فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

۱۱۰-۱۰۱

یک مقیاس بهینه برای مقایسه آلودگی هوای شرق و غرب تهران

مسعود گنجی* و اکبر آبروش

گروه آمار و کاربردها، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹

گنجی، م. و ا. آبروش. ۱۳۹۷. یک مقیاس بهینه برای مقایسه آلودگی هوای شرق و غرب تهران. فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۲): ۱۱۰-۱۰۱.

سابقه و هدف: آلودگی هوا در کلان‌شهر تهران یک مسئله محیط زیستی جدی است. اختصاص بهینه بودجه مربوط به مقابله با مشکلات آلودگی هوا در شرق (منطقه ۴) و غرب (منطقه ۲۲) شهر تهران، تعیین نسبت بهینه احداث فضاهای سبز و درخت‌کاری در این دو منطقه، تعیین نسبت اعمال محدودیت‌های ترافیکی بهینه در این دو منطقه و مسائل مشابه، مسائلی هستند که برای حل آنها باید یک معیار بهینه آماری معرفی شود. متاسفانه تاکنون این مساله بررسی نشده است و پژوهش درباره آن ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف اصلی این پژوهش بررسی وجود تفاوت میان آلودگی هوای شرق و غرب تهران و ارائه یک معیار برای پاسخ‌گویی به مسائل بالا است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، یک رویکرد جدید آماری برای مقایسه آلودگی هوای شرق و غرب تهران ارائه شده که ایرادات روش‌های مرسوم مانند آزمون تی و آزمون‌های ناپارامتری را برطرف کرده است. در این روش، مقادیر شاخص آلودگی هوای دو منطقه با یک توزیع آماری مناسب مدل‌بندی شده و سپس احتمال این‌که شرق تهران آلودگی هوای بیشتری از غرب تهران داشته باشد، با یک رویکرد بیزی مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار این احتمال، که با نماد R نمایش داده می‌شود، به‌عنوان معیاری بهینه برای تخصیص امکانات مرتبط با آلودگی هوا میان دو منطقه به‌کار رفته است.

نتایج و بحث: داده‌های آلودگی هوا در شرق و غرب شهر تهران در زمستان ۱۳۹۴ بر حسب شاخص آلودگی هوا (AQI)[1] گردآوری شده بود که با استفاده از توزیع‌های با تابع مخاطره توانی مدل‌بندی شده است. میانگین و انحراف معیار برای داده‌های آلودگی هوای شرق تهران به ترتیب برابر ۷۶/۷۰ و ۳۷/۷۴ و همین مقادیر برای غرب تهران به ترتیب برابر ۷۲/۱۴ و ۳۴/۱۶۶ به دست آمده است. اگرچه میانگین نمونه‌ای شاخص آلودگی هوا در شرق تهران کمی بیشتر از غرب آن است، اما آزمون ناپارامتری من-ویتنی نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین آلودگی هوای این دو منطقه وجود نداشته است. بازه باورمند بیزی ۹۵ درصدی برای R برابر (۰/۵۹۴ و ۰/۴۳۶) و برآوردگر بیز R برابر ۰/۵۱۹ به دست آمده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، اگرچه تفاوت معنی‌داری (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) میان آلودگی هوای شرق و غرب تهران مشاهده نشد، ولی با احتمال ۰/۵۱۹ هوای شرق تهران آلوده‌تر از غرب آن بوده است. همچنین، این مقدار احتمال همان مقدار بهینه‌ای است که می‌تواند برای تخصیص مناسب امکانات مرتبط با آلودگی هوا میان دو منطقه به کار رود. یعنی، برای داشتن وضعیت بهینه باید ۵۱/۹ درصد امکانات مربوط به کنترل آلودگی هوا به شرق تهران و ۴۸/۱ درصد به غرب آن اختصاص یابد.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد تخصیص مناسب بودجه مناطق مختلف تهران به‌منظور کنترل آلودگی هوای تهران بتواند گامی برای حل این

* Corresponding Author. *E-mail Address*: mganji@uma.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مشکل باشد. روش آماری ارائه‌شده در این پژوهش یک مقدار بهینه برای تخصیص بودجه به شرق و غرب تهران ارائه می‌دهد. مسئولان می‌توانند با استفاده از مقدار بهینه به‌دست‌آمده از این روش سیاست‌گذاری‌های مقتضی را برای توزیع مناسب بودجه و امکانات در شرق و غرب تهران انجام دهند. برای مثال، برای بیشینه کردن اثربخشی درخت‌کاری در تصفیه هوا، بهتر است میزان درخت‌کاری در شرق تهران با این نسبت بیشتر از غرب آن باشد. همچنین، پیشنهاد می‌شود که محدودیت‌های ترافیکی اعمالی در شرق تهران با این نسبت بیشتر از غرب آن باشد.

واژه‌های کلیدی: تابع قابلیت اعتماد، توزیع آماری، تهران، روش بیزی، شاخص آلودگی هوا.

