نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱.

صفحات ۱۴۱ -۱۶۰

پیش بینی میانگین حداکثر سرعت سالیانه باد در منطقه سیستان با استفاده از روش رگرسیون فضایی– زمانی

احمد حسینی[۱]؛ استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای دانشگاه پیام نور(واحد بیرجند)،بیرجند، ایران.

عماد اشتری نژاد؛ دکتری آمار ریاضی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

دریافت مقاله :۱۳۹۹/۱۱/۲۰ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۰۸/۰۳

چکیده

باد یک کمیت برداری است که از مراکز پرفشار به طرف مراکز کم فشار به حرکت در می‌آید و با دو فاکتورسنجیده می شود، جهت باد که مبدأ آن شمال جغرافیایی بوده و در جهت عقربه های ساعت درجات آن افزایش می یابد و سرعت باد که جریان افقی هوا است که در واحد زمان سنجیده می شود. سرعت حرکت باد می تواند با تفکیک ذرات کلوئیدی شامل رس وسلیت را از محل تخریب تا فاصله صدها کیلومتر منتقل کند . مطالعات نشان می دهد که بیشترین روزهای گرد و غباری در مناطق شرقی کشور به وقوع می پیوندد به طوری که در محدوده وزش بادهای۱۲۰ روزه سیستان،فراوانی وقوع گرد و غبار در سال به بیش از۱۵۰ روز می رسد.. لذا با توجه به اهمّیت موضوع بررسی و پیش بینی میانگین عددی حداکثر سرعت باد سالیانه با استفاده از روش رگرسیون فضایی-زمانی در این تحقیق مد نظر قرارگرفت بررسی پارامتر هایی همچون: خود همبستگی ، ایستایی ، نرمال بودن خطاها ، عدم همبستگی آنها، همسانی واریانس خطاها و بررسی هم خطی با استفاده از شاخص تورم واریانس نشان داد که مدل های عددی رگرسیون فضایی-زمانی داده ها ، این قابلیت را دارند که می توانند میانگین حداکثرسرعت باد را در طی سالهای آینده پیش بینی کنند نتایج نیز نشان می دهد که رگرسیون فضایی-زمانی تا سال ۲۰۲۲ می تواند سرعت باد را پیش بینی کند

مدل عددی بیانگر آنست که کمترین میانگین سالیانه سرعت باد طی سال های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲ مربوط به ایستگاه قاین است و روند پیش بینی آن نشان می دهد تا سال ۲۰۲۲ از میانگین سالیانه سرعت باد کاسته می شود. بیشترین میزان میانگین سالیانه سرعت باد مربوط به ایستگاه زابل است که روند پیش بینی این ایستگاه نشان می دهد از میانگین سالیانه سرعت باد تا ۲۰۲۲ کاسته می شود.

واژه های کلیدی: رگرسیون فضایی-زمانی، پیش بینی سرعت باد سالیانه، منطقه سیستان

[۱] . نویسنده مسئول

Email: ahmad_hossayni@pnu.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

مقدمه

باد جریان هوایی است که از مراکز پرفشار به طرف مراکز کم فشار به حرکت در می‌آید. (ولایتی ،۲۶:۱۳۸۵) هر چند گرادیان فشار بین دو نقطه بیشتر باشد شدت جریان هوا نیز بیشتر و باد قوی تر خواهد بود (اجلالی ، ۱۵۵،۱۶۰:۱۳۸۷). معمولاً سرعت باد با تفکیک مواد نرم سطحی از محل تخریب شروع می شود و تا فاصله صدها کیلومتری ادامه پیدا می کند وگرد و غبار حاصله ازآن که اغلب از ذرات کلوئیدی (رس و سیلت) تشکیل شده است، کمتر تابع مانع بوده و بیشتر به قدرت حرکت باد بستگی دارد (سالاری،۳۶:۱۳۷۵). مطالعات در این زمینه نشان می دهد که با افزایش سرعت باد و کاهش پوشش گیاهی، میزان گرد و غبار افزایش می یابد (Kurosaki &. Mikami،۲۰۰۵). نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل توزیع زمانی- مکانی طوفان های شن و ماسه در منطقه کیسلین گل مغولستان داخلی توسط مانگ- مانگ گو و دیگران(Mang-Mang Gou & etc., ۲۰۱۰) نشان داد که عواملی مانند بادهای قوی نسبت به باران و حرارت تأثیری بیشتری بر طوفان شن و ماسه دارند ضریب همبستگی بین روز طوفان شن و ماسه و روز باد قوی ۰/۸۹ است. بیشترین روزهای طوفان شن و ماسه در غرب نسبت به شرق دیده می شود به طوری که فرکانس طوفان شن در ۳۰ سال گذشته به طور مداوم کاهش یافته است.

مطالعات در ایران نیز نشان می دهد که افزایش سرعت باد با افزایش گرد و غبار رابطه مستقیمی دارد ، بررسی آماری پدیده گرد و غبار و تحلیل الگوی وزش بادهای مولد در شهرستان سبزوار نشان داد که بیشترین احتمال وقوع گرد و غبار در ماه های اردیبهشت و خرداد است و در بیش از ۷۱ درصد مواقع سرعت باد در ساعات بعد از ظهر افزایش می یابد (مهرشاهی و نکونام،۱۳۸۸)

اهمّیت این مسئله در منطقه سیستان به حدی است که مک ماهون (McMahon, ۱۹۰۵) هنگامی که به همراه یک گروه تحقیقاتی ۱۰۰۰ نفره برای مدت دو سال درصدد نقشه برداری از مرزهای شرقی ایران بود ، به دفعات با طوفان های شدیدی در منطقه سیستان مواجه شد، بنا به اظهارات ماهون «در سرزمین بادها»، باد ۱۲۰ روزه با شدت و تداوم بالای خود طی ماه های ژوئن تا سپتامبر ۱۹۰۴، ضمن ایجاد طوفان های گرد و غباری و ماسه ای سهمگین علاوه بر جایگزین نمودن باتلاق های عمیق با تپه های ماسه ای به ارتفاع ۳ متر، یکی دو روستا را نیز در زمان اقامت آن ها در محدوده سیستان دفن نموده است. در همین زمینه بررسی های انجام شده پروسپرو و همکاران (Prospero, & etc., ۲۰۰۲) نشان داد که درایران وقوع طوفان ها به شدت از توپوگرافی منطقه تأثیر می گیرد به طوری که در چاله های محصور شده سیستان میزان طوفان های گرد و غباری به شدت افزایش پیدا می کند. در این زمینه می توان گفت عامل اصلی ایجاد طوفان های گرد و غباری منطقه سیستان بادهای۱۲۰ روزه سیستان ، تشکیل یک ناحیه ی پرفشار در شمال شرقی ایران و دریای خزر، و وجود یک مرکز کم فشار در شرق ایران در فصل تابستان است (حسین زاده،۱۳۷۶)

مطالعات نشان می دهد که در محدوده وزش بادهای۱۲۰ روزه سیستان، فراوانی وقوع گرد و غبار در سال به بیش از ۱۵۰ روز می رسد (علیجانی،۳۴:۱۳۸۲). نتایج نهایی در خصوص تحلیل فضایی و زمانی کدهای طوفان های گرد و غباری نشان داد که ایستگاه زابل با میانگین فراوانی ۱۸۳ روز بیشترین تعداد روزهای طوفانی و پس از آن ایستگاه زاهدان، طبس، ایرانشهر، به ترتیب بیشترین فراوانی ها را دارند (فرج زاده،۱۳۹۰). همچنین مطالعات در شهر زابل نشان می دهد که هزینه بیماری های تنفسی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴ بیش از ۷۰ میلیون دلار تخمین زده شده است (میری و همکاران، ۲۰۰۷). در نهایت از دیگر مطالعاتی که در زمینه گرد و غبار در منطقه سیستان صورت گرفته است می توان به

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

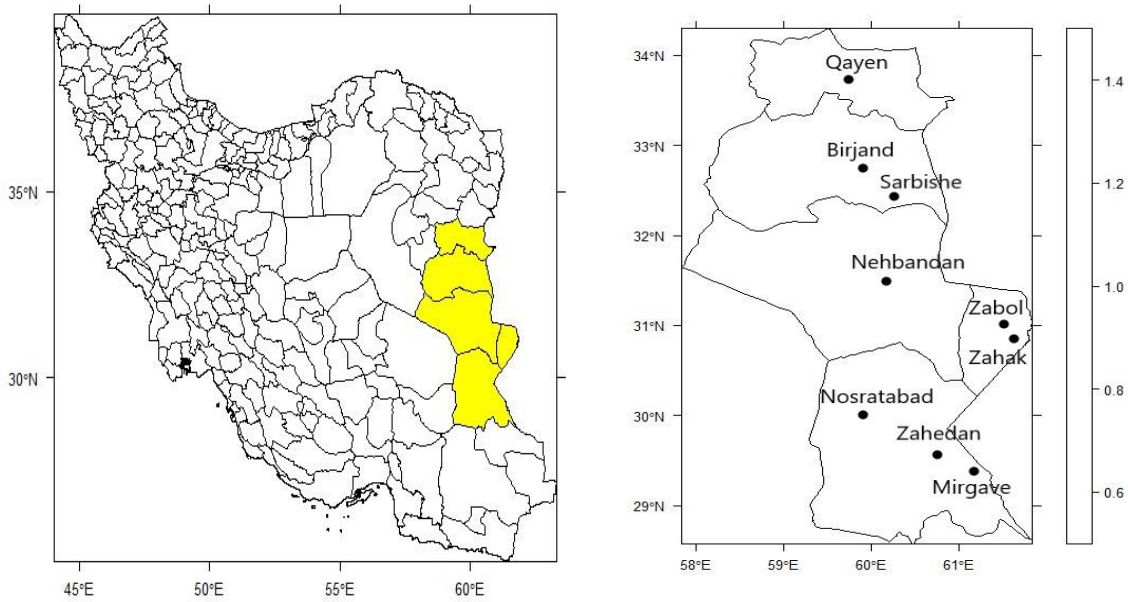
ایرانمنش و همکاران (۱۳۸۴)، (راشکی و همکاران، ۱۳۸۶)، خسروی محمود (۱۳۸۹)، واشنگتن و همکاران (Washington & etc,۲۰۰۰) اشاره کرد.

