

## بررسی توزیع مکانی و دسته‌بندی شاخص توفان‌های گرد و غبار (DSI) با استفاده از روش گشتاور خطی

❖ سهیلا پویان؛ دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد.

❖ محمد زارع\*؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد.

❖ محمد رضا اختصاصی؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد.

### چکیده

پدیده گرد و غبار یکی از رویدادهای مخرب و رایج در مناطق خشک و بیابانی جهان است. این پدیده آثار زیان‌باری بر روی زندگی انسان و محیط زیست دارد. توفان‌های گردوغبار افزون بر هدر رفت خاک، ایجاد خسارات اقتصادی به بخش‌های صنعتی، کشاورزی و شریان‌های ارتباطی، می‌تواند باعث تهدید حیات انسان هم از نظر سلامتی و هم تولید مواد غذایی شود. هدف از این پژوهش، تحلیل مکانی شاخص گردوغبار (DSI) در ۴۴ ایستگاه سینوپتیک کشور است. بر این اساس نخست شاخص توفان‌های گردوغبار با استفاده از داده‌های ساعتی گردوغبار برای هر ایستگاه، به کمک شاخص (DSI) محاسبه شد. سپس، با استفاده از میانگین ماهانه شاخص توفان گردوغبار، تحلیل منطقه‌ای با استفاده از روش گشتاور خطی انجام شد. براساس نتایج تحلیل منطقه‌ای، کشور به ۶ منطقه همگن از منظر شاخص توفان گردوغبار تقسیم شد. نتایج حاصل از تخمین منطقه‌ای نشان داد که تابع توزیع پیرسون ۳ به عنوان بهترین تابع توزیع منطقه‌ای برای گروه‌های همگن ۱، ۴، ۵ و ۶ تابع لجستیک تعمیم یافته برای گروه‌های همگن ۲ و ۳ است. نتایج برآورد و تحلیل مکانی شاخص گردوغبار، در بسیاری از پژوهش‌های محیط زیستی، تصمیم‌سازی و فرآیند مدیریت برنامه‌های بیابان‌زدایی و مقابله با توفان‌های گرد و غبار به کار می‌رود.

کلید واژگان: تابع توزیع، گرد و غبار، مناطق خشک و بیابانی، منطقه همگن.

## ۱. مقدمه

فراوانی رخداد پدیده گردوغبار در مناطق خشک و نیمه خشک، زیاد است. از جمله نتایج حاصل از وقوع گرد و غبار اثرات سوء روی محصولات کشاورزی، آلودگی منابع آب و خاک، امراض گوناگون تنفسی و در آخر معضلات زیست محیطی، چالش‌های اجتماعی، کاهش شدید دید افقی و تصادفات جاده‌ای منتج از آن است. توفان گردوغبار از خطرات طبیعی است که هر ساله تقریباً ۲۰۰۰ میلیون تن خاک به اتمسفر وارد می‌کند که ۷۵ درصد آن در زمین و ۲۵ درصد آن در اقیانوس‌ها ترسیب می‌شود [۱۹]. این ذرات بر روی شرایط جوی، تولیدات کشاورزی، سلامت انسان و اکوسیستم تأثیرگذار است [۱۰ و ۱۱]. گردوغبار حاصل از دو منبع طبیعی و انسانی، بیشترین مقدار ریزگرد در جو است [۶، ۲۰] بر اساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی، شدت گرد و غبار از نظر میزان دید افقی به چهار طبقه گردوغبار ضعیف با دید افقی بیشتر از ۱۰ کیلومتر، گرد و غبار متوسط با دید بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر، توفان شدید با دید بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و توفان خیلی شدید با دید کمتر از ۲۰۰ متر تقسیم‌بندی می‌شود [۲۰]. خاورمیانه یکی از پنج منطقه جهان است که بیشترین تولید گردوغبار را دارد [۱۸]. ایران به علت قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، در معرض سیستم‌های متعدد گرد و غبار محلی و فرامنطقه‌ای است [۱۷]. [۲۰] به بررسی شدت توفان گردوغبار در چین از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۷ پرداختند. نتایج حاکی نشان داد که بیشترین رخداد گردوغبار در سال ۱۹۸۳ اتفاق افتاده است. همچنین از سال ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۹ وقوع گردوغبار روند کاهشی و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ روند افزایشی داشته است. [۱۵] با استفاده از شاخص توفان گردوغبار (DSI)<sup>۱</sup> و داده‌های هواشناسی در دوره زمانی ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۱، به پایش فرسایش بادی در استرالیا پرداختند. نقشه‌های فرسایش بادی با توجه به

رابطه DSI تهیه شد. نتایج نشان داد که بارش تأثیر زیادی روی وقوع گردوغبار دارد به گونه‌ای که در سال‌هایی که مقدار بارش کاهش پیدا کرده است، وقوع توفان گردوغبار افزایش یافته است. از دیگر یافته‌های پژوهش این بود که در همه کشورهای که اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها با توجه به معیارهای سازمان هواشناسی جهانی انجام می‌شود، شاخص توفان گردوغبار قابل استفاده است. در پژوهشی، بررسی اقلیم شناسی رخدادهای گردوغبار در خاورمیانه انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین رخداد گرد و غبار در بخش غربی خاورمیانه در ماه‌های زمستان و در بخش شرقی در ماه‌های تابستان اتفاق می‌افتد [۱۸]. روش‌های مختلف توسعه یافته برای پیدا کردن منشأ و مسیرهای گردوغبار وجود دارد. تجزیه و تحلیل مسیر جزئی ذرات، شبیه سازی عددی، تجزیه و تحلیل مشاهدات گردوغبار و اطلاعات هواشناسی، تصاویر ماهواره‌ای و روش سنجش از راه دور، آشکار سازهای معدنی و مدل‌های زمین شناسی ابزار اصلی برای بررسی توفان‌های گردوغبار است [۱۸]. در پژوهش دیگری، به شناسایی منابع توفان گردوغبار در شهر اهواز پرداخته شد. در این پژوهش توزیع اندازه ذرات از طریق تجزیه و تحلیل لیزری اندازه‌گیری شد. با استفاده از روش‌های طیف سنجی جذب اتمی و طیف‌نگاری فلورسانس اشعه ایکس، فلزات سنگین و کانی‌های حاضر در ذرات گردوغبار شناسایی و با استفاده از شاخص غنی‌شدگی منشأ خاکی و غیرخاکی ذرات مشخص شد. در ادامه با استفاده از مدل‌سازی عددی، منشأ توفان‌های گردوغبار در بازه زمانی موردنظر پدیدار شد. نتایج این تحقیق نشان داد که منشأ اصلی ذرات گرد و خاک در شهر اهواز شامل شمال غرب عراق و شرق سوریه است [۵]. در پژوهشی، به تحلیل هم‌دید توفان‌های گردوغبار ایلام در طی ۱۹ سال پرداخته شد. نتایج نشان داد که سامانه‌های به وجود آورنده بارش، به دلیل نبود رطوبت،

<sup>۱</sup> Dust Storm Index

فراوانی توفان‌های گردوغبار به طور عمده در غرب، جنوب غربی ایران و خلیج فارس به عنوان گیرنده‌های اصلی مناطق گردوغبار می‌باشند [۲۲].

در این پژوهش با استفاده از کدهای گزارش شده از داده‌های ساعتی گردوغبار در ۴۴ ایستگاه سینوپتیک کشور به بررسی پدیده گردوغبار با تأکید بر شاخص تجربی توفان گردوغبار (DSI) پرداخته می‌شود. به منظور تحلیل مکانی از روش گشتاور خطی استفاده می‌شود. نتایج این شاخص می‌تواند در تصمیم‌سازی و فرآیند مدیریتی در خصوص برنامه‌های بیابان‌زدایی و پیشگیری از گسترش بیابان و آمادگی برای مقابله با توفان‌های گردوغبار مؤثر و مورد استفاده باشد.