مقدمه

آلودگی هوا یک مسأله محیطی جهانی است که تأثیر زیادی بر سلامتی شهرنشینان دارد. بنا بر تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده، قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آلودگی هوا، سلامتی انسان را به خطر می‌اندازد. استنشاق ذرات آلوده معلق در هوا ابتلا به سرطان ریه و بیماری‌های قلبی عروقی را افزایش می‌دهد (Pope *et al.*, 2002). در پژوهشی دیگر نشان داده شده است که آلودگی هوا رابطه مستقیمی با مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه و بیماری‌های قلبی دارد (Dockery *et al.*, 1993). همچنین آلودگی هوا در کمبود ویتامین D در زنان باردار و نوزادان نقش دارد (Kalishadi *et. al.*, 2014).

میزان آلودگی هوا توسط یک شاخص استاندارد تعریف می‌شود. این شاخص که به شاخص آلودگی هوا معروف است برای بیان سطح خطر سلامتی مرتبط با ذرات و گازهای آلوده‌ی هوا به‌کار می‌رود (Kowalska *et al.*, 2009). در حالت کلی شاخص آلودگی هوا بر اساس ترکیبی از چند زیرشاخص آلوده‌کننده مونوکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، ازن (O_3) و ذرات معلق (PM) است. چنین شاخصی برای توصیف شرایط هوا در مراکز شهری بزرگ مناسب است (Monteiro *et al.*, 2017).

شهر تهران، پایتخت ایران و پرجمعیت‌ترین شهر ایران است. در بررسی‌هایی که در سال‌های اخیر درباره آلودگی هوای این شهر انجام شده، تهران از لحاظ آلودگی هوا از وضعیت مناسبی برخوردار نیست. به‌عنوان مثال، در پژوهشی که در سال ۲۰۱۲ انجام شد، میانگین سالانه زیرشاخص‌های ذرات معلق و دی‌اکسید نیتروژن در تهران به ترتیب ۴/۵ و ۲/۱ برابر مقدار جهانی بود (Naddafi *et al.*, 2012). در پژوهش دیگری خسارت اقتصادی گاز دی‌اکسید نیتروژن بر مرگ‌ومیر شهروندان تهرانی برآورد شده است (Ommi *et al.*, 2017). بررسی‌های اخیر نشان‌دهنده اهمیت موضوع از لحاظ بهداشتی و اقتصادی است. در تحقیقی دیگر Rowshan *et al.* (2009) دریافتند که آلودگی هوا بر نوسانات اقلیمی شهر تهران تأثیر دارد. در پژوهشی دیگر Noori *et al.* (2013) مقدار مونوکسید کربن روزانه در هوای تهران را مدل‌بندی کردند.

اگر به مسأله آلودگی هوای شهر تهران از دید آماری توجه شود، به نظر می‌رسد آلودگی هوا بین مناطق مختلف شهر تهران با هم متفاوت باشند. بدین منظور، در این مقاله آلودگی هوای منطقه ۴ (شرق تهران) با منطقه ۲۲ (غرب تهران) مقایسه می‌شوند. منطقه ۴ (شرق) تهران پرجمعیت‌ترین منطقه تهران است. جمعیت این منطقه طبق سرشماری سال ۱۳۹۰، که توسط مرکز آمار ایران انجام شد، ۸۶۱۲۸۰ نفر است. این دو منطقه از لحاظ مساحت نیز از بزرگترین مناطق تهران به شمار می‌روند. بنابراین بررسی میزان آلودگی هوای این دو منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شاید تنها پاسخ به این سوال که آیا آلودگی هوای این دو منطقه با هم متفاوت است یا نه، کافی نباشد. بنابراین در تحقیق حاضر، علاوه بر پاسخ به سوال بالا، با یک روش آماری جدید، احتمال این‌که غرب تهران آلوده‌تر از شرق تهران باشد نیز بررسی شد. مقدار این احتمال می‌تواند به‌عنوان یک معیار برای نسبت اعمال برخی محدودیت‌ها (محدویت‌های ترافیکی و محیط زیستی) و تخصیص بودجه‌های مربوط به مشکلات ناشی از آلودگی هوا (ایجاد فضاهای سبز،

Archive of SID
www.SID.ir

درخت‌کاری و احداث بیمارستان‌های تخصصی مربوط به مشکلات آلودگی هوا) مورد استفاده برنامه‌ریزان این شهر قرار گیرد. بدیهی است که حضور و زندگی در منطقه‌ی آلوده‌تر به نسبت مقدار آلودگی، شانس بروز مشکلات ناشی از آلودگی هوا را افزایش می‌دهد. در بخش بعد، این روش آماری به‌طور کامل توضیح داده شده و مزایای آن نسبت به روش‌های آماری دیگر بیان شده است.

