

جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱۴۰۳، دوره ۶، شماره ۴، صص ۵۰۴-۴۸۶

## تحلیل زمانی-مکانی روند دید افقی و ضریب خاموشی در شمال غرب ایران

عاطفه حسینی صدر<sup>۱</sup>؛ برومند صلاحی<sup>۲\*</sup>؛ غلام حسن محمدی<sup>۳</sup>

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

۲. دانشگاه محقق اردبیلی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران، [Salahi@uma.ac.ir](mailto:Salahi@uma.ac.ir) & [bromand416@yahoo.com](mailto:bromand416@yahoo.com)

۳. سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی آذربایجان شرقی، تبریز، ایران. ایمیل

۴- گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. ایمیل: [sadr88@pnu.ac.ir](mailto:sadr88@pnu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶

### چکیده

نوسانات دید افقی نمایانگر تغییرات کیفیت هواست. با هدف مطالعه روند تغییرات دید افقی و ضریب خاموشی در شمال غرب کشور؛ داده های ساعتی دیدافقی دیدبانی شده در ۲۷ ایستگاه منتخب در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. بعد از غربالگری و انتخاب سری داده های مطمئن، ضریب خاموشی اتمسفر با استفاده از رابطه کشمایدن محاسبه شد. برای روندیابی دید افقی از آماره *ridit*، و برای ضریب خاموشی از روند خطی و آزمون من-کندال استفاده شد. جهت بررسی تغییرات درون گروهی دید افقی، ۵ کلاس کیفی دید تعیین شد و پراشیدگی درصد فراوانی هر کدام مطالعه شد. میانگین منطقه ای دید افقی (ضریب خاموشی) سالانه در دوره مورد مطالعه  $11/4 \sim (0/173)$  کیلومتر محاسبه شد. بررسی پراشیدگی سالانه مقادیر *ridit* نشان داد بهبود و تضعیف دیدافقی متناسب با شرایط محیطی هر ایستگاه در دوره های زمانی متفاوتی مشاهده می شود بطوری که نمی توان دوره های هم زمان مشخصی برای منطقه مورد مطالعه تشخیص داد. با وجود حاکمیت رفتارهای متفاوت در درصد فراوانی کلاس های کیفی دیدافقی در ایستگاه های مختلف؛ روند افزایشی دیدافقی اغلب از طریق کاهش درصد فراوانی دیدهای متوسط؛ افزایش دیدهای خوب و خیلی خوب و نهایتاً ثبات در دیدهای بد و خیلی بد شکل گرفته است. بیشترین (کمترین) ضریب خاموشی فصلی مربوط به زمستان (تابستان) با  $0/179$  (با  $0/168$ ) کیلومتر می باشد. انطباق کاملی بین تغییرات مقادیر *ridit* با ضریب خاموشی از لحاظ دوره های نوسانی و روند تغییرات و حتی پراکندگی مکانی با جهت عکس هم مشاهده شد. به طوری که بالاترین (پایین ترین) مقادیر *ridit* (ضریب خاموشی) در چند ایستگاه واقع در شمال منطقه مورد مطالعه بدست آمد. در ۱۸ ایستگاه از ۲۷ ایستگاه مورد مطالعه روند افزایشی (کاهش) *ridit* (ضریب خاموشی) تشخیص داده شد که هر دو از روند افزایشی میدان دیدافقی در شمال غرب ایران حکایت دارد.

واژه های کلیدی: دید افقی، ضریب خاموشی، تحلیل روند، آماره *ridit*، شمال غرب ایران

## مقدمه

دید افقی یکی از شاخص‌های اولیه کیفیت هوای شهری است (واتسون، ۲۰۰۲)، که به طور قابل توجهی بر گردشگری و حفظ مناظر شهری اثر می‌گذارد (هیسلوپ، ۲۰۰۹). دید افقی به دورترین فاصله‌ای گفته می‌شود که در آن، کنتراست بین یک هدف و پس‌زمینه آسمان آن برابر آستانه چشم انسان است (کشمایدر، ۱۹۲۶؛ دنگ و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۲، سازمان جهانی هواشناسی، ۱۹۹۲). این محدوده براساس معادله انتقال تابش بیان می‌شود که چگونگی بر هم کنش نور و جو را نشان می‌دهد (لاتیمر و همکاران، ۱۹۸۷). در یک جو استاندارد و بدون آلودگی، دید اغلب در محدوده ۱۴۵-۲۲۵ کیلومتر متغیر هست (آژانس حفاظت از محیط‌زیست، ۲۰۰۱). به طور کلی، دید خوب یکی از ویژگی مطلوب هر موقعیت جغرافیایی است که نباید از اهمیت آن غافل شد (دویل و دورلینگ، ۲۰۰۲). دید ضعیف ( $> 2$  کیلومتر؛ فوندا و همکاران، ۲۰۱۶) می‌تواند بر حمل و نقل چه از طریق راه آهن، جاده، دریا و یا هوا تاثیر بگذارد و حتی منجر به تصادف نیز شود. بنابراین به عنوان یک نگرانی برای ایمنی عمومی قابل توجه است. قابلیت دید، نشانگر مشاهداتی ساده‌ای بر کیفیت هوا بشمار می‌رود که تغییرات آن بسادگی با چشم غیرمسلح قابل مشاهده است (مالم، ۱۹۹۴؛ سینفیلد و پانديس، ۲۰۰۶؛ بامر، ۲۰۰۸). تعیین کاهش میدان دید بستگی به ویژگی‌های فیزیکی جو و جذب و پراکنش نور در ذرات و گاز دارد (ایدلس دوبوی، ۲۰۰۲؛ لی و همکاران، ۲۰۱۵). به طور معمول در آسمان بدون ابر، حدود دید می‌تواند از ۵ تا ۱۰۰ کیلومتر که به شرایط و ترکیبات جوی بستگی دارد، متفاوت باشد (سینگ و همکاران، ۲۰۱۷). در مناطق آلوده، آلاینده‌های هوا از طریق پراکندگی و جذب ذرات ریز و گازهای موجود در جو، باعث کاهش دید اتمسفری می‌شوند (مالم و همکاران، ۱۹۹۴؛ ۱۹۹۶؛ دنگ و همکاران، ۲۰۱۲، ۱۲). در برخی از مناطق شدیداً آلوده، دید افقی حتی به کمتر از یک کیلومتر هم کاهش می‌یابد (هوسار و همکاران، ۱۹۸۱). در مقابل، در جوهای بدون آلودگی، میدان دید بیشتر است. به دلیل اثرات نامطلوب آلودگی هوا بر زندگی انسان، دید می‌تواند یکی از نگرانی‌های اصلی در مطالعات آلودگی هوا و اقلیم‌شناسی باشد (یوان، ۲۰۰۲، چه و همکاران، ۲۰۰۷؛ لی و همکاران، ۲۰۰۵). بسیاری از مطالعات ارتباط بین ترکیبات جو و دید را بررسی کرده‌اند (جین‌هوان و لیکوان، ۲۰۰۰؛ وو و همکاران، ۲۰۰۵؛ پارک و همکاران، ۲۰۰۳، ۲۰۰۶؛ واتسون و چاو، ۲۰۰۶؛ یانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ تیواری و همکاران، ۲۰۱۱؛ کائو و همکاران، ۲۰۱۲؛ فوندا و همکاران، ۲۰۱۶). این مطالعات نشان داده‌اند که دید به طور قابل توجهی تحت تاثیر اندازه، ترکیب شیمیایی و غلظت ذرات معلق در هوا قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، ویلکینز (۱۹۵۴)، پدیده مه-دود را در لندن بررسی کرد و نشان داد که دید، به دلیل آلودگی هوای زیاد ناشی از افزایش دود و سایر آلاینده‌ها در جو به چند متر کاهش یافت. اخیراً، مطالعه‌ای توسط ساتی و موهان (۲۰۱۴) نیز کاهش شدید دید را به دلیل افزایش غلظت ذرات معلق (PM) و NO<sub>2</sub> در طی یک رویداد مه-دود در نوامبر ۲۰۱۲ در دهلی، هند نشان داد. همچنین سینگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ سیدل و برنام، ۲۰۱۵؛ کنگ و همکاران، ۲۰۱۵، نشان دادند که فستیوال‌های آتش بازی، که ذرات آئروسول را پس از انفجار آزاد می‌کند، نمونه خوبی از رویدادهای آلودگی محلی و مکانی است که ممکن است منجر به کاهش دید شود. علاوه بر غلظت و ترکیب ذرات معلق و گازها، شرایط هواشناسی خاص نیز می‌تواند بر دید تاثیر بگذارد (اسلون، ۱۹۸۳). مجموعه‌ای از مطالعات وجود دارند که افزایش (یا کاهش) دید افقی را با پارامترهای