## ۲. روش‌شناسی

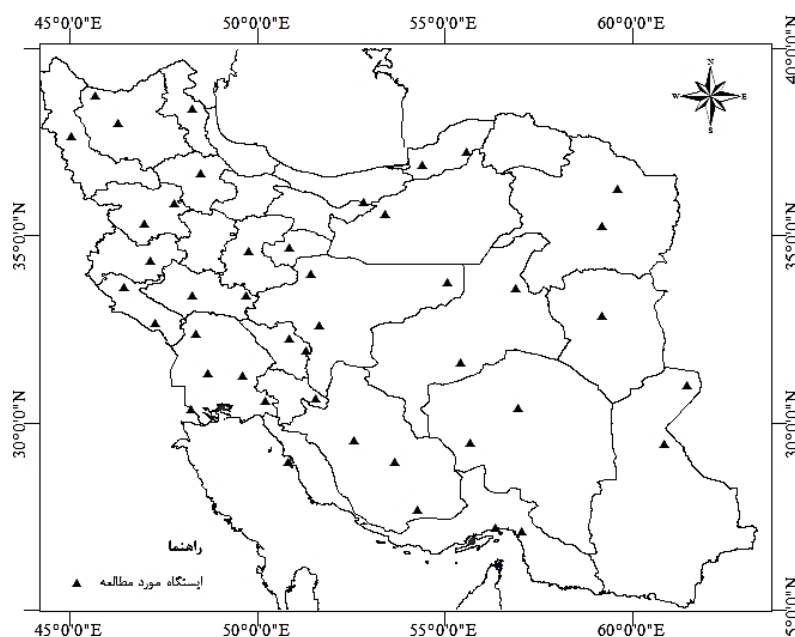
پژوهش حاضر از دو بخش تشکیل شده که شامل: محاسبه شاخص تجربی توفان‌های گردوغبار و بخش دوم، شامل بررسی همگنی منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش گشتاور خطی است.

### ۲.۱. شاخص تجربی توفان گرد و غبار (DSI)

در این پژوهش از داده‌های ساعتی گردوغبار (قدرت دید افقی و کدهای هواشناسی) ۴۴ ایستگاه سینوپتیکی کشور در طول آماری (۱۹۸۷-۲۰۱۵) استفاده شد (شکل ۱).

مشاهدات پدیده‌های هواشناسی بر اساس دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی در ۱۰۰ کد تعریف شده است که پدیده گردوغبار بسته به شدت و ماهیت خود ۱۱ کد را به خود تخصیص داده است. با توجه به این که داده‌های گردوغبار به صورت تفکیک نشده از سایر پدیده‌های هواشناسی، در اختیار کاربر قرار می‌گیرد، بنابراین، در مرحله اول ۱۰ کد مربوط به گردوغبار مورد استفاده در شاخص تجربی توفان گردوغبار (DSI) از سایر پدیده‌های اقلیمی مختلف سینوپتیکی جدا گردید (جدول ۱).

عامل ایجاد و انتقال توفان‌های گردوغبار به منطقه مطالعاتی هستند. همچنین کم فشار سودان و کم فشار گنگ در سطح زمین و فرود بلند مدیترانه، فرود دریای سرخ و پر ارتفاع جنب حاره آזור در سطوح میانی جو مهم‌ترین سامانه‌های همدید تأثیرگذار و انتقال گردوغبار به غرب ایران و منطقه مطالعاتی می‌باشند [۹]. در پژوهشی، وقوع گردوغبار و پهنه‌بندی آن در استان خراسان رضوی تجزیه و تحلیل شد. در این تحقیق، تغییرات تعداد رخداد گردوغبار در ماه، فصل و سال در دوره زمانی (۲۰۰۴-۲۰۱۰) برای ۱۰ ایستگاه هواشناسی استان خراسان رضوی تحلیل و ارتباط آن با خشکسالی بررسی شد. در این میان، سرخس و قوچان، به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد وقوع گردوغبار را در سال داشتند. همچنین ماه می و فصل بهار بیشترین تعداد وقوع گردوغبار را نسبت به ماه‌ها و فصل‌های دیگر سال دارا بود. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که هر چه از مرکز و شمال به سمت مرزهای استان خراسان رضوی حرکت کنیم بر تعداد وقوع گردوغبار افزوده می‌شود [۴]. در پژوهشی، پهنه‌بندی و پایش فراوانی توفان گردوغبار در ایران در ۸۷ ایستگاه سینوپتیک برای دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳، با استفاده از خوشه‌بندی فازی و تکنیک‌های سنجش از راه دور پرداخته شده است. در ادامه از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و شاخص دمای روشنایی برای ردیابی و منشاء یابی توفان گردوغبار استفاده شد. ایران از نظر فراوانی توفان‌های گردوغباری با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی، به پنج گروه متفاوت طبقه‌بندی شد. حداکثر تعداد روزهای با توفان گردوغبار در خوشه یک (ایستگاه زابل با ۷۹۰ روز) مشاهده شده است. حداقل تعداد روزهای با توفان گردوغبار در خوشه ۵-۳ شامل ایستگاه‌های واقع در شمال، شمال غربی، شمال شرقی ایران و ارتفاعات زاگرس در غرب ایران مشاهده شده است. نتایج شاخص دمای روشنایی نیز نشان داد که منشاء توفان گردوغبار از سمت عراق و جنوب عربستان است که ناحیه غربی ایران را تحت تأثیر قرار داده است. بیشترین



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران

جدول ۱. کدهای مربوط به گرد و غبار مورد استفاده در شاخص (DSI)

| کد | شرح پدیده                                                                                                            |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۰۷ | گردوغبار برخاسته                                                                                                     |
| ۰۸ | گرد و غبارهای تکامل یافته که در زمان دیدبانی یا طی یک ساعت گذشته در ایستگاه و یا اطراف آن مشاهده شده است.            |
| ۰۹ | توفان گرد و خاک یا شن که در ساعت دیدبانی در اطراف ایستگاه وجود داشته یا در ساعت گذشته در خود ایستگاه وجود داشته است. |
| ۳۰ | گرد و غبار خفیف یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر.                    |
| ۳۱ | گرد و غبار پایدار یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر.                  |
| ۳۲ | شروع یا افزایش گرد و غبار خفیف یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر.     |
| ۳۳ | توفان گرد و غبار شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر.                                                             |
| ۳۴ | توفان گرد و غبار پایدار شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر.                                                      |
| ۳۵ | شروع یا افزایش توفان گرد و غبار شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر.                                              |
| ۹۸ | رعد و برق با گرد و غبار و یا توفان شن و ماسه.                                                                        |

مشخص شده بر اساس میدان دید، محاسبه می‌شوند.

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

که در آن، SD روزهای توفانی با گردوغبار شدید، یعنی مجموع مشاهدات کدهای گرد و غبار حداکثر روزانه

رابطه شاخص تجربی توفان گردوغبار (DSI) اولین بار توسط مک تاینش<sup>۱</sup> و همکاران طراحی شد (رابطه ۱). این شاخص ترکیبی از سه نمایه روزهای توفانی با گردوغبار محلی (LDE)، روزهای توفانی با گردوغبار متوسط (MD) و روزهای توفانی با گردوغبار شدید (SD)

<sup>1</sup> McTainsh

اساس این روابط گشتاور خطی مرتبه اول معادل با میانگین و گشتاور مرتبه دوم معادل با انحراف از معیار است.

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (4)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (5)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (6)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (7)$$

لازم به ذکر است که تحلیل منطقه‌ای توسط روش گشتاور خطی، با استفاده از نسبت‌های گشتاور خطی صورت می‌گیرد. نسبت‌های گشتاور به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\tau = \lambda_2 / \lambda_1 \quad (8)$$

$$\tau_r = \lambda_r / \lambda_2 \quad (9)$$

نسبت گشتاور خطی مرتبه دوم ( $\tau^2$ )، معرف ضریب تغییرات و نسبت گشتاور خطی مرتبه سوم و چهارم ( $\tau_3, \tau_4$ ) به ترتیب معرف ضریب چولگی و ضریب کشیدگی<sup>۴</sup> هستند. از روابط فوق برای محاسبه گشتاور خطی داده‌های معین در هر ایستگاه از یک منطقه و سپس محاسبه گشتاور کل منطقه‌ای استفاده می‌شود. هرچند، پیش از محاسبه گشتاور منطقه‌ای لازم است که همگنی ایستگاه‌ها، بررسی شود.

#### ۱.۲.۲. تعیین مناطق همگن

یک منطقه همگن از نظر شاخص تجربی توفان گردغبار (DSI)، شامل گروهی از ایستگاه‌ها می‌باشد که دارای خصوصیات آماری مشابه هستند. برای تحلیل منطقه‌ای، آزمون‌های آماری بر اساس گشتاورهای خطی

(کدهای ۳۳، ۳۴ و ۳۵)؛ MD روزهای توفانی با گردوغبار متوسط، به عبارتی، مجموع مشاهدات کدهای گرد و غبار حداکثر روزانه (کدهای ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۹۸)؛ و LED روزهای با گردوغبار محلی، یعنی مجموع مشاهدات کدهای گردوغبار حداکثر روزانه (کدهای ۰۷، ۰۸ و ۰۹) است. در این پژوهش، شاخص (DSI) برای ۴۴ ایستگاه کشور به صورت ماهانه و سالانه در طول دوره آماری ۲۸ سال محاسبه شد. در ادامه به منظور تحلیل مکانی این شاخص از روش گشتاور خطی استفاده شد.

