



نسخه از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۱
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.14, No. 2, Summer 2022

۶۰-۵۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی همبستگی بین داده PM₁₀ ایستگاه زمینی سنندج و داده AOD سنجنده مادیس

محمدحسین قلی‌زاده^{۱*}، جمیل امان‌اللهی^۲، فردین رحیمی^۳

۱. استادیار گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان
۲. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان
۳. کارشناس ارشد آب‌وهواشناسی کاربردی، دانشگاه کردستان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰

چکیده

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی دقت داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مادیس در پایش ریزگردها (ذرات PM₁₀)، به‌منظور مقایسه با داده‌های ایستگاه زمینی سنجش آلودگی در شهر سنندج انجام گرفته است. بدین ترتیب، میزان عملکرد داده‌های ماهواره‌ای در اندازه‌گیری ریزگردها، در ایستگاه زمینی سنندج، مشخص می‌شود. ابتدا داده‌های ماهواره‌ای عمق نوری (ذرات PM₁₀) سنجنده مادیس، متناظر با داده‌های PM₁₀ زمینی تهیه‌شده از ایستگاه زمینی پایش آلودگی واقع در شهر سنندج، به‌دست آمد؛ آنگاه ضریب همبستگی دو سری داده محاسبه شد. برای پیش‌بینی دقیق داده‌های PM₁₀، دو مدل آریما و شبکه عصبی مصنوعی به‌کار رفت. داده‌های AOD سنجنده مادیس با استفاده از روش حداکثر برآورد احتمال و وزن به‌دست‌آمده از ریشه میانگین مربعات خطا، به‌منظور استفاده در این دو مدل، ترکیب شدند. در نهایت، روش مقایسه منفرد برای هر یک از مدل‌ها و نیز مقایسه مدل‌ها، با هدف شناسایی مدل بهتر در تشخیص و پیش‌بینی داده‌های PM₁₀ حاصل از سنجنده مادیس، اعتبارسنجی شد. در مدل شبکه عصبی، ضریب همبستگی در مرحله آموزش ۵۲٪، در مرحله آزمون ۵۳٪، RMSE برابر با ۱/۶۲ و MAE برابر ۲/۶۲ به‌دست آمد. طبق محاسبات، مدل آریمای ۱-۰-۳ تنها مدل مورد قبول با R برابر با ۰/۴۶ و MAE=۰/۰۶ و RMSE=۰/۶۹ است. این بیان می‌کند مدل آریما مدل مناسبی برای پیش‌بینی داده‌هاست اما دقت مدل شبکه عصبی، در ارزیابی میزان همبستگی بین داده‌ها، بیشتر تشخیص داده شد. نتایج تحقیق نشان داد که بین داده‌های عمق نوری ریزگرد سنجنده مادیس با داده‌های زمینی رابطه مستقیمی وجود دارد و این الگوریتم قادر به شناسایی گردوغبار است و می‌تواند جایگزین مناسبی برای محصولات PM₁₀ تولیدشده از سوی ایستگاه زمینی باشد.

کلیدواژه‌ها: مادیس، PM₁₀، عمق نوری ذرات معلق، سنندج.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: سنندج، دانشگاه کردستان، دانشکده منابع طبیعی، گروه آب‌وهواشناسی. تلفن: ۰۹۱۸۸۷۲۸۴۶۰

۱- مقدمه

ایستگاه‌های زمینی به‌کاررفته در شرق سیبری، ۱/۵ برابر بیشتر از شمال آمریکا است (Kampe, 2008). ارزیابی میزان ذرات معلق حاصل از آتش‌گرفتن جنگل‌ها نشان می‌دهد ضخامت نوری ارائه‌شده از سوی سنجنده مادیس دارای دامنه تغییراتی از ۰/۱، پیش از آتش‌سوزی و تا ۱، پس از آتش‌سوزی است (Gupta et al., 2007). داده‌های ماهواره‌ای، به‌علت پوشش مکانی و زمانی مناسب می‌تواند در تعیین میزان غلظت ریزگرد، کاربردی منطقه‌ای و جهانی داشته باشد (Adamson et al., 1999). نتایج مطالعه ویژگی‌های ریزگردها بر فراز اقیانوس‌ها، با استفاده از تشعشعات طیفی سنجنده مادیس، هماهنگی مطلوب داده‌های سنجش از دور و اندازه‌گیری‌های زمینی را نشان می‌دهد (Tanre et al., 1997). مطالعه عمق نوری ریزگردها، به‌کمک سنجنده‌های مادیس، دقت این سنجنده‌ها را روی خشکی‌ها، بیش از ۷۲٪ و در اقیانوس‌ها، بیش از ۶۰٪ نشان می‌دهد (Lorraine & Remer, 2006). نتایج تحلیل زمانی-مکانی ریزگردها در چین، با ترکیب داده‌های ماهواره‌ای، مطلوب بودن این شیوه را می‌رساند (Xu et al., 2015). بررسی توانایی داده‌های سنجنده مادیس در تحلیل کمی و کیفی هوای تهران، ضریب همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای و زمینی را ۴۸٪ نشان می‌دهد (Ghorbanisalkhord et al., 1389). (Setoudeian & Arhami, 1390)، با هدف پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها در سطح زمین، نتیجه گرفتند که مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره، در مقایسه با سنجنده‌های ماهواره‌ای، توانایی تقریباً یکسانی در این تحلیل دارند. طی تحقیقات در زمینه آلودگی هوای روزانه، امکان استفاده از داده‌های دید افقی به‌صورت کمی، به‌منزله منبع اطلاعاتی ثانویه و جایگزین اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای، وجود دارد (Khoshsima & et al., 1392).

