

بررسی ویژگی‌های دید افقی در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از ضریب خاموشی

بهرروز سبحانی^۱، لیلا جعفرزاده علی آباد^۲، غلامحسین محمدی^۳

*۱-استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشجوی دکتری تخصصی رشته آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- دکتری اقلیم شناسی، کارشناس هواشناسی سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: Sobhaniardabil@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۶

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲

چکیده

دید افقی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های نوری جو به شمار می‌رود. پیش‌بینی میزان دید افقی از جنبه‌های مختلفی از جمله آلودگی هوا، ترافیک هوایی، ایمنی پروازها، ترافیک جاده‌ها و ایمنی سفرهای دریایی اهمیت بسزایی دارد. هدف از پژوهش حاضر بررسی ویژگی‌های دید افقی در سواحل جنوبی دریای خزر می‌باشد. برای این منظور از داده‌های ساعتی دید افقی، پدیده هوای حاضر و رطوبت نسبی برای طول دوره آماری ۶۹ ساله (۲۰۲۰-۱۹۵۱) در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. در این پژوهش با بکارگیری فرمول کشماید، ضریب خاموشی محاسبه شد. در نهایت با استفاده از آزمون پارامتریک من-کندال به تحلیل روند فراوانی کاهش رخداد پدیده دید افقی در منطقه پرداخته شد. نتایج نشان داد که در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه‌های بابلسر، رامسر و آستارا روند افزایشی، ایستگاه نوشهر روند کاهشی و ایستگاه‌های گنبدکاووس و مراوه‌تپه شرایط بدون روند ضریب خاموشی را تجربه کرده‌اند. بر اساس خروجی جدول من-کندال در بین فصول، فصل‌های پاییز و زمستان شرایط کاهشی (افزایشی) معنی‌داری و در مابقی مقیاس‌های زمانی عدم وجود روند مشاهده شد. نتایج تحلیل تأثیر پارامترهای اقلیمی نشان داد که در بین پدیده‌های تأثیرگذار بر دید افقی، بیشترین و کمترین درصد فراوانی تأثیرگذار را به ترتیب پدیده بارشی (۳۹/۷۵٪) و پدیده گردوغبار (۰/۸۳٪) در مقایسه با دیگر عوامل مؤثر در منطقه به خود اختصاص داده‌اند. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که به دلیل جنگلی بودن و پوشش گیاهی مناسب در منطقه امکان رخداد پدیده توفان گردوغبار محلی بسیار ناچیز است.

کلمات کلیدی

"دید افقی"، "ضریب خاموشی"، "من-کندال"، "سواحل جنوبی دریای خزر"

۱- مقدمه

دید افقی یکی از مهم‌ترین پارامترهای جوی اندازه‌گیری شده در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی است و معمولاً برحسب کیلومتر یا متر گزارش می‌شود (آرامی، ۱۳۹۴). دید افقی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های نوری جو به شمار می‌رود و پیش‌بینی میزان دید افقی از جنبه‌های مختلفی از جمله آلودگی هوا، ترافیک هوایی، ایمنی پروازها، ترافیک جاده‌ها و ایمنی سفرهای دریایی اهمیت به سزایی دارد (ثابت‌قدم و همکاران، ۱۳۹۵؛ جابری و همکاران، ۱۳۹۷). ذرات معلق با قطر کوچک‌تر از ۱۰ میکرون و دید افقی، به‌عنوان دو فرا سنخ مهم در پژوهش‌های مرتبط با ریز گردها و گردوغبارهای تروپوسفری شناخته می‌شود. به‌طوری‌که آلودگی هوا تا اندازه‌ی زیادی به مقدار این دو فرا سنخ در زمان وابسته است (دهقان و همکاران، ۱۳۹۸). کاهش میدان دید، اولین تأثیر آلودگی هوای ناشی از پدیده‌های جوی است. افزایش تراکم ذرات گردوغبار همراه با کاهش شدید دید، تأثیر ناگواری بر سلامتی موجودات زنده، بخش‌های اقتصادی-اجتماعی و سامانه‌های حمل‌ونقل دارد (جبالی و همکاران، ۱۳۹۹). دید افقی یکی از پارامترهای مهم هواشناسی است که در هنگام بروز پدیده‌های مختلف اعم از مه و طوفان‌های شن و گردوغبار توسط دیده‌بانان ایستگاه‌های سینوپتیک ثبت می‌شود (Hermida et al, ۲۰۱۸). دید اتمسفر یک پارامتر متداول هواشناسی است و تقریباً همه ایستگاه‌های هواشناسی آن را برای مدت طولانی ثبت کرده‌اند. دید به‌عنوان حداکثر مسیری که در آن هدف انتخاب‌شده توسط بینایی انسان دیده می‌شود، تعریف می‌شود. دید افقی نوعی دید اتمسفر است و یک درک بصری از شرایط آب و هوایی است (Saber, meihami et

al, ۲۰۱۸). پژوهشگران دیگری هم در زمینه دید افقی با استفاده از شاخص‌های مختلف پرداختند از جمله: Hoelang et al (۲۰۱۸)، Wang et al (۲۰۱۰)، Yoo et al (۲۰۰۷)، Kerk et al (۲۰۰۸)، Bodlua et al (۲۰۱۲)، Kovav et al (۲۰۱۳)، Masoumi et al (۲۰۱۳)، Lee et al (۲۰۱۵)، Zooa et al (۲۰۱۵)، Goo et al (۲۰۱۷)، Javd et al (۲۰۱۷). محققان زیادی در داخل و خارج در این زمینه مطالعه کرده‌اند از جمله: رنجبران و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی رابطه بین زاویه و شدت پراکندگی برای ذرات جوی کاهنده قابلیت دید افقی نشان دادند که بهترین زاویه اندازه‌گیری ضریب خاموشی اتمسفر، ۴۲ درجه است. با توجه به وابستگی پراکندگی به‌اندازه ذره و طول موج نور فرودی، نامبردگان نشان دادند که با اندازه‌گیری شدت پراکندگی در این زاویه (۴۲ درجه)، می‌توان شرایط دید جوی را مشخص کرد. حجازی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به محاسبه قابلیت دید افقی جو پرداختند. نتایج نشان داد که بین پارامتر تیرگی جو و کاهش قدرت دید جو، یک رابطه خطی با میزان همبستگی ۰/۷۷ وجود دارد. در مجموع این همبستگی نشان داد که برای سنجیده‌ای با دقت زیاد در حد سنجنده MODIS و قدرت تفکیک مکانی آن، قابل قبول است. ثابت‌قدم و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی تغییرات ضریب خاموشی جو بر مبنای دید افقی در چهار فرودگاه پرتدد کشور پرداختند. نامبردگان نشان دادند که روند تغییرات میانگین سالانه ضریب خاموشی جو در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۱۹۷۰ افزایش نسبتاً ملایمی را در هر چهار ایستگاه فرودگاهی داشته است. همچنین مقایسه حدهای

دستگاه PCC ۳۱ AV در چین ۱۴/۳۰ کیلومتر بوده است. به طوری که نرخ آن ۱/۰۷ کیلومتر در دهه می‌باشد. ۳۱ AV دستگاه PCC بین سال‌های ۱۹۷۳-۱۹۸۶ و سپس بین سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۰۶ کاهش چشمگیری یافته است. همچنین تجزیه و تحلیل همبستگی نشان داد که عوامل تأثیرگذار (به‌عنوان مثال، اندازه شهری، فعالیت‌های صنعتی، فعالیت‌های ساکنان، سبز شدن شهر، میزان کیفیت هوا) در ایجاد تغییر در کیفیت هوا سهم عمده‌ای دارند. Saber, meihami et al (۲۰۲۰)، به بررسی و مطالعه کاهش دید افقی در شهر زنجان پرداختند. یافته‌ها متذکر آن شد که در ماه‌های سرد سال به دلیل شرایط بارانی هوا، مه و بارش برف، از دید افقی کاسته می‌شود. به طوری که در طی ۷۰ روز در سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۷، دید افقی به کمتر از ۵ کیلومتر کاهش می‌یابد و ۸۶٪ این روزها دارای شرایط مه، بارانی و برفی است.

هدف از پژوهش حاضر به دست آوردن اطلاعات لازم و استفاده تخصصی و عمومی از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و اقلیم‌شناسی در سواحل جنوبی دریای خزر در ارتباط با برنامه‌ریزی‌های مربوط به بحران‌های طبیعی و جلوگیری از مخاطرات حاصل از آن در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. یکی از عواملی که دید جو را کاهش می‌دهد پدیده مه-دود است. به دلیل حاکمیت آب‌وهوای مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر افزایش تولید آلاینده‌های انسان‌ساخت به علت توسعه شهرها، فراوانی رخداد این پدیده در برخی از مناطق جنوبی دریای خزر، روند افزایشی پیدا کرده است. در مقابل با تخریب دید در سال‌های اخیر در شهرهای پرجمعیت به یک مخاطره بزرگ تبدیل شده است. به لحاظ تخریب دید اتمسفری به دلیل وقوع مکرر پدیده مه-دود در سواحل جنوبی دریای خزر (مخصوصاً در شهرهای بزرگ) و همچنین به لحاظ اهمیت تغییرات دید اتمسفری در بررسی کیفیت هوا، ضرورت پژوهش حاضر را ایجاب می‌کند. انتظار می‌رود نتایج این پژوهش، جزئیات تغییرات دید افقی را در منطقه مورد مطالعه را بیان کند و همچنین وجود یا عدم وجود ارتباط آن با پدیده‌های جوی را آشکار نماید.

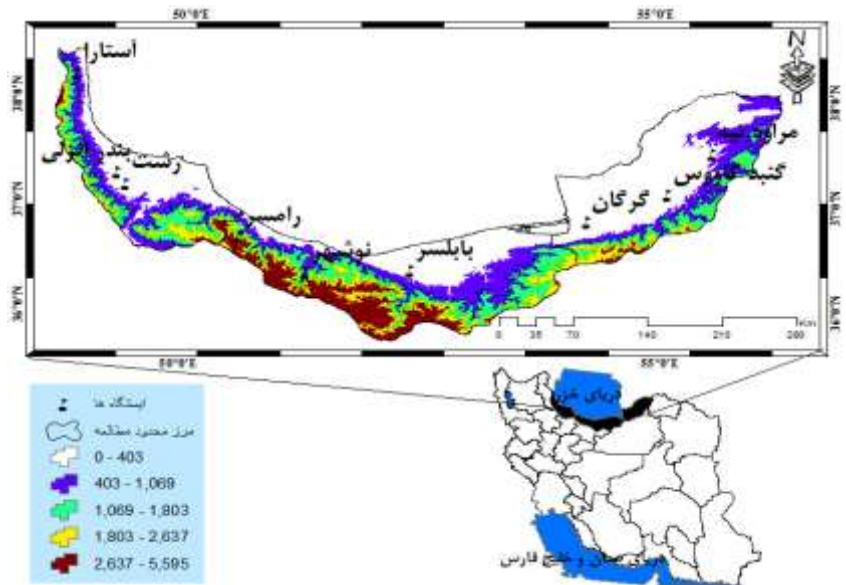
۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل سواحل جنوبی دریای خزر کشور ایران می‌باشد که به طور تقریبی بین عرض جغرافیایی ۳۶ تا ۳۸ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸/۵ تا ۵۶ درجه شرقی قرار دارد (خوشحال دستجردی، ۱۳۷۶، ۳۰). این منطقه شامل محدوده سیاسی استان‌های گیلان، مازندران و گلستان است. در شکل (۱) و جدول (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و مشخصات ایستگاه‌های منتخب در نوار شمالی ایران را نشان می‌دهد. نوار شمالی ایران متأثر از رشته‌کوه البرز و دریای خزر می‌باشند. باران فراوان و رطوبت بالای هوا از مشخصه اصلی اقلیم نوار جنوبی دریای خزر می‌باشد. این منطقه شامل جنگل‌های انبوه، نیمه انبوه و چمنزارهای سرسبز دائمی و پهناور می‌باشد؛ که علت این امر را به بارش فراوان، خاک مساعد و دمای ملایم اشاره کرد که منجر به پیدایش پوشش گیاهی پیوسته و ممتد در منطقه شده است. بیشترین میزان بارش در این منطقه، در ایستگاه بندر انزلی به ترتیب در فصل پاییز، زمستان، تابستان و بهار رخ می‌دهد. فاصله بین دریا و کوه از عوامل مؤثر در میدان دید افقی