#### ۲.۲. تئوری روش گشتاورهای خطی

روش گشتاورهای خطی اولین بار توسط [۱۲، ۹] و بر اساس تابع گشتاور وزن دار احتمالاتی<sup>۱</sup> ارائه گردید. گشتاورهای خطی یکی از روش‌هایی است که برای خلاصه کردن مشخصه‌های آماری مشاهدات براساس تابع گشتاور وزن دار احتمالاتی کاربرد دارد (رابطه ۲). گشتاور وزن دار احتمالاتی برای مقادیر متغیر تصادفی  $X = (X_1, \dots, X_n)$  که به ترتیب صعودی مرتب شده‌اند، با تابع توزیع تجمعی  $F(x)$  و کوانتیل  $F^{-1}(x)$  به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\mu_{p,r,s} = E[X^p \{F(x)\}^r \{1 - F(x)\}^s] = \int_0^1 [x(F)]^p F^r (1 - F)^s df \quad (2)$$

که در آن:

$s, r, p$  اعداد حقیقی هستند و  $\mu_{p,0,0}$  همان تابع گشتاور معمول در آمار با مرتبه  $p$  می‌باشد. گشتاورهای خطی ( $\lambda$ ) توسط برآوردهای گشتاورهای وزن دار احتمالاتی ( $\beta_r$ ) مرتبه  $r$  قابل محاسبه هستند:

$$\mu_{1,r,0} = \beta_r = \int_0^1 x(u) u^r du \quad u = F(x) \quad (3)$$

بدین صورت با استفاده از  $\beta$  گشتاورهای خطی ( $\lambda$ ) به صورت روابط زیر به دست می‌آیند (روابط ۴ تا ۷). بر

<sup>1</sup> Probability Weighted moment (PWM)

<sup>2</sup> Linear coefficient of variation (L-Cv)

<sup>3</sup> Linear coefficient of Skewness (L-Skw)

<sup>4</sup> Linear coefficient of Kurtosis (L-Kur)

انحراف از معیار پراکندگی ایستگاه‌های داخل یک گروه است. به عبارت دیگر، یک معیار ساده پراکندگی نسبت گشتاورهای خطی ایستگاه‌های داخل یک گروه است. بر اساس این معیار در صورتی که مقدار  $H < 1$  باشد منطقه کاملاً همگن است و در این حالت می‌توان از اطلاعات تمام ایستگاه‌هایی که داخل گروه همگن قرار دارند برای تحلیل‌های منطقه‌ای استفاده کرد.

$$H = \frac{V - \mu_v}{\sigma_v} \quad (13)$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^N n_i (\tau^i - \bar{\tau})^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (14)$$

در این روابط  $N$  تعداد ایستگاه‌های داخل یک گروه،  $n_i$  طول داده‌ها در ایستگاه  $i$  و  $\bar{\tau}$  میانگین گشتاور خطی منطقه است.

### ۳.۱.۲.۲. معیار بهترین برازش

بعد از تعیین مناطق همگن بر اساس معیار همگنی، بهترین تابع توزیع برای برازش به داده‌های منطقه‌ای، شاخص (DSI) در هر گروه همگن به کمک آزمون بهترین برازش (Z) تعیین می‌شود. در این آزمون از نسبت گشتاور خطی مرتبه چهارم برای تعیین بهترین تابع توزیع استفاده می‌شود. معیار  $Z$  بر اساس نتایج واقعی و شبیه‌سازی برای پنج تابع توزیع سه متغیره لجستیک تعمیم یافته<sup>۴</sup>، مقادیر حدی تعمیم یافته<sup>۵</sup>، لوگ نرمال سه پارامتری<sup>۶</sup>، پیرسون تیپ<sup>۷</sup> به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$Z^{Dist} = \frac{\overline{\tau_4} - \tau_4^{Dist}}{\sigma_4}, \quad (15)$$

که شامل معیار غیریکنواختی<sup>۱</sup>، معیار همگنی<sup>۲</sup> و معیار بهترین برازش تابع توزیع، ارائه شده است [۱۱].

### ۱.۱.۲.۲. معیار غیر یکنواختی

به معیار غیر یکنواختی ( $D_i$ ) برای مشخص کردن ایستگاه‌هایی که اختلاف معنی‌داری بین نسبت‌های گشتاور خطی آن‌ها با دیگر ایستگاه‌های موجود در گروه باشد، استفاده می‌شود.

$$D_i = \frac{1}{3} (u_i - \bar{u})^T S^{-1} (u_i - \bar{u}) \quad (10)$$

که در آن:

رابطه  $u_i = [\tau^{(i)}, \tau_3^{(i)}, \tau_4^{(i)}]$  بردار گشتاورهای خطی می‌باشد.  $\bar{u}$  بردار میانگین گشتاورهای خطی منطقه‌ای (رابطه ۱۲) و  $S$  ماتریس کوواریانس گشتاورهای خطی منطقه‌ای (رابطه ۱۱) می‌باشند.

$$S = (N_s - 1)^{-1} \sum_{i=1}^{N_s} (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T \quad (11)$$

که در آن:

$N_s$  شماره ایستگاه‌ها در هر گروه است. با توجه به معیار غیریکنواختی، در صورتی که ایستگاه  $i$  دارای  $D \geq 3$  باشد، اختلاف معنی‌داری بین نسبت‌های گشتاور خطی ایستگاه  $i$  و ایستگاه‌های دیگر وجود دارد و باید از گروه حذف شود.

### ۲.۱.۲.۲. معیار همگنی

برای بررسی همگنی ایستگاه‌های داخل یک منطقه، شاخص همگنی  $H$  ارائه شد که بر اساس مقادیر نسبت گشتاور خطی، محاسبه می‌شود (رابطه ۱۳) [۱۲]. معیار همگنی، نزدیکی بین گشتاورهای خطی ایستگاه‌های داخل یک گروه را مقایسه می‌کند. شاخص همگنی معیار

<sup>1</sup> Discordancy Measure

<sup>2</sup> Heterogeneity Measure

<sup>3</sup> Goodness of fit Measure

<sup>4</sup> Generalize Logistic (GLO)

<sup>5</sup> Generalized Extreme Value (GEV)

<sup>6</sup> 3-Parameter Lognormal (LN3)

<sup>7</sup> Pearson Type III (PE3)

که در آن:

$\bar{\tau}_4$  میانگین منطقه‌ای ضریب کشیدگی،  $\tau_4^{Dist}$  ضریب کشیدگی تابع توزیع برازش یافته و  $\sigma_4$  انحراف از معیار  $\bar{\tau}_4$  است که از شبیه‌سازی به دست می‌آید. بدین منظور، نخست ضریب کشیدگی منطقه‌ای ( $\bar{\tau}_4$ ) که حاصل از میانگین وزنی ضریب کشیدگی ایستگاه‌های داخل گروه همگن است، محاسبه شده و سپس این مقدار با  $\tau_4^{Dist}$  که حاصل از برازش هر کدام از توابع توزیع به نسبت‌های گشتاور خطی است، مقایسه می‌شود. بر اساس مقدار  $Z^{Dist}$  بهترین تابع توزیع از بین پنج تابع برازش داده شده تعیین می‌شود. یک توزیع دارای بهترین برازش است در صورتی که مقدار  $|Z^{Dist}| \leq 1.64$  باشد. در صورتی که بر اساس این آزمون هیچ کدام از توزیع‌های سه مؤلفه معنی‌دار نشدند، می‌توان تابع توزیع کاپا و یا Wakeby را برای برازش به داده‌های منطقه‌ای انتخاب کرد.

#### ۴.۱.۲.۲. ارزیابی معیار بهترین برازش (Z)

با توجه به این که نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری دارای عدم قطعیت هستند، برای استفاده بهتر از این نتایج باید مقدار عدم قطعیت ارزیابی شود. به همین منظور نتایج حاصل از معیار بهترین برازش (Z) در انتخاب تابع توزیع در هر منطقه همگن ارزیابی می‌شود. یکی از روش‌های قابل قبول برای ارزیابی معیار Z استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی مونت کارلو است که در هر یک از مناطق همگن ۱۰۰۰۰ بار شبیه‌سازی از مقادیر نسبت‌های گشتاور خطی به دست می‌آید. برای تعیین بهترین تابع توزیع، شبیه‌سازی برای چهار تابع توزیع GEV، GLO، PE3 و LN3 در هر منطقه همگن به صورت جداگانه صورت می‌گیرد. در هر برازش توابع توزیع مختلف بر اساس نتایج شبیه‌سازی یک در صد قابل قبول و در صد انتخابی مربوط به هر تابع توزیع تعیین می‌شود. در صد قابل قبول، تعداد دفعاتی از شبیه‌سازی است که هر تابع توزیع برازش داده شده بر اساس آزمون Z مقدار قابل قبولی دارد. در صد انتخابی، تعداد دفعاتی است که هر تابع توزیع از بین چهار تابع توزیع به عنوان بهترین

برازش انتخاب می‌شود.

