما بر آن باعث تبخیر آب موجود میان ذرات خاک گردیده، که این خود علتی موجه برای توضیح از هم پاشیده شدن ذرات خاک است. در نتیجه وزش باد موجب بلند شدن ذرات از سطح خاک و در نهایت فرسایش خاک منطقه می‌گردد (۱۰).

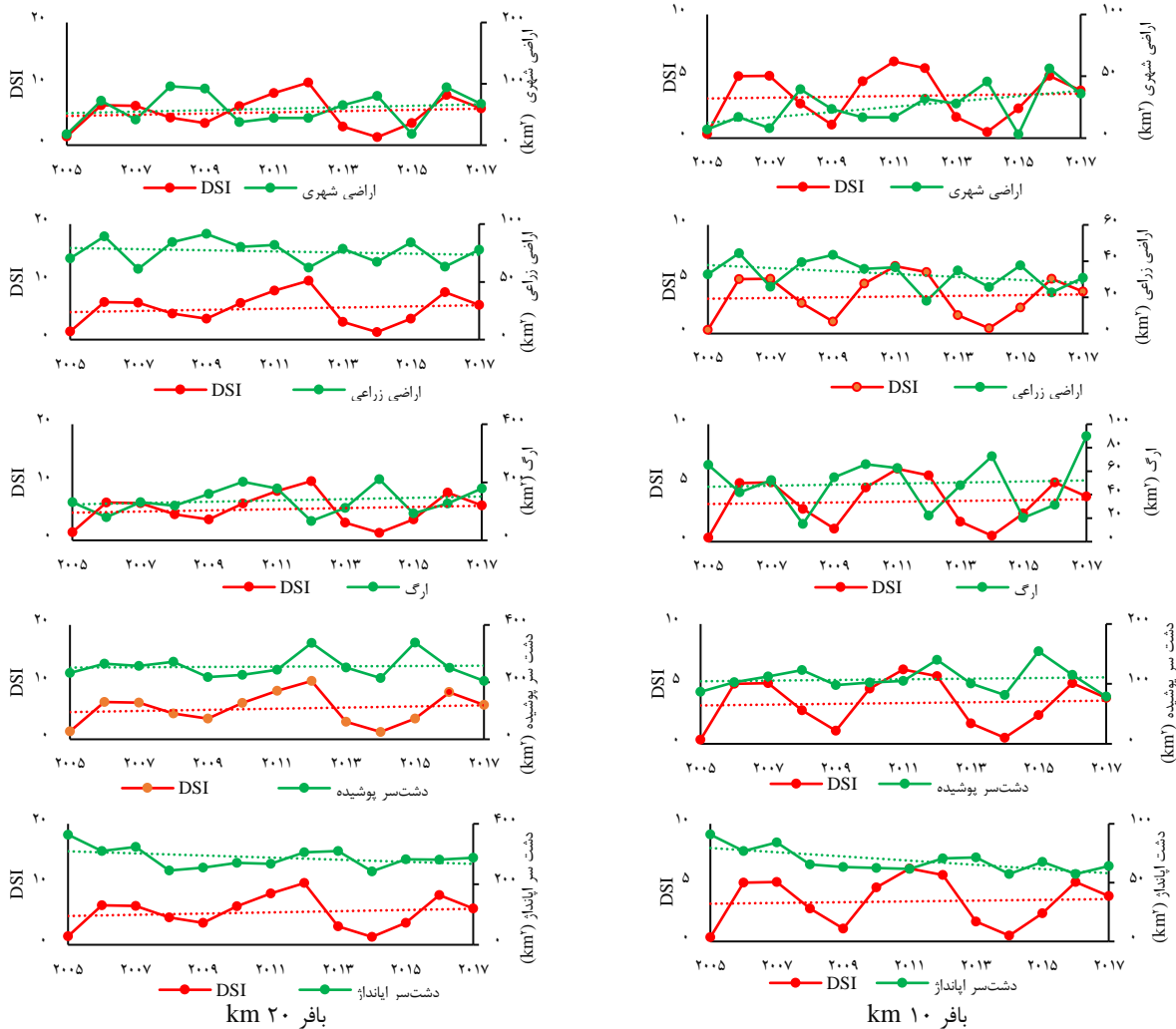
### رابطه بین شاخص DSI و سطوح تیپ اراضی در ایستگاه

