

## بررسی و پیش بینی وضع آلاینده های هوای شهر کرمان با مدل سوی های زمانی

فاطمه منصوری: دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

نور گس خانجانی: استادیار، گروه اپیدمیولوژی و عضو پیوسته گروه مهندسی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران-  
نویسنده رابط: n\_khanjani@kmu.ac.ir

لاله رانده کلاتکش: دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

رضا پورموسی: مریب، بخش آمار، دانشکده ریاضی و کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۵ تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱/۱۴

### چکیده

زمینه و هدف: آلودگی هوا یکی از عمدۀ ترین مشکلات شهر های بزرگ در کشور های در حال توسعه است و می تواند عوارض منفی بسیاری بر سلامت انسانها داشته باشد. لذا مطالعه تغییرات این آلاینده ها می تواند کمک مهمی برای برنامه ریزی و مقابله با آنها باشد. هدف از این مطالعه بررسی و پیش بینی تغییرات آلاینده ها در هوای شهر کرمان بود.

روش کار: در این مطالعه اکولوژیک اطلاعات هفت آلاینده مهم شهر کرمان شامل  $O_3$ ,  $NO$ ,  $CO$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$ ,  $PM_{10}$ ,  $SO_2$  از ابتدای سال ۱۳۸۵ تا آخر شهریور ۱۳۸۹ از سازمان حفاظت محیط زیست کرمان استعلام شد. سپس اطلاعات بصورت متوسط در ماه محاسبه و به کمک روش‌های آماری، الگوهای سری زمانی تک متغیره برای هر آلاینده برازش و مقادیر آن پیش بینی شد.

نتایج: آلاینده ها در هوای کرمان روند تقریباً ثابتی داشتند، به جز مونوکسید کربن که به طور معنی داری در حال کاهش و گرد و غبار که روند افزایشی داشت. همه آلاینده ها الگوی فصلی داشتند. الگو های سری زمانی با روند فصلی  $12, 8, 3, 12, 12, 12$  ماه به ترتیب برای آلاینده های  $NO, CO, NO_2, NO_x, PM_{10}, SO_2, O_3$  برازش شد.

نتیجه گیری: میزان تولید مونوکسید کربن در کرمان رو به کاهش است و یک علت احتمالی آن طرح جمع آوری خود روهای فرسوده می تواند باشد. اما میزان گرد و غبار رو به افزایش و در بعضی فصول سال در حد غیر بهداشتی است ولذا باید تدبیر لازم برای مقابله با آن بکار گرفته شود.

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، ذرات معلق، کرمان، سری زمانی، دی اکسید گوگرد، ازن، اکسیدهای نیتروژن، مونو اکسید کربن.

### مقدمه

آلودگی هوا یکی از مشکلات شهرهای بزرگ و صنعتی جهان است و به طور جدی سلامت ساکنان این شهرها را تهدید میکند (Masjedi et al. 2001). بهترین مثال آن مه لندن در سال ۱۹۵۲ بود که جان تعداد زیادی از افراد را گرفت (Anderson 2009). مطالعات بسیاری نشان داده که بین دی سولفید کربن، مونو اکسید کربن، دی اکسید

جداگانه ای را برای ذرات معلق و دی اکسید سولفور منتشر کرد که رهنمود سالیانه و ۲۴ ساعته را برای  $PM_{10}$  به ترتیب کمتر از  $\mu g/m^3$  و  $20 \mu g/m^3$  و  $50 \mu g/m^3$  پیشنهاد داد و همین طور رهنمود ۲۴ ساعته دی اکسید سولفور به  $20 \mu g/m^3$  کاهش یافته بود (Anderson 2009).

مطالعات سری زمانی برای بررسی آلودگی هوای بسیاری از شهرها بکار رفته است (Zhang et al. 2011; López-Villarrubia et al. 2010). محققان از سری های زمانی تک متغیره برای پیش بینی بر اساس آمار موجود از مقادیر آلاینده ها در گذشته استفاده کرده اند و طبق این مدل ها توانسته اند پیش بینی هایی از مقادیر آلاینده ها انجام دهند (Sharma et al. 2009).

اما مطالعات محدودی از آسیا در این مورد وجود دارد و به خاطر کمبود مطالعات از آسیا بسیاری از کشورها صرفاً از دستور العمل سازمان جهانی بهداشت تعیین می کنند. در صورتی که کشورهای آسیایی از نظر نوع آلودگی و خصوصیات جمعیتی متفاوت هستند و مقادیر بالایی از آلاینده ها در کشورهای آسیایی گزارش شده است (Rajarathnam et al. 2011).

مطالعات آلودگی هوای انجام شده در کشور ما نیز محدود بوده (Khosravi Dehkordi and Modarres 2007; Nasrollahi and Ghaffari Goolak 2010) و اکثراً به مطالعه اثر آلودگی هوای بر سلامت انسان پرداخته اند. در این مطالعه آلودگی هوای شهر کرمان برای اولین بار مدل سازی و مورد بررسی و پیش بینی قرار می گیرد. کرمان از شهرهای کویری جنوب شرق ایران بوده، جمعیت آن در سرشماری ۱۳۸۵، ۶۷۷۶۵۰ نفر بوده است و علاوه بر آلودگی هوا در فصولی با طوفانهای شن و افزایش گرد و غبار هوا نیز رویرو می شود. آب و هوای آن گرم و خشک است.