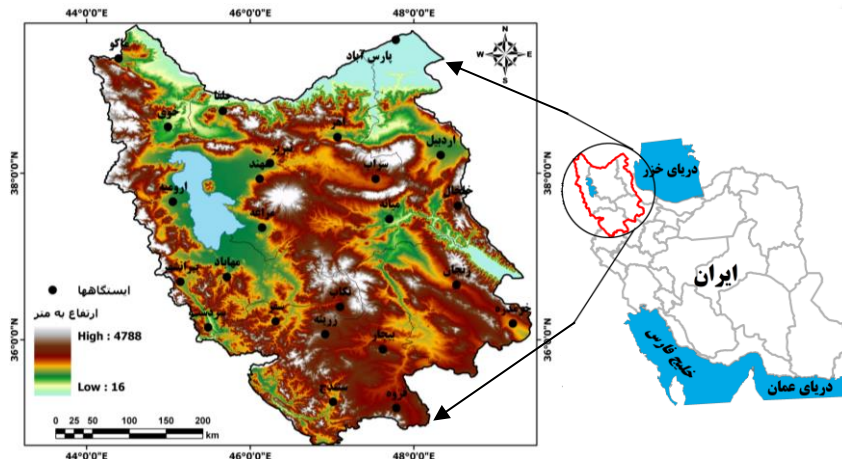
هواشناسی مرتبط می‌دانند. این مطالعات شامل مطالعاتی از جمله هانل، ۱۹۷۲؛ کلارک و همکاران، ۱۹۷۸؛ لی، ۱۹۸۳، ۱۹۹۰؛ هایوود و بوچر، ۲۰۰۰ می‌باشند. عوامل هواشناسی مانند رطوبت نسبی، سرعت باد، جهت باد و دما مستقیماً بر دید آسمان صاف تأثیر نمی‌گذارند، اما می‌توانند بر غلظت و خواص نوری PM<sub>2.5</sub> و ذرات آئروسول در جو تأثیر گذاشته و منجر به تخریب دید شود. به عنوان مثال، سرعت باد زیاد می‌تواند ذرات گرد و غبار را دوباره معلق کند و به تخریب دید افقی کمک کند (مالم و کریدنوایس، ۱۹۹۷؛ تسای و همکاران، ۲۰۰۷). برخی از مطالعات تأثیر رطوبت نسبی بر دید را بررسی کرده‌اند. به عنوان مثال، مطالعاتی از جمله تیواری و همکاران (۲۰۱۱) نشان داده‌اند که در شرایط رطوبت بالا، تجمع ذرات معلق در هوا می‌تواند تشکیل مه را افزایش داده و در نتیجه دید را به شدت کاهش دهد. در یک بررسی، سینگ و دی در سال ۲۰۱۲ نشان دادند که تغییرات ماهانه دید افقی با رطوبت نسبی همبستگی منفی دارند. یکی از عوامل مؤثر در دیدافقی، گردوغبار است. گردوغبار یک پدیده هواشناختی-محیطی است که به توده ای از ذرات جامد ریز غبار و گاهی دود پخش شده در اتمسفر گفته می‌شود. این پدیده باعث افزایش تعداد آئروسول ها و کاهش دیدافقی می‌شود (رسولی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۷). همچنین، عوامل دیگری مانند تراکم پوشش گیاهی، توسعه صنعتی، شهرنشینی و جمعیت انسانی نیز می‌توانند مهم باشند زیرا این عوامل بر نوع سطح تأثیر می‌گذارند و می‌توانند بر رسوب آئروسول تأثیر بگذارند (دیدرن و همکاران، ۱۹۸۵). تغییر روند دید افقی و همچنین تأثیرات آلودگی هوا بر روند دید، توجه جهانی را به خود جلب کرده است و مطالعات زیادی برای ارزیابی روند دید در مقیاس محلی، منطقه ای، قاره‌ای و جهانی انجام شده است (تریجونیس، ۱۹۸۲؛ اسلون، ۱۹۸۲ a و b، ۱۹۸۳، ۱۹۸۴؛ لی، ۱۹۹۴؛ مالم، ۱۹۹۹؛ هوسار و همکاران، ۲۰۰۰؛ دوپل و دورلینگ، ۲۰۰۲؛ قیم و همکاران، ۲۰۰۵؛ کیم و همکاران، ۲۰۰۶؛ پارک و همکاران، ۲۰۰۶؛ ماهووالد و همکاران، ۲۰۰۷؛ تسای و همکاران، ۲۰۰۷؛ مولنار و همکاران، ۲۰۰۸). در تحقیقات مختلف، نشان داده شده است که دیدافقی به طور معمول با سلامتی عمومی در کشورهای در حال توسعه، به ویژه در شهرهای پرجمعیت، همبستگی منفی دارد. به علاوه، یک مطالعه در کره نشان داده است که دیدافقی با افزایش مرگ و میر در ارتباط است (لی و همکاران، ۲۰۱۵). در ایران، وضعیت دید نیز به یک موضوع مهم تبدیل شده است که هم عموم مردم و هم جامعه علمی را نگران می‌کند. مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است که به دو گروه مطالعه گرد و غبار و افق دید اشاره دارد. در این مطالعات، به بررسی و مطالعه گرد و غبار و علل آن در مناطق مختلف کشور پرداخته شده است (زینالی، ۱۳۹۵؛ محمدخان، ۱۳۹۶؛ نوروزی و همکاران، ۱۳۹۷؛ سبحانی و همکاران، ۱۳۹۹؛ مصباح زاده و همکاران، ۱۳۹۹؛ باغی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین ثابت‌قدم و همکاران، ۱۳۹۵؛ حاتمی مهند و همکاران، ۱۳۹۸، با بررسی ضریب خاموشی جو، دید افقی را در چند فرودگاه پرتردد کشور و تهران مطالعه نموده‌اند. تصاویر ماهواره‌ای نیز توسط حجازی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ثابت‌قدم و همکاران، ۱۳۹۴؛ باقرآبادی، ۱۴۰۰ برای بررسی دید افقی در مناطق مختلف کشور مورد استفاده قرار گرفته شد. این مطالعات گرد و غبار را به عنوان یکی از عوامل مؤثر در کاهش دید معرفی کردند.

در شمال غرب ایران توسعه شهرها و افزایش وسایط نقلیه موتوری باعث افزایش تولید آلاینده‌های انسان‌ساخت بویژه در شهرهای بزرگ شده است. این موضوع از طریق افزایش رخداد پدیده مه-دود در داده‌های هواشناسی نمایان شده است

(قهرمانی، ۱۳۹۴). همچنین طبق نتایج مطالعات اخیر برخی از پارامترهای اقلیمی از جمله فراوانی پدیده گردوغبار (محمدی، ۱۳۹۴؛ ساری صراف و همکاران، ۲۰۱۶)، میزان بارندگی و میانگین دما و رطوبت نسبی دارای روندهای (افزایش و یا کاهش) معنی دار بوده‌اند که ممکن است بر رفتار دیدافقی تاثیر گذاشته باشد. لذا انجام مطالعه حاضر می‌تواند در آشکارسازی نوسانات و مشخصه‌های آماری دیدافقی در شمال غرب کشور مفید واقع شود. با بررسی منابع علمی منتشر شده در مورد دیدافقی مشخص گردید در ایران مطالعات بسیار محدودی در مورد روند دیدافقی انجام شده است. ممکن است دلیل این امر ماهیت داده‌های دیدافقی و عدم وجود داده‌های پردازش شده‌ی این پارامتر در بایگانی داده‌های سازمان هواشناسی کشور باشد. به دلیل تکرار بسیار زیاد اعداد مشابه در این پارامتر، مطالعه آن، روش‌های آماری خاص خود را می‌طلبد. آماره‌های درصد فراوانی، آنالیز **Ridit** و ضریب خاموشی از معروف‌ترین آنها هستند. اخیراً از آماره من-کندال نیز برای آشکارسازی روند دیدافقی استفاده شده است (الهتلول و همکاران، ۲۰۲۱). تحلیل زمانی-مکانی روند دیدافقی و ضریب خاموشی جو هدف اصلی تحقیق حاضر است. براساس جستجوهای انجام شده، چنین مطالعه‌ای در شمال غرب ایران انجام نشده است.

#### داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه ۵ استان شمال غربی ایران است. این منطقه دارای توپوگرافی کوهستانی ناهمگون است. کوهستان‌های سهند و سبلان و بستر خشک دریاچه ارومیه عوارض طبیعی بارز این منطقه هستند (شکل ۱). دید افقی در ایستگاههای هواشناسی کشور طبق دستورالعمل سازمان هواشناسی جهانی (WMO، ۱۹۷۴) به صورت دیداری و توسط همدیدبان‌ها از طریق نقطه نشانه‌های ثابتی که فاصله‌ی آنها قبلاً تعیین شده است؛ برآورد می‌گردد. داده‌های اخذ شده از سازمان هواشناسی عبارتند از: دیدافقی (برحسب متر)، سرعت باد (متر بر ثانیه)، رطوبت نسبی (درصد)، و کد پدیده هوای حاضر در مقیاس روزانه. با هدف آشکارسازی روند دیدافقی در شمال غرب کشور، ایستگاههایی که بیش از ۳۰ سال آمار ثبت شده داشتند انتخاب شدند. با لحاظ این شرط ۲۷ ایستگاه هواشناسی در شمال غرب کشور شناسایی شد که موقعیت جغرافیایی و مشخصات آنها در شکل ۱ نمایش داده شده است. داده‌های مربوط به دیدافقی به صورت خام در بایگانی سازمان هواشناسی موجود می‌باشد. لذا داده‌های روزانه (شامل ۸ سینوپ برای هر روز) برای ایستگاههای منتخب در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. در این مطالعه از سری داده‌های جزئی برای محاسبات آماری استفاده شد. بدین ترتیب که داده‌های مربوط به ساعات روز یعنی سینوپ‌های ۰۶، ۰۹، ۱۲ و ۱۵ گریجویچ مورد استفاده قرار گرفت و همچنین سینوپ‌های دارای داده‌ی گم‌شده، همراه با پدیده‌های بارشی و یا رطوبت نسبی بالای ۹۰٪ غربال شدند. غربالگری مذکور با هدف کاهش خطاها و همچنین کاهش اثر فاکتورهای هواشناسی انجام می‌شود (اسلون، ۱۹۸۲) و در مطالعات مربوط به روندیابی دیدافقی مرسوم است (اسلون، ۱۹۸۲؛ قییم و همکاران، ۲۰۰۵؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۱).



شکل ۱- نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و پراکندگی ایستگاههای هواشناسی مورد مطالعه

در این مطالعه از دو نوع داده‌های اولیه و ثانوی برای تحلیل روند دیدافتی استفاده شد. داده‌های نوع اول همان داده‌های دیدبانی ایستگاه‌های هواشناسی هستند که مشخصات آنها ذکر شد. داده‌های ثانویه داده‌های مربوط به ضریب خاموشی هستند. خاموشی نور در مسیر عبوری از چشمه تا ناظر متناسب با غلظت آلاینده‌های موجود در مسیر نوری تغییر می‌کند. تعیین خاموشی نور بستگی به ویژگی‌های فیزیکی جو و جذب و پراکنش نور با ذرات و گازها دارد، بنابراین ضریب خاموشی جو معمولاً به شکل مجموع ضریب پراکنش ( $b_{scat}$ ) و جذب ( $b_{abs}$ ) نشان داده می‌شود (ایدلز-دوبووی، ۲۰۰۲).