بر این اساس و با توجه به مطالعات انجام شده و اهمّیت موضوع ، بررسی و پیش بینی میانگین سالانه حداکثر سرعت باد در منطقه سیستان در این تحقیق با کمک مدل عددی رگرسیون فضایی ـ زمانی مد نظر قرار گرفت در این خصوص می توان گفت مدل های عددی این قابلیت را دارند که می توانند مقادیر حداکثر سرعت باد را با الگوریتم عددی مناسب ، رفتار طبیعی آنها در طی سالهای آینده پیش بینی کنند که نتایج آن برای تک تک ایستگاه های مورد مطالعه با کمترین میزان خطا قابل استخراج است. براین اساس، در این تحقیق میانگین حد اکثرسرعت باد سالانه در منطقه سیستان تا سال ۲۰۲۲ پیش بینی شده است.

داده ها و روش کار

- **قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

محدوده مورد مطالعه به ترتیب بین ۵۸ تا ۶۲ و ۲۸ تا ۳۵ درجه طول و عرض جغرافیایی در شرق ایران واقع شده است که به آن حوزه سیستان گفته می شود این منطقه محدوده بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است که از نیمه اردیبهشت ماه شروع و تا اواسط شهریور ماه ادامه دارد (حمیدیان پور،۱۳۹۲).

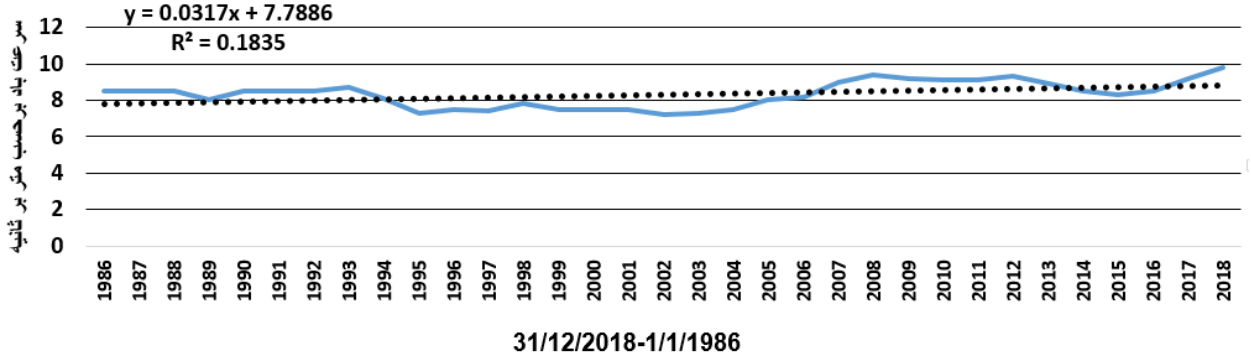


شکل شماره (۱): منطقه مورد مطالعه

- **توصیف حداکثر سرعت باد سالیانه**

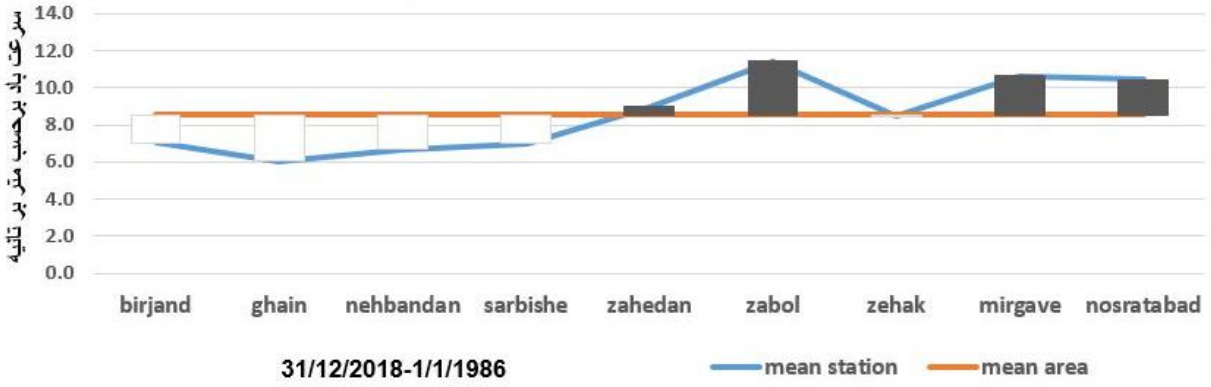
به منظور تحلیل سرعت باد در منطقه مورد مطاله ، آمار حداکثر سرعت روزانه باد در ایستگاهای مورد نظر تهیه شد. سپس نمودار سری زمانی میانگین سرعت باد رسم شد. همان طور که شکل ۲ نشان می دهد سرعت باد روندی افزایشی داردکه حدوداً از ۸/۲ متر در ثانیه در سال ۱۹۸۶ شروع شده و به ۱۰ متر در ثانیه در سال ۲۰۱۸ می رسد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]



شکل شماره (۲) : روند تغییرات میانگین سالیانه حداکثر سرعت باد

همچنین میزان سرعت باد در کلیه ایستگاه ها در طول دوره آماری نشان می دهد که ایستگاه قاین با میانگین ۶ متر در ثانیه و ایستگاه زابل با میانگین تقریبا ۱۲ متر در ثانیه به ترتیب کمترین و بیشترین میانگین سالیانه حداکثر سرعت باد را در طول دوره آماری داشته اند (شکل ۳)

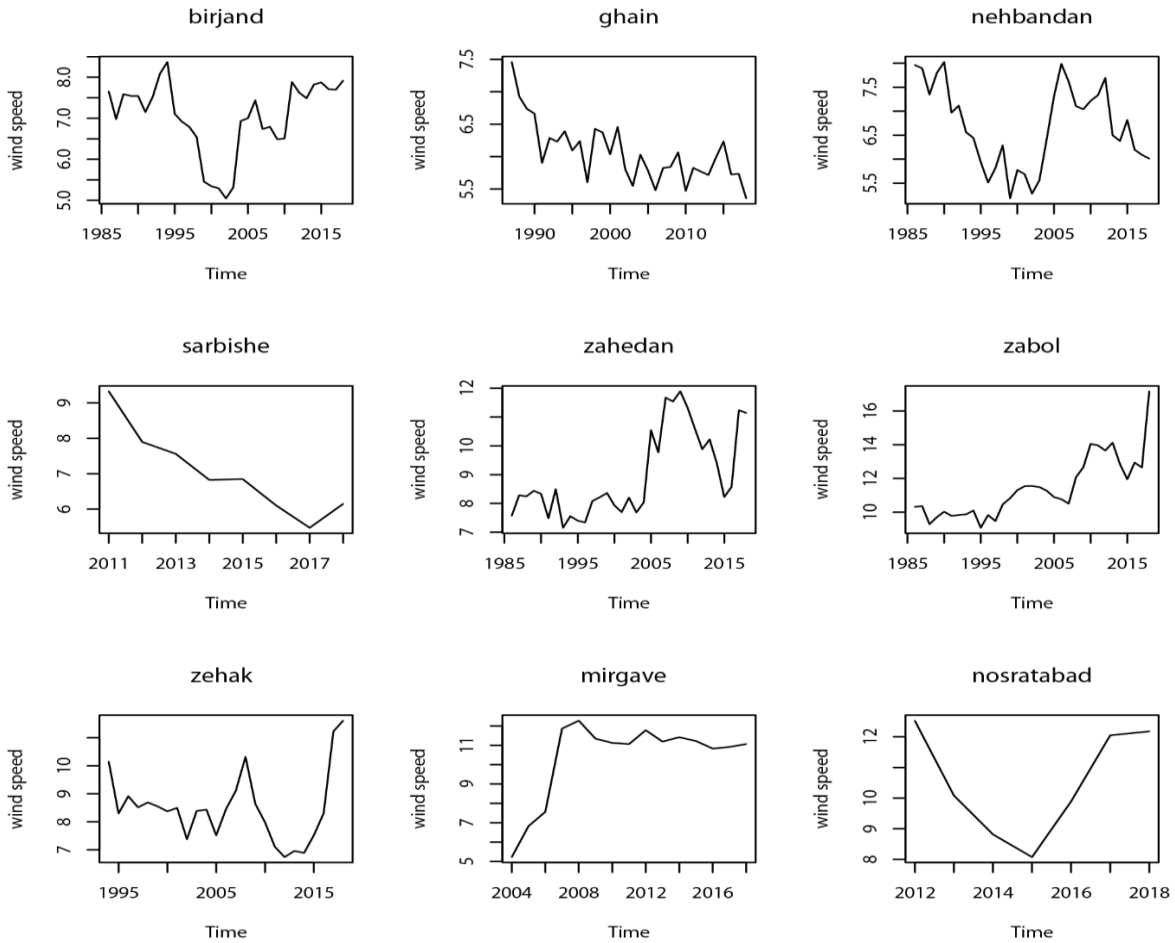


شکل (۳) میانگین حداکثر سرعت باد روزانه

در این خصوص به منظور بررسی وضعیت حداکثرسرعت باد در تک تک ایستگاه ها ، نمودار سری زمانی آنها نیز رسم شد. همان طور که شکل ۴ نشان می دهد سرعت باد در اکثر ایستگاه ها روندی افزایشی دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]



شکل شماره (۴) : سری زمانی حداکثرسرعت باد سالیانه به تفکیک هریک از ایستگاه ها

با این وجود با توجه به اهمّیت موضوع و اثرات زیست محیطی طوفان های گرد و غباری و نقش اصلی سرعت باد در وقوع پدیده گرد و غبار،پیش بینی آن در سال های آینده با استفاده از روش آماری رگرسیون فضایی- زمانی۱ و با کمک نرم افزار R۲ و با استفاده از بسته نرم افزاری spdep[۳] (Bivand & etc.۲۰۲۰) ، (Luc Anselin ,۲۰۰۳)
به کمک پلاتKML (Hengl & etc., ۲۰۱۵) در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است.

