

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

**فاطمه منصوری:** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران  
**نرگس خانجانی:** استادیار، گروه اپیدمیولوژی و عضو پیوسته گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران-  
نویسنده رابط: n\_khanjani@kmu.ac.ir

**لاله راننده کلانکش:** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران  
**رضا پورموسی:** مربی، بخش آمار، دانشکده ریاضی و کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۵

### چکیده

**زمینه و هدف:** آلودگی هوا یکی از عمده 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 ی مهم شهر کرمان شامل  $NO$ ,  $CO$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$ ,  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$  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 مونواکسید 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 ۱۲، ۳، ۸، ۱۲، ۱۲، ۶ 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 رو های فرسوده می تواند باشد. اما میزان گرد و غبار رو به افزایش و در بعضی فصول سال در حد غیر بهداشتی است و لذا باید تدابیر 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

نیتروژن و  $PM_{10}$  و مرگ و میر تنفسی و قلبی، عفونت های ریوی و بیماری های حاد نیازمند بستری بیمارستانی، ارتباط وجود دارد (Liang et al. 2009; Hosseinpour et al. 2010; Ghorbani and Younesian 2010). به عنوان مثال مطالعه ای در هندوستان نشان داد که به ازای افزایش هر  $10 \mu g/m^3$  ذرات معلق  $PM_{10}$  مرگ و میر کلی ۰/۱۵ درصد

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  $20 \mu g/m^3$  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 معدودی از آسیا در این مورد وجود دارد و به خاطر کمبود مطالعات از آسیا بسیاری از کشورها صرفا از دستور العمل سازمان جهانی بهداشت تبعیت می کنند. در صورتی که کشور های آسیایی از نظر نوع آلودگی و خصوصیات جمعیتی متفاوت هستند و مقادیر بالایی از آلاینده ها در کشور های 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 اکثرا به مطالعه اثر آلودگی هوا 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 روبرو 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  $10 \mu g/m^3$  در  $NO_2$  افزایش ۰/۸۴ در صد در کل مرگ و میر اتفاق افتاده است. (Rajarathnam et al. 2011) مطالعاتی از آمریکای شمالی هم نشان داده است که افزایش هر  $10 \mu g/m^2$  از ذرات معلق  $PM_{10}$  همراه با افزایش مرگ و میر حدود ۰/۳ تا ۰/۵ 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 تحمیل 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 (Nasrollahi 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) تقریبا  $50 \mu g/m^3$  پیشنهاد شده بود، در حالی که رهنمود ۲۴ ساعته برای هر دو تقریبا  $125 \mu g/m^3$  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

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

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 برسیم (Lumbreras et al. 2009). در صورتی که الگوی فصلی نیز موجود باشد، مدل بصورت  $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)T$  در آن معرف الگوی فصلی است. برای ساختن مدل های Box-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 آریمان تنها پیش بینی می کنند بلکه حتی دامنه اطمینان هم برای پیش بینی ارائه می دهند. (Lumbreras et al. 2009).

برای تعیین مناسب بودن ( $Goodness\ of\ fit$ )، مدل سری زمانی از Akaike Information Criterion (AIC) یا ضریب آکایی استفاده می شود. ضریب آکایی 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  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$ ,  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$  را به طور روزانه توسط تنها ایستگاه ثابت داخل شهری خود واقع در میدان شهدا 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 نظیر 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

پارامتر استفاده کرده باشد. یکی از راههای رسیدن به چنین مدلی استفاده از AIC است. (Wagemakers and Farrell 2004) در این مطالعه برای رسیدن به مدل نهایی از مقادیر ACF, PACF در سطح معنی داری ۰/۰۵ مدل های مناسب اولیه شناسایی شد و پس از ساختن مدل، با ضریب آکایی بهترین مدل انتخاب شد.

## نتایج

میانگین آلاینده های هوای کرمان در دوره مورد بررسی در جدول ۱ آمده است. در این مطالعه اندازه گیری ۷ آلاینده هوای کرمان با روش سری های زمانی مورد بررسی قرار گرفت. این آلاینده ها شامل  $CO$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$ ,  $O_3$ ,  $SO_2$  و گرد و غبار ( $PM_{10}$ ) بودند. مدل های پیش بینی آریما برای پیش بینی وضع آلاینده های هوای کرمان برای هر کدام جداگانه ساخته شد.