امروزه غلظت بالای ذرات معلق در هوا سبب بروز نگرانی‌هایی در زمینه سلامت جامعه شده است. مضر بودن این ذرات برای انسان‌ها را محققان بسیاری همانند (Saho et al, Wang et al) و (Yadav et al) بررسی و اثبات کرده‌اند. این ذرات به‌اندازه‌ای کوچک‌اند که به‌راحتی وارد دستگاه تنفسی انسان می‌شوند (Liu et al., 2019). ذرات معلق در جو، به‌دلیل پراکندگی و جذب تابش خورشیدی، تأثیری مستقیم در آب‌وهوا دارند و در تغییر مقدار میکروفیزیک و ویژگی‌های تابشی ابرها نیز غیرمستقیم اثر می‌گذارند (Haywood & Boucher, 2000). این ذرات، به‌صورت خوردگی و لکه‌های روی مواد (Tzanis et al., 2011)، در محیط‌زیست و همچنین در چرخه بیوشیمیایی و سلامت انسان (Wang et al., 2016) تأثیر می‌گذارند. گردوغباری که هر سال نیمه غربی کشور ما را دربر می‌گیرد منشأ خارجی دارد. این مسئله نیاز به دانش سنجش از دور را، به‌دلیل بهره‌مندی از داده‌های خارج از محدوده داخلی ایران، آشکار می‌کند. تحقیقاتی به‌منظور بررسی کاربرد سنجنده‌های ماهواره‌ای، همانند مادیس، در اندازه‌گیری گردوغبار و نیز بررسی میزان همبستگی داده‌های سنجنده‌ها با داده‌های ایستگاه‌های زمینی، در سطح داخلی و خارجی، انجام شده است. بررسی و مقایسه بین داده‌های ضخامت نوری ریزگرد از سنجنده مادیس و داده‌های ایستگاه‌های زمینی شامل ذرات $PM_{2.5}$ ضریب همبستگی ۷۰٪ را نشان می‌دهد (Wang & Christopher, 2003). کریسولاکیس^۱ و همکاران (۲۰۰۳)، طی بررسی ناپایداری جوی منطقه از طریق تصاویر آکوا و مادیس و پارامترهای ترمودینامیکی دریافتند میزان همبستگی، با توجه به مکان‌های متفاوت، با هم فرق دارد. بررسی ذرات اسپکترورادایومتر با وضوح متوسط نشان می‌دهد شیب رگرسیونی، برای نشان دادن همبستگی بین داده‌های مادیس و داده‌های

1. Chrysoulakis

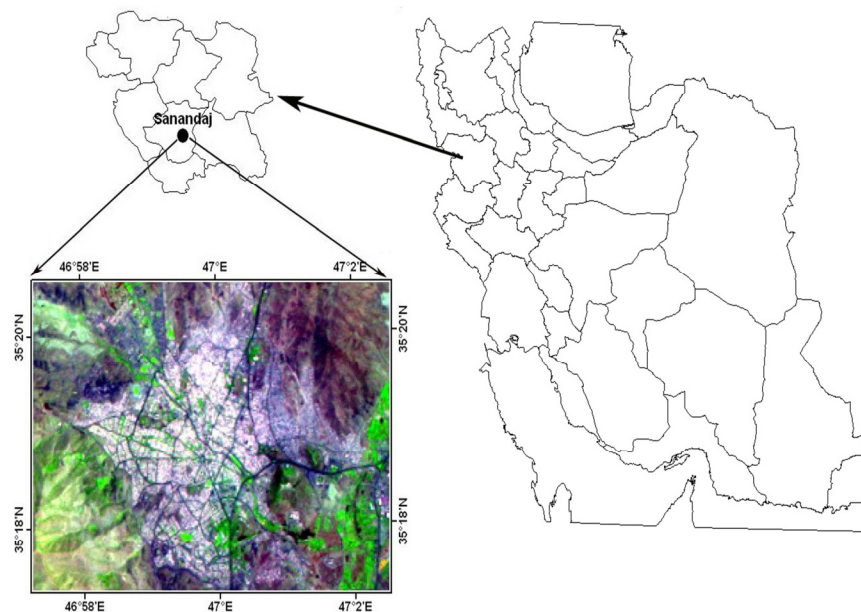
مطالعه برآورد میزان همبستگی داده‌های ذرات معلق PM10 سنجنده مادیس با داده‌های زمینی و پیش‌بینی آنها، با استفاده از مدل شبکه عصبی و سری‌های زمانی آریما است.

۲- مواد و روش‌ها

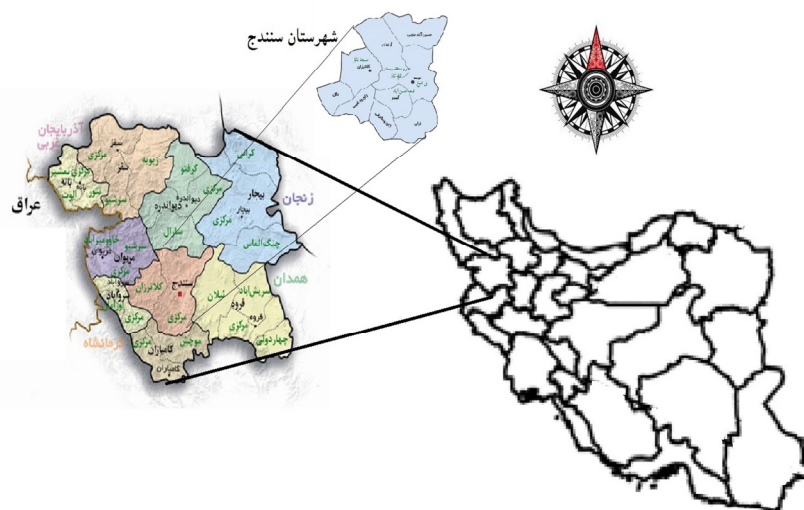
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه ایستگاه اندازه‌گیری ریزگرد است (شکل ۱) که در اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان کردستان و در شهر سنندج (شکل ۲) قرار دارد. این ایستگاه دارای موقعیت ۳۵ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه طول شرقی است. وضعیت توپوگرافی شهر و کوه‌های اطراف آن باعث شده شهر، به‌صورت طبیعی، در دره‌ای نسبتاً مسطح محصور شود؛ به همین دلیل، هوا در سطح شهر به‌سهولت جریان نمی‌یابد و زمینه برای تراکم ذرات گردوغبار فراهم می‌آید و میزان آلودگی در سطح و جو شهر بیشتر می‌شود.