$$b_{ext} = b_{scat} + b_{abs} = b_{sg} + b_{sp} + b_{ag} + b_{ap} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه بالا، ضریب پراکنش  $b_{scat}$  مجموع مؤلفه‌های مربوط به پراکنش با گازها  $b_{sg}$  و ذرات  $b_{sp}$  و ضریب جذب  $b_{abs}$  نیز مجموع جذب با گازها  $b_{ag}$  و ذرات  $b_{ap}$  است. برای تحلیل داده‌ها در ابتدا ضریب خاموشی اتمسفر محاسبه شد. خاموشی نور در جو یکی از ویژگی‌های نوری اتمسفر است که از جنبه‌های مختلف مانند ترافیک زمینی و هوایی حائز اهمیت است (ثابت قدم و همکاران، ۱۳۹۵) و با استفاده از میدان دیدافتی قابل محاسبه است (ایدلز-دوبووی، ۲۰۰۲؛ بامر و همکاران، ۲۰۰۸). ضریب خاموشی جو  $\beta_{ext} (km^{-1})$  از طریق رابطه معروف کشمایدنر (یعنی  $\beta_{ext} = k/v$ ) قابل محاسبه است (کشمایدنر، ۱۹۲۶). در این رابطه  $v$  نشان دهنده دیدافتی برحسب کیلومتر است و  $k$  ثابت کشمایدنر برای برآورد «ضریب خاموشی خشک» است و در واقعیت فاکتور اصلاحی نسبی برای کاهش تاثیر رطوبت نسبی می‌باشد (هوسار و همکاران، ۱۹۸۱). در مطالعه حاضر براساس نتایج تحقیقات اُزکایناک و همکاران (۱۹۸۵)، ثابت کشمایدنر  $1/9$  در نظر گرفته شد. این رابطه روی داده‌های دیدافتی ایستگاه‌های مورد مطالعه اعمال شد و با محاسبه میانگین ماهانه و سالانه، به عنوان داده‌های ورودی در تحلیل روند ضریب خاموشی جو مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های تولید شده با میانگین دیدافتی در تضاد بوده و با کاهش (افزایش) دیدافتی، ضریب خاموشی افزایش (کاهش) می‌یابد. با توجه به اینکه داده‌های مربوط به ضریب خاموشی به اعداد فاصله‌ای تبدیل می‌شوند؛ لذا برای تحلیل روند این پارامتر ثانوی از آماره من-کندال استفاده شد. اخیراً الحثلول و همکاران (۲۰۲۱) از این آماره برای تحلیل روند دیدافتی در عربستان سعودی استفاده کرده‌اند. آزمون من-کندال از آماره ناپارامتری معروفی است که در روندیابی پارامترهای اقلیمی کاربرد فراوانی دارد. به دلیل

تشریح این آماره در تعدادی زیادی از مطالعات پیشین (ساری صراف و همکاران، ۲۰۱۶؛ رسولی و همکاران، ۱۳۸۹؛ یارمردادی و همکاران، ۱۳۹۷) و به جهت پرهیز از تطویل مطلب، روابط آماری آن ارائه نشد.

با توجه به ماهیت رتبه‌ای داده‌های اولیه دید افقی و تکرار بسیار زیاد اعداد مشخص و محدود؛ تعیین روند این پارامتر به آماره کارآمد در این زمینه نیاز دارد. کارآمدترین آماره برای روندیابی دیدافقی، آنالیز *ridit* است (مولنار، ۲۰۰۸؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۱؛ دنگ و همکاران، ۲۰۱۲). در این آماره از کل رکوردها (گزارش‌های سینوپ) برای تعیین روند استفاده می‌شود. کرایگ و فولکنبری (۱۹۷۹)، اسلون (۱۹۸۲)، دوپله و دورلینگ (۲۰۰۲) جزئیات نحوه محاسبه آماره *ridit* را در روندیابی دید افقی تشریح کرده‌اند. این آماره نشان می‌دهد که شرایط دیدافقی در یک دوره‌ی مشخص بهتر یا بدتر از توزیع مرجع است (چن و زیه، ۲۰۱۲) به طوری که هر ایستگاه دارای یک توزیع مخصوص به خود است که از طریق بررسی دیدهای افقی در کل دوره‌ی مورد مطالعه بدست می‌آید. محاسبه تک تک *ridit* ها در درون توزیع مرجع و میانگین *ridit* به شرح زیر است:

اگر  $f_A(v)$  «تابع چگالی احتمال مشاهدات دیدافقی در یک دوره مشخص A»، و  $f_R(v')$  «تابع چگالی احتمالی توزیع مرجع» باشد؛ و  $F_A$  و  $F_R$  توابع توزیع تجمعی مربوطه باشند. احتمال اینکه یک مشاهده از توزیع A بالاتر از یک مشاهده از توزیع R باشد از طریق زیر قابل محاسبه است:

$$P(V_A > V_R) = \int_0^{\max} \int_0^v f_A(V) f_R(V') dV' dv = \int_0^{\max} f_A(V) F_R(V) dv \quad (۱) \text{ رابطه}$$

که در آن حد ادغام بالایی (max) می‌تواند به عنوان فاصله دورترین هدف مشاهده (بیشترین دیدافقی ثبت شده) انتخاب شود. این احتمال با کلاسه‌بندی دیدهای افقی و نمایش توزیع هر کلاسه توسط هیستوگرام تخمین زده می‌شود. اگر  $f_{Ai}$  و  $f_{Rj}$  به ترتیب فراوانی‌های نسبی کلاسه‌ی ام برای هر توزیع باشند بنابراین میانگین *ridit* از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$P(V_A > V_R) = \sum_{i=1}^k f_{Ai} (\sum_{j=1}^{i-1} f_{Rj} + \frac{1}{2} f_{Ri}) = \text{Mean Ridit} \quad (۲) \text{ رابطه}$$

$f_{Ai} = n_i/n$ ,  $n_i$  تعداد مشاهدات در کلاسه  $i$  و  $n$  تعداد کل مشاهدات است، هر دو برای توزیع  $F_{Ai} = N_i/N$  به طور مشابه برای  $f_{Ai}$  تعریف می‌شود با این تفاوت که برای کلاسه‌های R تا  $k$  ساخته شده است (دایل و دورلینگ، ۲۰۰۲).

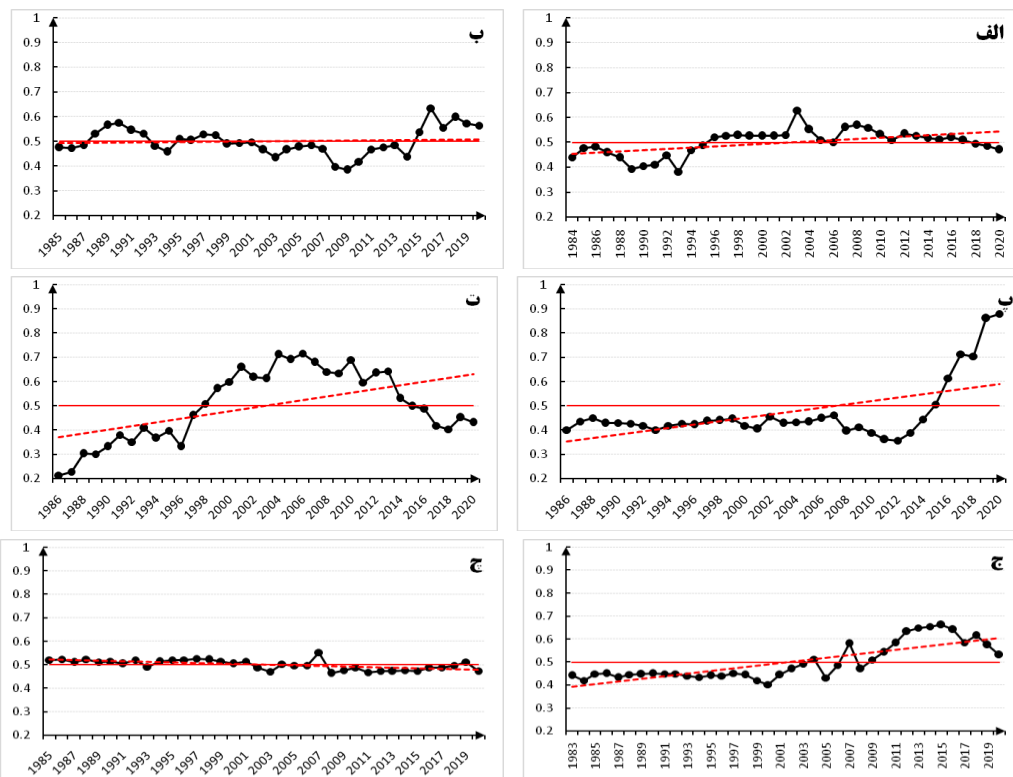
یکی از ویژگی‌های اصلی آماره *Ridit* کلاسه‌بندی داده‌ها به چند طبقه اسمی است. در این مطالعه رکوردهای دیدافقی به ۵ کلاسه زیر طبقه‌ی شد: ۰ تا ۴/۹ کیلومتر (دید خیلی بد)؛ ۵ تا ۹/۹ کیلومتر (دید بد)؛ ۱۰ تا ۱۴/۹ کیلومتر (دید متوسط)؛ ۱۵ تا ۱۹/۹ کیلومتر (دید خوب) و ۲۰ > کیلومتر (دید خیلی خوب). توزیع مرجع دیدافقی برای هر ایستگاه به صورت جداگانه محاسبه می‌شود و قابل مقایسه با دیگر ایستگاهها نیست. بدین ترتیب مقادیر ریدیت یکبار برای کل دوره (توزیع مرجع) و دیگر بار هر یک از سالها (برای مقایسه با توزیع مرجع) محاسبه می‌شود. در این حالت مقادیر ریدیت بزرگتر (کوچکتر) از ۰/۵ نشان‌دهنده دیدافقی بهتر (بدتر) در مقایسه با کل دوره است و همچنین وجود روند در سری مقادیر

سالانه نشان‌دهنده‌ی وجود یا عدم وجود روند در دیدافتی در هر ایستگاه می‌باشد (چن و زیه، ۲۰۱۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