میبد، بافر ۱۰ و ۲۰ Km

رابطه بین طوفان‌های گردوغبار و مساحت اراضی شهری در هر دو بافر، حالت صعودی داشته است. از آنجایی که انتظارات بر این است که افزایش مناطق شهری، کاهش فرسایش‌پذیری را به همراه داشته باشد، می‌توان نتیجه گرفت که شرایط غبارناکی خارج از منطقه به آن تحمیل می‌شود، از طرفی این نوع تیپ خود دلیلی بر کاهش فرسایش بادی است، در نتیجه افزایش شاخص طوفان‌های گردوغبار تابعی از تغییر سطوح اراضی شهری نیست.

نتایج مربوط به نمودار شاخص DSI و مساحت اراضی زراعی در هر دو بافر بدین صورت می‌باشد که رابطه بین این دو متغیر از نوع معکوس است و نشان از این است که کمبود پوشش گیاهی در منطقه منجر به افزایش طوفان‌های گردوغبار و فرسایش بادی می‌گردد.

در هر دو بافر و با توجه به نمودار شاخص طوفان‌های گردوغبار و مساحت ارگ، رابطه بین این دو متغیر از نوع مستقیم می‌باشد. بنابراین نوعی رابطه دو طرفه بین دو متغیر برقرار است و به دلیل واقع شدن این منطقه در مرحله دوم فرسایش بادی یعنی مرحله ترانزیت و همچنین وجود تپه‌های ماسه‌ای و نهشته‌های ماسه‌ای بادپناه، خود دلیلی بر بیشتر شدن شدت طوفان‌های گردوغبار شده است. نتایج نشان می‌دهد که رابطه بین دو متغیر مساحت دشت‌سر پوشیده و شاخص طوفان‌های گردوغبار در هر دو بافر و مطابق با پیش‌بینی‌های انجام شده، از نوع مستقیم می‌باشد، زیرا این منطقه واقع در کانال باد میبد است و مستعد فرسایش است. از طرفی تبخیر شدید، رطوبت ناچیز درون ماسه‌ها و خشک شدن خاک باعث از بین رفتن چسبندگی ذرات خاک در این مناطق شده که در نهایت طوفان‌های توأم با گردوغبار را بوجود می‌آورد. بر اساس مشاهدات در هر دو بافر این ایستگاه رابطه معکوس بین شاخص غبارناکی و مساحت دشت‌سر اپانداژ برقرار است. نمودارهای مربوط به این بخش در شکل ۹ نمایش داده شده است.

