

## مکان‌یابی بهینه ایستگاههای پایش آلودگی هوا با استفاده از روشهای فرا رتبه‌ای

ندا کفاش چرندابی<sup>۱\*</sup>، علی اصغر آل شیخ<sup>۲</sup>، محمد کریمی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری GIS، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۲ تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۱۲

### چکیده

در سالهای اخیر رشد روز افزون جمعیت، وسایل نقلیه و کارخانه‌های صنعتی باعث شده است تا آلودگی هوا، مشکلات زیادی را در محیط زیست بشر ایجاد کند و سلامتی آنها را به خطر اندازد. برای بررسی کیفیت هوا، داده‌های مختلف که به کمک سنجنده‌های موجود در ایستگاههای سنجش آلودگی هوا جمع‌آوری می‌شوند، مورد نیازند. پایش واقعی وضعیت آلودگی هوا، نیازمند توریع مناسب و دقیق ایستگاهها در کل منطقه مطالعاتی است که جانمایی بهینه این ایستگاهها را می‌توان با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره عملی ساخت. در تحقیق حاضر، با توجه به ضرورت تعیین دقیق مکان احداث ایستگاههای سنجش آلودگی در کلانشهر تهران، ابتدا ۲۰ محل جدید پیشنهاد شد. اولویت این ایستگاهها بر مبنای معیارهای مهمی نظیر: تراکم جمعیت، فاصله از ایستگاههای موجود، فاصله از درختان، فاصله از دیوار ساختمان‌ها و فاصله از خیابان‌ها به کمک سه روش PROMETHEE، ELECTRE و WSM محاسبه شدند و مورد مقایسه قرار گرفتند. همچنین برای ارائه رتبه‌بندی واحد، از روشهای ادغام سه‌گانه (میانگین حسابی، بردا و کاپلند) استفاده شد. در نهایت و برای بررسی اعتبار نتایج به دست آمده، نقشه‌های کیفیت هوا تولید و میزان تطابق نقشه‌ها با نتایج روشهای تصمیم‌گیری مختلف محاسبه شد. نتایج حاکی از بهینگی جواب‌های حاصل از روشهای PROMETHEE و ادغام سه‌گانه است. این نتایج همچنین مؤید نیاز شدید به احداث ایستگاههای جدید در حوالی بزرگراه بسیج، بزرگراه فتح، بزرگراه شهید عراقی، بزرگراه یادگار امام و بزرگراه تهران-ورامین است.

### کلید واژه

ایستگاههای پایش، روشهای ادغام، روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره، شاخص کیفیت هوا، مکان‌یابی

### سر آغاز

کنترل آن، عنصر کلیدی به حساب می‌آیند که به کمک ایستگاههای سنجش آلاینده‌ها تهیه می‌شوند. به این دلیل احداث ایستگاههای جدید و جانمایی دقیق آنها اهمیت‌چشمگیری دارد. به‌طوری‌که با جانمایی درست ایستگاههای پایش آلودگی، وضعیت واقعی تری از آلودگی به دست می‌آید. بنابراین یکی از مهمترین ملاحظات در اجرای سیستم کنترل آلودگی هوا انتخاب مکان‌های مناسب برای ایستگاههاست (اشرفی و همکاران، ۱۳۸۶). برای تعیین اماکن مناسب برای احداث ایستگاههای جدید می‌باید معیارهای ارزیابی و مدل‌های تصمیم‌گیری مناسب مشخص شوند. در سالهای اولیه گسترش مدل‌های تصمیم‌گیری، به‌چگونگی انتخاب تکنیک‌ها توجه خاصی نمی‌شد، اما امروزه واضح است که انتخاب نادرست

در اغلب شهرهای بزرگ و صنعتی دنیا، افزایش جمعیت و منابع آلاینده هوا منجر به تولید هوایی آلوده و ناسالم شده است که سلامتی افراد ساکن در این مناطق را در معرض خطر قرار می‌دهد. در کلانشهر تهران نیز افزایش زندگی ماشینی و فعالیت‌های افرای انسان از یک طرف و شرایط توپوگرافی و عوامل طبیعی آن از طرف دیگر باعث شده است تا این شهر از آلوده‌ترین شهرهای جهان محسوب شود. به دلیل ضرورت جلوگیری و کاهش خطرهای ناشی از آلودگی هوا، آگاهی مناسب از جوانب مختلف این مسئله از اهمیت بسزایی برخوردار است (اردکانی و همکاران، ۱۳۸۵). داده‌های آلودگی هوا برای انجام مطالعات و تصمیم‌گیری در مورد کاهش و

طریق روی هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی صورت می‌گیرد. بنابراین در این تحقیق برای اولین بار با توجه به ضرورت مسئله تعیین موقعیت مناسب برای احداث ایستگاههای جدید، جانمایی ایستگاهها به کمک روشهای ELECTRE، PROMETHEE و WSM اجرا شده و سپس برای رسیدن به جوابی واحد و نهایی از روشهای ادغام سه گانه استفاده می‌شود.

