

GES	Journal of Geography and Environmental Studies, 14 (54), 2025 https://sanad.iau.ir/journal/ges ISSN: 2008-7845 Doi: 10.71740/ges.2025.1205338
-----	--

Research Paper

Received: 21 April 2025

Revised: 25 May 2025

Accepted: 09 June 2025

Online Publication: 22 June 2025

Study of Spatio-Temporal Changes in the Horizontal Visibility in the Western Half of Iran: Comprehensive Analysis and Management Strategies

Mahnaz Saber¹, Bromand Salahi² (Corresponding Author), Roghayeh Maleki Meresht¹

1. Department of Natural Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Department of Natural Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

E-mail: salahi@uma.ac.ir

Abstract

This study investigated the spatiotemporal variations in the frequency of days with horizontal visibility less or equal 1000 meters in western Iran over a 74-year period (1951–2024). Data from 16 synoptic stations were analyzed using the Mann-Kendall test and Sen's slope estimator. The results show that the highest annual frequency of limited visibility occurred in low-altitude southern stations such as Abadan (2053 days), while the lowest was recorded in Khorramabad (194 days). Spatially, the study area divides into three distinct zones: 1) Southern regions near the Persian Gulf (Abadan, Ahvaz) with the highest annual frequency (2053–1304 days), influenced by high humidity and dust; 2) Western high-altitude areas (Nozheh, Arak) with moderate frequency (1453–1312 days), primarily affected by temperature inversions; and 3) Northwestern regions (Urmia, Khoy) with the lowest frequency (1050–598 days), benefiting from distance from moisture and dust sources. Seasonally, visibility was most restricted in January, February, and December (winter, due to inversions) and least restricted in July, August, and September (summer). Trend analysis showed a significant increase in limit-visibility days in central stations (Arak, Ahvaz, Kermanshah) but a decrease in southern stations (Abadan, Nozheh), attributed to shifting atmospheric patterns, industrial development, land-use changes, and moisture variability. These findings can inform transportation planning, air quality management, and climate change studies.

Keywords: Mann-Kendall Test, Climate Change, Dust, Horizontal Visibility, Western Iran.

Citation: Saber, M.; Salahi, B.; Maleki Meresht, R. (2025), Study of Spatio-Temporal Changes in the Horizontal Visibility in the Western Half of Iran: Comprehensive Analysis and Management Strategies, Journal of Geography and Environmental Studies, 14 (54), 54-79. Doi: 10.71740/ges.2025.1205338

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. **Publisher: Islamic Azad University of Najafabad.**



بررسی تغییرات فضایی-زمانی دید افقی در نیمه غربی ایران: تحلیل جامع و راهکارهای مدیریتی^۱

مهناز صابر، برومند صلاحی، رقیه ملکی مرشت

گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

این پژوهش به بررسی تغییرات فضایی-زمانی فراوانی روزهای با دید افقی مساوی یا کمتر از ۱۰۰۰ متر در نیمه غربی ایران طی دوره ۷۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۲۴) پرداخته است. از داده‌های ۱۶ ایستگاه سینوپتیک و روش‌های آماری من-کندال و شیب سن برای تحلیل روندها استفاده شد. نتایج نشان داد بیشترین فراوانی سالانه دید محدود در ایستگاه‌های پست جنوبی مانند آبادان (۲۰۵۳ روز) و کمترین مقدار در خرم‌آباد (۱۹۴ روز) مشاهده می‌شود. محدوده مورد مطالعه از نظر توزیع فضایی دید محدود به سه ناحیه متمایز تقسیم می‌شود: (۱) مناطق جنوبی نزدیک به خلیج فارس (آبادان و اهواز) با بیشترین فراوانی سالانه (۲۰۵۳-۱۳۰۴ روز) که تحت تأثیر رطوبت بالا و گرد و غبار هستند، (۲) مناطق مرتفع غربی (همدان، اراک) با فراوانی متوسط (۱۴۵۳-۱۳۱۲ روز) که وارونگی دمایی عامل اصلی است و (۳) مناطق شمال غربی (ارومیه، خوی) با کمترین فراوانی (۵۹۸-۱۰۵۰ روز) که به دلیل دوری از منابع رطوبت و گرد و غبار شرایط بهتری دارند. در مقیاس ماهانه، بیشترین فراوانی در ژانویه، فوریه و دسامبر و کمترین در جولای، اوت و سپتامبر مشاهده می‌شود لذا از نظر توزیع فصلی، بیشترین فراوانی در زمستان (ناشی از وارونگی دمایی) و کمترین در تابستان ثبت شده است. تحلیل روندها نشان‌دهنده افزایش معنادار روزهای با دید محدود در ایستگاه‌های میانی محدوده مانند اراک، اهواز و کرمانشاه و کاهش معنادار در ایستگاه‌های جنوبی مانند آبادان و نیز نوژه است. این تغییرات به عوامل مختلفی از جمله تغییرات الگوهای جوی، توسعه صنعتی، تغییر کاربری اراضی و نوسانات منابع رطوبتی نسبت داده می‌شود. یافته‌های این مطالعه می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های حمل‌ونقلی، مدیریت کیفیت هوا و مطالعات تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: آزمون من-کندال، دید افقی، تغییر اقلیم، گرد و غبار، نیمه غربی ایران.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۹

تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

نویسنده مسئول: برومند صلاحی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران: salahi@uma.ac.ir

نحوه ارجاع به مقاله:

صابر، مهناز؛ صلاحی، برومند؛ ملکی مرشت، رقیه (۱۴۰۴)، بررسی تغییرات فضایی-زمانی دید افقی در نیمه غربی ایران: تحلیل جامع و راهکارهای مدیریتی، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۴ (۵۴)، ۵۴-۷۹. Doi: 10.71740/ges.2025.1205338

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. **Publisher: Islamic Azad Univesity of Najafabad.**



۱. این مقاله با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام پذیرفته است

مقدمه

گرد و غبار به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، تأثیرات گسترده‌ای بر محیط زیست، سلامت انسان، حمل و نقل و فعالیت‌های اقتصادی دارد. یکی از مهم‌ترین پیامدهای این پدیده، کاهش دید افقی است که منجر به اختلال در پروازهای هوایی، افزایش تصادفات جاده‌ای، کاهش کیفیت زندگی و تهدید ایمنی عمومی می‌شود (Goudie & Middleton, 2006). ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک جهانی و وجود کانون‌های داخلی و خارجی تولید گرد و غبار، از جمله کشورهایی است که به طور مکرر با این پدیده مواجه می‌شود (Alizadeh-Choobari et al., 2016). مطالعات نشان داده‌اند که کاهش دید افقی یکی از نخستین و محسوس‌ترین اثرات آلودگی هوا بر پدیده‌های جوی محسوب می‌شود. کاهش دید افقی عمدتاً ناشی از گرد و غبار با افزایش غلظت ذرات معلق همراه است که علاوه بر اختلال در میدان دید، اثرات منفی بر سلامت تنفسی و قلبی-عروقی افراد دارد (Middleton, 2017). در برخی مناطق ایران، مانند دزفول و زابل، تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در سال به بیش از ۱۰۰ روز می‌رسد (Rashki et al., 2021). کاهش دید افقی ناشی از پدیده گرد و غبار پیامدهای گسترده‌ای در حوزه‌های اقتصادی و اجتماعی به همراه دارد (Sivakumar & Sivakumar, 2006; Engelstaedter et al, 2016; Middleton, 2017; Querol et al, 2019; Chen et al, 2024; MalAmiri et al, 2025). مطالعات نشان می‌دهد که این پدیده سالانه میلیاردها دلار به کشورهای تحت تأثیر خسارت اقتصادی وارد می‌کند (Zhang et al., 2020). در ایران، بررسی‌های انجام شده توسط یزدانی و همکاران (۱۴۰۳) خسارت سالانه ناشی از طوفان گرد و غباری را تنها در استان خوزستان ۱۳۹۷ میلیارد ریال برآورد کردند. از دیدگاه اجتماعی، زندگی روزمره ساکنان مناطق درگیر با پدیده گرد و غبار به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

تحقیقات گسترده‌ای در سطح بین‌المللی به بررسی مکانیسم‌های تشکیل گرد و غبار و تأثیر آن بر کاهش دید افقی پرداخته‌اند. تگن و فانگ^۱ (۱۹۹۴) در مدل‌سازی خود نشان دادند که گرد و غبارهای با منشأ صحرای آفریقا و آسیای مرکزی می‌توانند بر دید افقی در مناطق دورافتاده تأثیر بگذارند. پروسپرو^۲ و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TOMS، کانون‌های اصلی تولید گرد و غبار در جهان را شناسایی کردند و نشان دادند که این ذرات می‌توانند هزاران کیلومتر جابجا شوند. پژوهش‌های متعددی در سطح بین‌المللی به بررسی تأثیر گرد و غبار بر دید افقی پرداخته‌اند. مارتیکورنا و برگامتی^۳ (۱۹۹۵) چارچوب نظری برای پیش‌بینی انتشار گرد و غبار از سطح زمین ارائه کردند. مطابق مطالعات گودی و میدلتون^۴ (۲۰۰۶) گرد و غبار ناشی از بیابان‌های آفریقا و آسیا می‌تواند هزاران کیلومتر جابجا شده و بر دید افقی در مناطق دورافتاده تأثیر بگذارد. شائو^۵ (۲۰۰۸) در مدل‌سازی فیزیکی فرسایش بادی نشان داد که اندازه ذرات گرد و غبار (بین ۱ تا ۱۰۰ میکرون) تأثیر مستقیمی بر میزان کاهش دید افقی دارد. در پژوهش دیگری شائو و همکاران (۲۰۱۱) با مدل‌سازی تأثیر گرد و غبار بر دید افقی دریافتند که رابطه معکوسی بین غلظت ذرات PM10 و دید افقی وجود دارد، به طوری که با افزایش غلظت ذرات به بیش از ۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب، دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش می‌یابد. مطالعات نیپرتز و استوت^۶ (۲۰۱۴) در کتاب جامع با محوریت گرد و غبار معدنی^۷ به بررسی نقش گرد و غبار در سیستم زمین پرداخته و تأکید کرده‌اند که کاهش دید افقی ناشی از گرد و غبار یکی از مهم‌ترین چالش‌های مناطق خشک است. علاوه بر این‌ها، میدلتون (۲۰۱۷) نیز نشان داد که ذرات گرد و غبار با قطر ۱ تا ۵ میکرون قابلیت معلق ماندن

1- Tegen & Fung

2- Prospero

3- Marticorena & Bergametti

4- Goudie & Middleton

5- Shao

6- Knippertz & Stuut

7- Mineral Dust: A Key Player in the Earth System

در جو را برای مدت طولانی دارند و باعث کاهش شدید دید افقی می‌شوند. این یافته‌ها با نتایج WMO (۲۰۱۹) همسو است که کاهش دید افقی را یکی از شاخص‌های اصلی برای پایش طوفان‌های گرد و غبار معرفی کرده است. رابینسون و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهش خود که توفان گردوغبار ۲۶ فوریه ۲۰۲۳ نیومکزیکو را مورد بررسی قرار دادند به این نتیجه رسیدند که توفان‌های گردوغبار می‌تواند به‌طور قابل توجهی را دید افقی را کاهش دهند و غلظت ذرات معلق در هوا را چندین برابر افزایش دهند به‌طوری‌که در برخی مناطق دید به کمتر از یک کیلومتر رسیده است.

برای بررسی ارتباط گرد و غبار و دید افقی، از روش‌های مختلفی مانند سنجش‌ازدور، داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و مدل‌های عددی استفاده می‌شود پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های سنجش‌ازدور و مدل‌سازی عددی امکان پایش دقیق‌تر پدیده گرد و غبار و تأثیر آن بر دید افقی را فراهم کرده است. در سطح منطقه‌ای، بروکز و لگران^۱ (۲۰۰۰) در مطالعه خود به شواهدی دست یافتند که نشان می‌دهد مجموع بارندگی در فصل مرطوب بر تولید گرد و غبار در ساهارا تأثیر می‌گذارد. واشنگتن^۲ و همکاران (۲۰۰۳) با ترکیب داده‌های ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی، ارتباط بین فعالیت‌های انسانی و افزایش طوفان‌های گرد و غبار را بررسی کردند. کاکمور^۳ و همکاران (۲۰۰۶) به چرخه جهانی گرد و غبار را بررسی نمودند. ماهوالد^۴ و همکاران (۲۰۱۰) در تحلیل‌های بلندمدت خود نشان دادند که تغییرات آب‌وهوایی در قرن بیستم منجر به افزایش فراوانی طوفان‌های گرد و غبار و کاهش دید افقی در بسیاری از مناطق شده است. هونیوس^۵ و همکاران (۲۰۱۱) در پروژه AeroCom به مقایسه مدل‌های جهانی گرد و غبار پرداختند و دقت پیش‌بینی‌های مربوط به کاهش دید افقی را بهبود بخشیدند. جینوکس^۶ و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از الگوریتم Deep Blue در ماهواره MODIS، سهم منابع طبیعی و انسانی در تولید گرد و غبار را کمی‌سازی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در مناطق مانند خاورمیانه، فعالیت‌های کشاورزی و مدیریت نادرست منابع آب می‌تواند باعث تشدید پدیده گرد و غبار و کاهش دید افقی شود. کوک و همکاران (۲۰۱۲) نیز فیزیک انتقال شن و گرد و غبار را بررسی کرده و مدل‌های جدیدی برای پیش‌بینی کاهش دید افقی ارائه دادند. در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های قابل توجهی در مدل‌سازی و پدیدارشناسی گرد و غبار حاصل شده است. شائو و همکاران (۲۰۱۳) روندهای جهانی گرد و غبار و ارتباط آن با تغییرات آب‌وهوایی را بررسی کردند. ایوان^۷ و همکاران (۲۰۱۴) نیز تحلیل‌های جدیدی درباره نقش گرد و غبار در مدل‌های اقلیمی ارائه دادند. یو^۸ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های لیدار CALIPSO، انتقال گرد و غبار در اقیانوس اطلس را مطالعه کردند و نشان دادند که این ذرات می‌توانند بر دید افقی در قاره‌های دیگر تأثیر بگذارند. همچنین کوک^۹ و همکاران (۲۰۲۳) نیز در مرور جامع خود به بررسی تأثیرات گرد و غبار بر اقلیم جهانی پرداختند. جدیدترین روش‌های مدل‌سازی شامل استفاده از سامانه‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی است. ونگ^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیق خود الگوریتم‌های سرعت باد و سپس شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI) را مهم‌ترین عوامل اقلیمی در پیش‌بینی منبع گرد و غبار توفان‌ها شناسایی کردند و توانستند غلظت ذرات معلق و کاهش دید افقی را پیش‌بینی کنند. تحقیقاتی به‌طور اخص به بررسی گرد و غبار در خاورمیانه و ایران پرداخته‌اند. مطالعات تاناکا و چیبا^{۱۱} (۲۰۰۶) سهم ۹ منطقه منبع گرد و غبار بالقوه (شمال و آفریقای جنوبی، شبه‌جزیره عربستان، آسیای مرکزی، شرق و غرب چین، آمریکای شمالی و جنوبی و

1- Brooks & Legrand

2- Washington

3- Cakmur

4- Mahowald

5- Huneus

6- Ginoux

7- Evan

8- Yu

9- Kok

10- Wang

11- Tanaka & Chiba

استرالیا) را در بیلان جهانی گرد و غبار با یک مدل جهانی انتقال گرد و غبار بررسی و شبیه‌سازی نمودند. یونو و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که گرد و غبار آسیایی می‌تواند یک دور کامل به دور کره زمین بچرخد و بر دید افقی در مناطق مختلف تأثیر بگذارد. پو و جینوکس^۱ (۲۰۱۶) نشان دادند که نوسانات اقیانوس آرام (PDO) می‌تواند بر فعالیت گرد و غبار در منطقه اثرگذار باشد. در ایران، تحقیقاتی در سطح منطقه‌ای و ملی به بررسی تأثیر گرد و غبار بر دید افقی پرداخته‌اند (Alizadeh-Choozari et al. 2016; Adebisi & Kok, 2020؛ ابراهیمی خوسفی (۱۳۹۸)؛ دهقان و همکاران، ۱۳۹۸؛ جابری و همکاران، ۱۳۹۹؛ درگاهیان و رضوی‌زاده، ۱۴۰۰؛ رهنما و همکاران، ۱۴۰۰؛ حسینی صدر و همکاران، ۱۴۰۳؛ ساری صراف و همکاران، ۱۴۰۳). حجازی و همکاران (۱۳۹۳) از تکنیک‌های سنجش از دوری مانند MODIS برای بررسی رابطه بین هواویزها و دید افقی استفاده کرده و به همبستگی قوی (بالای ۰/۷) بین تیرگی جو و کاهش دید دست یافتند. با توجه به پیشینه تحقیقات انجام‌شده، گرد و غبار تأثیر مستقیم و معناداری بر کاهش دید افقی دارد. پژوهش حسینی (۱۴۰۱) از تحلیل‌های فضایی-زمانی دید افقی در منطقه سیستان طی سه دهه اخیر دریافت که میانگین دید افقی در این منطقه از ۱۴/۸ کیلومتر در سال ۱۹۸۶ به ۹/۵ کیلومتر در سال ۲۰۱۸ کاهش یافته و توفان‌های شدید گردوخاک با سرعت بیش از ۷۰ کیلومتر بر ساعت و افزایش غلظت ذرات معلق از عوامل اصلی این کاهش هستند. مطالعه سبحانی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی روند زمانی-مکانی دید افقی در سواحل جنوبی دریای خزر پرداختند و تفاوت مکانی زیادی را بین این متغیر و دما (۰/۳۸) و رطوبت نسبی (۰/۴۷-) شناسایی کردند. ساری صراف و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی روند دید افقی در جنوب غربی کشور طی ۲۳ سال (۱۹۹۸-۲۰۲۲) به این نتیجه رسیدند که این متغیر به جز ۴ ایستگاه منطقه کاهشی بوده است. البته به علت ماهیت متغیر دید افقی پژوهش‌های کمی درباره آن انجام شده است (حسینی صدر و همکاران، ۱۴۰۳). مرور پیشینه‌های پژوهش نشان می‌دهد که موضوع گرد و غبار و تأثیر آن بر دید افقی یک حوزه پژوهشی پویا و بین‌رشته‌ای است که نیازمند همکاری متخصصان علوم جوی، محیط‌زیست، سنجش‌ازدور و سلامت عمومی هست. بااین‌حال، در این پژوهش به بررسی اقلیمی و بلندمدت دید افقی در نیمه غربی ایران از منظر آماری پرداخته می‌شود. در بسیاری از مناطق ایران، مطالعات جامعی در خصوص دید افقی انجام نشده است. این تحقیق باهدف بررسی دقیق‌تر روند بلندمدت این متغیر و ارائه راهکارهای مدیریتی برای کاهش اثرات گرد و غبار بر دید افقی طراحی شده است.

