

پیش‌بینی میزان دید افقی سالیانه حاصله از گرد و غبار در منطقه کم‌فشار حرارتی سیستان

احمد حسینی^{۱*}

۱- استادیار گروه آب و هواشناسی دانشگاه پیام نور، ایران

چکیده

دید افقی یک نشانگر ساده از کیفیت هوا به شمار می‌رود که مقدار آن با جذب و خاموشی نور در اثر برخورد با مولکولهای گاز و ذرات تعیین میشود. امروزه، با افزایش فعالیت‌های انسانی در سالهای اخیر و افزایش غلظت ذرات معلق موجود در جو دید افقی کاهش یافته است، تحقیقات نشان می‌دهد که در زمان اوج توفان گرد و خاک در منطقه کم‌فشار حرارتی سیستان سرعت باد گهگاه به بیش از ۷۰ کیلومتر بر ساعت می‌رسد که با افزایش ذرات آلاینده‌ها جوی، دید افقی به کمتر از ۱۰۰ متر کاهش می‌یابد وضعیت منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۱۸، میزان دید افقی کاهش یافته است که از رقم ۱۴/۸ کیلومتر به رقم ۹/۵ کیلومتر رسیده است. بدین منظور، بررسی و پیش‌بینی میانگین سالانه دید افقی با توجه به داده‌های قابل دسترس تا سال ۲۰۲۲ با استفاده از روش آماری رگرسیون فضایی-زمانی و با کمک نرم‌افزار R و بسته‌های نرم‌افزاری 'spdep', 'plotKML', 'tseries', 'RgoogleMaps' و 'spatialtools' در این تحقیق در نظر گرفته شد تحلیل فضایی-زمانی میانگین سالیانه دید افقی نشان می‌دهد که ناحیه سیستان تا سال ۲۰۲۲ کمترین میزان دید افقی را خواهد داشت که میزان آن به ۶ تا ۷ کیلومتر می‌رسد و پس از آن ناحیه زاهدان و قاینات قرار می‌گیرند ناحیه بیرجند با ایستگاه‌های بیرجند و سریشه و نهبندان با دید افقی ۱۰ تا ۱۴ کیلومتر بیشترین میزان دید افقی را دارند و از این نظر می‌توان گفت شرایط بهتری از نظر میزان هوای پاک و سالم دارد.

کلید واژه‌ها: کم‌فشار سیستانی، رگرسیون فضایی-زمانی، دید افقی، گرد و غبار، پیش‌بینی.

مقدمه

دید افقی به معنای بیشینه فاصله ای است که جسم در جو قابل مشاهده است (WMO, 2015:80,81) و مقدار آن با جذب و خاموشی نور در اثر مولکولهای گاز و ذرات تعیین می شود. بنابراین، دید افقی یک نشانگر مشاهداتی ساده از کیفیت هوا به شمار می رود (Hu, B., Zhang & etc. 2019) که در جو پاک، میدان دید بین ۱۴۵ تا ۲۲۵ کیلومتر و در جو معمولی بین ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتر و در مناطق آلوده از این مقدار کمتر است (Wu, J & etc. 2012). تحقیقات اولیه نشان می دهد انباشت هواویزها در ستون جو، شدیداً دید افقی را کاهش می دهد (Wang, J. & Christopher, S. A., 2003). امروزه با افزایش فعالیت های انسانی در سال های اخیر و افزایش غلظت ذرات معلق موجود در جو از جمله هواویزهای تاثیرگذار بر عمق نوری جو که به دنبال آن کاهش کمیت دید افقی را به دنبال داشته است و می توان به ذرات ریز (آلاینده های جوی) و ذرات درشت (گرد و غبار) اشاره کرد (Baumer, D & etc. 2008) که در اثر فرسایش بادی و فرایند بیابان زایی توسط باد تا مسافت بسیار طولانی در اتمسفر زمین جابه جا می شود و می تواند دید افقی را بین ۱ تا ۲ کیلومتر یا کمتر کاهش دهد (Mie, D., & etc. 2008). مطالعات در این زمینه نشان می دهد، ذرات تولید کننده گرد و غبار تا ارتفاع ۶ کیلومتر صعود و تا مسافت ۶۰۰۰ کیلومتر انتقال می یابد و دید افقی را تا ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰ متر کاهش می دهند (Griffin Dw, 2007), (Xuan, J., Sokolik 2004).

تحقیقات در این زمینه نشان می دهد افزایش ناگهانی سرعت باد همراه با افزایش رطوبت و کاهش شدید دما در بازه زمانی کوتاه، با نوسانات شدید فشار در فرودگاه امام خمینی، مهمترین پارامترهای هواشناسی تاثیرگذار بر میزان دید هستند به طوریکه داده های متار میزان دید افقی در برخی ساعات را برابر صفر گزارش داده اند (حاتمی مهند و دیگران، ۲۰۱۹) آشکارسازی و پهنه بندی مناطق متأثر از طوفان های گرد و غبار با بهره گیری از وضعیت دید افقی در استان یزد در زمان وقوع رخداد های گرد و غبار، با بهره گیری از مناسب ترین مدل درون یابی زمین آمار کریجینگ مشخص شد که میدان دید افقی، ارتباط معکوسی را با مقدارهای عمق نوری

هواویزها دارد، به طوریکه، با افزایش مقدارهای عمق نوری، کاهش مقدار دید افقی و با کاهش عمق نوری هواویزها، افزایش میدان دید افقی مشاهده شد (جبالی عاطفه، ۱۳۹۹). همچنین تحقیقات در زمینه مقادیر کمی دید افقی روزانه با بهره گیری از مدل تعیین تیرگی جو نشان داد بین تیرگی جو و عمق نوری هواویزهای در تصاویر سنجنده مودیس همبستگی معنی دار و بسیار خوبی وجود دارد. و این موضوع محدودیت مکانی ندارد (Hejazi, A., & etc. 2014).

تحقیقات درباره همبستگی میان دید و خصوصیات هواویزها در آمریکا و اروپا نشان داد که انباشت هواویزها در جو با غلظت های متفاوت، همراه با در نظر گرفتن شرایط نور و شناخت جو، به دنبال آن دید افقی را تحت تاثیر قرار می گیرد (Schaap, M & etc. 2008). همچنین تحقیقات نشان می دهد شرایط دید نرمال در غرب ایالات متحده بهتر از شرق آن است به طوری که حداکثر دید در غرب ۱۱۵ مایل و از میزان ۱۰۰٪ دید نرمال ۶۲ درصد آسمان صاف و ۱۶٪ مربوط به گرد و غبار می باشد، حداکثر دید در شرق ۸۰ مایل و ۴۴ درصد آسمان صاف و ۱۰٪ مربوط به گرد و غبار است (Malm, & etc. 1999). مطالعات شفرود و دیگران نشان داد در شمال غربی چین به مساحت کل ۱.۱ میلیون کیلومتر متر مربع طوفان شن و ماسه شدید از ۴ تا ۶ مه ۱۹۹۳ با سرعت باد ۳۷.۹ متر بر ثانیه، غلظت کل ذرات معلق به ۱۰۱۶ میلی گرم در متر مکعب رسید (۴۰ برابر بیشتر از استاندارد) که در آن شن یا گرد و غبار دید افقی را شدیداً کاهش داد و به کمتر از ۵۰ متر رسید (Shepherd & etc. 2016). مغربی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از پارامترهای هواشناسی و ماهواره ای به بررسی طوفان شدید گرد و غبار در ماه مارس بر روی عربستان سعودی پرداختند. و با این نتیجه رسیدند فشار هوا و رطوبت نسبی در روز وقوع گرد و غبار نسبت به روز قبل آن افزایش و میزان دید افقی و دما کاهش پیدا کرده است.

تحقیقات در ایران نیز نشان می دهد کاهش دید بلند مدت در ایستگاه های تهران و اصفهان به علت افزایش غلظت آلاینده های جوی در ۴۰ سال گذشته رخ داده است (ثابت قدم و دیگران، ۲۰۱۶). همچنین بررسی ها نشان می دهد حداقل دید افقی روزانه با کمک شبیه سازی پدیده گرد و خاک در منطقه غرب و جنوب غرب کشور در زمان وقوع

گرد و غبار شدید شرق ایران با کمک تصاویر ماهواره ای مودیس نشان می‌دهد که یکی از شدیدترین طوفان‌های گرد و غبار دشت سیستان و غرب افغانستان در ۱۴ و ۱۵ ژوئیه ۲۰۱۱ اتفاق افتاده است که خطوط جریان باد، راستای شمال غربی را نشان می‌دهد و هنگام رسیدن به شمال منطقه سیستان و جنوب غرب افغانستان فشرده تر شده و سرعت باد نیز افزایش یافته است به طوری که دید افقی را تا ۴۱ متر تقلیل داده است (کارگر و دیگران ۲۰۱۶) مقایسه غلظت ذرات PM_{10} ، سرعت باد و دید افقی در ایستگاه زابل در ۱۱ تا ۱۳ آگوست ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. که در این زمان اوج طوفان گرد و خاک همراه با غلظت ذرات آلاینده‌ها اتفاق افتاده است و سرعت باد نیز به بیش از ۲۱ متر بر ثانیه برابر با ۷۰ کیلومتر بر ساعت رسیده است. در همین زمان دید افقی به شدت کم شده و حتی به حدود ۱۰۰ متر هم کاهش یافته است. (اصغری و دیگران، ۱۳۹۹)

لذا با توجه اهمیت کمیت دید افقی در این منطقه و نظر به این که مدل‌های عددی این قابلیت را دارند که می‌توانند با به کارگیری الگوریتم فضا-زمان، رفتار طبیعی داده‌ها را در طی سال‌های آینده پیش‌گویی کنند (Pebesma, 2012) بررسی و پیش‌بینی میانگین سالانه دید افقی و روند آن با توجه به داده‌های قابل دسترس تا سال ۲۰۲۲ در منطقه کم فشار حرارتی سیستان با کمک رگرسیون فضایی-زمانی در این تحقیق در نظر گرفته شد باید گفت: ما به دنبال این هستیم تا به کمک مدل‌های فضایی-زمانی سه بعدی یا بیشتر، پارامترهای هواشناسی و اقلیم‌شناسی را با کم‌ترین میزان مربعات خطا پیش‌بینی کنیم تا با آگاهی از میزان انحراف از معیار داده‌ها، در سال‌های پیش‌رو با اقدامات جدی و بهنگام از خسارات احتمالی آنها کاسته شود.