به خاطر اهمیت آلاینده های هوا پیش بینی و مطالعه تغییرات آنها از اهمیت بسیاری برخوردار است. مدل سازی

افزایش داشته و به ازاء افزایش هر  $NO_2$  در  $\mu g/m^3$  ۱۰۰/۸۴ در صد در کل مرگ و میر اتفاق افتاده است. (Rajarathnam et al. 2011) شمالی هم نشان داده است که افزایش هر  $\mu g/m^2$  از ذرات معلق  $PM_{10}$  همراه با افزایش مرگ و میر حدود  $0/5$  تا  $0/3$  در صد بوده است (Samet et al. 2000).

هوا نیز مانند سایر منابع محیط زیست دارای ظرفیت محدود است و تحمل تخلیه مواد زاید و سمی مختلف را در حدی که امروزه بشر به آن تحمل کرده است ندارد. تغییر در ویژگی های فیزیکی و شیمیایی عناصر تشکیل دهنده هوا، آلودگی هوا اطلاق می شود که می تواند منبع طبیعی و یا مصنوعی داشته باشد (Nasrollhi and Ghaffari 2010).

سازمان بهداشت جهانی به صورت دوره ای شواهدی از آلاینده های هوا و سلامت را مرور میکند و رهنمود هایی را پیشنهاد میدهد که جهت حفاظت سلامت عمومی مورد ملاحظه قرار گیرد. در سال ۱۹۷۰ سازمان بهداشت جهانی نتیجه گرفته بود که سطح مواجهه بلند مدت با ذرات معلق که فراتر از آن برای سلامت انسان مضر هستند در حدود  $150 \mu g/m^3$  است و بعد از اضافه کردن یک فاکتور سلامت معادل ۲ پیشنهاد کرد که این آستانه باید حدود  $60 \mu g/m^3$  تا  $90 \mu g/m^3$  باشد (Anderson 2009).

در سال ۱۹۸۷ با استفاده از این اصول سازمان بهداشت جهانی اولین رهنمودش را برای ذرات هوای آزاد، دی اکسید سولفور، نیتروژن دی اکساید و ازن منتشر کرد. رهنمود ها برای ذرات معلق و دی اکسید سولفور مشابه هم بود که برای تماس های طولانی مدت (سالیانه) تقریباً  $50 \mu g/m^3$  پیشنهاد شده بود، در حالی که رهنمود ۲۴ ساعته برای هر دو تقریباً  $125 \mu g/m^3$  است. رهنمود های ۲۴ ساعته برای ذرات تنفسی  $PM_{10}$   $70 \mu g/m^3$  بود. در طی کمتر از ۲۰ سال اخیر سازمان بهداشت جهانی یک رهنمود

Nمودار های Autocorrelation Function (ACF) و Partial Autocorrelation Function (PACF) (Hamilton 1994; Box and Jenkins 1976). می باشد (.

بر اساس ACF و PACF مقادیر  $p$  و  $q$  حدس زده می شود و الگوی فصلی را هم باید مشخص کرد. باقیمانده های مدل و داده های واقعی باید این خصوصیات را داشته باشند که میانگین آنها صفر باشد، واریانس ثابت باشد، برای همه تاخیر ها همبستگی وجود نداشته باشد و توزیعشان نرمال باشد. لذا مدل باید آنقدر تغییر کند تا به مدل مطلوب بررسیم (Lumbreiras et al. 2009). در صورتی که الگوی فصلی نیز موجود باشد، مدل بصورت SARIMA( $p,d,q$ )( $P,D,Q$ )T Box- $T$  معرف الگوی فصلی است. برای ساختن مدل های Jenkins مراحلی باید طی شود که شامل: شناسایی، تخمین، چک کردن و در نهایت پیش بینی است. این مراحل آنقدر تکرار می شود تا نهایتاً بتوان به بهترین مدل رسید (Duenas et al. 2005). مدل های آریما نه تنها پیش بینی می کنند بلکه حتی دامنه اطمینان هم برای پیش بینی ارائه می دهند. (Lumbreiras et al. 2009).

برای تعیین مناسب بودن Goodness of fit)، مدل سری زمانی از Akaike Information Criterion (AIC) یا ضریب آکایکی استفاده می شود. ضریب آکایکی یک معیار مستقل و عینی برای انتخاب مناسب ترین مدل است. در این روش مناسب بودن مدل بر اساس مجموع مربعات باقیمانده است؛ و با توجه به تعداد پارامتر های مستقل کاهش می یابد. (Ingrisch et al. 2009) اگر چه وقتی که تعداد پارامتر های مستقل افزایش می یابد مدل انعطاف پذیر تر می شود، اما از آنجا که همواره منطقی تر است که مدل ساده تر و نه پیچیده تر انتخاب شود، این موضوع عموماً مورد قبول است که بهترین مدل مدلی است که هم به میزان کافی پیش بینی کند و هم از تعداد کمتر

آلودگی هوا به شناسایی تغییرات زمانی این آلاینده ها برای برنامه ریزی بهتر و کنترل آلاینده ها کمک خواهد کرد.