به‌منظور تهیه نقشه‌های آلودگی هوا در تهران، از داده‌های سنجنده مادیس و ایستگاه‌های زمینی استفاده کردند. بررسی آلودگی هوای شهر سنندج با تأکید بر تغییرات زمانی غلظت PM10، نشان می‌دهد که بین میانگین دمای ماهیانه با شاخص ذرات معلق همبستگی مستقیمی وجود دارد؛ به‌طوری‌که در دوره مطالعه، بیشترین میزان ذرات معلق به ماه‌های مه تا ژوئیه بازمی‌گردد (Rahimi & et al., 1394). ارزیابی عمق اپتیکی ریزگردها در منطقه خلیج فارس نشان می‌دهد داده‌های عمق اپتیکی سنجنده مادیس دقت مورد قبولی دارند و بین مقادیر اندازه‌گیری شده با این سنجنده و شبکه زمینی، همبستگی ۰/۹ دیده شد (Solemani & et al., 1394). با وجود تحقیقات مرتبط که در سطرهای پیشین به آنها اشاره شده است، به‌دلیل گستردگی موضوع و اختلافات منطقه‌ای و وضعیت بحرانی ریزگردها در کشور، ضرورت انجام‌شدن تحقیق در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. هدف اصلی این



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه گردآوری داده‌های ریزگرد



شکل ۲. موقعیت شهرستان سنندج

۲-۲- داده و روش‌ها

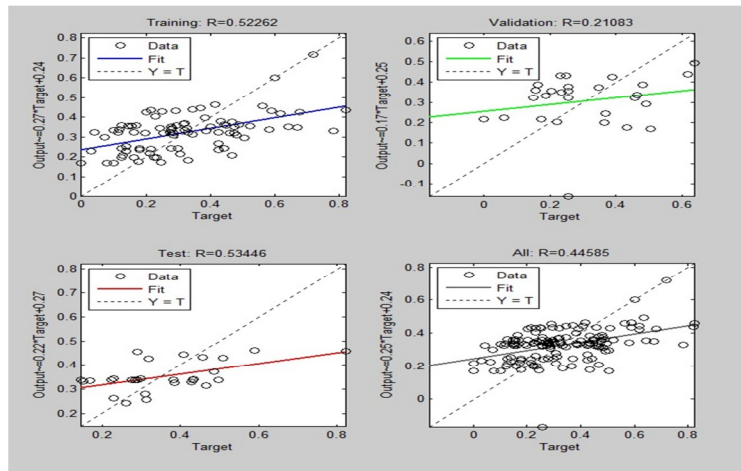
در این تحقیق، از داده‌های روزانه ریزگرد طی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ در ایستگاه زمینی اندازه‌گیری گردوغبار اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان کردستان، شهر سنندج، با اندازه PM_{10} برحسب $\mu g/m^3$ و داده‌های گردوغبار PM_{10} سنجنده ماهواره‌ای مادیس استفاده شد. مادیس داده‌های گردوغبار را، با استفاده از بازتابش دریافتی در باند ۱ و ۳، اندازه‌گیری می‌کند. الگوریتم به‌کاررفته برای اندازه‌گیری ریزگرد در برابر رطوبت جو بسیار حساس است و در نتیجه، در روزهای با میزان رطوبت بالا، داده‌ای برای منطقه مورد مطالعه به‌دست نداده است. در ادامه، مقایسه و همبستگی بین دو مجموعه داده انجام شد. به‌منظور شناخت کارایی مدل‌های دیگر در ارزیابی غلظت گردوغبار نیز، همبستگی دو مجموعه داده مذکور با داده‌های مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و آریمای تحلیل شد و هدف این بود که در صورت فقدان داده زمینی، در نقاط دیگر، از داده‌های سنجنده ماهواره‌ای و مدل‌های کارآمدتر استفاده شود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج مدل‌سازی و ضرایب همبستگی داده‌ها با استفاده از شبکه عصبی

در این مدل، طی روند آموزش، داده‌هایی که به‌منظور فرایند آموزش وارد شبکه شدند در سه دسته آموزش، آزمون و ارزیابی قرار گرفتند. ۶۰٪ داده‌ها در زمینه آموزش، ۲۰٪ بابت آزمون و ۲۰٪ هم به‌منظور ارزیابی به‌کار رفت. روند آموزش، در هر دسته، جداگانه بود و نتایج در نمودارهای جداگانه ارائه شد (شکل ۳). همان‌طور که در شکل مشخص است، بیشترین ضریب همبستگی (R) مربوط به داده‌های آزمون است و داده‌های آموزش، با اختلاف اندکی، در جایگاه دوم قرار گرفت. مقدار R در نمودار اعتبارسنجی کم است ($R=0.21$)، اما، در نمودارهای آموزش و آزمون، به‌ترتیب برابر با ۵۲٪ و ۵۳٪ است که مقدار مناسبی به‌نظر می‌رسد. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که بین دو مجموعه داده به‌دست‌آمده از سنجنده ماهواره‌ای مادیس و ایستگاه زمینی در شهر سنندج همبستگی مطلوبی وجود دارد.