### یافته‌های تحقیق

در شکل ۲ پراشیدگی مقادیر ridity سالانه در تعدادی از ایستگاههای هواشناسی نمایش داده شده است. برای تهیه این نمودارها ابتدا فراوانی تک تک کلاسه‌های دیدافتی نسبت به بقیه کلاسه‌ها در کل دوره‌ی آماری محاسبه شده و بدین ترتیب توزیع مرجع هر ایستگاه مشخص شد. سپس همین فرایند برای هر سال به صورت جداگانه انجام شده و خروجی هر سال با کل دوره (یعنی توزیع مرجع) مقایسه می‌شود. مقادیر بالاتر از ۰/۵ نشان‌دهنده‌ی شرایط دیدافتی بهتر در مقایسه با کل دوره است. همچنین وجود روند در مقادیر ridity از وجود روند در دیدافتی حکایت دارد. دقت در نمودارهای شکل ۲ از رفتار متفاوت دیدافتی در ایستگاههای مختلف حکایت دارد. در نمودار الف پراشیدگی مقادیر ridity ایستگاه پارس آباد نمایش داده شده است. در این ایستگاه تا سال ۱۹۹۵ مقادیر ridity از ۰/۵ پایین‌تر بوده است. لذا در این دوره میدان دیدافتی پایین‌تر از کل دوره بوده است. مقادیر بالاتر از ۰/۵ از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ نشان‌دهنده‌ی دوره بهبود دیدافتی در این ایستگاه است. با وجود افت میدان دیدافتی در سه سال انتهایی به پایین‌تر از ۰/۵؛ همچنان روند افزایشی مقادیر ridity، روند افزایشی دیدافتی در پارس‌آباد را تایید می‌کند. اشاره می‌گردد که بدترین (بهترین) میدان دیدافتی در این ایستگاه در سال ۱۹۹۳ (۲۰۰۳) برآورد شده است زیرا مقدار ridity در این سال پایین‌ترین (بالاترین) عدد را به خود اختصاص داده است. مقادیر دیدافتی در ایستگاه ماکو (شکل ۲ ب) با وجود پراشیدگی نسبی سالانه، فاقد روند می‌باشد. هر چند که در اکثر سال‌ها مقادیر ridity نزدیک به توزیع مرجع بوده است اما با دقت نمودار مشخص می‌شود که میدان دیدافتی در فاصله سالهای ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۱ با پراشیدگی ناچیز حوالی شاخص ۰/۵ نوسان کرده است اما از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ به پایین‌تر از توزیع مرجع افت کرده است به طوری که بدترین شرایط دیدافتی با مقدار ridity ۰/۳۸ در سال ۲۰۰۹ تعیین شد. بهبود شرایط دیدافتی در ایستگاه ماکو نسبت به توزیع مرجع از سال ۲۰۱۵ با استقرار مقادیر ridity در بالاتر از ۰/۵ مشخص است. مقادیر ridity در ایستگاه اردبیل (شکل ۲ پ) تا سال ۲۰۱۴ پایین‌تر از شاخص ۰/۵ بوده و بعد از آن با شیب تندی به بالاتر از ۰/۵ افزایش یافته است که نشان می‌دهد تا سال ۲۰۱۴ شرایط دیدافتی پایین‌تر از توزیع مرجع بوده و از ۲۰۱۵ به شرایط بهتری رسیده است. وجود یک دوره طولانی دیدافتی پایین به همراه یک دوره افزایش در سال‌های آخر باعث ایجاد روند افزایشی در مقادیر ridity در اردبیل شده است. در ایستگاه اهر (شکل ۲ ت) مقادیر ridity تا سال ۲۰۰۶ روند افزایشی داشته و از ۰/۲ به ۰/۷۲ افزایش یافته است و از سال بعد روند کاهشی داشته است به طوری که در سال ۲۰۱۸ به ۰/۴ کاهش یافته است. با این تفسیر شرایط میدان دید در این ایستگاه از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۷ و ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ بدتر از توزیع مرجع بوده و در فاصله سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۵ شرایط بهتری حاکم بوده است. روند افزایشی مقادیر ridity در ایستگاه مراغه (شکل ۲ ج) از افزایش میدان دید افقی در سال‌های اخیر حکایت دارد. در این ایستگاه تا سال ۲۰۰۶ شرایط دیدافتی بدتر از توزیع مرجع بوده و از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۰ شرایط بهتری حاکم بوده است. در این میان بالاترین (پایین‌ترین) مقدار ridity در سال ۲۰۱۵ (۲۰۰۰) با ارزش ۰/۶۶ (۰/۴) تعیین شد. در ایستگاه مهاباد (شکل ۲ چ) شرایط متفاوتی حاکم است.

دیدافتی در این ایستگاه بدون روند بوده و نوسانات ناچیزی در حوالی توزیع مرجع داشته است. همانطور که در نمودار نیز مشخص است قبل از سال ۲۰۰۸ اکثراً مقادیر **ridit** با اختلاف کم در بالاتر از ۰/۵ قرار داشت حال آنکه از آن سال به بعد با اختلاف جزئی در پایین تر از ۰/۵ قرار گرفته است. به همین خاطر خط روند مقادیر **ridit** در این ایستگاه با شیب بسیار ملایم، نزولی است. در شکل ۳ پراشیدگی سالانه درصد فراوانی کلاسه‌های کیفی دیدافتی در تعدادی از ایستگاههای منتخب که در محاسبه آماره **ridit** مورد استفاده قرار گرفته بود؛ نمایش داده شده‌اند. این نمودارها نشان می‌دهند که تغییر در درصد فراوانی کلاسه‌های دیدافتی چگونه می‌تواند روند کلی دید را تحت تاثیر قرار دهد.

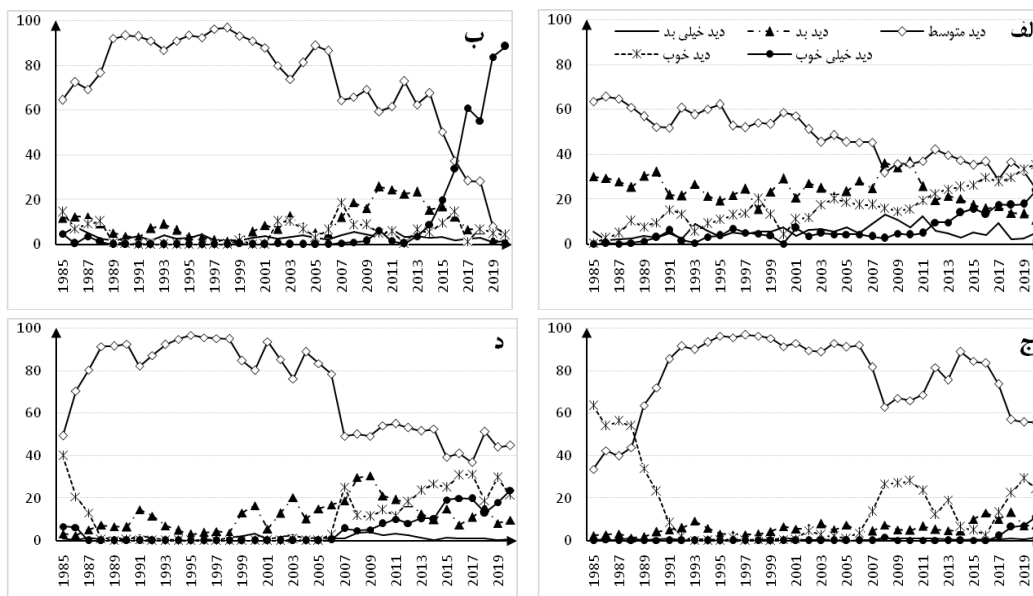


شکل ۲- نمودارهای پراشیدگی و روند مقادیر **ridit** سالانه برای ایستگاههای پارس‌آباد(الف)، ماکو(ب)، اردبیل(پ)، اهر(ت)، مراغه (ج)، مهاباد (چ).

برای ترسیم این نمودارها در ابتدا کلاسه‌های دیدافتی کدبندی شد و با محاسبه درصد فراوانی هر کدام به تفکیک سال، ماتریس داده‌ای تهیه شد که به عنوان ورودی ترسیم نمودار استفاده شد. در نمودار الف این شکل پراشیدگی درصد فراوانی کلاسه‌های دیدافتی در ایستگاه تبریز نمایش داده شده است. در نگاه اول به این نمودار مشخص می‌شود که کلاسه دیدهای متوسط (۱۰ تا ۱۵ کیلومتر) بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند در حالیکه دیدهای خیلی خوب (کیلومتر >۲۰) و خیلی بد (۰-۵ کیلومتر) کمترین فراوانی را داشته‌اند. دقت در روند پراشیدگی درصد فراوانی کلاسه در ایستگاه تبریز نشان داد فراوانی دیدهای متوسط روند کاهشی چشمگیری داشته و از ۶۰٪ در فاصله سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۵ به کمتر از ۴۰٪ در سالهای اخیر افت کرده است. دیدهای بد و خیلی بد با وجود داشتن نوساناتی دارای روند محسوسی نیستند اما فراوانی دیدهای خوب و خیلی خوب روند افزایشی چشمگیری داشتند. افزایش فراوانی دیدهای خیلی خوب از سال ۲۰۱۲



مشهود است. در شرایطی که دیدهای بد و خیلی بد فاقد روند بوده، و دیدهای متوسط روند کاهشی داشته باشند در حالیکه روند افزایشی در فراوانی دیدهای خوب و خیلی خوب مشاهده گردد؛ قاعدتاً روند افزایشی دیدافقی در این ایستگاه وجود خواهد داشت. در ایستگاه اردبیل (شکل ۳ب) بیشترین تغییرات در فراوانی دیدهای متوسط و خیلی خوب بوده است. همانطور که در نمودار کاملاً مشخص است تا قبل از سال ۲۰۰۵ در بیش از ۸۰٪ مواقع دیدافقی متوسط در این ایستگاه گزارش شده است که از این سال به بعد با شیب تندی کاهش یافته و در سالهای انتهایی به کمتر از ۱۰٪ افت کرده است. در مقابل فراوانی دیدهای خیلی خوب که تا سال ۲۰۱۲ کمتر از ۵٪ بوده از این سال به بعد با شیب تندی افزایش پیدا کرده و به بیش از ۸۰٪ رسیده است. باید ذکر شود که ممکن است جابجایی در محل ایستگاه باعث چنین تغییراتی در میدان دید شده باشد.

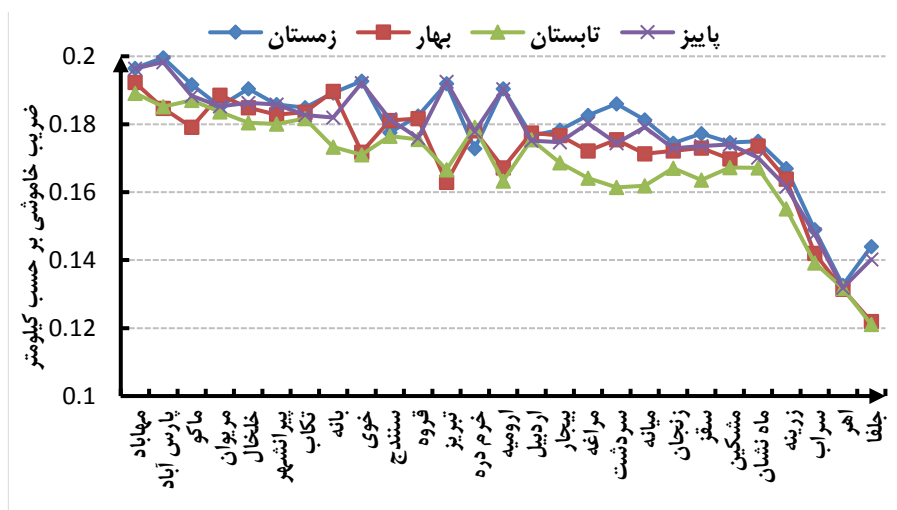


شکل ۳- نمودارهای پراشیدگی سالانه درصد فراوانی کلاسه های کیفی دیدافقی در ایستگاههای تبریز (الف)، اردبیل (ب)، زنجان (ج) و سنندج (د). در این نمودارها محور عمودی درصد فراوانی را نشان می دهد و راهنمای کلاسه ها مطابق نمودار الف تنظیم شده اند.