محدوده مورد مطالعه

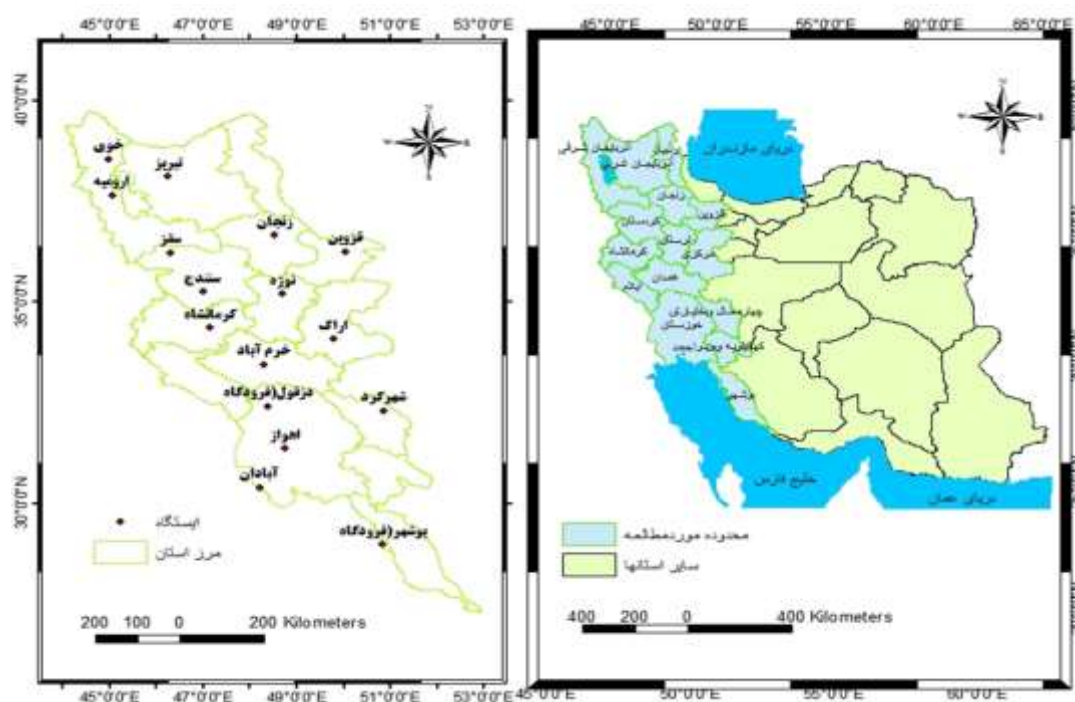
استان‌های این منطقه را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم کرد: الف) استان‌های شمال غرب شامل آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، زنجان و قزوین که بارزترین ویژگی آن‌ها داشتن اقلیم سرد کوهستانی، بارش برف و باران نسبتاً زیاد و قرارگیری آن‌ها در محل گره و اتصال دو رشته کوه البرز و زاگرس است. ب) استان‌های زاگرس مرکزی شامل کردستان، کرمانشاه، ایلام، مرکزی، لرستان و همدان که ازجمله ویژگی این بخش کوهستانی بودن منطقه به همراه دره‌های عمیق، داشتن منابع آب فراوان (سرچشمه رودخانه‌های مهم) و وجود جنگل‌های بلوط در زاگرس است. ج) استان‌های جنوب غرب شامل خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری و بوشهر که دارای تنوع اقلیمی شدید (از گرم و مرطوب تا معتدل کوهستانی)، ذخایر نفت و گاز و جلگه‌های حاصلخیز (خوزستان) می‌باشند.

¹- Pu & Ginoux

جدول (۱): مشخصات جغرافیایی و طول دوره آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع m	دوره آماری	طول دوره
۱	خوی	۴۴/۹۹	۳۸/۵۶	۱۱۰۳/۴	۱۹۵۹-۲۰۲۴	۶۶ سال
۲	تبریز	۴۶/۲۳۴	۳۸/۱۲۲	۱۳۶۱	۱۹۵۱-۲۰۲۴	۷۴ سال
۳	ارومیه	۴۵/۰۵۶	۳۷/۶۵۸	۱۳۲۸	۱۹۵۱-۲۰۲۴	۷۴ سال
۴	زنجان	۴۸/۵۲۲	۳۶/۶۶	۱۶۵۹/۴	۱۹۵۵-۲۰۲۴	۷۰ سال
۵	قزوین	۵۰/۰۴۵	۳۶/۲۴۵	۱۲۷۹/۱	۱۹۵۹-۲۰۲۴	۶۶ سال
۶	سقز	۴۶/۳۱۱	۳۶/۲۲۱	۱۵۲۲/۸	۱۹۶۱-۲۰۲۴	۶۳ سال
۷	سنندج	۴۷/۰۱۵	۳۵/۲۵۵	۱۳۷۳/۴	۱۹۶۰-۲۰۲۴	۶۵ سال
۸	نوژه	۴۸/۶۹	۳۵/۱۹	۱۶۷۹/۷	۱۹۵۱-۲۰۱۳	۵۴ سال
۹	کرمانشاه	۴۷/۱۵	۳۴/۳۵	۱۳۱۸/۵	۱۹۵۱-۲۰۲۴	۷۴ سال
۱۰	اراک	۴۹/۷۸	۳۴/۰۷	۱۷۰۲/۸	۱۹۵۱-۲۰۲۴	۷۴ سال
۱۱	خرم‌آباد	۴۸/۲۹	۳۳/۴۳	۱۱۴۷/۸	۱۹۵۱-۲۰۲۴	۷۴ سال
۱۲	دزفول (فرودگاه)	۴۸/۳۸	۳۲/۳۹	۱۴۳	۱۹۵۱-۲۰۱۳	۵۴ سال
۱۳	شهرکرد	۵۰/۸۴	۳۲/۲۹	۲۰۴۸/۹	۱۹۵۵-۲۰۲۴	۷۰ سال
۱۴	اهواز	۴۸/۷۴	۳۱/۳۴	۲۲/۵	۱۹۵۱-۲۰۲۴	۷۴ سال
۱۵	آبادان	۴۸/۲۲	۳۰/۳۷	۶/۶	۱۹۵۱-۲۰۲۴	۷۴ سال
۱۶	بوشهر (فرودگاه)	۵۰/۸۲	۲۸/۹۶	۹	۱۹۵۱-۲۰۲۴	۷۴ سال

این نیمه دارای تنوع اقلیمی زیادی است. آذربایجان اقلیم سرد و کوهستانی، زاگرس مرکزی معتدل کوهستانی، خوزستان اقلیم گرم و مرطوب و سواحل بوشهر اقلیم گرم و خشک دارد. غرب ایران با داشتن مرزهای بین‌المللی با عراق و ترکیه، منابع طبیعی از قبیل نفت، گاز، معادن، قطب کشاورزی (دشت‌های حاصلخیز خوزستان و آذربایجان) و محور ترانزیتی (کریدور شمال-جنوب) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های ایران از نظر تنوع زیستی، منابع طبیعی و موقعیت استراتژیک شناخته می‌شود. در جدول ۱ برخی از مشخصات جغرافیایی ۱۶ ایستگاه سینوپتیک منتخب نیمه غربی ایران آورده شده است و در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی و توزیع فضایی آن‌ها نمایش داده شده است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی استان‌های مورد مطالعه در ایران و توزیع فضایی ایستگاه‌های منتخب در آن‌ها

داده و روش تحقیق

در این پژوهش از داده‌های سه‌ساعته (سینوپ) ایستگاه‌های منتخب نیمه غربی ایران طی دوره ۷۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۲۴) و تعیین آستانه دید افقی برابر یا کمتر از ۱۰۰۰ متر صرف‌نظر از علت ایجادکننده آن (مه-دود یا توفان گرد و غباری) برای بررسی روند این متغیر استفاده گردید. در گام بعدی فراوانی دید محدود ایستگاه‌ها برای هر یک ۱۲ ماه و مقیاس سالانه طی دوره آماری مورد مطالعه شمارش شد. سپس روند این سری‌های زمانی با دو آزمون من-کندال و شیب سن بررسی شد. همچنین به‌منظور ارائه تصویری از توزیع فضایی فراوانی کلی روزهای دارای دید افقی محدود در منطقه غرب ایران اقدام به ترسیم نقشه و دسته‌بندی ایستگاه‌ها برحسب فراوانی کلی در قالب خوشه‌ها گردید.

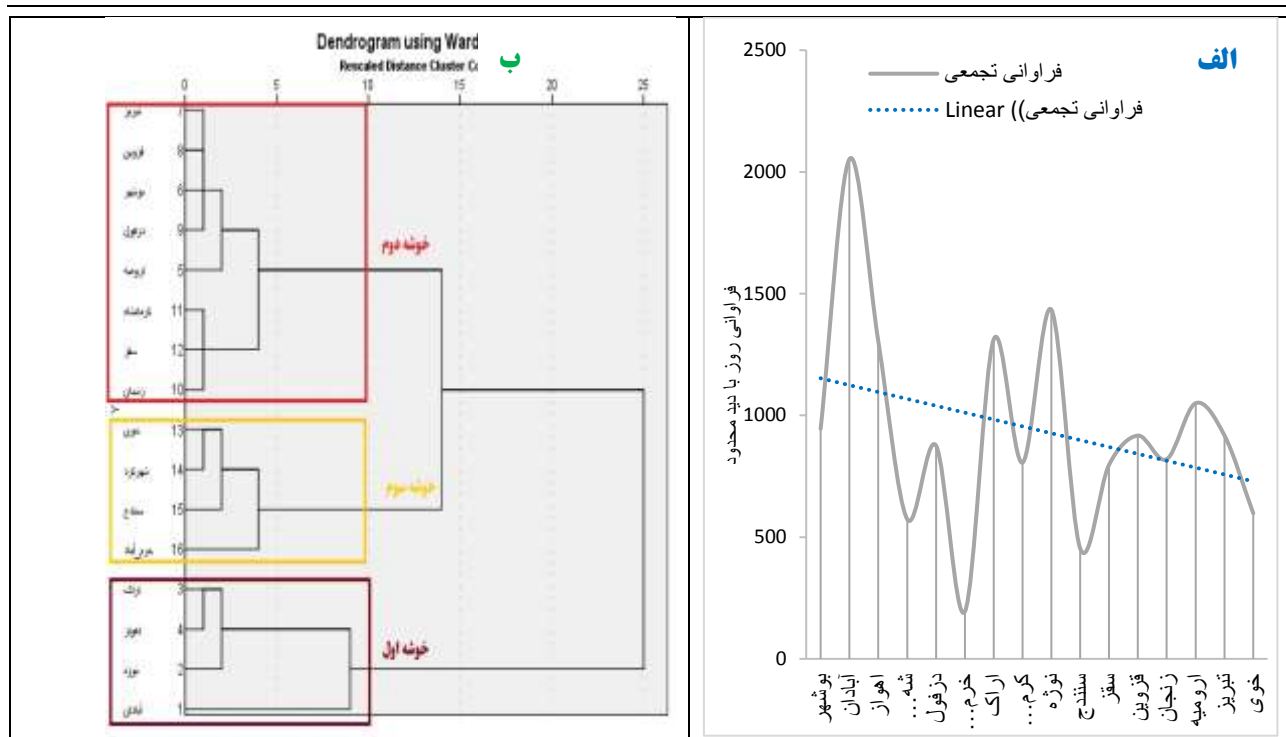
آزمون من-کندال (Mann-Kendall) به همراه شیب سن (Sen's Slope) از پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک در تحلیل روند سری‌های زمانی اقلیمی محسوب می‌شوند. آزمون من-کندال با بررسی علامت اختلاف بین داده‌های متوالی، وجود روند افزایشی یا کاهشی را بدون فرض توزیع خاصی برای داده‌ها آزمون می‌کند (Hamed, 2008)، درحالی‌که شیب سن با محاسبه میانگین شیب تمام زوج‌های ممکن داده‌ها، مقدار و جهت تغییرات را به‌صورت کمی برآورد می‌کند (Sen, 1968). این روش‌ها به‌ویژه در تحلیل داده‌های اقلیمی که اغلب دارای چولگی، داده‌های پرت و خودهمبستگی هستند، نسبت به روش‌های پارامتریک برتری دارند (Kendall, 1975). مطالعات متعددی از جمله پژوهش‌های طبری و همکاران (۲۰۱۱) و ونگ و همکاران (۲۰۲۰) کارایی این روش‌ها را در شناسایی روند تغییرات پارامترهای هواشناسی تأیید کرده‌اند. ترکیب این دو آزمون امکان شناسایی هم‌زمان معناداری آماری و بزرگی تغییرات را فراهم می‌سازد که در مطالعات تغییر اقلیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

یافته‌های تحقیق

فراوانی تجمعی روزهای با دید افقی محدود در کل دوره و خوشه‌بندی ایستگاه‌ها برحسب آن

روند فراوانی تجمعی روزهای با دید محدود در کل دوره ۷۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۲۴) که در شکل (۲-الف) برحسب عرض جغرافیایی پایین به بالا مرتب‌شده است، نشان می‌دهد رابطه معکوسی با عرض جغرافیایی دارد و با افزایش عرض جغرافیای فراوانی دید محدود کمتر می‌شود و علت آن شاید اثرگذاری بیشتر پدیده‌هایی همچون وارونگی دمایی در عرض‌های جغرافیایی پایین به تبع حاکمیت بیشتر پرفشار جنب حاره در آن نواحی و نیز بالا بودن رطوبت جو به دلیل نزدیکی به منابع آبی باشد. از نظر فراوانی ایستگاه آبادان با ۲۰۵۳ روز رکورددار است. نوژه با ۱۴۳۴ روز و اراک با ۱۳۱۲ و اهواز با ۱۳۰۴ روز در رتبه‌های بعدی قرار دارند که این چهار ایستگاه در خوشه‌بندی انجام‌شده در خوشه اول قرار گرفتند (شکل ۲-ب). در خوشه دوم ۷ ایستگاه شامل ارومیه، بوشهر، تبریز، قزوین، دزفول، زنجان، کرمانشاه و سقز به ترتیب این فراوانی ۱۰۵۰، ۹۴۵، ۹۱۸، ۹۱۷، ۸۷۶، ۸۲۰ و ۷۹۷ روز است. در خوشه سوم که فراوانی کمتری را به خود اختصاص داده است ۴ ایستگاه خوی، شهرکرد، سنندج و خرم‌آباد قرار دارند که فراوانی کلی دید محدود به ترتیب ۵۹۸، ۵۷۴، ۴۵۳ و ۱۹۴ روز است؛ بنابراین خرم‌آباد با ۱۹۴ روز کمترین فراوانی را از بین ۱۶ ایستگاه موردبررسی دارد.