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

$y = 2/0.56 - 0/0.2 \times t$  بود. با تجزیه مدل مشخص گردید که دوره تناوب ۱۲ ماهه ای در این اطلاعات وجود دارد و افزایش مونو اکسید کربن در کرمان همزمان با ماههای زمستان بوده است و نهایتاً بر اساس مقادیر ACF و PACF داده ها الگوی فصلی ضریبی  $(1,0,2)$   $ARIMA(0,1,1)$  پیشنهاد شد که تمام پارامترهای آن در سطح  $\alpha=0.05$  معنی دار بودند و نمودار ACF و PACF باقیمانده ها هم مناسب بودن این مدل را تایید کرد (شکل ۱ a).

روند گرد و غبار در طول این ۴ سال و نیم افزایشی بصورت  $y = 117/1 + 0/313 \times t$  داشت. با تجزیه مدل مشخص گردید که الگوی فصلی حدوداً ۸ ماهه ای در این اطلاعات وجود دارد، داده های 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  $(0,1,1)$   $ARIMA(0,1,1)$

روند  $NO$  در طول این ۴ سال و نیم تقریباً ثابت بود و شیب خط نزدیک به صفر و غیر معنی دار داشت. تجزیه داده ها مدل  $(1,1,1)$   $ARIMA(0,1,1)$  را پیشنهاد کرد که تمام پارامترهای آن در سطح  $\alpha=0.05$  معنی دار بودند. (شکل ۱ c).

روند  $NO_2$  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 ماهه ای در این داده ها وجود دارد و مدل  $(0,1,1)$   $ARIMA(0,0,0)$  پیشنهاد شد که تمام پارامترهای آن در سطح  $\alpha=0.05$  معنی دار بودند. (شکل ۱ d).

روند  $NO_x$  هم در طول این مدت ثابت بود. با تحلیل داده ها مشخص گردید که الگوی فصلی ۱۲ ماهه ای در این داده ها وجود دارد. نهایتاً مدل  $(0,0,1)$   $ARIMA(0,0,0)$  پیشنهاد شد که تمام پارامترهای آن در سطح  $\alpha=0.05$  معنی دار بودند. به نظر می رسد که در کرمان مقدار  $NO_x$  در حوالی ماههای ۱۲ و ۱۱ (نوامبر و دسامبر) از بقیه بیشتر است. (شکل ۱ e).

روند  $O_3$  در طول این مدت تقریباً ثابت بود و شیب خط نزدیک به صفر و غیر معنی دار بود. سپس با تحلیل داده ها مشخص گردید که الگوی فصلی ۱۲ ماهه ای در این داده ها وجود دارد. در نهایت مدل  $(1,0,1)$   $ARIMA(1,1,1)$  پیشنهاد شد. در الگوی فصلی تقریباً ۱۲ ماهه دیده شده، به نظر می رسد که میزان ازن در هوای کرمان در حوالی ماه ۶ و ۷ یعنی ژوئن و ژوئیه (ماههای گرم) افزایش دارد که تمام پارامترهای آن در سطح  $\alpha=0.05$  معنی دار بودند. (شکل ۱ f)

روند  $SO_2$  در طول این ۴ سال و نیم تقریباً ثابت بود و شیب خط نزدیک به صفر و غیر معنی دار بود. در این داده ها واریانس ها تغییرات معنی داری داشت و با Box-Cox Transformation بصورت ثابت در آمد. سپس الگوی

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 می شود. 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 می باشد. از این مقدار بیشتر بسته به حساسیت فرد می تواند عوارضی ایجاد کند. بنابراین کنترل ازن هم مثل سایر آلاینده ها لازم است (Quintela-del-Rio and Francisco-Fernandez 2011).

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

در طبیعت ازن از شوکهای الکتریکی ناشی از طوفانها در لایه های بالای اتمسفر یا بخاطر تاثیر اشعه ماورا بنفش روی مولکولهای اکسیژن تولید می شوند. تولید بعضی از مواد شیمیایی از جمله کلروفلوروکربنها توسط انسان باعث تخریب ازن می شود. بر اساس قراردادهای بین المللی تولید این مواد باید کاهش یابد (Quintela-del-Rio and Francisco-Fernandez 2011).