داده و روش آماری

فرض کنید X و Y متغیرهای تصادفی باشند که به ترتیب مقادیر شاخص آلودگی هوا را برای منطقه ۴ (شرق) تهران و منطقه ۲۲ (غرب) تهران نشان می‌دهند. برای زوج (X,Y) هر سه حالت X<Y، X>Y و X=Y می‌تواند رخ دهد. بنابراین R=P(X>Y) برابر احتمال این است شرق تهران آلودگی هوای بیشتری نسبت به غرب تهران داشته باشد. R می‌تواند یک معیار برای میزان تفاوت بین دو منطقه باشد که مقدار آن بین صفر و یک است. با نزدیک شدن این مقدار به یک، احتمال اینکه X بزرگتر از Y باشد (آلودگی هوای شرق تهران بیشتر از غرب تهران) بیشتر شده و برعکس با نزدیک شدن این مقدار به صفر احتمال این‌که Y بزرگتر از X باشد (آلودگی هوای شرق تهران بیشتر از غرب تهران) بیشتر می‌شود. همچنین، اگر R=0.5 باشد، بدین معنی است که دو منطقه آلودگی یکسانی دارند. به عبارت دیگر، هرقدر مقدار R به ۰/۵ نزدیک‌تر باشد احتمال برابری X و Y بیشتر می‌شود.

در روش‌های معمول آماری در چنین مسایلی از آزمون برابری میانگین‌ها (آزمون پارامتری تی یا آزمون ناپارامتری من-ویتنی) استفاده می‌شود که مشکلات و محدودیت‌هایی را دارد که در روش آماری جدید ارائه‌شده در این مقاله وجود ندارند. برخی از مشکلاتی که آزمون‌های برابری میانگین‌ها دارند عبارتند از:

میانگین نمی‌تواند یک معیار مناسب برای مقایسه وضعیت دو جامعه باشد.

در روش ارائه‌شده مقایسه به‌صورت تک به تک و به‌صورت احتمالی انجام می‌پذیرد. به‌عبارت دیگر در مورد مسأله آلودگی هوای دو منطقه تهران، اگر یک روز خاص در نظر گرفته شود، R احتمال این را نشان می‌دهد که در آن روز خاص به چه نسبتی هوای غرب تهران آلوده‌تر از هوای شرق تهران است.

در آزمون پارامتری تی (T-test) حتما باید داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند.

اغلب نرمال بودن یک شرط بسیار محدودکننده است. در بسیاری از مسائل واقعی، از جمله داده‌های مسأله مورد بررسی در این مقاله می‌تواند دارای توزیع نرمال نباشد. همچنین، نرمال کردن داده‌ها کاری سخت و اغلب غیرممکن است.

در آزمون ناپارامتری من-ویتنی[1] توزیع داده‌ها کنار گذاشته می‌شود.

در آزمون ناپارامتری من-ویتنی توزیع آماری داده‌ها، که حاوی اطلاعات ارزشمندی راجع به وضعیت داده‌ها است، کنار گذاشته شده و تنها از رتبه داده‌ها استفاده می‌شود. در حالی که در روش آماری جدید بیان‌شده در این مقاله از توزیع داده‌ها نهایت استفاده شده است.

آزمون‌های برابری میانگین‌ها تنها برابری میانگین دو جامعه را رد می‌کنند یا می‌پذیرند.

آزمون‌های برابری میانگین‌ها فقط بر اساس سطح معنی‌داری به رد یا قبول برابری میانگین دو جامعه می‌پردازند و مقیاسی برای مقایسه این دو جامعه ارائه نمی‌دهند. این در حالی است که در روش جدید علاوه بر رد یا پذیرش وجود اختلاف بین دو جامعه، یک مقیاس احتمالی برای مقایسه دو جامعه گزارش می‌شود.

به دلایل بالا و برخی مشکلات دیگر، استفاده از روش‌های آماری متداول در این مسأله مناسب نیست. ضرورت و اهمیت روش آماری جدید در این است که هیچ یک از مشکلات و محدودیت‌های ذکر شده را نداشته و برای هر مسأله مشابه دیگر نیز قابل اجراست. همچنین، این روش یک معیار احتمالی نقطه به نقطه می‌دهد که بسیار بهتر از آزمون میانگین‌ها است.

Archive of SID
www.SID.ir

مدل‌بندی داده‌ها

داده‌های مربوط به دو متغیر X و Y که به ترتیب برابر مقادیر شاخص آلودگی هوا برای منطقه ۴ و منطقه ۲۲ تهران در زمستان ۱۳۹۴هستند، در جدول ۱ گزارش شده‌اند. این داده‌ها از وبگاه air.tehran.ir که وابسته به شهرداری تهران است برای ۷۰ و ۸۳ روز به ترتیب برای X و Y گزارش شده است. لازم به توضیح است که در برخی روزها آلودگی هوا توسط این وبگاه گزارش نشده است. برای دید بهتر نسبت به داده‌ها، نمودار پراکنش (scatterplot) برای داده‌ها در شکل ۱ رسم شده است.