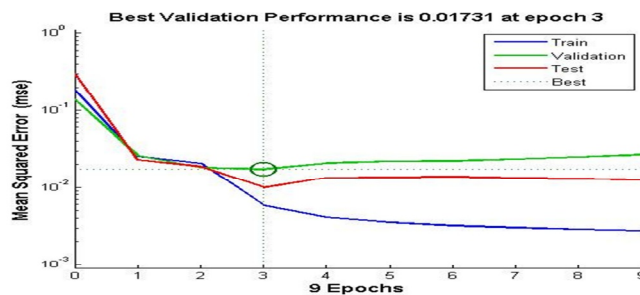
ارزیابی همبستگی بین داده PM10 ایستگاه زمینی سنندج و داده AOD سنجدۀ مادیس



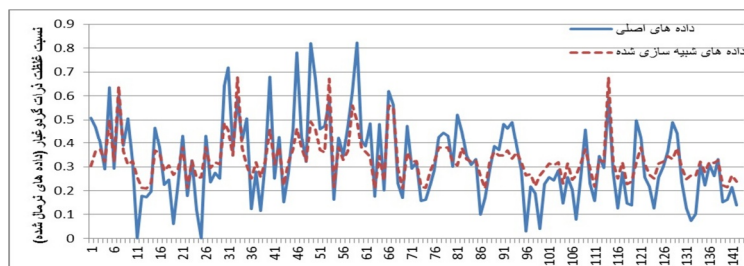
شکل ۳. نتایج مدل سازی و ضرایب همبستگی داده‌ها با استفاده از شبکه عصبی

جدید نیز درست رفتار می‌کند یا خیر. نمودار داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی انطباق آنها را بر هم نشان می‌دهد (شکل ۵) و می‌توان خطای شبیه‌سازی را به‌وضوح مشاهده کرد. به همین دلیل، نمودار داده‌های پیش‌بینی شده از طریق مدل با داده‌های اصلی مقایسه شد (شکل ۶). نتایج مدل سازی نشان‌دهنده روند و مقادیر مشابه در مجموعه داده‌هاست که دقت بالای مدل شبکه عصبی را در پیش‌بینی داده‌ها بیان می‌کند.

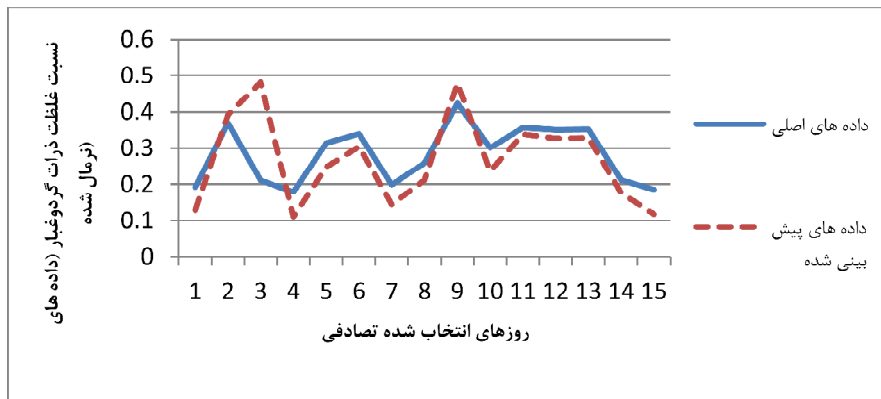
منحنی عملکرد آموزش شبکه عصبی (شکل ۴) روند کاهش خطای عملکرد طی آموزش، اعتبارسنجی و آزمون شبکه را نشان می‌دهد. طبق این شکل، با افزایش تکرار رفت و برگشت‌ها (اپوک‌ها)، خطای شبکه کاهش می‌یابد. در این مدل، پس از سه اپوک، شبکه به خطای کمینه خود دست یافته و در تکرار نهم، آموزش شبکه متوقف شده است. معیار اصلی معیار Test شبکه است که نشان می‌دهد آیا شبکه در مقابل داده‌های



شکل ۴. روند تغییرات تابع عملکرد خطا برای شبکه بهینه، با استفاده از آموزش شبکه عصبی



شکل ۵. نمودار شبیه‌سازی نتایج مدل سازی با داده‌های واقعی



شکل ۶. نمودار پیش‌بینی‌شده نتایج مدل‌سازی با داده‌های واقعی برای داده‌های آزمون شبکه

در بخش Chi- (Modified Box-Pierce Ljung-Box) در چهار P در مورد بیش از ۰/۰۵ است (جدول ۲). با وجود پیش‌شرط بیشتر بودن این عدد از ۰/۰۵ به‌منظور معنی‌داری داده‌ها، این شرط پذیرفته شد.

جدول ۲. Modified Box-Pierce از خروجی مدل آریمما

Lag	۱۲	۲۴	۳۶	۴۸
Chi-Square	۸/۳	۱۲/۹	۲۴/۴	۳۴/۹
DF	۷	۱۹	۳۱	۴۳
P-Value	۰/۳	۰/۸	۰/۸	۰/۸

ACF of Residuals for Wt
PACF of Residuals for Wt

پس از دستور رسم نمودارهای ACF و PACF، با وجود پیش‌شرط داده‌ها به‌منظور معنی‌داری آنها، این شرط تأیید شد (شکل‌های ۷ و ۸).