## روش کار

در این پژوهش داده های آلودگی هوا از ابتدای سال ۱۳۸۵ تا آخر شهریور ۱۳۸۹ از سازمان حفاظت محیط زیست کرمان دریافت گردید. سازمان حفاظت محیط زیست کرمان از ابتدای ۱۳۸۵ شروع به اندازه گیری آلاینده ها نموده است. این سازمان ۷ آلاینده  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NOx}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$  را به طور روزانه توسط تها ایستگاه ثابت داخل شهری خود واقع در میدان شهداد اندازه گیری مینماید. داده های آلودگی هوا ابتدا بصورت متوسط ماهانه در آمدند. سپس با نرم افزار MiniTab و با استفاده از مدل های سری های زمانی تک متغیره سعی شد که برای هر آلاینده در هوای کرمان بهترین مدل پیشنهاد شود تا از روی آن بتوان علاوه بر تحلیل داده ها، مقادیر آتی را نیز پیش بینی نمود. سری زمانی مجموعه مشاهداتی است که بر حسب زمان یا مرتبه تکرار مرتب شده اند. خانواده اصلی الگوهای سری زمانی یعنی الگوی Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) که با مرتبه های  $p$  (اتورگرسیون)،  $d$  (درجه تمایز) و  $q$  (ترتیب میانگینهای متحرک) تعیین می شود، در الگو سازی از وضعیت های دنیای واقعی از اهمیت زیادی برخوردار است. این خانواده که به الگوی باکس-جنکینس نیز معروف است، توسط سیستم های آماری نظری MiniTab به سهولت قابل بررسی است. در بسیاری از زمینه هایی که سری زمانی مورد استفاده قرار می گیرد، گرایشهای دوره ای معمول است. در چنین مواردی جهت تحلیل داده ها از مدل های فصلی ضریب ARIMA( $p,d,q$ )( $P,D,Q$ ) استفاده می شود که در آن  $p,d,q$  مرتبه های غیر فصلی و  $P,D,Q$  مرتبه های فصلی است. در تحلیل سری های زمانی شناسایی الگو یعنی تعیین مقادیر مرتبه های فصلی و غیر فصلی بر اساس رفتار

ARIMA پیشنهاد شد که تمام پارامترهای آن در سطح  $0.05 = \alpha$  معنی دار بودند. (شکل b).

روند NO در طول این ۴ سال و نیم تقریباً ثابت بود و شیب خط نزدیک به صفر و غیر معنی دار داشت. تجزیه داده‌ها مدل  $(1,1,1)(1,1,1,1)$  ARIMA را پیشنهاد کرد که تمام پارامترهای آن در سطح  $0.05 = \alpha$  معنی دار بودند. (شکل c).

روند  $\text{NO}_2$  هم در طول مدت تقریباً ثابت بود و شیب خط نزدیک به صفر و غیر معنی دار داشت. با تجزیه مدل مشخص گردید که الگوی فصلی ۱۲ ماهه‌ای در این داده‌ها وجود دارد و مدل  $(1,1,1)(1,1,1,1)$  ARIMA پیشنهاد شد که تمام پارامترهای آن در سطح  $0.05 = \alpha$  معنی دار بودند. (شکل d).

روند  $\text{NO}_x$  هم در طول این مدت ثابت بود. با تحلیل داده‌ها مشخص گردید که الگوی فصلی ۱۲ ماهه‌ای در این داده‌ها وجود دارد. نهایتاً مدل  $(1,1,1)(1,1,1,1)$  ARIMA پیشنهاد شد که تمام پارامترهای آن در سطح  $0.05 = \alpha$  معنی دار بودند. به نظر می‌رسد که در کرمان مقدار  $\text{NO}_x$  در حوالی ماههای ۱۲ و ۱۱ (نوامبر و دسامبر) از بقیه بیشتر است. (شکل e).

روند  $\text{O}_3$  در طول این مدت تقریباً ثابت بود و شیب خط نزدیک به صفر و غیر معنی دار بود. سپس با تحلیل داده‌ها مشخص گردید که الگوی فصلی ۱۲ ماهه‌ای در این داده‌ها وجود دارد. در نهایت مدل  $(1,1,1)(1,1,1,1)$  ARIMA پیشنهاد شد. در الگوی فصلی تقریباً ۱۲ ماهه دیده شده، به نظر می‌رسد که میزان ازن در هوای کرمان در حوالی ماه ۶ و ۷ یعنی زوئن و ژوئیه (ماههای گرم) افزایش دارد که تمام پارامترهای آن در سطح  $0.05 = \alpha$  معنی دار بودند. (شکل f).

روند  $\text{SO}_2$  در طول این ۴ سال و نیم تقریباً ثابت بود و شیب خط نزدیک به صفر و غیر معنی دار بود. در این داده‌ها واریانس‌ها تغییرات معنی داری داشت و با Box-Cox Transformation بصورت ثابت در آمد. سپس الگوی

پارامتر استفاده کرده باشد. یکی از راههای رسیدن به چنین مدلی استفاده از AIC است. (Farrell 2004) در این مطالعه برای رسیدن به مدل نهایی از مقادیر ACF, PACF در سطح معنی داری  $0.05 = \alpha$  مدل‌های مناسب اولیه شناسایی شد و پس از ساختن مدل، با ضریب آکایی بهترین مدل انتخاب شد.

## نتایج

میانگین آلاینده‌های هوای کرمان در دوره مورد بررسی در جدول ۱ آمده است. در این مطالعه اندازه گیری ۷ آلاینده هوای کرمان با روش سری‌های زمانی مورد بررسی قرار گرفت. این آلاینده‌ها شامل  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$  و گرد و غبار ( $\text{PM}_{10}$ ) بودند. مدل‌های پیش‌بینی آریما برای پیش‌بینی وضع آلاینده‌های هوای کرمان برای هر کدام جداگانه ساخته شد.