### ۳. نتایج

#### ۳.۱. محاسبه شاخص تجربی توفان گردوغبار

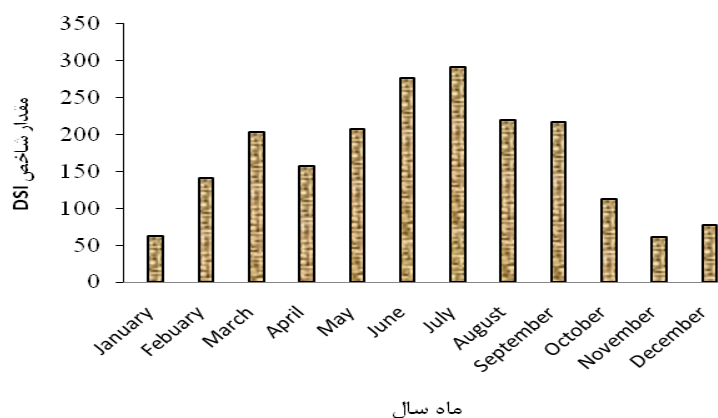
##### (DSI)

مجموع مقادیر شاخص DSI در هریستگاه برای هر ماه در طول دوره آماری ۲۷ سال در ۴۴ ایستگاه سینوپتیک محاسبه شد (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد که مقدار بیشینه شاخص DSI در ماه می، در ۱۳ ایستگاه، در ماه‌های مارس، آوریل، جولای؛ در ۷ ایستگاه، ماه فوریه، در ۴ ایستگاه، ماه دسامبر، در ۳ ایستگاه، ماه‌های اکتبر و آگوست در ۲ ایستگاه و ماه نوامبر در یک ایستگاه دیده می‌شود. قابل ذکر است که مقدار شاخص DSI در ماه‌های ژانویه و سپتامبر، در هیچ کدام از ایستگاه‌ها حداکثر نمی‌باشد که نشان دهنده این است که احتمال رخداد توفان گردوغبار در این ماه‌ها کمتر است (جدول ۳). همچنین مقادیر مجموع سالانه و میانگین ماهانه شاخص DSI برای کل منطقه مورد مطالعه در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

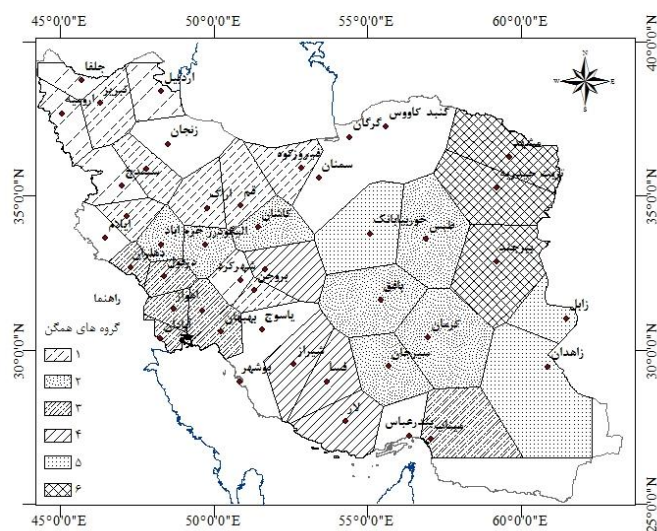
#### ۳.۲. تحلیل منطقه‌ای شاخص تجربی توفان

##### گردوغبار (DSI)

برای تعیین گروه‌های همگن شاخص DSI به صورت ماهانه، ابتدا فرض شد که کل منطقه تشکیل یک گروه همگن را می‌دهد. سپس با توجه به معیار ناجوری و همگنی طی یک فرآیند سعی و خطا، ایستگاه‌های مورد مطالعه به ۶ گروه تقسیم شد، هرچند شماری از ایستگاه‌ها در هیچ گروهی قرار نگرفتند که آن‌ها به صورت مناطق سفید رنگ در شکل ۴ آمده است. مقادیر معیار ناجوری D و نسبت گشتاورهای خطی هر کدام از گروه‌های همگن در جدول‌های ۴ تا ۹، همچنین معیار همگنی H در جدول ۱۰ و نقشه گروه‌های همگن در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۲. مقادیر مجموع سالانه شاخص DSI ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی تیسن گروه‌های همگن شاخص DSI در منطقه مورد مطالعه



جدول ۲. مجموع مقادیر شاخص DSI در هریستگاه در طول دوره آماری ۲۷ سال (۱۹۸۷-۲۰۱۴)