ذرات معلق نیز یکی از آلاینده های مهم هوا در شهرها محسوب می شوند (Goyal et al. 2006). مطالعات متعدد نشان داده که آلاینده های  $\text{PM}_{10}$  فصلی است (Liu 2009) و در مطالعه ما هم حداقل دو پیک سالیانه برای این ذرات مشاهده شد. ذرات معلق علاوه بر کاهش دید و رسوب در محل های مختلف از طریق استنشاق می توانند 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 ماهه ای  $(1,0,1)$   $(0,1,0)$  ARIMA پیشنهاد شد (شکل ۱).

## بحث

مدلهای سری های زمانی در بسیاری از مطالعات علوم محیطی استفاده شده و نتایج مطلوبی داشته است (Kumar and De Ridde 2010). مطالعات نشان داده که هیچ مدل خطی ساده ای برای آلاینده های هوا وجود ندارد و معمولاً برای مدلسازی این آلاینده ها از مدل های پیچیده تر و از جمله سری های زمانی استفاده می شود (Kumar and De Ridder 2010). وقتی که هدف مطالعه پیش بینی است و متغیر مورد بررسی تحت تاثیر عوامل متعدد می باشد و روابط به خوبی شناخته شده نیستند، مثل آلاینده های هوا، روشهای سری های زمانی تک متغیره بهتر از مدل های دیگر می توانند کار پیش بینی را انجام دهند (Kumar and De Ridder 2010). در این مدلها بر اساس داده های قبلی محاسباتی انجام می شود و داده هایی با دامنه اطمینان برای آینده پیش بینی می شود. مدل سری زمانی برای سالیان زیادی با موفقیت برای پیش بینی وضع آلاینده های هوا بکار رفته است (Lumbreras 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 می یابد (Duenas et al. 2005). معمولاً مقدار ازن در تابستان بیشتر است (Duenas et al. 2005) و در مطالعه ما هم همین نتیجه گرفته شد. مدل های ARIMA در مطالعات دیگر برای بررسی آلاینده های هوا از جمله ازن بکار گرفته شده اند. از جمله در مطالعه ای در اسپانیا مدل  $(1,0,1)$   $(1,0,0)$  ARIMA برای پیشگویی ازن مناطق شهری و مدل  $(2,1,1)$   $(0,1,1)$  ARIMA برای پیشگویی 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 فتوشیمیایی با افزایش اشعه شروع می شود و باعث افزایش  $O_3$ ,  $HNO_3$  و  $SO_4^{2-}$  می شوند، بخصوص  $HNO_3$  که محلول 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 پیشگویی 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 عمده 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 قدر دانی

نویسندگان 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 پزشکی محیطی دانشکده بهداشت تصویب و توسط معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کرمان تامین اعتبار شد.

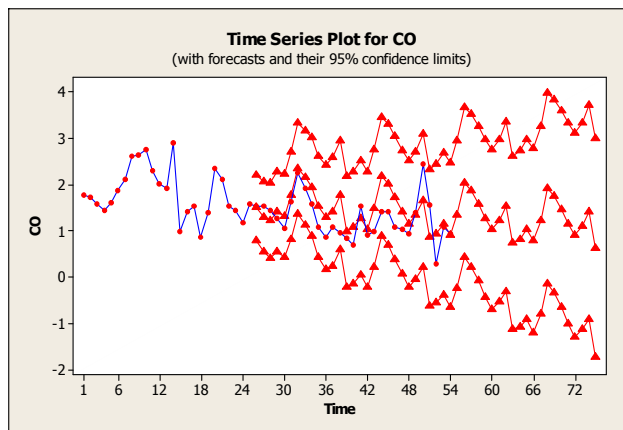
(et al. 2006). با توجه به استاندارد ۲۴ ساعته AQI (استاندارد وضعیت ۲۴ ساعته آلاینده ها بر طبق استاندارد ۲۴ ساعته AQI بدین ترتیب تعریف میگردد: وضعیت خوب هوا برای مونوکسید کربن ( $PPM$  ۳/۴-۰) ، برای ذرات معلق کوچکتر از  $10 \mu g/m^3$  (۳۹-۰)، وضعیت متوسط هوا برای مونوکسید کربن ( $PPM$  ۳/۵-۳/۴)، برای ذرات معلق کوچکتر از  $10 \mu g/m^3$  (۶/۸-۴۰-۹۹)، وضعیت غیر بهداشتی برای گروه های حساس در مورد مونوکسید کربن ( $PPM$  ۶/۹-۱۰/۳) و برای ذرات معلق کوچکتر از  $10 \mu g/m^3$  (۱۹۹-۱۰۰)، وضعیت وخیم برای مونوکسید کربن بیشتر از ( $PPM$  ۱۰/۴) و بالاخره وضعیت وخیم برای ذرات معلق کوچکتر از  $10 \mu g/m^3$  بیشتر از ( $g/m^3$  ۲۰۰) می باشد. برای آلاینده ها وضعیت ذرات معلق در کرمان در بسیاری از ماههای سال بالاتر از  $100 \mu g/m^3$  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 مونو اکسید کربن در تابستان کمتر است و در فصل زمستان و در مکانهای با ترافیک بالا بیشتر است. مونو اکسید 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 مونو اکسید 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 فتوشیمیایی است که با افزایش اشعه شروع می شود. اکسید های نیتروژن می توانند در شرایط مرطوب به صورت ذرات در آیند و باعث افزایش  $PM_{10}$  شوند (Liu 2009). یک فرضیه در مورد همبستگی بین