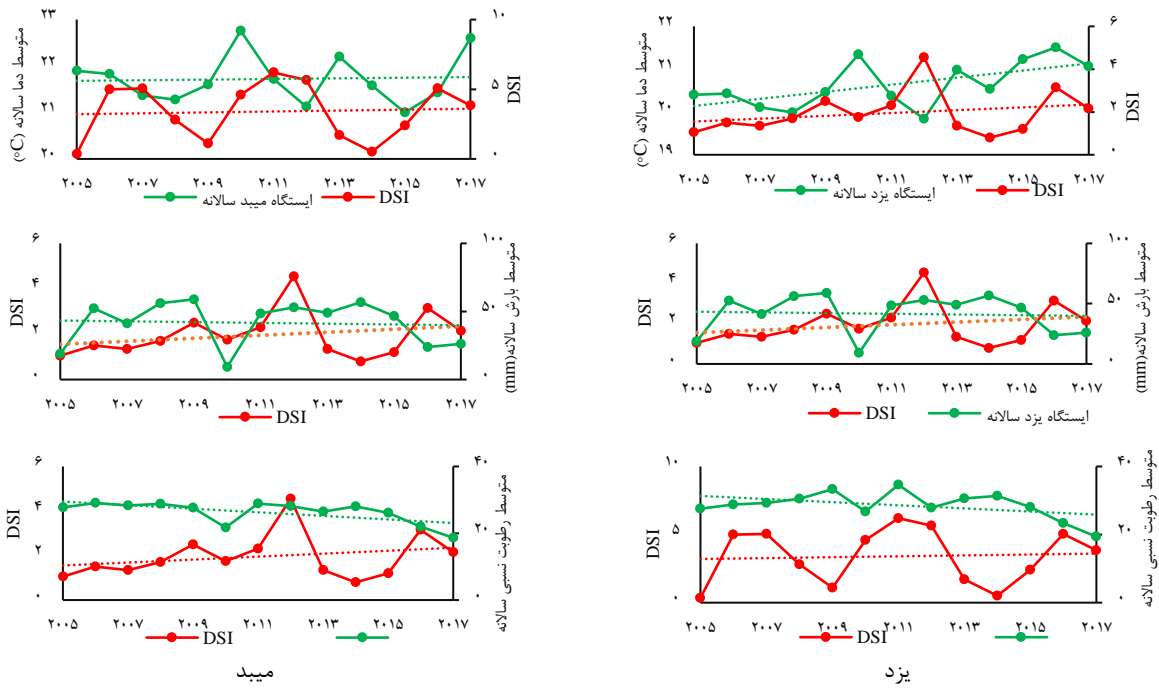


شکل ۹. نمودارهای رابطه بین شاخص DSI و سطوح تیپ اراضی در ایستگاه سینوپتیک میبد، بافر ۱۰ و ۲۰ km