| ایستگاه     | ژانویه | فوریه | مارس  | آوریل | می    | ژوئن  | جولای | اگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر | سالانه |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|--------|
| آبادان      | ۰/۷    | ۱/۳   | ۲/۹۵  | ۳     | ۱۱    | ۷/۲   | ۸/۷۵  | ۸/۱   | ۵/۶۵    | ۲/۲۵  | ۲/۱    | ۰/۴    | ۵۳/۴   |
| اهواز       | ۰/۶۵   | ۲/۴   | ۹/۸   | ۳/۳۵  | ۳/۹   | ۵/۵۵  | ۶/۶   | ۳/۸۵  | ۲/۴     | ۴/۴   | ۱/۳    | ۰/۵    | ۴۴/۷   |
| الیگودرز    | ۰/۰۵   | ۰     | ۰/۲   | ۱/۱   | ۰/۱   | ۰/۱۵  | ۰/۰۵  | ۰/۱۵  | ۰/۱     | ۰/۱۵  | ۰/۰۵   | ۰/۰۵   | ۲/۱۵   |
| اراک        | ۰/۱    | ۰/۴۵  | ۱/۵   | ۱/۹۵  | ۲/۲۵  | ۱/۵۵  | ۲/۰۵  | ۰/۶   | ۰/۹۵    | ۱     | ۰/۱۵   | ۰/۰۵   | ۱۲/۶   |
| اردبیل      | ۵/۳    | ۳/۲۵  | ۱۱/۲  | ۲/۲   | ۵/۳   | ۰/۱   | ۰/۱   | ۰     | ۰/۰۵    | ۶/۲   | ۰/۱    | ۱      | ۳۴/۸   |
| بافق        | ۰/۶    | ۴/۴۵  | ۱۶/۵  | ۲/۳۵  | ۱/۰۵  | ۰/۰۵  | ۰/۳   | ۰/۳   | ۰/۱۵    | ۰/۲   | ۰/۲    | ۰/۲۵   | ۲۷/۶۵  |
| بندرعباس    | ۲/۳۵   | ۱۶/۱  | ۱۲/۷۵ | ۱۰/۸  | ۱۰/۸۵ | ۱۰/۷  | ۱۴/۲  | ۱۴/۴۵ | ۱۰/۰۵   | ۶/۰۵  | ۱۴     | ۱۹/۳۵  | ۱۴۱/۶  |
| بهبهان      | ۰      | ۰/۱   | ۰/۱   | ۰/۲   | ۰/۳۵  | ۰/۱۵  | ۰/۴   | ۰/۳   | ۰/۲     | ۰/۳۵  | ۰/۱    | ۰      | ۲/۲۵   |
| بیجار       | ۰/۰۵   | ۰/۱   | ۰/۲   | ۲/۱   | ۱     | ۰/۸۵  | ۰/۴۵  | ۰/۶۵  | ۱/۴     | ۱/۲۵  | ۰/۵    | ۰/۰۵   | ۸/۶    |
| بیرجند      | ۰/۳۵   | ۰/۹۵  | ۱/۴   | ۲/۱۵  | ۱/۲۵  | ۱/۷   | ۲/۲۵  | ۲/۲۵  | ۰/۲     | ۰/۱۵  | ۰/۲۵   | ۰/۲۵   | ۱۳/۱۵  |
| بوشهر       | ۴/۳    | ۵/۴   | ۹/۴   | ۵/۸۵  | ۹/۸۵  | ۱۰/۱۵ | ۷/۵   | ۶/۶   | ۶/۰۵    | ۴/۸   | ۴/۴۵   | ۳/۴۵   | ۷۷/۸   |
| بروجن       | ۰      | ۰/۰۵  | ۱/۴   | ۰/۱   | ۰/۷   | ۰/۷   | ۰/۳   | ۰/۲   | ۰/۴۵    | ۰/۵۵  | ۰/۱۵   | ۰      | ۴/۶    |
| دهلران      | ۰/۵    | ۰/۹۵  | ۹/۵   | ۱/۵   | ۴/۱   | ۱/۹۵  | ۵/۳   | ۲/۸   | ۲/۷     | ۰/۷   | ۰/۴    | ۰/۱۵   | ۳۰/۵۵  |
| دزفول       | ۱/۱    | ۲/۲   | ۳/۲۵  | ۵/۲   | ۸/۲   | ۵     | ۴/۲۵  | ۳/۱   | ۰/۳۵    | ۳/۶   | ۱/۷۵   | ۰/۶۵   | ۴۵/۶۵  |
| اصفهان      | ۰      | ۰/۲   | ۰/۶   | ۰/۹۵  | ۲/۲۵  | ۱/۵۵  | ۰/۷   | ۰/۷۵  | ۱/۴     | ۱/۳   | ۰/۲۵   | ۰/۱    | ۱۰/۰۵  |
| فسا         | ۰/۱۵   | ۰/۲۵  | ۱/۵۵  | ۱/۶   | ۲/۸   | ۱/۵   | ۲/۷   | ۲/۲   | ۰/۶۵    | ۰/۲۵  | ۰/۳    | ۰/۰۵   | ۱۴     |
| فیروزکوه    | ۰      | ۰/۰۵  | ۰/۵   | ۰/۸   | ۰/۷۵  | ۰/۲۵  | ۰/۰۵  | ۰/۱۵  | ۰/۲۵    | ۰/۰۵  | ۰      | ۰      | ۲/۸۵   |
| قم          | ۰/۲۵   | ۱/۵۵  | ۱۱/۱  | ۶/۱   | ۲/۹۵  | ۱/۶۵  | ۲/۳۵  | ۰/۶۵  | ۰/۲۵    | ۰/۲   | ۳/۲۵   | ۰/۱    | ۳۰/۴   |
| گناباد      | ۰/۰۵   | ۰     | ۰/۰۵  | ۰/۱   | ۰/۲۵  | ۰/۲۵  | ۰/۲   | ۰/۱   | ۰/۳     | ۵/۱   | ۰      | ۰      | ۶/۴    |
| گرگان       | ۰      | ۰/۱   | ۰/۲۵  | ۰/۲۵  | ۰/۲   | ۰/۲۵  | ۰/۰۵  | ۰/۱   | ۰/۱۵    | ۰/۱   | ۰      | ۰      | ۱/۶۵   |
| ایلام       | ۰/۱۵   | ۰     | ۰/۲   | ۰/۴۵  | ۰/۸۵  | ۰/۷   | ۰/۵   | ۰/۴۵  | ۰/۶     | ۰/۳۵  | ۰/۰۵   | ۰      | ۴/۳    |
| جلفا        | ۰/۰۵   | ۰     | ۵/۳   | ۱/۲   | ۱/۵۵  | ۰/۴۵  | ۰/۳   | ۵/۳   | ۱/۴     | ۰/۲۵  | ۰/۲    | ۰      | ۱۶     |
| کاشان       | ۰      | ۵/۱۵  | ۰/۳۵  | ۰/۴۵  | ۰/۵   | ۰/۳   | ۰/۱   | ۰/۲   | ۰/۲     | ۰/۱   | ۰/۰۵   | ۰/۰۵   | ۷/۴۵   |
| کرمان       | ۲/۲    | ۱/۰۵  | ۱۶/۱  | ۸/۵۵  | ۶/۱   | ۱/۲۵  | ۱/۲   | ۰/۵۵  | ۰/۳۵    | ۰/۴۵  | ۰/۳۵   | ۰/۹    | ۵۵/۰۵  |
| کرمانشاه    | ۱/۰۵   | ۱/۰۵  | ۲/۲۵  | ۱/۴   | ۳/۹   | ۰/۵   | ۰/۱   | ۰/۲۵  | ۰/۴     | ۰/۲۵  | ۰/۰۵   | ۰      | ۱۰/۲   |
| خوریابانک   | ۰/۶    | ۲/۹   | ۳/۵   | ۲/۹   | ۴/۲۵  | ۳/۱   | ۱/۰۵  | ۰/۲   | ۱/۳۵    | ۰/۵   | ۴/۶۵   | ۱/۵۵   | ۲۶/۵۵  |
| خرم آباد    | ۰      | ۰/۰۵  | ۰/۱   | ۰     | ۰     | ۰     | ۰/۰۵  | ۰     | ۰/۰۵    | ۰/۰۵  | ۰      | ۰      | ۰/۳    |
| لار         | ۰/۷    | ۱/۱   | ۲/۲۵  | ۳/۱   | ۲/۷   | ۱/۴۵  | ۴/۲۵  | ۲/۲۵  | ۲/۶۵    | ۱/۱۵  | ۱/۰۵   | ۰/۴۵   | ۲۳/۱   |
| مشهد        | ۰/۳۵   | ۱/۷   | ۱/۵   | ۲/۲   | ۲/۹۵  | ۴/۶۵  | ۴/۶۵  | ۴     | ۲/۵۵    | ۱/۵۵  | ۱/۲    | ۵/۳۵   | ۳۲/۶۵  |
| میناب       | ۱/۰۵   | ۱/۴۵  | ۲/۵۵  | ۰/۹۵  | ۱/۳   | ۱/۲۵  | ۲/۷   | ۱/۷   | ۱/۳     | ۰/۴۵  | ۱/۱۵   | ۳      | ۱۸/۸۵  |
| ارومیه      | ۰      | ۰     | ۰/۰۵  | ۰/۶   | ۰/۴   | ۰/۲   | ۱/۰۵  | ۰/۰۵  | ۰/۱۵    | ۰/۲۵  | ۰/۱    | ۰      | ۲/۸۵   |
| رامهرمز     | ۰      | ۱/۴   | ۰/۹   | ۱     | ۲/۲۵  | ۱/۲   | ۱/۲   | ۰/۴۵  | ۰/۶۵    | ۰/۴۵  | ۰/۳    | ۰/۱    | ۹/۹    |
| سنندج       | ۰      | ۰/۲   | ۰/۴۵  | ۱     | ۰/۹۵  | ۰/۸   | ۰/۳۵  | ۰/۳۵  | ۰/۳۵    | ۰/۵۵  | ۰/۳۵   | ۰/۱۵   | ۵/۵    |
| سمنان       | ۰      | ۰/۰۵  | ۰/۲۵  | ۱/۳   | ۰/۳۵  | ۵     | ۰/۱   | ۰/۱   | ۰/۱۵    | ۰/۲۵  | ۰/۱    | ۰      | ۷/۶۵   |
| شهرکرد      | ۰      | ۰/۰۵  | ۰/۳   | ۰/۳   | ۰/۷۵  | ۰/۴۵  | ۰/۱۵  | ۰/۰۵  | ۰/۳     | ۰/۵   | ۰/۲    | ۰      | ۳/۰۵   |
| شیراز       | ۰/۹    | ۱/۹   | ۵/۲   | ۶/۲   | ۸/۳۵  | ۴/۵   | ۶/۵۵  | ۳/۹   | ۲/۶     | ۱/۸۵  | ۱/۰۵   | ۱      | ۴۴     |
| سیرجان      | ۰/۷۵   | ۱/۳   | ۳/۱   | ۳/۲۵  | ۱/۳۵  | ۰/۶   | ۲/۲   | ۰/۸۵  | ۰/۳     | ۰/۲۵  | ۰/۱۵   | ۰/۴    | ۱۴/۵   |
| طیس         | ۰/۷    | ۱/۵۵  | ۳/۶۵  | ۱۰/۹۵ | ۱۱/۵۵ | ۵/۶۵  | ۵/۹۵  | ۴/۱   | ۲       | ۱/۵   | ۱/۹    | ۰/۶    | ۵۰/۱   |
| تبریز       | ۰/۱    | ۵/۳۵  | ۳/۲۵  | ۳/۳   | ۳/۸۵  | ۲/۱۵  | ۱     | ۰/۷۵  | ۲/۱۵    | ۰/۹۵  | ۰/۷    | ۰/۱    | ۲۳/۶۵  |
| تربت حیدریه | ۰/۰۵   | ۰/۲۵  | ۱     | ۰/۷۵  | ۱/۱۵  | ۰/۹   | ۱/۷۵  | ۰/۴   | ۰/۸۵    | ۰/۴۵  | ۰/۳    | ۰/۱۵   | ۸      |
| یاسوج       | ۰/۰۵   | ۰     | ۰/۲۵  | ۰/۳   | ۰/۹   | ۰/۵۵  | ۰/۵۵  | ۰/۱۵  | ۰/۱     | ۱/۰۵  | ۰/۱۵   | ۰/۰۵   | ۴/۱    |
| زابل        | ۱۵/۳   | ۲۶/۲۵ | ۲۷/۱۵ | ۳۳/۵۵ | ۷۳/۵۵ | ۱۸۰/۱ | ۱۸۲/۷ | ۱۳۶/۳ | ۱۵۱/۲۵  | ۵۷/۲  | ۱۶/۴۵  | ۲۰/۲   | ۹۲۰    |
| زاهدان      | ۲۱/۹   | ۳۳/۵۵ | ۲۹/۱۵ | ۲۰/۸  | ۸/۹۵  | ۸/۷   | ۱۳/۸  | ۹/۳۵  | ۴/۱۵    | ۲/۶   | ۱/۷۵   | ۱۶/۶۵  | ۱۷۱/۳  |
| زنجان       | ۰      | ۰/۰۵  | ۰/۳   | ۰/۴   | ۰/۳   | ۰/۲   | ۰/۱   | ۰/۲   | ۰/۱     | ۰/۳   | ۰      | ۰/۰۵   | ۲      |