پایین و بالای دید، تغییر فراوانی در ایستگاه‌های مختلف را نشان نداد. کم‌ترین مقادیر حدی دید مربوط به ایستگاه مهرآباد تهران بوده است. دهقان و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی واکاوی رابطه میان PM_{10} ، $PM_{2.5}$ با دید افقی به تفکیک کد همدیدی با کاربست الگوریتم ژنتیک در شهر یزد پرداختند. نتایج حاکی از ارائه‌ی چهار تابع و رابطه‌ی ریاضی بر پایه‌ی مدل خطی تابع چندجمله‌ای با سطح اطمینان ۹۵ درصد بین روابط میان PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و دید افقی در حالت فراگیر است. جابری و همکاران (۱۳۹۷) به پیش‌بینی عددی کاهش دید افقی در منطقه تهران پرداختند و نشان دادند که کاهش دید ناشی از مه در فرودگاه مهرآباد نسبت به پدیده بارش در فرودگاه امام خمینی کمی متفاوت است. همچنین شبیه‌سازی دید با استفاده از روش‌های SW_{۹۹}, AFWA, UPPI نمی‌تواند به‌خوبی روند کاهش را نشان دهد. در مقابل روش FSL تا حدی برای پیش‌بینی کاهش دید به‌ویژه در مه مناسب است. جبال و همکاران (۱۳۹۹)، گستره تغییرپذیری دید افقی مناطق متأثر از رخداد‌های گردوغبار در استان یزد را بررسی کردند و نشان دادند که ارتباط معنی‌داری در سطح ۹۹٪ بین AOD_۱ و داده‌های دید افقی وجود داد. دامنه کمی مقادیر AOD در شش رخداد مورد بررسی، از ۰/۱ در مناطق بدون گردوغبار تا ۹/۱ در مناطق با گردوغبار شدید، است. همچنین مقدار دید افقی متناظر با مقادیرهای مذکور، از ۶۴ متر در مناطق واقع در کانون‌های گردوغبار تا ۱۹۹۵۱ متر فراتر از کانون‌های مذکور، برآورد کردند. میری (۱۳۹۹)، به تحلیل طوفان‌های گردوغبار سیستان با استفاده از شاخص‌های DDI_۲ و DSI_۲ و پارامترهای سرعت باد، دید افقی و غلظت PM_{10} در طول دوره آماری ۲۷ ساله پرداختند. نتایج حاکی از آن است که منطقه سیستان در مقایسه با سایر مناطق ایران از فراوانی و شدت طوفان‌های گردوغباری بیشتری برخوردار است. همچنین نامبردگان نشان دادند که غبارناکی منطقه سیستان به وضعیت دریاچه هامون مرتبط است. بر همین اساس بهترین راه جهت کاهش طوفان‌های گردوغبار را احیای این دریاچه را پیشنهاد دادند تا بتوان شرایط تشکیل این پدیده را در منطقه به حداقل رساند. Dang et al (۲۰۱۲)، روند دید طولانی‌مدت جوی در جنوب شرقی چین را بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان دید در ۹۴٪ ایستگاه‌های این منطقه کاهش یافته و ایستگاه‌های استان دارای بیشترین روند کاهش ۱/۳ - کیلومتر در دهه در کل دوره بوده است. Zinga et al (۲۰۱۶)، تأثیرات شرایط هواشناسی و مواد شیمیایی آئروسول و ترکیبات مربوط به اختلال دید را در نانجینگ چین بررسی کردند و نشان دادند که تأثیرگذارترین عوامل مؤثر بر دید در نانجینگ مواد آلی و سولفات بوده است. Goo et al (۲۰۱۷)، با بررسی اثرات کوتاه‌مدت دید افقی و مه بر مرگومیر در یک شهر ساحلی چین نشان دادند که تأثیر آلودگی هوا در فصل سرما بیشتر از فصل گرما است و افراد مسن در مقایسه با جوانان در معرض خطر بیشتری هستند. همچنین یافته‌ها نشان داد که در صورت کمبود آلاینده‌ها، می‌توان از دید و مه به‌عنوان جایگزین کیفیت هوا استفاده کرد. Wiking et al (۲۰۱۸)، با بررسی روندها و ویژگی‌های دید بلندمدت جوی در ۳۱ شهر پایتخت استانی در چین طی سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۵۷ متذکر شدند که میانگین سالانه

می‌باشد. استان گلستان به دلیل فاصله بیشتر از دریا دارای دید افقی کمتری است.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های منتخب در سطح کشور جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جنوب دریای خزر

ردیف	ایستگاه‌ها	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
۱	رامسر	۵۰° / ۴۰'	۳۶° / ۵۴'	-۲۰
۲	نوشهر	۵۱° / ۳۰'	۳۶° / ۳۹'	-۲۰/۹
۳	بابلسر	۵۲° / ۳۹'	۳۶° / ۴۳'	-۲۱
۴	آستارا	۴۸° / ۵۱'	۳۸° / ۲۲'	-۲۱/۱
۵	بندر انزلی	۴۹° / ۲۷'	۳۷° / ۲۹'	-۲۳/۶
۶	رشت	۴۸° / ۵۱'	۳۸° / ۲۲'	-۲۱/۱
۷	گرگان	۵۲° / ۲۴'	۳۶° / ۵۴'	۰
۸	گنبد کاووس	۵۵° / ۱۰'	۳۷° / ۱۵'	۳۷/۲
۹	مراوه تپه	۵۵° / ۵۷'	۳۷° / ۵۴'	۴۶۰
۱۰	ساری	۴۰° / ۳۶'	۲۴° / ۴۸'	۴۰
۱۱	سیاه‌بیشه	۵۱° / ۳۱'	۳۶° / ۲۱'	۲۴۱۱
۱۲	منجیل	۴۹° / ۴'	۳۶° / ۷۴'	۳۲۱
۱۳	قرا خیل	۵۲° / ۷۸'	۳۶° / ۴۵'	۱۴

• روش پژوهش

کاهش‌دهنده دید افقی به چند گروه هم‌سنخ (پدیده‌ی بارشی، پدیده‌ی مه و مه رقیق، پدیده‌ی مه دود و پدیده‌ی گردوغبار) به تفکیک ایستگاه فراوانی هر گروه محاسبه شد. نسبت فراوانی هر گروه محاسبه شد و با تهیه جدول و نقشه مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین به منظور مشخص کردن ارتباط بین پارامترهای اقلیمی (دما، بارش و سرعت باد) با دید افقی از ضریب همبستگی استفاده شد و نقشه‌های مربوط به توزیع مکانی میانگین ضریب خاموشی (سالانه-فصلی) و دید افقی با پارامترهای اقلیمی در محیط نرم‌افزاری ARC GIS ترسیم و تحلیل شدند.

(۱)

$$X = \frac{\ln(\text{Cratio})}{-Bex}$$

در پژوهش حاضر به منظور تحلیل زمانی - مکانی دید افقی در سواحل جنوبی دریای خزر در طول بازه زمانی ۶۹ ساله (۲۰۲۰-۱۹۵۱)، از داده‌های ساعتی شامل دید افقی، هوای حاضر و رطوبت نسبی برگرفته از سازمان هواشناسی کشور، استفاده شد. در ابتدا با انتخاب داده‌های مطمئن برای بررسی تغییرات دید افقی، به محاسبه ضریب خاموشی با بکارگیری فرمول کشماید پرداخته شد. در ادامه با اجرای آزمون نا پارامتریک من-کندال، روند سالانه و فصلی ضریب خاموشی محاسبه و نتایج به صورت جدول گزارش شد. همچنین در این پژوهش با دسته‌بندی پدیده‌های

ضریب خاموشی

برای برآورد ضریب خاموشی بر اساس میدان دید افقی از رابطه زیر استفاده می‌شود (Jacson, ۲۰۱۲):

(۵)

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{Q}, & if s > . \\ ., & if s = . \\ \frac{s+1}{Q}, & if s < . \end{cases}$$

مقدار Z به دست آمده با رابطه‌های فوق با مقادیر Z به دست آمده از جدول توزیع نرمال استاندارد با سطح اطمینان مورد نظر مقایسه می‌گردد. چنانچه Z محاسباتی بزرگ‌تر از Z جدول بود فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود روند با سطح اطمینان مورد نظر رد می‌شود. در صورت وجود روند مقادیر Z مثبت نشان‌دهنده روند مثبت و مقادیر منفی Z نشان‌دهنده روند منفی می‌باشد.

۳- نتایج

نمودارهای مربوط به شکل ۴ (الف تا ز) پراشیدگی ضرایب خاموشی ایستگاه‌های منتخب را در طی دوره مطالعاتی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴، نمودار الف، در ایستگاه بابلسر ضرایب خاموشی از ابتدای دوره مورد مطالعه تا سال ۱۹۵۴ دارای پراشیدگی افزایشی بین ۰/۱ تا ۰/۲ بوده است؛ اما از سال ۱۹۵۴ تا ۱۹۵۸ پراشیدگی تا مقدار ۰/۱ رسیده است. در سال‌های ۱۹۵۸ و ۱۹۵۹ پراشیدگی به صورت افزایشی تا مقدار ۰/۲ قابل مشاهده است. سپس از سال ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ پراشیدگی با مقدار بسیار جزئی (۰/۲) به طور متناوب به صورت کاهش و افزایش می‌باشد. از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۵ ضرایب خاموشی شرایط بدون پراشیدگی را با مقدار ۰/۲ ثبت شده است. از سال ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۴ ضرایب خاموشی دارای پراشیدگی افزایشی بین ۰/۲ تا ۰/۴ بوده است. از ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ ضرایب خاموشی شرایط بدون پراشیدگی را با مقدار ۰/۴ را نشان می‌دهد. از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ ضرایب خاموشی دومتبه پراشیدگی کاهش و افزایشی را بین مقادیر ۰/۴ تا ۰/۲۵ را تجربه کرده است. از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ ضرایب خاموشی شرایط ثابتی را با مقدار ۰/۴ را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۱۲ پراشیدگی ضرایب خاموشی به صورت کاهش (۰/۳) بوده است. از سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ پراشیدگی افزایشی را بین ۰/۳ تا ۰/۴ نشان می‌دهد. در نهایت در پایان دوره مورد مطالعه از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ ضرایب خاموشی پراشیدگی کاهشی شدیدی بین ۰/۴ تا ۰/۲ را تجربه کرده‌اند. خروجی نمودار الف (شکل ۴) مربوط به ایستگاه بابلسر به خوبی نشان می‌دهد که در کل دوره مورد مطالعه ضرایب خاموشی، روند افزایشی را داشته است و دامنه ضرایب خاموشی پراشیدگی بین ۰/۱ تا ۰/۴ بوده است. به طوری که در ابتدای دوره مورد مطالعه پراشیدگی به صورت افزایشی (۰/۱) و در انتهای دوره مورد مطالعه پراشیدگی به صورت کاهش تا ۰/۲ را نشان می‌دهد. در اواسط دوره مورد مطالعه پراشیدگی تا مقدار ۰/۴ نیز رسیده است. بر اساس خروجی نمودار ب شکل ۴، در ایستگاه رامسر از ابتدای دوره مورد مطالعه پراشیدگی ضرایب خاموشی (تا مقدار ۰/۴) در طی سال‌های ۱۹۵۵ و ۱۹۵۶ ثابت بوده است. در بین سال‌های مورد بررسی، سال ۱۹۵۷ ضرایب خاموشی کاهش چشمگیری را با مقدار ۰/۲۳ داشته است. سپس ضرایب خاموشی در سال ۱۹۵۸ با مقدار ۰/۳۳

که در آن، فاصله X برابر با میدان دید، bext ضریب خاموشی جو و مقدار Cratio بیانگر نسبت شدت نور پس‌زمینه و جسم است؛ بنابراین ضریب خاموشی با استفاده از رابطه زیر به نام رابطه کشمادیر، بر اساس میدان دید افقی (V) برآورد می‌شود:

$$Bext = \frac{3.912}{V}$$

در رابطه (۲)، کمیت‌های V و bext دارای واحد مشابه هستند. در این رابطه فرض شده است که ناظر قابلیت آشکارسازی تضاد روشنایی ۰/۰۲ را دارد که این قابلیت برای ناظری با دید عادی امکان پذیر است (میدلتون، ۱۹۵۲). در جو پاک، محدوده دید بین ۱۴۵ تا ۲۲۵ کیلومتر است. در جو معمولی میدان دید بین ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتر متغیر و در مناطق آلوده این مقدار کمتر است (Woo, ۲۰۱۲).