## مواد و روشها

### روشهای فرارتهای

روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره MCDM<sup>۶</sup> ابزارهایی توانمند در تحلیل مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای مختلف و متعارض هستند. روشهای فرارتهای به عنوان شاخه‌ای از مدل‌های MCDM به کمک تعریف روابط فرارتهای و بر مبنای انجام مقایسه‌های زوجی میان گزینه‌ها به مدل‌سازی دقیق‌تر و واقعی‌تر مسائل تصمیم‌گیری می‌پردازند.

روابط فرارتهای خود شامل روابط برتری<sup>۷</sup> اکید، برتری ضعیف، اختلافات جزئی<sup>۸</sup> و غیر قابل مقایسه<sup>۹</sup> هستند که با تعیین حدآستانه‌های برتری (p)، اختلاف جزئی (q) و تو<sup>۱۰</sup> (v) تعریف می‌شوند (Figueira, et al., 2005).

از میان روشهای مختلفی که در قالب روشهای فرارتهای ارائه شده‌اند، خانواده روشهای ELECTRE و PROMETHEE در طیف وسیعی از کاربردهای مختلف موجود در دنیای واقعی نظیر جهانگردی، مدیریت منابع آب، بررسی مناطق آلوده، مکان‌یابی تسهیلات فاضلاب و آسیب‌پذیری حوزه‌های آبخیز استفاده شده‌اند (Banias, et al., 2010; Balasubramaniam, et al., 2007). (Zhang, et al., 2009; Huang, et al., 2010).

روش PROMETHEE یکی از روشهای پشتیبان تصمیم‌گیری است (Brans, et al., 1984)، که بدون نیاز به اطلاعات بیش از اندازه و گیج‌کننده، با کاربردی آسان، نتایجی پایدار و قابل فهم ایجاد می‌کند (اصغری‌زاده و نصراللهی، ۱۳۸۶). مدل‌های گوناگونی از این روش برای بررسی مسائل تصمیم‌گیری ارائه شده است که از آن جمله می‌توان PROMETHEE I (برای رتبه‌بندی جزئی گزینه‌ها)، PROMETHEE II (برای رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها)، PROMETHEE III (برای رتبه‌بندی بر مبنای بازه‌ها)، PROMETHEE IV (برای حالات پیوسته)، PROMETHEE V (برای حل مسائل تصمیم‌گیری به همراه محدودیت‌ها) و PROMETHEE VI (با توسعه ابزار تجزیه و تحلیل

می‌تواند نتایجی مانند احتمال دستیابی به پاسخ غیر بهینه، صرف زمان و منابع مالی بیش از اندازه و منصرف شدن کاربران بالقوه از روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه MADM<sup>۱</sup> را در برداشته باشد (اصغری‌زاده و نصراللهی، ۱۳۸۶).

در سالهای اخیر دو روش PROMETHEE<sup>۲</sup> و ELECTRE<sup>۳</sup> به عنوان روشهای تصمیم‌گیری مناسب و توانمند مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند. این دو مدل جزء خانواده روشهای فرارتهای<sup>۴</sup> هستند و در مسائل بهینه‌سازی و مکان‌یابی استفاده شده (Banias, et al., 2010; Balasubramaniam, et al., 2007). (Huang, et al., 2010).

در این تحقیق نیز برای جانمایی ایستگاههای پایش آلودگی هوا روشهای ELECTRE، PROMETHEE و مجموع وزن‌دار ساده<sup>۵</sup> (WSM) مورد استفاده قرار می‌گیرند و نتایج حاصل از آنها بررسی می‌شود. در زمینه آلودگی هوا مطالعات گوناگونی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به پایش آلودگی هوا در اینترنت تهران (اردکانی و همکاران، ۱۳۸۵) و جانمایی ایستگاههای آلودگی هوا (اشرفی و همکاران، ۱۳۸۶؛ Goswami, et al., 2002; Kukkonen, et al., 2001) اشاره کرد.