روند گاز مونوکسید کربن در طول این ۴ سال و نیم با کاهش همراه بود. این کاهش در سطح  $0.05 = \alpha$  معنی دار بوده و بصورت

$y = 2056 - 0.02xt$  بود. با تجزیه مدل مشخص گردید که دوره تنابع ۱۲ ماهه‌ای در این اطلاعات وجود دارد و افزایش مونو اکسید کربن در کرمان همزمان با ماههای زمستان بوده است و نهایتاً بر اساس مقادیر PACF و ACF داده‌ها الگوی فصلی ضریب  $(1,1,2)(1,0,2)$  پیشنهاد شد که تمام پارامترهای آن در سطح  $0.05 = \alpha$  معنی دار بودند و نمودار PACF و ACF باقیمانده‌ها هم مناسب بودن این مدل را تایید کرد (شکل a).

روند گرد و غبار در طول این ۴ سال و نیم افزایشی بصورت  $y = 117/1 + 0.313xt$  داشت. با تجزیه مدل مشخص گردید که الگوی فصلی حدوداً ۸ ماهه‌ای در این اطلاعات وجود دارد، داده‌های خام نشان داد که میزان گرد و غبار در ماه پنجم (مه) و دهم (اکتبر) یعنی اواسط بهار و پاییز بیشتر از بقیه ماهها بوده است. نهایتاً مدل  $(0,1,1)(0,1,1,1)$

ازن در استراتوسفر یک محافظ است اما در تروپوسفر یک آلوده کننده است و از واکنش شیمیایی بین  $\text{NO}_2$  و هیدرو کربنها و نور خورشید ایجاد می‌شود. بر اساس آخرین اعلام سازمان بهداشت جهانی در ۲۰۰۶ مقدار  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ازن برای حداکثر میانگین روزانه ۸ ساعته مجاز می‌باشد. از این مقدار بیشتر بسته به حساسیت فرد می‌تواند عوارضی ایجاد کند. بنایارین کنترل ازن هم مثل سایر آلاینده‌ها لازم است (Quintela-del-Rio and Francisco-Fernandez 2011).

در حالیکه  $\text{NO}_2$  یک منبع برای تولید ازن است، نیتروژن اکساید (NO) ازن را تخریب می‌کند و برای همین است که مقادیر ازن در شهرها به اندازه روزتاها بالا نیست، زیرا NO توسط اتمیلها تولید می‌شود. البته عوامل دیگر از جمله تعداد ساعتها مواجهه با نور خورشید، دما، باد و ارتفاع وجود دارد که تولید ازن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Quintela-del-Rio and Francisco-Fernandez 2011).

در طبیعت ازن از شوکهای الکتریکی ناشی از طوفان‌ها در لایه‌های بالای اتمسفر یا باختر تاثیر اشعه ماوراء بخش روی مولکولهای اکسیژن تولید می‌شوند. تولید بعضی از مواد شیمیایی از جمله کلروفلوروکربنها توسط انسان باعث تخریب ازن می‌شود. بر اساس قراردادهای بین‌المللی تولید این مواد باید کاهش یابد (Francisco-Fernandez 2011).

ذرات معلق نیز یکی از آلاینده‌های مهم هوای شهرها محسوب می‌شوند (Goyal et al. 2006). مطالعات متعدد نشان داده که آلاینده‌های  $\text{PM}_{10}$  فصلی است (Liu 2009) و در مطالعه‌ها هم حداقل دو پیک سالیانه برای این ذرات مشاهده شد. ذرات معلق علاوه بر کاهش دید و رسوب در محلهای مختلف از طریق استنشاق می‌توانند سلامت انسان را به خطر اندازند. مطالعات متعددی اثرات مضر بر سلامت انسان در اثر ذرات معلق را گزارش کرده است (Goyal

فصلی تقریباً ۳ ماهه‌ای (۱،۰،۰) (۰،۱،۰) ARIMA پیشنهاد شد (شکل ۱).

## بحث

مدلهای سری‌های زمانی در بسیاری از مطالعات علوم محیطی استفاده شده و نتایج مطلوبی داشته است (Kumar and De Ridder 2010). مطالعات نشان داده که هیچ مدل خطی ساده‌ای برای آلاینده‌های هوای وجود ندارد و معمولاً برای مدلسازی این آلاینده‌ها از مدل‌های پیچیده تر و از جمله Kumar and De Ridder 2010 (Ridder 2010). وقتی که هدف مطالعه پیش‌بینی است و متغیر مورد بررسی تحت تاثیر عوامل متعدد می‌باشد و روابط به خوبی شناخته شده نیستند، مثل آلاینده‌های هوای روش‌های سری‌های زمانی تک متغیره بهتر از مدل‌های دیگر می‌توانند کار پیش‌بینی را انجام دهند (Kumar and De Ridder 2010). در این مدلها بر اساس داده‌های قبلی محاسباتی انجام می‌شود و داده‌هایی با دامنه اطمینان برای آینده پیش‌بینی می‌شود. مدل سری‌زمانی برای سالیان زیادی با موفقیت برای پیش‌بینی وضع آلاینده‌های هوای بکار رفته است (Lumbreiras et al. 2009).