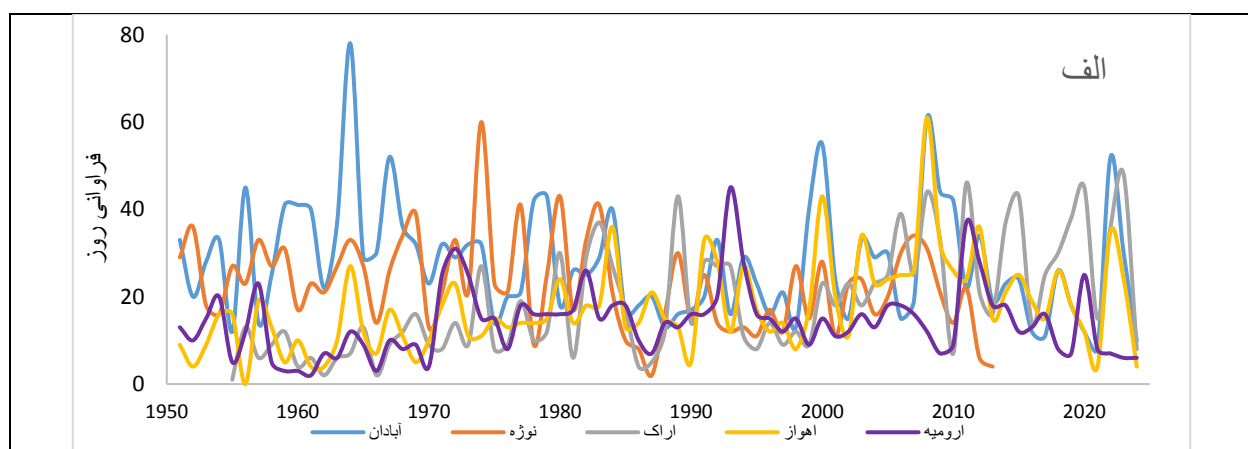
از نظر جغرافیایی، بیشترین فراوانی سالانه دید کم در ایستگاه‌های واقع در مناطق پست و نزدیک به خلیج فارس (مانند آبادان با ۲۰۵۳ روز و اهواز با ۱۳۰۴ روز) مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر رطوبت بالا و گرد و غبار در این مناطق است. در مقابل، ایستگاه‌های شمال غربی مانند خوی (۵۹۸ روز) و ارومیه (۱۰۵۰ روز) به‌رغم ارتفاع بالا، به دلیل دوری از منابع رطوبتی و گرد و غبار، روزهای کمتری با دید محدود گزارش کرده‌اند. همچنین، ایستگاه‌های کوهستانی مانند سنندج (۴۴۱ روز) و سقز (۷۹۷ روز) الگوی متفاوتی نشان می‌دهند که احتمالاً ناشی از تأثیر ارتفاع و اختلاف دمای محلی است.

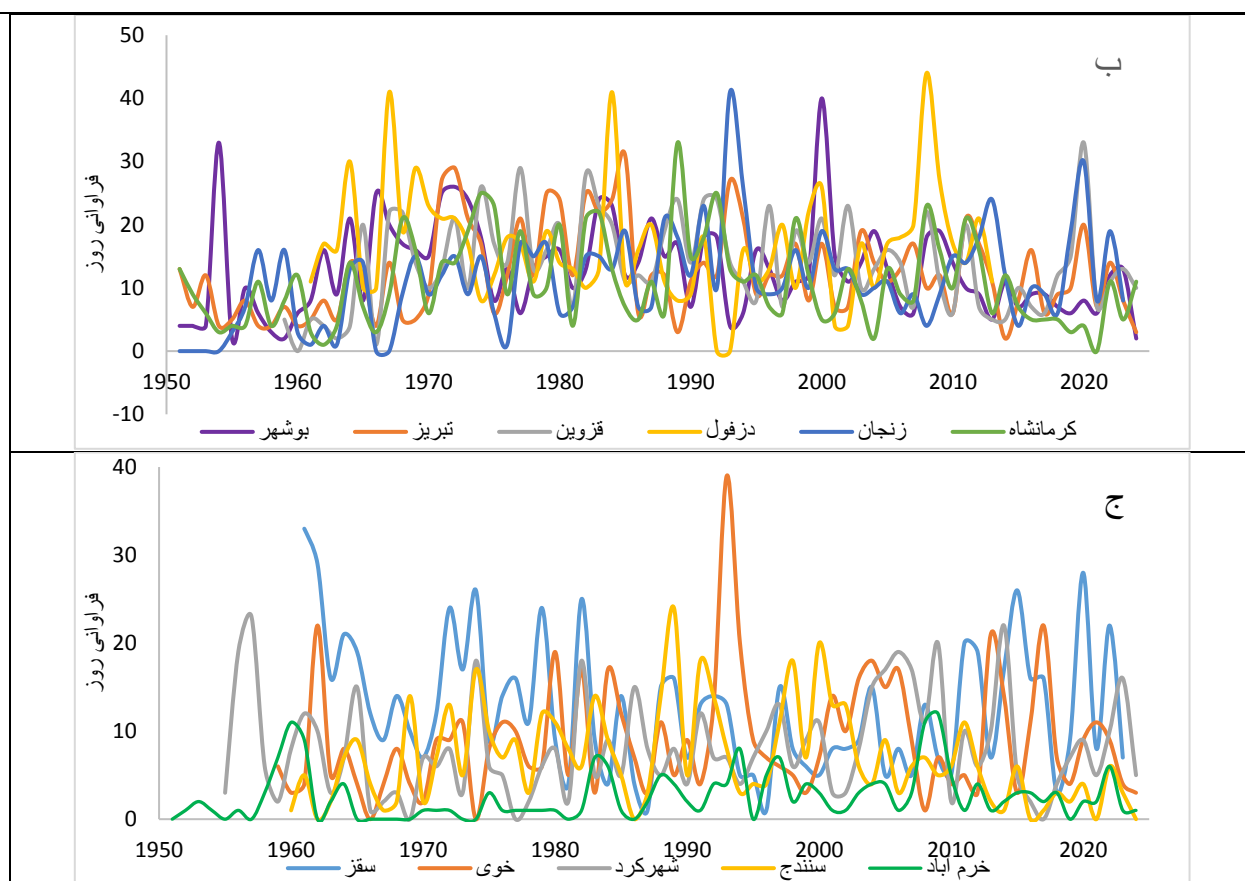


شکل (۲): نمودار فراوانی تجمعی روزهای با دید محدود دوره (الف) و خوشه‌بندی ایستگاه‌ها برحسب آن (ب)

سری زمانی فراوانی سالانه روزهای با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر

نتایج تحلیل فراوانی روزهای با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در پنج ایستگاه نیمه غربی ایران (دارای فراوانی تجمعی بیشتر از ۱۰۵۰ روز) بر اساس داده ۷۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۲۴) نشان‌دهنده روندهای متفاوت و جالب توجهی است (شکل ۳-الف) که در ادامه به تفصیل شرح داده می‌شود: در ایستگاه آبادان، تعداد روزهای با دید محدود از ۳۳ روز در سال ۱۹۵۱ به ۱۰ روز در سال ۲۰۲۴ کاهش یافته است، هرچند در این مدت نوسانات شدیدی مشاهده می‌شود. به‌ویژه سال ۱۹۶۴ که با ۷۸ روز، بالاترین تعداد روزهای با دید محدود را به خود اختصاص داده است. این نوسانات احتمالاً ناشی از تغییرات الگوهای جوی و تأثیر فعالیت‌های صنعتی در منطقه است. ایستگاه نوره کاملاً متفاوتی را نشان می‌دهد. این ایستگاه که در سال ۱۹۵۱ با ۲۹ روز شروع شده بود، در ۲۰۱۳ به ۴ روز کاهش پیدا کرده است.





شکل (۳): سری زمانی فراوانی سالانه روزهای با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در ایستگاه‌های غرب ایران طی دوره ۱۹۵۱-۲۰۲۴

با توجه به عدم دسترسی به داده دید افقی ۲۰۱۴ به بعد، نمی‌توان با اطمینان گفت که این تغییر چشمگیر ناشی از تأثیر مثبت سیاست‌های محیط‌زیستی یا تغییرات اقلیمی در منطقه است. ایستگاه اراک با افزایش پیوسته تعداد روزهای با دید محدود مواجه بوده است. این فراوانی از تنها ۱ روز در سال ۱۹۵۵، به ۴۸ روز در سال ۲۰۲۳ رسیده که نشان‌دهنده روند افزایشی نگران‌کننده‌ای است. این افزایش احتمالاً با توسعه صنعتی منطقه و تغییرات اکولوژیکی مرتبط است. در ایستگاه اهواز، سیر صعودی در سری زمانی این فراوانی مشاهده می‌شود به گونه‌ای که در اوایل دوره و تا ۱۹۸۰ فراوانی اغلب کمتر از ۱۹ و ندرتاً ۲۳ یا ۲۷ روز بوده است اما در سال ۲۰۰۸ با ۶۱ روز به اوج خود رسیده است. چنین نوساناتی ممکن است ناشی از تغییرات در منابع تولید گرد و غبار و آلاینده‌های جوی در منطقه باشد. ایستگاه ارومیه تا ۲۰۱۳ روند افزایشی ملایمی را با سه اوج نشان می‌دهد اما در سال‌های انتهایی دوره سیر نزولی به خود می‌گیرد. این ایستگاه هرچند در سال ۱۹۹۳ با ۴۵ روز یک افزایش ناگهانی را تجربه کرده است اما این میزان متعاقب یک افزایش ثانویه در ۲۰۲۰ (۲۵ روز)، به ۶ روز در سال ۲۰۲۴ رسیده است. این تغییرات احتمالاً با وضعیت و گستره دریاچه ارومیه و تغییرات اکوسیستمی منطقه مرتبط است.

نمودارهای سری زمانی برای شش ایستگاه (با فراوانی تجمعی ۹۴۵ الی ۸۰۶ روز) نشان می‌دهد (شکل ۳-ب) که دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در بوشهر نوسانات شدید با اوج‌های قابل توجهی در سال‌های ۱۹۵۴ (۳۳ روز)، ۲۰۰۰ (۴۰ روز) و ۲۰۲۰ (۸ روز) دارد. فراوانی سالانه این دید در تبریز در اواسط دوره بیشتر از ماقبل و مابعد آن است و در کل الگوی نسبتاً پایداری با افزایش جزئی در دهه ۱۹۸۰ (با اختصاص بیشینه فراوانی تا ۳۱ روز در سال) و کاهش در سال‌های اخیر دارد به طوری که بسامد آن به کمتر از ۲۰ روز در ۱۴ سال انتهایی دوره رسیده است. فراوانی دید افقی کم در قزوین از دهه ۱۹۶۰ صعودی سیر به در پیش گرفته و با اوج گرفتن در سال‌های ۱۹۸۴ (۴۱ روز) و ۲۰۰۸ (۴۴ روز) محسوس‌تر می‌شود. فراوانی سالانه دید افقی کم در دزفول نوسانات زیادی

در طول دوره داشته است و بیشینه اولیه آن با ۴۴ روز مربوط به دهه‌های آخر دوره (سال ۲۰۰۸) و بیشینه ثانویه آن در نیمه نخست دوره و سال ۱۹۶۷ و ۱۹۸۴ است. این دید در زنجان از دهه ۱۹۷۰ افزایش تدریجی را نشان می‌دهد که حداکثر آن در ۱۹۹۳ (۴۱ روز) بوده است. بیشترین فراوانی ثبت شده برای این متغیر در کرمانشاه به واسطه دوره تعلق دارد که متعاقب ۱۹۹۳ کاهش محسوسی در فراوانی آن مشاهده می‌شود به گونه‌ای که تا انتهای دوره به استثنای سال ۲۰۰۸ (با فراوانی ۲۳ روز) بسامد آن کمتر از ۲۱ روز بوده و حتی در ۲۰۲۱ هیچ روزی نبوده است که در آن دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر رسیده باشد.

سری زمانی فراوانی سالانه روزهای با دید افقی کم در ۵ ایستگاه (شکل ۳-ج) نشان می‌دهد ایستگاه سقز روند کاهشی محسوسی دارد و هرچند فراوانی این متغیر در این ایستگاه در سال ۱۹۶۱ با ۳۳ روز به اوج خود رسید، اما در سال‌های اخیر به‌طور میانگین کاهش یافته است. ایستگاه خوی الگوی نامنظمی را نمایش می‌دهد. این ایستگاه در سال ۱۹۹۳ با ۳۹ روز بیشترین تعداد روزهای با دید محدود را ثبت کرده است. ایستگاه شهرکرد افزایش پایدار و سیر افزایشی قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. فراوانی دید محدود این ایستگاه در سال ۱۹۵۷ با ۲۳ روز به حداکثر مقدار خود رسید. ایستگاه سنندج نوسانات سالانه بارزی را از نظر فراوانی دید محدود نشان می‌دهد که پیک آن در سال ۱۹۸۹ با ۲۴ روز با دید محدود قرار دارد. ایستگاه خرم‌آباد افزایش جزئی اما پیوسته‌ای را در فراوانی روزهای با دید محدود نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۹ (۱۲ روز) به اوج خود رسیده است. بیشینه فراوانی دید افقی محدود طی دوره ۷۴ ساله مورد مطالعه در ایستگاه‌های غرب کشور به ترتیب زیر ثبت شده است: در آبادان ۷۸ روز در ۱۹۶۴، در نوژه ۶۰ روز در ۱۹۷۴، در اهواز ۶۱ روز در ۲۰۰۸، در اراک ۴۸ روز در ۲۰۲۳، در ارومیه ۴۵ روز در ۱۹۹۳، در بوشهر ۴۰ روز در ۲۰۰۰، در دزفول ۴۴ روز در ۲۰۰۸، در زنجان ۴۱ روز در ۱۹۹۳، در کرمانشاه ۳۳ روز در ۱۹۸۹، در سقز ۳۳ روز در ۱۹۶۱، در قزوین ۳۳ روز در ۲۰۲۰، در تبریز ۳۱ روز در ۱۹۸۵، سنندج ۲۴ روز در ۱۹۸۹ و شهرکرد ۲۳ روز در ۱۹۵۷.

مناطق غربی کشور الگوهای متفاوتی را در زمینه روزهای با دید محدود نشان می‌دهند. مناطق کوهپایه‌ای مانند شهرکرد کاهش محسوس‌تری را تجربه کرده‌اند، درحالی‌که مناطق دشتی مانند خوی حوض و اوج بیشتری نشان می‌دهند. سال‌های بحرانی در این دوره شامل ۱۹۷۴، ۱۹۹۳ و ۲۰۰۸ است که بین ۴ تا ۶ ایستگاه در هر کدام از آن‌ها دارای فراوانی بیشتری بوده‌اند. سال ۱۹۹۳ به‌عنوان یک سال استثنایی در منطقه غرب کشور ثبت شده است. در این سال، ایستگاه خوی با ۳۹ روز و ارومیه با ۴۵ روز بیشینه فراوانی دید محدود را تجربه کرده‌اند. سال ۲۰۲۰ نیز برای ایستگاه سقز سال خاصی بود که با ۲۸ روز افزایش ناگهانی را نشان داد. عوامل متعددی می‌توانند این الگوها را توضیح دهند که مطالعات دقیق‌تری را می‌طلبد. مثلاً کاهش دید در سقز و شهرکرد احتمالاً با تغییر الگوهای بارش و کاهش منابع رطوبتی مرتبط باشد یا افزایش جزئی در خرم‌آباد ممکن است ناشی از توسعه شهری و تغییر کاربری اراضی باشد؛ بنابراین تحلیل الگوی مکانی نشان می‌دهد که مناطق غربی (قزوین، کرمانشاه) و جنوبی (بوشهر) بیشترین نوسانات را تجربه کرده‌اند، مناطق مرکزی (تبریز، زنجان) الگوی پایدارتری دارند و مناطق شرقی (دزفول) نوسانات شدید ولی بدون روند مشخص نشان می‌دهند. این تغییرات احتمالاً ناشی از رشد صنعتی و افزایش آلاینده‌ها در مناطق غربی و جنوبی، تغییرات الگوهای جوی و افزایش پدیده‌های مه‌آلود و اجرای سیاست‌های محیط‌زیستی در برخی مناطق (مانند کاهش نسبی در کرمانشاه) باشد.