جدول ۱- داده‌ی شاخص آلودگی هوای تهران در زمستان ۱۳۹۴
Table 1. AQI data of Tehran in winter 2016

شاخص آلودگی هوا منطقه ۴ تهران (X) AQI of 4th region of Tehran(X)	شاخص آلودگی هوا منطقه ۲۲ تهران (Y) AQI of 22nd region of Tehran(Y)
33 56 69 125 156 139 103 136 122 154 129 69 98 93 102 154 97 44 97 81 48 53 50 26 123 71 48 40 25 64 29 64 73 83 109 117 111 61 106 45 38 52 59 151 107 82 41 83 93 22 57 94 77 57 45 61 37 39 46 54 32 64 71 89 35 27 130 41 46	45 82 110 155 154 112 125 125 129 146 122 115 78 123 111 143 92 55 28 71 90 58 54 70 40 18 51 26 27 21 26 125 24 72 84 83 141 90 105 73 35 33 74 71 79 76 34 30 56 39 63 56 48 68 94 90 52 39 43 57 80 86 35 49 64 83 57 84 74 36 46 111 50 63 54 43 55 55 35 62 67 88 75

شکل ۱- نقشه مناطق مختلف تهران (http://quoteko.com/tehran-map.html) (سمت چپ) و نمودار پراکنش داده‌های مربوط به شاخص آلودگی هوا مناطق ۴ و ۲۲ تهران (سمت راست)
Fig. 1- Map of the different regions of Tehran (LHS) and scatterplot for data on AQI in regions 4 and 22 (RHS)

با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (K-S test)، نشان داده می‌شود که X و Y دارای توزیع با تابع مخاطره توانی[3] هستند. تابع چگالی (f(z)) و تابع توزیع تجمعی (F(z)) توزیع با تابع مخاطره توانی با پارامترهای (α,θ) به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$f(z) = \alpha z^{\theta-1} e^{-\frac{\alpha}{\theta} z^{\theta}}, \theta > 0, \alpha > 0, \qquad (۱)$$

$$F(z) = 1 - e^{-\frac{\alpha}{\theta} z^{\theta}}, \theta > 0, \alpha > 0. \qquad (۲)$$

با یک انتگرال‌گیری ساده می‌توان نشان داد که اگر X و Y به ترتیب دو متغیر تصادفی با پارامترهای (α_1,θ) و (α_2,θ) باشند، در این صورت داریم:

$$R = P(X > Y) = \frac{\alpha_2}{\alpha_1+\alpha_2}. \qquad (۳)$$

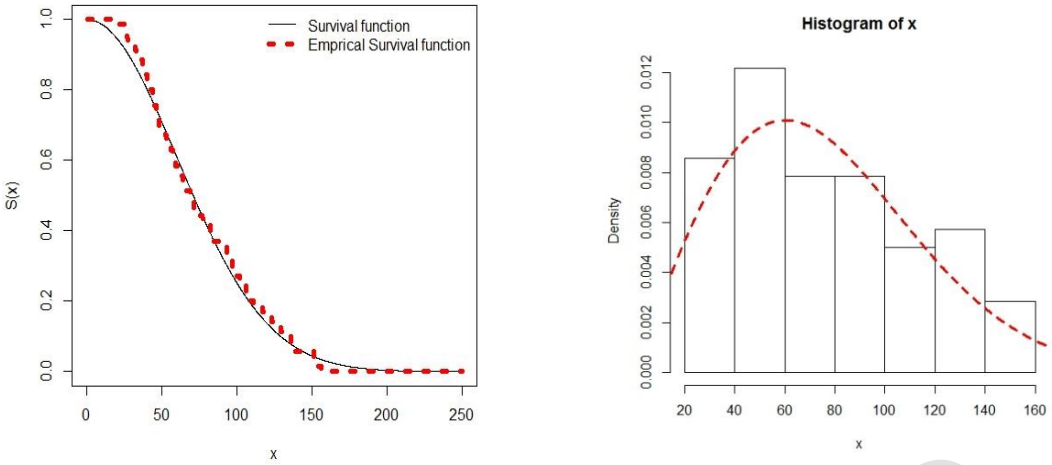
پارامترهای توزیع، آماره آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و p-مقدار (معنی‌داری) برای این دو متغیر با استفاده از نرم‌افزار آماری R محاسبه شده و در جدول ۲ گزارش شده‌اند.