جدول ۳. ماه‌های توأم با رخداد بیشینه شاخص DSI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

| ایستگاه  | ماه میلادی  |
|----------|-------------|
| -        | ژانویه      |
| -        | فوریه       |
| -        | مارس        |
| -        | آوریل       |
| -        | می          |
| -        | ژوئن        |
| -        | جولای       |
| -        | آگوست       |
| -        | سپتامبر     |
| -        | اکتبر       |
| -        | نوامبر      |
| -        | دسامبر      |
| کاشان    | زاهدان      |
| کرمان    | خرم آباد    |
| دهلران   | زنجان       |
| گرگان    | شیراز       |
| سنندج    | سیرجان      |
| اصفهان   | بوشهر       |
| ارومیه   | زابل        |
| لار      | بیرجند      |
| -        | جلفا        |
| -        | -           |
| -        | گناباد      |
| -        | خوربیاپانک  |
| میناب    | بندرعباس    |
| قم       | شهرکرد      |
| سنندج    | طبس         |
| رامهرمز  | سمنان       |
| دزفول    | تربت حیدریه |
| بیرجند   | بهره‌بهر    |
| بافق     | -           |
| اردبیل   | -           |
| اهواز    | -           |
| الیگودرز | -           |
| فسا      | -           |
| آبادان   | -           |
| -        | -           |
| -        | -           |
| -        | -           |
| -        | -           |
| -        | -           |

جدول ۴. مقادیر معیار ناجوری D و نسبت گشتاورهای خطی در گروه یک

| ایستگاه          | L-CV  | L-SK  | L-KU   | D(I) |
|------------------|-------|-------|--------|------|
| اراک             | ۰/۴۳۹ | ۰/۱۱۳ | -۰/۰۰۷ | ۱/۶۲ |
| اردبیل           | ۰/۶۲۷ | ۰/۳۷۱ | ۰/۰۹۳  | ۰/۷۹ |
| بیرجند           | ۰/۴۹۱ | ۰/۲۵۵ | ۰/۱۰۰  | ۰/۲۸ |
| بروجن            | ۰/۵۵۹ | ۰/۳۳۳ | ۰/۱۴۵  | ۰/۱۲ |
| فیروزکوه         | ۰/۶۳۲ | ۰/۳۹۵ | ۰/۱۰۱  | ۱/۱۹ |
| قم               | ۰/۶۱۱ | ۰/۴۵۹ | ۰/۲۴۰  | ۰/۷۳ |
| جلفا             | ۰/۶۷۹ | ۰/۴۹۱ | ۰/۱۹۵  | ۰/۵۸ |
| کرمانشاه         | ۰/۶۶۱ | ۰/۵۰۰ | ۰/۲۳۸  | ۰/۶۸ |
| ارومیه           | ۰/۶۴۶ | ۰/۴۶۱ | ۰/۲۲۱  | ۰/۷۸ |
| سنندج            | ۰/۳۸۴ | ۰/۱۹۸ | ۰/۱۵۴  | ۲/۲۹ |
| شهرکرد           | ۰/۴۹۹ | ۰/۲۲۸ | ۰/۱۰۹  | ۱/۹۵ |
| تبریز            | ۰/۴۷۲ | ۰/۲۳۳ | ۰/۰۷۶  | ۱    |
| میانگین منطقه‌ای | ۰/۵۵۸ | ۰/۳۳۶ | ۰/۱۳۸  | -    |

جدول ۵. مقادیر معیار ناجوری D و نسبت گشتاورهای خطی در گروه دو

| ایستگاه          | L-CV  | L-SK  | L-KU  | D(I) |
|------------------|-------|-------|-------|------|
| بافق             | ۰/۷۵۶ | ۰/۷۰۴ | ۰/۴۷۰ | ۰/۶۹ |
| کاشان            | ۰/۷۵۶ | ۰/۷۲۱ | ۰/۵۵۸ | ۱/۰۶ |
| طبس              | ۰/۴۷۸ | ۰/۳۴۰ | ۰/۱۲۶ | ۰/۶۸ |
| کرمان            | ۰/۶۵۱ | ۰/۴۹۰ | ۰/۱۵۴ | ۱/۵۰ |
| خرم آباد         | ۰/۶۶۴ | ۰/۳۸۲ | ۰/۰۴۹ | ۱/۶۷ |
| الیگودرز         | ۰/۶۰۴ | ۰/۶۱۰ | ۰/۴۸۲ | ۰/۷۶ |
| سیرجان           | ۰/۴۸۵ | ۰/۳۲۸ | ۰/۱۰۵ | ۰/۶۳ |
| میانگین منطقه‌ای | ۰/۶۲۷ | ۰/۵۱۰ | ۰/۲۷۷ | -    |

جدول ۶. مقادیر معیار ناجوری D و نسبت گشتاورهای خطی در گروه سه

| ایستگاه          | L-CV  | L-SK  | L-KU  | D(I) |
|------------------|-------|-------|-------|------|
| آبادان           | ۰/۴۵۰ | ۰/۲۲۵ | ۰/۰۴۹ | ۱/۴۳ |
| اهواز            | ۰/۳۹۹ | ۰/۲۲۳ | ۰/۱۷۸ | ۰/۴۵ |
| بهبهان           | ۰/۴۱۹ | ۰/۱۱۵ | ۰/۰۴۰ | ۰/۹۱ |
| دلوران           | ۰/۵۳۹ | ۰/۳۷۹ | ۰/۲۰۵ | ۱/۷۳ |
| دزفول            | ۰/۳۵۶ | ۰/۱۷۳ | ۰/۱۳۳ | ۰/۲۳ |
| میناب            | ۰/۲۸۰ | ۰/۲۳۵ | ۰/۱۹۰ | ۱/۶۳ |
| رامهرمز          | ۰/۴۳۲ | ۰/۱۸۹ | ۰/۱۳۷ | ۰/۶۱ |
| میانگین منطقه‌ای | ۰/۴۱۰ | ۰/۲۲۲ | ۰/۱۳۳ | -    |

جدول ۷. مقادیر معیار ناجوری D و نسبت گشتاورهای خطی در گروه چهار

| ایستگاه          | L-CV  | L-SK  | L-KU   | D(I) |
|------------------|-------|-------|--------|------|
| اصفهان           | ۰/۴۶۱ | ۰/۱۹۹ | ۰/۰۹۴  | ۱/۰۰ |
| فسا              | ۰/۴۹۰ | ۰/۲۰۸ | -۰/۰۰۵ | ۱/۰۰ |
| لار              | ۰/۳۳۸ | ۰/۱۷۸ | ۰/۱۱۰  | ۱/۰۰ |
| شیراز            | ۰/۳۹۲ | ۲۰۲   | ۰/۰۴۰  | ۱/۰۰ |
| میانگین منطقه‌ای | ۰/۴۲۰ | ۰/۱۹۶ | ۰/۰۵۹  | -    |

جدول ۸. مقادیر معیار ناجوری D و نسبت گشتاورهای خطی در گروه پنج

| ایستگاه          | L-CV  | L-SK  | L-KU  | D(I) |
|------------------|-------|-------|-------|------|
| خوربیابانک       | ۰/۳۹۹ | ۰/۱۱۶ | ۰/۰۲۴ | ۱/۰۰ |
| زابل             | ۰/۴۳۷ | ۰/۲۹۳ | ۰/۰۰۱ | ۱/۰۰ |
| زاهدان           | ۰/۴۱۵ | ۰/۲۰۳ | ۰/۰۸۷ | ۱/۰۰ |
| میانگین منطقه‌ای | ۰/۴۲۹ | ۰/۲۰۴ | ۰/۰۳۷ | -    |

جدول ۹. مقادیر معیار ناجوری D و نسبت گشتاورهای خطی در گروه شش

| ایستگاه          | L-CV  | L-SK  | L-KU   | D(I) |
|------------------|-------|-------|--------|------|
| بیرجند           | ۰/۴۴۰ | ۰/۱۴۸ | -۰/۰۵۷ | ۱/۰۰ |
| مشهد             | ۰/۳۴۳ | ۰/۱۵۰ | ۰/۰۶۶  | ۱/۰۰ |
| تربت حیدریه      | ۰/۴۱۷ | ۰/۲۰۶ | ۰/۱۱۹  | ۱/۰۰ |
| میانگین منطقه‌ای | ۰/۴۰۰ | ۰/۱۶۸ | ۰/۰۴۲  | -    |