داده‌ها و روش کار

موقعیت جغرافیایی

محدوده مورد مطالعه به ترتیب بین ۵۸ تا ۶۲ و ۲۸ تا ۳۵ درجه طول و عرض جغرافیایی در شرق ایران واقع شده است (شکل ۱) که از نظر اقلیمی به آن منطقه کم فشار حرارتی سیستان گفته می‌شود این منطقه محدوده بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است که از نیمه اردیبهشت ماه شروع و تا اواسط شهریور ماه ادامه دارد (حمیدیان پور، ۱۳۹۲).

گرد و غبار به ۱۱۱۱ متر و کمتر می‌رسد و در شهرهای کرمانشاه و ایلام دید افقی قابل توجهی یافته است و دید شهر بوشهر رو به کاهش است. به طور کلی، دید افقی شهرهای غربی کشور در مدت ۱ روز ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد (حسین حمزه و دیگران، ۱۳۹۶). در استان کرمانشاه نیز، سال ۱۳۸۸ (۲۰۰۹) دارای بیشترین تعداد روزهای گرد و غباری در طول دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰ را داشته است. در این میان در روزهای ۳۹ و ۳۸ خرداد ۱۳۸۸ (۱۷ و ۱۸ ژوئن ۲۰۰۹) گرد و غبار شدیدی را گزارش نموده‌اند. به طوری که در این روزها دید افقی در اکثر ایستگاه‌های نیمه غربی استان کرمانشاه به زیر ۱۰۰۰ متر و در برخی ایستگاه‌های استان شعاع دید حتی تا ۱۰۰ متر نیز رسیده است (امیدوار و سپندار، ۲۰۱۸)

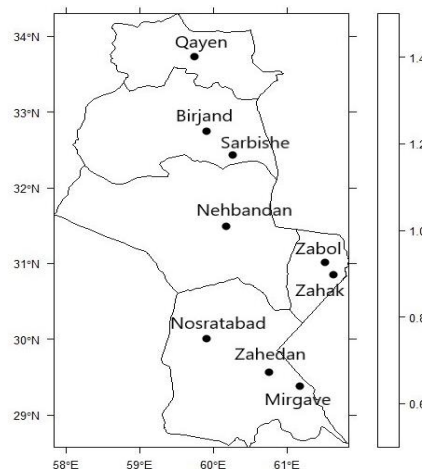
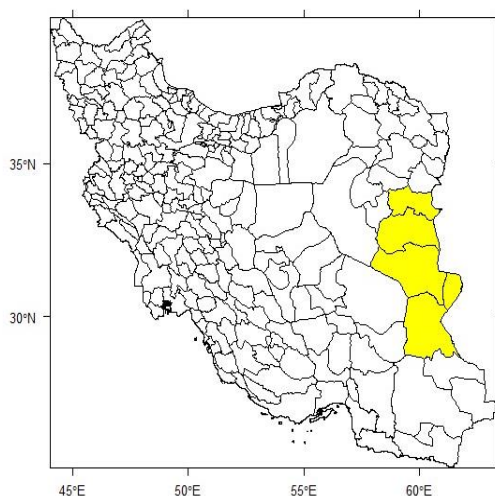
در استان سیستان و بلوچستان، طوفان‌های گرد و غباری شرایط بحرانی دارد، به طوری که در ۵ ژانویه ۲۰۱۵ سرعت باد به ۱۰۲ کیلومتر در ساعت در زاهدان و نصرت آباد و غلظت گرد و غبار ($PM_{2.5}$) به ۱۱۵ میکروگرم بر متر مکعب رسید (اداره کل هواشناسی سیستان و بلوچستان). در ۱۴ ژوئیه ۲۰۱۶ سرعت باد در زابل ۱۰۰ کیلومتر در ساعت و غلظت گرد و غبار به ۱۶۵۶۶ میکروگرم بر متر مکعب رسیده است که ۱۱۰ برابر حد مجاز و ۳۹ برابر حد بحرانی بوده است. این وضعیت تا ۱۶ ژوئیه ۲۰۱۶ ادامه داشته است. علی‌رغم این که غلظت گرد و غبار تا ۶۰ برابر حد مجاز و ۲۲ برابر حد بحرانی کاهش یافته، ۱۳۲۳ نفر به دلیل مشکلات تنفسی به مراکز درمانی مراجعه و ۳۰ نفر بستری شده‌اند. در ۳۱ آگوست ۲۰۱۶ سرعت باد در زابل به ۸۰ کیلومتر در ساعت و غلظت گرد و غبار به ۳۵۸ میکروگرم بر متر مکعب رسید. در ۶ سپتامبر ۲۰۱۶ سرعت باد نیز در زابل ۹۰ کیلومتر در ساعت و غلظت گرد و غبار به ۳۷۶ میکروگرم بر متر مکعب رسیده است. در ۲۰ نوامبر ۲۰۱۶ سرعت باد در زاهدان ۷۵ کیلومتر در ساعت و غلظت گرد و غبار به ۱۶۷۸ میکروگرم بر متر مکعب و به ۱۱ برابر حد مجاز افزایش یافت. در ۲۶ ژانویه ۲۰۱۷ سرعت باد در زابل به ۸۶ کیلومتر در ساعت و غلظت ذرات گرد و غبار به ۲۷۸۰ میکروگرم بر متر مکعب رسید که ۱۸ برابر حد مجاز بود و دید افقی به ۴۰۰ متر کاهش یافته است (اداره کل هواشناسی سیستان و بلوچستان). شبیه‌سازی و تحلیل عددی طوفان

بررسی وضعیت دید افقی

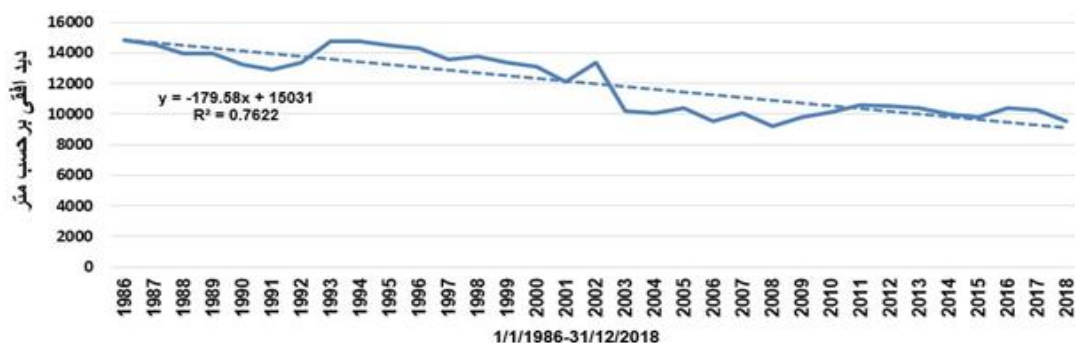
به منظور بررسی و تحلیل دید افقی در منطقه کم فشار حرارتی سیستان، آمار روزانه دید افقی به متر در ایستگاه های محدوده مورد نظر تهیه و نمودار سری زمانی آن رسم شد. وضعیت کلی آن در طول دوره آماری از سال ۱۹۸۶ لغایت ۲۰۱۸ نشان می دهد که میزان دید افقی در این منطقه روندی کاهشی دارد و بیانگر افزایش تعداد روزهای گرد و غباری است به طوری که در سال ۱۹۸۶ میانگین ۱۴/۸ کیلومتر شروع شده در سال ۲۰۱۸ به ۵.۹ کیلومتر می رسد در این بین

کمترین میزان دید مربوط به سال ۲۰۰۸ با ۹/۲ کیلومتر است (شکل ۲).

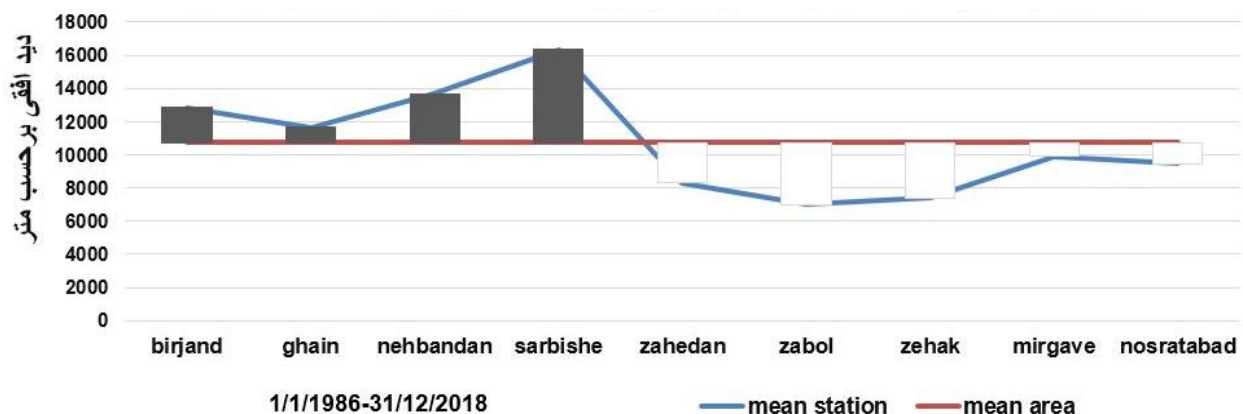
میزان دید افقی به تفکیک ایستگاه ها نشان می دهد که ایستگاه سربیشه با میانگین ۱۶/۳ کیلومتر و ایستگاه زابل ۶/۹ کیلومتر به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین سالیانه دید افقی را در طول دوره آماری ۱۹۸۶ لغایت ۲۰۱۸ داشته اند (شکل ۳). همچنین این شکل نشان می دهد، کلیه ایستگاه های واقع استان سیستان و بلوچستان کمترین میزان دید افقی را دارند.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه



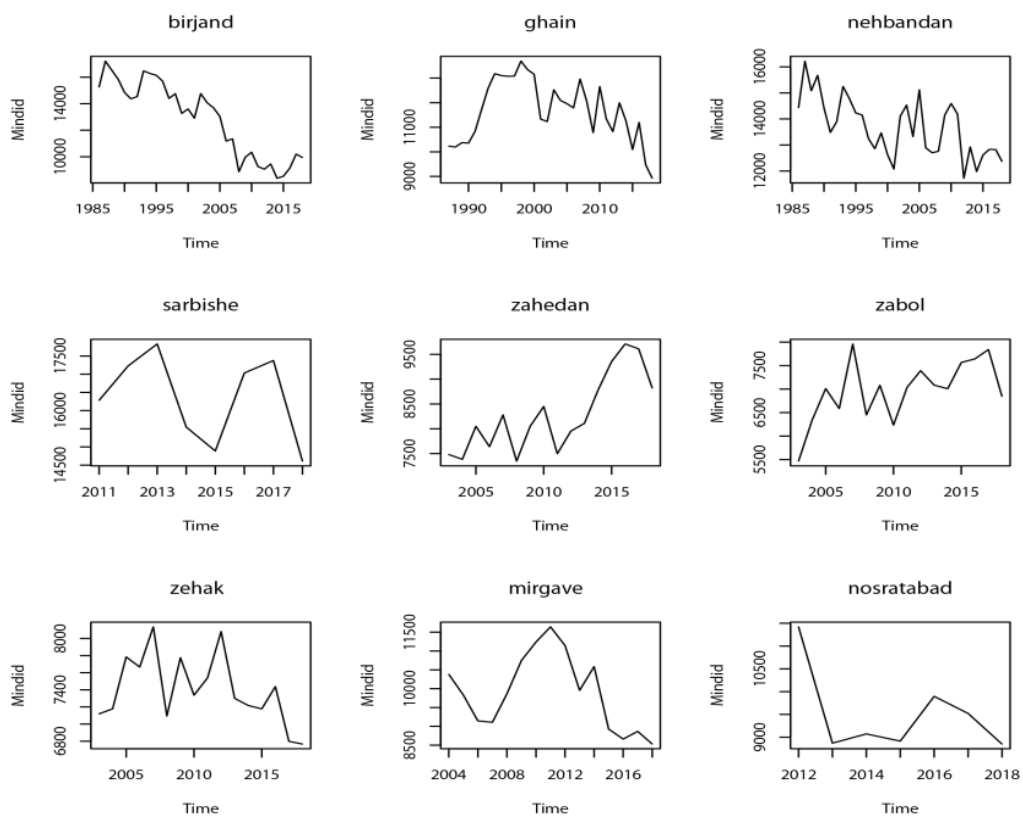
شکل ۲- میانگین دید افقی در منطقه کم فشار حرارتی سیستان



شکل ۳- میانگین دید افقی در ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه کم فشار حرارتی سیستان

میزان دید در ایستگاه‌های زاهدان و زابل در سال‌های پایانی افزایش می‌یابد این مقدار به حدی نیست که بتواند روند منطقه را افزایشی کند و باید گفت این منطقه شدیداً با بحران ریزگرد یا همان افزایش تعداد روزهای گرد و غباری رو برو است.

به منظور تحلیل و بررسی دید افقی در تک تک ایستگاه‌ها در بازه زمانی مورد نظر نمودار سری زمانی دید افقی در شکل ۴ رسم شد. همانطور که مشاهده می‌شود در اکثر ایستگاه‌ها میزان دید افقی روند کاهشی دارد. این بدان معناست که نقش ایستگاه‌ها با دید بالا در میانگین‌گیری سری زمانی تاثیر گذار نبوده و کل منطقه با کاهش دید افقی همراه است. با این که



شکل ۴- سری زمانی دید افقی به تفکیک هریک از ایستگاه‌ها

کاهش یافته و واریانس خطای آن افزایش می یابد با این فرض قابلیت پیش بینی داده ها و حدود زمانی آنها مطرح می شود و چنان چه این فرض برقرار نباشد، داده ها قابلیت پیش بینی ندارند.

ایستایی داده ها^۴

مانایی یا ایستایی مهمترین فاکتور کنترل کننده شاخص خودهمبستگی داده هاست در صورتی داده ها قابل پیش بینی هستند که نخست باید ایستا باشند. پس از آن وابستگی داده ها مورد بررسی قرار می گیرد ایستایی داده ها بیانگر این نکته است که روابط بین هر زیرمجموعه از داده ها بدون توجه به موقعیت قرار گرفتن نقاط در فضا، یکسان باقی بماند که در اینجا باید گفت فاصله دو موقعیت (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، ۱۳۹۴).

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

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

داده ها مانا نیستند: H_0

داده ها مانا هستند: H_1

برای بررسی مانایی می توان تعمیم آزمون ریشه واحد را برای داده‌های فضایی-زمانی به کار برد. در این آزمون برای متغیر $Z_{s,t}$ ابتدا مدل رگرسیون زیر را برآورد می‌کنیم: (محمد زاده، ۱۳۹۴):

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

لذا با توجه به اثرات زیست محیطی کاهش دید افقی که نتیجه فراوانی وقوع طوفان های گرد و غباری و توسعه ریز گرد ها در این منطقه است، پیش بینی آن در سال های آینده با استفاده از روش آماری رگرسیون فضایی-زمانی^۱ و با کمک نرم افزار R^2 و با استفاده از بسته نرم افزاری *spdep* (Hengl & Anselin, 2003)، (*Bivand & etc.*, 2021) '*plotKML*' (& etc., 2021)، (*Loecher, 2021*) *RgoogleMaps* & etc., 2015) '*tseries*'، (*Trapletti & et al* 2020)، (*Bivand & et al* (2021). در این تحقیق مد نظر قرار گرفت.

بررسی خود همبستگی دید افقی^۳

به منظور پیش بینی میزان دید افقی و نحوه همبستگی داده ها از تابع خودهمبستگی و شاخص ضریب همبستگی بین داده‌ها با تاخیر زمانی، از رابطه زیر استفاده شد (Cryer & Chan, 2008).

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

که در آن Z_t مقدار متغیر دید افقی در زمان t ، k تاخیر زمانی و n حجم داده‌ها است.

در تجزیه تحلیل های فضایی-زمانی، خود همبستگی داده ها میزان وابستگی زمانی آن ها را بیان می کند این موضوع نشان می دهد چنانچه ضریب خود همبستگی از مقادیر بالایی برخوردار باشد، داده ها از وابستگی بالایی برخوردارند و طول زمان پیش بینی افزایش می یابد پس در مناطقی که دارای رژیم آب و هوایی منظمی دارند طول زمان پیش بینی افزایش می یابد و مقادیر پیش بینی با خطای کمتری همراه است اما در رژیم های اتفاقی هم طول زمان پیش بینی

1- Spatio-temporal regression.

2- R Development Core Team.2018.

3-Autocorrelation horizontal visibility.

4-Stationary data.

$$H1: \beta \neq 0$$

فرض سوم همسانی واریانس خطا:

برای همسانی واریانس خطاها نیز از آزمون بروش پاگن استفاده شد (Maddala & Lahiri, 2009) و فرضیه تحقیق در سطح بحرانی ۹۵٪ به شرح زیر تعریف شد.

$$H0: \beta = 0$$

$$H1: \beta \neq 0$$

ضرایب رگرسیون فضایی-زمانی:

آزمون معنی‌دار بودن ضرایب رگرسیون (آماره t)

در تحلیل رگرسیون فضایی-زمانی که واریانس متغیر وابسته با مجموعه‌ای از پیش‌بینی‌کننده‌ها تعیین می‌شود آزمون شیب خط رگرسیون از اهمیت بالایی برخوردار است که در آن یک طرفه یا دو طرفه بدون بودن آزمون باید مشخص شود. اگر آزمون با مقدار صفر صورت گیرد آزمون همیشه دو طرفه ولی اگر با مقدار غیر صفر صورت گیرد با هر دو شکل یک طرفه و دو طرفه می‌تواند انجام شود در این تحقیق آزمون به صورت دو طرفه با مقدار صفر انجام شد. برای بررسی معنی‌داری شیب هر یک از متغیرهای مستقل فرضیه آماری به صورت زیر تعیین گردید (Montgomery & etc. 2012):

$$H0: \beta = 0$$

$$H1: \beta \neq 0$$

فرضیه $H0$ بدین معناست که رابطه معنی‌داری بین متغیر مستقل و وابسته وجود ندارد. همچنین $H1$ نشان‌دهنده وجود یک رابطه معنی‌دار بین متغیر مستقل و وابسته است. برای بررسی این فرضیه آماری، اگر y متغیر وابسته باشد، آماره t را برای ضریب متغیر مستقل x یعنی β به صورت زیر محاسبه می‌شود.

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

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

که در آن:

$z_{s,t}$ متغیر در زمان t و موقعیت s ، s_1 موقعیت نزدیک‌ترین ایستگاه به ایستگاه با موقعیت s است. در صورتی که $z_{s_1,t-1}$ در مدل فوق معنی‌دار باشد فرضیه مانایی تایید می‌شود.

آزمون فرض برای تعیین نوع رگرسیون فضایی-

زمانی

تعیین نوع رگرسیون فضایی-زمانی جهت پیش‌بینی داده‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. که با پیش‌فرض‌های زیر انجام می‌شود در صورتی که تمامی پیش‌فرض‌ها برقرار باشد از برآوردگر کمترین مربعات خطا OLS_1 و در صورتی که حتی یکی از این پیش‌فرض‌ها برقرار نباشد از رگرسیون فضایی-زمانی تعمیم یافته GLM برای برازش مدل استفاده می‌شود (Anselin & etc. 2010)

فرض اول آزمون نرمال بودن خطاها:

در این خصوص جهت انجام آزمون نرمال بودن خطاها از آزمون جارک-برا استفاده شد (Jarque & Bera, 1987) سپس به کمک آماره X^2 مقدار خطاها در منطقه بحرانی در سطح ۹۵٪ با $df=n-2$ و α یا $\alpha/2$ به کمک جدول t -استیودنت فرضیه تحقیق به شرح زیر تعریف شد.

$$H0: \beta = 0$$

$$H1: \beta \neq 0$$

فرض دوم: عدم همبستگی خطاها:

جهت بررسی همبستگی نوع خطاها در این تحقیق از آزمون دوربین واتسون استفاده شد (Verbeek, 2012) و فرضیه تحقیق بدین صورت در نظر گرفته شد.

$$H0: \beta = 0$$

1-Ordinary Least Square.

2-Generalized Linear Model.

مشاهدات n و تعداد متغیرهای مستقل k باشند 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 به دست آمده از آماره باشد فرض H_0 رد شده و در غیر این صورت فرض H_1 پذیرفته می‌شود.