جدول ۲- نتایج خروجی آزمون K-S برای مدل‌بندی داده‌ها
Table 2. Results of the K-S Test for data modelling

متغیر تصادفی Random variable	پارامترهای توزیع (α,θ) Distribution (α,θ) parameters	آماره آزمون K-S K-S Statistic test	P- مقدار P-Value
X	(0.000315, 2)	0.064755	0.8804
Y	(0.000277, 2)	0.066914	0.9147

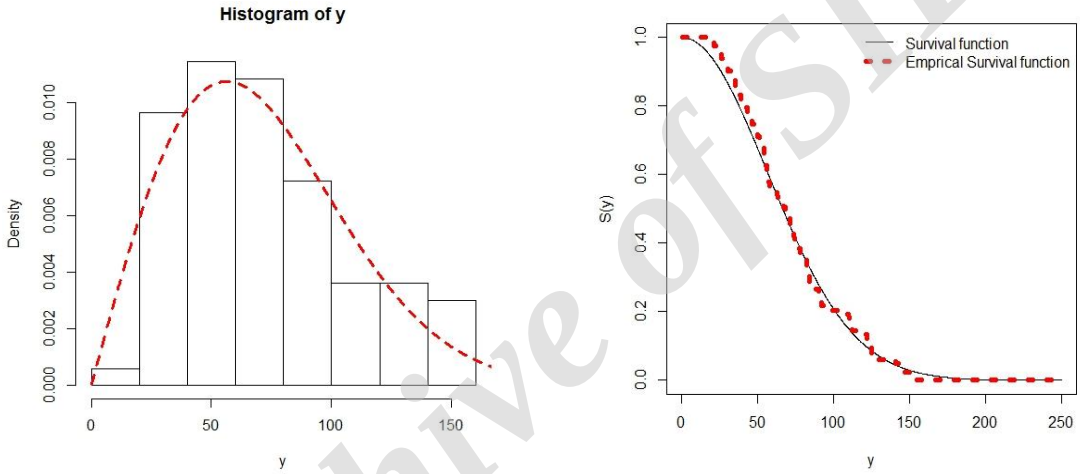
برای اینکه مناسب بودن مدل آماری واضح‌تر دیده شود، نمودارهای منحنی کاپلان-میر (Kaplan-Meier curve) و بافت‌نگار (Histogram) در شکل ۲ و شکل ۳ برای داده‌های آلودگی هوای این دو منطقه رسم شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲- نمودار کاپلان-میر (سمت راست) و بافت‌نگار (سمت چپ) برای AQI آلودگی هوای منطقه ۴

Fig. 2- Kaplan-Meier curve (RHS) and histogram (LHS) for AQI of region 4



شکل ۳- نمودار کاپلان-میر (سمت راست) و بافت نگار (سمت چپ) برای AQI آلودگی هوای منطقه ۲۲

Fig. 3- Kaplan-Meier curve (RHS) and histogram (LHS) for AQI of region 22

برآوردگر بیز R

فرض کنید $x_1,\dots,x_n$ و $y_1,\dots,y_m$ دو نمونه تصادفی مستقل از توزیع با تابع مخاطره توانی به ترتیب با پارامترهای (α,θ_1) و (α,θ_2) باشند. با در نظر گرفتن تابع زیان توان دوم خطا، برآوردگر بیز R برابر امید پسین R خواهد بود. امید پسین R به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E[R|x,y]=\int_0^1 r\pi(r|x,y)dr, \qquad (۴)$$

که در آن $\pi(r|x,y)$ توزیع پسین R است.

در مسأله حاضر این امید پسین دارای فرم بسته‌ای نیست و مقدار آن به روش مونت کارلو بدست می‌آید. با توجه به این روش هرگاه $r_1,\dots,r_k$ یک نمونه تصادفی از $\pi(r|x,y)$ باشد، آنگاه $\sum_{i=1}^{k} r_i/k$ یک تقریب برای $E[R|x,y]$ خواهد بود. لذا کافی است $\pi(r|x,y)$ را به دست آورده و با استفاده از الگوریتم متروپلیس-هستینگس از آن نمونه تولید کرد.

انتخاب تابع توزیع پیشین مناسب برای پارامترها یکی از اساسی‌ترین کارهایی است که در روش‌های بیزی مورد توجه قرار می‌گیرد. در این مقاله، به دلیل برخی ویژگی‌های خوب تابع توزیع پیشین جفریز (Jeffreys, 1946)، از این پیشین استفاده شده است. بعد از اعمال

Archive of SID
www.SID.ir

این پیشین توزیع پسین $x_n\alpha_1|x_1, \dots$ و $y_m\alpha_2|y_1, \dots$ به ترتیب برابر گاما با پارامترهای $(n, \sum_{i=1}^{n} {x_i}^{\theta}/\theta)$ و $(m, \sum_{j=1}^{m} {y_j}^{\theta}/\theta)$ به دست آمد. حال با استفاده از روش تبدیل، توزیع پسین R به‌صورت زیر به دست می‌آید:

(۵)

$$\pi(r|x,y) = \frac{\Gamma(n+m)\left(\sum_{i=1}^{n} {x_i}^{\theta}\right)^{n}\left(\sum_{j=1}^{m} {y_j}^{\theta}\right)^{m} r^{n-1}(1-r)^{m-1}}{\Gamma(n)\Gamma(m)\theta^{n+m}\left(\frac{r\sum_{i=1}^{n} {x_i}^{\theta}}{\theta}+\frac{(1-r)\sum_{j=1}^{m} {y_j}^{\theta}}{\theta}\right)^{n+m}},$$

که در آن Γ تابع گاما است. حال به راحتی می‌توان روش مونت کارلو را با استفاده از الگوریتم متروپلیس-هستینگس برای این مسأله به‌کار برد.