• آزمون نا پارامتریک من-کندال

آزمون من-کندال یکی از پراهمیت‌ترین روش نا پارامتریک است به عبارت دیگر یک تحلیل روند سری‌های زمانی به حساب می‌آید (زینالی و همکاران، ۱۴۰۱). این آزمون ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۷۵ بسط و توسعه یافت. این روش به طور گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های زمانی اقلیم‌شناسی و هیدرولوژیکی به کار گرفته می‌شود (Mavromatis & Stathis, ۲۰۱۱). از این روش به طور گسترده برای تشخیص روند آزمون‌های نا پارامتریک استفاده می‌شود (Guhathakurta et al, ۲۰۱۰). از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره کرد (ساری صراف و همکاران، ۱۳۹۴). اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شوند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (Turgay & Ercan, ۲۰۰۵). در این آزمون فرض H_0 داده‌ها از سری که مستقل و دارای توزیع یکسان می‌باشد، گرفته شده‌اند. آزمون من-کندال به صورت معادله‌های زیر می‌باشند (باقر پور و همکاران، ۱۳۹۵).

(۳)

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \operatorname{sgn}(X_j - X_i), \text{ Where } \operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} +1, & X > . \\ ., & X = . \\ -1, & X < . \end{cases}$$

که واریانس فرآیند از معادله (۴) تعیین می‌گردد.

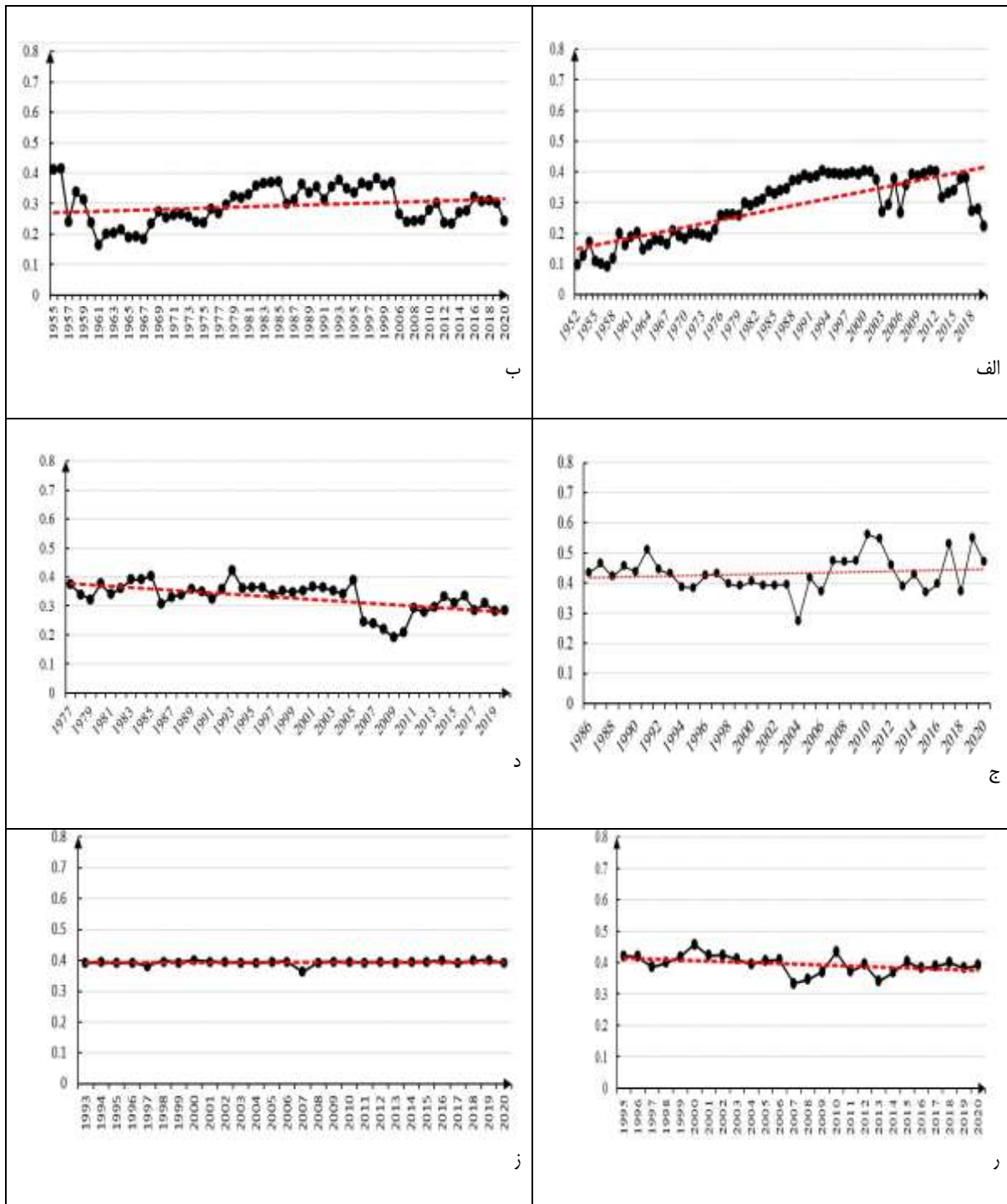
(۴)

$$Q = \frac{1}{18} [N(N-1)(2\sigma + 5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i - I)(2\sigma + 5)]$$

که رابطه فوق m تعداد دسته‌ها با داده‌های گروه‌دار و t_i تعداد داده‌های گروه‌دار در هر دسته m می‌باشد.

افزایش یافته است. از سال ۱۹۵۸ تا ۱۹۶۱ پراشیدگی به صورت کاهش بین مقادیر ۰/۳۳ تا ۰/۱۶ به چشم می‌خورد؛ اما تا سال ۱۹۶۹ پراشیدگی ضریب خاموشی بین مقادیر ۰/۱۶ تا ۰/۲۸ افزایش (با کاهش بسیار جزئی قابل چشم‌پوشی) داشته است. سپس از سال ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۵ ضریب خاموشی پراشیدگی کاهش (بین ۰/۲۸ تا ۰/۲۳) را تجربه کرده است. دوباره از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۵ پراشیدگی افزایشی بین ۰/۲۳ تا ۰/۳۸ (با کاهش بسیار جزئی در میانه دوره) ثبت شده است. از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۵ دامنه پراشیدگی بین ۰/۳ تا ۰/۳۸ با افزایش و کاهش پی‌درپی در نوسان است. از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ پراشیدگی کاهش بین ۰/۳۸ تا ۰/۲۳ بوده است. از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ دامنه پراشیدگی با افزایش و کاهش بین ۰/۲۳ تا ۰/۳ ثبت شده است. از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ پراشیدگی با مقدار ۰/۳ ثابت بوده است و در انتهای دوره مورد مطالعه پراشیدگی کاهش با مقدار ۰/۲۳ ثبت شده است. به طور کلی می‌توان بیان کرد که در ایستگاه رامسر ضریب خاموشی روند افزایشی داشته است. به طوری که در ابتدای دوره پراشیدگی ثابت با مقدار ۰/۴ و در انتهای دوره پراشیدگی کاهش با مقدار ۰/۲۳ بوده است. در کل دوره مورد مطالعه دامنه پراشیدگی بین بیشینه افزایشی ۰/۴ تا بیشینه کاهش ۰/۱۶ می‌باشد. نمودار ج شکل ۴ مربوط به ایستگاه آستارا نشان می‌دهد که دامنه پراشیدگی ضریب خاموشی از ابتدای دوره مورد مطالعه تا سال ۱۹۹۰ بین ۰/۴۱ تا ۰/۴۶ بوده است. در سال ۱۹۹۱ پراشیدگی با مقدار ۰/۵۱ افزایش یافته است. سپس از سال ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۵ پراشیدگی کاهش بین ۰/۵۱ تا ۰/۳۸ قابل مشاهده است. در سال‌های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ پراشیدگی افزایشی با مقدار ثابت ۰/۴۲ را نشان می‌دهد. سپس از ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳ شرایط تقریباً کاهش را نشان می‌دهد. بیشترین پراشیدگی کاهش در دوره مورد مطالعه در سال ۲۰۰۴ با مقدار ۰/۲۷ مشاهده شد. از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۶ ضریب خاموشی کاهش جزئی را داشته است. از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ پراشیدگی افزایشی بین مقادیر ۰/۳۸ تا ۰/۵۷ می‌باشد. بیشترین پراشیدگی افزایشی در کل دوره مورد مطالعه در سال ۲۰۱۰ با مقدار ۰/۵۷ مشاهده شد. دوباره از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ پراشیدگی کاهش (۰/۵۷ تا ۰/۴) بوده است. ضریب خاموشی با افزایش جزئی در سال ۲۰۱۴، در سال ۲۰۱۵ پراشیدگی کاهش را با مقدار ۰/۷۵ ثبت کرده است. از سال ۲۰۱۶ تا پایان دوره مورد مطالعه پراشیدگی به صورت افزایشی و کاهش بین ۰/۴ تا ۰/۵۵ مشاهده می‌شود. در ایستگاه آستارا در کل دوره مورد مطالعه ضریب خاموشی روند افزایشی را نشان می‌دهد. به طوری که در ابتدای دوره مورد مطالعه مقدار پراشیدگی ۰/۴۲ و در انتهای دوره مقدار پراشیدگی ۰/۴۶ را بوده است. در کل دوره مورد مطالعه دامنه ایستگاه آستارا پراشیدگی بین بیشینه کاهش ۰/۲۷ تا بیشینه افزایشی ۰/۵۷ تجربه کرده است. بر اساس نمودار د شکل ۴، در ایستگاه نوشهر از ابتدای دوره مورد مطالعه تا سال ۱۹۷۹ ضریب خاموشی پراشیدگی کاهش را با مقادیر بین ۰/۳۸ تا ۰/۳ تجربه کرده است. سپس از سال ۱۹۷۹ تا سال ۱۹۹۳ دامنه پراشیدگی بین ۰/۴ تا ۰/۳ با افزایش و کاهش پی‌درپی در نوسان بوده است. در بین سال‌های مورد مطالعه، سال ۱۹۹۳ بیشترین پراشیدگی افزایشی (با مقدار ۰/۴۲) را تجربه کرده است. از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۴ دامنه پراشیدگی بین ۰/۳۷ تا ۰/۳۳ با کاهش و افزایش بسیار

جزئی همراه بوده است. سال ۲۰۰۵ پراشیدگی همراه با افزایش (۰/۴) بوده است. بیشترین پراشیدگی کاهش در طی دوره مورد مطالعه در طول سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ با مقدار بین ۰/۴ تا ۰/۱۹ مشاهده شد. سپس از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ پراشیدگی افزایشی بین ۰/۲ تا ۰/۳ نشان داده شده است. از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۸ پراشیدگی ضریب خاموشی بین ۰/۳ تا ۰/۳۳ می‌باشد. در انتهای دوره مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ پراشیدگی شرایط ثابتی را با مقدار ۰/۳ نشان می‌دهد. در ایستگاه نوشهر در کل دوره مورد مطالعه ضریب خاموشی روند کاهش را داشته است. به این صورت که در ابتدای دوره مورد مطالعه مقدار پراشیدگی ۰/۳۸ و در انتهای دوره مورد مطالعه با مقدار ۰/۳ را نشان می‌دهد. همچنین در کل دوره مورد مطالعه دامنه پراشیدگی ضریب خاموشی بین بیشینه افزایشی ۰/۴۲ تا بیشینه کاهش ۰/۱۹ بوده است. با توجه به نمودار ر شکل ۴، در ایستگاه گنبد کاووس از ابتدای دوره مورد مطالعه تا سال ۱۹۹۶ ضریب خاموشی شرایط ثابت یا به عبارتی بدون پراشیدگی را با مقدار ۰/۴۲ را نشان می‌دهد؛ اما در سال ۱۹۹۷ ضریب خاموشی، کاهش بسیار جزئی به چشم می‌خورد که قابل چشم‌پوشی است. از سال ۱۹۹۷ تا سال ۲۰۰۰ پراشیدگی بین مقادیر ۰/۳۷ تا ۰/۴۷ افزایش یافته است؛ اما از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ پراشیدگی بین مقادیر ۰/۴۷ تا ۰/۴ با به صورت کاهش ثبت گردیده است. در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ پراشیدگی شرایط ثابتی را با مقدار ۰/۴ را نشان می‌دهد. در ایستگاه گنبد کاووس در طی دوره مطالعاتی بیشترین پراشیدگی کاهش در سال ۲۰۰۷ با مقادیر بین ۰/۴ تا ۰/۳۲ مشاهده شد. بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ ضریب خاموشی دومرتبه پراشیدگی کاهش و افزایشی را بین دامنه بیشینه ۰/۴۵ تا کمینه ۰/۳۲ را تجربه کرده است. از سال ۲۰۱۶ تا پایان دوره مورد مطالعه شرایط بدون پراشیدگی با مقدار ۰/۴ مشاهده شد. در ایستگاه گنبد کاووس در طی دوره مورد بررسی ضریب خاموشی بدون روند بوده است. به طوری که در ابتدای دوره مورد مطالعه میزان پراشیدگی ۰/۴۲ و در انتهای دوره مقدار آن ۰/۳۸ بوده است. البته باید توجه داشت که تغییرات بسیار جزئی و قابل چشم‌پوشی است و می‌توان شرایط پراشیدگی را ثابت در نظر گرفت. دامنه ضریب خاموشی در کل دوره مطالعاتی بین بیشینه افزایشی ۰/۴۷ تا بیشینه کاهش ۰/۳۲ بوده است. در ایستگاه مراوه‌تپه (نمودار ز شکل ۴)، در کل دوره مورد بررسی دامنه پراشیدگی ضریب خاموشی حول مقدار ۰/۴ نشان می‌دهد. به استثنای سال‌های ۲۰۰۷ و ۱۹۹۷ که کاهش پراشیدگی ضریب خاموشی به چشم می‌خورد. به طوری که در سال ۱۹۹۷ این کاهش قابل چشم‌پوشی می‌باشد؛ اما در سال ۲۰۰۷ هر چند ضریب خاموشی پراشیدگی کاهش جزئی را بین مقادیر ۰/۴ تا ۰/۳۷ نشان می‌دهد، اما در مقایسه با کل دوره مورد مطالعه چشمگیرتر است. به طور کلی در ایستگاه مراوه‌تپه ضریب خاموشی روند خاصی را نشان نمی‌دهد و به عبارتی ضریب خاموشی شرایط بدون روند را تجربه کرده است. در کل دوره مورد مطالعه دامنه پراشیدگی بین بیشینه افزایشی ۰/۴ تا بیشینه کاهش ۰/۳۷ ثبت شده است. قابل توجه است که تغییرات بسیار جزئی و قابل چشم‌پوشی است و می‌توان شرایط پراشیدگی را ثابت در نظر گرفت.