توزیع فضایی فراوانی تجمعی ماهانه روزهای با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در غرب ایران

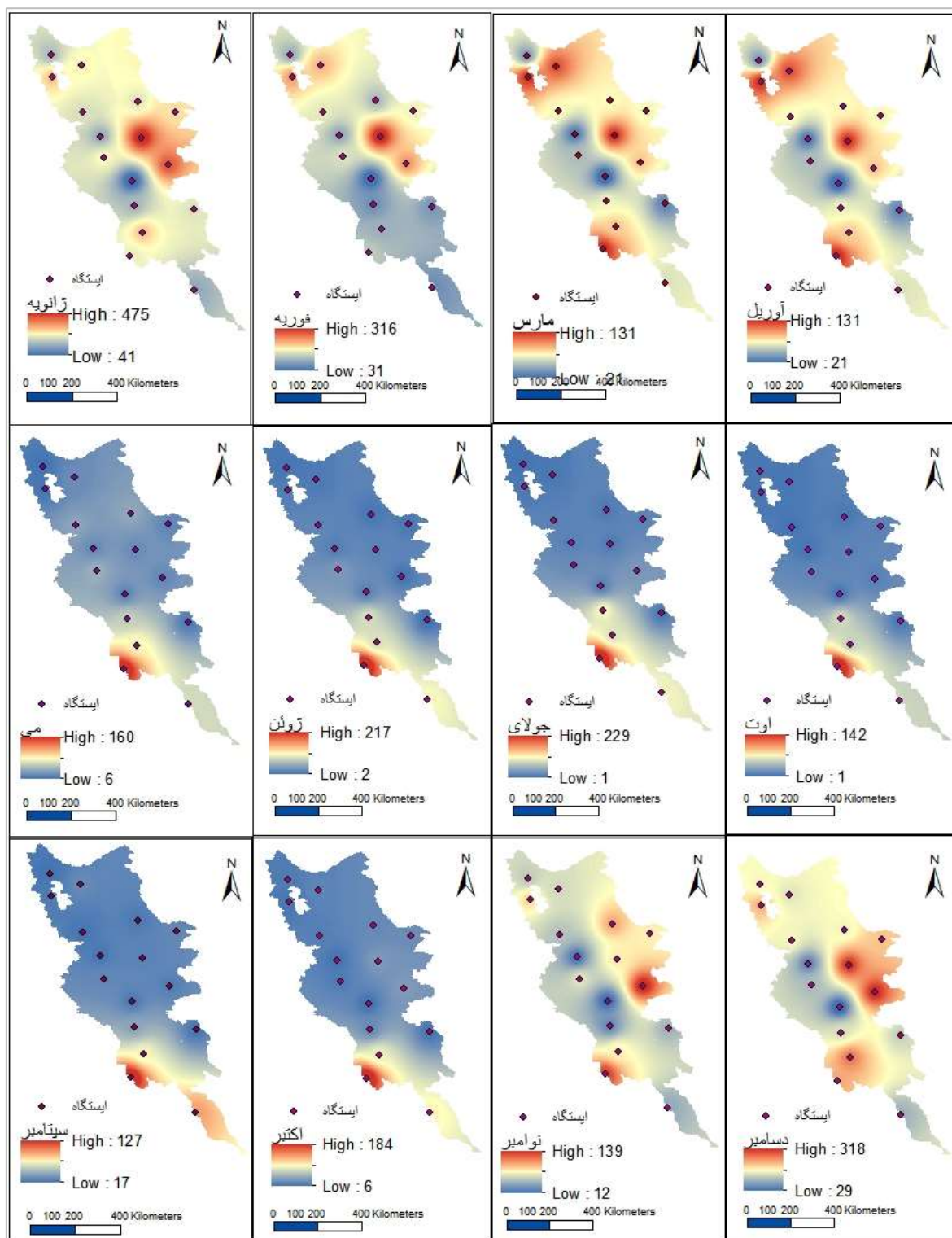
توزیع فضایی فراوانی تجمعی دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در ماه‌های مختلف در نیمه غربی ایران (شکل ۴) به شرح زیر است. در ژانویه بیشترین فراوانی روزهای با دید محدود در ایستگاه‌های مرتفع غربی مانند نوژه (۴۷۵ روز)، اراک (۴۱۱ روز)، اهواز (۳۰۹ روز) و ارومیه (۳۰۹ روز) مشاهده می‌شود که عمدتاً ناشی از پدیده وارونگی دمایی و بارش‌های زمستانی است. در مقابل، ایستگاه

خرم‌آباد با تنها ۴۱ روز کمترین میزان را به خود اختصاص می‌دهد که به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص این منطقه و کاهش اثر مه هست. الگوی توزیع در این **فوریه** مشابه ژانویه است، اما با کاهش نسبی در فراوانی روزهای با دید محدود. ایستگاه‌های نوژه (۳۱۶ روز) و اراک (۲۳۰ روز) همچنان بالاترین مقادیر را ثبت می‌کنند. همچنین در مناطق جنوبی مانند آبادان (۱۳۱ روز) و بوشهر (۷۶ روز)، کاهش محسوسی نسبت به ماه قبل مشاهده می‌شود. در **مارس** شاهد کاهش چشمگیر روزهای با دید محدود در تمامی ایستگاه‌ها هستیم که ناشی از گرم‌تر شدن تدریجی هوا است. همدان با ۱۲۹ روز بیشترین و خوی با ۴۵ روز کمترین مقدار را گزارش کرده‌اند. مناطق جنوبی نظیر اهواز (۸۹ روز) و آبادان (۱۳۱ روز) هنوز تحت تأثیر رطوبت نسبی بالا قرار دارند.

فراوانی روزهای با دید محدود در **آوریل** به شدت کاهش می‌یابد. ایستگاه‌های مرتفعی مانند اراک (۳۰ روز) و نوژه (۵۴ روز) کاهش قابل توجهی نسبت به ماه‌های زمستانی نشان می‌دهند. مناطق جنوبی شامل دزفول (۴۶ روز) و بوشهر (۴۰ روز) هنوز تا حدی تحت تأثیر پدیده‌های مه و غبار قرار دارند. در **می** کمترین فراوانی در بسیاری از ایستگاه‌ها ثبت شده است. به‌عنوان مثال، خوی تنها ۶ روز، ارومیه ۷ روز و در شهر کرد ۱۰ روز با دید محدود گزارش داده‌اند. در مقابل، مناطق جنوبی مانند آبادان (۱۶۰ روز)، اهواز (۷۶ روز) و بوشهر (۵۶ روز) به دلیل افزایش رطوبت و فعالیت گرد و غبار، مقادیر بالاتری را ثبت کرده‌اند. در **ژوئن** شاهد افزایش نسبی روزهای با دید محدود در مناطق جنوبی هستیم. آبادان با ۲۱۷ روز و بوشهر با ۹۳ روز بیشترین مقادیر را نشان می‌دهند که ناشی از فعالیت بادهای حاوی گرد و غبار است. در مقابل، مناطق شمال غربی مانند ارومیه (۱۳ روز) و خوی (۶ روز) کمترین مقادیر را دارند.

بیشترین فراوانی در **جولای** مربوط به ایستگاه‌های جنوبی است. آبادان با ۲۲۹ روز و دزفول با ۹۸ روز بیشترین تعداد روزهای با دید محدود را تجربه می‌کنند که عمدتاً به دلیل رطوبت بالا و پدیده مه دریایی هست. مناطق مرتفع مانند خوی (۱ روز)، تبریز و شهر کرد (۴ روز) شرایط جوی پایدارتری دارند. توزیع فضایی در ماه **اوت** مشابه جولای است، اما در مناطق جنوبی کاهش جزئی را نشان می‌دهد. آبادان ۱۴۲ روز و دزفول ۴۸ روز با دید محدود گزارش شده است. مناطق غربی مانند سنندج، سقز و خرم‌آباد تقریباً فاقد روزهای با دید محدود هستند (فقط ۱ روز). **سپتامبر** کمترین فراوانی را در شمال غرب کشور نشان می‌دهد. خوی با ۱ روز و سقز و سنندج (۲ روز) کمترین فراوانی را دارند. در مقابل، آبادان (۱۲۷ روز) و بوشهر (۸۰ روز) به دلیل باقی بودن رطوبت نسبی بالا، مقادیر بیشتری را ثبت نموده‌اند.

در **اکتبر** شاهد افزایش تدریجی روزهای با دید محدود در شمال غرب کشور هستیم. تبریز (۱۹ روز) و زنجان (۲۱ روز) افزایش نسبی را نشان می‌دهند. مناطق جنوبی مانند آبادان (۱۸۴ روز) و اهواز (۷۶ روز) هنوز تحت تأثیر پدیده گرد و غبار قرار دارند. در **نوامبر** مناطق مرتفع افزایش محسوسی در روزهای با دید محدود نشان می‌دهند. اراک (۱۳۹ روز) و نوژه (۸۰ روز) به دلیل سرد شدن تدریجی هوا، افزایش روزهای با دید محدود را تجربه می‌کنند. در مناطق جنوبی مانند آبادان (۱۲۸ روز) کاهش نسبی نسبت به ماه قبل مشاهده می‌شود. **دسامبر** بازگشت به الگوی زمستانی را نشان می‌دهد. اراک با ۳۱۸ روز و نوژه با ۳۱۱ روز بیشترین فراوانی روزهای با دید محدود را دارند. مناطق جنوبی مانند اهواز (۲۶۵ روز) و آبادان (۲۳۴ روز) نیز افزایش محسوسی را تجربه می‌کنند.



شکل (۴): توزیع فضایی فراوانی تجمعی فراوانی روزهای با دید محدود در نیمه غربی ایران طی دوره مورد مطالعه

الگوی توزیع فضایی روزهای با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در نیمه غربی ایران تغییرات فصلی قابل توجهی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، بیشترین فراوانی روزهای با دید کم در فصل زمستان (ژانویه، فوریه و دسامبر) و کمترین آن در تابستان (جولای، اوت و سپتامبر) مشاهده می‌شود. این الگو به‌وضوح با پدیده‌های جوی مانند وارونگی دمایی، رطوبت بالا و فعالیت سامانه‌های بارشی در زمستان مرتبط است. در فصل زمستان، مناطق مرتفع غربی به دلیل پدیده مه و ابرناکی بیشترین روزهای با دید محدود را تجربه می‌کنند. برای مثال، ایستگاه‌های مرتفع مانند اراک (۱۷۰۲ متر) و شهرکرد (۲۰۴۸ متر) در زمستان با پدیده مه و ابرناکی مواجه می‌شوند، در حالی که در تابستان شرایط جوی پایدارتر است. در بهار و پاییز، این پدیده انتقالی دارد. در تابستان، مناطق جنوبی به

دلیل رطوبت بالا و فعالیت گرد و غبار به کانون اصلی تبدیل می‌شوند. دو منطقه مرتفع غرب (نور و اراک) و مناطق جنوبی (آبادان و اهواز) به عنوان کانون‌های اصلی روزهای با دید محدود در فصول مختلف شناخته می‌شوند.

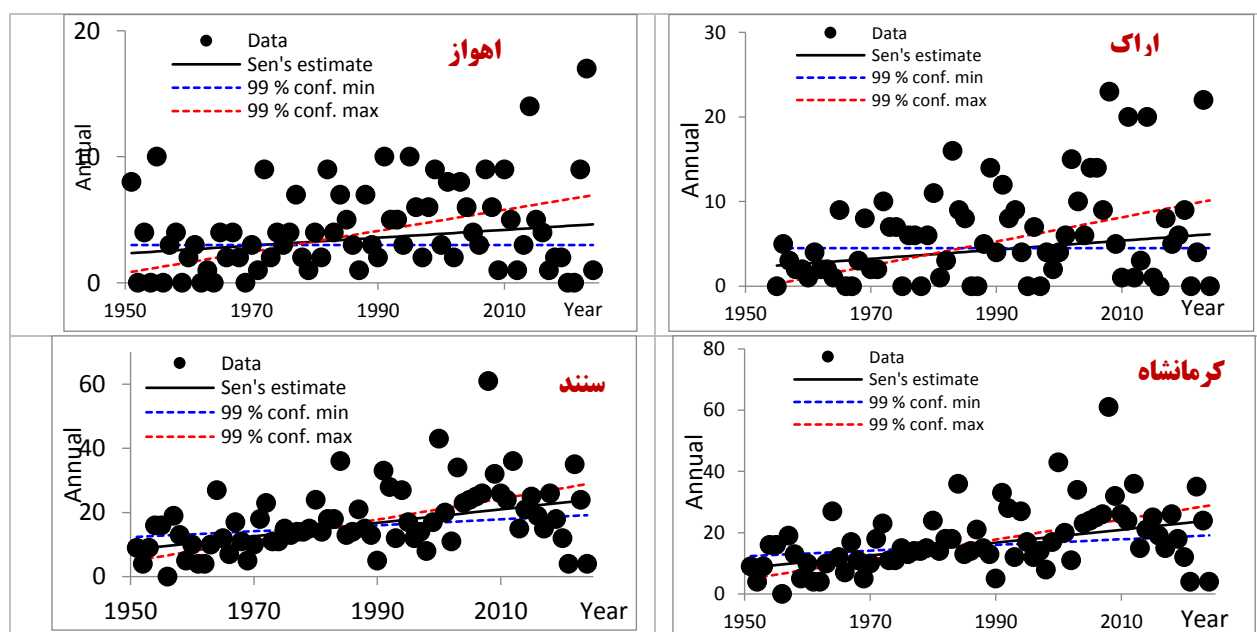
به طور کلی، توزیع فضایی دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در نیمه غربی ایران توزیع ناهمگونی را نشان می‌دهد و تحت تأثیر سه عامل اصلی ارتفاع ایستگاه، فاصله از منابع رطوبتی و گرد و غبار (مانند خلیج فارس و مناطق بیابانی) و الگوهای جوی فصلی است. در مناطق کوهپایه‌ای زاگرس مرکزی مانند کرمانشاه و لرستان، اگرچه میزان گرد و غبار کمتر از مناطق پست جنوبی است، اما وارونگی دمایی و تجمع آلاینده‌های محلی در فصل سرد سال می‌تواند باعث کاهش دید شود. استان‌های واقع در دامنه‌های غربی البرز مانند قزوین و زنجان وضعیت بینابینی دارند، به طوری که از یک طرف تحت تأثیر جریان‌های غربی مرطوب و از طرف دیگر در معرض ورود توده‌های هوای خشک از سمت فلات مرکزی قرار می‌گیرند. مناطق پست و نزدیک به خلیج فارس به ویژه در فصل زمستان و بهار با پدیده مه و گرد و غبار مواجه هستند، در حالی که مناطق مرتفع غرب و شمال غرب کشور بیشتر تحت تأثیر ابرناکی و بارش‌های زمستانی قرار دارند و به علت ارتفاع بیشتر و اقلیم مرطوب‌تر، میانگین دید بهتری دارند.

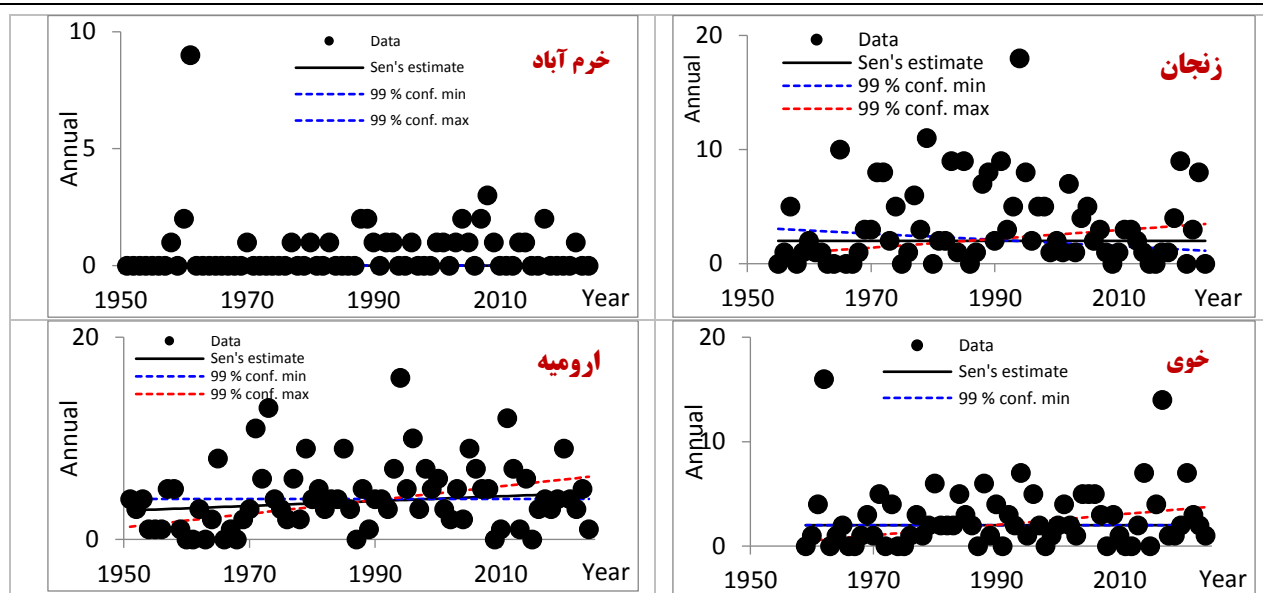
روند یابی فراوانی روزهای با دید محدود در غرب ایران