مطالعات نشان داده است که ازن در روزهای گرم که تابش نور آفتاب زیاد است و باد کم است و فشار سطحی بالاست، افزایش می‌یابد (Duenas et al. 2005). معمولاً مقدار ازن در تابستان بیشتر است (Duenas et al. 2005) و در مطالعه‌ها هم همین نتیجه گرفته شد. مدل‌های ARIMA در مطالعات دیگر برای بررسی آلاینده‌های هوای از جمله ازن بکار گرفته شده‌اند. از جمله در مطالعه‌ای در اسپانیا مدل ARIMA برای پیشگوئی ازن منطقه شهری و مدل ARIMA برای پیشگوئی ازن مناطق روستائی بکار گرفته شد (Duenas et al. 2005).

اکسید های نیتروژن با  $PM_{10}$  به خاطر واکنشهای شیمیایی اکسید های نیتروژن است. واکنشهای فتو شیمیایی با افزایش  $SO_4^{2-}$ ,  $HNO_3$ ,  $O_3$  و  $NO_3$  که محلول در آب است و اشعه شروع می شود و باعث افزایش  $PM_{10}$  می شوند، بخصوص  $HNO_3$  که مولکول در آب است و می تواند روی سطوح نشست کند (Liu 2009). در مطالعه Liu و بعضی مطالعات دیگر (Liu 2009) بین مقادیر اکسید های نیتروژن و ذرات معلق همبستگی معنی داری دیده شد. خوشبختانه در مدل سری زمانی نیازی به فرض استقلال آلاینده ها نیست و می توان از آن برای پیشگوئی آلاینده هایی که همبستگی دارند نیز استفاده کرد (Liu 2009). از کاستی های این مطالعات وجود روزهایی بود که در آن میزان آلاینده ها به علت خرابی دستگاه اندازه گیری نشده بود و استفاده از میانگین ماهانه تا حدی این مشکل را مرتفع کرد.

### نتیجه گیری

خوشبختانه میزان تولید مونوکسید کربن در کرمان رو به کاهش است، و در حال حاضر عمدۀ ترین مشکل آلودگی هوا در کرمان ذرات معلق است و مدل بدست آمده نیز نشان می دهد که علاوه بر افزایش در مقاطع زمانی خاص، روند کلی آن نیز رو به افزایش است. با توجه به اثرات منفی این آلاینده ها بر سلامت لازم است برنامه ریزی مناسب برای مقابله با آن بخصوص در فصول خاص صورت گیرد. درخت کاری در اطراف شهر کرمان و بخصوص استفاده از درختان کویری که با آب و هوای منطقه سازگاری دارند می تواند از جمله این اقدامات باشد.

### تشکر و قدردانی

نویسندها این مقاله از سازمان حفاظت محیط زیست کرمان و بخصوص خانم مهندس بابکی به خاطر حسن همکاری شان کمال تشکر را دارند. این مطالعه توسط کمیته تحقیقاتی پژوهشی محیطی دانشکده بهداشت تصویب و توسط معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پژوهشی کرمان تأمین اعتبار شد.

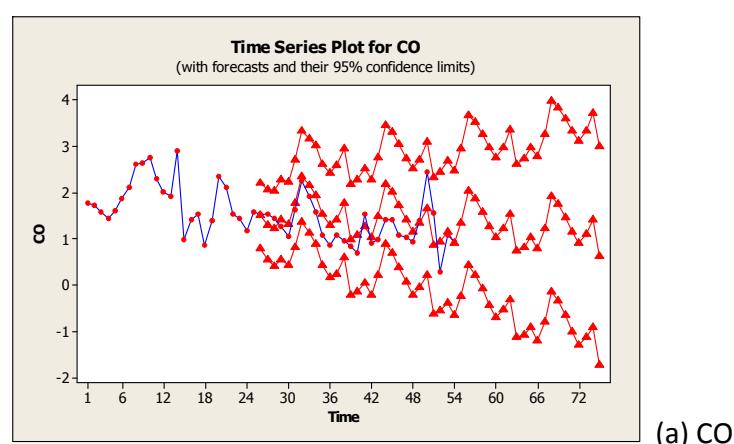
AQI et al. 2006 ( استاندارد وضعیت ۲۴ ساعته آلاینده ها بر طبق استاندارد ۲۴ ساعته AQI بدین ترتیب تعریف میگردد: وضعیت خوب هوا برای مونوکسید کربن ( $PPM_{0-3/4}$ ) ، برای ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون ( $\mu g/m^3_{0-39}$ ) وضعیت متوسط هوا برای مونوکسید کربن ( $PPM_{3/5}$ )  $\mu g/m^3_{6/8}$  ، برای ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون ( $PPM_{40-99}$ ) ، وضعیت غیر بهداشتی برای گروه های حساس در مورد مونوکسید کربن ( $PPM_{10/3-6/9}$ ) و برای ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون ( $PPM_{100-199}$ ) وضعیت وخیم برای مونوکسید کربن بیشتر از ( $PPM_{10/4}$ ) و بالاخره وضعیت وخیم برای ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون بیشتر از ( $PPM_{200}$ ) می باشد. برای آلاینده ها وضعیت ذرات معلق در کرمان در بسیاری از ماههای سال بالاتر از  $PPM_{100}$  و غیر بهداشتی است و مطالعه حاضر نشان داد که گرد و خاک در هوای کرمان رو به افزایش است. در مطالعه ما مقدار مونوکسید کربن در زمستانها بیشتر بود که به احتمال زیاد به خاطر استفاده از وسائل گرم کننده در زمستان است. مطالعه Lau و همکاران هم نشان داد که مونوکسید کربن در تابستان کمتر است و در فصل زمستان و در مکانهای با ترافیک بالا بیشتر است. مونوکسید کربن یک آلوده کننده اصلی شهر های بزرگ است و می تواند بر سلامت انسان تاثیرات منفی متعدد داشته باشد (Lau et al. 2009). در مدل ما مونوکسید کربن یک سیر نزولی هم در طول این چند سال نشان داد که یک توجیه آن اجرای طرح تعویض خودروهای فرسوده می باشد.