- **خود همبستگی داده‌ها[۴]**

در آمار اغلب به منظور بررسی همبستگی بین داده‌ها از شاخص ضریب همبستگی استفاده می شود. در بررسی های سری زمانی و برای همبستگی بین داده‌ها با تأخیر زمانی در این تحقیق از شاخص خوهمبستگی با استفاده از رابطه زیر استفاده شده است (Cryer & Chan. ۲۰۰۸:٤۹).

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^{n}(Z_t - \bar{Z})(Z_{t-k} - \bar{Z})}{\sum_{t=1}^{n}(Z_t - \bar{Z})^2}$$

که درآن Z_t مقدار یک متغیّر همانند سرعت باد در زمان t، k تأخیر زمانی و n حجم داده‌ها است.

۱ . Spatio-temporal regression.
۲ . R Development Core Team.۲۰۱۸.
۳ . spdep package.
٤ . Autocorrelation data.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

خود همبستگی داده ها قبل از تجزیه تحلیل فضایی - زمانی از اهمّیت بالایی برخودار است. و داده ها باید در درون خودشان وابستگی زمانی داشته باشند به عنوان مثال این موضوع نشان می دهد سرعت باد در ایستگاه نهبندان چند روز ادامه دارد آیا سرعت باد امروز به دیروز وابسته است یعنی ارقام آن شبیه به یکدیگرند و چنانچه پاسخ مثبت باشد این وابستگی تا چند روز ادامه دارد با این فرض قابلیت پیش بینی داده ها و حدود زمانی پیش بینی آنها مطرح می شود وچنان چه این فرض برقرار نباشد، نمی توان از روش های فضایی- زمانی استفاده کرد و داده ها قابلیت پیش بینی ندارند.

- **ایستایی داده ها**[1]

باید به این نکته توجه داشت که زمانی می توانیم از شاخص خودهمبستگی استفاده کنیم که داده‌های مورد مطالعه مانا (ایستا) باشند. این موضوع بیانگر این نکته است که روابط بین هر زیرمجموعه از داده ها بدون توجه به موقعیّت قرار گرفتن نقاط در فضا، یکسان باقی بماند. فاصله دو موقعیّت $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ و $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ در فضای n بعدی به صورت زیر تعریف می شود(محمد زاده، ۲۰:۱۳۹۴)

$$\|h\| = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \cdots + (x_n - y_n)^2}$$

در صورتی که توزیع داده ها تنها به به فاصله آن‌ها($\|h\|$) بستگی داشته باشد نه موقعیّت مکانی آن‌ها، داده‌های مورد مطالعه ایستا هستند. برای بررسی مانایی می توان فرضیه آماری زیر را در نظر گرفت:(محمد زاده، ۱۳:۱۳۹۴):

داده ها مانا نیستند: H_0

داده ها مانا هستند: H_1

برای بررسی مانایی ازآزمون ریشه واحد را برای داده‌های فضایی- زمانی استفاده می شود. در این آزمون برای متغیّر $z_{s,t}$ ابتدا مدل رگرسیون زیر را برآورد شد:(محمد زاده، ۱۳۹۴):

$$\Delta z_{s,t} = \beta z_{s_1,t-1} + \varepsilon_{s,t}$$
$$\Delta z_{s,t} = z_{s,t} - z_{s_1,t-1}$$

که در آن:

$z_{s,t}$ متغیّر در زمان t و موقعیّت s ، s_1 موقعیّت نزدیک ترین ایستگاه به ایستگاه با موقعیّت s است. در صورتی که $z_{s_1,t-1}$ در مدل فوق معنی دار باشد فرضیه مانایی تأیید می گردد.

- **تعیین نوع رگرسیون فضایی- زمانی**

برای انجام رگرسیون فضایی- زمانی سه پیش فرض شامل: نرمال بودن جملات خطاها ، عدم همبستگی خطاها و همسانی واریانس خطاها بررسی شود. چنانچه تمامی پیش فرض ها برقرار باشد می توان از برآوردگر کمترین مربعات خطا *(OLS)*[2] در غیر این صورت حتی اگر یکی از این پیش فرض ها برقرار نباشد از رگرسیون فضایی-زمانی تعمیم یافته[3] *(GLM)* برای برازش مدل استفاده می شود (Anselin & etc.۲۰۱۰: ۷۳-۸۹).

۱ . Stationary data.
۲ . Ordinary Least Square .
۳ . Generalized Linear Model .

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

- **آزمون نرمال بودن خطاها**

جهت انجام رگرسیون فضایی – زمانی از آزمون جارک- برا استفاده شد(Jarque & Bera, ۱۹۸۷: ۱۶۳–۱۷۲) سپس به کمک آماره آزمون مقدار خطاها در منطقه بحرانی در سطح۹۵٪ با درجه آزادی dF=n-۲ و α یا α/۲ به کمک جدول t- استیودنت فرضیه تحقیق به شرح زیر تعریف شد.

فرضیه تحقیق :داده ها دارای توزیع نرمال است.

فرضیه مخالف : داده ها دارای توزیع نرمال نیست.

$$H_0 : \beta = 0$$
$$H_1 : \beta \neq 0$$

- **همبستگی خطاها**

در رگرسیون فضایی- زمانی خطاها نباید به هم وابسته باشند این بدان معنی ایست که خطاها باید به صورت اتفاقی پراکنش داشته باشند. بدین سان جهت همبستگی نوع خطاها در این تحقیق از آزمون دوربین واتسون استفاده شده است(Verbeek, ۱۹۸۷:۱۱۷) و فرضیه تحقیق بدین صورت در نظر گرفته شد.

فرضیه تحقیق : خطاها خود همبسته نیستند.

فرضیه مخالف : خطاها خود همبسته هستند.

$$H_0 : \beta = 0$$
$$H_1 : \beta \neq 0$$

- **همسانی واریانس خطا**

برای همسانی واریانس خطاها نیز از آزمون بروش پاگن استفاده شد (Maddala & Lahiri, ۲۰۰۹:۲۱۶) و فرضیه تحقیق در سطح بحرانی۹۵٪ به شرح زیر تعریف گردید.

فرضیه تحقیق : واریانس ها همسان هستند.

فرضیه مخالف : واریانس ها همسان نیستند.

$$H_0 : \beta = 0$$
$$H_1 : \beta \neq 0$$

- **ضرایب رگرسیون فضایی-زمانی**
- **آزمون معنی‌دار بودن ضرایب رگرسیون (آماره *t*)**

تحلیل رگرسیون چند گانه نشان می دهدکه تا چه اندازه، واریانس متغیّر وابسته توسط مجموعه ای از پیش بینی کننده ها قابل تبیین می باشد برای این که بتوان شیب خط رگرسیون را آزمون نمود ابتدا می بایست به تعیین یک طرفه یا دو طرف بدون بودن آزمون پرداخت . اگر آزمون با مقدار صفر صورت گیرد آزمون همیشه دو طرفه ولی اگر با مقدار غیر صفر صورت گیرد به هر دو شکل یک طرفه و دو طرفه می تواند مطرح شود. دراین تحقیق آزمون به صورت دو طرف با مقدار صفر انجام شد و برای بررسی معنی داری شیب هریک از متغیّرهای مستقل فرضیه آماری به صورت زیر تعیین گردید.(Montgomery & etc. ۲۰۱۲:۲۳):

$$H_0 : \beta = 0$$
$$H_1 : \beta \neq 0$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

فرضیه H_0 بدین معناست که رابطه معنی داری بین متغیّر مستقل و وابسته وجود ندارد. همچنین H_1 نشان دهنده وجود یک رابطه معنی دار بین متغیّر مستقل و وابسته است. برای بررسی این فرضیه آماری، اگر y متغیّر وابسته باشد، آماره t برای ضریب متغیّر مستقل x یعنی β به صورت زیر محاسبه می شود.

$$t = \frac{\hat{\beta}}{\sqrt{\frac{MSE}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}}}$$

که در x_i ها مشاهدات متغیّر x بوده است و $\hat{\beta}$ و MSE از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-k-1}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i(x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

که در این رابطه K تعداد متغیّرهای مستقل و متغیّر t دارای توزیع t با درجه آزادی $n-k-1$ است. تصمیم درباره پذیرش یا رد فرض صفر، بر اساس مقدار و احتمال آماره ی t انجام می گرد پس از مقایسه مقدار آماره t و احتمال آن در سطح ۰/۰۵با مقادیر جدول t در صورتی که احتمال این آماره از ۰/۰۵ کم‌تر باشد، فرض صفر مبنی بر عدم تأثیر متغیّر مستقل بر متغیّر وابسته رد شده و رابطه معنی‌دار بین متغیّر مستقل و وابسته، مورد پذیرش قرار می‌گیرد.