روند یابی فراوانی سالانه روزهای با دید محدود

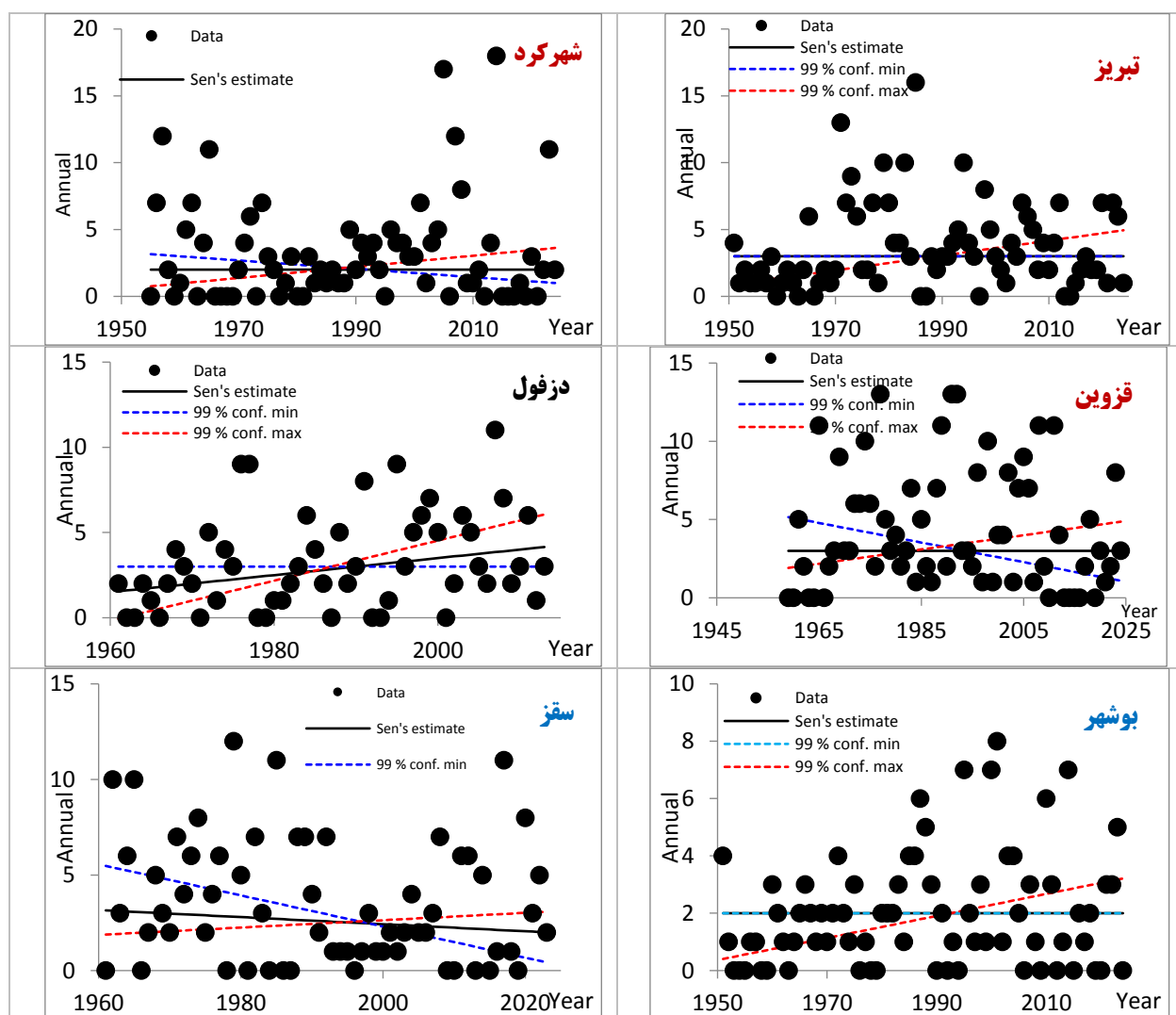
روند تغییرات فراوانی سالانه و ماهانه روزهای با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در ۱۶ ایستگاه سینوپتیک نیمه غربی ایران طی دوره بلندمدت ۷۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۲۴) با هر دو روش من-کندال و شیب سن بررسی شد که به جهت پرهیز از اطناب مطالب تنها نمودار سالانه آن‌ها به روش شیب سن در شکل (۵) و جزئیات مهم محاسبه با هر دو روش برای مقیاس زمانی ماهانه و سالانه در جدول (۲) آورده شده است.

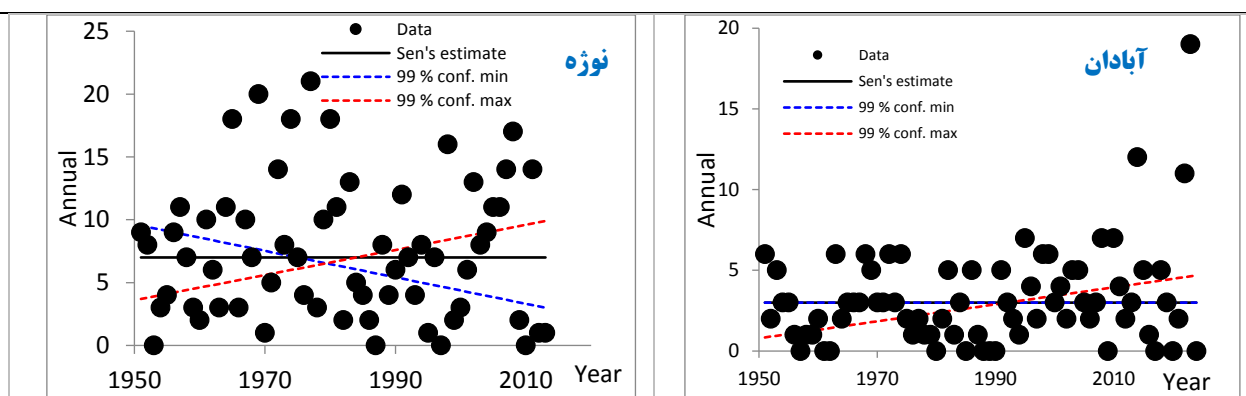
با توجه به نمودارهای روند یابی شیب سن، فراوانی سالانه دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در اراک، اهواز، کرمانشاه و سنندج افزایشی بسیار معنادار، در زنجان افزایشی نسبتاً معنادار، در خرم‌آباد افزایشی معنادار، در خوی و ارومیه افزایشی غیر معنادار، در تبریز کاهشی غیر معنادار، در شهرکرد افزایشی غیر معنادار، در قزوین، دزفول و بوشهر کاهشی غیر معنادار، در سقز کاهشی نسبتاً معنادار، در آبادان و نور کاهشی معنادار محاسبه شد.





شکل (۵): روند تغییرات فراوانی سالانه دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در ایستگاه‌های نیمه غربی ایران طی دوره مورد مطالعه با روش Sen





ادامه شکل (۵): روند تغییرات فراوانی سالانه دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در ایستگاه‌های نیمه غربی ایران طی دوره مورد مطالعه با روش Sen

جزئیات روندیابی فراوانی سالانه و ماهانه روزهای با دید محدود با روش من-کندال و شیب سن

نتایج آزمون شیب سن و من-کندال (جدول ۲) برای بررسی روند تغییرات فراوانی سالانه و ماهانه روزهای با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در ایستگاه‌های نیمه غربی طی دوره ۷۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۲۴) به شرح زیر تحلیل می‌شود.

اراک: مطابق نتایج این آزمون‌ها برای اراک، نوامبر و دسامبر با داشتن شیب $0/073$ و $0/042$ روز در ماه به ترتیب، افزایشی بسیار معنادار (در سطح خطای $0/01$ و $0/01$) در فراوانی روزهای با دید کم را نشان می‌دهند که احتمالاً تحت تأثیر پدیده وارونگی دمایی یا افزایش رطوبت است. روند فوری، مارس، می و اکتبر نیز افزایشی معنادار (در سطح $0/05$) است. شیب این ماه‌ها نیز عمدتاً مثبت و افزایشی است که تأییدکننده افزایش تدریجی روزهای با دید کم است. سایر ماه‌ها بدون روند معنی‌دار هستند که ممکن است ناشی از شرایط جوی پایدارتر باشد. روند کلی سالانه با آماره $Z=5.35$ و شیب $0/364$ روز در سال، افزایشی بسیار معنادار (در سطح $0/01$) را در فراوانی روزهای با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر نشان می‌دهد. این نتیجه حاکی از تشدید پدیده‌های کاهنده دید (مانند گرد و غبار یا آلودگی) در بلندمدت است. این ایستگاه به‌ویژه در نیمه دوم سال (از اکتبر تا دسامبر) با افزایش معنادار روزهای دارای دید افقی محدود مواجه است. این الگو می‌تواند پیامدهای مهمی برای برنامه‌ریزی‌های ترافیکی، سلامت عمومی و مطالعات اقلیمی داشته باشد. روند سالانه شدیداً هشداردهنده نشان می‌دهد که این ایستگاه نیاز به بررسی‌های دقیق‌تر درباره علل زمینه‌ای (مثلاً تغییرات اقلیمی یا منابع آلاینده محلی) دارد.

اهواز: مطابق نتایج روندیابی با من-کندال می با سطح معناداری $0/01$ (بسیار معنادار) و نوامبر با سطح معناداری $0/05$ ، افزایشی محسوس در روزهای با دید کم را نشان می‌دهند که ممکن است مرتبط با پدیده‌های خاص جوی مانند گرد و غبار یا وارونگی دمایی در این ماه‌ها باشد. اگرچه مقدار Q برای این ماه‌ها صفر گزارش شده، اما معناداری آماری آن‌ها در آزمون من-کندال قابل توجه است. ژانویه، فوریه، ژوئن، سپتامبر و اکتبر نیز روند افزایشی در سطح $0/1$ (نسبتاً معنادار) دارند که نشان‌دهنده تمایل به افزایش روزهای با دید محدود در این ماه‌هاست. سایر ماه‌ها تغییرات آماری معناداری در فراوانی روزهای با دید کم نشان نمی‌دهند. ماه‌های گرم سال (ژوئیه و اوت) اگرچه روند معناداری ندارند، اما تمایل به افزایش در ماه‌های مجاور (ژوئن و سپتامبر) دیده می‌شود. روند کلی سالانه با آماره $Z=4.28$ و شیب $0/2$ روز در سال، افزایشی بسیار معنادار (در سطح $0/01$) را نشان می‌دهد که حاکی از سرعت قابل توجه افزایش روزهای با دید محدود در مقیاس سالانه است. این نتیجه حاکی از آن است که در بلندمدت، اهواز با افزایش قابل توجه روزهای با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر مواجه بوده است. ایستگاه اهواز در ۷ ماه با افزایش معنادار روزهای دارای دید افقی محدود مواجه است. روند سالانه نیز به‌وضوح افزایشی است که می‌تواند پیامدهای مهمی برای سلامت عمومی، حمل‌ونقل و کیفیت زندگی در این منطقه داشته باشد. این الگو ممکن است ناشی از عوامل متعددی از جمله افزایش پدیده‌های گرد و غبار، تغییرات الگوهای جوی، رشد منابع آلاینده محلی (صنایع، خودروها و ...) و تغییرات اقلیمی در مقیاس بزرگ‌تر باشد.

کرمانشاه: می با سطح معناداری ۰/۰۱ و نوامبر با سطح معناداری ۰/۰۵ افزایش محسوس و ژانویه، فوریه، ژوئن، سپتامبر و اکتبر با سطح معناداری ۰/۱ تمایل به افزایش را در روزهای با دید محدود نشان می دهند. مارس، آوریل، ژوئیه، اوت و دسامبر تغییرات آماری معناداری ندارند. روند کلی سالانه با آماره $Z=4.28$ و سطح معناداری ۰/۰۰۱، افزایش بسیار معناداری را در مقیاس سالانه نشان می دهد که مبین تشدید مشکل دید محدود در بلندمدت است. مقدار $Q=0.211$ بیانگر شیب نسبتاً شدید این افزایش است و نیاز به بررسی علل زمینه ای دارد. افزایش معنادار در ماه های خاص (می و نوامبر) متمرکز است که احتمالاً مرتبط با الگوهای خاص آب و هوایی، تغییرات اقلیمی یا فعالیت های انسانی در این ماه ها است. حتی در ماه هایی که روند کاملاً معنادار نیست، تمایل عمومی به افزایش مشاهده می شود (مقادیر Z مثبت در اکثر ماه ها است). ایستگاه کرمانشاه الگوی نگران کننده ای از افزایش روزهای با دید محدود نشان می دهد و افزایشی بودن روندها می تواند پیامدهایی چون تأثیرات قابل توجهی بر سلامت عمومی، حمل و نقل و کیفیت زندگی در منطقه داشته باشد. این نتایج هشداردهنده حاکی از آن است که کرمانشاه نیازمند توجه ویژه به مسئله کیفیت هوا و دید افقی است.

سنندج: نتایج آزمون برای ایستگاه سنندج نشان دهنده الگوی نگران کننده ای از افزایش روزهای با دید محدود است: تمرکز افزایش در نیمه اول و اواخر سال قرار دارد و تمایل عمومی (در ۷ ماه از ۱۲ سال) به افزایش مشاهده می شود. می با سطح معناداری ۰/۰۱ (بسیار معنادار) و نوامبر با سطح معناداری ۰/۰۵ ماه های با روند افزایشی بسیار معنادار هستند. ژانویه، فوریه، ژوئن، سپتامبر و اکتبر ماه های با روند افزایشی نسبتاً معنادار (در سطح معناداری ۰/۱) می باشند. سایر ماه ها بدون روند معنادار هستند. روند کلی سالانه با آماره $Z=4.28$ و سطح معناداری ۰/۰۰۱ نشان دهنده افزایش بسیار شدید و معنادار روزهای با دید محدود است. مقدار $Q=0.211$ بیانگر شیب قابل توجه این افزایش و تشدید سریع مشکل هست. نتایج برای سنندج بسیار نگران کننده است و نشان می دهد افزایش محسوس روزهای با دید محدود در اکثر ماه های سال، شدت گرفتن مشکل در بلندمدت (روند سالانه بسیار قوی) و پیامدهای جدی برای سلامت و محیط زیست نیازمند توجه فوری مسئولان و برنامه ریزی جامع برای مقابله با پیامدهای آن است. علل احتمالی این روند افزایش منابع گرد و غبار محلی، تغییرات الگوی آب و هوایی منطقه و رشد منابع آلاینده انسانی باشد.

زنجان: نتایج آزمون ها نشان می دهد زنجان در برخی ماه های خاص روند افزایشی معناداری را تجربه کرده است. می و نوامبر با سطح معناداری ۰/۰۵ افزایش محسوس و اکتبر با سطح معناداری ۰/۱ تمایل به افزایش را نشان می دهند. ۹ ماه دیگر تغییرات آماری معناداری ندارند و بدون روند معنادار است. روند کلی سالانه با آماره $Z=1.66$ و سطح معناداری ۰/۱ حاکی از وجود افزایش نسبتاً معنادار با شیب ۰/۰۶ روز در سال ($Q = 0.065$) است.