در بعضی از مطالعات (Liu 2009) مقدار ازن و اکسید های نیتروژن با  $PM_{10}$  همبستگی داشتند که احتمالاً به خاطر واکنشهای فتو شیمیایی است که با افزایش اشعه شروع می شود. اکسید های نیتروژن می توانند در شرایط مرتبط به صورت ذرات در آیند و باعث افزایش  $PM_{10}$  شوند (Liu 2009). یک فرضیه در مورد همبستگی بین

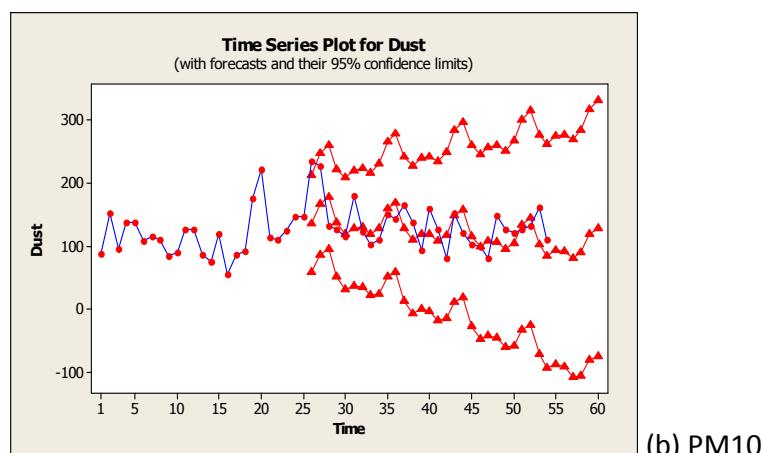
جدول ۱ - وضعیت آآلینده‌های شهر کرمان در دوره مورد بررسی

میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	آلینده
۱/۵۲	۱/۴۸	۰/۲۹۳۱	۲/۹	CO (ppm)
۱۲۵/۶۹	۱۲۳/۵۷	۵۴/۳۸	۲۳۴/۰۱	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
۰/۰۱۷۳	۰/۰۱۲۲	۰/۰۰۲۶	۰/۰۶۸۳	NO (ppm)
۰/۰۲۵۹	۰/۰۲۳۸	۰/۰۰۱۵	۰/۰۵۸	NO <sub>2</sub> (ppm)
۰/۰۳۷۶	۰/۰۳۳۳	۰/۰۱۰۲	۰/۱۱۸۱	NO <sub>x</sub> (ppm)
۰/۰۱۵۶۰	۰/۰۱۴۱۵	۰/۰۰۴۴۵	۰/۰۳۱۷	O <sub>3</sub> (ppm)
۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۲۵۳۵	SO <sub>2</sub> (ppm)

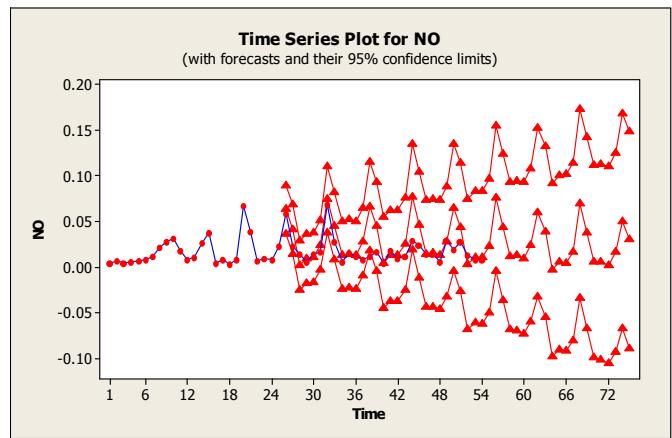
شکل ۱: پیش‌بینی تغییرات آآلینده‌ها در هوای کرمان طبق الگوی سری زمانی پیشنهاد شده. (واحد زمان در محور افقی ماه است و از فروردین ۱۳۸۵ تا شهریور ۱۳۸۹ می باشد).