- **آزمون معنادار بودن معادله خط رگرسیون(آماره*F*)**

در معادله رگرسیون چند گانه ، اگر رابطه ای میان متغیّر وابسته و متغیّر مستقل وجود نداشته باشد باید تمام ضرایب متغیّرهای مستقل در معادله، مساوی صفر باشد. با داشتن مدل معادله رگرسیون چندگانه قاعده تصمیم گیری به صورت زیر تعریف شد(Montgomery & etc. ۲۰۱۲:۲۷):

$$H_0: B_1 = B_2 = \cdots = B_k = 0$$
$$H_1 = B_i \neq 0 \qquad i = 1,2, \ldots$$

(که حداقل یکی از آن ها غیر صفر است)

اگر *y* متغیّر وابسته در معادله رگرسیون باشد آزمون آماره *F* از طریق رابطه زیر بدست می آید

$$F = \frac{MSR}{MSE}$$

اگر *n* تعداد مشاهدات و تعداد متغیّرهای مستقل *k* باشند *MSR* و *MSE* که به ترتیب میانگین مربعات رگرسیون و میانگین مربعات خطا هستند از رابطه زیر به دست می‌آیند.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-k-1}$$

$$MSR = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{k}$$

آماره *F* دارای توزیع *F* با درجه آزادی *k* و *n-k-1* است. اگر در سطح اطمینان ۹۵٪، آماره *F* محاسبه شده از معادله رگرسیون، بزرگتر از مقدار *F* در سطح بحرانی باشد فرض *H0* رد شده و در غیر این صورت فرض *H1* پذیرفته می شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

- **ضریب تعیین[۱]**

با توجه به فرض های مدل کلاسیک رگرسیون خطی، روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی، شرایط برآورد کننده مطلوب برای پیش بینی داده ها را دارد. اگر پیش فرض های اساسی یک رگرسیون برای تمامی جملات خطاها برقرار باشد، برآورد کننده های حاصل از روش رگرسیون حداقل مربعات، دارای حداقل واریانس است. Montgomery & etc. (۲۰۱۲:۳۴) به این ترتیب یک معیار برای انتخاب مدل رگرسیونی که از سایر مدل ها، تغییرات متغیّر وابسته را بر حسب متغیّر مستقل بهتر می تواند توضیح می دهد، این مساله است که ضرایب رگرسیون واریانس کمتری نسبت به سایر تخمین ها داشته باشند. همچنین در صورتیکه که متغیّرهای وابسته در مدل ، مشابه باشند، از ضریب تعیین برای انتخاب مدل استفاده می شود علاوه بر این ضریب تعیین برای اندازه گیری قدرت تبیین رگرسیون نیز به کار می رود..

بنابراین برای محاسبه میزان تغییرات و ارتباط میان *x,y* از ضریب تعیین استفاده شد. اگر *y* متغیّر وابسته در معادلا رگرسیون باشد $R^۲$ از رابطه زیر به دست می‌آید (Montgomery & etc. ۲۰۱۲:۳۵):

$$R^۲ = \frac{\sum_{i=۱}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^۲}{\sum_{i=۱}^{n}(y_i - \bar{y})^۲}$$

در آن y_i مشاهده *i* ام از *y*، $\hat{y}_i$ مقدار برآورد شده y_i و $\bar{y}$ میانگین مشاهدهات از *y* است.

به عبارت دیگر ضریب تعیین که با $R^۲$ نشان داده می شود، درصد تغییرات *y* را که به وسیله *x* توجیه می کند و مکمل آن یعنی $1- R^۲$ نیز به ضریب عدم تعیین بیان می شود و ناپایداری *y* نسبت به *x* را تشریح می نماید .ضمناً ضریب تعیین مقداری برابر با صفر تا یک را می پذیرد و هرچه بیش تر باشد نشان دهنده مطلوبیت بیش تر خط رگرسیون است.

- **شاخص تورم واریانس[۲]**

یک مدل رگرسیون در صورتی معتبر است که متغیّر وابسته با متغیّرهای ورودی از قبیل مستقل و کنترلی همبستگی بالایی داشته باشد. هرچه این وابستگی قوی تر باشد، مدل مناسب تر بوده و کاربرد بیشتری دارد. اما باید بین خود متغیّرهای ورودی همبستگی وجود نداشته باشد. در صورت وجود همبستگی بین متغیّرهای ورودی، اصطلاحاً گفته می شود هم خطی چندگانه بین متغیّرها به وجود آمده است که اصلاً مناسب نیست و از اعتبار مدل می کاهد. یکی از راه های برطرف نمودن این مشکل، حذف متغیّر مزاحمی است که با دیگر متغیّرها همبستگی دارد و این کار از طریق برازش مدل های مختلف و مقایسه آنها صورت می گیرد.(Studenmund, ۲۰۰۶:۲۵۸)

برای بررسی بیشتر هم خطی بین متغیّرها، در مدل برازش شده از عامل تورم واریانس (*VIF*) استفاده می شود. برای به دست آوردن شاخص *VIF* ابتدا *x* متغیّر وابسته فرض شده و با سایر متغیّرهای مستقل در یک مدل رگرسیونی برازش داده می شود و مقدار ضریب تعیین آن یعنی $R^۲$ به دست می آید در انتها *VIF* از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Montgomery & etc. ۲۰۱۲:۱۱۸):

$$VIF = \frac{۱}{۱ - R^۲}$$

۱ . Coefficient of Determination .

۲- Variance Inflation Factor. (VIF)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

حالات خاص این ضریب به صورت زیر است:

اگر مقدار آن از ۵ کوچکتر باشد، مدل خوب است.

اگر مقدار آن بین ۵ و ۱۰ باشد، نگرانی چندانی درباره مدل وجود ندارد.

اگر مقدار آن از ۱۰ بزرگتر باشد، هم خطی بطور جدی وجود دارد.

- **رگرسیون فضایی- زمانی**

رگرسیون یک نوع روش آماری است که برای پیش‌بینی یک متغیّر از روی یک یا چند متغیّر دیگر به کار می‌رود. در این تحقیق، برای پیش‌بینی میزان سرعت باد، در موقعیّت های فضایی و زمانی مشخص از داده های همسایگی فضایی-زمانی همراه با سایر اطلاعات استفاده شده‌است..(Wikle & etc. ۲۰۱۹:۸٤) رگرسیون خطی نوعی تابع پیش‌بینی‌کننده خطی است که در آن متغیّر وابسته به صورت ترکیبی از متغیّرهای مستقل پیش‌بینی می شود، بدین معنی که هر کدام از متغیّرهای مستقل، در ضریبی که در فرآیند تخمین، برای آن متغیّر به‌دست آمده ضرب می شود که پاسخ نهائی مجموع حاصل‌ضرب‌ها ، یک مقدار ثابت خواهد بود که آن هم در فرآیند تخمین به‌دست آمده‌است..(Wikle & etc. ۲۰۱۹:۹۹) ساده‌ترین نوع رگرسیون خطی، رگرسیون خطی ساده است که بر خلاف رگرسیون خطی چندگانه، تنها یک متغیّر مستقل دارد(Wikle & etc. ۲۰۱۹:۱۰۰). نوع دیگر آن رگرسیون خطی چندگانه است که در آن به جای پیش‌بینی یک متغیّر وابسته چندین متغیّر وابسته پیش‌بینی می شود. اما رگرسیون فضایی-زمانی شکل پیچیده تری دارد که در آن متغیّر مورد مطالعه به موقعیّت و زمان وابسته است..(Wikle & etc. ۲۰۱۹:۱۰۱) که در این تحقیق از آن استفاده شده است و به صورت زیر تعریف می شود:

چنانچه T را مجموعه اندیس گذار یک بُعدی فرض کنیم آنگاه $\{Z_t, t \in T\}$ یک فرآیند تصادفی[۱] نامیده می شود. نمونه ای از یک فرآیند تصادفی را می توان یک سری زمانی نامید. حال در صورتی که فضای دو بعدی S داشته باشیم $\{Z_s, s \in S\}$ ، می توان آن را داده‌های فضایی ذکر کرد. تعمیمی از داده های فضایی و سری زمانی، داده های فضایی-زمانی هستند که بدین به صورت تعریف می شوند (پبسما[۲] و گرالر، ۲۰۱۷).

$$\{Z_{s,t}, s \times t \in S \times T\}$$

بنا براین جهت پیش بینی میانگین حداکثر سرعت باد ، مدل رگرسیونی فضایی- زمانی به صورت زیر تعریف شد (محمد زاده،۱۳۹۴:۲۴۰):

$$z_{s,t} = \beta_0 + \beta_1 z_{s_1,t-1} + \beta_2 z_{s,t-1} + \beta_3 x_s + \beta_4 y_s + \varepsilon_{s,t}$$

که در آن $z_{s,t}$ سرعت باد در زمان t در موقعیّت s ، s_1 موقعیّت نزدیک ترین ایستگاه به ایستگاه مورد نظر با موقعیّت s ، که y_s و x_s طول و عرض جغرافیایی و $\varepsilon_{s,t}$ جمله خطاها است.