جدول ۱۰. مقادیر معیار همگنی H در هر گروه همگن

| گروه همگن | H     | $\sigma_v$ | $\mu_v$ | V     |
|-----------|-------|------------|---------|-------|
| ۱         | ۰/۳۳  | ۰/۰۹۳      | ۰/۰۸۷   | ۰/۰۱۹ |
| ۲         | ۰/۸۳  | ۰/۱۰۵      | ۰/۰۸۵   | ۰/۰۲۴ |
| ۳         | ۰/۱۳  | ۰/۰۷۴      | ۰/۰۷۱   | ۰/۰۲۱ |
| ۴         | ۰/۰۰  | ۰/۰۵۹      | ۰/۰۵۹   | ۰/۰۲۴ |
| ۵         | -۰/۷۹ | ۰/۳۱۸      | ۰/۰۵۱   | ۰/۰۲۵ |
| ۶         | -۰/۳۹ | ۰/۰۴۱      | ۰/۰۵۱   | ۰/۰۲۴ |

همان گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است شاخص DSI در بخش های غربی کشور بیشتر در گروه های ۱ و ۲ و ۳ طبقه بندی شده اند که از تابع توزیع پیرسون نوع ۳ تبعیت می کنند. بخش های مرکزی در گروه ۵ قرار گرفته است که از تابع توزیع پیرسون نوع ۳ و لوگ نرمال سه پارامتره برخوردار می باشد. بخش های شمال شرقی در گروه ۶ واقع شده و شاخص DSI در آن نواحی از تابع توزیع پیرسون نوع ۳ و لوگ نرمال سه پارامتره تبعیت می کند.

### ۳.۳. تخمین منطقه ای

بعد از تقسیم منطقه مورد مطالعه به مناطق همگن شاخص DSI، برای تحلیل فراوانی منطقه ای با استفاده از

۵۰۰ شبیه سازی، پنج تابع توزیع سه پارامتری به هر کدام از مناطق همگن برازش داده شد و تابع توزیع مناسب با استفاده از آزمون Z انتخاب شد. بدین منظور توابع توزیعی که دارای  $|Z| \leq 1.64$  هستند به عنوان بهترین تابع توزیع برای کل منطقه همگن در نظر گرفته شد. از بین چهار تابع توزیعی که به گروه های همگن برازش داده شد، تابع لجستیک تعمیم یافته برای گروه همگن دو و سه و پنج بر اساس مقدار Z به عنوان مناسب ترین تابع توزیع تشخیص داده شد. برای گروه همگن یک و چهار هیچ کدام از چهار تابع توزیع برازش داده شده، انتخاب نشد ( $|Z| > 1.64$ ). مقادیر Z برای گروه های همگن در جدول ۱۱ آمده است.

جدول ۱۱. مقادیر آزمون بهترین برازش Z توابع توزیع گروه های همگن

| گروه | تابع توزیع | مقدار z |
|------|------------|---------|
| ۱    | GLO        | ۲/۷۲    |
|      | GEV        | ۲/۲۰    |
|      | LN3*       | ۱/۶۲    |
|      | PE3*       | ۰/۶۴    |
| ۲    | GLO*       | ۱/۰۳    |
|      | GEV*       | ۰/۹۲    |
|      | LN3*       | ۰/۳۳    |
|      | PE3*       | -۰/۶۵   |
| ۳    | GLO*       | ۱/۴۷    |
|      | GEV*       | ۰/۷۹    |
|      | LN3*       | ۰/۵۷    |
|      | PE3*       | ۰/۱۵    |
| ۴    | GLO        | ۲/۳۹    |
|      | GEV        | ۱/۷۹    |
|      | LN3        | ۱/۶۶    |
|      | PE3*       | ۱/۳۸    |
| ۵    | GLO        | ۲/۴۷    |
|      | GEV        | ۱/۹۵    |
|      | LN3        | ۱/۸۲    |
|      | PE3*       | ۱/۵۶    |
| ۶    | GLO        | ۲/۳۱    |
|      | GEV        | ۱/۷۱    |
|      | LN3*       | ۱/۶۴    |
|      | PE3*       | ۱/۴۵    |

\*: تابع توزیع انتخابی

دست آمد. بر این اساس، تابع پیرسون تیپ ۳ برای گروه های یک، چهار، پنج و شش و تابع توزیع لجستیک تعمیم یافته برای گروه دو و سه دارای بیشترین درصد انتخابی نسبت به توابع دیگر است (جدول ۱۲).

برای ارزیابی دقت انتخاب آزمون بهترین برازش (Z)، مقادیر گشتاورهای خطی در هر گروه همگن با استفاده از الگوریتم مونت کارلو ۱۰۰۰۰ بار شبیه‌سازی شد. بر اساس داده‌های حاصل از شبیه‌سازی برای هر تابع توزیع، درصد قابل قبول و درصد انتخابی در هر بار برازش تابع توزیع به

جدول ۱۲. نتایج شبیه‌سازی چهار تابع توزیع برای ارزیابی معیار Z در گروه‌های همگن

| گروه | توزیع برازش داده شده | درصد قابل قبول |      |      |      | درصد انتخابی |      |      |      |
|------|----------------------|----------------|------|------|------|--------------|------|------|------|
|      |                      | PE3            | GNO  | GEV  | GLO  | PE3          | GNO  | GEV  | GLO  |
| ۱    | PE3*                 | ۰/۷۵           | ۰/۸۲ | ۰/۸۳ | ۰/۸۰ | ۰/۳۰         | ۰/۱۸ | ۰/۰۸ | ۰/۳۳ |
| ۲    | GLO*                 | ۰/۷۹           | ۰/۶۹ | ۰/۷۹ | ۰/۴۴ | ۰/۶۴         | ۰/۱۱ | ۰/۱۲ | ۰/۱۰ |
| ۳    | GLO*                 | ۰/۷۵           | ۰/۸۱ | ۰/۸۳ | ۰/۷۷ | ۰/۴۲         | ۰/۱۶ | ۰/۱۰ | ۰/۳۰ |
| ۴    | PE3*                 | ۰/۷۵           | ۰/۸۲ | ۰/۸۳ | ۰/۸۰ | ۰/۳۲         | ۰/۱۸ | ۰/۰۸ | ۰/۳۹ |
| ۵    | PE3*                 | ۰/۷۶           | ۰/۷۹ | ۰/۸۰ | ۰/۳۰ | ۰/۱۳         | ۰/۰۸ | ۰/۰۷ | ۰/۴۷ |
| ۶    | PE3*                 | ۰/۷۵           | ۰/۸۱ | ۰/۸۲ | ۰/۸۰ | ۰/۳۰         | ۰/۲۲ | ۰/۰۷ | ۰/۳۷ |

منطقه‌ای نشان داد، گروه ۵ با بیشترین میانگین منطقه‌ای شاخص گردوغبار ۳۱/۰۵، بحرانی‌ترین منطقه است. وجود دو ایستگاه شاخص زابل و زاهدان در این گروه نتایج به دست آمده از روش گشتاور خطی را تأیید می‌کند. گروه ۳ دومین منطقه بحرانی با میانگین منطقه‌ای شاخص گردوغبار ۲/۷۱، با دو ایستگاه شاخص اهواز و آبادان است. گروه ۲ با میانگین منطقه‌ای شاخص گردوغبار ۲/۳۴، به عنوان سومین منطقه بحرانی گردوغبار در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. همچنین گروه‌های ۴، ۶ و ۱ به ترتیب با میانگین منطقه‌ای شاخص گردوغبار ۱/۸۹، ۱/۴۹ و ۱/۰۷ به عنوان سایر مناطق تعیین شدند. قابل ذکر است تحلیل منطقه‌ای شاخص گردوغبار این امکان را می‌دهد تا در نقاطی که اطلاعات کافی وجود ندارد و یا فاقد اطلاعات هستند، بتوان از ویژگی‌های آن منطقه در زمینه رخداد گردوغبار مطلع شد. پس این تحلیل، فرصت مناسبی را برای استفاده از مشخصه‌های مشابه شاخص گردوغبار در ایستگاه‌های مختلف داخل یک گروه را فراهم می‌کند. همچنین می‌توان از مقادیر تخمین منطقه‌ای برای نقاط فاقد آمار در محدوده