به‌منظور یافتن بهترین مدل آریمما، مقادیر متفاوتی به p و q داده شد و سه شرط لازم برای تعیین مدل مورد قبول قرار گرفت؛ بنابراین مدل آریممای ۱-۰-۳ به‌منزله مدل مناسب انتخاب شد. معیار دیگر نمودار همبستگی داده‌هاست که میزان هم‌پوشانی دو مجموعه داده نرمال‌شده ذرات معلق سنجنده مادیس و ایستگاه زمینی را نشان می‌دهد (شکل ۹).

در این مدل، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) برابر با ۲/۶۱۹۵۸۶ و مجذور متوسط مربعات خطا (RMSE) برابر با ۱/۶۱۸۵۱۳ است. ضریب همبستگی، در مرحله آموزش و آزمون، به‌ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۵۳ است که همبستگی نسبتاً بالای داده‌ها و نیز ارجح بودن روش شبکه عصبی را به‌منظور مقایسه و پیش‌بینی داده‌های مورد بررسی، نشان می‌دهد.

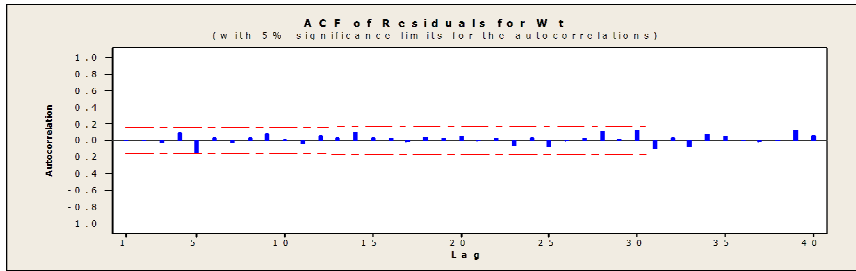
۳-۲- ارزیابی نتایج مدل آریمما

همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، مقدار p در پارامتر Constant برابر با صفر است؛ از این‌رو با پیش‌شرط کمتر بودن این عدد از ۰/۰۵، به‌منظور معنی‌داری داده‌ها، هم‌خوانی دارد و مشخص می‌کند که این شرط پذیرفته شده است.

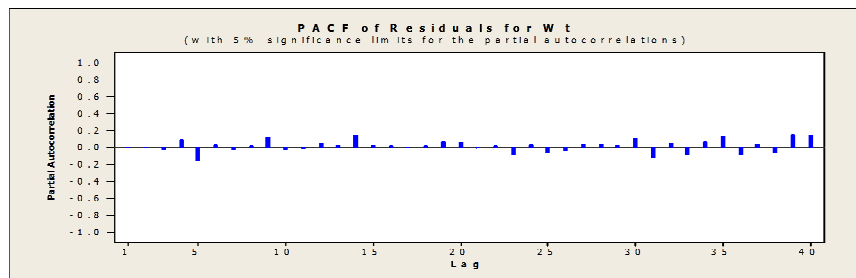
جدول ۱. Final Estimates of Parameters از خروجی مدل آریمما

Type	Coef	SE Coef	T	P
AR 1	۰/۵۳	۱/۵۷	۰/۳۴	۰/۷۳
AR 2	-۰/۰۱	۰/۴۵	-۰/۰۳	۰/۹۷
AR 3	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۸۵
MA 1	۰/۲۴	۱/۵۷	۰/۱۶	۰/۸۸
Constant	۰/۵	۱۳/۲	۰/۰۴	۰/۰
Mean	۱/۱۷	۰/۰۸		

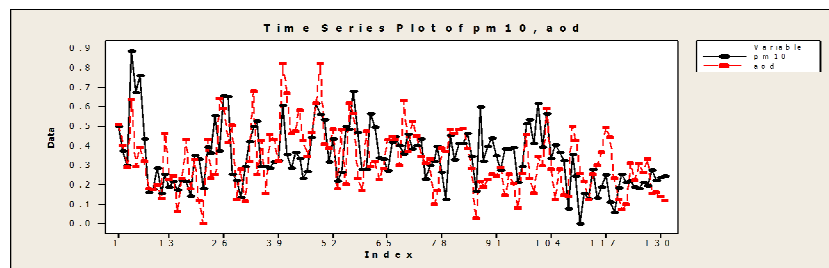
ارزیابی همبستگی بین داده PM10 ایستگاه زمینی سنندج و داده AOD سنجدۀ مادیس



شکل ۷. نمودار تابع خودهمبستگی از خروجی مدل آریم



شکل ۸. نمودار تابع خودهمبستگی جزئی از خروجی مدل آریم



شکل ۹. نمودار همبستگی داده‌های نرمال‌شده ذرات معلق سنجدۀ مادیس و ایستگاه زمینی

براساس خروجی داده‌ها در مدل شبکه عصبی و مدل آریم (جدول ۵)، ضریب همبستگی داده‌ها در مدل شبکه عصبی، بیش از مدل دیگر است. با توجه به کم‌تر بودن میانگین خطای مطلق و مجذور متوسط مربعات خطا در مدل آریم، می‌توان گفت که این مدل برای پیش‌بینی داده‌ها مناسب است اما مدل شبکه عصبی، در ارزیابی میزان همبستگی بین داده‌های ذرات معلق PM₁₀ سنجدۀ مادیس و داده‌های ایستگاه زمینی شهر سنندج، دقت بیشتری دارد.