بازه‌های باورمند بیزی

بازه‌های باورمند بیزی در واقع نسخه بیزی بازه‌های اطمینان در روش‌های آماری کلاسیک هستند. به‌عبارت دیگر، بازه‌ی C را یک بازه باورمند $100 \times (1-\alpha)\%$ برای R گویند هرگاه $P(R \in C) = 1-\alpha$ باشد. برای مسأله اخیر، یک بازه باورمند بیزی برای R به‌صورت زیر به دست می‌آید:

(۶)

$$C = \left(\left(1+\frac{n\sum_{j=1}^{m} {y_j}^{\theta}}{m\sum_{i=1}^{n} {x_i}^{\theta}} F_{1-\frac{\alpha}{2}}(2n,2m)\right)^{-1}, \left(1+\frac{n\sum_{j=1}^{m} {y_j}^{\theta}}{m\sum_{i=1}^{n} {x_i}^{\theta}} F_{\frac{\alpha}{2}}(2n,2m)\right)^{-1}\right),$$

که در آن $F_{\frac{\alpha}{2}}(2n,2m)$ برابر چندک $\frac{\alpha}{2}$-ام توزیع F فیشر است.

از مقدار R می‌توان برای اختصاص نسبت محدودیت‌های ترافیکی اعمالی، نسبت بودجه فضای سبز، نسبت میزان درخت‌کاری، نسبت تعداد بیمارستان‌های تخصصی بیماری‌های تنفسی و از این قبیل نسبت‌ها، در دو منطقه استفاده کرد. به‌عنوان مثال، اگر میزان سرانه فضای سبز برای این دو منطقه تهران برابر t واحد باشد، R×t درصد آن به منطقه ۴ و (1-R)×t درصد آن به منطقه ۲۲ اختصاص می‌یابد. در واقع این نسبت یک نقش کلیدی در تعیین نسبت تخصیص برخی امکانات و محدودیت‌ها در دو منطقه را دارد.

نتایج و بحث

در این بخش، از نرم‌افزار آماری R استفاده شده و برآوردگر بیز و بازه باورمند ۹۵٪ بیزی برای R با استفاده از مطالب بیان‌شده در بخش قبل به دست آمد. نتایج به طور خلاصه در جدول ۳ گزارش شده‌اند.

جدول ۳- برآوردگر و بازه باورمند ۹۵٪ بیزی برای R=P(X>Y)

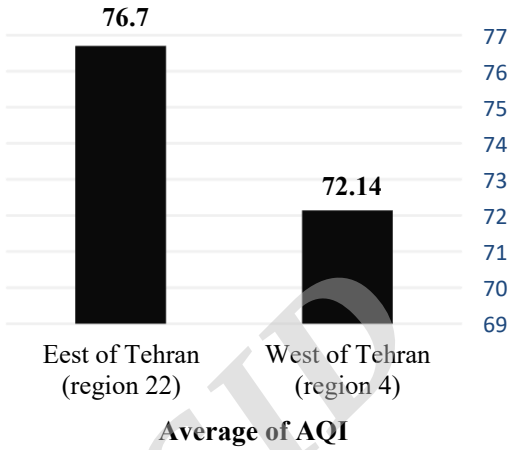
Table 3. Bayes estimator and the 95% Bayesian credible interval of R=P(X>Y)

برآوردگر بیزی Bayes estimator	بازه باورمند ۹۵٪ بیزی 95% Bayes credible Interval
0.519	(0.436, 0.594)

با توجه به جدول ۳، احتمال اینکه هوای شرق تهران آلوده‌تر از غرب تهران باشد برابر ۰/۵۱۹ است. همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شد از این مقدار می‌توان برای نسبت تخصیص بودجه مربوط به محیط زیست و آلودگی هوا به این دو منطقه استفاده کرد. یعنی برای تخصیص مناسب این بودجه، باید ۵۱/۹ درصد بودجه به شرق (منطقه ۲۲) تهران و ۴۸/۱ درصد بودجه به (منطقه ۴) غرب تهران اختصاص یابد. لذا محدودیت‌های ترافیکی اعمالی، نسبت بودجه فضای سبز، نسبت میزان درخت‌کاری، نسبت تعداد بیمارستان‌های تخصصی بیماری‌های تنفسی و از این قبیل نسبت‌ها، در دو منطقه باید به نسبت ٪۵۱/۹ (شرق) به ٪۴۸/۱ (غرب) باشد. برای مثال، برای تخصیص بهینه بودجه‌ی فضای سبز تهران باید ۵۱/۹ درصد آن را به شرق و ۴۸/۱ آن را به غرب تهران اختصاص داد. به همین ترتیب، برای بیشینه کردن اثربخشی درخت‌کاری در تصفیه هوا، بهتر است میزان درخت‌کاری در شرق تهران با این نسبت

Archive of SID
www.SID.ir

بیشتر از غرب آن باشد. همچنین، برای اثربخشی بیشتر، باید محدودیت‌های ترافیکی اعمالی در شرق تهران با این نسبت بیشتر از غرب آن باشد.