جدول (۲): نتایج روندیابی فراوانی سالانه و ماهانه روزهای با دید افقی کم در ایستگاه‌های غرب ایران طی دوره مورد مطالعه با آزمون من-کندال و شیب سن

مقیاس زمانی	اراک			اهواز			کرمانشاه			سندج		
	Test Z	signific	Q	Test Z	signific	Q	Test Z	signific	Q	Test Z	signific	Q
ژانویه	۱/۹۵	+	۰/۰۵۴	۱/۹۵	+	۰/۰۳۱	۱/۹۵	+	۰/۰۳۱	۱/۹۵	+	۰/۰۳۱
فوریه	۲/۰۸	*	۰/۰۲۲	۱/۷۲	+	۰	۱/۷۲	+	۰	۱/۷۲	+	۰
مارس	۱/۹۹	*	۰	۱/۶۳		۰	۱/۶۳		۰	۱/۶۳		۰
آوریل	۱/۰۶		۰	۱/۰۵		۰	۱/۰۵		۰	۱/۰۵		۰
می	۲/۱۴	*	۰	۲/۶۱	**	۰	۲/۶۱	**	۰	۲/۶۱	**	۰
ژوئن	۰/۴۹		۰	۱/۷۸	+	۰	۱/۷۸	+	۰	۱/۷۸	+	۰
جولای	۱/۲۸		۰	۱/۲۷		۰	۱/۲۷		۰	۱/۲۷		۰
اوت	۱/۳۱		۰	۱/۱۲		۰	۱/۱۲		۰	۱/۱۲		۰
سپتامبر	۰/۷۲		۰	۱/۹۰	+	۰	۱/۹۰	+	۰	۱/۹۰	+	۰
اکتبر	۱/۹۸	*	۰	۱/۸۹	+	۰	۱/۸۹	+	۰	۱/۸۹	+	۰
نوامبر	۴/۸۶	***	۰/۰۴۳	۲/۵۲	*	۰	۲/۵۲	*	۰	۲/۵۲	*	۰
دسامبر	۳/۲۲	**	۰/۰۷۳	۰/۱۵		۰/۰۱۵	۱/۵۱		۰/۰۱۵	۱/۵۱		۰/۰۱۵
سالانه	۵/۳۵	***	۰/۰۳۶۴	۰/۲۱۱	***	۴/۲۸	۰/۲۱۱	***	۴/۲۸	۰/۲۱۱	***	۴/۲۸
مقیاس زمانی	زنجان			خرم‌آباد			خوی			ارومیه		
	Test Z	signific	Q	Test Z	signific	Q	Test Z	signific	Q	Test Z	signific	Q
ژانویه	۰/۴۰		۰	۱/۴۰		۰	۱/۲۹		۰	۰/۲۴	+	۱/۸۱
فوریه	۰/۶۱		۰	۰/۳۳		۰	-۰/۵۸		۰	۰		-۱/۲۷
مارس	-۰/۰۴		۰	۰/۳۰		۰	۰/۷۶		۰	۰		-۰/۹۶
آوریل	۱/۳۵		۰	۰/۸۱		۰	۰/۱۶		۰	۰		-۰/۱۰
می	۲/۴۵	*	۰	۰/۹۷		۰	-۱		۰	۰		-۰/۱۱
ژوئن	۰/۰۴		۰	-۰/۳۳		۰	۰/۱۹		۰	۰		-۰/۴۴
جولای	۰/۰۲		۰	۰/۱۴		۰	۰/۲۲		۰	۰		-۰/۰۶
اوت	۰/۳۵		۰	۰/۲۵		۰	۰/۲۴		۰	۰		۰/۲۰
سپتامبر	۰/۲۶		۰	۰/۰۷		۰	۰/۱۹		۰	۰		-۰/۳۱
اکتبر	۱/۸۷	+	۰	۰/۸۴		۰	۰/۴۹		۰	۰		۰/۷۴
نوامبر	۲/۱۳	*	۰	۰/۶۵		۰	۰/۵۴		۰	*		۲/۱۰
دسامبر	۱/۶۴		۰	۱/۶۸	+	۰	۱/۷۰	+	۰	**		۲/۵۹
سالانه	۱/۶۶	+	۰/۰۶۵	۰/۰۲۱	*	۲/۵۴	۰/۰۳۷		۱/۱۶	۰/۰۳۶		۱/۰۵

نکاتی که از این داده‌ها می‌توان دریافت از این قرار است: افزایش‌ها در بهار و پاییز تمرکز دارد، ماه‌های گرم سال تغییرات محسوسی نشان نمی‌دهند و در تابستان ثبات مشاهده می‌شود و روند سالانه افزایشی بوده و تمایل کلی به افزایش روزهای با دید محدود در بلندمدت دارد. الگوی مشاهده‌شده در زنجان حاکی از افزایش روزهای با دید محدود در ماه‌های خاص (به‌ویژه می و نوامبر) است که متمایل به تشدید مشکل در بلندمدت و پیامدهای احتمالی برای سلامت و محیط‌زیست دارد. علل احتمالی این روند می‌تواند افزایش منابع گرد و غبار محلی، تغییرات الگوی آب‌وهوایی منطقه و رشد منابع آلاینده انسانی باشد.

خرم‌آباد: نتایج نشان می‌دهد که در مقیاس ماهانه، ایستگاه خرم‌آباد وضعیت نسبتاً پایداری دارد. دسامبر تنها ماه با روند نسبتاً معنادار (با سطح معناداری ۰/۱) نشان‌دهنده تمایل به افزایش روزهای با دید محدود است، اگرچه مقدار $Q=0.000$ نشان می‌دهد این تغییر بسیار جزئی بوده است. ماه‌های دیگر هیچ روند افزایشی یا کاهش‌ی معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان نمی‌دهند. روند کلی سالانه با آماره $Z=2.54$ و سطح معناداری ۰/۰۵ افزایشی معنادار را نشان می‌دهد. مقدار $Q=0.021$ بیانگر شیب ملایم اما مثبت این روند است. در این ایستگاه، تناقض ظاهری بین ماهانه و سالانه مشاهده می‌شود. در حالی که ماه‌ها عمدتاً بدون روند هستند،

جمع‌بندی سالانه افزایش معناداری را نشان می‌دهد که می‌تواند ناشی از تجمع تغییرات جزئی در طول سال باشد. الگوی مشاهده‌شده در خرم‌آباد پایداری نسبی شرایط دید در اکثر ماه‌های سال، افزایش بسیار تدریجی اما معنادار در مقیاس سالانه و تفاوت با الگوی شهرهای مجاور مانند کرمانشاه - که افزایش محسوس‌تری نشان می‌داد- هست. این نتایج می‌تواند به دلایل موقعیت جغرافیایی خاص خرم‌آباد در میان کوه‌ها، تأثیر کمتر پدیده‌های گرد و غبار نسبت به مناطق شرقی‌تر و شرایط آب‌وهوایی متعادل‌تر باشد. با این حال، افزایش سالانه هرچند کوچک نیاز به توجه دارد، چراکه می‌تواند نشانه شروع تغییرات نامطلوب باشد.

خوی: نتایج آزمون برای ایستگاه خوی نشان‌دهنده ثبات نسبی در اکثر ماه‌های سال است. دسامبر تنها ماه با روند نسبتاً معنادار با سطح معناداری ۰/۱ نشان‌دهنده تمایل به افزایش روزهای با دید محدود است که ممکن است مرتبط با شرایط آب‌وهوایی زمستانی باشد، اگرچه مقدار $Q=0.000$ حاکی از تغییرات بسیار جزئی است. یازده ماه دیگر سال هیچ روند افزایشی یا کاهشی معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان نمی‌دهند. روند کلی سالانه با آماره $Z=1.16$ و مقدار $Q=0.037$ از نظر آماری معنادار نیست اگرچه مقدار مثبت Q نشان‌دهنده تمایل بسیار ملایم به افزایش است. ایستگاه خوی الگوی خاصی از ثبات را در دید افقی اکثر ماه‌ها نشان می‌دهد که این ثبات می‌تواند ناشی از عوامل جغرافیایی خاص منطقه باشد و هرچند می‌تواند نقطه قوتی برای منطقه محسوب شود، اما افزایش جزئی مشاهده‌شده در دسامبر نیاز به توجه دارد. همچنین الگوی خوی با الگوی شهرهای جنوبی تفاوت دارد و برخلاف اهواز و کرمانشاه، خوی افزایش محسوسی در روزهای با دید محدود نشان نمی‌دهد. این الگو می‌تواند به دلایل موقعیت جغرافیایی خاص خوی در شمال غرب کشور، تأثیر کمتر پدیده‌های گرد و غبار نسبت به مناطق مرکزی و جنوبی و شرایط آب‌وهوایی متعادل‌تر باشد.

ارومیه: نتایج آزمون من-کندال و شیب تخمین‌گر سن نشان می‌دهد که در ماه‌های سرد سال روند افزایشی معناداری وجود داشته است. در ماه‌های ژانویه (با سطح اطمینان ۹۰٪ و شیب ۰/۰۲۴)، نوامبر (با سطح اطمینان ۹۵٪) و دسامبر (با سطح اطمینان ۹۹٪ و شیب ۰/۰۳۴) روند افزایشی معناداری در روزهای با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر وجود دارد. در مقابل، سایر ماه‌های سال روند مشخصی در تعداد روزهای با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر شناسایی نشده است. اگرچه روند سالانه افزایشی به نظر می‌رسد (شیب سن ۰/۰۳۶) اما این روند از نظر آماری معنادار نیست. این نتایج می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات الگوهای آب‌وهوایی یا افزایش چشمگیر پدیده‌های کاهنده دید مانند مه یا آلودگی در ماه‌های سرد سال در منطقه ارومیه باشد. این الگو احتمالاً نشان‌دهنده تأثیر فصلی بر شرایط جوی منطقه ارومیه است.

تبریز: نتایج آزمون نشان می‌دهد تبریز در اکثر ماه‌های سال از ثبات نسبی برخوردار است: بر اساس آزمون من-کندال دسامبر تنها ماه با روند افزایشی نسبتاً معنادار با سطح معناداری ۰/۱ است که نشان‌دهنده تمایل به افزایش روزهای با دید محدود است و ممکن است مرتبط با شرایط خاص زمستانی باشد، هرچند مقدار شیب سن ($Q=0.000$) بیانگر تغییرات بسیار جزئی است. ۱۱ ماه دیگر سال هیچ روند افزایشی یا کاهشی معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان نمی‌دهند. روند کلی سالانه با آماره $Z=0.88$ و مقدار $Q=0.026$ از نظر آماری معنادار نیست اما تمایل بسیار ملایمی به افزایش را نشان می‌دهد. الگوی مشاهده‌شده در تبریز حاکی از پایداری شرایط دید در اکثر ماه‌های سال است و دید افقی آن در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار دارد، تنها تغییر محسوس در دسامبر است که نیازمند بررسی بیشتر هست. این الگو با الگوی بسیاری از ایستگاه‌های مرکزی و جنوبی نیمه غربی ایران - که روندهای افزایشی محسوس‌تری نشان می‌دادند- تفاوت دارد. این ثبات می‌تواند ناشی از موقعیت جغرافیایی خاص تبریز در شمال غرب کشور، تأثیر کمتر رخداد گرد و غبار نسبت به مناطق مرکزی و شرایط آب‌وهوایی متعادل‌تر آن باشد.

شهرکرد: نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهد شهرکرد در اکثر ماه‌های سال ثبات چشمگیر و وضعیت پایداری از نظر دید افقی محدود دارد. بر اساس آزمون من-کندال نوامبر تنها ماه با روند بسیار معنادار با سطح معناداری ۰/۰۱ افزایش محسوسی را نشان می‌دهد که

نیاز به بررسی علل خاص دارد، اگرچه مقدار $Q=0.000$ بیانگر محدود بودن دامنه این تغییرات است. روند کلی سالانه با آماره $Z=1.22$ و مقدار $Q=0.038$ از نظر آماری معنادار نیست اما تمایل ملایمی به افزایش را نشان می‌دهد. الگوی پایدار مشاهده شده در شهر کرد می‌تواند ناشی از موقعیت جغرافیایی خاص شهر کرد، ارتفاع زیاد و شرایط آب‌وهوایی ویژه و تأثیر کمتر رخدادهای گرد و غباری در آن باشد.

ادامه جدول (۲): نتایج روندیابی فراوانی سالانه و ماهانه روزهای با دید افقی کم در ایستگاه‌های غرب ایران طی دوره مورد مطالعه با آزمون من-کندال و شیب سن

مقیاس زمانی	تبریز			شهرکرد			قزوین			دزفول		
	Test Z	signific	Q	Test Z	signific	Q	Test Z	signific	Q	Test Z	signific	Q
ژانویه	۱/۳۹		۰	۰/۳۰		۰	-۰/۳۲		۰	۰/۵۰	*	۲/۳۷
فوریه	-۰/۴۳		۰	-۰/۹۷		۰	۰/۰۳		۰	۰		-۰/۰۶۳
مارس	-۰/۷۳		۰	۰/۲۳		۰	-۰/۹۷		۰	۰		-۰/۷۷
آوریل	-۰/۶۳		۰	-۰/۲۳		۰	۰/۱۳		۰	۰		-۰/۷۷
می	۰/۵۱		۰	۱/۱۸		۰	-۰/۶۱		۰	+		-۱/۸۱
ژوئن	-۰/۲۶		۰	-۰/۱۱		۰	۰/۲۷		۰	۰		-۰/۴۰
جولای	-۰/۸۲		۰	-۰/۱۱		۰	-۱/۰۷		۰	۰		-۱/۰۶
اوت	-۰/۵۳		۰	-۰/۱۳		۰	-۰/۳۴		۰	۰		-۱/۱۲
سپتامبر	-۰/۸۱		۰	-۰/۰۱		۰	-۰/۸۸		۰	۰		-۱/۲۶
اکتبر	-۰/۶۷		۰	۰/۵۱		۰	۰/۴۴		۰	۰		-۱/۳۳
نوامبر	۱/۵۹		۰	۲/۸۰	**	۰	۲/۴۵	*	۰	۰		۱/۰۹
دسامبر	۱/۷۱	+	۰	۰/۶۳		۰	۰/۸۹		۰	۰		۱/۰۴
سالانه	۰/۸۸		۰/۰۲۶	۰/۰۳۸		۱/۲۲	-۰/۳۶		۰	۰		-۰/۴۴
مقیاس زمانی	بوشهر			سقز			آبادان			نورژه		
	Test Z	signific	Q	Test Z	signific	Q	Test Z	signific	Q	Test Z	signific	Q
ژانویه	۱/۴۱		۰	-۰/۰۱۹		-۱/۲۴	۱/۱۰		۰	-۰/۱۸		۰
فوریه	۱/۱۴		۰	-۰/۰۳۸	**	-۲/۹۸	-۰/۲۸		۰	-۰/۰۵۰	*	-۲/۱۶
مارس	۰/۷۱		۰	۰	*	-۲/۱۱	-۰/۶۱		۰	-۰/۰۳۳	***	-۳/۳۷
آوریل	-۰/۸۷		۰	+	-۱/۹۳	-۰/۰۱	-۰/۰۱		۰	۰	***	-۳/۷۴
می	-۰/۴۷		۰	۱/۲۷		۰	-۰/۹۹		۰	۰		۰/۳۶
ژوئن	-۲/۲۹	*	۰	۰	-۰/۰۷	-۰/۰۳۳	-۳/۳۵	***	۰	۰		-۰/۳۹
جولای	-۱/۲۳		۰	۰	-۰/۱۱	-۰/۰۵۳	-۴/۱۷	***	۰	۰		-۰/۱۰
اوت	-۱/۰۸		۰	۰	۰/۲۳	-۰/۰۲۶	-۳/۶۱	***	۰	۰		-۰/۷۴
سپتامبر	-۰/۹۸		۰	۰	-۰/۶۹	۰	-۲/۴۲	*	۰	۰		-۰/۵۰
اکتبر	-۰/۰۵		۰	۰	۰/۳۱	۰	۰/۳۱		۰	۰		-۰/۴۹
نوامبر	۰/۵۴		۰	۰	-۰/۶۸	۰	-۰/۳۶		۰	۰		۰/۰۲
دسامبر	۱/۴۲		۰	۰	۰/۵۵	۰	۰/۳۶		-۰/۰۴۳	+		-۱/۷۹
سالانه	-۰/۰۹۱		-۰/۰۳۸	-۰/۰۸۳	+	-۱/۷۰	-۰/۱۶۷	*	-۲/۴۱	-۰/۱۷۴	*	-۲/۴۶

قزوین: نتایج آزمون برای ایستگاه قزوین نشان‌دهنده ثبات نسبی در اکثر ماه‌های سال است: نوامبر تنها ماه با روند معنادار (با سطح معناداری ۰/۰۵) نشان‌دهنده افزایش معنادار در روزهای با دید محدود است، اگرچه مقدار $Q=0.000$ حاکی از تغییرات بسیار جزئی است. ماه‌های دیگر سال هیچ روند افزایشی یا کاهشی معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان نمی‌دهند. روند کلی سالانه با آماره $Z=-0.36$ و مقدار $Q=0.000$ از نظر آماری معنادار نیست (سطح معناداری $0.05 <$) و نشان‌دهنده ثبات شرایط در بلندمدت است. الگوی مشاهده شده در قزوین حاکی از وجود پایداری قابل توجه در شرایط دید افقی در طول سال است، تنها تغییر محسوس

در ماه نوامبر است که ممکن است مرتبط با شرایط خاص آب‌وهوایی پاییزی باشد و با الگوی بسیاری از شهرهای دیگر که معمولاً روندهای محسوس‌تری نشان می‌دهند، تفاوت دارد. این ثبات می‌تواند ناشی از عوامل موقعیت جغرافیایی خاص قزوین، تأثیر کمتر پدیده‌های گرد و غبار نسبت به مناطق مرکزی و جنوبی و شرایط آب‌وهوایی متعادل‌تر آن باشد.

دزفول: در این ایستگاه ژانویه با آماره $Z=2.37$ و سطح معناداری 0.05 ، افزایشی معنادار در روزهای با دید کمتر از 1000 متر را نشان می‌دهد که ممکن است مرتبط با پدیده‌های خاص زمستانی مانند وارونگی دمایی یا افزایش رطوبت باشد. مقدار $Q=0.050$ بیانگر شیب ملایم اما مثبت این روند است. می با آماره $Z=-1.81$ کاهش نسبتاً معنادار (در سطح 0.1) را نشان می‌دهد که احتمالاً تحت تأثیر تغییرات الگوی بادهای منطقه‌ای است. هرچند مقدار $Q=0.000$ حاکی از تغییرات بسیار جزئی است. سایر ماه‌های سال ثبات نسبی دارند و هیچ روند افزایشی یا کاهشی معناداری در سطح اطمینان 95% نشان نمی‌دهند. روند کلی سالانه با آماره $Z=-0.44$ و شیب $Q=0.000$ معنادار نیست (سطح معناداری 0.05). این نشان می‌دهد که در مقیاس سالانه، تغییرات محسوسی در فراوانی روزهای با دید محدود در دزفول مشاهده نشده است. تنوع فصلی در روندهای ماه‌ها مشاهده می‌شود درحالی‌که ژانویه افزایش معنادار و مه کاهش نسبتاً معنادار را نشان می‌دهند، سایر ماه‌ها الگوی خاصی ندارند. این ممکن است نشان‌دهنده تأثیر عوامل محلی در این ماه‌های خاص باشد. الگوی دزفول متفاوت از ایستگاه‌هایی مانند اهواز و اراک است که روندهای سالانه قوی‌تری نشان می‌دادند. ثبات مشاهده‌شده در دزفول ممکن است ناشی از موقعیت جغرافیایی خاص دزفول، تأثیر رودخانه دز بر شرایط محلی و فاصله داشتن از کانون‌های اصلی گرد و غبار باشد.