ضریب تعیین ۱

اگر پیش فرض های اساسی یک رگرسیون برای کلیه جملات خطا قابل قبول باشد، برآورد کننده آن علاوه بر حداقل مربعات، دارای حداقل واریانس نیز هست. (Montgomery & etc. 2012) به این ترتیب یک معیار برای انتخاب مدل رگرسیون، که بهتر از سایر مدل‌ها تغییرات متغیر وابسته را بر حسب متغیر مستقل نشان می‌دهد، استفاده از ضریب تعیین است که مقدار آن از ارتباط میان x, y و از مجذور ضریب همبستگی به دست می‌آید در هر صورت برای بیان قدرت تبیین رگرسیون از رابطه زیر استفاده شده است (Montgomery & etc. 2012):

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

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

شاخص تورم واریانس ۲

که در X_i ها مشاهدات متغیر 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 متغیرهای مستقل می‌باشد و متغیر t دارای توزیع t با درجه آزادی $n - k - 1$ است. تصمیم درباره پذیرش یا رد فرض صفر، بر اساس مقدار و احتمال آماره t انجام می‌شود. مقدار آماره t با مقادیر جدول t و احتمال آن با ۰/۰۵ مقایسه می‌شود. در صورتی که احتمال این آماره از ۰/۰۵ کم‌تر باشد، فرض صفر مبنی بر عدم تأثیر متغیر مستقل بر متغیر وابسته رد شده و رابطه معنی‌دار بین متغیر مستقل و وابسته، مورد پذیرش قرار می‌گیرد.

آزمون معنادار بودن معادله خط رگرسیون (آماره F)

در معادله رگرسیون چند گانه، اگر رابطه ای میان متغیر وابسته و متغیر مستقل وجود نداشته باشد باید تمام ضرایب متغیرهای مستقل در معادله، مساوی صفر باشد. با داشتن مدل معادله رگرسیون چند متغیره قاعده تصمیم گیری به صورت زیر است (Montgomery & etc. 2012):

$$H_0: B_1 = B_2 = \dots = B_k = 0$$

$$H_1 = B_i \neq 0 \quad i = 1, 2, \dots$$

(که حداقل یکی از آن‌ها غیر صفر است)

اگر y متغیر در معادله رگرسیون باشد لازم است با استفاده از رابطه زیر آزمون آماره F انجام شود.

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

که در آن MSR و MSE به ترتیب میانگین مربعات رگرسیون و میانگین مربعات خطا هستند و اگر تعداد

زمانی که قابلیت تعریف برای یک یا چند متغیر را دارد استفاده شده است. (Wikle & etc 019). که در آن جهت تخمین متغیر وابسته از داده‌های همسایگی فضایی-زمانی و سایر اطلاعات لازم نیز به کار گرفته شد. که حالت خاصی از رگرسیون خطی و شکل پیچیده تری از آن دارد که در آن متغیر مورد مطالعه به موقعیت و زمان وابسته است. و بصورت زیر تعریف می‌شود. (Wikle & etc 2019):

اگر مجموعه اندیس گذار یک بُعدی T را داشته باشیم آنگاه $\{Z_t, t \in T\}$ یک فرایند تصادفی 1 نامیده می‌شود. که سری زمانی نامیده می‌شود. حال در صورتی که فضای دو بُعدی S داشته باشیم $\{Z_s, s \in S\}$ ، می‌توان آن را داده‌های فضایی ذکر کرد. تعمیمی از داده‌های فضایی و سری زمانی، داده‌های فضایی-زمانی هستند که بدین صورت تعریف می‌شوند (Pebesma & Gräler, 2017).

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

بنا براین جهت پیش‌بینی میانگین دید افقی در منطقه کم فشار حرارتی سیستم مدل رگرسیونی فضایی-زمانی آن بصورت 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 $Z_{s,t}$ دید افقی در زمان t در موقعیت S ، S_1 موقعیت نزدیک‌ترین ایستگاه به ایستگاه با موقعیت S ، y_s و x_s طول و عرض جغرافیایی و $\varepsilon_{s,t}$ جمله خطاها است. در نهایت حد بالا و پائین میانگین سالیانه دید افقی در منطقه مورد نظر در فاصله اطمینان ۹۵٪ با توجه به رابطه زیر محاسبه شد (Cressie, 1993).

$$A \equiv (\hat{z}_{s_0, t_0} - 1.96\sigma_{s_0, t_0}, \hat{z}_{s_0, t_0} + 1.96\sigma_{s_0, t_0})$$

یک مدل رگرسیون در صورتی معتبر است که متغیر وابسته با متغیرهای ورودی از قبیل متغیرهای مستقل و کنترلی همبستگی بالایی داشته باشد. هرچه این وابستگی قوی‌تر باشد، مدل مناسب‌تر بوده و کاربرد بیشتری دارد. اما باید بین خود متغیرهای ورودی همبستگی وجود نداشته باشد. در صورت وجود همبستگی بین متغیرهای ورودی، اصطلاحاً گفته می‌شود هم خطی چندگانه بین متغیرها به وجود آمده است که از اعتبار مدل می‌کاهد. یکی از راه‌های برطرف نمودن این مشکل، حذف متغیر مزاحمی است که با دیگر متغیرها همبستگی دارد و این کار از طریق برازش مدل‌های مختلف و مقایسه آنها صورت می‌گیرد. (Studenmund, 2006) برای بررسی بیشتر هم خطی بین متغیرها، در مدل برازش شده از عامل تورم واریانس (VIF) استفاده می‌شود که برای محاسبه آن ابتدا رگرسیونی که در آن سایر متغیرهای مستقل در مدل به عنوان متغیر مستقل و X بعنوان متغیر وابسته برازش داده می‌شود و مقدار مقدار ضریب تعیین آن یعنی R^2 به دست می‌آید. در نهایت VIF از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Montgomery & etc. 2012):

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2}$$

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

در این تحقیق برای پیش‌بینی میانگین دید افقی سالیانه در منطقه کم فشار حرارتی سیستم از روش رگرسیون فضایی-

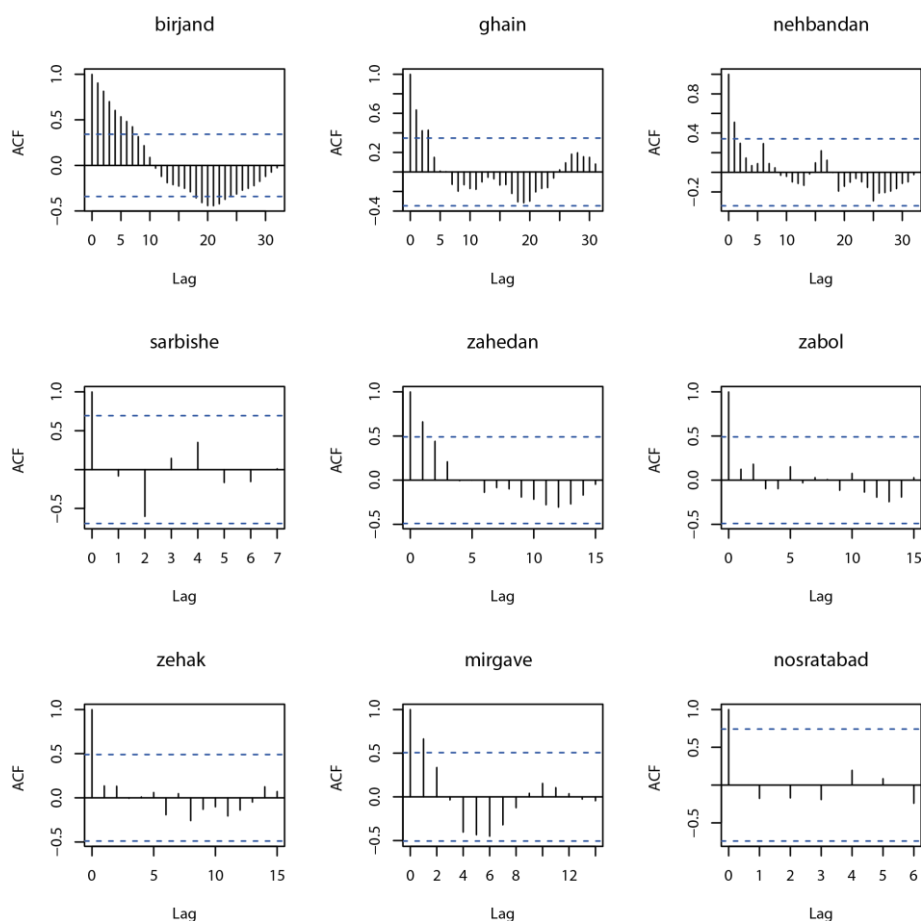
خود همبستگی داده های دید افقی در ایستگاه های بیرجند، قاین، نهبندان، زاهدان و میرجاوه نشان می دهد که از وابستگی بالای برخوردار هستند اما ایستگاه های سریشه، زابل، زهک و نصرت آباد همبستگی بالایی را نشان نمی دهند و نمودار خود همبستگی آنها در تاخیر اول دارای وابستگی بالا و در تاخیر دوم و سوم وابستگی آنها کاهش می یابد این موضوع اتفاقی بودن یا اثر عوامل محلی در پیدایش پدیده مورد نظر را نشان می دهد در نهایت تحلیل فضایی-زمانی داده ها نشان می دهد که داده ها قابلیت پیش بینی دارند اما طول زمان پیش بینی هنوز مشخص نیست.

که در آن σ_{S_0,t_0} انحراف معیار \hat{Z}_{S_0,t_0} 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 بامحدوده مورد مطالعه تلفیق شد (Loecher, M. 2016).

شرح و تفسیر نتایج

بررسی خود همبستگی دید افقی

بررسی اولیه تابع خود همبستگی دید افقی سالیانه در منطقه کم فشار حرارتی سیستان نشان داد که خود همبستگی از دو روز شروع شده و تا ۱۲ روز ادامه دارد (شکل ۵) نمودار



شکل ۵: تابع خود همبستگی دید افقی به تفکیک هر یک از ایستگاه ها

همان طور که ملاحظه می‌شود برای تمامی متغیرها P- تمامی متغیرها را در مدل رگرسیون پذیرفت. نتایج آزمون مقدار از ۰/۰۵ کمتر بوده است. از این رو می‌توان ایستایی ایستایی در جدول ۱ آمده است:

جدول شماره ۱: آزمون ایستایی داده‌ها

متغیر	$Z_{s1,t-1}$	$Z_{s,t}$	$Z_{s,t-1}$	X_s	Y_s
P-مقدار آزمون	$< 2 \times 10^{-16}$	$< 2 \times 10^{-16}$	$< 2 \times 10^{-16}$	$< 2 \times 10^{-16}$	$< 2 \times 10^{-16}$

نرمال بودن خطاها

P-مقدار در سطح اطمینان ۹۵٪ بیشتر از ۰/۰۵ است لذا

نرمال بودن خطاها مورد تأیید می‌باشد.