در نهایت حد بالا و پائین میانگین سالیانه سرعت باد در منطقه مورد نظر در فاصله اطمینان ۹۵٪ با توجه به رابطه زیر محاسبه شد (Cressie ,۱۹۹۳:۱۲۲).

$$A \equiv \left(\hat{z}_{s.,t.} - 1.96\sigma_{s.,t.}, \hat{z}_{s.,t.} + 1.96\sigma_{s.,t.}\right)$$

۱. Stochastic process .

۲. Pebesma,۲۰۱۷ .

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

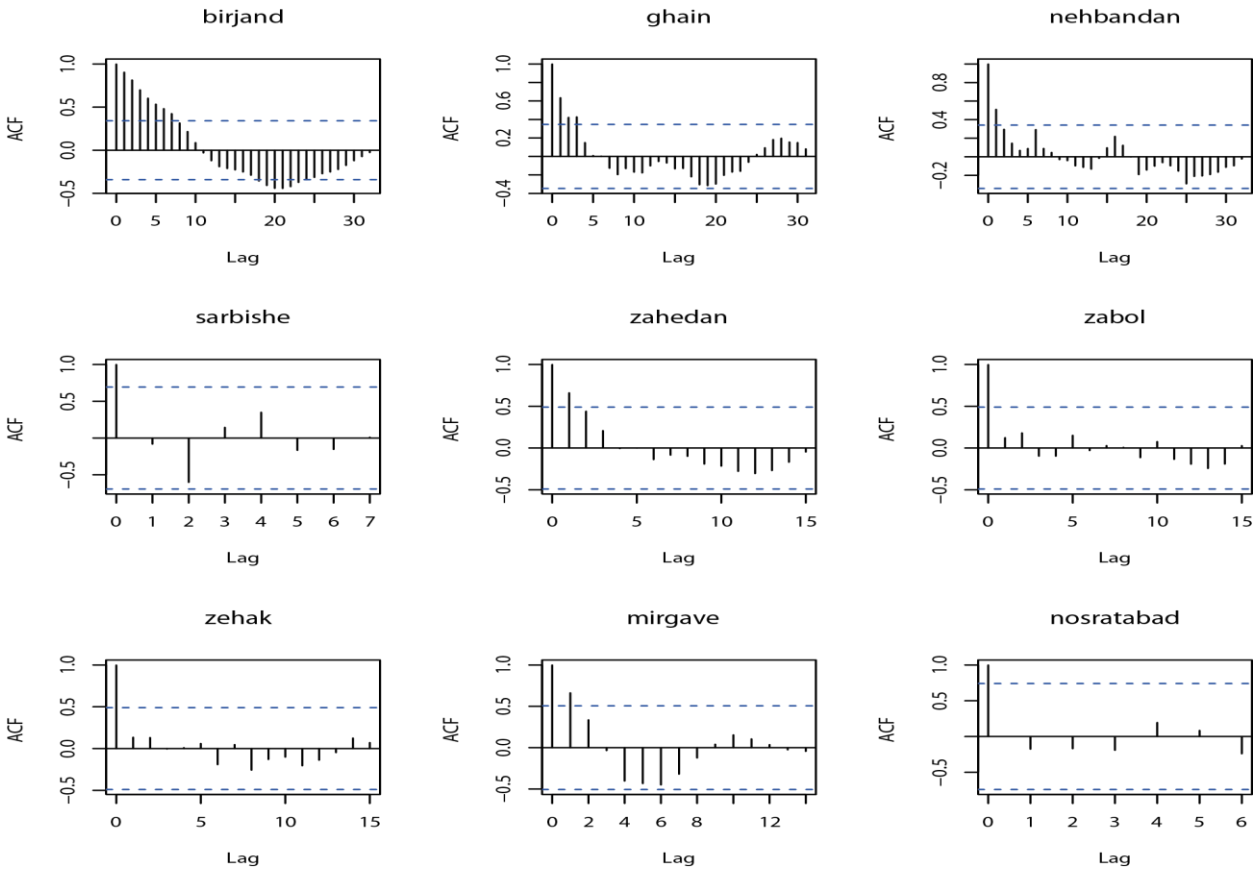
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

که در آن $\sigma_{s.,t.}$ انحراف معیار $\hat{z}_{s.,t.}$ است،که مقادیر خروجی آن به همراه کران بالا و پایین تا سال ۲۰۲۲ برای تک تک ایستگاه های مورد مطالعه پیش بینی شد. سپس داده های فضایی - زمانی با محدوده مورد مطالعه تلفیق شد (لوچر،۲۰۱۶)[۱].

شرح و تفسیرنتایج

- **بررسی خود همبستگی حداکثر سرعت باد سالیانه**

تابع خودهمبستگی میانگین سالیانه سرعت باد در اکثر ایستگاه ها نشان می دهدکه این وابستگی از دو روز شروع شده و تا ۱۰ روز ادامه دارد. لذا بررسی اولیه نشان می دهد داده ها قابلیت پیش بینی دارند. نمودار خود همبستگی داده های سرعت باد در ایستگاه سربیشه و نهبندان در تأخیر اول وابستگی بالایی را نشان می دهند اما در تأخیر دوم و سوم وابستگی آنها کاهش می یابد



شکل شماره (۵): خود همبستگی سرعت باد به تفکیک هریک از ایستگاه ها

۱.Loecher, M. ۲۰۱۶.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

- **ایستایی داده ها**

نتایج نشان می دهد برای تمامی متغیّرها P-مقدار از ۰/۰۵ کمتر بوده است. از این رو می توان ایستایی تمامی متغیّرها را پذیرفت. .نتایج آزمون ایستایی در جدول یک آمده است:

جدول شماره (۱): آزمون ایستایی داده ها

متغیّر	$z_{s_1,t-1}$	$z_{s,t}$	$z_{s,t-1}$	x_s	y_s
P-مقدار آزمون	<۲×۱۰^-۱۶	<۲×۱۰^-۱۶	<۲×۱۰^-۱۶	<۲×۱۰^-۱۶	<۲×۱۰^-۱۶

- **نرمال بودن خطاها**

نرمال بودن خطای رگرسیون با آزمون جارک-برا را مورد بررسی قرار گرفت همان طور که از نتایج جدول دو پیداست با توجه به اینکه P-مقدار آزمون کمتر از ۰/۰۵ است در سطح اطمینان ۹۵٪ نرمال بودن خطاها مورد تأیید نمی باشد.

جدول شماره (۲): آزمون جارک-برا بررسی نرمال بودن خطاها داده های سرعت باد

آماره خی-دو	درجه آزادی	P-مقدار	نتیجه
۳۳/۳۱۷	۲	۰/۰۰۰	خطاها نرمال نمی‌باشند.

- **عدم همبستگی خطاها**

پیش فرض خودهمبستگی خطاها با کمک آزمون دوربین واتسون نشان می دهد P-مقدار آزمون بیش از ۰/۰۵ است در نتیجه خطاها خودهمبسته نیستند نتایج آن در جدول سه آمده است.

جدول شماره (۳): نتایج آزمون دوربین واتسون برای داده های سرعت باد

آماره دوربین واتسون	P-مقدار	نتیجه
۱/۹۳	۰/۴۳۶	خطاها خودهمبسته نیستند.

- **همسانی واریانس خطاها**

با توجه به پیش فرض همسانی واریانس خطاها، نتایج نشان می دهد ،میزان P-مقدار آزمون بیش از ۰/۰۵ است، لذا همسانی واریانس خطاها برقرار است.که مقادرآن در جدول شماره چهار آمده است از این رو می توان، از رگرسیون تعمیم یافته برای تجزیه تحلیل و پیش بینی داده های میانگین سالیانه سرعت باد در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد.

جدول شماره (۴): نتایج آزمون بروش پاگن برای مدل سرعت باد

آماره BP	درجه آزادی	سطح معنی داری	نتیجه
۵/۷۵۷	۴	۰/۲۱۸	همسانی واریانس ها برقرار هست

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

- **نتایج ضرایب رگرسیون فضایی-زمانی**

نتایج ضرایب رگرسیون فضایی-زمانی در جدول شماره پنج نشان می دهد که تمامی متغیّرها در مدل معنی دار هستند. زیرا P-مقدار برای تمامی متغیّرها کمتر از ۰/۰۵ است بنا بر این می توان گفت متغیّر سرعت باد از قابلیت خوبی برای پیش بینی برخودار خواهد بود.

جدول شماره (۵): نتایج ضرایب رگرسیون فضایی –زمانی داده های سرعت باد

مدل		$z_{s,t} = \beta_0 + \beta_1 z_{s_1,t-1} + \beta_2 z_{s,t-1} + \beta_3 x_s + \beta_4 y_s + \varepsilon_{s,t}$				
متغیرها	VIF	ضرایب متغیر در مدل	انحراف استاندارد خطا	آماره t	P-مقدار	نتیجه
عرض از مبدأ	–	-۱۱/۷۱۷	۰/۹۵۲	-۱۲/۳۰	۰/۰۰۰	معنی داری در مدل
$z_{s_1,t-1}$	۱/۹۷۶	-۰/۱۰۳	۰/۰۰۵۳	-۱۹/۴۲	۰/۰۰۰	معنی داری در مدل
$z_{s,t-1}$	۲/۰۴	۰/۸۴۳	۰/۰۴۹۱	۱۷/۱۸	۰/۰۰۰	معنی داری در مدل
x_s	۲/۸۱	۰/۳۲۷	۰/۱۳۹	۲/۳۶	۰/۰۲	معنی داری در مدل
y_s	۲/۹۵	-۰/۱۸۱	۰/۰۹۰۲	۲/۰۰۹	۰/۰۴۶۶	معنی داری در مدل
ضریب تعیین			آزمون معنی داری مدل			
۰/۸۶۰			آماره F		P-مقدار	
۰/۸۶۰			۲۰۵/۴		۰/۰۰۰	

- **آزمون معنی‌دار بودن ضرایب رگرسیون (آماره *t*)**

با توجه به نتایج، آماره t (۱۹/۴۲-) نشان می دهد که متغیّر مستقل $z_{s_1,t-1}$ در این مدل درسطح ۹۵٪ اطمینان، از لحاظ آماری معنادار است زیرا اولاً مقادیر قدر مطلق این آماره بیشتر از ۱/۹۶ بوده ثانیاً مقادیر P-مقدار(۰/۰۰۰) نیز کمتر از ۵ درصد می‌باشد. از این‌رو می توان گفت که متغیّرها با همسایگی فضایی و با تأخیر یک واحد زمانی تأثیر معنی داری داشته است.