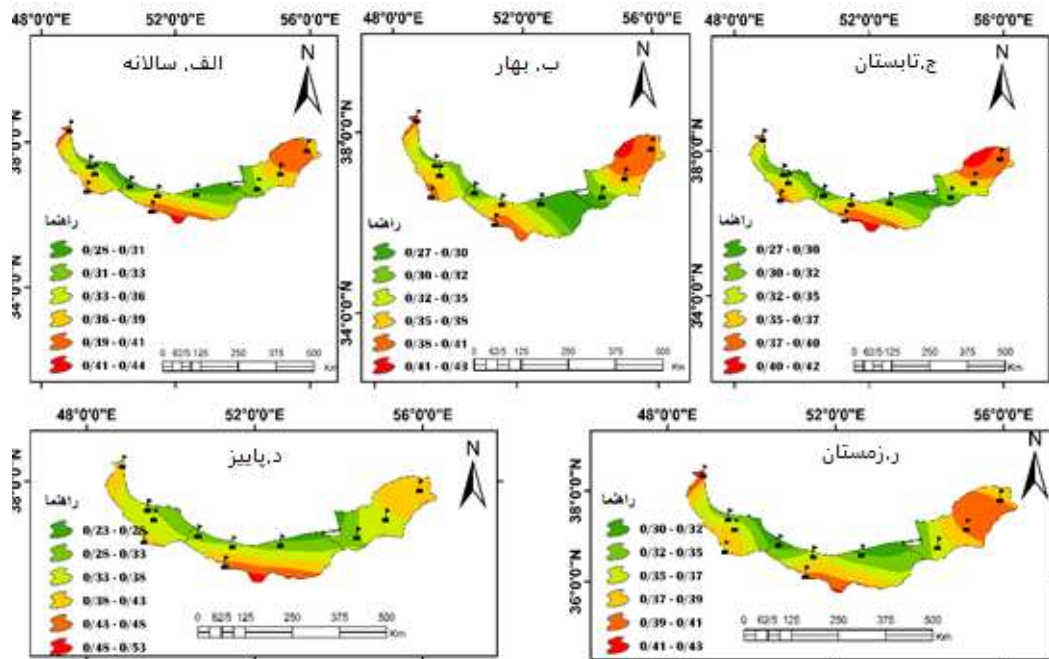
شکل ۲- نمودارهای پراشیدگی ضریب خاموشی ایستگاه‌های منتخب در طی دوره آماری مورد مطالعه ۲۰۲۰-۱۹۵۱. الف) بابلسر، ب) رامسر، ج) آستارا، د) نوشهر، ر) گنبدکاووس، ز) مراوه‌تپه.

شکل ۵ (الف تا ر) نقشه توزیع مکانی میانگین ضریب خاموشی در مقیاس‌های زمانی سالانه و فصلی در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. شکل ۵ نقشه الف)، پراکندگی مکانی میانگین سالانه ضریب خاموشی نشان می‌دهد که بیشینه ضریب خاموشی در قسمت‌های شمال غرب و جنوب منطقه متمرکز شده است. در حالی که کمینه آن در بخش‌های مرکزی نوار ساحلی قابل ملاحظه است. نقشه الف به خوبی نشان می‌دهد که از نوار ساحلی به سمت اطراف ضریب خاموشی افزایش یافته است. همچنین در قسمت شمال شرق منطقه افزایش نسبی ضریب خاموشی را نشان می‌دهد و در کل از نوار ساحلی به اطراف، ضریب خاموشی شرایط افزایشی را نشان می‌دهد. در بین ایستگاه‌ها، بیشینه و کمینه مقدار ضریب

۴۱/۰) و سیاه‌بیشه (۴۰/۰) بیشترین مقدار ضریب خاموشی و ایستگاه-های رامسر و بابلسر (۳۰/۰) کمترین مقدار ضریب خاموشی را تجربه کرده‌اند. پراکندگی مکانی ضریب خاموشی در فصل بهار شکل ۵ نقشه ب) نشان می‌دهد که بیشینه ضریب خاموشی در شمال غرب منطقه مورد مطالعه متمرکز شده است. در حالی که کمینه آن در بخش‌های شرقی منطقه متمایل به بخش مرکزی نوار ساحلی به چشم می‌خورد. همچنین شمال شرق منطقه نیز افزایش نسبی ضریب خاموشی را نشان می‌دهد و در کل از نوار ساحلی به اطراف، ضریب خاموشی شرایط افزایشی را نشان می‌دهد. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، ایستگاه‌های آستارا

نقشه د، کمینه ضریب خاموشی در بخش مرکزی نوار ساحلی مشاهده می‌شود. به طوری که از نوار ساحلی به اطراف ضریب خاموشی شرایط افزایشی را تجربه کرده است. در بین ایستگاه‌ها بالاترین مقدار ضریب خاموشی را ایستگاه سیاه بیشینه با اختلاف قابل توجه (۰/۴۴) بر خود اختصاص داده است در حالی که کمینه آن را ایستگاه‌های بابلسر (۰/۲۸) و رامسر (۰/۲۹) تجربه کرده‌اند. در فصل زمستان (شکل ۵ نقشه ر) توزیع مکانی ضریب خاموشی همانند فصل‌های بهار و تابستان، شمال غرب منطقه بیشینه ضریب خاموشی را نشان می‌دهد. همچنین شمال شرق و نواحی جنوبی نیمه غربی منطقه نیز افزایش نسبی ضریب خاموشی را نشان می‌دهند. مرکزیت کمینه ضریب خاموشی نیز در بخش مرکزی نوار ساحلی متمرکز شده است. از سمت نوار ساحلی به اطراف ضریب خاموشی گویای شرایط افزایشی می‌باشد. در بین ایستگاه‌ها، می‌توان ماکزیمم ضریب خاموشی را در ایستگاه آستارا با مقدار ۰/۴۲ و مینیمم ضریب خاموشی را در ایستگاه رامسر با مقدار ۰/۳۱ و سپس با اختلاف ناچیز در بابلسر با مقدار ۰/۳۲ مشاهده کرد.

خاموشی به ترتیب در ایستگاه‌های آستارا (۰/۴۲) و بابلسر (۰/۲۹) مشاهده شد. بر اساس شکل ۵ نقشه (ج) پراکندگی مکانی ضریب خاموشی در فصل تابستان می‌توان بیان کرد که علاوه بر شمال غرب منطقه پراکندگی مکانی بیشینه ضریب خاموشی در شمال شرق و بخش جنوبی نیمه غربی منطقه قابل مشاهده است. در حالی که بخش مرکزی نوار ساحلی به مانند فصل بهار، نمایانگر کمینه ضریب خاموشی می‌باشد و از بخش‌های بیرونی منطقه به سمت نوار ساحلی ضریب خاموشی کاهش یافته است. شکل حاضر به خوبی نشان می‌دهد که ایستگاه‌های مراوه تپه و سیاه‌بیشه و سپس ایستگاه‌های آستارا، گنبد کاووس و منجیل با اختلاف بسیار ناچیز به ترتیب با مقدار ۰/۳۹ و ۰/۳۸ بیشترین مقدار ضریب خاموشی را نشان می‌دهند و در مقابل ایستگاه رامسر (۰/۲۹) کمترین مقدار را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه د شکل ۵، پراکندگی مکانی ضریب خاموشی در فصل پاییز نشان می‌دهد که تمرکز بیشینه ضریب خاموشی در ناحیه جنوبی نیمه غربی منطقه متمایل به مرکز منطقه به چشم می‌خورد. همچنین در قسمت‌های شمال غرب و شمال شرق منطقه افزایش نسبی ضریب خاموشی را نشان می‌دهد. با دقت در



شکل ۳- نقشه توزیع مکانی سالانه و ماهانه ضریب خاموشی در سواحل جنوبی دریای خزر در طی دوره آماری مورد مطالعه ۲۰۲۰-۱۹۵۱. (الف مقیاس زمانی سالانه، ب (فصل بهار)، ج (فصل تابستان)، د (فصل پاییز)، ر (فصل زمستان)).

می‌رسد روند افزایشی و کاهش معنی‌دار ضریب خاموشی با تعداد جمعیت این منطقه ارتباط دارد. به این صورت که در شهرهای با تراکم جمعیت بیشتر روند افزایشی است. در حالی که در شهرهای با تراکم جمعیتی پایین روند کاهش مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه بین استفاده از وسایل نقلیه و آلودگی هوا با ضریب خاموشی رابطه عکس مشاهده شد. به عبارتی با افزایش آلودگی هوا، دید افقی کاهش یافته و هم‌زمان با آن ضریب خاموشی افزایش می‌یابد و بالعکس. بر اساس نتایج آماره Q یا شیب روند ضریب خاموشی می‌توان بیان کرد که بیشترین شیب روند افزایشی در بازه‌های زمانی سالانه، بهار و پاییز در ایستگاه‌های بابلسر و گرگان، در بازه زمانی زمستان در ایستگاه‌های بابلسر، گرگان و رشت و در فصل تابستان فقط در ایستگاه بابلسر مشاهده شد. بیشینه شیب روند

نتایج ضریب خاموشی آماره Z آزمون من کندال به همراه آماره Q برای تک‌تک ایستگاه‌ها برای مقیاس‌های زمانی سالانه و فصلی در جدول ۲ ارائه شده است. خروجی آماره Z نشان می‌دهد که ضریب خاموشی در هر سه حالت روند افزایشی و کاهش معنی‌دار و عدم معنی‌داری روند برای مقیاس سالانه، بهار و تابستان را برخوردار می‌باشد. در حالی که در فصل‌های پاییز و زمستان تنها شرایط افزایشی و کاهش معنی‌دار را نشان می‌دهد. در بین پارامترهای ایستگاه‌های مورد بررسی در مقیاس سالانه، ایستگاه‌های رامسر، ساری، گنبد کاووس و سیاه‌بیشه عدم وجود روند مشاهده می‌شود. روند افزایشی معنی‌دار را ایستگاه‌های بابلسر، بندرانزلی، رشت و گرگان و روند کاهش معنی‌دار را ایستگاه نوشهر در سطح ۹۹/۹ درصد را در تمام بازه‌های زمانی تجربه کرده‌اند. به نظر

خاموشی معنی دار بوده است؛ اما در این میان ضریب خاموشی در فصل-های زمستان و پاییز قدری متفاوت تر از فصل های بهار و تابستان است.