برای انجام نرمال بودن خطای رگرسیون از آزمون جارک-

براستفاده شد همان طور که از نتایج جدول دو پیداست

جدول شماره ۲: آزمون جارک-برای بررسی نرمال بودن خطاها برای مدل دید افقی

آماره خی-دو	درجه آزادی	P-مقدار	نتیجه
۱/۲۷	۲	۰/۵۲۸۳	خطاها نرمال می‌باشند.

عدم همبستگی خطاها

آمده است. پیش فرض خودهمبستگی خطاها با کمک

آزمون دوربین واتسون نشان می‌دهد که P-مقدار آزمون

بیش از ۰/۰۵ است در نتیجه خطاها خودهمبسته نیستند

برای بررسی پیش فرض خودهمبستگی خطاها آزمون

دوربین واتسون به کار گرفته شد که نتایج آن در جدول ۳

جدول ۳: نتایج آزمون دوربین واتسون برای مدل دید افقی

آماره دوربین واتسون	P-مقدار	نتیجه
۲/۳۱	۰/۱۹۶	خطاها خودهمبسته نیستند.

همسانی واریانس خطاها

شماره ۴ آمده است از این رو می‌توان، از رگرسیون تعمیم

یافته به منظور تجزیه تحلیل داده‌ها استفاده کرد.

با توجه به پیش فرض همسانی واریانس خطاها، نتایج نشان

می‌دهد، میزان P-مقدار آزمون کمتر از ۰/۰۵ است، لذا

همسانی واریانس خطاها برقرار نیست. که مقدار آن در جدول

جدول ۴: نتایج آزمون بروش پاگن برای مدل دید افق

نتیجه	سطح معنی داری	درجه آزادی	BP آماره
همسانی واریانس ها برقرار نیست	۰/۰۰۰	۴	۲۸/۸۲

آزمون معنی دار بودن ضرایب رگرسیون (آماره t)

با توجه به نتایج، آماره t (۴/۳۲) نشان می دهد که متغیر مستقل $Z_{S,t-1}$ در این مدل در سطح 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 می باشد. از این رو می توان گفت که متغیرها با همسایگی فضایی و با تاخیر یک واحد زمانی تاثیر معنی داری داشته است.

با توجه به نتایج، آماره t (۲۲/۰۵) نشان می دهد که متغیر مستقل $Z_{S,t-1}$ در این مدل در سطح ۹۵٪ اطمینان، از لحاظ آماری معنادار می باشد زیرا اولاً مقادیر قدر مطلق این آماره بیشتر از ۱/۹۶ بوده ثانیاً مقادیر P -مقدار (۰/۰۰۰) نیز کمتر از ۵ درصد است. از این رو می توان گفت که متغیرها با تاخیر یک واحد زمانی تاثیر معنی داری داشته است.

با توجه به نتایج، آماره t (-۵/۹۸) نشان می دهد که متغیر مستقل X_S در این مدل در سطح ۹۵٪ اطمینان، از لحاظ آماری معنادار می باشد زیرا اولاً مقادیر قدر مطلق این آماره بیشتر از ۱/۹۶ بوده ثانیاً مقادیر P -مقدار (۰/۰۰۰) نیز کمتر از ۵ درصد می باشد. از این رو می توان گفت که طول جغرافیایی تاثیر معنی داری داشته است.

با توجه به نتایج، آماره t (۵/۹۴) نشان می دهد که متغیر مستقل Y_S در این مدل در سطح ۹۵٪ اطمینان، از لحاظ

آماری معنادار می باشند زیرا اولاً مقادیر قدر مطلق این آماره بیشتر از ۱/۹۶ بوده ثانیاً مقادیر P -مقدار (۰/۰۰۰) نیز کمتر از ۵ درصد می باشد. از این رو می توان گفت که عرض جغرافیایی تاثیر معنی داری داشته است. نتایج کلی از آزمون معنی دار بودن ضرایب رگرسیون (آماره t) نشان می دهد که کلیه متغیرهای مستقل در مدل رگرسیون تعمیم یافته معنی دار یعنی قابلیت پیش بینی میانگین دید افقی سالیانه را در منطقه مورد مطالعه دارند (جدول ۵).

آزمون معنادار بودن معادله خط رگرسیون (آماره F)

نتایج نشان می دهد میزان آماره F برابر با ۲۳۶/۴ و P -مقدار آزمون آن کمتر از ۰/۰۵ است بنابراین نتایج آزمون معنادار بودن معادله خط رگرسیون حاکی از آن است که متغیرهای مستقل قابلیت پیش بینی متغیر وابسته یعنی دید افقی را دارند.

ضریب تعیین

ضریب تعیین برابر ۰/۸۹۱ محاسبه شد. این موضوع نشان می دهد که ۸۹ درصد از تغییرات متغیر وابسته توسط متغیر مستقل تبیین می شود. و ما بقی توسط سایر فاکتور ها کنترل می شود در نهایت ضریب تعیین بالا در آزمون معنی داری، مدل مناسب را تأیید می کند.

بررسی هم خطی با استفاده از شاخص تورم

واریانس (VIF)

برای تمامی متغیرها کمتر از ۰/۰۵ و در مدل معنی دار است بدین ترتیب با توجه به ساختار ذاتی داده‌ها و به کارگیری مدل رگرسیون فضایی-زمانی تعمیم یافته می‌توان متغیر دید افقی را در سالهای پیش رو در منطقه مورد نظر پیش بینی کرد

نتایج شاخص تورم واریانس به منظور بررسی هم خطی بودن داده‌ها در جدول شماره پنج آمده است. همان طور که مشاهده می‌شود ماکسیمم مقادیر VIF نیز کمتر از ۱۰ بوده است از این رو وجود تمامی متغیرها در نظر گرفته شده در مدل، قابلیت خوبی برای پیش بینی داده‌ها دارند.

نتایج ضرایب رگرسیون فضایی-زمانی

جدول شماره پنج نتایج حاصله از ضرایب رگرسیون فضایی-زمانی داده‌ها را نشان می‌دهد که در آن P-مقدار

جدول ۵: نتایج حاصله از ضرایب رگرسیون فضایی-زمانی برای داده‌های دید افقی

$z_{s,t} = \beta_0 + \beta_1 z_{s,t-1} + \beta_2 z_{s,t-1} + \beta_3 x_s + \beta_4 y_s + \varepsilon_{s,t}$					مدل	
نتیجه	-مقدار P	آماره t	انحراف استاندارد خطا	ضرایب متغیر در مدل	VIF	متغیرها
معنی داری در مدل	۰/۰۰۰	۴/۷۹	۱۱۸۹	۵۶۹۲	-	عرض از مبدا
معنی داری در مدل	۰/۰۰۰	۴/۳۲	۰/۰۰۳۱۵	۰/۰۱۳۶	۱/۸۹	$z_{s,t-1}$
معنی داری در مدل	۰/۰۰۰	۲۲/۰۵	۰/۰۳۹۷	۰/۸۷۴۸	۱/۷۵	$z_{s,t-1}$
معنی داری در مدل	۰/۰۰۰	-۵/۹۸	۱۶/۷۱	-۹۹/۹۴	۳/۱۵	x_s
معنی داری در مدل	۰/۰۰۰	۵/۹۴	۷/۴۷	۴۴/۳۶	۲/۴۰	y_s
آزمون معنی داری مدل				ضریب تعیین تعدیل شده		
-مقدار P	آماره F					
۰/۰۰۰	۲۳۶/۴					
				۰/۸۹۱		

تا ۲۰۲۲ به ترتیب با میزان ۶/۹ و ۷/۰ و ۷/۱ و ۷/۲ کیلومتر مربوط به ایستگاه زهک است که روند پیش بینی آن نشان می‌دهد تا سال ۲۰۲۲ به میزان میانگین سالیانه دید افقی افزوده می‌شود. که رقم افزایشی آن تقریباً ۳۰۰ متر است پس از آن ایستگاه زابل به ترتیب با میزان ۷/۰ و ۷/۱ و ۷/۳

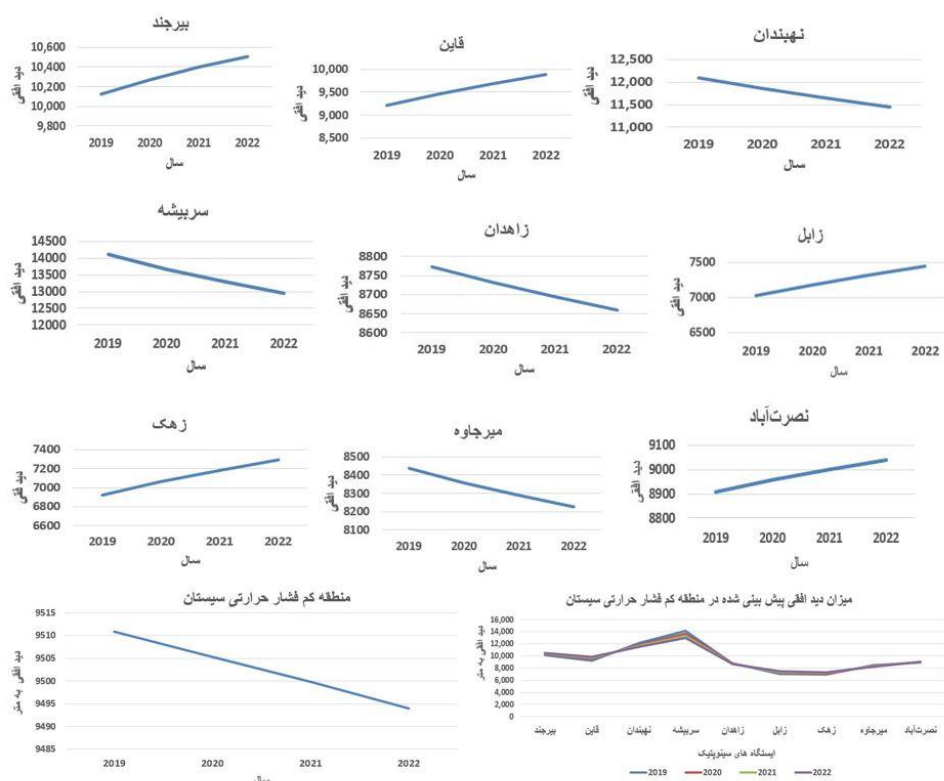
پیش بینی فضایی-زمانی دید افقی سالیانه

با توجه به فرض‌های مدل کلاسیک رگرسیون خطی، روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی، شرایط برآورد کننده مطلوب را دارد. بر این اساس مدل عددی نشان می‌دهد که کمترین میزان میانگین دید افقی سالیانه طی سال‌های ۲۰۱۹

دهد که در سال ۲۰۲۲ از میزان دید افقی سالیانه آن کاسته می شود و به رقم ۱۲/۹ کیلومتر می رسد پس از آن ایستگاه نهبندان با همین شرایط از رقم ۱۲/۱ کیلومتر به رقم ۱۱/۴ کیلومتر در سال ۲۰۲۲ می رسد میزان دید افقی سالیانه در ایستگاه های بیرجند و قاین روندی افزایشی را نشان می دهد به طوری که به ترتیب در سال ۲۰۱۹ با ۱۰/۱ و ۹/۲ کیلومتر همراه هستند که این میزان در سال ۲۰۲۲ به ترتیب به ۱۰/۵ و ۹/۸ کیلومتر می رسد. روند کلی از چگونگی پیش بینی دید افقی سالیانه برای کلیه ایستگاه های منطقه مورد مطالعه در شکل شش آورده شده است میانگین سالیانه دید افقی در سال های پیش رو نشان می دهد روند کاهش میزان دید افقی همچنان ادامه دارد که می تواند تحولات اقتصادی و جمعیتی منطقه را با چالش مواجه کند (شکل ۶).