با توجه به نتایج، آماره t (۱۷/۱۸) نشان می دهد که متغیّر مستقل $z_{s,t-1}$ در این مدل درسطح ۹۵٪ اطمینان، از لحاظ آماری معنادار است زیرا اولاً مقادیر قدر مطلق این آماره بیشتر از ۱/۹۶ بوده ثانیاً مقادیر P-مقدار(۰/۰۰۰) نیز کمتر از ۵ درصد است. از این‌رو می توان گفت که متغیّرها با تأخیر یک واحد زمانی تأثیر معنی داری داشته است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

با توجه به نتایج، آماره t (۲/۳۶) نشان می دهد که متغیّر مستقل x_s در این مدل درسطح ۹۵٪ اطمینان، از لحاظ آماری معنادار می باشد زیرا اولاً مقادیر قدر مطلق این آماره بیشتر از ۱/۹۶ بوده ثانیاً مقادیر P-مقدار(۰/۰۲) نیز کمتر از ۵ درصد است. از این‌رو می توان گفت که طول جغرافیایی تأثیر معنی داری داشته است.

با توجه به نتایج، آماره t (۲/۰۰۹) نشان می دهد که متغیّر مستقل y_s در این مدل درسطح ۹۵٪ اطمینان، از لحاظ آماری معنادار است، زیرا اولاً مقادیر قدر مطلق این آماره بیشتر از ۱/۹۶ بوده، ثانیاً مقادیر P- مقدار(۰/۰۴۶۶) نیز کمتر از ۵ درصد می‌باشد. از این‌رو می توان گفت که عرض جغرافیایی تأثیر معنی داری داشته است.

- **آزمون معنادار بودن معادله خط رگرسیون(آماره*F*)**

نتایج آزمون F (آزمون معنی داری مدل) حاکی از آن است که متغیّرهای مستقل قابلیت پیش بینی متغیّر وابسته را دارند میزان آماره F برابر با ۲۰۵/۴و P- مقدار آزمون کمتر از ۰/۰۵ بوده است.

- **ضریب تعیین**

ضریب تعیین برابر ۰/۸۶۰ محاسبه شد. این موضوع نشان می دهد که ۸۶ درصد از تغییرات متغیّر وابسته توسط متغیّر مستقل تبیین می شود و مابقی توسط سایر فاکتور ها کنترل می گردد. در نهایت ضریب تعیین بالا در آزمون معنی داری ، مدل مناسبت را تأیید می کند.

- **بررسی هم خطی با استفاده از شاخص تورم واریانس (*VIF*)**

نتایج شاخص تورم واریانس به منظور بررسی هم خطی بودن داده ها در جدول شماره ۵ آمده است. همان طور که ملاحظه می شود ماکسیمم مقادیر VIF نیز کمتر از ۱۰ بوده است از این رو وجود تمامی متغیّرها در نظر گرفته شده در مدل، آن را مخدوش نخواهند کرد. بدین ترتیب می توان گفت با توجه به ساختار ذاتی داده ها و با مدل رگرسیون فضایی-زمانی به کار گرفته شده در آن ، می توان میانگین سالیانه حداکثر سرعت باد را در سالهای پیش رو در منطقه مورد نظر پیش بینی کرد.

- **پیش بینی فضایی_زمانی میانگین حداکثرسرعت باد سالیانه**

رگرسیون فضایی-زمانی دادها نشان می دهد که کمترین میانگین سالیانه سرعت باد طی سال های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲ به ترتیب با میزان ۵/۳، ۵/۲، ۵/۱، ۵/۱ متر بر ثانیه مربوط به ایستگاه قاین است که روند پیش بینی آن نشان می دهد تا سال ۲۰۲۲ از میانگین سالیانه سرعت باد کاسته می شود. پس از آن ایستگاه سربیشه به ترتیب با میزان ۶/۲، ۶/۳، ۶/۴، ۶/۵ متر بر ثانیه قرار دارد که روند پیش بینی این ایستگاه مشخص می کند میزان میانگین سرعت باد طی سال های پیش رو افزایش می یابد. بیشترین میزان میانگین سالیانه سرعت باد مربوط به ایستگاه زابل به ترتیب با ۱۵/۹، ۱۵، ۱۴/۳، ۱۳/۷ متر بر ثانیه است که روند پیش بینی این ایستگاه نشان می دهد از میانگین سالیانه سرعت باد تا ۲۰۲۲ کاسته می شود.

نتایج نشان می دهد که فقط ایستگاه های نهبندان، سربیشه و میرجاوه میانگین سالیانه سرعت باد آن ها تا سال ۲۰۲۲ افزایش می یابد که در ایستگاه نهبندان از ۶/۷ به میزان ۸ متر بر ثانیه می رسد و در ایستگاه میرجاوه میانگین سالیانه سرعت باد از ۱۱/۲ به ۱۱/۷ متر در ثانیه افزایش می یابد. بررسی ها نشان می دهد که میزان میانگین سالیانه در ایستگاه سربیشه از سال ۲۰۱۹ تا سال ۲۰۲۲ به مقدار ۶/۲ بر ثانیه ثابت است و تغییری در روند افزایشی یا کاهشی آن دیده نمی شود. در سایر ایستگاه های منطقه مورد مطالعه میزان میانگین سالیانه سرعت باد تا سال ۲۰۲۲ کاهش می یابد که

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

بیشترین میزان کاهش مربوط به ایستگاه زابل بوده که مقدار آن از ۱۶ به ۱۳/۷ متر بر ثانیه می رسد که مقدار ۲/۳ متر بر ثانیه در سال ۲۰۲۲ از سال ۲۰۱۹ کمتر خواهد بود (جدول شش).

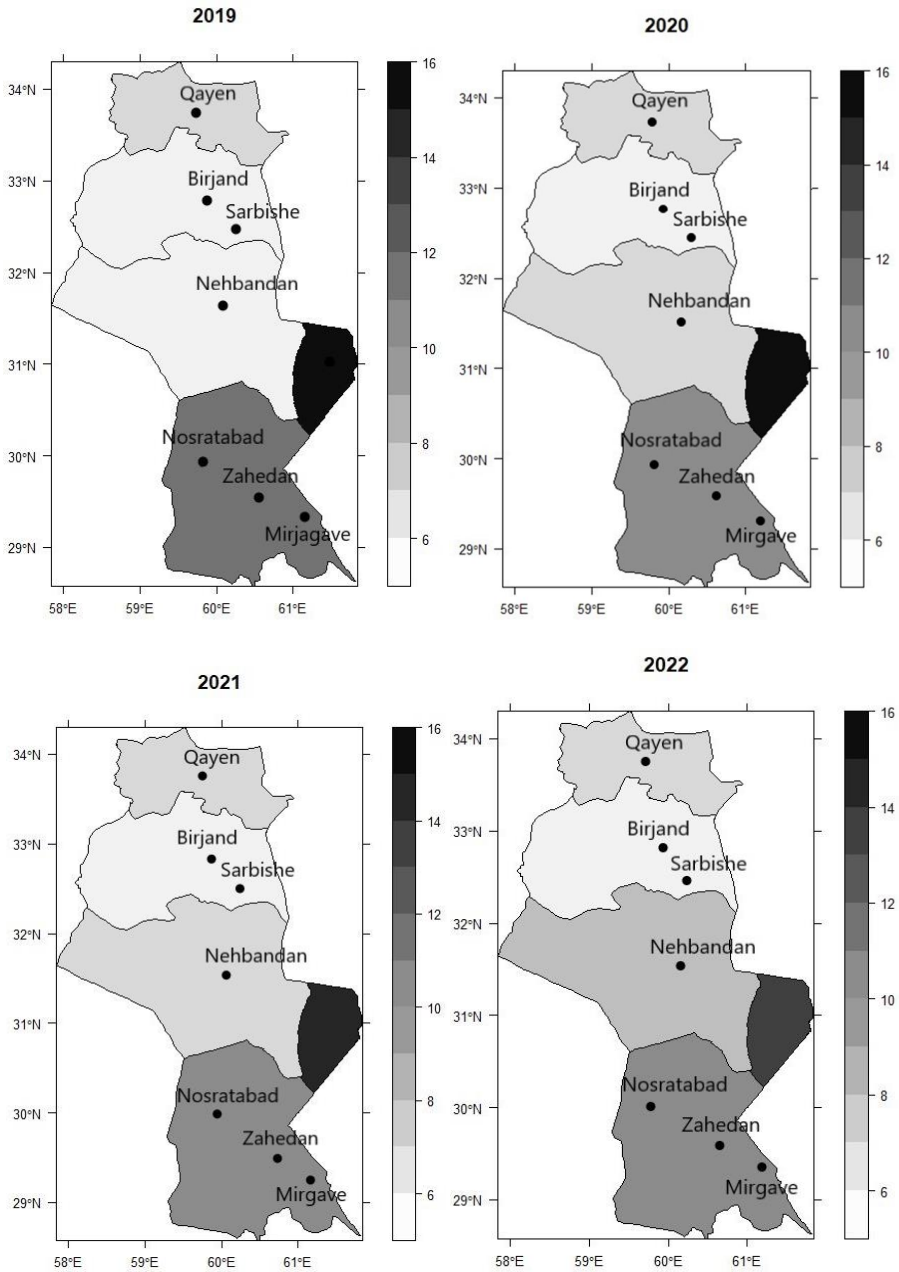
جدول شماره (۶): مقدار پیش بینی و فاصله اطمینان میانگین سالانه سرعت باد از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲