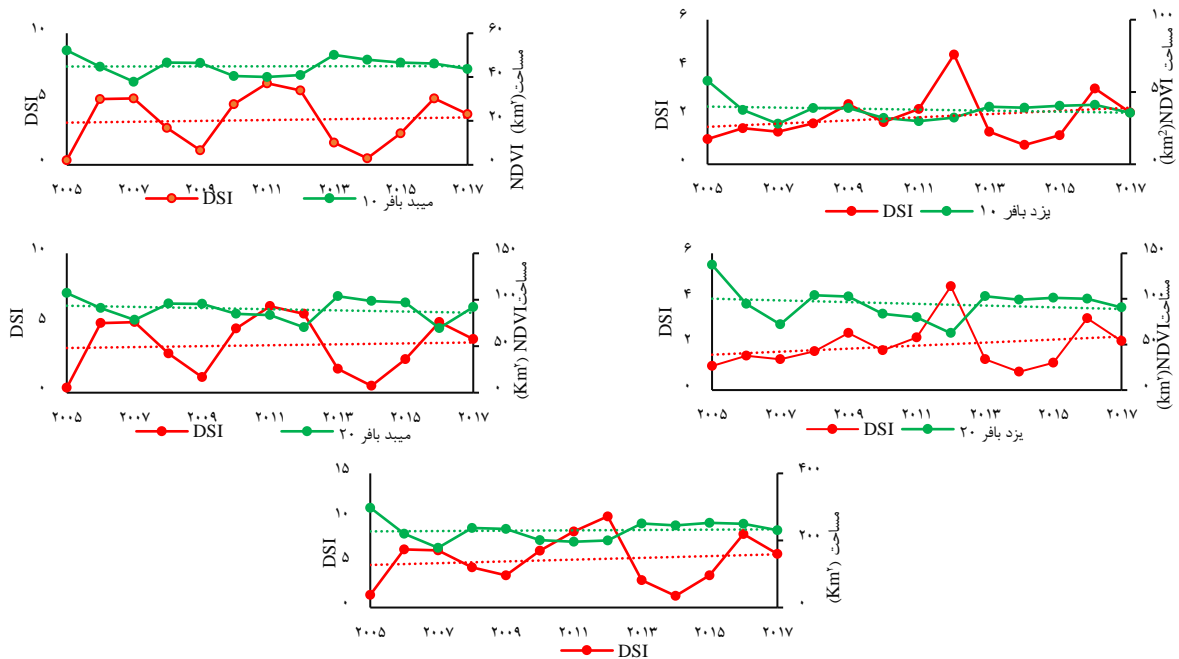
**رابطه بین شاخص‌های DSI و NDVI**

با توجه به نمودارهای رسم شده در هر دو بافر و کل محدوده مطالعاتی رابطه بین شاخص توفان‌های گردوغبار (DSI) در سال‌های مذکور صعودی بوده، یعنی میزان وقوع گردوغبار طی سال‌ها بیشتر شده است. اما در شاخص NDVI در نمودارهای ایستگاه‌های سینوپتیک یزد بافر ۱۰ Km و میبد بافر ۲۰ Km حالت نزولی داشته است و این بدان معناست که مقدار پوشش گیاهی در منطقه رو به کاهش است، زیرا پوشش گیاهی سالم، در دو باند مادون قرمز نزدیک و سبز، نسبت به دیگر طول موج‌ها، انعکاس بیشتری دارد. در صورتی که مقدار انعکاس در محدوده قرمز کم و در مادون قرمز زیاد باشد، مقدار NDVI زیاد خواهد شد که نشان‌دهنده تراکم بیشتر پوشش گیاهی و سلامت گیاه است. در صورتی که این شاخص کاهش یابد معمولاً

پوشش گیاهی ضعیف یا از بین رفته است. تغییر کاربری اراضی، خشکسالی‌های پیوسته، آبیاری با آب‌های نامناسب و روش‌های غیر اصولی کشاورزی باعث این نوع وضعیت می‌شود. در ایستگاه همدیدی میبد بافر ۱۰ Km همان‌طور که هویداست، خط برازش داده شده در نمودار شاخص NDVI موازی با محور xها است. به‌طور کلی با توجه به تعداد انگشت شمار پلی‌گون‌های موجود در این محدوده نمی‌توان نتیجه‌گیری قطعی برای آن در نظر گرفت زیرا در این منطقه در بافر ۲۰ Km نمودار حالت نزولی دارد. خط برازش داده شده نمودار شاخص NDVI به مقدار ناچیز حالت افقی است، اما نمی‌توان گفت که میزان پوشش گیاهی افزایش یافته است، زیرا مقدار شیب نزدیک به صفر است در نتیجه تغییر مشخصی را نشان نمی‌دهد (شکل ۱۱).



شکل ۱۰. رابطه بین شاخص DSI با متغیرهای اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک یزد و میبد



شکل ۱۱. نمودارهای بین شاخص‌های DSI و NDVI

این مناطق موجب از بین رفتن عوامل بازدارنده فرسایش بادی اعم از بیولوژیک و غیر بیولوژیک می‌شود که این فزونی، فرسایش بادی و شاخص گردوغبار و در نهایت گسترش ارگ‌ها را نیز در پی دارد (۷). لیکن این مناطق به دلیل وجود ماسه‌های روان مستعد فرسایش هستند، از طرفی منطقه میبد که واقع در مرحله ترانزیت فرسایش بادی می‌باشد،

نتایج پژوهش حاضر نشان داد از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۰۵ میلادی، مقدار شاخص غبارناکی منطقه افزایش یافته، در نتیجه همان‌طور که انتظار می‌رفت، تعداد رویدادهای گردوغبار بیشتر شده است. رابطه شاخص DSI در کل منطقه و حتی در دو ایستگاه همدیدی یزد و میبد در دو بافر ۱۰ و ۲۰ Km، برای تیپ مناطق ارگ از نوع مستقیم می‌باشد، یعنی افزایش

مذکور برای هر نوع متفاوت می‌باشد. با افزایش مقدار متغیر میانگین دمای سالانه در ایستگاه همدیدی یزد مقدار شاخص توفان‌های گردوغبار افزایش یافته یعنی هرچه میزان دما بیشتر باشد مقدار شاخص DSI بر اساس این نوع محاسبات در بازه زمانی مشخص شده بیشتر شده است، زیرا با افزایش دما شدت تبخیر آب میان ذرات به خصوص در ماه‌های بررسی شده بیشتر گشته و با وزش باد فرسایش بادی رخ داده که میزان توفان‌های گردوغبار را افزایش می‌دهد. در رابطه با متغیر میانگین بارش سالانه از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی در ایستگاه همدیدی یزد می‌توان به این نتیجه رسید که با شاخص DSI رابطه عکس دارد، زیرا با کاهش مقدار بارش و از طرفی درجه حرارت بالای منطقه در فصول گرم سال، رطوبت موجود در خاک کمتر شده و موجب از بین رفتن نیروی چسبندگی ذرات و افزایش فرسایش بادی و در نهایت افزایش شاخص DSI می‌گردد، اما در ایستگاه همدیدی میبد خط برازش داده شده هر دو نمودار بسیار نزدیک به یکدیگر می‌باشد که شاید در این بازه زمانی به علت نداشتن روند قطعی با گسترش بازه زمانی نتوان نتیجه‌گیری دقیق‌تری به دست آورد. متغیر میانگین رطوبت نسبی سالانه از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی در هر دو ایستگاه مذکور با شاخص DSI رابطه معکوس دارد، زیرا کمبود رطوبت و افزایش درجه حرارت بالا باعث تبخیر شدید شده و بستر را برای فرسایش بادی مهیا می‌کند که خود دلیلی بر بیشتر شدن شاخص غبارناکی منطقه و تعداد روزهای گردوغبار می‌باشد.