در مطالعات فوق جانمایی تقریبی از ایستگاهها با تمرکز بر معیارهای خاص مانند جمعیت و همبستگی میان آلاینده‌ها مدنظر بوده است. همچنین، با وجود اهمیت فراوان برای تعیین اولویت ساخت ایستگاهها، به لحاظ ملاحظات علمی، فنی و اقتصادی؛ چنین عاملی مورد توجه قرار نگرفته است. از طرف دیگر از روش ELECTRE و WSM برای ارزیابی مناطق آلوده (Balasubramaniam, et al., 2007) و از مدل ELECTRE III برای مکان‌یابی تسهیلات مربوط به فاضلاب (Banias, et al., 2010) استفاده شده است.

در این تحقیقات بیشتر به یک، یا چند مدل تصمیم‌گیری چند معیاره اکتفا شده است. این در حالی است که در اکثر مواقع روشهای مختلف تصمیم‌گیری نتایج متفاوتی تولید می‌کنند. برای دستیابی به نتیجه‌ای واحد از جوابهای متفاوت روشهای مختلف، استفاده از روشهای ادغام توصیه شده است (اصغری‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵؛ Wang, et al., 2008). در زمینه جانمایی ایستگاههای پایش آلودگی هوا تا کنون از روشهای ادغام استفاده نشده و از نوآوری‌های مقاله حاضر است. جایابی ایستگاههای پایش در تهران معمولاً از

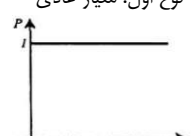
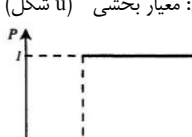
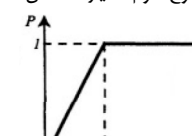
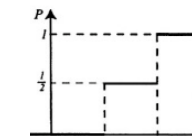
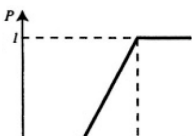
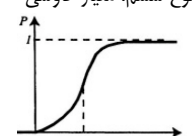
ب : انتخاب تابع رضامندی ( $F_j$ ) از جدول شماره (۱) و محاسبه مقدار ( $P(a,b)$ ) برای تمامی زوج گزینه‌ها در قیاس با تمامی معیارها از روابط (۲) و (۳).

$$P_j(a,b) = F_j[d_j(a,b)] \quad ; \forall a,b \in A \quad (2)$$

$$d_j(a,b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (3)$$

$$0 \leq P_j(a,b) \leq 1$$

**جدول شماره (۱): انواع معیارهای تعمیم یافته**

رابطه	نام و شکل
$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	نوع اول: معیار عادی <sup>۱۳</sup> 
$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	نوع دوم: معیار بخشی <sup>۱۴</sup> (شکل u) 
$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	نوع سوم: معیار v شکل <sup>۱۵</sup> 
$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	نوع چهارم: معیار پله‌ای <sup>۱۶</sup> 
$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	نوع پنجم: معیار v شکل با ناحیه بی‌تفاوتی <sup>۱۷</sup> 
$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{-d^2}{1 - e^{-2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	نوع ششم: معیار گاوسی <sup>۱۸</sup> 

(مأخذ: اصغری زاده و نصراللهی، ۱۳۸۶)

حساسیت) اشاره کرد (Figueira, et al., 2005). روش ELECTRE I توسط Roy و تیم تحقیقاتی‌اش برای انتخاب بهترین گزینه پیشنهاد شد (Roy, Vanderpooten., 1996). در سالهای بعد تغییر و تعدیل‌های چندی از این روش ارائه شده است که مهمترین آنها ELECTRE Iv (بهبود ELECTRE I) بهره‌گیری از حدآستانه (تو)، ELECTRE IS (برای مدل‌سازی مسائلی با داده‌های ناقص)، ELECTRE II (رتبه‌بندی گزینه‌ها با روابط برتری اکید و ضعیف)، ELECTRE III (رتبه‌بندی گزینه‌ها به کمک شبه معیارها<sup>۱۱</sup> و روابط فرارتابه‌ای فازی)، ELECTRE IV (رتبه‌بندی گزینه‌ها بدون نیاز به وزن معیارها) و ELECTRE TRI (برای اختصاص گزینه‌ها به کلاسهای از پیش تعریف شده) است. به دلیل مزایای فراوان بهره‌گیری از روشهای ELECTRE III و PROMETHEE II برای مسائل تصمیم‌گیری، در تحقیق حاضر دو روش مذکور استفاده شده است که در ادامه تشریح خواهد شد.