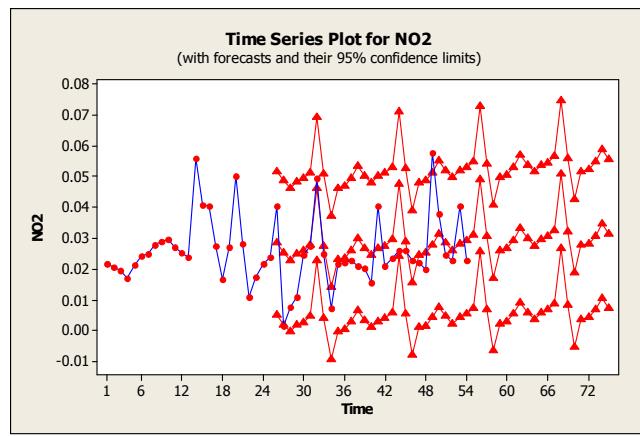
(a) CO



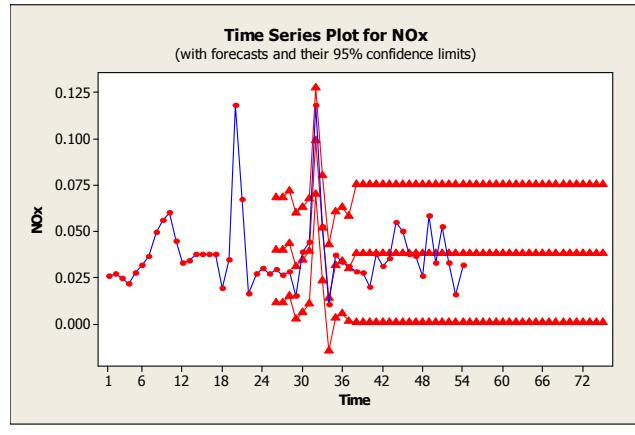
(b) PM10



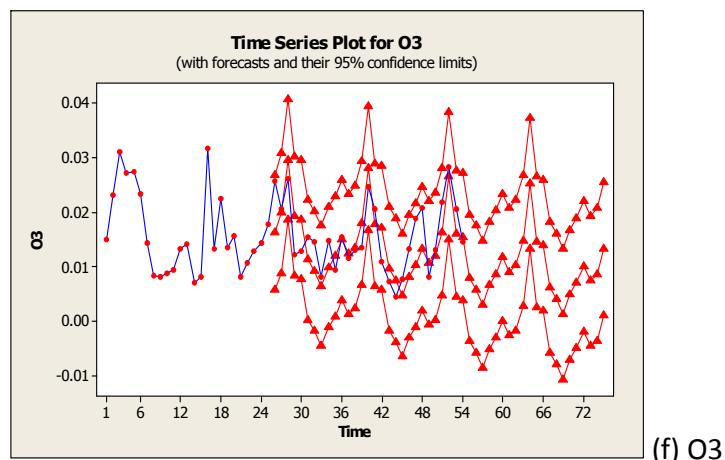
(c) NO



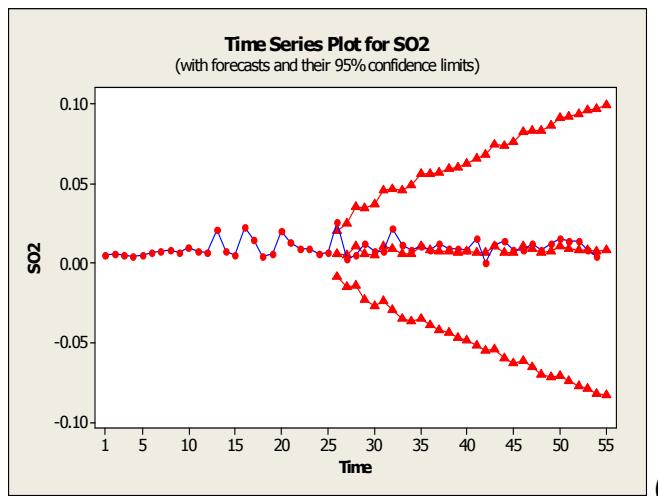
(d) NO<sub>2</sub>



(e) NO<sub>x</sub>



(f) O<sub>3</sub>



(g) SO<sub>2</sub>

## References

- Anderson, H.R., 2009. Air pollution and mortality: A history. *Atmospheric Environment*, 43, pp. 142-152.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M., 1976. Time series analysis: forecasting and control, San Francisco, Holden Day Publications.
- Duenas, C., Fernandez, M.C., Canete, S., Carretero,Liger E, 2005. Stochastic model to forecast ground level ozone concentration at urban and rural areas. *Chemosphere*, 61(10), pp. 1379-1389.
- Ghorbani, M. and Younesian, M., 1389. Research Projects in Air pollution Epidemiology. *Iranian Epidemiology Journal*. 5, pp. 44-52 [In Persian].
- Goyal, P., Chan, A.T. and Jaiswal, N., 2006. Statistical models for the prediction of respirable suspended particulate matter in