		۲۰۱۹		۲۰۲۰		۲۰۲۱		۲۰۲۲	
بیرجند	مقدار پیش بینی	۷/۷		۷/۶		۷/۵		۷/۴	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۸	۷/۵	۷/۹	۷/۳	۷/۸	۷/۲	۷/۷	۷/۱
قاین	مقدار پیش بینی	۵/۳		۵/۲		۵/۱		۵/۱	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۵/۶	۵	۵/۵	۴/۹	۵/۴	۴/۸	۵/۴	۴/۸
نهبندان	مقدار پیش بینی	۶/۷		۷/۲		۷/۷		۸	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۷/۱	۶/۳	۷/۳	۶/۹	۸	۷/۳	۸/۴	۷/۷
سربیشه	مقدار پیش بینی	۶/۲		۶/۹		۶/۴		۶/۵	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۶/۵	۶	۶/۵	۶/۱	۶/۶	۶/۱	۶/۷	۶/۳
زاهدان	مقدار پیش بینی	۱۱		۱۱		۱۰/۸		۱۰/۷	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۱۱/۴	۱۰/۷	۱۱/۳	۱۰/۵	۱۱/۲	۱۰/۴	۱۱	۱۰
زابل	مقدار پیش بینی	۱۶		۱۵		۱۴		۱۳/۸	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۱۶/۸	۱۵/۴	۱۵/۸	۱۴/۴	۱۵	۱۴	۱۴/۳	۱۳/۲
زهک	مقدار پیش بینی	۱۰/۸		۱۰/۳		۱۰		۹/۸	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۱۱/۷	۱۰	۱۱	۹/۷	۱۰/۶	۹/۴	۱۰/۳	۹/۲
میرجاوه	مقدار پیش بینی	۱۱/۲		۱۱/۴		۱۱/۵		۱۱/۷	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۱۱/۵	۱۰	۱۱/۶	۱۱/۱	۱۱/۸	۱۱/۳	۱۲	۱۱/۴
نصرت‌آباد	مقدار پیش بینی	۱۱/۵		۱۱		۱۰/۶		۱۰/۲	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۱۲/۱	۱۰/۹	۱۱/۶	۱۰/۴	۱۱/۱	۱۰	۱۰/۷	۹/۷

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

تحلیل فضایی – زمانی میانگین سالیانه سرعت باد نشان می دهد که تمامی ایستگاه های ناحیه سیستان در طی سال های پیش رو بیشترین میزان سرعت باد را دارند که میزان آن بین ۱۴ تا ۱۶ متر بر ثانیه می رسد و پس از آن ناحیه زاهدان بین ۱۰ تا ۱۲ متر بر ثانیه و ایستگاه های واقع در ناحیه قاینات بین ۷ تا ۸ متر بر ثانیه و ناحیه بیرجند با میانگین سرعت باد سالیانه ۶ تا ۷ متر برثانیه کمترین میزان سرعت باد را تا سال ۲۰۲۲ خواهند داشت که این موضوع نشانگر آن است که ناحیه بیرجند از بیشترین میزان هوای پاک و سالم برخوردار خواهد بود. تنها ناحیه ای که میزان میانگین سرعت سالیانه باد افزایش چشم گیری از نظر فضایی- زمانی خواهد داشت منطقه نهبندان است که میزان میانگین سالیانه سرعت باد در سال ۲۰۱۹ بین ۶ تا ۷ متر بر ثانیه و در سال ۲۰۲۰و ۲۰۲۱ بین ۷ تا ۸ و در سال ۲۰۲۲ به ۱۰ متر بر ثانیه خواهد رسید. لذا بر میزان تعداد روز های گرد و غباری آن افزوده خواهد شد.



شکل (۶) مقدار پیش بینی برای سرعت باد از سال ۲۰۱۹-۲۰۲۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

نتیجه گیری

بررسی سری زمانی میانگین سالیانه سرعت باد در طی دوره آمای در منطقه مورد مطالعه نشان داد که از سال ۱۹۸۶ از رقم ۸/۲ به ۱۰ متر درثانیه در سال ۲۰۱۸ رسیده است که میزان افزایش آن ۱/۸ متر در ثانیه در طی ۳۳ سال رقم قابل توجهی است همچنین بررسی میانگین حداکثر سرعت باد سالیانه در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که ایستگاه قاین با میانگین سالیانه ۶ متر بر ثانیه و ایستگاه زابل با ۱۲ متر بر ثانیه بترتیب کمترین و بیشترین میزان تقییرات سرعت باد را نسبت به میانگین منطقه مورد مطالعه داشته اند.

تابع خودهمبستگی میانگین سالیانه سرعت باد، در اکثر ایستگاه ها نشان می دهدکه وابستگی داده ها از دو روز شروع شده و تا ۱۰ روز ادامه دارد و بررسی اولیه نشان می دهد داده ها قابلیت پیش بینی دارند بررسی ایستایی تمامی متغیّرها نشان داد که داده ها ایستا هستند کلیه پیش فرض ها در تغیین نوع رگرسیون نشان داد که می توان، از رگرسیون تعمیم یافته برای تجزیه تحلیل و پیش بینی داده های میانگین سالیانه سرعت باد در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد. نتایج ضرایب رگرسیون فضایی-زمانی نشان می دهد که تمامی متغیّرها در مدل معنی دار هستند. بنا بر این می توان گفت متغیّر سرعت باد از قابلیت خوبی برای پیش بینی برخودار خواهد بود آزمون معنی‌دار بودن ضرایب رگرسیون (آماره t) نشان می دهد متغیّرها با همسایگی فضایی و با تأخیر یک واحد زمانی تأثیر معنی داری داشته است یعنی ایستگاههای مجاور با یک تاخیر زمانی قابلیت خوبی برای پیش بینی داده های سرعت باد دارند همچنین نتایج آماره t نشان داد که طول و عرض جغرافیایی تأثیر معنی داری در پیش بینی سرعت باد دارند آزمون معنادار بودن معادله خط رگرسیون(آمارهF) مشخص کرد متغیّرهای مستقل قابلیت پیش بینی متغیّر وابسته یعنی سرعت باد را دارند بررسی هم خطی بودن داده ها با استفاده از شاخص تورم واریانس (VIF)نیز نشان داد که این میزان کمتر از ۱۰ بوده است از این رو وجود تمامی متغیّرها در نظر گرفته شده در مدل، با توجه به ساختار ذاتی داده ها و با مدل رگرسیون فضایی-زمانی به کار گرفته شده نشان می دهد که می توان میانگین سالیانه حداکثر سرعت باد را در سالهای پیش رو در منطقه مورد نظر پیش بینی کرد.

بر این اساس، تحلیل فضایی-زمانی داده ها نشان داد که کمترین میانگین سالیانه سرعت باد طی سال های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲ به ترتیب با میزان ۵/۳، ۵/۲، ۵/۱، ۵/۱ متر بر ثانیه مربوط به ایستگاه قاین است که روند پیش بینی آن نشان می دهد تا سال ۲۰۲۲ از میانگین سالیانه سرعت باد کاسته می شود. پس از آن ایستگاه سربیشه به ترتیب با میزان ۶/۲، ۶/۳، ۶/۴، ۶/۵ متر بر ثانیه قرار دارد که روند پیش بینی این ایستگاه مشخص می کند که میزان میانگین سرعت باد طی سال های پیش رو افزایش می یابد. بیشترین میزان میانگین سالیانه سرعت باد مربوط به ایستگاه زابل به ترتیب با ۱۵/۹، ۱۵، ۱۴/۳، ۱۳/۷ متر بر ثانیه است که روند پیش بینی این ایستگاه نشان می دهد از میانگین سالیانه سرعت باد تا ۲۰۲۲ کاسته می شود.

نتایج نشان می دهد که فقط ایستگاه های نهبندان، سربیشه و میرجاوه میانگین سالیانه سرعت باد آن ها تا سال ۲۰۲۲ افزایش می یابند که در ایستگاه نهبندان از ۶/۷ به میزان ۸ متر بر ثانیه می رسد. در ایستگاه میرجاوه میانگین سالیانه سرعت باد از ۱۱/۲ به ۱۱/۷ متر در ثانیه افزایش می یابد. بررسی ها نشان می دهد که میزان میانگین سالیانه در ایستگاه سربیشه نیز از سال ۲۰۱۹ تا سال ۲۰۲۲ از میزان ۶/۲ به ۶/۵ متر بر ثانیه می رسد که روندی افزایشی دارد .