تحلیل‌های انجام‌شده نشان داد که شاخص غبارناکی منطقه در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی در ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن و جولای به حالت افزایشی است. این موضوع بدان معناست که مقدار گردوغبار این بازه به مرور زمان بیشتر شده و از طرفی بر روی تپ‌های اراضی تأثیر بسزایی داشته است. با توجه به نوع اقلیم حکم فرما بر منطقه نمی‌توان به‌طور چشمگیری از وقوع توفان‌های گردوغبار جلوگیری کرد. در رابطه با شاخص غبارناکی منطقه و متغیر اقلیمی همان‌طور که مورد انتظار بود با افزایش شاخص DSI، میزان میانگین بارش سالانه و رطوبت نسبی کاهش، اما میانگین دمای سالانه افزایش یافته است. در تحقیقی دیگر میانگین انتشار گردوغبار در کشور چین

خود دلیلی بر افزایش شدت توفان‌های گردوغبار منطقه شده است (۳). رابطه بین شاخص DSI با دشت‌سر اپانداژ و اراضی زراعی از نوع معکوس است، زیرا کاهش اراضی زراعی به دلیل وجود تغییرات کاربری، رها شدن و تبدیل شدن به اراضی بدون پوشش، خود عامل مهمی در جهت کاهش یا جلوگیری از فرسایش بادی و توفان‌های گردوغبار است. علاوه بر آن رابطه‌ی شاخص NDVI با شاخص غبارناکی از نوع معکوس است و این بدان معناست که میزان پوشش گیاهی رو به کاهش است، زیرا بر اساس محاسبات انجام شده، باند مادون قرمز نزدیک دارای انعکاس کم و میزان انعکاس باند قرمز در حال افزایش است که نشان‌دهنده تضعیف پوشش گیاهی است و یا آن که به‌طور کلی از بین رفته است. دشت‌سر اپانداژ دارای فرسایش آبی کم بوده ولی به علت اینکه محل ترسیب رسوبات آبی است، فرسایش بادی در آن فعال است. اما در مورد اراضی در دشت‌سر پوشیده در محاسبه برای کل منطقه مورد مطالعه و منطقه یزد در دو بافر ۱۰ و ۲۰ Km، خط برازش داده شده نمودار آن نزولی، اما این خط در نمودار شاخص DSI از نوع صعودی است که با استناد به مشاهدات بصری تصاویر ماهواره‌ای و بررسی آن از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی می‌توان نتیجه گرفت که تغییر کاربری این اراضی به کارخانه و تأسیسات مجتمع‌های کاشی‌سازی به علت نزدیک بودن به مناطق شهری، دلیل نزولی بودن خط برازش داده شده نمودار دشت‌سر پوشیده شده است، در نتیجه همبستگی با شاخص غبارناکی ندارد. اما این اراضی در منطقه میبد، در دو بافر ۱۰ و ۲۰ Km، شیب خط برازش داده شده آن کمی به حالت صعودی است که مهم‌ترین علت آن، قرارگیری این منطقه در کانال باد میبد که مرحله دوم فرسایش بادی است، می‌باشد و علاوه بر آن با افزایش درجه حرارت و تبخیر آب موجود در خاک باعث فروپاشی نیروی بین ذرات خاک گردیده، موجب افزایش شدت طوفان‌های گردوغبار می‌شود. در مورد اراضی شهری، از آنجایی که افزایش سطوح و توسعه فیزیکی آن عملاً موجب کاهش مقدار فرسایش پذیری می‌باشد، لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزایش مساحت این نوع تپ تأثیری در وضعیت شاخص توفان گردوغبار ندارد. با توجه به سه نوع متغیر اقلیمی بررسی شده در پژوهش حاضر، تأثیر متغیرهای اقلیمی بر روی شاخص توفان‌های گردوغبار، در سال‌های