بوشهر: در بوشهر فقط ژوئن با آماره $Z=-2.29$ و سطح معناداری 0.05 ، کاهش معنادار در روزهای با دید کمتر از 1000 متر را نشان می‌دهد. باین حال، مقدار $Q=0.000$ نشان می‌دهد که شیب این تغییر بسیار ملایم بوده است. سایر ماه‌های سال هیچ روند افزایشی یا کاهشی معناداری در سطح اطمینان 95% نشان نمی‌دهند (اگرچه مقادیر Z منفی دارند، اما از نظر آماری معنادار نیستند). روند کلی سالانه با آماره $Z=-0.91$ و شیب $Q=-0.038$ معنادار نیست (سطح معناداری 0.05). این نشان می‌دهد که در مقیاس سالانه، تغییرات محسوسی در فراوانی روزهای با دید کم در بوشهر رخ نداده است. فقدان روند مشخص در اکثر ماه‌ها به جز ژوئن، سایر ماه‌ها ثبات نسبی در تعداد روزهای با دید کم نشان می‌دهند. این ممکن است به دلیل شرایط جوی پایدار یا تأثیر دریای خلیج فارس بر تعدیل پدیده‌های کاهنده دید باشد. در مقیاس سالانه برخلاف برخی ایستگاه‌های دیگر (مانند اراک یا اهواز)، بوشهر در بلندمدت تغییر محسوسی در روزهای با دید کم تجربه نکرده است. الگوی مشاهده‌شده در بوشهر حاکی از وجود ثبات است. این ثبات ممکن است به دلایل تأثیر تعدیل‌کننده دریای خلیج فارس بر آب‌وهوا، فاصله از کانون‌های اصلی گرد و غبار و یا شرایط رطوبتی خاص منطقه ساحلی باشد.

سقز: نتایج آزمون نشان‌دهنده وجود روند کاهشی در برخی ماه‌های خاص است از جمله: فوریه با سطح معناداری 0.01 (کاهش بسیار معنادار) و شیب $Q=-0.038$ روز، مارس با سطح معناداری 0.05 (کاهش معنادار) و آوریل با سطح معناداری 0.1 (کاهش نسبتاً معنادار). سایر ماه‌های سال بدون روند معنادار هستند. روند سالانه با آماره $Z=-1.70$ و سطح معناداری 0.1 نشان‌دهنده کاهش نسبتاً معنادار با شیب 0.08 روز در سال ($Q=-0.083$) است و نشان‌دهنده تمایل کلی به بهبود وضعیت دید است. روندهای کاهشی معنی‌دار در زمستان و بهار تمرکز دارند در سایر فصول ثبات مشاهده می‌شود. الگوی مشاهده‌شده در سقز نشان‌دهنده بهبود وضعیت دید در ماه‌های سرد سال است. در ماه‌های گرم ثبات وجود دارد و در مجموع تمایل کلی به کاهش روزهای با دید محدود در بلندمدت مشاهده می‌شود. این الگو برخلاف بسیاری از ایستگاه‌های دیگر که روند افزایشی نشان می‌دادند، حاکی از بهبود نسبی شرایط در سقز است. این نتایج می‌تواند ناشی از بهبود شرایط جوی در زمستان و بهار کاهش منابع گرد و غبار در ماه‌های سرد و یا تأثیر مثبت برنامه‌های محیط‌زیستی در منطقه عوامل زیر باشد.

آبادان: مطابق آزمون من-کندال ژوئن، ژوئیه و اوت (فصل تابستان) با سطوح معناداری بسیار قوی (۰/۰۱) کاهش معنادار در روزهای با دید کم را نشان می‌دهند. میزان شیب (Q) نیز منفی است که نشان‌دهنده کاهش تدریجی این پدیده در این ماه‌ها است. سپتامبر نیز کاهش معنادار (در سطح ۰/۰۵) دارد، اما شیب (Q) نزدیک به صفر است که نشان می‌دهد این کاهش چندان شدید نیست. این کاهش احتمالاً تحت تأثیر بهبود شرایط جوی، منابع محلی گرد و غبار، یا تأثیر سیاست‌های محیط‌زیستی یا تغییرات الگوی بادهای منطقه‌ای است. سایر ماه‌ها بدون روند معنی‌دار هستند. روند سالانه با آماره $Z=-2.41$ و شیب $Q=-0.167$ ، کاهش معنادار (در سطح ۰/۰۵) را در فراوانی روزهای با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر نشان می‌دهد. این نتیجه حاکی از آن است که در بلندمدت، تعداد روزهای با دید محدود در آبادان کاهش یافته است.

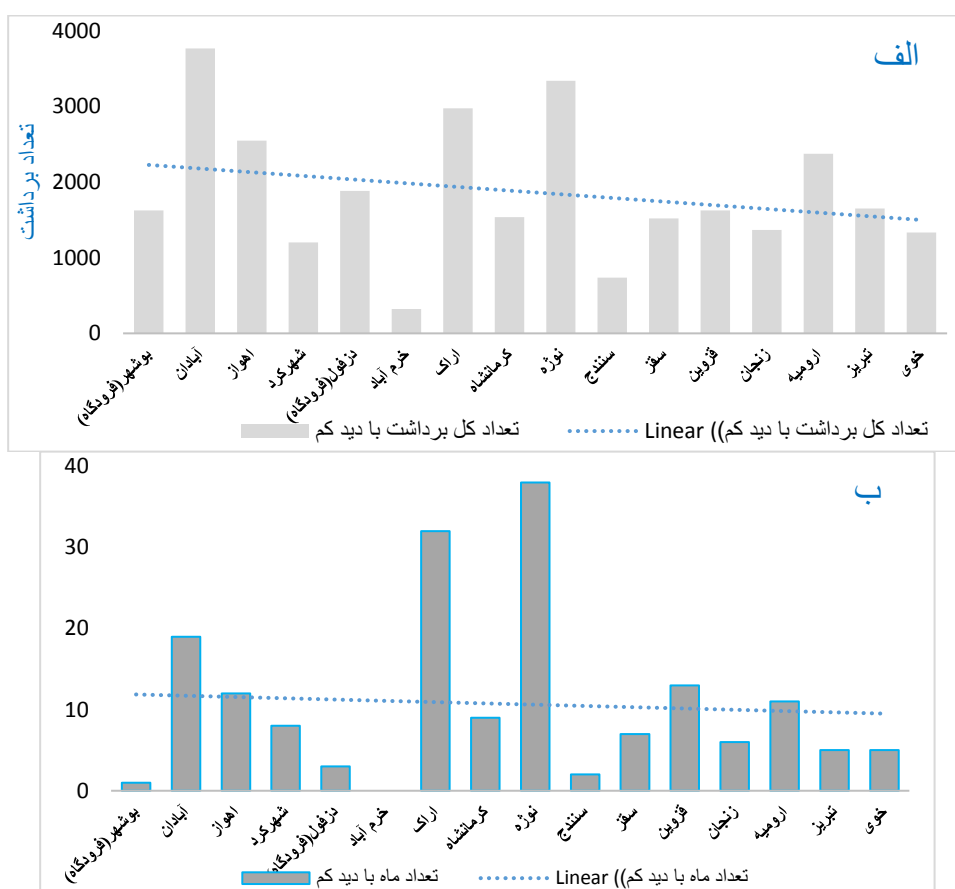
نوژه: نتایج آزمون برای ایستگاه نوژه نشان‌دهنده الگوی جالب‌توجهی در تغییرات دید افقی است: مارس و آوریل با سطوح معناداری ۰/۰۰۱ کاهش بسیار محسوسی را در روزهای با دید محدود نشان می‌دهند. این کاهش در آوریل با آماره $Z=-3.74$ از شدت بیشتری برخوردار است. فوریه با سطح معناداری ۰/۰۵ و دسامبر با سطح معناداری ۰/۱ نیز کاهش در روزهای با دید کم را نشان می‌دهند. سایر ماه‌های سال (ژانویه، می تا نوامبر) تغییرات آماری معناداری در فراوانی روزهای با دید کم نشان نمی‌دهند. روند کلی سالانه با آماره $Z=-2.46$ و سطح معناداری ۰/۰۵، کاهش معنادار را در مقیاس سالانه نشان می‌دهد. مقدار $Q=-0.174$ (۰/۱۷ روز در سال) بیانگر شیب نسبتاً قابل توجه این کاهش است. در نوژه فصل بهار کانون تغییرات کاهش فراوانی دید محدود است و بیشترین کاهش معنادار در ماه‌های اسفند تا اردیبهشت (فوریه تا آوریل) مشاهده می‌شود که احتمالاً مرتبط با تغییرات الگوی گرد و غبار در این فصل است. همچنین تفاوت فصلی محسوس است در حالی که نیمه اول سال (به‌ویژه بهار) کاهش معنادار را نشان می‌دهد، نیمه دوم سال تغییرات محسوسی ندارد (به‌جز دسامبر که کاهش ضعیف‌تری نشان می‌دهد). روند سالانه آن نیز کاهش است و برخلاف برخی ایستگاه‌های دیگر، نوژه در بلندمدت کاهش معناداری در روزهای با دید محدود نشان می‌دهد که می‌تواند نشانه بهبود شرایط جوی یا بهبود مدیریت منابع طبیعی در منطقه باشد. ماه‌های گرم سال نیز تغییرات محسوسی ندارند که می‌تواند نشانه ثبات شرایط جوی در این فصل‌ها باشد.

مقایسه تعداد کل برداشت‌های با دید محدود و فراوانی ماه‌های دارای دید بسیار محدود

برای آگاهی از شرایط اقلیمی منطقه، تعداد کل برداشت‌هایی که در آن‌ها دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر بوده است برای هر ایستگاه محاسبه شد نمودار آن (شکل ۶-الف) و به همراه فراوانی ماه‌هایی که در آن‌ها حداقل ۱۰ روز (دست کم ۱ برداشت تا هر ۸ برداشت) دید افقی محدود بوده است (شکل ۶-ب) برحسب عرض جغرافیایی پایین به بالا (از چپ به راست) ترسیم گردید که هر دو متغیر با افزایش عرض جغرافیایی شیب کاهش را نشان می‌دهند.

این مطالعه به بررسی دو شاخص اصلی دید افقی محدود در ۱۶ ایستگاه سینوپتیک نیمه غربی کشور پرداخته است. نتایج تحلیل داده‌ها الگوهای فضایی جالبی را نشان می‌دهد. ایستگاه آبادان با ۳۷۶۷ برداشت بیشترین تعداد برداشت‌های با دید افقی محدود را به خود اختصاص داده و نوژه با ۳۳۴۱ برداشت در مرتبه دوم قرار دارد. پس از آن ایستگاه‌های اراک با ۲۹۷۷ مورد و اهواز با ۲۵۴۸ مورد در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. در مقابل، ایستگاه خرم‌آباد با تنها ۳۲۴ مورد کمترین تعداد برداشت را ثبت کرده است. از نظر تعداد ماه‌هایی که حداقل ۱۰ روز با دید محدود داشته‌اند، ایستگاه نوژه با ۳۸ ماه در صدر قرار دارد و این در حالی است که داده این ایستگاه تا سال ۲۰۱۳ در دسترس بود. ایستگاه‌های اراک با ۳۲ ماه و آبادان با ۱۹ ماه در رتبه‌های بعدی هستند. جالب‌توجه است که ایستگاه خرم‌آباد در طول دوره مطالعه حتی یک ماه با شرایط دید محدود نیز تجربه نکرده است.

تحلیل جغرافیایی داده‌ها نشان می‌دهد که مناطق جنوبی مانند آبادان، اهواز و بوشهر که در ارتفاع کم (۶.۶ تا ۲۲.۵ متر) قرار دارند، بیشترین مشکلات دید را تجربه می‌کنند. این پدیده عمدتاً ناشی از ترکیب رطوبت بالا و فعالیت‌های گرد و غبار در این مناطق است. در مناطق مرتفع مرکزی مانند اراک، نوزه و شهرکرد که ارتفاع آن‌ها بین ۱۶۷۹ تا ۲۰۴۸ متر متغیر است، مشکلات دید عمدتاً ماهیت فصلی داشته و بیشتر در دسامبر و ژانویه به دلیل پدیده وارونگی دمایی رخ می‌دهد. این در حالی است که مناطق شمال غربی مانند ارومیه، تبریز و خوی با وجود تعداد متوسط برداشت‌های دید محدود، دوره‌های مشکل‌دار کوتاه‌تری را تجربه می‌کنند. همچنین بررسی روابط بین متغیرها نشان می‌دهد که همبستگی مستقیم قوی (۰/۸) بین تعداد کل برداشت‌ها و ماه‌های مشکل‌دار وجود دارد. همچنین مشاهدات حاکی از آن است که ارتفاع به تنهایی نمی‌تواند توزیع فضایی مشکلات دید را توضیح دهد، چراکه ایستگاه خرم‌آباد با ارتفاع ۱۱۴۷ متر کمترین مشکلات و ایستگاه شهرکرد با ارتفاع ۲۰۴۸ متر تعداد قابل توجهی ماه مشکل‌دار را ثبت کرده‌اند.



شکل (۶): مجموع برداشت‌های دارای دید محدود (الف) و فراوانی ماه‌های با دید بسیار محدود (ب)

نتیجه‌گیری

این مطالعه تصویری جامع از تغییرات فضایی-زمانی دید افقی در نیمه غربی ایران ارائه می‌دهد و الگوهای فضایی-زمانی مشخصی را شناسایی کرده است. تحلیل روند داده‌های ۷۴ ساله نشان می‌دهد ایستگاه‌های واقع در نیمه غربی کشور با چالش‌های متفاوتی در زمینه دید افقی مواجه هستند. در حالی که مناطق جنوبی و مرکزی محدوده مورد مطالعه با افزایش نگران‌کننده روزهای با دید محدود مواجه‌اند، مناطق غربی (مانند آبادان، نوزه، سقز و بوشهر) روندهای کاهشی یا پایدار نشان می‌دهند. این کاهشی بودن روند دید افقی در بلندمدت همسو با نتایج پژوهش ساری صراف و همکاران (۱۴۰۲) و سبحانی و همکاران (۱۴۰۲) است که در مناطق مورد مطالعه خود به نتایج مشابه دست یافته‌اند. توزیع جغرافیایی روزهای با دید محدود از الگوی پیچیده‌ای پیروی می‌کند که تحت

تأثیر سه عامل اصلی ارتفاع ایستگاه، فاصله از منابع رطوبتی و کانون‌های گرد و غبار و الگوهای جوی فصلی است. مناطق جنوبی نزدیک به خلیج فارس به دلیل ترکیب رطوبت بالا و فعالیت گرد و غبار و احتمالاً تغییرات الگوهای گرد و غبار و خشک‌سالی‌های متوالی، بیشترین روزهای با دید محدود را تجربه می‌کنند، درحالی‌که مناطق مرتفع غربی روند معناداری مشاهده نمی‌شود و عمدتاً در زمستان تحت تأثیر پدیده وارونگی دمایی قرار دارند. شناسایی الگوی فضایی ناهمگون کاهش دید در مناطق مختلف همسو با نتایج پژوهش است. در مقیاس سالانه، بیشترین فراوانی در ایستگاه‌های پست جنوبی (آبادان، اهواز) و جنوب غربی مشاهده گردید که همسو با یافته‌های در گاهیان و رضوی‌زاده (۱۴۰۰) است و کمترین مقدار در ایستگاه‌های مرتفع شمال غربی (خوی، ارومیه) و خرم‌آباد مشاهده می‌شود. دو الگوی متضادی در منطقه شناسایی گردید: از یک‌سو، ایستگاه‌های مرکزی و برخی مناطق غربی (اراک، اهواز، کرمانشاه، سنندج) با افزایش معنادار روزهای با دید محدود مواجه هستند که می‌تواند ناشی از توسعه صنعتی، تغییرات کاربری اراضی و تشدید پدیده‌های جوی مانند وارونگی دمایی باشد. از سوی دیگر، ایستگاه‌های جنوبی (آبادان، نوژه) و برخی مناطق غربی (سقز) کاهش معناداری و بهبود نسبی شرایط دید را نشان می‌دهند که این تفاوت‌ها احتمالاً به الگوهای جوی منطقه‌ای، تغییر در الگوها و مسیر ورود گرد و غبار، بهبود مدیریت محیط‌زیستی مربوط است. چنین الگوی فضایی نامتوازن حاکی از آن است که مدیریت پدیده کاهش دید افقی در نیمه غربی ایران نیازمند راهکارهای مدیریتی منطقه‌ای متناسب با ویژگی‌های جغرافیایی خاص هر ناحیه است تا اثربخشی بیشتری داشته باشند و نمی‌توان راهکار واحدی برای تمام مناطق توصیه نمود.