پراشیدگی فراوانی کلاسه های دیدافقی در زنجان (شکل ۳ج) قدری متفاوت است. در این ایستگاه در نگاه اول به نظر می رسد تغییرات محسوسی صورت نگرفته است اما با دقت در نمودار مشخص می گردد فراوانی دیدهای متوسط از سال ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۳ با شیب تندی افزایش پیدا کرده و تا سال ۲۰۰۶ در بالاتر از ۸۰٪ ثابت مانده است. تنها تغییر چشمگیر در بقیه کلاسه ها در این دوره تنها در دیدهای خوب است که در فاصله سالهای ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۲ از ۶۰٪ به کمتر از ۵٪ افت کرده است. از سال ۲۰۰۶ با کاهش درصد فراوانی دیدهای متوسط؛ دیدهای خوب و خیلی خوب به طور نسبی افزایش پیدا کرده است. جالب توجه این است که فراوانی دیدهای بد نیز تا حدی افزایش پیدا کرده است. روند پراشیدگی قاعده-مندتری در کلاسه های دیدافقی در ایستگاه سنندج (شکل ۳د) مشاهده می شود. در سالهای ابتدایی تغییرات دیدافقی اغلب

در دیدهای خوب و متوسط رخ داده است یعنی با افزایش درصد فراوانی دیدهای متوسط، فراوانی دیدهای خوب کاهش پیدا کرده است. اما از سال ۲۰۰۴ اوضاع به گونه‌ی دیگری تغییر پیدا کرده است. از این سال درصد فراوانی دیدهای متوسط به طور چشمگیری کاهش یافته و در مقابل درصد فراوانی دیدهای خوب و خیلی خوب و همچنین دیدهای بد افزایش پیدا کرده است. ممکن است افزایش فراوانی دیدهای بد به دلیل افزایش رخداد پدیده گردوغبار (در اثر افزایش انتقال گردوغبار از منابع گردوغبار حوزه دجله و فرات) و یا مه-دود (در اثر گسترش شهر در سالهای اخیر) باشد. در طور کلی می‌توان حدس زد که روند افزایشی دید افقی در سنج وجود دارد.

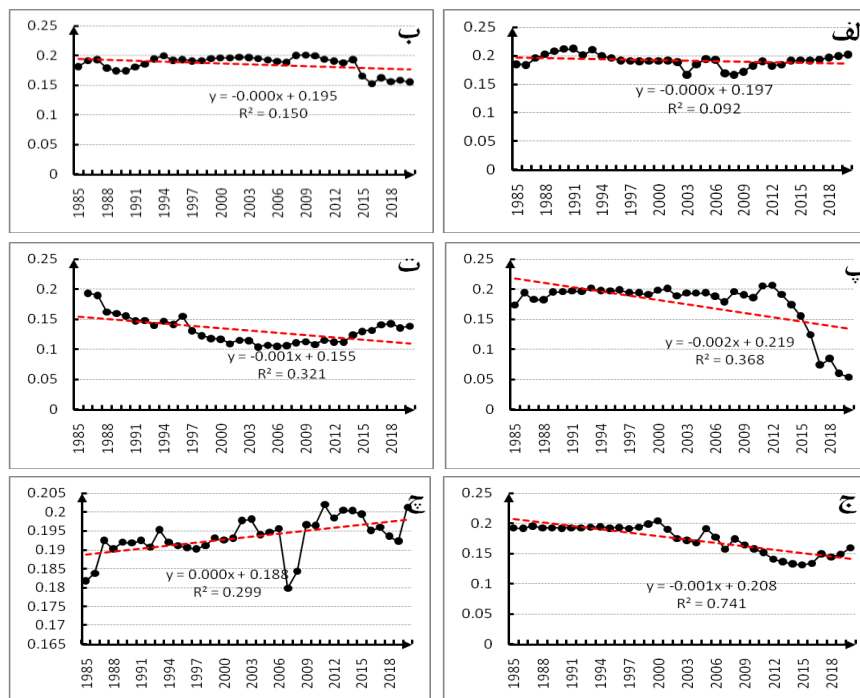
در مباحث آتی مطالعه حاضر مشخصه‌های آماری ضرایب خاموشی در شمال غرب کشور تحلیل می‌شود. چنانچه در بخش‌های پیشین نیز تشریح شده است ضریب خاموشی اتمسفر از طریق اعمال معادله کشمایدن روی داده‌های دیدافقی برآورد می‌شود. برآورد این پارامتر برای ایستگاههای مورد مطالعه و میانگین‌گیری سالانه از آنها نشان داد که بالاترین (پایین‌ترین) ضریب خاموشی مربوط به ایستگاههای مهاباد و پارس‌آباد (جلفا و اهر) است که به ترتیب ۰/۱۹۳ و ۰/۱۹۱ (۰/۱۳ و ۰/۱۳۲) کیلومتر بدست آمدند. پراکندگی مکانی مقادیر ضریب خاموشی در شکل ۶ نمایش داده شده است. با هدف ایجاد زمینه‌ای برای مطالعه اقلیمی این پارامتر توزیع فصلی میانگین ضریب خاموشی در ایستگاههای مورد مطالعه در شکل ۴ نمایش داده شد. در ترسیم این نمودار داده‌های ضریب خاموشی ایستگاهها از بزرگ به کوچک چیدمان شده است. نکته جالب اینکه ترتیب ایستگاهها از لحاظ مقادیر ضریب خاموشی سالانه در مقادیر فصلی نیز عیناً تکرار شده است که نشان می‌دهد مقادیر سالانه و فصلی ضریب خاموشی با هم انطباق دارند. لذا ممکن است روند (افزایشی یا کاهش) ضرایب خاموشی سالانه با فصل‌ها مشابه باشد. مطلب مهمی که از نمودارهای شکل ۴ می‌توان فهمید این است که پراشیدگی میانگین فصلی ضریب خاموشی در شمال غرب ایران بین ۰/۲ تا ۰/۱۲ کیلومتر متغیر است. اختلاف چندانی بین ضرایب خاموشی ایستگاهها در فصول مختلف سال دیده نمی‌شود و اغلب کمتر از ۰/۰۲ است. بیشترین اختلاف مربوط به ایستگاههای تبریز و سردشت مابین فصول تابستان و زمستان به ترتیب ۰/۰۲۹ و ۰/۰۲۵ محاسبه شد.



شکل ۴- نمودار توزیع فصلی میانگین ضریب خاموشی در ایستگاههای مورد مطالعه

بررسی میانگین منطقه‌ای ضریب خاموشی حاکیست میانگین سالانه‌ی آن در شمال غرب کشور ۰/۱۷۳ کیلومتر است. میانگین منطقه‌ای فصلی نیز اختلاف چشمگیری با هم ندارند به طوری که بالاترین ضریب خاموشی با عدد ۰/۱۷۹ مربوط به فصل زمستان است در حالیکه میانگین منطقه‌ای آن برای فصل تابستان ۰/۱۶۸ کیلومتر می‌باشد. لازم به اشاره است که مقدار این ضریب برای فصول پاییز و بهار به ترتیب ۰/۱۷۷ و ۰/۱۷۲ کیلومتر می‌باشد. با توجه به رابطه عکس ضریب خاموشی با مقدار دیدافقی؛ مشخص می‌شود که در منطقه مورد مطالعه مقدار دیدافقی در فصل تابستان بیشتر از بقیه فصول است و کمترین دید در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. فصل بهار و پاییز در رتبه‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند.

آنچه بیشتر از هر مسئله دیگر در مورد ضرایب خاموشی حائز اهمیت اقلیمی است روند تغییرات آن در ایستگاههای مورد مطالعه و پراکندگی مکانی آن است. لذا با هدف بررسی روند تغییرات میانگین سال به سال ضریب خاموشی در ایستگاههای مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ از طریق ترسیم خط روند و آزمون من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۵ روند خطی میانگین سالانه ضریب خاموشی در تعدادی از ایستگاههای مورد مطالعه نمایش داده شده است. به جهت امکان مقایسه بین خروجی های آماره ridit با ضریب خاموشی نمودارهای شکل ۵ برای ایستگاههای مورد بررسی در شکل ۲ منطبق شد. پراشیدگی میانگین سالانه ضریب خاموشی در ایستگاه پارس آباد (شکل ۵ الف) حاکیست مقادیر آن از ۰/۱۷ تا ۰/۲۱ کیلومتر متغیر است. در سال های ابتدایی مقادیر ضریب خاموشی در این ایستگاه اغلب حدود ۰/۲ بود که در فاصله سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ به پایین تر از ۰/۲ افت کرده است و بعد از آن با شیب ملایم به حدود ۰/۲ افزایش یافته است. اجرای روند خطی، کاهش ضریب خاموشی با شیب بسیار ملایم را نشان داد.



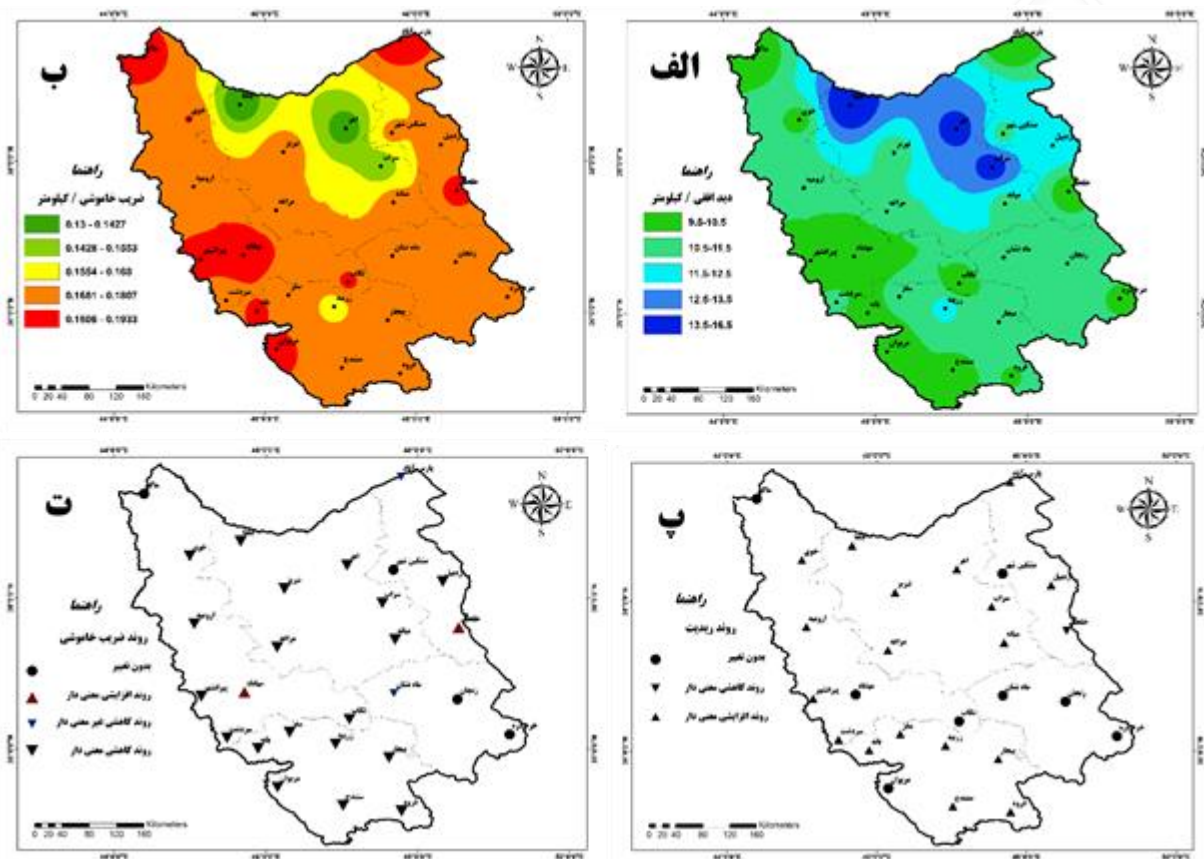
شکل ۵- نمودارهای پراشیدگی و روند خطی میانگین سالانه ضریب خاموشی در ایستگاههای پارس آباد(الف)، ماکو(ب)، اردبیل(پ)، اهر (ت)، مراغه (ج)، مه‌آباد (ج). در این نمودارها محور عمودی ضریب خاموشی (بر حسب کیلومتر) را نشان می‌دهد.