- urban cities. *Atmospheric Environment*, 40, pp. 2068-2077.
- Hamilton, JD., 1994. Time series analysis, Princeton Publications, USA.
- Hosseinpour, A.R., Forouzanfar, M.H., Yunesian, M., Asghari, F., Holakouie Naieni, K. and Farhood, D., 2005. Air pollution and hospitalization due to angina pectoris in Tehran, Iran: A time-series study. *Environmental Research*, 99, pp. 126-131 [In Persian].
- Ingrisch, M., Sourbron, S., Reiser, M.F. and Peller, M., 2009. Model selection in dynamic contrast enhanced MRI: The Akaike Information Criterion. In Dössel, O. and Schlegel, WC. (Eds.) *IFMBE Proceedings 25/IV*
- Khosravi Dehkordi, A. and Modarres, R., 1386. Time Series analysis of the daily air pollution in Isfahan from the Petroleum Industry. *Mohit shenasi*. 33, pp. 33-42 [In Persian].
- Kumar, U. and De Ridder, K., 2010. GARCH modelling in association with FFT-ARIMA to forecast ozone episodes. *Atmospheric Environment*, 44, pp. 4252-4265.
- Lau, J.C., Hung, W.T., Yuen, D.D. and Cheung, C.S., 2009. Long memory characteristics of urban roadside air quality. *Transportation Research Part D*, 14, pp. 353-359.
- Liang, W., Wei, H. and Kuo, H., 2009. Association between daily mortality from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Taiwan. *Environmental Research*, 109, pp. 51-58.
- Liu, P.G., 2009. Simulation of the daily average PM10 concentrations at Ta-Liao with Box-Jenkins time series models and multivariate analysis. *Atmospheric Environment*, 43, pp. 2104-2113.
- López-Villarrubia, E., Ballester, F., Iñiguez, C. and Peral, N., 2010. Air pollution and mortality in the Canary Islands:a time-series analysis. *Environmental Health*, 9.
- Lumbrales, J., García-Martos, C., Mira, J. and Borge, R., 2009. Computation of uncertainty for atmospheric emission projections from key pollutant sources in Spain. *Atmospheric Environment*, 43, pp. 1557-1564.
- Masjedi, M.R., Jamaati, H.R., Dokooohki, P., Ahmadzadeh, Z., Alinejad Taheri, S., Bigdeli, M., Agin, K., Ghavam, S.M., Rostiman, A. and Izadi S., 2001. The correlation between air pollution and acute respiratory and cardiac attacks. *Pazhoohesh dar pezeshki*, 25, pp. 25-33 [In Persian].
- Nasrollhi, Z. and Ghaffari Goolak, M., 2010. Air pollution and its effective factors. *Faslnameh Pazhoohesh Eghtesadi*, 3, pp. 375-395 [In Persian].
- Quintela-del-Rio, A. and Francisco-Fernandez, M., 2011. Nonparametric functional data estimation applied to ozone data: Prediction and extreme value analysis. *Chemosphere*, 82, pp. 800-808.
- Rajarathnam, U., Sehgal M., Nairy S., Patnayak R.C., Chhabra S.K., Kilnani, K.V., R and Committee., HHR, 2011. Time Series study on air pollution and mortality in Dehli. *Res Rep Health Eff Inst*, Mar, pp. 47-74.
- Samet, J.M., Dominici, F., Zeger, S.L., Schwartz, J. and Dockery, D.W., 2000. The national morbidity, mortality and air pollution study. Part 1: Methods and Methodologic Issues. Research Report 94 Cambridge, MA, Health Effects institute.

- Sharma, P., Chandra, A. and Kaushik, S.C., 2009. Forecasts using Box–Jenkins models for the ambient air quality data of Delhi City. *Environ Monit Assess*, 157, pp. 105–112.
- Wagemakers, E. and Farrell, S., 2004. AIC model selection using Akaike weights. *Psychonomic Bulletin and Review*, 11, pp. 192–196.
- Zhang, F., Wang, W., Lv, J., Krafft, T. and Xu, J., 2011. Time-series studies on air pollution and daily outpatient visits for allergic rhinitis in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 409, pp. 2486–2492.

## Forecasting air pollutant situation using the time series models in Kerman, Iran

**Mansouri, F.**, MS.c. Student, Dept of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Kerman Medical University, Kerman, Iran

**Khanjani, N.**, Ph.D. Assistant Professor, Department of Epidemiology and Department of Environmental Health, Faculty of Public Health, Kerman Medical University, Kerman, Iran - Corresponding author: n\_khanjani@kmu.ac.ir

**Rananadeh Kalankesh, L.**, MS.c. Student, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Kerman Medical University, Kerman, Iran

**Pourmousa, R.**, MS.c. Lecturer, Department of Statistics, School of Mathematics and Statistics, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

Received: Apr 3, 2012

Accepted: Feb 14, 2013

### ABSTRACT

**Background and Aim:** Air pollution, one of the most important problems in big cities in developing countries, can have several negative health effects on humans. Therefore, studying air pollutants can help in developing programs for air pollution control. The aim of this study was to determine and predict the changes of air pollutants in the City of Kerman, Iran.

**Materials and Methods:** In this ecological study, data about seven important air pollutants in Kerman, including carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO, NO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>), particulate matter (PM<sub>10</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and ozone (O<sub>3</sub>), between March 2006 and September 2010 was obtained from the Kerman Province Environmental Protection Agency. Monthly averages were calculated for all the pollutants and, using univariate time series models, predictions were made for changes in each pollutant.

**Results:** All of the air pollutants had a steady trend in Kerman, except CO and PM<sub>10</sub>, the former having a decreasing, and that latter an increasing, trend. All of the pollutants had a seasonal pattern. Time series models with a 12-, 3-, 8-, 12-, 12- and 6-month seasonal patterns were fit for O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, CO and NO, respectively.

**Conclusion:** The production of ambient CO is decreasing in Kerman, a probable reason being discontinuing use of old automobiles. However, PM<sub>10</sub> is increasing and in some seasons it is above standard; therefore, strategies should be adopted to control this problem.

**Key words:** Air pollution, particulate matter, PM<sub>10</sub>, Kerman, Time Series, Sulfur dioxide, Ozone, Nitrogen oxides, Carbon monoxide