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

شاخص DSI به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های در محاسبه توفان گردوغبار، دارای تغییرات مکانی و زمانی است. بررسی مجموع سالانه DSI در ۴۴ ایستگاه نشان داد که کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه‌های خرم آباد، گرگان، زنجان، ارومیه، فیروزکوه، شهرکرد، یاسوج و بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه‌های زابل و زاهدان است. در این پژوهش، تحلیل منطقه‌ای فراوانی میانگین ماهانه این شاخص با استفاده از روش گشتاور خطی انجام شد. بررسی توزیع مکانی شاخص گردوغبار در ۴۴ ایستگاه در دوره آماری (۱۹۸۷-۲۰۱۴) حاکی از آن است که شاخص DSI در بخش‌های غربی کشور در سه گروه همگن، بخش‌های مرکزی در یک گروه همگن و بخش‌های شمال شرقی نیز در یک گروه همگن طبقه‌بندی شده‌اند. از نتایج به‌دست آمده در گروه‌های همگن می‌توان برای اولویت‌بندی مناطق بحرانی گردوغبار استفاده نمود. به همین منظور مقادیر میانگین منطقه‌ای در هر گروه همگن بررسی و مقایسه گردید. نتایج بررسی مقادیر میانگین

گشتاور در تخمین چارک‌های سرعت باد گزارش شده است [۸]، استفاده از این روش را برای بررسی داده‌های سرعت باد در سایر نقاط جهان به منظور ارائه تخمین‌های بهتر از چارک‌های سرعت باد را رویکردی تازه دانسته و تابع توزیع لجستیک تعمیم یافته را به عنوان بهترین تابع برای برازش به داده‌های سرعت باد تعیین نموده‌اند. نتایج بررسی بر روی عامل سرعت باد در فرسایش بادی با استفاده از روش گشتاورهای خطی نشان دهنده قابلیت تابع لجستیک تعمیم یافته به عنوان بهترین تابع است [۱۴]. همچنین نتایج تحلیل مکانی عامل اقلیمی خطر فرسایش بادی در استان فارس با استفاده از روش گشتاورهای خطی نشان دهنده این است تابع لجستیک تعمیم یافته به عنوان بهترین تابع توزیع منطقه‌ای برای گروه‌های همگن سرعت باد است [۱۶]. بنابراین، تحلیل منطقه‌ای می‌تواند اطلاعات صحیحی را با شناخت وضعیت موجود، فراهم نماید. یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند برای برنامه‌ریزی برای کاهش پیامدهای منفی ناشی از گرد و غبار استفاده شود. دسته بندی شاخص توفان گردوغبار به شناسایی دقیق مناطق تحت تأثیر پدیده گردوغبار و اولویت‌بندی و برنامه‌ریزی برای جلوگیری و یا کاهش تأثیر مخرب این مخاطره محیطی کمک می‌کند.

مورد مطالعه استفاده نمود. چندین ایستگاه که از نظر شاخص گردوغبار همگن نبودند مانند سمنان، گرگان، زنجان، بوشهر، بندرعباس و یاسوج در هیچ یک از گروه‌ها قرار نگرفتند. همچنین در بیشتر ایستگاه‌ها، بیشینه رخداد گردوغبار در ماه می و کمترین آن در ماه‌های ژانویه و سپتامبر و همچنین مجموع مقادیر ماهانه شاخص DSI برای کل منطقه مورد مطالعه در ماه جولای دیده می‌شود. در سال‌های اخیر فراوانی رخداد توفان گرد و خاک در کشور معضلات محیط زیستی و اقتصادی بسیاری را ایجاد کرده است. نتایج پژوهش‌های [۴] نشان دهنده این است که ماه می بیشترین تعداد وقوع گرد و غبار را نسبت به ماه‌های دیگر سال در استان خراسان داشته است. نتایج پژوهشی دیگر در ارتباط با استفاده از شاخص توفان گرد و غبار به عنوان روشی مناسب برای پایش طولانی مدت فرسایش بادی در ایران مرکزی حاکی از تشدید فرسایش بادی در سال‌های اخیر است. با افزایش شاخص توفان گرد و غبار در سال‌های اخیر بخش‌های مرکزی و جنوبی ایران مرکزی بیشترین شدت فرسایش بادی را نشان می‌دهند [۲۱]. در پژوهش حاضر، تحلیل منطقه‌ای فراوانی میانگین ماهانه شاخص DSI با استفاده از روش گشتاور خطی انجام شد. استفاده از این روش

## References

- [1] Akhlaq, M., Sheltami, T. and Mouftah, H. (2012). A review of techniques and technologies for sand and dust storm detection. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 11(3), 305-322.
- [2] Aliabadi, K., Asadi Zangene, M.A. and Dadashi Roudbari, A. (2015). Evaluation and monitoring dust storm by using remote sensing (Case study: West and southwest of Iran). *Journal of Rescue & Relief*, 7 (1), 1 - 20.
- [3] Ashrafi, K., Shafiepour-Motlagh, M. Aslemand, A. and Ghader, S. (2014). Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT. *Journal of environmental health science and engineering*, 12(1), 9. doi: 10.1186/2052-336X-12-9.
- [4] Boroghani, M., Moradi, H. and Pourhashemi, S. (2017). Evaluate the role of drought for the frequency of dust in Khorasan Razavi. *Journal of Environmental Science and Technology* (in Farsi).
- [5] Broomandi, P., and Bakhtiar Pour, A. (2017). Dust Source Identification Using Physical-Chemical Characterization and Numerical Modeling in Masjed Soleyman. *Journal of Health and Environment*, 9(4), 517-526 (in Farsi).
- [6] Choobari, O., Alizadeh Zawar, R. and Sturman, A. (2014). The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review. *Journal of Atmospheric research*, 138, 152-165.

- [7] Givvehchi, R., Arhami, M. and Tajrishy, M. (2013). Contribution of the Middle Eastern dust source areas to PM 10 levels in urban receptors: case study of Tehran, Iran. *Journal of Atmospheric environment*, 75, 287-295.
- [8] Goel, NK., Burn, Donald H, Pandey, Mahesh D, and Ying, An. (2004). Wind quantile estimation using a pooled frequency analysis approach. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 92(6), 509-528.
- [9] Greenwood, J., Arthur, Landwehr, J. Maciunas, Matalas, Nicolas, C. and Wallis, James R. (1979). Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. *Journal of Water Resources Research*, 15(5), 1049-1054.
- [10] Hahnenberger, M., and Nicoll, K. (2012). Meteorological characteristics of dust storm events in the eastern Great Basin of Utah, USA. *Journal of Atmospheric environment*, 60, 601-612.
- [11] Hosking, Jonathan Richard Morley, and Wallis, James R. (2005). Regional frequency analysis: an approach based on L-moments: Cambridge University Press.
- [12] Hosking, Jonathan RM. (1986). The theory of probability weighted moments: IBM Research Division, TJ Watson Research Center.
- [13] Kashki, A., Mousavi, S. H., and Khoshhal Dastjerdi, J. (2012). Synoptic analysis of Ilam dust storms (1987 - 2005). *Journal of Geography and Environmental Planning*, 23(2), 15-34 (in Farsi).
- [14] Modarres, R. (2008). Regional frequency distribution type of low flow in North of Iran by L-moments. *Journal of Water Resources Management*, 22(7), 823-841.
- [15] O'Loingsigh, T., McTainsh, GH. Tews, EK. Strong, CL. Leys, JF. Shinkfield, Phil. and Tapper, NJ. (2014). The Dust Storm Index (DSI): A method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Journal of Aeolian Research*, 12, 29-40.
- [16] Pouyan, S., Ganji, A. and Behnia, P. (2011). Regional analysis of wind climatic erosivity factor: a case study in fars province, southwest Iran. *Journal of Theoretical and applied climatology*, 105(3-4), 553-562.
- [17] Rashki, A., Kaskaoutis, DG. Goudie, A. S., and Kahn, RA. (2013). Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Journal of Science of the Total Environment*, 463, 552-564.
- [18] Rezazadeh, M., Irannejad, P. and Shao, Y. (2013). Climatology of the Middle East dust events. *Journal of Aeolian Research*, 10, 103-109.
- [19] Shao, Y., Wyrwoll, K.H. Chappell, A. Huang, J. Lin, Z. McTainsh, G. and Yoon, S. (2011). Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Journal of Aeolian Research*, 2(4), 181-204.
- [20] Tan, M., Li, X. and Xin, L. (2014). Intensity of dust storms in China from 1980 to 2007: A new definition. *Journal of Atmospheric environment*, 85, 215-222.
- [21] Vali, A., and Roustaei, F. (2018). Investigation of the Wind Erosion Trend in Central Iran using Dust Storm Index in the Last Fifty Years. *Journal of Water and Soil Sci*, 21(4), 189-200 (in Farsi).
- [22] Zeinali, B., & Asghari, S. (2016). Mapping and monitoring of dust storms in Iran by fuzzy clustering and remote sensing techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(9), 549.