و ۷/۴ کیلومتر قرار دارد که روند پیش بینی این ایستگاه مشخص می کند میزان میانگین سالیانه دید افقی طی سال های پیش رو افزایش می یابد. که رقم افزایشی آن تقریباً ۴۰۰ متر است که ۱۰۰ متر از ایستگاه زهک بیشتر است، ایستگاه نصرت آباد نیز شرایط مشابهی دارد و با افزایش دید افقی سالیانه مواجه است که از رقم ۸/۹ به رقم ۹/۰ کیلومتر می رسد، در ایستگاه زاهدان میزان میانگین دید افقی روندی کاهشی دارد به طوری که این میزان در سال ۲۰۱۹ برابر ۸/۷ متر که در سال ۲۰۲۲ به رقم ۸/۶ کیلومتر می رسد، که بر بحرانی بودن این ایستگاه می افزاید لذا با توجه به پر خطر بودن کلیه ایستگاه های مورد مطالعه در این محدوده از استان سیستان و بلوچستان این ایستگاه ها با شرایط حادثری مواجه خواهند بود

ایستگاه سرپیشه بیشترین میزان دید افقی را دارد که در سال ۲۰۱۹ به ۱۴/۱ کیلومتر می رسد روند پیش بینی آن نشان می



شکل ۶: پیش بینی میزان دید افقی به تفکیک هر یک از ایستگاه ها

همچنین نتایج کلی میزان پیش بینی دید افقی سالیانه در منطقه کم فشار حرارتی سیستان را همراه با کران بالا و پایین را در جدول ۶ می‌توان مشاهده نمود در نهایت می‌توان گفت کلیه ایستگاه‌های بحرانی در استان سیستان و بلوچستان قرار دارند.

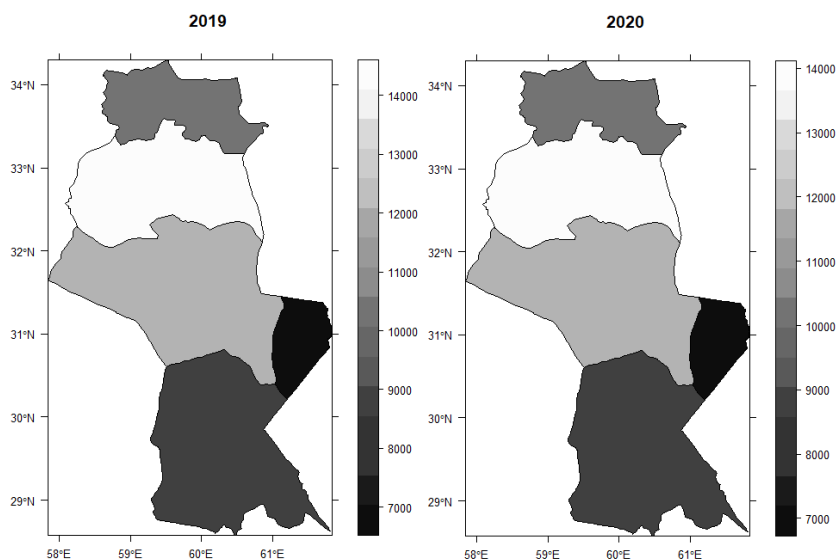
جدول ۶: مقدار پیش بینی دید افقی سالیانه به متر با سطح اطمینان ۹۵٪ از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲

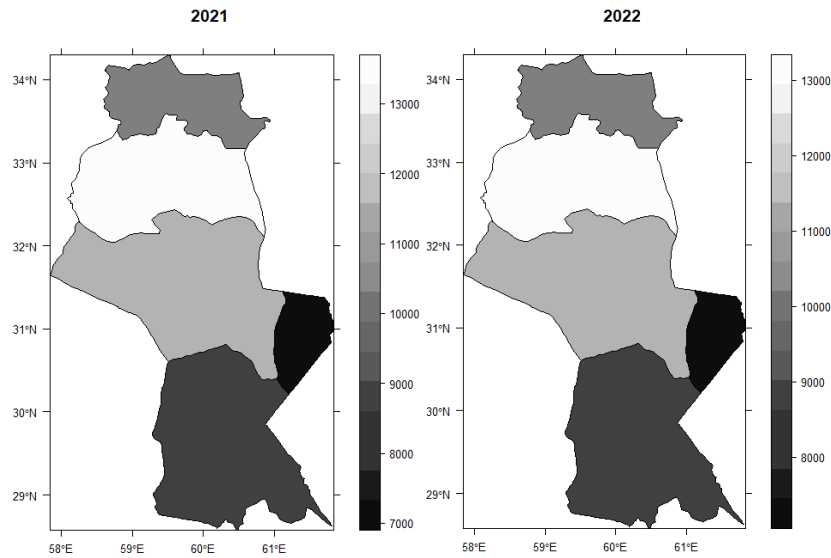
ایستگاه سال		۲۰۱۹		۲۰۲۰		۲۰۲۱		۲۰۲۲	
بیرجند	مقدار پیش بینی	۱۰،۱۲۱		۱۰،۲۷۲		۱۰،۳۹۸		۱۰،۵۰۳	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۱۰،۴۲۰	۹،۸۲۱	۱۰،۵۵۷	۹،۹۸۷	۱۰،۶۷۴	۱۰،۱۲۲	۱۰،۷۷۳	۱۰،۲۳۳
قاین	مقدار پیش بینی	۹،۲۱۰		۹،۴۶۳		۹،۶۸۷		۹،۸۸۴	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۹،۶۲۹	۸،۷۹۰	۹،۸۶۴	۹،۰۶۳	۱۰،۰۷۲	۹،۳۰۲	۱۰،۲۵۵	۹،۵۱۳
نهبندان	مقدار پیش بینی	۱۲،۱۰۱		۱۱،۸۶۱		۱۱،۶۴۵		۱۱،۴۵۰	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۱۲،۴۲۵	۱۱،۷۷۷	۱۲،۱۵۳	۱۱،۵۷۰	۱۱،۹۰۹	۱۱،۳۸۱	۱۱،۶۹۲	۱۱،۲۰۹
سربیشه	مقدار پیش بینی	۱۴،۱۰۳		۱۳،۶۶۴		۱۳،۲۸۱		۱۲،۹۴۸	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۱۴،۴۵۶	۱۳،۷۵۰	۱۳،۹۸۶	۱۳،۳۴۱	۱۳،۵۷۹	۱۲،۹۸۲	۱۳،۲۲۷	۱۲،۶۶۹
زاهدان	مقدار پیش بینی	۸،۷۷۳		۸،۷۳۲		۸،۶۹۴		۸،۶۶۰	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۹،۰۷۵	۸،۴۷۳	۹،۰۳۵	۸،۴۲۹	۸،۹۹۹	۸،۳۸۹	۸،۹۶۷	۸،۳۵۳
زابل	مقدار پیش بینی	۷،۰۲۲		۷،۱۸۰		۷،۳۲۰		۷،۴۴۴	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۷،۳۳۸	۶،۷۰۶	۷،۴۸۹	۶،۸۷۰	۷،۶۲۵	۷،۰۱۵	۷،۷۴۵	۷،۱۴۳
زهک	مقدار پیش بینی	۶،۹۲۲		۷،۰۶۱		۷،۱۸۴		۷،۲۹۴	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۷،۲۱۹	۶،۶۲۵	۷،۳۵۲	۶،۷۶۹	۷،۴۷۲	۶،۸۹۶	۷،۵۷۹	۷،۰۰۹
میرجاوه	مقدار پیش بینی	۸،۴۳۹		۸،۳۵۸		۸،۲۸۸		۸،۲۲۵	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۸،۷۱۲	۸،۱۶۵	۸،۶۳۱	۸،۰۸۶	۸،۵۵۹	۸،۰۱۶	۸،۴۹۶	۷،۹۵۴
نصرت‌آباد	مقدار پیش بینی	۸،۹۰۷		۸،۹۵۷		۹،۰۰۱		۹،۰۳۸	
	فاصله اطمینان ۹۵٪	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	کران پایین
		۹،۴۱۵	۸،۳۹۹	۹،۴۶۵	۸،۴۵۰	۹،۵۰۸	۸،۴۹۴	۹،۵۴۵	۸،۵۳۱

توجه آن است که درنواحی قاین، نهبندان، سریشه، زاهدان و میرجاوه از میزان دید افقی تا سال ۲۰۲۲ کاسته می شود که بیشترین میزان کاهش دید افقی مربوط به ایستگاه سریشه است به طوری که این میزان کاهش تا سال ۲۰۲۲ به ۱۰۰۰ متر می رسد در حالی که در ایستگاه های بیرجند، زابل، زهک و نصرت آباد به میزان دید افقی آنها در حدود ۱۰۰ افزوده می شود که این میزان افزایش به حدی نیست که بتواند منطقه را از شرایط بحرانی نجات دهد. تنها ایستگاه بیرجند که شرایط مطلوبی از نظر دید افقی دارد کاهش دید افقی شامل آن هم می شود که بیانگر این موضوع است که کل منطقه مورد مطالعه شامل ایستگاه های مطلوب و غیر مطلوب با شرایط بحرانی روبرو هستند.