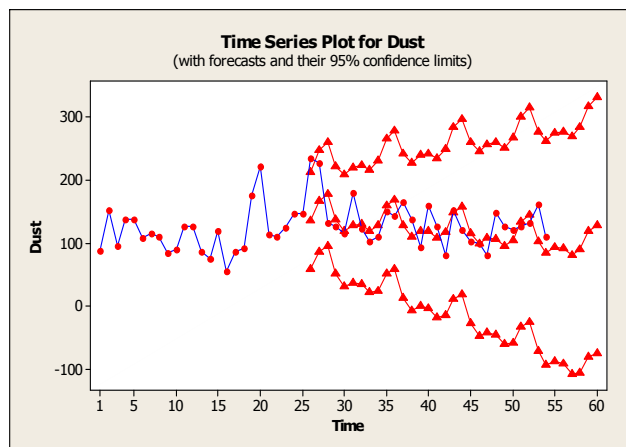
جدول ۱- وضعیت آلاینده های شهر کرمان در دوره مورد بررسی

آلاینده	حداکثر	حداقل	میان	میانگین
CO (ppm)	۲/۹	۰/۲۹۳۱	۱/۴۸	۱/۵۲
PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	۲۳۴/۰۱	۵۴/۳۸	۱۲۳/۵۷	۱۲۵/۶۹
NO (ppm)	۰/۰۶۸۳	۰/۰۰۲۶	۰/۰۱۲۲	۰/۰۱۷۳
NO <sub>2</sub> (ppm)	۰/۰۵۸	۰/۰۰۱۵	۰/۰۲۳۸	۰/۰۲۵۹
NO <sub>x</sub> (ppm)	۰/۱۱۸۱	۰/۰۱۰۲	۰/۰۳۳۳	۰/۰۳۷۶
O <sub>3</sub> (ppm)	۰/۰۳۱۷	۰/۰۰۴۴۵	۰/۰۱۴۱۵	۰/۰۱۵۶۵
SO <sub>2</sub> (ppm)	۰/۰۲۵۳۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۹۶

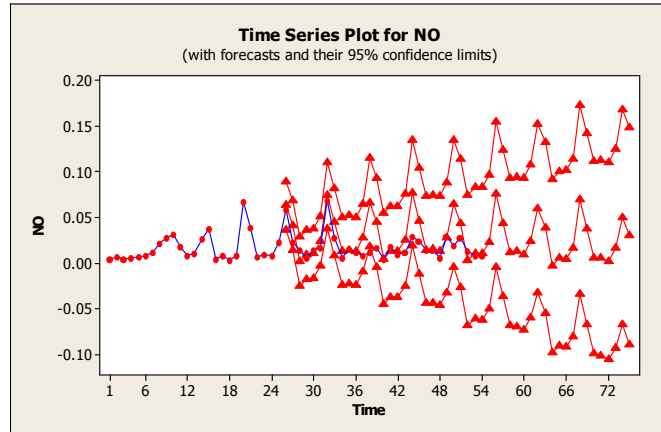
شکل ۱: پیش بینی تغییرات آلاینده ها در هوای کرمان طبق الگوی سری زمانی پیشنهاد شده. (واحد زمان در محور افقی ماه است و از فروردین ۱۳۸۵ تا شهریور ۱۳۸۹ می باشد).