مدل	R آموزش	R آزمون	MAE	RMSE
مدل شبکه عصبی	۰/۵۲	۰/۵۳	۲/۶۲	۱/۶۲
مدل آریم	۰/۴۶	۰/۶۱	۰/۰۶	۰/۶۹

۳-۳- محاسبه ضریب همبستگی داده‌ها
 برای محاسبه ضریب همبستگی داده‌ها در مرحله آموزش و آزمون، از تحلیل همبستگی پیرسون (جدول‌های ۳ و ۴) استفاده شد. بر این اساس، ضریب همبستگی R بین سری داده‌های آموزش در این مدل، برابر با ۰/۴۶ و بین داده‌های آزمون، ۰/۶۱ به دست آمد؛ P-Value نیز کمتر از ۰/۰۵ است که وجود همبستگی مناسب در سری داده‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳. همبستگی داده‌ها در مرحله آموزش Pearson correlation of PM ₁₀ and AOD = 0/463 P-Value = 0/000
جدول ۴. همبستگی داده‌ها در مرحله آزمون Pearson correlation of PM ₁₀ and AOD = 0/608 P-Value = 0/010

تحقیق حاضر بود که این نکته تأییدی بر یافته‌ها و روش مطالعه در این پژوهش است. همچنین نتایج این تحقیق با مطالعه‌های میرزایی^۵ و همکاران (۲۰۱۹)، Park (2020) و et al. (2020) و امان‌اللهی^۶ و همکاران (۲۰۱۱) هم‌خوانی دارد. (Mirzaei & Amanollahi, 2019)، در پژوهش خود، میزان ذرات معلق $PM_{2.5}$ سطح شهر تهران را با استفاده از داده‌های مادیس، پیش‌بینی کردند. آنها در مطالعه مورد نظر خود از مدل‌های خطی و غیرخطی به‌منظور پیش‌بینی بهره بردند و نتایج کار آنها نشان داد، در پیش‌بینی ذرات معلق $PM_{2.5}$ براساس داده‌های ماهواره‌ای، دقت مدل‌های غیرخطی بیشتر از مدل‌های خطی است. پارک و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود، ابتدا سلول‌های خالی و بدون داده ماهواره‌ای در زمینه ذرات معلق را با استفاده از مدل غیرخطی، بازسازی و در ادامه، ذرات معلق را پیش‌بینی کردند. نتایج این کار بیانگر $R^2=0/90$ و $R^2=0/88$ ، به‌ترتیب برای غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ در سطح غرب آسیا بود.

۴- نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق برآورد میزان همبستگی داده‌های ذرات معلق PM_{10} سنجنده مادیس با داده‌های ایستگاه زمینی پایش آلودگی در شهر سنجندج، با استفاده از مدل شبکه عصبی و سری زمانی آریمای بود. مقایسه نتایج تحقیقات صورت‌گرفته (Tanre et al., 1997; Lorraine & Remer, 2006; Amanollahi et al., 2011; Mirzaei et al., 2019; Park et al., 2020 Solemani & et al., Khoshsima & et al., 1392) نشان داد که میزان همبستگی داده‌های اندازه‌گیری‌شده ایستگاه‌های زمینی با داده‌های سنجنده ماهواره‌ای اندکی بیشتر یا کمتر از مقدار ضریب همبستگی در تحقیق حاضر و درموردی نیز، نزدیک به

در زمینه مقایسه نتایج میزان همبستگی داده‌های سنجنده مادیس و داده‌های زمینی با نتایج تحقیقات پیشین، می‌توان به پژوهش (Sotoudeian & Arhami, 1390) درمورد شهر تهران اشاره کرد. این محققان ضرایب همبستگی به‌دست‌آمده برای مدل‌های حاصل از پارامتر AOD استخراج‌شده از مادیس و مایسر را ۰/۲۱ به‌دست آوردند. (Soleimani & et al, 1394)، در تحقیقشان درباره منطقه خلیج فارس، نشان دادند داده‌های عمق اپتیکی (AOD) حاصل از سنجنده مادیس دقت مورد قبولی دارند. آنها ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده با مادیس و شبکه زمینی را ۰/۹۰ محاسبه کردند و بیان داشتند که ضریب همبستگی در فصل تابستان بیشتر از فصل زمستان است. (Khoshsima & et al., 1392) در پژوهشی مشابه، در دو منطقه شهری تهران و زنجان از دسامبر ۲۰۰۹ تا سپتامبر ۲۰۱۰، همبستگی این دو عمق نوری را با ضریب ۰/۸۷ به‌دست آوردند. لورین^۱ و رمیر^۲ (۲۰۰۶) در برآورد ریزگرد، طبق مجموعه ۵ سنجنده مادیس، دقت مورد انتظار AOD را روی اقیانوس‌ها در بیش از ۰/۶۰ موارد و روی خشکی‌ها، بیش از ۰/۷۲ موارد اعلام کردند. وانگ و کریستوفر^۳ (۲۰۰۳)، در بررسی و مقایسه بین داده‌های ضخامت نوری ریزگرد از سنجنده ماهواره‌ای و توده‌های $PM_{2.5}$ ، ضریب همبستگی ۰/۷۰ را بین داده‌های مادیس و داده‌های ایستگاه‌های زمینی به‌دست آوردند. ژو^۴ و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق خود بیان کردند که پوشش فضاهای بازبایی درمورد داده‌های ادغام شده AOD حدود ۰/۵۰ و درمورد الگوریتم‌های MISR، SeaWiFS، MODIS-DB و MODIS-DT بین ۰/۲۰ تا ۰/۵۰ است. طی پژوهش (Tanre & et al., 1997) در این زمینه، نخستین برآورد از دقت و صحت عمومی ۰/۲۵ به‌دست آمد. برپایه نتایج تحقیقات یادشده، میزان همبستگی داده‌های اندازه‌گیری‌شده ایستگاه‌های زمینی با داده‌های سنجنده ماهواره‌ای اندکی بیشتر یا کمتر و درموردی، نزدیک به مقدار ضریب همبستگی در