کاهش ضریب خاموشی در مقیاس های زمانی سالانه، بهار و تابستان را ایستگاه ساری با مقدار ۰/۰۰۵- کیلومتر در سال را تجربه کرده است. جدول ۲ به خوبی نشان می دهد که در اکثر مقیاس های زمانی روند ضریب

جدول ۲- نتایج خروجی آماره Z من - کندال و آماره Q ضریب خاموشی به تفکیک ایستگاه و مقیاس های زمانی سالانه- فصلی طی دوره مطالعاتی

ایستگاه	سالانه		زمستان		بهار		تابستان		پاییز	
	Z	Q	Z	Q	Z	Q	Z	Q	Z	Q
آستارا	۰/۴۰	۰	۰/۷۷	۰/۰۰۱	۰/۸۰	۰/۰۰۱	۰/۶۵	۰/۰۰۰	۰/۸۸	۰/۰۰۱
بابلسر	۰/۶۸***	۰	۰/۸۶***	۰/۰۰۴	۰/۵۸***	۰/۰۰۴	۰/۴۶***	۰/۰۰۴	۰/۶۶***	۰/۰۰۴
بندر انزلی	۰/۲۲***	۰	۰/۳۹***	۰/۰۰۱	۰/۰۸***	۰/۰۰۱	۰/۴۰***	۰/۰۰۲	۰/۰۴***	۰/۰۰۱
رامسر	۰/۹۵+	۰	۰/۴۲*	۰/۰۰۱	۰/۶۲	۰/۰۰۱	۰/۲۹*	۰/۰۰۱	۰/۷۲**	۰/۰۰۱
رشت	۰/۲۴***	۰	۰/۶۳***	۰/۰۰۴	۰/۳۷***	۰/۰۰۳	۰/۳۶***	۰/۰۰۳	۰/۰۶***	۰/۰۰۳
ساری	۰/۷۴+	۰	۰/۶۴	۰/۰۰۴	۰/۵۹**	۰/۰۰۵	۰/۰۶*	۰/۰۰۵	۰/۳۲	۰/۰۰۲
سیاهبیشه	۰/۱۷*	۰	۰/۳۲	۰/۰۰۰	۰/۰۱*	۰/۰۰۰	۰/۹۰+	۰/۰۰۰	۰/۹۰	۰/۰۰۰
فراخیل	۰/۸۱*	۰	۰/۵۴***	۰/۰۰۳	۰/۸۴**	۰/۰۰۱	۰/۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۲**	۰/۰۰۲
گرگان	۰/۱۱***	۰	۰/۸۲***	۰/۰۰۴	۰/۷۴***	۰/۰۰۴	۰/۴۰***	۰/۰۰۳	۰/۴۲***	۰/۰۰۴
گنبدکاووس	۰/۴۲*	۰	۰/۱۲*	۰/۰۰۲	۰/۹۰+	۰/۰۰۱	۰/۳۱***	۰/۰۰۱	۰/۶۰**	۰/۰۰۲
مراوه تپه	۰/۳۷	۰	۰/۲۶	۰/۰۰۰	۰/۲۹	۰/۰۰۰	۰/۴۷	۰/۰۰۰	۰/۳۶	۰/۰۰۰
منجیل	۰/۵۴	۰	۰/۷۳	۰/۰۰۰	۰/۹۲	۰/۰۰۰	۰/۰۶	۰/۰۰۰	۰/۵۲	۰/۰۰۰
نوشهر	۰/۶۳***	۰	۰/۵۷***	۰/۰۰۲	۰/۴۹***	۰/۰۰۲	۰/۵۷***	۰/۰۰۲	۰/۸۱***	۰/۰۰۲

به عنوان سومین عامل مؤثر، به طور متوسط ۹/۹۱٪ در خرداد کاهش دید افقی در شمال کشور تأثیر داشته است. در بین ایستگاه های مورد مطالعه، بیشترین درصد فراوانی پدیده مه-دود در ایستگاه های گنبدکاووس و منجیل به ترتیب با مقادیر ۳۷/۳ و ۳۱/۳٪ مشخص شد. در حالی که کمینه آن در ایستگاه سیاهبیشه با مقدار ۰/۵٪ تعیین شد. بیشتر بودن درصد فراوانی پدیده مه دود در گنبدکاووس و منجیل و سپس در آستارا با بیشتر بودن تعداد جمعیت در این ایستگاه ها، استفاده از وسایل نقلیه و وجود شهرک های صنعتی که عامل ورود انواع آلاینده به اتمسفر هستند، ارتباط تنگاتنگی دارد. در مقابل درصد فراوانی کم مه-دود در سیاهبیشه با جمعیت کم و عدم وجود صنایع آلاینده مطابقت دارد. توزیع مکانی پدیده مه-دود (شکل ۴، ج) نشان می دهد که شرق منطقه از درصد فراوانی بیشتری برخوردار می باشد. هرچند که در غرب منطقه نیز درصد فراوانی پدیده مه دود قابل توجه است. کمینه درصد فراوانی مه-دود در کرانه های جنوبی دریای خزر قابل مشاهده است. در بین پدیده های تأثیرگذار بر کاهش دید افقی، پدیده گردوغبار با فراوانی ۰/۸۳٪ کمترین تأثیر را در مقایسه با سایر عوامل در منطقه داشته است. در بین ایستگاه ها، بیشترین درصد فراوانی در ایستگاه منجیل با مقدار ۴/۸٪ و کمینه آن با مقدار صفر که به عبارتی بیانگر عدم وجود گردوغبار بوده است، در ایستگاه های رشت، ساری، سیاهبیشه و قراخیل مشاهده شد. در حالت کلی می توان بیان کرد که به دلیل جنگلی بودن و پوشش گیاهی مناسب در منطقه مورد مطالعه امکان رخداد پدیده توفان گردوغبار محلی بسیار ناچیز است. همچنین به خاطر محصور بودن منطقه مطالعاتی بین کوهستان و دریا پدیده گردوغبار

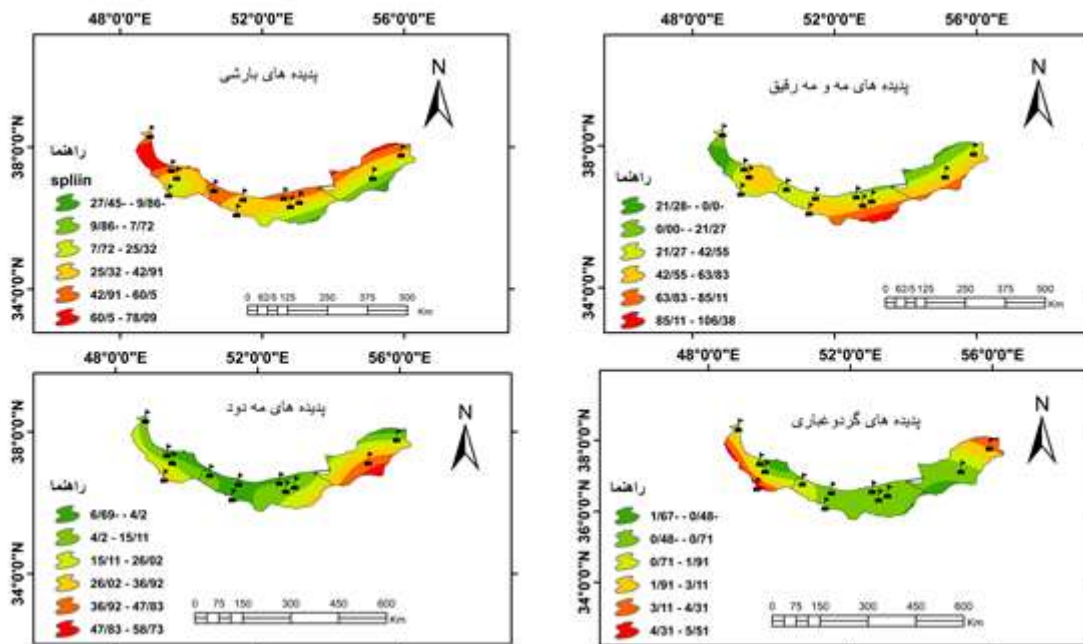
جدول ۳ درصد فراوانی عوامل مؤثر در کاهش پدیده دید افقی که شامل پدیده بارشی، پدیده مه و مه رقیق، پدیده مه دود و پدیده گردوغبار هستند را به تفکیک ایستگاه نشان می دهد. با توجه به مقادیر جدول مذکور می توان اذعان کرد که در بین پدیده های مؤثر بر کاهش دید افقی، پدیده بارشی با ۷۵/۳۹ درصد بیشترین درصد فراوانی را داشته است. در بین ایستگاه ها، با بیش از ۵۰ درصد تأثیر پدیده بارشی بر دید افقی را ایستگاه های بابلسر، بندرانزلی و رامسر داشته اند. بررسی ها نشان داد که بیشترین و کمترین تأثیر درصد فراوانی پدیده بارشی به ترتیب در ایستگاه های بندرانزلی (۵۷/۹٪) و گنبدکاووس (۱۷/۱٪) مشاهده شد. از نظر منطقه ای (شکل ۴، الف)، بیشترین فراوانی پدیده بارشی در نوار ساحلی شمال منطقه مطالعاتی یعنی نواحی واقع در مرز خشکی و دریا مشاهده می شود. به عبارتی با دور شدن از نواحی ساحلی، فراوانی پدیده بارشی کاهش می یابد به دنبال آن نیز تأثیر آن در کاهش دید افقی کمتر می شود. پدیده های مه و مه رقیق با درصد فراوانی ۳۶ دومین عامل مؤثر بر کاهش دید افقی شناسایی شد. در بین ایستگاه ها بیشترین و کمترین تأثیر پدیده های مه و مه رقیق بر کاهش دید افقی را به ترتیب ایستگاه های رشت (۵۳/۲٪) و بابلسر (۱۷/۹۹٪) تجربه کرده اند. پراکنندگی مکانی (شکل ۴، ب) عامل مه و مه رقیق در نیمه غربی منطقه فراوانی بیشتری را نسبت به نیمه شرقی منطقه برخوردار می باشد. نقش ناهمواری ها و نزدیک شدن به مناطق کوهستانی و موقعیت ایستگاه های واقع در غرب منطقه (که بیشتر به صورت محصور بین ناهمواری ها قرار دارند) در وقوع پدیده مه و مه رقیق بی تأثیر نبوده است. پدیده مه-دود

گم شده). در بین ایستگاه‌ها، ایستگاه بابلسر (۲۴/۱) بیشترین درصد داده گم شده داشته است.

انتقال یافته از دیگر مناطق به ندرت اتفاق می‌افتد. باید اشاره کرد که در بین پدیده‌های مؤثر بر دید افقی، عواملی که دید افقی پایین‌تر از ۱۰ کیلومتر بودند، ۱۳/۴۸٪ موارد پدیده هواشناسی گزارش نشده است (داده‌ی

جدول ۳- درصد فراوانی پدیده‌های مؤثر بر کاهش دید افقی به تفکیک ایستگاه‌ها در طی دوره مطالعاتی ۱۹۵۱-۲۰۲۰

ردیف	ایستگاه‌ها	پدیده‌های بارشی	پدیده‌های مه - مه رقیق	پدیده‌های مه دود	پدیده‌های گردوغباری	داده‌های گم شده
۱	آستارا	۳۶/۳	۴۵/۷	۱۱	۰/۱	۶/۹
۲	بابلسر	۵۵/۸	۱۷/۹	۲/۱	۰/۱	۲۴/۱
۳	بندر انزلی	۵۷/۹	۲۷/۹	۱/۱	۰/۲	۱۲/۹
۴	رامسر	۵۰/۰۸	۳۲/۴	۲/۵	۰/۶	۱۴/۴۲
۵	رشت	۳۲/۷	۵۳/۲	۴/۶	۰	۷/۵
۶	ساری	۴۳/۲	۳۴/۷	۷/۷	۰	۱۴/۴
۷	سیاه‌پیشه	۳۴/۷	۴۷/۷	۰/۵	۰	۱۷/۱
۸	قراخیل	۳۷/۱	۴۲/۵	۸/۵	۰	۱۱/۹
۹	گنبدکاووس	۱۷/۱	۴۸/۱	۳۷/۳	۰/۴	۷/۱
۱۰	مراوه‌تپه	۴۴/۴	۲۹/۳	۷/۴	۳/۷	۱۵/۲
۱۱	منجیل	۲۵/۷	۲۸	۳۱/۳	۴/۸	۱۰/۲
۱۲	نوشهر	۴۲/۱	۳۴/۷	۳	۰/۱	۲۰/۱
۱۳	بیشینه درصد فراوانی	۷۵/۳۹	۳۶	۹/۹۱	۰/۸۳	-