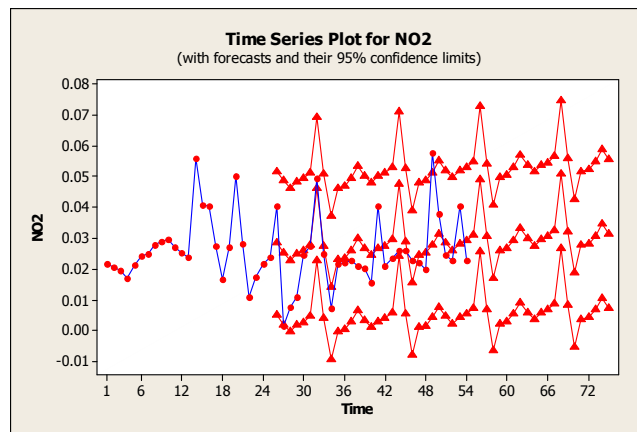
(a) CO



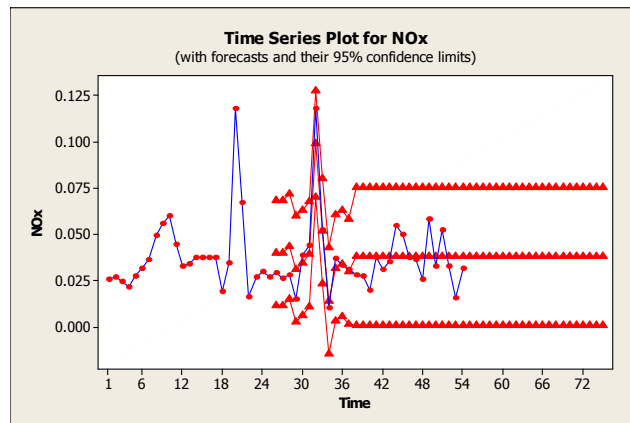
(b) PM10



(c) NO

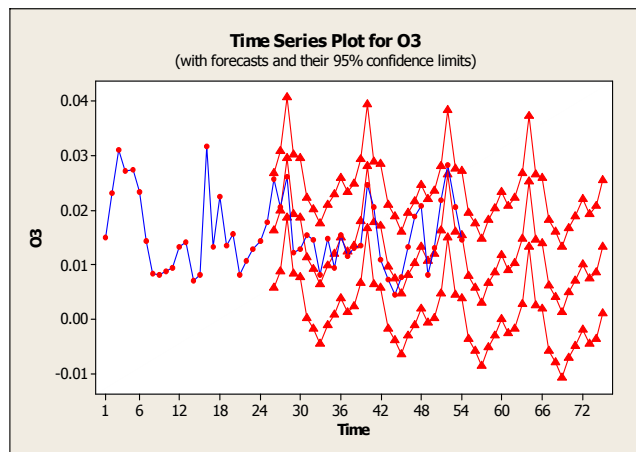


(d) NO2

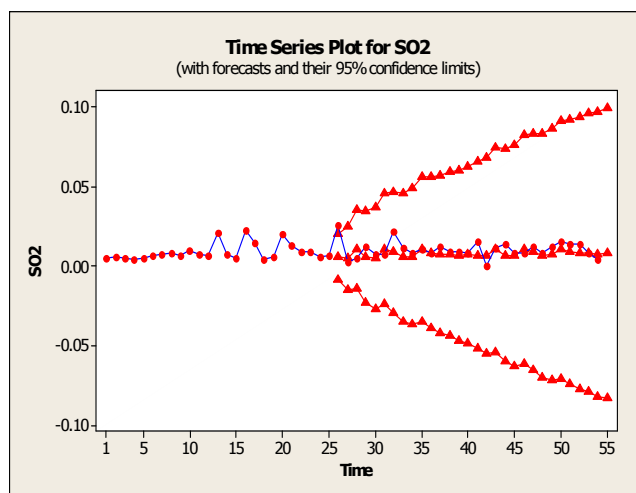


(e) NOx





(f) O3



(g) SO2

## References

- Anderson, H.R., 2009. Air pollution and mortality: A history. *Atmospheric Environment*, 43, pp. 142-152.
- Box, GEP. 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, J.D., 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, W.C. (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.
- Lumbreras, J., Garcia-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., Dokoohki, 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. *Pazhooresh dar pezeshti*, 25, pp. 25-33 [In Persian].
- Nasrollhi, Z. and Ghaffari Goolak, M., 2010. Air pollution and its effective factors. *Faslnameh Pazhooresh 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.
- Rajaratnam, 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-, 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