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

در سایر ایستگاه های منطقه مورد مطالعه میزان میانگین سالیانه سرعت باد تا سال ۲۰۲۲ کاهش می یابد که بیشترین میزان کاهش مربوط به ایستگاه زابل است و مقدار آن از ۱۶ به ۱۳/۷ متر بر ثانیه می رسد که مقدار ۲/۳ متر بر ثانیه در سال ۲۰۲۲ از سال ۲۰۱۹ کمتر خواهد بود.

بررسی تحلیل فضایی – زمانی میانگین سالیانه سرعت باد نشان می دهد که در تمامی ایستگاه های ناحیه سیستان در طی سال های پیش رو بیشترین میزان سرعت باد را دارند که میزان آن بین ۱۴ تا ۱۶ متر بر ثانیه می رسد و پس از آن ناحیه زاهدان بین ۱۰ تا ۱۲ متر بر ثانیه و ایستگاه های واقع در ناحیه قاینات بین ۷ تا ۸متر بر ثانیه و ناحیه بیرجند با میانگین سرعت باد سالیانه ۶ تا۷ متر برثانیه کمترین میزان سرعت باد را تا سال ۲۰۲۲ خواهند داشت که این موضوع نشانگر آن است که ناحیه بیرجند از بیشترین میزان هوای پاک و سالم برخوردار خواهد بود. تنها ناحیه ای که میزان میانگین سرعت سالیانه باد افزایش چشم گیری از نظر فضایی-زمانی خواهد داشت منطقه نهبندان است که میزان میانگین سالیانه سرعت باد در سال ۲۰۱۹ بین ۶ تا ۷ متر بر ثانیه و در سال ۲۰۲۰و ۲۰۲۱ بین ۷تا ۸ و در سال ۲۰۲۲ به ۱۰ متر بر ثانیه خواهد رسید لذا برمیزان تعداد روز های گرد و غباری آن افزوده خواهد شد که این مسئله باید در برنامه های منطقه ای و ناحیه ای محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شود.

منابع

اجلالی، فرید. ۱۳۸۷. *هوا و اقلیم شناسی*،چاپ چهارم ،*انتشارات دانشگاه پیام نور ایران*.

ایرانمنش، فاضل؛ محمود عرب خدری، و مجتبی اکرم. ۱۳۸۴. بررسی مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی های انتشار آن ها در طوفان های منطقه ی سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره ای، *فصلنامه ی پژوهش و سازندگی*، **۶۷** : ۲۵-۳۳.

حسین زاده ، سیدرضا.۱۳۷۶. بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، **۴۶**: ۱۰۲-۱۲۷.

حمیدیان پور،محسن. ۱۳۹۲. بررسی نحوه شکل گیری باد ۱۲۰ روزه سیستان با ریزگردانی دینامیکی جریانهای تراز زیرین در شرق فلات ایران، رساله دکتری، *دانشگاه خوارزمی، دانشکده جغرافیا گروه اقلیم شناسی*،تهران.

خسروی، محمود. .۱۳۸۹بررسی توزیع عمودی گرد و غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از NAAPS در منطقه سیستان ایران، *مجموعه مقالات* ***چهارمین*** *کنگره بین المللی جغرافی دانان جهان اسلام*. زاهدان. ایران.

راشکی، علیرضا ؛ هدایت الله زرین، ۱۳۸۶، پیامدهای بادهای ۱۲۰ روزه در خشکسالی های اخیر دشت سیستان، *باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند*.

سازمان هواشناسی کشور، *آمار سرعت باد* از ۱۹۸۶/۱/۱ لغایت ۲۰۱۸/۱۲/۳۱، قابل دسترس: https://www.irimo.ir/far/wd/۲۷۰۳.

سالاری محمود. ۱۳۷۵.طرح بررسی و شناخت مواد آلوده کننده هوا ، سازمان محیط زیست،تهران.

علیجانی بهلول. ۱۳۷۶. آب و هوای ایران، *انتشارات دانشگاه پیام نورایران*.

فرج زاده منوچهر؛ خاطره علیزاده ، ۱۳۹۰،تحلیل زمانی و مکانی طوفانهای گرد و خاک در ایران، *برنامه ریزی و آمایش فضا*، **۱۵**، ۶۵-۸۴.

محمدزاده، محسن .۱۳۹۴. آمار فضایی و کاربردهای آن. چاپ دوم، *انتشارات دانشگاه تربیت مدرس*.

مهرشاهی داریوش؛ زری نکونام .۱۳۸۸. بررسی آماری پدیده های گرد و غبار و تحلیل الگوی وزش بادهای گرد و غبارزا در شهرستان سبزوار، *نشریه علمی – پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران*، **۲۲**، ۸۳-۱۰۴.

ولایتی سعد الله، ۱۳۸۵ . هیدرولوژی کاربردی ، چاپ دوم، انتشارات پیام نور،تهران.

یوسفی نصر الله ؛ داریوش فامیلی . .۱۳۸۷هوا و اقلیم شناسی ، چاپ اول، *انتشارات دانش بهبد*،تهران.

Anselin, L. ۲۰۰۳. An introduction to spatial regression analysis in R. University of Illinois, *Urbana-Champaign، R Development Core Team*. http://sal.agecon.uiuc.edu.

Anselin, L. I, Syabri & Kho, Y. ۲۰۱۰. GeoDa: an introduction to spatial data analysis. In *Handbook of applied spatial analysis*. Springer, *Berlin, Heidelberg*.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

Bivand, R. M, Altman & L, Anselin. ۲۰۲۰. Spatial Dependense Weighting Schemes statistics and Model. Package ‘spdep’. *R Core Development Team*. Version ۰٫۷-٤. URL: http://github.com/r-spatial/spdep/.

Cressie, N. ۱۹۹۳. Statistics for Spatial Data, Revised Edition. *Johan Wiley. New York.*

Cryer, J. K, SD,Chan. ۲۰۰۸. Time series analysis: with applications in R. *Springer Science & Business Media*.

Hengl ,T.; P, Roudier. D, Beaudette & E. Pebesma. ۲۰۱۵. Plot KML: Scientific Visualization of Spatio-Temporal Data. *Journal of Statistical Software*. **٦٣, ٥.** http://www.jstatsoft.org/ Institute for Geoinformatics University of Munster, Germany.

Jarque, Carlos M.; Bera, Anil K.۱۹۸۷. "A test for normality of observations and regression residuals". *International Statistical Review*. **٥٥(۲)**: ١٦٣–١٧٢.

Kurosaki, Y.; M, Mikami, ۲۰۰٥, Regional Difference in The Characteristics of Dust Event in East Asia: Relationship among Dust Outbreak, Surface Wind, and land Surface Condition, *Journal of the Meteorological Society of Japan*. ۸۳ **A**: ۱-۱۸.

Loecher, M. ۲۰۱٦. Overlays on Static Maps. Package R Google Maps. *R Development Core Team*. Version ۱٫۰٫٤٫۱.

McMahon, H. ۱۹۰٦. Recent Survey and Exploration in Sistan, *The Geographical Journal*, ۲۸ **(۳)**: ۲۰۹-۲۲۸.

Montgomery, D. C. E, A, Peck & G. G. Vining ۲۰۱۲. Introduction to linear regression analysis. *John Wiley & Sons*. Vol. ۸۲۱:۲۳,۲٥,۲۷,۳٥,۱۱۸.

Middelton, N.J. ۱۹۸٦. Dust Storms in The Middle East. *Arid Environ*. ۱۰: ۸۳-۹٦.

Prospero, JM.; P. Ginoux, O. Torres, SE. Nicholson & TE. Gill.۲۰۰۲. Environmental caracterisation of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbos۷ total ozone mapping spectrometer (TOMS) absorbing aersol product. *Rev. Geophys*. ٤۰: ۲-۳۱.

R Development Core Team. ۲۰۱۸. a language and environment for statistical computing computer program. version ۳٫٥. ۰.

Studenmund, A. H. ۲۰۰٦. Using Econometrics: A Practical Guide (٥th ed.). *Pearson International.*

Pebesma, E.; B, Gräler. ۲۰۱۷. Spatial and Spatio-Temporal Geostatistical Modelling, Prediction, and Simulation. R *Development Core Team*. Version ۱٫۱-٥. URL https://github.com/edzer/gstat/

Verbeek, M. ۲۰۱۲. A Guide to Modern Econometrics (٤th ed.). *Chichester*: *John Wiley & Sons.*

Washington, R.; M. Tood. N.J Middelton. & A.S. ۲۰۰۰.Goudie total ozone monitoring spectrometer and ground observations. *School of geography and the environment University of Oxford*.: ۲۹۷-۳۱۳.

Wikle, C. K., Zammit-Mangion, A., & Cressie, N. ۲۰۱۹. *Spatio-temporal Statistics with R. Chapman and Hall/CRC*۲٤,۹۹,۱۰۰,۱۰۱.

Maddala, G. S.; Lahiri, K. ۲۰۰۹. Introduction to Econometrics (Fourth ed.). *Chichester: Wiley.*

Miri, A.; H, Ahmadi. A, Ghanbari & A, Moghaddamnia. ۲۰۰۷.Dust Storms Impact on Air Pollution and Public Health under Hot and Dry Climate, *International Journal of Energy and Environment*. **۱(۲):** ۱۰۱-۱۰٥.

Mang-Mang Gou۱.; Li Gang-Tie۱. Li Xing & Zuo He-Jun.۲۰۱۰. Temporal-Spatial Distribution of Sand Storms in the Xilin Gol Area of Inner Mongolia. *polish journal of Enviromental studies* **۱۹(۲)**:۳۰۹–۳۱٤.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.9.7]