شکل ۴- میانگین شاخص آلودگی هوا برای منطقه ۴ و منطقه ۲۲ تهران در زمستان ۹۴

Fig. 4- Mean of AQI for 4th and 22nd Region of Tehran in Winter 2016

اگر مسئله آزمون فرض $R = 0.5$ را در مقابل $R \neq 0.5$ در نظر بگیرید، از آنجا که بازه باورمند ۹۵٪ بیزی ۰/۵ را در بر می‌گیرد، لذا فرض صفر در سطح اطمینان ۹۵٪ رد نمی‌شود. یعنی بر اساس این روش جدید آماری نتیجه می‌گیریم که تفاوت آلودگی هوای شرق و غرب تهران معنی‌دار نیست. اگرچه این روش، روشی کلی بوده و فراتر از آزمون برابری میانگین دو جامعه است ولی در مسأله مورد بررسی این روش با روش ناپارامتری من-ویتنی، که برای برابری میانگین‌های دو منطقه به‌کار برده شد، سازگار است. به عبارت دیگر، آزمون من-ویتنی نیز فرض برابری میانگین‌ها را رد نمی‌کند. برای اینکه یک دید شهودی از مفهوم این احتمال داشته باشیم، نمودار میانگین‌های نمونه‌ای شاخص آلودگی هوای دو منطقه در شکل ۴ نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود با این‌که تفاوت میانگین‌ها معنی‌دار نیست ولی میانگین نمونه‌ای شاخص آلودگی هوا در شرق تهران کمی بیشتر از غرب آن است. در آزمون من-ویتنی مقدار این بیشتر بودن بی‌اهمیت است ولی در روش جدید این بیشتری با یک مقدار احتمالی بیان شده است.

نتیجه‌گیری

امروزه افزایش شهرنشینی، شرایط محیطی کلان‌شهرها را دچار اختلال کرده که خود باعث ایجاد ناهنجاری‌هایی نظیر آلودگی هوا شده است. یکی از مهم‌ترین مخاطره‌های محیطی که ایران در سال‌های اخیر با آن روبه‌رو است، بالا بودن آلودگی هوای تهران است. با توجه به مقادیر شاخص آلودگی هوا، وضعیت هوای شهر تهران در برخی از روزهای سال در سطح ناسالم بوده و باعث بروز مشکلات زیادی در این شهر شده است. از آنجا که عدم سیاست‌گذاری‌های مناسب ممکن است منجر به ادامه وضعیت موجود شود، در این پژوهش آلودگی هوای تهران با یک روش آماری جدید بررسی شده است. روش آماری بیان‌شده مشکلات و محدودیت‌های روش‌های متداول (برابری میانگین‌ها) را نداشته و با یک رویکرد احتمالی مسأله را حل کرده است. نتایج حاصل از این روش نشان داد که اگرچه اختلاف معنی‌داری بین آلودگی هوای شرق و غرب تهران وجود ندارد، اما شرق تهران با احتمال ۰/۵۱۹آلوده‌تر از غرب آن است و این مقدار می‌تواند به‌عنوان یک شاخص بهینه برای توزیع مناسب امکانات و بودجه مربوط به آلودگی هوا در این دو منطقه به‌کار رود. به عبارت بهتر، برای کسب بهترین نتیجه در حل مشکل آلودگی هوای تهران، باید ۵۱/۹ درصد امکانات و بودجه مربوط به آلودگی هوا به شرق تهران و ۴۸/۱ درصد آن به غرب آن اختصاص یابد. برای مثال، برای هدفمند کردن امر درخت‌کاری و بیشینه کردن اثربخشی آن در تصفیه هوا، پیشنهاد می‌شود میزان درخت‌کاری در شرق تهران با این نسبت بیشتر از غرب تهران باشد. همچنین، پیشنهاد می‌شود محدودیت‌های ترافیکی اعمالی در شرق تهران با این نسبت بیشتر از غرب آن باشد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی انجام

Archive of SID
www.SID.ir

شده است نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مسئولان امور پژوهشی این دانشگاه اعلام می‌دارند.

پی‌نوشت‌ها

Air Quality Index
Mann-Whitney U
Distribution with power hazard function

منابع

Dockery, D. W., Pope C. A., Xu, X., Spengler J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G., Jr. and Speizer, F. E., 1993. An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. The New England Journal of Medicine. 329, 1753-1759.

Jeffreys, H., 1946. An invariant form for the prior probability in estimation problems. Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences. 186, 453-461.

Kalishadi, R., Poursafa, P. and Sharifi Ghazvini., F., 2014. Association of Air Pollution and Vitamin D Deficiency in Pregnant Mothers and Newborns in a Sunny Region. Environmental Sciences. 12, 79-84. (In Persian with English abstract).