1. Lorraine
2. Remer
3. Christopher
4. Xu
5. Mirzaei
6. Amanollahi

۵- منابع

- Adamson, I., Prieditis, H. & Vincent, R., 1999, **Pulmonary Toxicity of an Atmospheric Particulate Sample Is Due to the Soluble Fraction**, Toxicology and Applied Pharmacology, 157, PP. 43-50.
- Amanollahi J., Kaboodvanpour, S., Abdullah, A.M. & Ramli, M.F., 2011, **Accuracy Assessment of Moderate Resolution Image Spectroradiometer Products for Dust Storms in Semiarid Environment**, International Journal of Environmental Science and Technology, 8(2), PP. 373-380.
- Chrysoulakis, N., Spiliotopoulos, M., Domenikiotis, C. & Dalezios, N., 2003, **Towards Monitoring of Regional Atmospheric Instability through MODIS/Aqua Images**, Proceedings of the International Symposium held at Volos, Greece, 7-9.
- Ghorbani salkhord, R., Mubasheri, M., Rahimzadegan, M., 1389, **Capability of MODIS sensor data in qualitative and quantitative analysis of air quality in urban areas**, Climatological Research, Volume 1, Numbers 3 and 4, pp. 74-61.
- Gupta, P., Christopher, S.A., Box, M.A. & Box, G.P., 2007, **Multiyear Satellite Remote Sensing of Particulate Matter Air Quality over Sydney Australia**, International Journal of Remote Sensing, 20, PP. 4483-4498.
- Haywood, J. & Boucher, O., 2000, **Estimates of the Direct and Indirect Radiative Forcing Due to Tropospheric Aerosols: A Review**, Reviews of Geophysics, 38(4), PP. 513-543.
- Kampe, T.U., 2008, **Data Analysis from Remote Sensing to Better Constrain Emission and Transport of Carbonaceous Aerosol and Carbon Monoxide Resulting from Burning Processes**, PhD Thesis, Colorado University.
- Khoshsima, M., Aliakbari Beidokhti, A., Ahmadi Givi, F., 1392. **Determination of optical depth of airships using horizontal vision and remote sensing data in two urban areas**, Earth and space physics, Volume 39, Number 1, pp. 174-163.
- آن است. نتایج همبستگی بین داده‌های ریزگرد به‌دست‌آمده در ایستگاه زمینی و سنجدۀ مادیس، در هر دو مدل، با نسبت‌های متفاوت مشاهده شد. در مدل شبکه عصبی، ضریب همبستگی در مرحله آموزش ۵۲٪ و در مرحله آزمون ۵۳٪ بود اما در مدل آریمما، این مقدار به ترتیب ۴۶٪ و ۶۱٪ به‌دست آمد. براساس خروجی داده‌ها در این دو مدل، ضریب همبستگی داده‌ها در مدل شبکه عصبی بیش از مدل آریمما است. با توجه به کم‌تر بودن میانگین خطای مطلق و مجذور متوسط مربعات خطا در مدل آریمما، می‌توان گفت مدل شبکه عصبی، به‌منظور بررسی میزان همبستگی داده‌های ذرات معلق PM₁₀ سنجدۀ مادیس و داده‌های ایستگاه زمینی در شهر سنندج، مناسب‌تر به نظر می‌رسد. در مدل آریمما، تمامی شرایط لازم برای معنی‌داری داده‌ها تأیید شد؛ بنابراین می‌توان گفت این مدل برای پیش‌بینی داده‌ها مناسب است. نتیجه تحقیق نشان داد میزان همبستگی داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مدل آریمما بیشتر از مدل شبکه عصبی است؛ در نتیجه، می‌توان گفت که مدل آریممای ۱-۰-۳ توانایی لازم را برای پیش‌بینی داده‌های ناقص ماهواره‌ای در شهرهای استان کردستان دارد. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد استفاده از تصاویر و داده‌های سنجدۀ مادیس، به‌منظور بررسی میزان PM₁₀ موجود در هوا و الگوهای حرکتی آنها در قالب طوفان‌های گردوغبار، در سطوح وسیع منطقه‌ای، مناسب و کاربردی است. سنجدۀ مادیس، با ارائه داده‌های ذرات گردوغبار در پیکسل‌هایی با اندازه‌های متفاوت، در قالب تصویر و داده‌های عددی در سطوح وسیع، این امکان را برای محققان فراهم می‌آورد که مراکز اولیه ایجاد طوفان‌های گردوغبار را شناسایی کنند. همچنین، از طریق تولیدات دیگری مانند میزان تغییرات حرارتی زمین و میزان پوشش گیاهی سطح آن، در شناسایی دلایل ایجاد این طوفان‌ها کمک بسیاری می‌کند. در نهایت، متولیان و مدیران مملکتی می‌توانند براساس اطلاعات حاصل از این سنجدۀ به‌منظور مهار طوفان‌های گردوغبار، تصمیمات اجرایی درستی بگیرند.