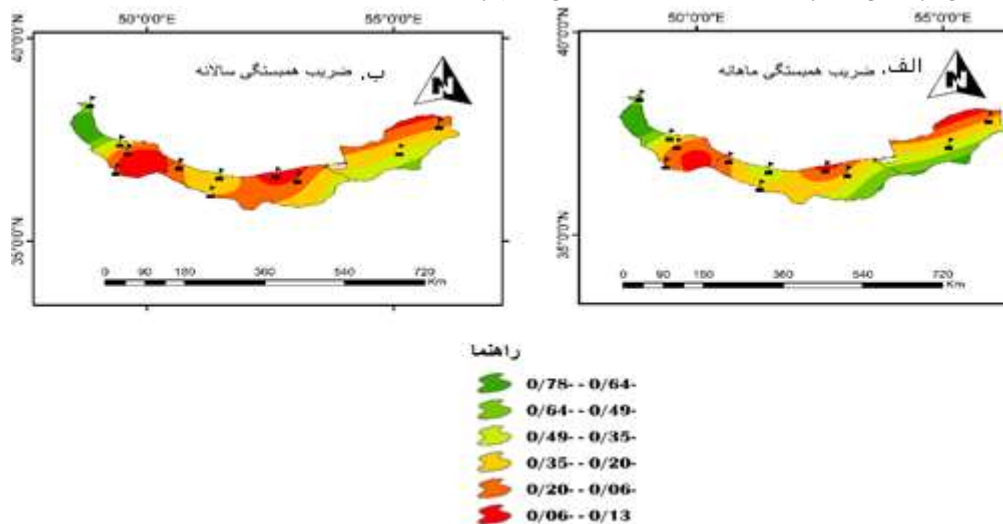
شکل ۴- نقشه توزیع مکانی پدیده‌ها در سواحل جنوبی دریای خزر در طی دوره آماری مورد مطالعه ۱۹۵۱-۲۰۲۰. (الف) (پدیده‌های بارشی)، ب (پدیده‌های مه و مه رقیق)، ج (پدیده‌های گردوغباری)، د (پدیده‌های مه دود).

رابطه معکوس بین رطوبت نسبی و دید افقی است. در منطقه مورد مطالعه و در بین ایستگاه‌ها در هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه، بیشترین ضریب همبستگی منفی را در ایستگاه آستارا با مقدار ۰/۴۷- (در شمال غرب منطقه) مشخص شد؛ که نشان از وجود رابطه معکوس قوی بین

شکل ۵ (الف-ب) پراکنده‌گی مکانی ضریب خاموشی بین رطوبت نسبی و دید افقی در مقیاس زمانی تمام ماه‌ها (نقشه الف) و سالانه (نقشه ب) را نشان می‌دهد. از خروجی نقشه (الف) سالانه چنین می‌توان استنباط کرد که در منطقه ضریب همبستگی منفی بوده است. به عبارتی بیانگر وجود

فاصله بین دریا و کوهستان به خصوص در نواحی غربی منجر به انباشت و فرونشست بیشتر رطوبت دریا در نیمه غربی منطقه شده در نتیجه دید افقی کاهش پیدا می کند. در مقابل هر اندازه که فاصله بین ارتفاعات و دریای خزر در نیمه شرقی منطقه بیشتر می شود، رطوبت نسبی انباشته شده حاصل از تبخیر آب دریا، فرصت حرکت به سمت ارتفاعات را پیدا می کند در نتیجه رابطه ی معکوس بین رطوبت نسبی و دید افقی نسبتاً کاهش می یابد. جهت وزش باد نیز در افزایش یا کاهش دید افقی تأثیر دارد. به طوری که اگر جهت وزش باد از دریا به سمت ارتفاعات باشد با انباشته شدن هر چه بیشتر رطوبت نسبی منجر به کاهش دید افقی در منطقه محصور بین دریا و کوهستان می شود. همچنین در فصل زمستان، اواخر پاییز و اوایل بهار به دلیل فعالیت بیشتر سامانه های جوی و شرایط آب و هوایی متغیر در این ایام و به دنبال آن افزایش رطوبت نسبی در منطقه، منجر به کاهش دید افقی می شود. در دوره هایی که هوا سرد و میانگین دما پایین می باشد، رطوبت نسبی افزایش می یابد و هم زمان با آن فراوانی وقوع مه و مه دود نیز در منطقه بیشتر می شود و در نتیجه باعث کاهش دید افقی می شود.

رطوبت نسبی و دید افقی است. در حالی که کمترین ضریب همبستگی منفی در مقیاس سالانه در ایستگاه ساری تقریباً در مرکز منطقه با مقدار $-0/07$ و در مقیاس ماهانه در ایستگاه منجیل در جنوب غرب منطقه با مقدار $-0/11$ مشخص گردید. نقشه ی الف به خوبی نشان می دهد که در مقیاس سالانه مقدار ضریب همبستگی ایستگاه های آستارا، بندرانزلی، نوشهر، گنبد کاووس و سیاه بیشه بین مقادیر $-0/47$ تا $-0/23$ است و در مقیاس تمام ماهها مقدار ضریب همبستگی بین مقادیر $-0/47$ تا $-0/25$ است. نتایج به خوبی وجود رابطه معکوس نسبتاً قوی را بین رطوبت نسبی و دید افقی تأیید می کنند، هر چند که در بقیه ایستگاه ها نیز رابطه معکوس بین دو متغیر برقرار است. پراکندگی مکانی ضریب همبستگی (شکل ۶ الف-ب) در هر دو مقیاس سالانه و ماهانه نشان می دهد که بیشترین ضریب همبستگی در شمال غرب منطقه متمرکز شده است. همچنین در هر دو مقیاس ماهانه و سالانه شدت رابطه معکوس بین رطوبت نسبی با دیدی افقی از سمت نیمه غربی منطقه به سمت نیمه شرقی منطقه کاهش می یابد؛ که دلیل آن را می توان به فاصله محدود کرانه های غربی خزر از دریای خزر نسبت به کرانه های شرقی خزر و همچنین محصور بودن منطقه مابین کوهستان البرز و دریای خزر اشاره کرد. به عبارتی با کم بود



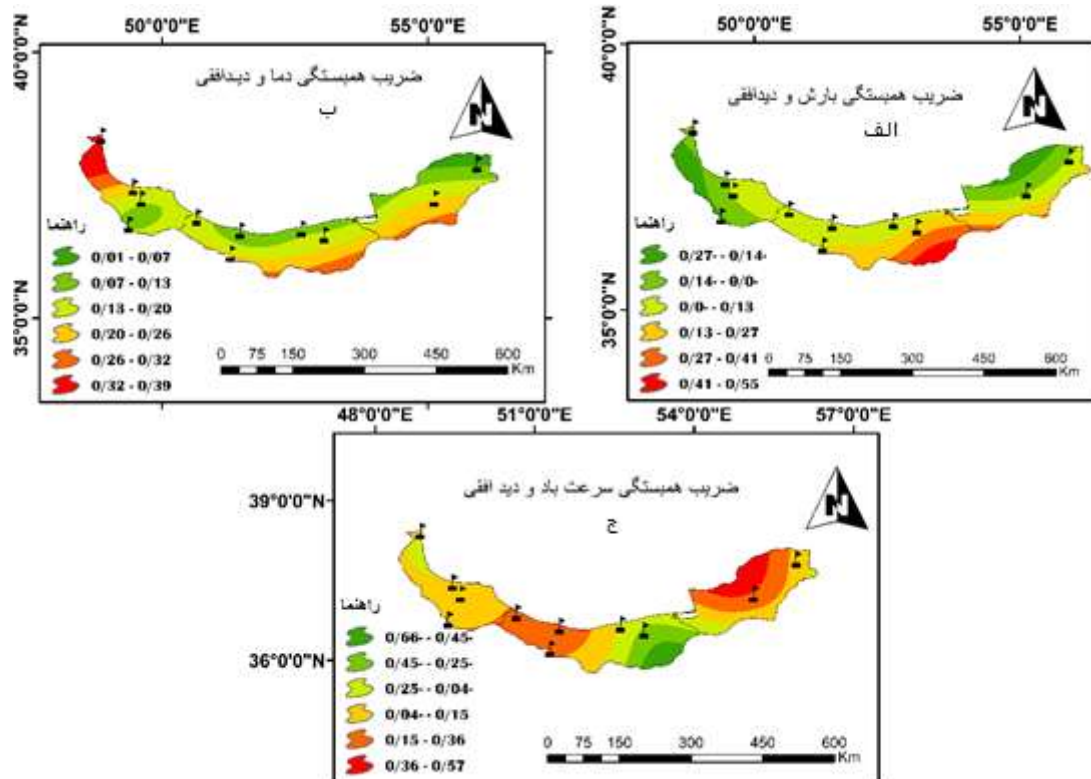
شکل ۵- توزیع مکانی ضریب همبستگی بین رطوبت نسبی و دید افقی برای مقیاس های زمانی ماهانه (الف) و سالانه (ب) در طی دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۵۱.

تأثیر کمتری بر دید افقی دارند اما بارش های شدید می توانند دید افقی را حتی تا ۵۰۰ متر کاهش دهند. در بین ایستگاه های مورد مطالعه، در ایستگاه های آستارا، بندرانزلی، گنبد کاووس، مراوه تپه و منجیل بین دو متغیر دید افقی و بارش همبستگی معکوس برقرار است که مقدار همبستگی معکوس در ایستگاه های مذکور بین $-0/15$ تا $-0/12$ است و بیشترین و کمترین همبستگی معکوس به ترتیب در ایستگاه های منجیل ($-0/15$) و مراوه تپه ($-0/12$) در سطح معنی داری ۹۹ درصد مشخص شد. در نقطه مقابل، در ایستگاه های بابلسر، رامسر، رشت، ساری، سیاه بیشه و نوشهر بین پارامترهای دید افقی و بارش همبستگی مستقیم برقرار است. بیشترین و کمترین همبستگی مستقیم نیز در ایستگاه های ساری و بابلسر به ترتیب با مقادیر $0/17$ و $0/12$ در سطح معنی داری ۹۹ درصد مشخص گردید. بر اساس نقشه (ب) شکل ۷، ضریب همبستگی (بین دید افقی و

شکل ۶ الف تا ج) توزیع مکانی ضریب همبستگی بین پارامترهای اقلیمی (بارش، دما و سرعت باد) را در منطقه نشان می دهد. طبق شکل ۷ نقشه الف بین دو متغیر مذکور هم رابطه مستقیم و هم رابطه معکوس برقرار است. بررسی سطح معنی داری ضریب همبستگی دید افقی و بارش نشان داد که در ۲۷ درصد از مساحت منطقه همبستگی بین دو متغیر دید افقی و بارش معنی دار می باشد. بررسی پراکندگی مکانی ضریب همبستگی بین دید افقی و بارش در منطقه مطالعاتی نشان می دهد که به استثنای مناطق کوچک در شمال غرب و شمال شرق منطقه (که همبستگی معکوس دارند)؛ در سایر مناطق همبستگی مستقیم برقرار است. به عبارت دیگر، پراکندگی مکانی همبستگی از مستقیم به معکوس؛ از سمت جنوب به شمال منطقه نمایان است. همچنین مقدار کاهش دید در زمان بارش به اندازه قطرات و شدت بارش بستگی دارد. به عبارتی بارش های ملایم

از مساحت منطقه را در برمی‌گیرد. بیشترین همبستگی مثبت در شمال شرق منطقه مشاهده شد. نکته مهمی که باید در نظر گرفت این است که مناطقی که فاقد پوشش گیاهی هستند، جریان باد باعث حمل ذرات معلق موجود در هوا می‌شود در نتیجه منجر به کاهش دید افقی می‌شود. همچنین در نواحی نزدیک دریا با توجه به جهت جریان باد می‌تواند منجر به جابجایی مه از روی دریا به ساحل و یا عقب‌نشینی مه از ساحل به روی دریا شود. در نتیجه با افزایش مه غلیظ در منطقه می‌تواند منجر به کاهش دید افقی گردد. بررسی همبستگی بین دید افقی و سرعت باد نشان داد که در بین ایستگاه‌ها هر دو همبستگی مستقیم و معکوس برقرار است. مقدار همبستگی مستقیم بین ۰/۳۴ در گنبد کاووس تا ۰/۰۰۱ در رشت در نوسان می‌باشد. همچنین مقدار همبستگی معکوس بین ۰/۲۸- در ساری تا ۰/۰۸- در بابلس گزارش شد. لازم به ذکر است که همبستگی معنی‌دار ۵۴ درصد از مساحت منطقه را در برمی‌گیرد. سطح معنی‌داری ۹۹ درصد در ایستگاه‌های رامسر، ساری، سیاه‌بیشه، گنبد کاووس و نوشهر مشاهده شد. سطح معنی‌داری ۹۵ درصد در ایستگاه منجیل مشخص شد.