منابع طبیعی به علت نداشتن دانش کافی معرفی شده است (۱۱). نتایج پژوهش حاضر نیز این دلایل را تأیید نمود. یافته‌های پژوهشی (۴) هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که رطوبت‌نسبی و سرعت باد تنها عامل تعیین کننده، مقدار گردوغبار نمی‌باشد بلکه عوامل دیگر مانند شدت، تغییر جهت و سرعت باد در این رابطه مؤثر می‌باشند.

### ■ نتیجه‌گیری

نتیجه‌گیری کلی از این تحقیق را می‌توان در مورد، تغییرات تیپ‌های اراضی تأثیر عوامل اقلیمی و مقادیر شاخص گیاهی بر روی مقدار غبارناکی به دست آمده از ایستگاه هواشناسی منطقه خلاصه نمود. در مورد تیپ‌های اراضی، افزایش شاخص غبارناکی با افزایش سطوح آرگ و در نقطه مقابل کاهش تیپ‌های دشت سر اپانداز، پوشیده و اراضی زراعی بوده است، از آنجایی که شاخص غبارناکی در منطقه صعودی است، این تغییر متناسب با کاهش رطوبت و افزایش دما در منطقه بوده است. از طرفی افزایش شاخص غبارناکی متناسب با کاهش مقادیر پوشش گیاهی مستخرج از NDVI بوده است و در بیان کلی نقش مؤثر ویژگی‌های پوشش گیاهی، تیپ‌های اراضی و متغیرهای اقلیمی بر شاخص غبارناکی در منطقه محرز است.

۱۳۰ Tg/y بیان نموده که تنها ۳/۷٪ آن ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشد (۶). همچنین محققان بیان کردند که با افزایش پوشش گیاهی و بارندگی مقدار گردوغبار اندکی کاهش یافته، اما اگر دما زیاد و جهت حرکت باد رو به بالا باشد در مقیاس فصلی و روزانه شرایط به نفع انتشار گرد و غبار است، حتی اگر در منطقه مورد مطالعه پوشش گیاهی افزایش یابد (۹). با این وجود نتایج این دو تحقیق با نتایج پژوهش حاضر مطابقت ندارد. در تحقیقی بیان شد با افزایش شاخص DSI، وسعت آرگ نیز افزایش یافته، زیرا محل‌های ساخت و ساز و جاده‌های بدون سنگ فرش به عنوان دو منبع مهم انتشار گردوغبار می‌باشند که بخشی از منبع تأمین‌کننده ماسه در محل آرگ‌ها می‌باشند (۵). یافته‌های به‌دست‌آمده با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در پژوهشی نتایج نشان می‌دهد که توفان‌های گردوغبار عامل اقلیمی هستند که هم بر دیگر متغیرهای اقلیمی تأثیر می‌گذارند و هم از آن‌ها تأثیر می‌پذیرد، به عبارتی دقیق‌تر یک همبستگی را بین تعداد روزهای غبارناکی ایران با متغیرهای تبخیر، دما و بارش نشان می‌دهد (۱۰) و این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت داشت بخشی از دلیل افزایش گردوغبار به علت کمبود بارش و افزایش شدت تبخیر، رکود اقتصادی ناشی از خشکسالی و عدم انجام روش‌های مدیریت زمین همانند استفاده نادرست از

### ■ References

1. Afrasiabi, S., Tazeh, M., Taghizadeh, R., Ghaneei bafghi, M.J., & Kalantari, S. (2019). Performance of two measurement methods of pin meter and laser disto meter in the measurement of microtopography created by desert pavement. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 8(22), 1-14. (in Farsi)
2. AlBadi, H., Boland, J., Bruce, D., & Wedding, B. (2018). Estimating effective dust particle size from satellite observations. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11, 186-197.
3. Azad, M.R., Kalantari, S., Shirmardi, M., & Tazeh, M. (2021). Investigation of land use and physico-chemical properties of soil on wind erosion threshold velocities using data mining. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(28), 1-14. (in Farsi)
4. Csavina, J., Field, J., Felix, O., Corral-Avitia, A.Y., Saez, A.E., & Betterton, E.A. (2014). Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentration in semi-arid climates. *Science of the Total Environment*, 487, 82-90.
5. Cui, M., Lu, H., Etyemezian, V., & Su, Q. (2019). Quantifying the emission potentials of fugitive dust source in Nanjing, East China. *Atmospheric Environment*, 207, 129-135.