Kowalska, M., Osrodka, L., Klejnowski, K., Zejda, J.E., Krajny, E., Wojtylak, M., 2009. Air quality index and its significance in environmental health risk communication. Archives of Environmental Protection. 35, 13-21.

Monteiro, A., Vieira M., Gama C. and Miranda A. I., 2017. Towards an improved air quality index. Air Qual Atmos Health. 10, 447-455.

Naddafi, K., Hassanvand, M.S., Yunesian, M., Momeniha, F., Nabizadeh, R., Faridi, S. and Gholampour, A., 2012. Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran. Iran. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering. 9, 1-7.

Noori, R., Hoshyaripour, G., Ashrafi, K. and Rasti, O., 2013. Introducing an Appropriate Model using Support Vector Machine for Predicting Carbon Monoxide Daily Concentration in Tehran Atmosphere. Iranian Journal of Health and Environment. 6, 1-9.

Ommi, F., Panahi, A. and Rashidi Y., 2017. Estimate of economic losses of NO_2 gas on the mortality rate of Tehran citizens. Environmental Sciences. 15, 89-102. (In Persian with English abstract).

Pope, CA., Burnett, RT., Thun, MJ., Calle, EE., Krewski, D., Ito, K. and Thurston, GD., 2002. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. The Journal of the American Medical Association. 287, 1132-114.

Rowshan, Gh., Khosh Akhlagh, F., Negahban, F. and Mirkatouly, J., 2009. Impact of Air Pollution on Climate Fluctuations in Tehran City. Environmental Sciences. 7, 173-192. (In Persian with English abstract).

Archive of SID

www.SID.ir

Environmental Sciences Vol.16 / No.2 / Summer 2018

101-110

An optimal scale for the comparison of air pollution in East and West Tehran

Masoud Ganji* **and Akbar Abravesh**
Department of Statistics, Faculty of Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 2017.11.06 **Accepted:** 2018.06.09

Ganji, M. and Abravesh, A., 2018. An optimal scale for the comparison of air pollution in East and West Tehran. Environmental Sciences. 16 (2), 101-110.

Introduction: Air pollution in the metropolis of Tehran is a serious environmental issue. Assigning an optimal budget to deal with air pollution problems in the East (no.4) and West (no.22) regions of Tehran, determining the optimal proportion of green spaces and determining the ratio of applying optimal traffic constraints in these two regions, and addressing similar problems, are all necessary and require a statistical optimization scale for resolving them. Unfortunately, so far, no study has been done in this regard, and research on this issue is needed. The main purpose of this research is to investigate the difference between the air pollution in East and West of Tehran and provide a benchmark for responding to the above issues.

Materials and methods: A new statistical approach has been proposed in this study for comparing air pollution in the East and West of Tehran, which eliminates the problems associated with conventional methods such as the t-test and nonparametric tests. In this method, the air pollution index values of the two regions have been modelled using a suitable statistical distribution and, then, the probability that air pollution in the East of Tehran would be more than in the western part of it would be reached through a Bayesian method. The value of this probability, called R, has been used as an optimal scale for allocating air pollution-related assets between the two regions.

Results and discussion: Air pollution data was collected in the east and west of Tehran in the winter of 2016 in terms of air quality index (*AQI*) and was modelled using distributions with a power hazard function. The mean and standard deviations for air pollution data in the East of Tehran have been obtained as 76.70 and 37.074, respectively, and the corresponding statistics for the West of Tehran were 72.14 and 34.166, respectively. Although, the sample mean of AQI in the East of Tehran is a little greater than in the West, the nonparametric Mann-Whitney test shows that there is no significant difference between air quality of these two regions. The 95% Bayesian confidence interval of R has been obtained (0.594 and 0.436) and a Bayes estimate of R has been obtained at 0.519. According to the results, although there is no significant difference (at a

* Corresponding Author. *E-mail Address:* mganji@uma.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

confidence level of 95%) between the air pollution in the eastern and the western parts of the city, with a probability 0.519, the air in the East of Tehran was more polluted than the West. Also, this probability value is an optimal scale which can be applied to the appropriate allocation of facilities related to air pollution between the two regions. That is, 51.9% of facilities related to air pollution should be allocated to the East of Tehran and 48.1% should be allocated to its western part.

Conclusion: It seems that the proper allocation of funds from different regions of Tehran to control Tehran's air pollution can be a step towards solving this problem. The statistical method presented in this study provides an optimal amount for allocating funds to the East and West of Tehran. Officials can use the optimal amount based on this method to create appropriate policies for the proper distribution of funds and facilities in East and West Tehran. For example, to maximize the effectiveness of tree-planting in air purification, with this proportion it is better to plant trees in the eastern part of the city more than in the western part. Also, it is suggested that traffic constraints in eastern Tehran should be greater than in the western part of it.

Keywords: Air Quality Index, Bayesian method, Reliability function, Statistical distribution, Tehran.

Archive of SID

www.SID.ir