دما) در شمال شرق منطقه از کمترین مقدار برخوردار می‌باشد. به طوری که با نزدیک شدن به نوار ساحلی مقادیر همبستگی کاهش می‌یابد. با توجه به نقشه (ب) می‌توان بیان کرد که در حالت کلی پراکندگی مکانی مقادیر ضریب همبستگی از سمت شمال غرب به شمال شرق و همچنین از سمت جنوب به سمت شمال یعنی نوار ساحلی کاهش می‌یابد. تحلیل مقادیر ضریب همبستگی بین دید افقی و دما نشان داد که در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بین دید افقی و دما رابطه مستقیم وجود دارد و مقادیر ضریب همبستگی مثبت می‌باشد. بدین معنا که با افزایش دما دید افقی نیز افزایش می‌یابد. در ۷۲ درصد از مساحت منطقه همبستگی دید افقی و دما در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. در بین ایستگاه‌ها، بیشترین همبستگی بین دید افقی و دما در ایستگاه آستارا با مقدار ۰/۳۸ مشخص شد. در مقابل همبستگی غیر معنی‌دار نیز در ایستگاه‌های مراوه‌تپه و نوشهر به ترتیب با ضرایب ۰/۰۶۴ و ۰/۰۷۷ مشخص گردید. بر اساس شکل ۷ نقشه (ج)، همبستگی معکوس بین دید افقی و سرعت باد در شمال غرب و نیمه شمالی مرکز منطقه برقرار است. به طوری که همبستگی معکوس ۳۶ درصد



شکل ۶- نقشه توزیع مکانی ضریب همبستگی بین دید افقی با پارامترهای اقلیمی بارش (الف)، دما (ب) و سرعت باد (ج) در مقیاس زمانی سالانه.

بندرانزلی، بابلس، رشت، گرگان و نوشهر معنی‌داری روند را در تمام بازده-های زمانی در سطح ۹۹/۹ درصد را تجربه کرده‌اند. از تحلیل‌های مربوط به روند ضریب خاموشی می‌توان چنین استنباط کرد که روند افزایشی و کاهش معنی‌دار ضریب خاموشی با تراکم جمعیت، استفاده از وسایل نقلیه و به دنبال آن آلودگی هوا در منطقه ارتباط مستقیم وجود دارد. همچنین تحلیل‌های مربوط به شیب روند نشان داد که در تمام مقیاس‌های زمانی، ایستگاه بابلس شیب روند افزایشی و ایستگاه ساری شیب روند کاهش را تجربه کرده‌اند. از بین مهم‌ترین پدیده‌های مؤثر بر کاهش دید افقی به ترتیب پدیده‌های بارشی (۳۹/۷۵)، مه و مه رقیق (۳۶)، مه-دود (۹/۹۱) و گردوغبار (۰/۸۳) بیشترین درصد فراوانی را داشتند. از نظر پراکندگی

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به بررسی ویژگی‌های دید افقی در سواحل جنوبی دریای خزر در بازه زمانی ۲۰۲۰-۱۹۵۱ پرداخته شد. نتایج بررسی پراشیدگی ضریب خاموشی در ۱۳ ایستگاه منتخب نشان داد که بیشترین اختلاف در پراشیدگی ضریب خاموشی در ایستگاه بابلس با مقادیر بین ۰/۴ تا ۰/۱ و کمترین اختلاف در ایستگاه مراوه‌تپه با مقادیر بین ۰/۴ تا ۰/۳۷ مشاهده شد. نتایج آماره من-کندل ضریب خاموشی نشان داد که در فصل‌های پاییز و زمستان روند ضریب خاموشی کاهش (افزایشی) معنی‌دار است؛ اما در مابقی مقیاس‌های زمانی عدم وجود روند مشاهده شد. بررسی‌های مربوط به روند ضریب خاموشی در ایستگاه‌ها مشخص شد که ایستگاه‌های

مکانی، بیشترین فراوانی پدیده‌های بارشی و مه و مه رقیق به ترتیب در نوار ساحلی شمال و نیمه غربی منطقه مشاهده است. درحالی که بیشترین درصد فراوانی مه-دود در شرق منطقه مشاهده شد. در حالت کلی می‌توان بیان کرد که به دلیل جنگلی بودن و پوشش گیاهی مناسب در منطقه امکان رخداد پدیده توفان گردوغبار محلی بسیار ناچیز است. تحلیل‌های مربوط به ضریب همبستگی بین دید افقی و رطوبت نسبی در ایستگاه‌های منتخب برای هر دو مقیاس ماهانه و سالانه نشان داد که در بین ایستگاه‌ها، ایستگاه بابلسر رابطه مستقیمی بین دید افقی و رطوبت نسبی دارد. درحالی که در بقیه ایستگاه‌ها رابطه معکوس برقرار است. در این میان شدیدترین رابطه معکوس در ایستگاه آستارا با مقدار ۰/۴۷- شناسایی شد. پراکندگی مکانی رابطه معکوس در نیمه غربی منطقه نسبت به نیمه شرقی شدت بیشتری را داشته است. بررسی‌های مربوط به همبستگی بین پارامترهای اقلیمی با دید افقی در منطقه نشان داد که در بین پارامترهای اقلیمی، دید افقی با دما رابطه مستقیم و با بارش و سرعت هر دو رابطه

مستقیم و معکوس را دارد. تحلیل مقادیر ضریب همبستگی بین دید افقی و دما نشان داد که در ۷۲ درصد از مساحت منطقه همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. در بین ایستگاه‌ها، بیشترین همبستگی بین دید افقی و دما در ایستگاه آستارا با مقدار ۰/۳۸ مشخص شد. در مقابل همبستگی غیر معنی‌دار نیز در ایستگاه‌های مراوه‌تپه و نوشهر به ترتیب با ضرایب ۰/۰۶۴ و ۰/۰۷۷ مشخص گردید. بررسی سطح معنی‌داری ضریب همبستگی دید افقی و بارش نشان داد که در ۲۷ درصد از مساحت منطقه همبستگی معنی‌دار می‌باشد. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیشترین و کمترین همبستگی مستقیم نیز در ایستگاه‌های ساری و بابلسر به ترتیب با مقادیر ۰/۱۷ و ۰/۰۱۲ در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد مشخص گردید. تحلیل همبستگی بین دید افقی و سرعت باد معکوس بوده است و ۵۴ درصد از مساحت منطقه همبستگی معنی‌دار است. مقدار همبستگی مستقیم بین ۰/۳۴ در گنبدکاووس تا ۰/۰۰۱ در رشت و مقدار همبستگی معکوس بین ۰/۲۸- در ساری تا ۰/۰۸- در بابلسر گزارش شد.

منابع

- آرامی، ز، امیری، ع، ۱۳۹۴. تخمین عمق دید با استفاده از پردازش تصویر: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان.
- ثابت‌قدم، س، خوش‌سیما، م، احمدی، گ، ۱۳۹۵. بررسی تغییرات ضریب خاموشی جو بر مبنای دید افقی در چهار فرودگاه پرتردد کشور، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۲، شماره ۲، ص ۴۵۹-۴۶۷.
- جابری، پ، ثابت‌قدم، س، سرمد، ق، ۱۳۹۷. پیش‌بینی عددی کاهش دید افقی در منطقه تهران، مجموعه مقالات هجدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ص ۲۹۶-۲۹۹.
- جبالی، ع، زارع، م، اختصاصی، م، جعفری، ر، ۱۳۹۹. بررسی گسترده تغییرپذیری دید افقی مناطق متأثر از رخدادهای گردوغبار در استان یزد، نشریه مدیریت بیابان، شماره ۱۵، ص ۳۶-۲۱.
- حجازی، ع، مباشری، م، مجیدی، د، ۱۳۹۳. استفاده از تصویر ماهواره‌ای در محاسبه قابلیت دید افقی جو، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال پنجم، شماره هفدهم و هیجدهم، ص ۵۶-۴۷.
- خوشحال دستجردی، ج، ۱۳۷۶، الگوی سینوپتیک - کلیماتولوژی برای بارش‌های بیش از صد میلی‌متر در سواحل جنوبی دریای خزر، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
- رنجبران، م، عجمی، م، برزویی، ه، برزین، م، ۱۳۹۳. بررسی رابطه بین زاویه و شدت پراکندگی برای ذرات جوی کاهنده قابلیت دید افقی، مرکز خدمات تخصصی اپتیک جهاد دانشگاهی صنعتی شریف، بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید بهشتی، ص ۱۴۰۰-۱۳۹۷.
- زینالی، ب، مینائی، س، فروتن، م، ۱۴۰۱. بررسی آماری و هم‌مدیدی بارش‌های فوق سنگین استان گیلان، مطالعات علوم محیط زیست، دوره هفتم، شماره چهارم، فصل زمستان، ص ۵۶۸۲-۵۶۹۵.
- دهقان، م، امیدوار، ک، مظفری، غ، مزیدی، ا، ۱۳۹۸. برآورد رابطه میان PM_{10} و دید افقی به تفکیک کد هم‌مدیدی در یزد، مخاطرات محیط طبیعی، سال هشتم، شماره ۱۹، ص ۷۵-۹۰.
- میری، ع، ۱۳۹۹. تحلیل طوفان‌های گردوغبار سیستان با استفاده از شاخص‌های DDI و DSI و پارامترهای سرعت باد، دید افقی و غلظت PM_{10} ، نشریه علمی پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، دوره ۲۷، شماره ۱، ص ۱-۲۳.
- Boudala, F., Isaac, G., Crawford, R., Reid, J. 2012. Parameterization of Runway Visual Range as a Function of Visibility: Implications for Numerical Weather Prediction Models. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 29, P. 177-191.
- Clark, P., Harcourt, S., Macpherson, B., Mathison, c., cusack, S., Naylor, M. 2008. Prediction of visibility and aerosol within the operational met office unified model, journal of the royal meteorological society, lov. 134, P. 1801-1816.
- Deng, J., Du, K., Wang, K., Yuan, C., Zhao, J. 2012. Long-term atmospheric visibility trend in Southeast China, 1973-2010. Atmospheric Environment. Vol. 59, P. 11-21.
- Gu, Sh., Yang, G., Woodward, A., Li, M., He, T., Wang, A., Lu, B., Liu, X., Xu, G., Liu, Q. 2017. The short term effects of visibility and haze on mortality in a coastal city of china, international journal of environmental research and public health, vol. 14, P. 1-11.

- Hermida, L., Merino, A., Sánchez, J., Fernández-González, S., García-Ortega, E., López, L. 2018. Characterization of synoptic patterns causing dust outbreaks that affect the Arabian Peninsula. *Atmospheric Research* 199, P. 29-39.
- Huizheng, C., Xiaoye, Z., Yang, L., Zijiang, Z., John, J.Q. 2007. Horizontal visibility trend in China, *geophysical research letters*, lov. 34,
- Javed, W., Wubulikasimu, Y., Figgis, B., Guo, B. 2017. Characterization of dust accumulated on photovoltaic panels in Doha, Qatar. *Solar Energy*, vol. 142, P. 123-135.
- Kuo, Ch., Fang, Ch., Shih, Y., Ch, Y., Charles, C., Chun, H., Yan, R. 2013. Analysis of the major factors affecting the visibility degradation in two stations, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63:4, P 433-441.
- lee, s., rang, y., kim, s., jung, e., kang, m., so, l., chun, j., jeon, j. 2016. Geranipl suppresses prostate cancer growth through down-regulation of E2F8, *cancer medicine*, vol. 10, P. 2899-2908.
- Masoumi, A., Khalesifard, H., Bayat, A., Moradhaseli, R. 2013. Retrieval of aerosol optical and physical properties from groundbased measurements for Zanjan, a city in Northwest Iran. *Atmospheric research*, vol. 120-121, P. 343-355
- Saber, A., meihami, m., masoumi, a. 2020. Study of reduction of horizontal visibility for the city of Zanjan based on the data of synoptic and ground-based remote sensing stations, *earth and space physics*, vol. 46, issue 2, P. 347-354
- Wang, Z., Chen, L., Tao, J., Zhang, Y., Su, L. 2010. Satellite-based estimation of regional particulate matter (PM) in Beijing using vertical-and-RH correcting method. *Remote Sensing of Environment*, lov 114, P 50-63.
- Wu, J., Fu, C., Zhang, L., Tang, J. 2012. Trends of visibility on sunny days in China in the recent 50 years. *Atmos. Environ*, lov. 55, P 339-346.
- Weicong, F., Ziru, Ch., Zhipeng, Z., Qunyue, L., Jinda, Q; Emily, D; Minhua, W; Jianwen, D. 2018. Long-Term Atmospheric Visibility Trends and Characteristics of 31 Provincial Capital Cities in China during 1957-2016. *Atmosphere*, vol.9, P 318.1-17
- Zoe, H., Zhang, X., Li, Y., Zhou, Z., Chen, Z. 2015. Relationship between horizontal extinction coefficient and PM10 concentration in Xian, China, during 1980-2002. *China Particuology*, vol. 4, P. 327-329.