از نظر فصلی، الگوی تغییرات از تنوع قابل توجهی برخوردار است. در ماه‌های سرد سال (به‌ویژه دسامبر و ژانویه)، افزایش معنادار روزهای با دید محدود در بسیاری از ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود که با پدیده وارونگی دمایی و افزایش رطوبت جو مرتبط است. ماه‌های سرد سال به‌ویژه در مناطق مرتفع غربی کانون اصلی نگرانی هستند، چراکه روندهای افزایشی معناداری در این مناطق مشاهده شده است. در مقابل، در ماه‌های گرم سال، برخی ایستگاه‌های جنوبی کاهش معناداری را نشان می‌دهند که می‌تواند ناشی از تغییر الگوهای بادهای منطقه‌ای باشد. این مطالعه همچنین نشان داد که سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۰۸ به‌عنوان سال‌های بحرانی با فراوانی غیرعادی روزهای با دید محدود در بسیاری از ایستگاه‌ها شناخته می‌شوند. این رویدادها احتمالاً با الگوهای جوی خاص و فعالیت شدید منابع گرد و غبار مرتبط هستند.

این همخوانی‌ها نشان می‌دهد که اگرچه مطالعات پیشین بیشتر بر جنبه‌های خاصی از پدیده کاهش دید تمرکز داشتند، یافته‌های این پژوهش با ترکیب تحلیل‌های فضایی-زمانی جامع و بررسی همزمان چندین عامل مؤثر، گام مهمی در درک جامع این پدیده در مقیاس منطقه‌ای برداشته است.

یافته‌های این پژوهش پیامدهای مهمی برای برنامه‌ریزی‌های محیط‌زیستی و مدیریت منابع طبیعی، مدیریت حمل‌ونقل و سیاست‌گذاری‌های سلامت عمومی در منطقه دارد و لزوم مطالعات بیشتر درباره تأثیر تغییرات اقلیمی بر الگوهای دید در منطقه را برجسته می‌سازد. افزایش روزهای با دید محدود در برخی مناطق، به‌ویژه در ماه‌های سرد سال، می‌تواند تأثیرات منفی بر سلامت عمومی، حمل‌ونقل و فعالیت‌های اقتصادی داشته باشد. از این‌رو، برای ایستگاه‌های دارای روند افزایشی، ایجاد سیستم پایش یکپارچه برای رصد تغییرات دید افقی در مناطق حساس و تدوین راهکارهای مدیریتی مناسب، بررسی عوامل مؤثر بر دید در منطقه و پایش مستمر برای شناسایی تغییرات احتمالی آینده، شناسایی فوری منابع آلودگی هوا، مطالعات تکمیلی درباره علل افزایش در ماه‌های خاص با تمرکز بر منابع گرد و غبار و آلاینده‌های جوی، بررسی هم‌زمان داده‌های رطوبت، باد و غلظت ذرات معلق، مطالعه تغییرات الگوهای آب‌وهوایی منطقه، تحلیل هم‌زمان با داده‌های دیگر ایستگاه‌ها و بررسی تأثیر فعالیت‌های انسانی و صنعتی، برنامه‌ریزی برای کاهش پیامدهای منفی از جمله پیشنهادها در این زمینه است. همچنین بررسی علل کاهش دید در ماه‌های خاص در ایستگاه‌های بدون روند یا روند نزولی، مطالعه تأثیر عوامل محلی بر بهبود شرایط و بررسی هم‌زمان داده‌های مربوط به گرد و غبار، بارندگی و کاربری اراضی و ادامه پایش برای تأیید تداوم روند مثبت پیشنهاد می‌شود.

ترکیب دانش بومی با فناوری‌های نوین می‌تواند راهگشای حل مشکل کاهش دید افقی و جلوگیری از تبدیل آن به معضل در مناطق تحت تأثیر باشد؛ بنابراین راهکارهای زیر برای کاهش اثرات گرد و غبار بر دید افقی پیشنهاد می‌شود: راهکارهای مهندسی و مدیریتی شامل ایجاد بادشکن‌های طبیعی و مصنوعی در کانون‌های تولید گرد و غبار، اجرای طرح‌های تثبیت شن‌های روان با استفاده از مالچ‌های سازگار با محیط‌زیست و توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار در نواحی کشاورزی حاشیه بیابان‌ها، راهکارهای فناورانه شامل نصب سیستم‌های تصفیه هوا در ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی، توسعه اپلیکیشن‌های هشدار سریع برای رانندگان و خلبانان و استفاده از فناوری‌های خود ران در شرایط دید کم و راهکارهای بین‌المللی شامل همکاری با کشورهای همسایه برای کنترل کانون‌های فرامرزی و چشمه‌های گرد و غبار، مشارکت در برنامه‌های جهانی مبارزه با بیابان‌زایی و تبادل دانش و فناوری با کشورهای پیشرو در این زمینه از جمله موارد حائز اهمیت است که به نظر می‌رسد می‌توانند در این زمینه اثربخش باشند. همچنین در سیاست‌گذاری‌ها برنامه‌های کاهش آلودگی هوا در مناطق بحرانی و تقویت شبکه پایش کیفیت هوا در استان‌های مرزی مورد توجه قرار گیرند.

اما با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در درک پدیده گرد و غبار و تأثیر آن بر دید افقی، همچنان چالش‌های متعددی پیش روی محققان و سیاست‌گذاران وجود دارد. بررسی چشم‌انداز تغییرات آب و هوایی و نیز پیش‌بینی افزایش فراوانی وقوع خشک‌سالی‌ها حاکی از آن است که این دو علت احتمالاً در آینده موجب تشدید این پدیده خواهد شد (IPCC, 2021). از سوی دیگر، توسعه شهری و تغییر کاربری اراضی نیز می‌تواند کانون‌های جدیدی از گرد و غبار در مقیاس محلی و بزرگ‌تر ایجاد کند؛ بنابراین جهت‌گیری‌های آینده تحقیقات در این زمینه می‌تواند شامل توسعه مدل‌های دقیق‌تر برای پیش‌بینی، مطالعه بر روی تأثیر ترکیب شیمیایی ذرات بر میزان کاهش دید، ارزیابی اثرات بلندمدت گرد و غبار بر زیرساخت‌های حیاتی و بررسی راهکارهای تطابقی در شهرهای بزرگ است.

منابع

- ابراهیمی خوسفی، زهره (۱۳۹۸). تحلیل اثر سرعت باد و رطوبت خاک بر تغییرات دید افقی ناشی از رخداد گردوغبار در مناطق خشک (منطقه مطالعاتی: جنوب شرق ایران). *مهندسی اکوسیستم بیابان*. ۸ (۲۴)، ۱۰۹-۱۲۱.
- جابری، پریسا؛ ثابت‌قدم، سمانه؛ سرمد، قادر (۱۳۹۹). پیش‌بینی کاهش دید ناشی از مه و بارش در منطقه تهران با استفاده از مدل WRF. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. ۷ (۳)، ۱۲۴-۱۰۷.
- حجازی، سید عباس؛ مباشری، محمدرضا؛ مجیدی، داود (۱۳۹۳). استفاده از تصویر ماهواره‌ای در محاسبه قابلیت دید افقی جو. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*. ۵ (۱۷)، ۴۷-۵۶.
- حسینی صدر، عاطفه؛ صلاحی، برومند؛ محمدی، غلام حسن (۱۴۰۳). تحلیل اقلیمی نوسانات طولانی‌مدت دید افقی در شمال غرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*. ۲۸ (۸۹)، ۲۸۴-۲۶۹.
- حسینی، احمد (۱۴۰۱). پیش‌بینی میزان دید افقی سالیانه حاصله از گرد و غبار در منطقه کم‌فشار حرارتی سیستان. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*. ۱۳ (۵۱)، ۱۲۷-۱۰۷.
- درگاهیان، فاطمه؛ رضوی‌زاده، سمانه (۱۴۰۰). توزیع مکانی فرکانس و شدت پدیده گرد و غبار بر اساس میدان دید افقی در استان خوزستان. *طبیعت ایران*. ۳ (۲۸)، ۸۱-۷۵.
- دهقان، مهدی و دیگران (۱۳۹۸). برآورد رابطه میان PM10 و دید افقی به تفکیک کد همدیدی در یزد. *مخاطرات محیط طبیعی*. ۸ (۱۹)، ۷۵-۹۰.
- رهنما، مهدی و دیگران (۱۴۰۰). تحلیل شاخص توفان گرد و خاک (DSI)، بسامد رخدادهای گردوغبار و دید افقی در منطقه غرب آسیا. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*. ۱۲ (۴۷)، ۷۰-۵۷.

- ساری صراف، بهروز؛ محمدی، غلام حسن؛ یزدانی، محمد (۱۴۰۲). تحلیل روند دید افقی در جنوب غرب ایران بین سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۸. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۵۵ (۱)، ۱-۱۸. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2022.339960.1007685>
- ساری صراف، بهروز؛ محمدی، غلام حسن؛ یزدانی، محمد (۱۴۰۳). تحلیل روند دید افقی در استان خوزستان بین سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۸. *مطالعات علوم محیط زیست*. ۹ (۳)، ۸۸۲۹-۸۸۱۶.
- سبحانی، بهروز؛ جعفرزاده علی‌آباد، لیلا؛ محمدی، غلام حسن (۱۴۰۲). تحلیل توزیع روند زمانی-مکانی دید افقی و ارتباط آن با پارامترهای اقلیمی در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از آنالیز Redit. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۳ (۵۵)، ۳۷-۵۴. doi: 10.22059/jphgr.2023.362522.1007784
- یزدانی، سعید و دیگران (۱۴۰۳). ارزیابی اقتصادی خسارات گرد و غبار بر عملکرد محصولات کشاورزی در استان خوزستان. *تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*. ۵۵ (۱)، ۱۶۷-۱۴۹. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2022.283683.669103>
- Adebisi, A. A. & Kok, J. F. (2020). Climate models miss most of the coarse dust in the atmosphere. *Science Advances*. 6 (15), eaaz9507. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz9507>
- Alizadeh-Chooabari, O.; Zawar-Reza, P. & Sturman, A. (2016). The wind of 120 days and dust storm activity over the Sistan Basin. *Atmospheric Research*. 143, 328-341. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.02.001>
- Brooks, N. & Legrand, M. (2000). Dust Variability over Northern Africa and Rainfall in the Sahel. McLaren, S.J., Kniveton, D.R. (eds.). *Climate Change to Land Surface Change. Advances in Global Change Research*. Vol. 6. Springer: Dordrecht. https://doi.org/10.1007/0-306-48086-7_1
- Cakmur, R. V. et al (2006). Constraining the magnitude of the global dust cycle by minimizing the difference between a model and observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 111 (D6). <http://dx.doi.org/10.1029/2005JD005791>
- Chen, H. et al (2024). Visibility forecast in Jiangsu province based on the GCN-GRU model. *Sci Rep*. 14, 12599. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61572-8>
- Engelstaedter, S.; Tegen, I. & Washington, R. (2016). North African dust emissions and transport. *Earth-Science Reviews*. 79 (1-2), 73-100.
- Evan, A.T. et al (2014). An analysis of aeolian dust in climate models. *Geophysical Research Letters*. 41 (16), 5996-6001. <https://doi.org/10.1002/2014GL060545>
- Ginoux, P. et al (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*. 50 (3). <https://doi.org/10.1029/2012RG000388>
- Goudie, A. S. & Middleton, N. J. (2006). *Desert Dust in the Global System*. Springer Science & Business Media: Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/3-540-32355-4>.
- Hamed, K. H. (2008). Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*. 349 (3-4), 350-363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>
- Huneeus, N. et al (2011). Global dust model intercomparison in AeroCom phase I. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 11 (15), 7781-7816. <https://doi.org/10.5194/acp-11-7781-2011>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021. The Physical Science Basis*: Cambridge University Press.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. England: Charles Griffin.
- Knippertz, P. & Stuut, J.B.W. (Eds.). (2014). *Mineral Dust: A Key Player in the Earth System*. Netherlands: Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-8978-3>
- Kok, J. F. et al (2012). The physics of wind-blown sand and dust. *Reports on Progress in Physics*. 75 (10). 106901. <http://dx.doi.org/10.1088/0034-4885/75/10/106901>
- Kok, J. F. et al (2023). Mineral dust aerosol impacts on global climate and climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*. 4 (2), 71-86. <http://dx.doi.org/10.1038/s43017-022-00379-5>
- Mahowald, N. M. et al (2010). Observed 20th century desert dust variability: impact on climate and biogeochemistry. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 10 (22), 10875-10893. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-10-10875-2010>
- MalAmiri, N. et al (2025). Socioeconomic and health impacts of dust storms in southwest Iran. *Atmosphere*. 16 (2), 159. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos16020159>
- Martcorena, B. & Bergametti, G. (1995). Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 100 (D8), 16415-16430. <https://doi.org/10.1029/95JD00690>

- Middleton, N. J. (2017). Desert dust hazards: A global review. *Aeolian Research*. 24, 53-63. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2016.12.001>
- Middleton, N. & Kang, U. (2017). Sand and dust storms: Impact mitigation. *Sustainability*. 9 (6), 1053. <https://doi.org/10.3390/su9061053>
- Prospero, J. M. et al (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the NIMBUS 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*. 40 (1), 1002. <http://dx.doi.org/10.1029/2000RG000095>
- Pu, B. & Ginoux, P. (2016). The impact of the Pacific Decadal Oscillation on springtime dust activity in Syria. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 16 (21), 13431-13448. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-16-13431-2016>
- Querol, A. et al (2019). Monitoring the impact of desert dust outbreaks for air quality for health studies. *Environment International*. 130, 104867. doi: 10.1016/j.envint.2019.05.061
- Rashki, A.; Middleton, N. J. & Goudie, A. (2021). Dust storms in Iran: Distribution, causes, and impacts. *Aeolian Research*. 48, 100655. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100655>
- Robinson, N.; Schueth, J. & Ardon-Dryer, K. (2024). The spatial, temporal, and meteorological impact of the 26 February 2023 dust storm, increase of particulate matter concentrations across New Mexico and West Texas. *EGU sphere [Preprint]*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-659>
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*. 63 (324), 1379-1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Shao, Y. (2008). *Physics and Modelling of Wind Erosion*. Netherlands: Springer.
- Shao, Y.; Klose, M. & Wyrwoll, K.H. (2013). Recent global dust trend and connections to climate forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 118 (19), 11,107-118. <http://dx.doi.org/10.1002/jgrd.50836>
- Shao, Y. et al (2011). Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*. 2 (4), 181-204. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2011.02.001>
- Sivakumar, M. V. K. (2005). Impacts of sand/dust storms on agriculture, in M.V.K. Sivakumar. R.P. Motha, and H.P. Das (Eds.). *Natural Disasters and Extreme Events in Agriculture*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Tabari, H. et al (2011). Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151 (2), 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.09.009>
- Tanaka, T. Y. & Chiba, M. (2006). A numerical study of the contributions of dust source regions to the global dust budget. *Global and Planetary Change*. 52(1-4), 88-104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.02.002>
- Tegen, I. & Fung, I. (1994). Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport, and optical thickness. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 99 (D11), 22897-22914. <http://dx.doi.org/10.1029/94JD01928>
- Uno, I. et al (2009). Asian dust transported one full circuit around the globe. *Nature Geoscience*. 2 (8), 557-560. <http://dx.doi.org/10.1038/NGEO583>
- Wang, F. et al (2020). Re-evaluation of the power of the Mann-Kendall test for detecting monotonic trends in hydrometeorological time series. *Frontiers in Earth Science*. 8, 14. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00014>
- Wang, H. et al (2023). Machine learning approaches for dust storm prediction. *International Journal of Digital Earth*. 16 (1), 1530-1550. <http://dx.doi.org/10.1080/17538947.2023.2202421>
- Washington, R. et al (2003). Dust-storm source areas determined by the Total Ozone Monitoring Spectrometer and surface observations. *Annals of the Association of American Geographers*. 93 (2), 297-313. <http://dx.doi.org/10.1111/1467-8306.9302003>
- World Meteorological Organization (WMO) (2019). Sand and dust storms. WMO. 1234. DOI: 10.13140/RG.2.2.12345.67890
- Yu, H. et al (2015). Quantification of trans-Atlantic dust transport from seven-year (2007-2013) record of CALIPSO lidar measurements. *Remote Sensing of Environment*. 159, 232-249. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.010>