تحلیل فضایی - زمانی میانگین سالیانه دید افقی نشان می دهد که ناحیه سیستان در طی سال های پیش رو کمترین میزان دید افقی را دارد که میزان آن ۶ تا ۷ کیلومتر است و پس از آن ناحیه زاهدان بین ۸ تا ۹ کیلومتر قرار دارد دید افقی پیش بینی شده در ناحیه قاینات بین ۹ تا ۱۰ کیلومتر است که در رتبه سوم در بین ایستگاه های منطقه دارد (شکل ۷).

میانگین دید افقی در ناحیه بیرجند بین ۱۰ تا ۱۲ کیلومتر می باشد که ایستگاه نهبندان شرایط بهتری از ایستگاه بیرجند در طی سالیان پیش رو دارد با این وجود بیشترین میزان دید افقی سالیانه مربوط به ایستگاه سریشه است که میزان آن ۱۲ تا ۱۴ کیلومتر که از این منظر می توان گفت شرایط بهتری از نظرمیزان هوای پاک و سالم دارد نکته قابل

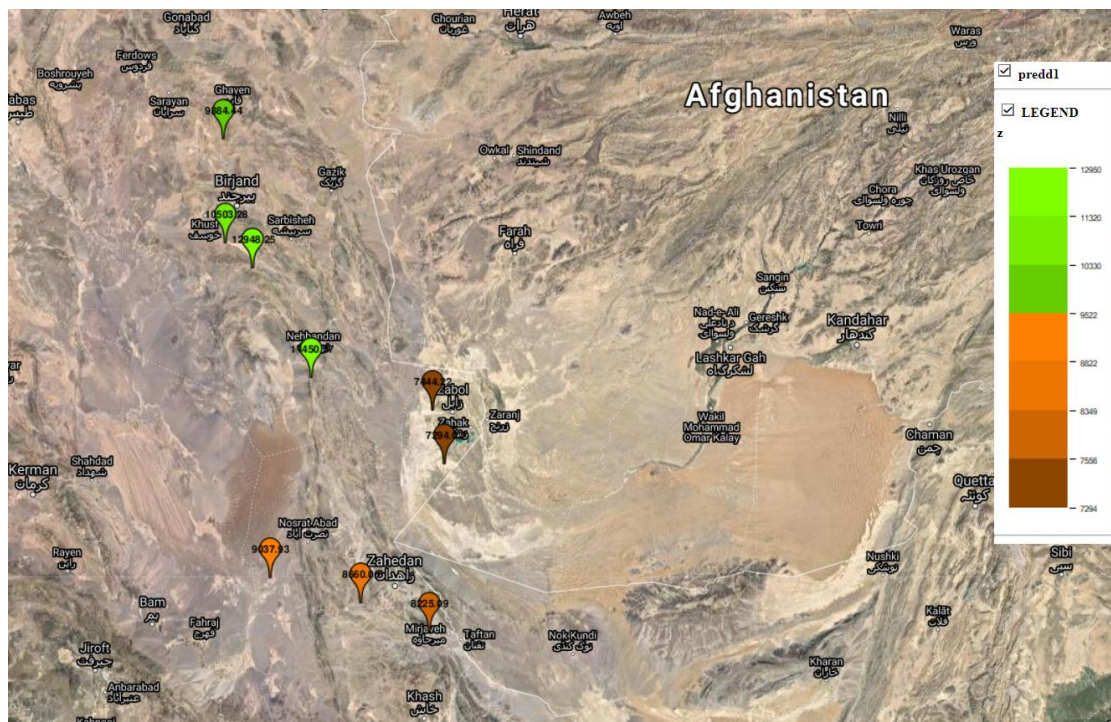




شکل ۷: پیش بینی دید افقی به در منطقه کم فشار حرارتی سیستان

کم منطقه نسبت به نقاط اطراف، که بر شدت وزش بادهای ۲۰ روزه می‌افزاید یکی از دلایل اصلی بحرانی بودن منطقه از نظر دید افقی نسبت به مناطق شمالی آن است (شکل ۸).

از این رو نقاط بحرانی در سال ۲۰۲۲ بر روی منطقه مورد مطالعه پلات شدند. این نقاط نشان می‌دهند منطقه سیستان و نقاط جنوبی آن، به دلیل نزدیکی به بیابان لوت و ارتفاع



شکل ۸: پلات پیش بینی شده میزان دید افقی برای سال ۲۰۲۲ به تفکیک هر یک از ایستگاه‌ها

نتیجه گیری

جهت تحلیل دید افقی در منطقه کم فشار حرارتی سیستان، آمار روزانه دید افقی به متر در ایستگاه های محدوده مورد نظر تهیه و نمودار سری زمانی آن رسم شد. وضعیت کلی آن در طول دوره آماری نشان می دهد که میزان دید افقی در این منطقه روندی کاهشی دارد که بیانگر افزایش تعداد روزهای گرد و غباری است به طوری که در سال ۱۹۸۶ میانگین ۱۴/۸ کیلومتر شروع شده در سال ۲۰۱۸ به ۹/۵ کیلومتر می رسد. در این بین کمترین میزان دید مربوط به سال ۲۰۰۸ با ۹/۲ کیلومتر است.

همچنین میزان دید افقی به تفکیک ایستگاه ها نشان می دهد که ایستگاه سرپیشه با میانگین ۱۶/۳ کیلومتر و ایستگاه زابل ۶/۹ کیلومتر به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین سالیانه دید افقی را در طول دوره آماری داشته اند همچنین نتایج نشان می دهد، کلیه ایستگاه های واقع استان سیستان و بلوچستان کمترین میزان دید افقی را دارند.

به منظور تحلیل و بررسی دید افقی در تک تک ایستگاه ها در بازه زمانی مورد نظر نمودار سری زمانی دید افقی رسم شد. بررسی ها نشان داد در اکثر ایستگاه ها میزان دید افقی روند کاهشی دارد این بدان معناست که نقش ایستگاه ها با دید بالا در میانگین گیری سری زمانی تاثیر گذار نبوده و کل منطقه با کاهش دید افقی همراه است. با این که میزان دید در ایستگاه های زاهدان و زابل در سال های پایانی افزایش می یابد این مقدار به حدی نیست که بتواند روند منطقه را افزایشی کند و باید گفت این منطقه شدیداً با بحران ریز گرد یا همان افزایش تعداد روزهای گرد و غباری و کاهش دید افقی رو برو است.

بررسی اولیه تابع خودهمبستگی دید افقی سالیانه در منطقه کم فشار حرارتی سیستان نشان داد که خود همبستگی از دو روز شروع شده و تا ۱۲ روز ادامه دارد نمودار خود همبستگی داده های دید افقی در ایستگاه های بیرجند،

قاین، نهبندان، زاهدان و میرجاوه نشان می دهد که از وابستگی بالای همراه هستند اما ایستگاه های سرپیشه، زابل، زهک و نصرت آباد همبستگی بالای را نشان نمی دهند و نمودار خودهمبستگی آنها در تاخیر اول دارای وابستگی بالا اما در تاخیر دوم و سوم وابستگی آنها کاهش می یابد این موضوع اتفاقی بودن یا اثر عوامل محلی را در پیدایش پدید مورد نظر را نشان می دهد.

تحلیل فضایی-زمانی داده ها بیانگر این است که داده ها قابلیت پیش بینی دارند و نتایج نشان می دهد که تمامی متغیرها در مدل معنی دار بوده است. همچنین ضریب تعیین برابر ۰/۸۹۱ می باشد این موضوع نشان می دهد که ۸۹ درصد از تغییرات متغیر وابسته توسط متغیر مستقل تبیین می شود و ما بقی توسط سایر فاکتور ها کنترل می شود در نهایت ضریب تعیین بالا در آزمون معنی داری، مدل مناسب را تأیید می کند. همچنین آزمون معنی داری ضرایب رگرسیون و آزمون معنادار بودن معادله خط رگرسیون نشان می دهد که مدل رگرسیون تعمیم یافته می تواند دید افقی را در منطقه کم فشار سیستان را تا سال ۲۰۲۲ پیش بینی کند.

مدل عددی نشان می دهد که کمترین میزان میانگین دید افقی سالیانه طی سال های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲ به ترتیب با میزان ۶/۹ و ۷/۰ و ۷/۱ و ۷/۲ کیلومتر مربوط به ایستگاه زهک است که علی رغم آن روند پیش بینی آن نشان می دهد تا سال ۲۰۲۲ میانگین دید افقی سالیانه آن افزوده می شود. که رقم افزایشی آن تقریباً ۳۰۰ متر است پس از آن ایستگاه زابل به ترتیب با میزان ۷/۰ و ۷/۱ و ۷/۳ و ۷/۴ کیلومتر قرار دارد که روند پیش بینی این ایستگاه مشخص می کند میزان میانگین سالیانه دید افقی طی سال های پیش رو افزایش می یابد. که رقم افزایشی آن تقریباً ۴۰۰ متر است که ۱۰۰ متر از ایستگاه زهک بیشتر است ایستگاه نصرت آباد نیز شرایط مشابهی دارد و با افزایش دید افقی سالیانه مواجه است که از رقم ۸/۹ به رقم ۹/۰ متر می رسد در ایستگاه زاهدان میزان

مربوط به ایستگاه سربیشه است که میزان آن ۱۲ تا ۱۴ کیلومتر که از این منظر می‌توان گفت شرایط بهتری از نظرمیزان هوای پاک و سالم دارد نکته قابل توجه آن است که درنواحی قاین، نهبندان سربیشه، زاهدان و میرجاوه از میزان دید افقی آنها تا سال ۲۰۲۲ کاسته می‌شود که بیشترین میزان کاهش دید افقی مربوط به ایستگاه سربیشه است به طوری که این میزان کاهش تا سال ۲۰۲۲ به ۱۰۰۰ متر می‌رسد ایستگاه‌های بیرجند، زابل، زهک و نصرت آباد به میزان دید افقی آنها در حدود ۱۰۰ افزوده می‌شود که این میزان افزایش به حدی نیست که بتواند منطقه را از شرایط بحرانی نجات دهد در این بین تنها در ایستگاه بیرجند شرایط مطلوبی از نظر دید افقی دیده می‌شود اما باید گفت کاهش دید افقی شامل آن هم می‌شود که بیانگر این موضوع است که کل منطقه مورد مطالعه شامل ایستگاه‌های مطلوب و غیر مطلوب با شرایط بحرانی روبرو هستند.