6. Du, H., Wang, T., Xue, X., & Li, S. (2018). Modelling of sand/dust emission in northern China from 2001 to 2014. *Geoderma*, 330, 162-176.
7. Goudie, A.S., & Middleton, N.J. (2001). Saharan dust storms: Nature and consequences. *Earth Science Reviews*, 56, 179-204.
8. Iran Meteorological Organization, 2018. Recived September 9, 2018, from <http://www.irimo.ir>. (in Farsi)
9. Jury, M.R. (2018). Climatic modulation of early summer dust emissions over west Africa. *Arid Environment*. 152, 55-68.
10. Kargaran, F., Kalantari, S., ghanei Bafghi, M.J., & Tazeh, M. (2017). The Compare of grading criteria in Coarse ripple Mark on the windward and leeward slopes (Case Study: Hassan Abad erg in Bafg). *Quantitative Geomorphology Research*, 5(19), 111-120. (in Farsi)
11. Lee, J.A., & Gill, T.E. (2015). Multiple causes of wind erosion in the dust Bowl. *Aeolian Research*, 19, 15-36.
12. Miri, A. (2019). Analysis of dust storms in Sistan using DDI and DSI indices and parameters of wind speed, horizontal visibility and PM10 concentration. *Water and Soil Protection Research*, 27(1), 1-23.
13. MohammadKhan, Sh. (2016). Status and trends of dust storms in Iran from 1364 to 1384. *Range and Watershed Managment*, 70(2), 495-514. (in Farsi)
14. Norouzi, S., & Khademi, H. (2015). Spatial and temporal variation in dust deposition rate in Isfahan and its relationship with selected climatic parameters. *Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources*. 19(72), 149-162. (in Farsi)
15. O'Loingsigh, T., Tainsh, G.H., Tews, E.K., Strong, C.L., Leys, J.F., Shinkfield, P., & Tapper, N.J. (2014). The dust storm index (DSI): A method for monitoring broad scale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research*, 12, 29-40.
16. Rashki, A., kaskaoutis, D.G., & Sepehr, A. (2018). Statistical evaluation of the dust events at selected stations in south west Asia: From the Caspian Sea to the Arabian Sea. *Catena*, 165, 590-603.
17. Sabbah, I. Leon, J.F., Sorribas, M., Guinot, B., Cordoba-Jabonero, C., Souza, A., & Al Sharifi, F. (2018). Dust and dust storms over Kuwait: Ground-Based and satellite observations. *Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 179, 105-113.
18. Tavousi, T., & Zahraei, A. (2012). Time series modeling of dust phenomenon in Ahvaz city. *Chapter-Letter of Geographical Research*, 28(2), 159-170.
19. Tazeh, M., Asadi, M., Taghizadeh, R., Kalantari, S., & Sadeghinia, M. (2018). Evaluation of geomorphometry indicators in the semi-automatic separate of geomorphology types in desert areas (case study: west north of Ardekan). *Rangeland and Desert Research*, 25(1), 29-43. (in Farsi)
20. Wang, R., Liu, B., Li, H., Zou, X., Wang, J., Liu, W., Cheng, H., Kang, L., & Zhang, Ch. (2017). Variation of strong dust storm events in Northern China during 1978-2007. *Atmospheric Research*, 183, 166-172.
21. Zarei, M., Tazeh, M., Moosavi, V., & Kalantari, S. (2021). Investigating the capability of thermal-moisture indices extracted from MODIS data in classification and trend in wetlands. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(10), 2583-2596.
22. Zehtabian, G., Azarnivand, H., Ahmadi, H., & Kalantari, S. (2013). Presentation of suitable model to estimate vegetation fraction using satellite images in arid region (case study: Sadough-Yazd, Iran). *Rangeland Science*, 3(2), 108-117.