به لحاظ رفتار معکوس ضریب خاموشی با میدان دیدافقی، روند افزایشی دیدافقی (شکل ۲ الف) در این ایستگاه توسط ضریب خاموشی نیز تایید می‌شود. نکته دیگر که از مقایسه شکل ۲ الف با شکل ۵ الف می‌توان فهمید این است که نوسانات میدان دیدافقی در دوره مورد مطالعه توسط دو پارامتر **ridit** و ضریب خاموشی به صورت عکس هم و به راحتی قابل تشخیص است. دو تفاوت اقلیمی مهم این دو پارامتر این است که نوسان‌های دوره‌ای دیدافقی در خروجی‌های آماره **ridit** به طور واضح‌تری نمایش داده شده است و دیگر اینکه شیب خط روند در **ridit** تندتر و واضح‌تر از ضریب خاموشی است. البته باید دقت شود شیب ملایم‌تر ضریب خاموشی ناشی از ماهیت این پارامتر است. همانطور که در مبحث پیشین اشاره شده اختلاف بین پایین‌ترین با بالاترین مقدار ضریب خاموشی مقدار ناچیزی است. لذا طبیعتاً نوسانات ضریب خاموشی چندان چشمگیر نخواهد بود. روند کاهشی ضریب خاموشی در ایستگاه ماکو (شکل ۵ ب)، روند افزایشی دیدافقی را تایید می‌کند. در فاصله سالهای ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۳ مقدار ضریب خاموشی با پراشیدگی ناچیز بین ۰/۱۷۵ تا ۰/۲ متغیر بوده است اما از سال ۲۰۱۴ به حدود ۰/۱۵ کاهش یافته است. کاهش شدید ضریب خاموشی مابین سالهای ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ از ۰/۲ تا ۰/۰۵ به ۰/۰۵ کیلومتر باعث ایجاد روند کاهشی در ایستگاه اردبیل (شکل ۵ پ) شده است. این در حالی است که در فاصله سالهای ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۲ ضریب خاموشی حالت پایداری داشته و تنها مابین ۰/۱۷ تا ۰/۲ کیلومتر نوسان داشته است. در ایستگاه اهر (شکل ۵ ت) ضریب خاموشی از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۶ روند کاهشی داشته و از ۰/۱۹ به ۰/۱۱ کیلومتر کاهش یافته است. اما از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۰ با شیب ملایم افزایش یافته و به ۰/۱۵ رسیده است. اجرای روند خطی برای کل دوره، روند کاهشی با شیب ۰/۰۱- کیلومتر در سال با ضریب تعیین  $R^2 = 0/32$  را نشان داد. ضریب خاموشی در ایستگاه مراغه (شکل ۵ ج) در فاصله سالهای ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ در حدود ۰/۲ پایدار باقی مانده است و از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ با شیب ملایم کاهش پیدا کرده است که نشان دهنده افزایش دیدافقی در این سالهاست. همانطور که در نمودار نیز مشخص است پراشیدگی ضریب خاموشی در نزدیک خط روند بوده است. لذا با وجود اینکه شیب خط روند (۰/۰۱) کیلومتر در سال) چندان چشمگیر نیست اما دارای بالاترین ضریب تعیین ( $R^2 = 0/74$ ) در بین ایستگاه‌هاست. ضریب خاموشی در ایستگاه مهاباد (شکل ۵ چ) روند متفاوتی نسبت به بقیه ایستگاه‌ها دارد. این پارامتر با آهنگ ۰/۰۰۰۹ کیلومتر در سال و ضریب تعیین ۰/۲۹۹ روند افزایشی نشان می‌دهد که تایید کننده روند کاهشی دیدافقی در این ایستگاه می‌باشد.

میدان دید افقی در هر منطقه‌ای از میانگین دید افقی سالانه قابل تشخیص است. میانگین منطقه‌ای دید افقی در شمال غرب ایران در بازه زمانی مورد مطالعه ۱۱/۴ کیلومتر محاسبه شد. پراکندگی مکانی میانگین دیدافقی در شمال غرب کشور (شکل ۶ الف) نشان داد که بخش‌های شمالی با میانگین دید افقی ۱۳/۵ تا ۱۶/۵ کیلومتر میدان دید بیشتری دارند در حالی که میانگین آن در بخش‌های جنوب غربی ۹/۵ تا ۱۰/۵ کیلومتر می‌باشد. نکته مهم این است که در اغلب مناطق میانگین دیدافقی سالانه از ۱۲ کیلومتر پایین‌تر است. همانطور که در نقشه مشخص است توزیع جغرافیایی یکدست و مشخصی نمی‌توان برای دیدافقی در منطقه مورد مطالعه تشخیص داد چرا که اغلب اختلاف دیدافقی چشمگیری در ایستگاه‌های همجوار مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد عوامل خاصی در تغییرات میدان دید موثر هستند که باعث عدم یکدستی در پراکندگی جغرافیایی شده‌اند. موقعیت ایستگاه در ارتباط با توپوگرافی منطقه استقرار ایستگاه هواشناسی عامل اصلی تعیین میدان دید

افقی است. فراوانی رخداد پدیده های جوی کاهش دهنده دید افقی و همچنین تولید آلاینده های جوی در محیط های شهری از دیگر عوامل کنترل کننده میدان دید افقی هستند. بررسی پراکندگی مکانی ضریب خاموشی در شمال غرب کشور (شکل ۶ب) حاکیست میانگین آن در تعدادی از ایستگاههای واقع در شمال منطقه (جلفا، اهر و سراب) با مقادیر ۰/۱۳ تا ۰/۱۴۲ پایین ترین ضریب را دارند. در حالیکه بالاترین ضریب خاموشی به صورت پراکنده در بخش های مختلف پراکنده شده اند. با وجود اینکه اکثر ایستگاههایی که ضریب بالاتر از ۰/۱۶۸ کیلومتر دارند در بخش های جنوبی و مخصوصاً جنوب غرب متمرکز شده اند؛ مشابه میانگین دید افقی پراکندگی مکانی ناهمگونی دارند. با مقایسه پراکندگی مکانی میانگین سالانه دید افقی و ضریب خاموشی در منطقه مورد مطالعه (نقشه های الف و ب شکل ۶) انطباق بین این دو پارامتر به راحتی قابل تشخیص است. اما از لحاظ ترتیب مقادیر (کمترین به بیشترین و یا برعکس) عکس هم می باشد.

برای ترسیم شکل ۶پ ابتدا آماره *ridit* روی داده های دید افقی ایستگاههای مورد مطالعه اجرا شد و با ترسیم نمودار برای هر کدام و انجام روندیابی خطی؛ نقشه روند این پارامتر تهیه شد. همانطور که قبلاً نیز اشاره شده است روند افزایشی آماره *ridit* نشان دهنده بهبود میدان دید افقی است. بررسی خروجی این آماره برای ایستگاههای مورد مطالعه نشان داد ۱۸ ایستگاه از ۲۷ ایستگاه مورد مطالعه دارای روند خطی افزایشی با شیب قابل ملاحظه هستند. ایستگاههای ماکو، زنجان، ماه نشان، خرم دره، تکاب، مشکین شهر، مریوان و مهاباد فاقد روند چشمگیر می باشند و تنها در ایستگاه خلخال روند کاهشی تایید شد. با اعمال معادله کשמایدر بر روی داده های دیدافقی و میانگین گیری برای هر سال سری داده های سالانه میانگین ضریب خاموشی تهیه شد که با اعمال آزمون من-کندال بر روی آنها، روند این پارامتر و همچنین معنی داری آنها مورد آزمون قرار گرفت که نتیجه نهایی آن در نقشه ب شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶- نقشه‌های پراکنندگی مکانی میانگین سالانه دیدافقی (الف)، میانگین سالانه ضریب خاموشی (ب)، روند آماره Ridit (پ) و روند ضریب خاموشی (ت) در شمال غرب کشور.

طبق این نقشه ۱۹ ایستگاه دارای روند کاهشی معنی‌دار هستند. ایستگاه‌های پارس آباد و ماه‌نشان دارای روند کاهشی غیرمعنی‌دار می‌باشند. ضریب خاموشی در ایستگاه‌های زنجان، خرم دره، مشکین شهر و ماکو فاقد روند هستند. تنها در ایستگاه‌های خلخال و مهاباد روند افزایشی معنی‌دار محاسبه شده است.

### جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

روند زمانی-مکانی دید افقی در شمال غرب کشور در دوره آماری ۳۶ ساله (۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰) با استفاده از داده‌های روزانه دیدبانی شده در ۲۷ ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه قرار گرفت. جهت بدست آوردن یافته‌های علمی اطمینان بخش از روش‌های کارآمد و رایج برای آنالیز دیدافقی که در تعداد زیادی از تحقیقات معتبر بین‌المللی مورد استفاده قرار گرفته، استفاده شد. بر این اساس پارامتر اقلیمی دیدافقی بوسیله آماره Ridit، شاخص ضریب خاموشی و همچنین تغییرات کلاسه‌های کیفی دید افقی به همراه برخی مشخصه‌های آمار توصیفی و از طریق ترسیم نمودار و نقشه‌های جغرافیایی تحلیل شد. نتایج حاصله نخستین اطلاعات علمی در خصوص اقلیم شناسی دیدافقی در شمال غرب ایران بدست داد که به طور خلاصه به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

میدان دیدافتی در شمال غرب ایران محدود بوده (اغلب پایین تر از ۱۲ کیلومتر) و از ایستگاهی به ایستگاه دیگر اختلاف قابل ملاحظه‌ای وجود دارد. دلیل این امر می‌تواند ناشی از توپوگرافی ناهمگون این منطقه باشد. طبیعتاً در مناطق کوهستانی میدان دیدافتی محدود خواهد بود. همچنین مکان‌گزینی ایستگاه نسبت به توپوگرافی منطقه استقرار ایستگاه هواشناسی یکی دیگر از عوامل اصلی کنترل‌کننده میدان دیدافتی است. به طوری که اگر ایستگاه هواشناسی در محلی احداث گردد که اشرف بیشتری به اطراف داشته باشد دارای میدان دید بیشتری خواهد بود و برعکس.

رفتارهای متفاوتی در پراشیدگی سالانه مقادیر **ridit** در ایستگاه‌های شمال غرب ایران مشاهده شد. به طوری که هماهنگی و یا انطباق خاصی بین ایستگاه‌ها در دوره‌های بهبود و تضعیف میدان دیدافتی نمی‌توان تشخیص داد. ممکن است عوامل متعددی که در ایجاد نوسان در دیدافتی موثر هستند از لحاظ شدت و زمان اثرگذاری از ایستگاهی به ایستگاه دیگر متفاوت بوده است. نوسانات دیدافتی و مخصوصاً روند آن در آماره **ridit** در مقایسه با ضریب خاموشی به طور واضح‌تری قابل بررسی و تشخیص است. دلیل این امر ناشی از ماهیت پارامترهای مورد اشاره است. نکته مهم دیگر این است که از لحاظ آماری معنی داری روند دیدافتی در خروجی‌های ضریب خاموشی قابل آزمون می‌باشد در حالی‌که در خروجی‌های **ridit** تعیین روند به صورت بصری انجام می‌شود.

به طور کلی بهبود در میدان دید افقی در بازه زمانی مورد مطالعه ویژگی غالب در شمال غرب ایران محسوب می‌شود. این موضوع از طریق اثبات روند افزایشی (کاهش) خروجی‌های آماره **ridit** (شاخص ضریب خاموشی) در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه اثبات شد. طبق نتایج این تحقیق در ۱۸ ایستگاه از ۲۷ ایستگاه مورد مطالعه روند افزایشی دید افقی اثبات شد و ۸ ایستگاه فاقد روند مشخص بودند. تنها در ایستگاه خلخال روند کاهش معنی دار اثبات شد که در بررسی مجدد داده‌ها مشخص شد گزارش دیدهای افقی بیشتر در ۴ سال نخست احداث ایستگاه عامل ایجاد روند کاهش در دید افقی بوده است به طوری که با حذف داده‌های سالهای مذکور، تغییرات دیدافتی به حالت فاقد روند تغییر می‌یابد.

طبیعی است که روند افزایشی دیدافتی در اثر کاهش فراوانی دیدهای متوسط، بد و خیلی بد و در مقابل افزایش فراوانی دیدهای خوب و خیلی خوب اتفاق می‌افتد. در این مطالعه با وجود اثبات روند افزایشی در اکثر ایستگاه‌ها، تغییرات روند فراوانی کلاسه‌های دیدافتی از ایستگاهی به ایستگاه دیگر متفاوت بوده است. افزایش در فراوانی کلاسه‌های دیدافتی خوب و خیلی خوب در دهه اخیر به همراه کاهش در فراوانی دیدهای متوسط و ثبات نسبی دیدهای بد و خیلی بد عامل برقراری روند افزایشی در میدان دیدافتی در شمال غرب ایران می‌باشد.

علاوه بر مکان‌گزینی احداث ایستگاه نسبت به توپوگرافی اطراف که در تعیین میانگین دیدافتی موثر است؛ عوامل محیطی و گاهاً انسانی متعددی در ایجاد نوسان و یا روند در دیدافتی موثر هستند. از آن جمله می‌توان به تغییرات فراوانی رخداد پدیده‌های جوی کاهش دهنده دیدافتی (مثل توفانهای گردوغبار، مه و یا مه-دود)، اثر ثانوی تغییر در دیگر پارامترهای اقلیمی از جمله سرعت باد و رطوبت نسبی، و نهایتاً افزایش تولید آلاینده‌های جوی در محیط‌های شهری اشاره کرد.

بررسی علمی و دقیق این موضوعات با کاربری روش‌های پیشرفته و کارآمد آماری در تحقیقات آتی می‌تواند در آشکارسازی عوامل ناشناخته اقلیمی و محیطی موثر در تغییرات دیدافتی مفید واقع گردد.

## منابع

- باغی، ملیحه؛ راشکی، علی رضا؛ محمودی قرائی، محمد حسین (۱۳۹۹)، بررسی خصوصیات شیمیایی کانی شناسی گردو غبار ورودی به شمال شرق ایران و پتانسیل بیماری زایی آن، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۹ (۱)، ۱۳۹-۱۵۳.
- باقرآبادی، رسول. (۱۴۰۰)، تجزیه و تحلیل روند تغییرات گردوغبار و ارتباط آن با شاخص SPI (مطالعه موردی: شهر اهواز)، جغرافیا و روابط انسانی. ۲۳۷-۲۲۴ (۳) ۴.
- ثابت قدم، سمانه؛ احمدی گیوی، فرهنگ؛ گلستانی، یحیی (۱۳۹۴)، کاربری روش پردازش رقمی تصویر در تعیین ضریب خاموشی جو شهری تهران، نشریه ژئوفیزیک ایران، جلد ۹، شماره ۲، صص ۵۱-۴۰.
- ثابت قدم، سمانه؛ احمدی گیوی، فرهنگ؛ گلستانی، یحیی (۱۳۹۵)، بررسی تغییرات ضریب خاموشی جو بر مبنای دید افقی در چهار فرودگاه پرتدد کشور. فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۲، شماره ۲، صص ۶۷-۴۵۹.
- حاتمی مهند، جلال‌الدین؛ ثابت قدم، سمانه؛ احمدی گیوی، فرهنگ (۱۳۹۸)، بررسی شرایط هواشناسی کمینه دید افقی روزانه با استفاده از اطلاعات دستگاه RVR فرودگاه امام خمینی، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره ۱، صص ۳۰-۱۷.
- حجازی، سید عباس؛ مباشری، محمدرضا؛ مجیدی، داود (۱۳۹۳)، استفاده از تصویر ماهواره ای در محاسبه قابلیت دید افقی جو، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال پنجم، شماره هفدهم و هیجدهم، صص ۵۷-۴۷.
- رسولی، علی اکبر؛ ساری صراف، بهروز؛ محمدی، غلام حسن (۱۳۸۹). تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گرد و غبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۳، صص ۲۸-۱۵.
- زینالی، بتول و اصغری، صیاد (۱۳۹۷)، ارزیابی برخی شاخص‌های شناسایی گرد و غبار و پایش آن (مطالعه موردی طوفان ۱۰ اوت ۲۰۰۸ شرق ایران)، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۲۲، شماره ۶۵، صص ۱۸-۱.
- سبجانی، بهروز؛ صفریان زنگیر، وحید؛ فیض اله زاده، سینا (۱۳۹۹)، مدل‌سازی و پیش‌بینی گردوغبار در غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۲ (۱)، ۳۵-۱۷.
- قهرمانی حیران، التفات (۱۳۹۴)، ارزیابی اثرات توسعه شهری و نوسانات اقلیمی در تغییرات فراوانی وقوع پدیده مه-دود در کلان‌شهر تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۸۰ صفحه.
- محمد خان، شیرین (۱۳۹۶)، بررسی وضعیت و روند تغییرات طوفان‌های گرد و غبار در ایران در دوره زمانی ۱۳۶۴ - ۱۳۸۴، مرتع و آبخیزداری، ۷۰ (۲)، صص ۵۱۲-۴۹۵.
- محمدی، غلام حسن (۱۳۹۴)، تحلیل سازوکارهای جوی انتقال گردوغبار به غرب کشور، دکتری تخصصی، آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، رساله دکتری.