- Liu, X., Nie, D., Zhang, K., Wang, Z., Li, X., Shi, Z., Wang, Y., Huag, L., Chen, M., Ge, X., Ying, Q., Yu, X., Liu, X. & Hu, J, 2019, **Evaluation of Particulate Matter Deposition in the Human Respiratory Tract During Winter in Nanjing Using Size and Chemically Resolved Ambient Measurements**, Air Quality, Atmosphere & Health, 12(5), PP. 529-538.
- Lorrain & Remer, 2006, **Global Aerosol Climatology from the MODIS Satellite Sensors**, Journal of Geophysical Reserch, 113, PP. 7-14.
- Mirzaei, M., Amanollahi, J. & Tzani, C.G., 2019, **Evaluation of Linear, Nonlinear, and Hybrid Models for Predicting PM_{2.5} Based on a GTWR Model and MODIS AOD Data**, Air Quality, Atmosphere & Health, 12(10), PP. 1215-1224.
- Park, S., Lee, J., Im, J., Song, C-K., Choi, M., Kim, J., Lee, S., Park, R., Kim, J., Yoon, J., Lee, D.-W. & Quackenbush, L.J., 2020, **Estimation of Spatially Continuous Daytime Particulate Matter Concentrations under All Sky Conditions through the Synergistic Us of Satellite-Based AOD and Numerical Models**, Science of the Total Environmet, 713, P. 136516
- Rahimi M., Yazdani, M., Asadi, M., Heydari, M., 1394, **Investigation of air pollution in Sanandaj with emphasis on temporal changes in PM₁₀ concentration**, Urban Ecology Research, Volume 6, Number 11, p. 99 -116.
- Sahu, S.K., Zhang, H., Guo, H., Hu, J., Ying, Q. & Kota, S.K., 2019, **Helath Risk Associated with Potential Source Regions of PM_{2.5} in Indian Cities**, Air Quality, Atmosphere & Health, 12(3), PP 327-340.
- Soleimani A., Mohammad Asgari, H., Dadalehi, SA., Elmizadeh, H., Cheraghi, S. H., 1394, **Optical depth evaluation of MODIS sensor images in the Persian Gulf**, Marine Science and Technology, Volume 14, Number 4, p. 83-75.
- Sotoudian S., Arhami, M., 1390, **Investigation of Satellite Data in Model Development to Predict Pollutant Concentrations at Ground Surface: A Case Study of Tehran**, Fifth Specialized Conference on Environment, University of Tehran.
- Tanre, D., Kaufman, Y.J., Herman, M. & Mattoo, S., 1997, **Remote Sensing of Aerosol over Oceans from EOS-MODIS**, J. Geophys. Res, 102, PP. 16971-16988.
- Tzani, C., Varotsos, C., Christodoulakis, J., Tidblad, J., Ferm, M., Ionescu, A., Lefevre, R.A., Theodorakopoulou, K. & Kreislova, K., 2011, **On the Corrosion and Soiling Effects on Materials by Air Pollution in Athens, Greece**, Atmospheric Chemistry and Physic, 11, PP. 12039-12048.
- Wang, J. & Christopher, S.A., 2003, **Inter Comparison between Satellite-Derived Aerosol Optical Thickness and PM_{2.5} Mass: Implication for Air Quality Studies**, Geophysical Research Letters, 30, P. 2095.
- Wang, J., Pan, Y., Tian, S., Chen, X., Wang, L. & Wang, Y., 2016, **Size Distributions and Health Risks of Particulate Trace Elements in Rural Areas in Northeastern China**, Atmospheric Research, 168, PP. 191-204.
- Wei, C., Aiping, F. & Lei, Y., 2017, **Performance of MODIS C6 Aerosol Product during Frequent Haze-Fog Events: A Case Study of Beijing**, Remote Sensing, 9, PP. 496.
- Xu, H., Guanga, J., Xue, Y., Gerrit, D.L., Leeuw, Y.H., Che, J., Guo, X.W., He, T. & Wang, K., 2015, **A Consistent Aerosol Optical Depth (AOD) Dataset over Mainland China by Integration of Several AOD Products**, Atmospheric Environment, 114, PP. 48-56.
- Yadav, A.K., Sahoo, S.K., Dubey, J.S., Kumar, A.V., Pandey, G. & Tripathi, R.M., 2019, **Assessment of Particulate Matter, Metals of Toxicological Concentration, and Health Risk Around a Mining Area, Odisha, India**, Air Quality, Atmosphere & Health, 12(7), PP. 775-783.



Assessment of Correlation between PM₁₀ Data Measured at Ground Station of Sanandaj and AOD Data of MODIS Sensor

Gholizadeh M.H.^{1*}, Amanollah J.², Rahimi F.³

1. Assistant Prof., Dep. of Climatology, University of Kurdistan
2. Associate Prof., Dep. of Environment, University of Kurdistan
3. M.Sc. of Climatology, University of Kurdistan

Abstract

The aim of this study was to evaluate the accuracy of MODIS satellite data in monitoring aerosol (PM₁₀ particles) to compare with ground pollution station data. It was done in Sanandaj. In this case, the performance of satellite data in measuring dust particles at Sanandaj ground station is identified. At first, the aerosol optical depth data provided by MODIS sensor was prepared based on the corresponding of the PM₁₀ measured by pollution monitoring station located in Sanandaj. Then, the correlation coefficient between two series of data was calculated. In order to obtain the accurate prediction of PM₁₀ the ARIMA and artificial neural network were used. The AOD of MODIS sensor was combined using maximum likelihood and root mean square error for input of prediction models. At last, a single comparison method for each model as well as models comparison was evaluated to identify the accurate model in predicting of PM₁₀. In the ANN model R² was acquired in training phase as 0.52, and testing phase as 0.53 with RMSE=1.62 and MAE=2.62. The analysis showed that the ARIMA model 1-0-3 with R²=0.46, MAE=0.06 and RMSE=0.69 is the only acceptable model. It states that ARIMA model, is a suitable model for prediction of PM₁₀. However, the ANN model was more accurately estimated for the correlation between the data. The results of presented study showed that there is direct relationship between the MODIS sensor AOD data and ground station PM₁₀ data. The results conclude that this algorithm is capable for detecting of dust and can be good alternative to the PM₁₀ provided by the ground stations measurement.

Keywords: MODIS, PM₁₀, Aerosol optical depth, Sanandaj.