منابع

1. Asghari Mohammad Amir Hossein Meshkouti; Abbas Ranjbar; Mohammad Moradi. Study and evaluation of dust emission schemes in the WRF-Chem model of storm in the east and southeast of the country (Case study 11 to 13 August 2018). *Climatological Research*, 1399 (43), 87-98.
2. Omidvar, Kamal, Nessa Sepandar (2018). Synoptic analysis and satellite monitoring of dust phenomenon in Kermanshah province in the period 1987 to 2010 Case study: Dust pervasive June 17 and 18, 2009. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 18 (49), 1- 18.
3. Steadfast, Seyedeh Samaneh. Khosh Sima, Massoud. Ahmadi Givi, Culture. (2016). Investigation of changes in atmospheric extinction coefficient based on horizontal visibility in four busy airports in the country. *Earth and Space Physics*, 42 (2), 459-467
4. Jabali Atefeh, Reza Jafari, Mohammad Zare, Mohammad Reza Ekhtesasi. 1399. Investigation of the range of horizontal visibility variability of areas affected by

میانگین دید افقی روندی کاهشی دارد به طوری که این میزان در سال ۲۰۱۹ برابر ۸/۷ کیلومتر که در سال ۲۰۲۲ به رقم ۸/۶ کیلومتر میرسد که بر بحرانی بودن این ایستگاه می‌افزاید لذا با توجه به پر خطر بودن کلیه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه باید گفت ایستگاه‌های شمالی استان سیستان و بلوچستان با شرایط حادث‌تری مواجه خواهند بود.

نتایج نشان می‌دهد ایستگاه سربیشه بیشترین میزان دید افقی را دارد که در سال ۲۰۱۹ به ۱۴/۱ کیلومتر می‌رسد روند پیش بینی آن نشان می‌دهد که در سال ۲۰۲۲ میزان دید افقی سالیانه به رقم ۱۲/۹ کیلومتر کاهش می‌یابد پس از آن ایستگاه نهبندان با همین شرایط از رقم ۱۲/۱ کیلومتر به رقم ۱۱/۴ کیلومتر در سال ۲۰۲۲ می‌رسد میزان دید افقی سالیانه در ایستگاه‌های بیرجند و قاین روندی افزایشی را نشان می‌دهد به طوری که به ترتیب در سال ۲۰۱۹ با ۱۰/۱ و ۹/۲ کیلومتر همراه هستند که این میزان در سال ۲۰۲۲ به ترتیب به ۱۰/۵ و ۹/۸ کیلومتر می‌رسد. روند کلی از چگونگی پیش بینی دید افقی سالیانه برای کلیه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد میانگین سالیانه دید افقی در سال‌های پیش رو همچنان کاهش می‌یابد که می‌تواند تحولات اقتصادی و جمعیتی منطقه را با چالش مواجه کند.

تحلیل فضایی - زمانی میانگین سالیانه دید افقی نشان می‌دهد که ناحیه سیستان در طی سال‌های پیش رو کمترین میزان دید افقی را دارد که میزان آن ۶ تا ۷ کیلومتر است و پس از آن ناحیه زاهدان بین ۸ تا ۹ کیلومتر قرار دارد دید افقی پیش بینی شده در ناحیه قاینات بین ۹ تا ۱۰ کیلومتر است که در رتبه سوم در بین ایستگاه‌های منطقه دارد.

میانگین دید افقی در ناحیه بیرجند بین ۱۰ تا ۱۲ کیلومتر است که ایستگاه نهبندان شرایط بهتری از ایستگاه بیرجند در طی سالیان پیش رو دارد بیشترین میزان دید افقی سالیانه

- statistics and Model. Package 'spdep'. R Core Development Team. Version 0.7-4. URL: <http://github.com/r-spatial/spdep/>.
15. github.com/r-spatial/spdep/.
 16. Cressie, N. 1993. *Statistics for Spatial Data*, Revised Edition. Johan Wiley. New York. pp:122.
 17. Cryer, J. K, SD, Chan. 2008. *Time series analysis: with applications in R*. Springer Science & Business Media.
 18. Griffin Dw, *Atmospheric Movement of Microorganisms in Clouds of Desert Dust and Implications for Human Health*, *Clinical Microbiology Reviews* 2007; 20(3): 459-577
 19. Hengl, T.; P, Roudier. D, Beaudette & E. Pebesma. 2015. Plot KML: Scientific Visualization of Spatio-Temporal Data. *Journal of Statistical Software*. 63, 5. <http://www.jstatsoft.org/> Institute for Geoinformatics University of Munster, Germany.
 20. Hejazi, A., Mobasheri, M.R., & Majidi, D., (2014). Using satellite images to calculate atmospheric visibility. *Climate Research*, 5(17), 47-56.
 21. Hengl, T., Roudier, P., Beaudette, D., Pebesma, E., & Blaschek, M. (2021). Visualization of Spatial and Spatio-Temporal Objects in GoogleEarth, Package 'plotKML'. R Core Development Team. Version 0.8-1. URL <https://github.com/Envirometrix/plotKML>.
 22. Hu, B., Zhang, X., Sun, R., & Zhu, X. (2019). Retrieval of Horizontal Visibility Using MODIS Data: A Deep Learning Approach. *Atmosphere*, 10(12), 740.
 23. Jarque, Carlos M.; Bera, Anil K. 1987. "A test for normality of observations and regression residuals". *International Statistical Review*. 55, 2: 163-172.
 24. Loecher, M. 2016. *Overlays on Static Maps*. Package R Google Maps. R Development Core Team. Version 1.0.4.1.
 25. Maddala, G. S.; Lahiri, K. 2009. *Introduction to Econometrics* (Fourth ed.). Chichester: Wiley. pp:216.
 26. Malm, W. C. (1999). *Introduction to visibility* (Vol. 40). Fort Collins, CO: Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, NPS Visibility Program, Colorado State University. Section 6: Particle Concentration and Visibility Trends. pp: 33.
 5. Hatami Mohannad, Jalaluddin, Sabetgadam, Samaneh Ahmadi Givi, Farhang. (2019). Investigation of meteorological conditions of minimum daily horizontal visibility using the information of RVR device of Imam Khomeini Airport. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 6 (1), 17-30.
 6. Hussein Hamzeh, Nasim. Fattahi, Ibrahim Ranjbar, Abbas. Zoljoudi, Mojtaba .Ghafarian, Parvin. Simulation of dust phenomenon in the west and southwest of the country in a case study with WRF / CHEM and EURAD models. *Climatological Research*, 1396 (31), 19-36.
 7. Hamidianpour, Mohsen 2013. The study of the formation of 120-day wind in Sistan with dynamic micro-rotation of downstream currents in the east of the Iranian plateau, PhD thesis, Kharazmi University, Faculty of Geography, Department of Climatology, Tehran.
 8. Meteorological Organization of Iran, daily horizontal visibility statistics from 1/1/1986 to 12/31/2018, available: <https://www.irimo.ir/far/wd/2703>.
 9. Mohammadzadeh, Mohsen 1394. *Spatial statistics and its applications*. Second Edition, Tarbiat Modares University Press, pp. 240, 16020, 13,
 10. Anselin, L. I, Syabri & Kho, Y. 2010. *GeoDa: an introduction to spatial data analysis*. In *Handbook of applied spatial analysis*. Springer, Berlin, Heidelberg.
 11. Annex II. WMO. *Manual on Codes International Codes*. Volume I.3. Technical Regulations Part D – Representations derived from data models WMO-No. 306. Pp : 80, 81 2015 edition. https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=19508
 12. Anselin, L. 2003. *An introduction to spatial regression analysis in R*. University of Illinois, Urbana-Champaign, R Development Core Team. <http://sal.agecon.uiuc.edu>.
 13. Baumer, D., Vogel, B., Versick, S., Rinke, R., M'ohler, O. and Schnaiter, M., 2008, Relationship of visibility, aerosol optical thickness and aerosol size distribution in an ageing air mass over South-West Germany, *Atmos. Environ.*, 42, 989-998.
 14. Bivand, R. M, Altman & L, Anselin. 2021. *Spatial Dependence Weighting Schemes*

27. Mie, D., Xiushan, L., Lin, S., Ping, W. (2008). A dust-storm process dynamic monitoring with multi temporal MODIS data. *The International Archives of photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(3): 965–969.
28. Montgomery, D. C. E, A, Peck & G. G. Vining 2012. Introduction to linear regression analysis. John Wiley & Sons. Vol. 821, pp: 23, 25,27,34,35,118.
29. Pebesma, E. (2012). spacetime: Spatio-temporal data in R. *Journal of Statistical Software*, 51(7), 1-30.
30. Pebesma, E.; B, Gräler . 2017. Spatial and Spatio-Temporal Geostatistical Modelling, Prediction, and Simulation. R Development Core Team. Version 1.1-5. URL <https://github.com/edzer/gstat/>
31. R Development Core Team. 2018. A language and environment for statistical computing computer program. Version 3.5.0.
32. Schaap, M., Timmermans, R. M. A, Koelemeijer, R. B. A, de Leeuw, G. and Builtjes, P. J. H., 2008, Evaluation of MODIS aerosol optical thickness over Europe using sun photometer observations, *Atmos. Environ.*, 42, 2187- 2197.
33. Shepherd, G., Terradellas, E., Baklanov, A., Kang, U., Sprigg, W., Nickovic, S & Joowan, C. (2016). Global assessment of sand and dust storms.
34. Studenmund, A. H. 2006. Using Econometrics: A Practical Guide (5th ed.). Pearson International.pp:258.
35. Verbeek, M. 2012. A Guide to Modern Econometrics (4th ed.). Chi Chester: John Wiley & Sons.pp:117.
36. Wang, J. and Christopher, S. A., 2003, Inter comparison between satellite derived aerosol optical thickness and PM2.5 mass: implications for air quality studies, *Geophys. Res. Lett.*, 30, 2095-2116
37. Wikle, C. K., Zammit-Mangion, A., & Cressie, N. 2019. Spatio-temporal Statistics with R. Chapman and Hall/CRC.pp:24, 100,101.
38. Wu, J., Fu, C., Zhang, L. and Tang, J., 2012, Trends of visibility on sunny days in China in the recent 50 years, *Atmos. Environ.*, 55.
39. Xuan J, Sokolik In, Hao J, Guo F, Mao H, Yang G. Identification and characterization of sources of atmospheric mineral dust in East Asia, *Atmospheric Environment* 2004; 38(36): 6239-6252.