- مصباح زاده، طیبه؛ سلیمانی ساردو، فرشاد؛ سلاجقه، علی؛ زهتابیان، غلام رضا؛ رنجبر، عباس؛ ماریو مارسلو (۱۳۹۹)، واکاوی تغییرات زمانی و مکانی روزه ای گرد و غبار در فلات مرکزی ایران، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۷، (۴)، ۷۴۵-۷۵۹.
- نوروزی، علی اکبر؛ شعاعی، ضیاء الدین (۱۳۹۷)، شناسایی مناطق دارای پتانسیل تولید گرد و غبار در جنوب غرب ایران، مطالعه موردی استان خوزستان، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۰ (۳)، ۳۹۸-۴۰۹.
- یارمادی، زهرا؛ نصیری، بهروز؛ کریمپور، مصطفی؛ و محمدی، غلام حسن. (۱۳۹۷)، تحلیل روند فراوانی روزهای گردوغباری در نیمه شرقی ایران در ارتباط با نوسانات اقلیمی. مهندسی اکوسیستم بیابان، ۷ (۱۸)، ۱-۱۴.
- Alhathloul, S. H., Khan, A., Mishra, A., (2021), Trend analysis and change point detection of annual and seasonal horizontal visibility trends in Saudi Arabia, *Theoretical and Applied Climatology* 144(3), 127-146.
- Baumer, D., Vogel, B., Versick, S., Rinke, R., Mohler, 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.
- Cao, J.-j., Wang, Q.-y., Chow, J. C., Watson, J. G., Tie, X.-x., Shen, Z.-x., Wang, P., and An, Z.-s., (2012), Impacts of aerosol compositions on visibility impairment in Xi'an, China, *Atmos. Environ.*, 59, 559-566.
- Che, H., Zhang, X., Li, Y., et al., (2007), Horizontal visibility trends in China 1981-2005. *Geophys. Res. Lett.* 34. doi:10.1029/2007GL031450.
- Chen, Y., Xie, Sh., (2012), Temporal and spatial visibility trends in the Sichuan Basin, China 1973 to 2010, *Atmospheric Research*, 112: 25-34.
- Clarke, A., Gascoigne, M., Henderson-Sellers, A., and Williams, A., (1978), Modeling air pollution in Leeds (UK), *Int. J. Environ. Stud.*, 12, 121-132.
- Craig, C.D., Faulkenberry, G.D., (1979), The application of ridit analysis to detect trends in visibility. *Atmos. Environ.* 13, 1617-1622.
- Deng, J., Wang, T., Jiang, Z., et al., (2012), Characterization of visibility and its affecting factors over Nanjing, China. *Atmos. Res.* 101, 681-691.
- Diederer, H., Guicherit, R., and Hol Londer, J., (1985), Visibility reduction by air pollution in the Netherlands, *Atmos. Environ.*, 19, 377-383.
- Doyle, M., Dorling, S., (2002), Visibility trends in the UK 1950e1997. *Atmos. Environ.* 36, 3161-3172.
- Eidels-Dubovoi, S., (2002), Aerosol impacts on visible light extinction in the atmosphere of Mexico City, *Sci. Tot. Environ.*, 287, 213-220.
- Environmental Protection Agency (2001), Visibility in mandatory federal class I areas (1994- 1998), report, Off. of Air Qual. Plan. and Stand., Research Triangle Park, N. C, 286p.
- Founda, D., Kazadzis, S., Mihalopoulos, N., Gerasopoulos, E., Lianou, M., and Raptis, P. I., (2016), Long-term visibility variation in Athens (1931-2013): a proxy for local and regional atmospheric aerosol loads, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 11219-11236, doi:10.5194/acp-16-11219-2016.
- Gao, L., Jia, G., Zhang, R., H, Che., C, Fu., T, Wang., M, Zhang., H, Jiang., P, Yan., (2011), Visual range trends in the Yangtze River Delta Region of China 1981e2005, *J. Air Waste Manage. Assoc.* 61(8): 843-849.
- Ghim, Y.S., Moon, K.C., Lee, S., et al., (2005), Visibility trends in Korea during the past two decades. *J. Air WasteManage. Assoc.* 55 (1), 73-82.
- Hänel, G., (1972), Computation of the extinction of visible radiation by atmospheric aerosol particles as a function of the relative humidity, based upon measured properties, *J. Aerosol Sci.*, 3, 377-386.
- Haywood, J. and Boucher, O., (2000), Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols: A review, *Rev. Geophys.*, 38, 513-543.
- Husar, R.B., Holloway, J.M., Patterson, D.E., et al., (1981), Spatial and temporal pattern of eastern US haziness: a summary. *Atmos. Environ.* 15, 1919-1928.
- Husar, R.B., Husar, J.D., Martin, L., (2000), Distribution of continental surface aerosol extinction based on visual range data. *Atmos. Environ.* 34, 5067-5078.
- Hyslop N. P., (2009), Impaired visibility: the air pollution people see. *Atmospheric Environment* 43: 182-195.

- Jinhuan, Q. and Liquan, Y., (2000), Variation characteristics of atmospheric aerosol optical depths and visibility in North China during 1980–1994, *Atmos. Environ.*, 34, 603–609.
- Kong, S. F., Li, L., Li, X. X., Yin, Y., Chen, K., Liu, D. T., Yuan, L., Zhang, Y. J., Shan, Y. P., and Ji, Y. Q., (2015), The impacts of fire work burning at the Chinese Spring Festival on air quality: insights of tracers, source evolution and aging processes, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 2167–2184, doi:10.5194/acp-15-2167-2015.
- Koschmieder, H., (1926), Theorie der horizontalen Sichtweite. *Beit. Phys. Atmos.* 12, p 33-55.
- Latimer, D., Bergstrom, R., Hayes, S., Liu, M., Seinfeld, J., Whitten, G., Wojcik, M. and Hillyer, M., (1978), The development of mathematical models for the prediction of anthropogenic visibility impairment, EPA-450/3/78-110a.
- Lee, C.G., Yuan, C.S., Chang, J.C., et al., (2005), Effects of aerosol species on atmospheric visibility in Kaohsiung City, Taiwan. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 55, 1031-1041.
- Lee, D. O. (1983), Trends in summer visibility in London and southern England 1962–1979, *Atmos. Environ.*, 17, 151–159.
- Lee, D. O. (1990), The influence of wind direction, circulation type and air pollution emissions on summer visibility trends in southern England, *Atmos. Environ. A-Gen.*, 24, 195–20.
- Lee, D.O., (1994), Regional variations in long-term visibility trends in the UK (1962-1990). *Geography* 79, 108-121.
- Lee, J. Y., Jo, W. K. and Chun, H. H., (2015), Long-term trends in visibility and its relationship with mortality, air-quality index, and meteorological factors in selected areas of Korea, *Aerosol and Air Quality Research*, 15(2), 673-681.
- Mahowald, N.M., Ballantine, J.A., Feddema, J., et al., (2007), Global trends in visibility: implications for dust sources. *Atmos. Chem. Phys.* 7, 3309-3339.
- Malm, W. C., (1999), Introduction to visibility, Cooperative Institute for Research in the Atmosphere (CIARA), Ft. Collins, Colorado, 79 pp.
- Malm, W., Sisler, J., Huffman, D., Eldred, R. and Cahill, T., (1994), Spatial and seasonal trends in particle concentrations and optical extinction in the United States, *Geophys Res Lett.*, 99, 1347-1370.
- Malm, W.C., Molnar, J.V., Eldred, R.A., et al., (1996), Examining the relationship among atmospheric aerosols and light scattering and extinction in the Grand Canyon Area. *J. Geophys. Res.* 101 (D14), 19251-19265.
- Molnar, A., Meszaros, E., Imre, K., et al., (2008.), Trends in visibility over Hungary between 1996-2002. *Atmos. Environ.* 42, 2621-2629.
- Park, R. J., Jacob, D. J., Chin, M., and Martin, R. V. (2003), Sources of carbonaceous aerosols over the United States and implications for natural visibility, *J. Geophys. Res.*, 108, 4355, doi:10.1029/2002JD003190.
- Park, R. J., Jacob, D. J., Kumar, N., and Yantosca, R. M. (2006), Regional visibility statistics in the United States: Natural and trans-boundary pollution influences, and implications for the Regional Haze Rule, *Atmos. Environ.*, 40, 5405–5423.
- Ozkaynak, H.A., Schatz, D., Thurston, G.D., Isaacs, R.G., Husar, R.B., (1985), Relationships between aerosol extinction coefficients derived from airport visual range observations and alternative measure of airborne particles mass, *J. Air Poll. Control Assoc.* 35(11): 1176–1185.
- Sari Sarraf, B., Rasouli, A. A., Mohammadi Gh. H., Hoseini Sadr, A., (2016), Long-term trends of seasonal dusty day characteristics—West Iran, *Arab Journal Geoscience*, 9 (563): 1-10.
- Sati, A. P. and Mohan, M., (2014), Analysis of air pollution during a severe smog episode of November 2012 and the Diwali Festival over Delhi, India, *Int. J. Remote Sens.*, 35, 6940–6954.
- Seidel, D. J. and Birnbaum, A. N., (2015), Effects of Independence Day fireworks on atmospheric concentrations of fine particulate matter in the United States, *Atmos. Environ.*, 115, 192–198.
- Seinfeld, H. and Pandis, N., (2006), Atmospheric chemistry and physics—from air pollution to climate change, Second Edition, John Wiley & Sons, 1203 pp.
- Singh, A. and Dey, S., (2012), Influence of aerosol composition on visibility in megacity Delhi, *Atmos. Environ.*, 62, 367–373.
- Singh, A., Bloss, W. J., and Pope, F. D., (2017), 60 years of UK visibility measurements: impact of meteorology and atmospheric pollutants on visibility, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 2085–2101, doi:10.5194/acp-17-2085-2017
- Singh, A., Bloss, W. J., and Pope, F. D., (2015), Remember, remember the 5th of November; gunpowder, particles and smog, *Weather*, 70, 320–324.
- Sloane, C.S., (1982a), Visibility trends e I. Methods of analysis. *Atmos. Environ.* 16, 41-51.

- Sloane, C.S., (1982b), Visibility trends e II. Mid-eastern United States 1948-1978. *Atmos. Environ.* 16, 2309-2321.
- Sloane, C.S., (1983), Summer time visibility declines: meteorological influences, *Atmos. Environ.*, 17, 763-774.
- Sloane, C.S., (1984), Meteorologically adjusted air quality trends: visibility, *Atmos. Environ.*, 18, 1217-1229.
- Tiwari, S., Payra, S., Mohan, M., Verma, S., and Bisht, D. S., (2011), Visibility degradation during foggy period due to anthropogenic urban aerosol at Delhi, India, *Atmospheric Pollution Research*, 2, 116–120.
- Trijonis, J., (1982), Existing and natural background levels of visibility and fine particles in the rural East, *Atmos. Environ.*, 16, 2431-2445.
- Tsai Y. I., Kuo S. C., Lee W. J., Chen C. L., Chen P. T., (2007), Long-term visibility trends in one highly urbanized, one highly industrialized, and two rural areas of Taiwan. *Science of the Total Environment* 382: 324–341.
- Wang Q., Cao J., Tao J., Li N., Su X., L. W., Antony Chen, Ping Wang, Zhenxing Shen, Suixin Liu, Wenting Dai (2013), Long-Term Trends in Visibility and at Chengdu, China. *PLoS ONE* 8(7): e68894. doi:10.1371/journal.pone.0068894.
- Watson J. G., (2002), Visibility: Science and Regulation. *Journal of the Air & Waste Management Association* 52: 628–713.
- Watson, J. and Chow, J., (2006), Visibility and air pollution, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 99, 5 pp.
- Wilkins, E., (1954), Air pollution and the London fog of December, 1952, *Journal of the Royal Sanitary Institute*, 74, 1–15.
- WMO, World Meteorological Organization, (1992), *International Meteorological Vocabulary*, WMO-NO. 182, Geneva, Switzerland.
- WMO, World Meteorological Organization., (1974), *Manual on Codes*, vol. I. International codes. WMO Publ., Geneva, Switzerland.
- Wu, D., Tie, X., Li, C., Ying, Z., Lau, A. K.-H., Huang, J., Deng, X., and Bi, X., (2005), An extremely low visibility event over the Guangzhou region: A case study, *Atmos. Environ.*, 39, 6568–6577.
- Yang, L.-x., Wang, D.c., Cheng, S. h., Wang, Z., Zhou, Y., Zhou, X.-h., and Wang, W.-x., (2007), Influence of meteorological conditions and particulate matter on visual range impairment in Jinan, China, *Sci. Total Environ.*, 383, 164–173.
- Yuan, C.S., Lee, C.G., Liu, S.H., et al., (2002), Developing strategies for improving urban visual air quality. *Aerosol Air Qual. Res.* 2, 9-22.
- Zhao, P., Zhang, X., Xu, X., Zhao, X., (2011), Long-term visibility trends and characteristics in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China, *Atmos. Res.* 101(3): 711–718.