Investigating the horizontal visibility characteristics in the southern coasts of the Caspian Sea using the extinction coefficient

Behroz Sobhani^{1*}; leila Jafarzadeh Aliabad²; Golamhasan Mohamadi³

^{1*} Professor of Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University

² Ph.D. Student in Hydrology and Meteorology, Faculty of Social, Mohaghegh Ardabili University

³ Ph.D in Climatology I.R. of Iran Meteorological Organization, East Azarbaijan Central Bureau of Meteorology, Tabriz, Iran

*Email Address: Sobhaniardabil@gmail.com

Abstract

Horizontal visibility is one of the most important optical characteristics of the atmosphere. Predicting horizontal visibility is of great importance in various aspects such as air pollution, air traffic, flight safety, road traffic, and maritime travel safety. The aim of the present study is to analyze the spatiotemporal variation of horizontal visibility in the southern coasts of the Caspian Sea. For this purpose, hourly data of horizontal visibility, present weather phenomenon, and relative humidity were used for a 70-year statistical period (1951-2020) in the study area. In this study, the extinction coefficient was calculated using the Koshmider formula. Finally, using the non-parametric Mann-Kendall test, the trend analysis of the frequency reduction of horizontal visibility phenomenon was conducted in the region. The results showed that among the studied stations, Babolsar, Ramsar, and Astara stations experienced an increasing trend, Nowshahr station experienced a decreasing trend, and Gonbad-e Kavus and Maraveh Tappeh stations had no trend in the extinction coefficient. Based on the Mann-Kendall output among the seasons, significant decreasing (increasing) trends were observed in the autumn and winter seasons, and no trend was observed in other time scales. The results of the analysis of the impact of weather parameters showed that among the factors affecting horizontal visibility, precipitation (39.75%) and dust (0.83%) had the highest and lowest percentage of impact, respectively, compared to other effective factors in the region. In general, it can be said that due to the forested nature and suitable vegetation cover in the region, the possibility of the occurrence of local dust storms is very low.

Introduction

Horizontal visibility is one of the most important weather parameters measured at all weather stations and is usually reported in kilometers or meters (Arami, 2015). Horizontal visibility is one of the most important optical characteristics of the atmosphere and predicting the level of horizontal visibility is important in various aspects such as air pollution, air traffic, flight safety, road traffic, and maritime safety (Sabatghadam et al., 2016; Jaberi et al., 2018). Atmospheric visibility is a common parameter in meteorology, and almost all weather stations have recorded it for a long time. Other researchers have also investigated horizontal visibility using various indices, such as: Howaizyng et al. (2007), Kork et al. (2008), Wang et al. (2010), Yu et al. (2010), Boudala et al. (2012), Qu et al. (2013), Masoumi et al. (2013), Li et al. (2015), Zhou et al. (2015), Guo et al. (2017), and Javadi et al. (2017). Many researchers have studied this topic both nationally and internationally. The aim of the present study is to obtain the necessary information and specialized and general use of meteorological and climatological data from weather stations in the southern coast of the Caspian Sea in relation to planning for natural disasters and preventing their hazards in the study area.

Methodology

The study area is the region between the southern coast of the Caspian Sea and the Alborz Mountains in Iran, which is located at $36/28^{\circ}$ - $38/36^{\circ}$ N and $48/52^{\circ}$ - 56° E. This region includes the political boundaries of the provinces of Gilan, Mazandaran, and Golestan. In the present study, hourly data including horizontal visibility, present weather, and relative humidity obtained from the National Meteorological Organization were used to analyze the spatiotemporal variation of horizontal visibility over a 70-year period (1951-2020). Initially, the changes in horizontal visibility were investigated by calculating the extinction coefficient using the Koshmider formula. The annual and seasonal trends of the extinction coefficient were calculated by performing the non-parametric Mann-Kendall test. In this study, the frequency of each of the four categories of visibility-reducing phenomena (precipitation, fog and mist, haze, and dust) was calculated for each station. Additionally, correlation coefficients were used to determine the relationship between climatic parameters (temperature, precipitation, and wind speed) and horizontal visibility. The spatial distribution maps of the mean extinction coefficient (annual and seasonal) and horizontal visibility with climatic parameters were drawn and analyzed in the ARC GIS software. The results of the variability analysis of the extinction coefficient among the selected

stations showed that in Babolsar station, the extinction coefficient had an increasing trend throughout the study period, with a range of variability between 1.0 to 4.0. The variability showed an increasing trend at the beginning of the study period (1.0) and a decreasing trend at the end of the study period. Ramsar and Astara stations also showed an increasing trend in the extinction coefficient. Overall, the range of variability in Ramsar station was between a maximum increase of 4.0 to a maximum decrease of 16.0. Astara station experienced a variability range between a maximum decrease of 27.0 to a maximum increase of 57.0. In Nowshahr station, the extinction coefficient had a decreasing trend throughout the study period, with a variability range between a maximum increase of 42.0 to a maximum decrease of 19.0. The results showed no significant trend in the variability of the extinction coefficient in Gonbad-e Kavus and Marah Tepe stations. The spatial distribution analysis of the mean extinction coefficient in comparison to the annual extinction coefficient showed that the maximum extinction coefficient is concentrated in the northwestern and southern parts of the region. In contrast, the minimum extinction coefficient is significant in the central parts of the coastal strip. Among the studied stations, Astara (0.41) and Siah Bisheh (0.40) stations experienced the highest values of the extinction coefficient, while Ramsar and Babolsar stations (0.30) had the lowest values of the extinction coefficient. In the spring season, the spatial distribution of the extinction coefficient showed that the maximum value of it is concentrated in the northwestern part of the study area, while the minimum value is observable in the eastern half of the region. In the summer season, in addition to the northwestern part of the region, the spatial distribution of the extinction coefficient showed that the maximum values of it are observable in the northeastern and southern parts of the western half of the region, while the central part of the coastal strip indicates the minimum values of the extinction coefficient. In the autumn season, the maximum concentration of the extinction coefficient is in the southwestern part of the region, with a tendency towards the central part of the region. The relative increase in the extinction coefficient is also observable in the northwestern and northeastern parts of the region. The minimum values of the extinction coefficient are observed in the central part of the coastal strip. In the winter season, similar to the spring and summer seasons, the maximum extinction coefficient is concentrated in the northwestern part of the region. The relative increase in the extinction coefficient is also evident in the northeastern and southern-western parts of the region. The center of the minimum values of the extinction coefficient is also concentrated in the central part of the coastal strip. The output of the Z statistic (Kendall's tau) indicates that the trend of the extinction coefficient is significantly increasing and decreasing, as well as non-significant, for the annual, spring, and summer scales. However, in the autumn and winter seasons, it only shows significant increasing and decreasing conditions. Based on the results of the Q statistic, it can be stated that the highest slope of the increasing trend in the annual, spring, and autumn time scales has been experienced at the Babolsar and Gorgan stations. In the winter season, Babolsar, Gorgan, and Rasht stations had the highest slope of the increasing trend, while in the summer season, Babolsar station had the highest slope of the increasing trend. The maximum slope of the decreasing trend of the extinction coefficient in the annual, spring, and summer time scales has been experienced at the Sari station with a value of -0.005 kilometers per year. Among the most important factors affecting horizontal visibility reduction, precipitation (75.39%), fog and mist (36%), haze-smoke (9.91%), and dust (0.83%) had the highest frequency percentage. In terms of spatial distribution, the highest frequency of precipitation and fog and mist phenomena were observed in the northern coastal strip and western half of the region, respectively. Meanwhile, the highest frequency of haze-smoke was observable in the eastern part of the region. The spatial analysis of the extinction coefficient between relative humidity and horizontal visibility in the annual scale showed a negative correlation coefficient in the study area. In other words, it indicates an inverse relationship between relative humidity and horizontal visibility. Among the stations and in the monthly-annual scales, the Astara station in the northwestern part of the region had the highest negative correlation coefficient of -0.47. The spatial distribution of the correlation coefficient in both the annual and monthly scales indicates that the highest correlation coefficient is concentrated in the northwestern part of the region. The spatial distribution analysis of the correlation coefficient between climate parameters (precipitation, temperature, and wind speed) showed that there is both a direct and an inverse relationship between precipitation and horizontal visibility. The significant level of the correlation coefficient between horizontal visibility and precipitation showed that the correlation is significant in 27% of the study area. The spatial analysis of the correlation coefficient between horizontal visibility and temperature showed the minimum value of the correlation coefficient in the northeastern part of the region. Generally, the spatial distribution of the correlation coefficient between horizontal visibility and temperature decreases from northwest to northeast and from south to north. In general, 54% of the study

area has a significant correlation. The direct correlation coefficient ranges from 0.34 in Gonbad Kavous to 0.001 in Rasht, and the inverse correlation coefficient ranges from -0.28 in Sari to -0.08 in Babolsar.

Conclusion

The present study investigated the characteristics of horizontal visibility on the southern coasts of the Caspian Sea from 1951 to 2020. The results of the analysis of the variability of the extinction coefficient in 13 selected stations showed that the highest difference in the variability of the extinction coefficient was observed at the Babolsar station with values ranging from 0.4 to 1.0, while the lowest difference was observed at the Maraveh Tappeh station with values ranging from 0.4 to 37.0. The Mann-Kendall test results showed that there is a significant decreasing (increasing) trend in the extinction coefficient during the autumn and winter seasons. However, no trend was observed in the remaining time scales. The analysis of the trend in the extinction coefficient at the stations showed that the Bandar Anzali, Babolsar, Rasht, Gorgan, and Noshahr stations have experienced a significant trend in all time periods. Additionally, the analysis of the slope of the trend showed that the Babolsar station has experienced an increasing trend in all time scales, while the Sari station has experienced a decreasing trend in all time scales. Among the most influential phenomena on the reduction of horizontal visibility, precipitation (75.39%), fog and mist (36%), haze-smoke (9.91%), and dust (0.83%) had the highest frequency percentage. In terms of spatial distribution, the highest frequency of precipitation and fog and mist phenomena were observed in the northern coastal strip and western half of the region, respectively. Meanwhile, the highest frequency of haze-smoke was observable in the eastern part of the region. The analysis of the correlation coefficient between horizontal visibility and relative humidity in selected stations for both monthly and annual scales showed that among the stations, the Babolsar station has a direct relationship between horizontal visibility and relative humidity, while the remaining stations have an inverse relationship. Among them, the strongest inverse relationship was identified at the Astara station with a value of -0.47. The analysis of the correlation between climate parameters and horizontal visibility in the region showed that there is a direct correlation between horizontal visibility and temperature, and an inverse correlation between horizontal visibility and precipitation and wind speed. The analysis of the correlation coefficient values between horizontal visibility and temperature showed that the correlation is significant (at a 99% confidence level) in 72% of the study area. Among the stations, the highest correlation between horizontal visibility and temperature was observed at the Astara station with a value of 0.38. The analysis of the significant level of the correlation coefficient between horizontal visibility and precipitation showed that the correlation is significant in 27% of the study area. Among the studied stations, the highest and lowest direct correlation was observed at the Sari and Babolsar stations with values of 0.17 and 0.012, respectively. The analysis of the correlation between horizontal visibility and wind speed showed an inverse correlation, and the correlation is significant in 54% of the study area. The direct correlation coefficient ranges from 0.34 in Gonbad Kavous to 0.001 in Rasht, and the inverse correlation coefficient ranges from -0.28 in Sari to -0.08 in Babolsar.

Keywords

Horizontal view; southern coasts of the Caspian Sea; extinction coefficient; Man-Kendall