**روش PROMETHEE II**

مهم‌ترین نقاط قوت این روش نسبت به سایر روشهای تصمیم‌گیری، سهولت استفاده برای کاربر، امکان تفسیر مشخصه‌ها<sup>۱۲</sup> (دسته‌بندی شاخص‌ها و گزینه‌ها)، پایداری نتایج در مقایسه با اغلب روشهای دیگر، امکان تحلیل حساسیت به صورت ساده و سریع، امکان استفاده از طرح گرافیکی مدل‌سازی و امکان در نظر گرفتن محدودیت‌های مختلف در بهینه‌سازی تصمیم است (اصغری زاده و نصراللهی، ۱۳۸۶).

مراحل اجرایی روش PROMETHEE II به اختصار عبارتند از (Figueira, et al., 2005)

الف : ساخت ماتریس تصمیم‌گیری؛ که از ارزیابی هر یک از گزینه‌ها نسبت به تمامی معیارها در قالب یک ماتریس مطابق با رابطه (۱) تعیین می‌شود.

$$a_1 \begin{bmatrix} g_1(a_1) & g_2(a_1) & \dots & g_k(a_1) \\ a_2 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \vdots & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_n & g_1(a_n) & \dots & g_k(a_n) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$g_1(\cdot) \quad g_2(\cdot) \quad \dots \quad g_k(\cdot)$$

در رابطه (۱)  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  مجموعه متناهی (بسته) از گزینه‌ها و  $\{g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_j(\cdot), \dots, g_k(\cdot)\}$  مجموعه معیارهای ارزیابی است.

**روش ELECTRE III**

روش ELECTRE III نیز برای رتبه‌بندی گزینه‌ها و برای حل مسائلی با داده‌های ناصحیح، کم‌دقت یا مبهم طراحی شده است. در این روش شبه‌معیارها (معیارهای واقعی به همراه حد آستانه‌ها) به جای معیارهای واقعی استفاده می‌شوند. مراحل این روش به اختصار عبارتند از (Figueira, et al., 2005):

**الف: محاسبه شاخص هماهنگی (رابطه ۹).**

$$C(aSb) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j c_j(aSb) \quad (9)$$

که در آن  $W = \sum_{j=1}^n w_j$  وزن است و  $c_j(aSb)$  نیز از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$c_j(aSb) = \begin{cases} 1 & \text{if } A \\ \frac{p_j(g_j(a)) + g_j(a) - g_j(b)}{p_j(g_j(a)) - q_j(g_j(a))} & \text{if } B \\ 0 & \text{if } C \end{cases} \quad (10)$$

که در آن  $A = g_j(b) - g_j(a) \leq q_j(g_j(a))$  و  $B = q_j(g_j(a)) < g_j(b) - g_j(a) < p_j(g_j(a))$  و  $C = g_j(b) - g_j(a) \geq p_j(g_j(a))$  است.

این روابط برای معیارهای سود بوده و برای معیارهای هزینه، تفاضل  $g(a)$  و  $g(b)$  ها قرینه می‌شود.

**ب: محاسبه مقدار شاخص ناهماهنگی (رابطه ۱۱)**

$$d_j(aSb) = \begin{cases} 1 & \text{if } D \\ \frac{p_j(g_j(a)) + g_j(a) - g_j(b)}{p_j(g_j(a)) - v_j(g_j(a))} & \text{if } E \\ 0 & \text{if } F \end{cases} \quad (11)$$

که در آن  $D = g_j(b) - g_j(a) \geq v_j(g_j(a))$  و  $E = p_j(g_j(a)) < g_j(b) - g_j(a) < v_j(g_j(a))$  و  $F = g_j(b) - g_j(a) \leq p_j(g_j(a))$  است.

در صورتی که

حد آستانه و تو تعریف نشود، شاخص ناهماهنگی مساوی صفر خواهد بود.

شایان ذکر است که روابط فوق برای معیارهای سود است، که نیاز به بیشینه کردن آنها وجود دارد. برای معیارهای هزینه که می‌باید کمینه شوند، مقدار  $d_j(a,b)$  در روابط فوق قرینه می‌شود.

پ: تعیین وزن معیارها  $\{w_j; j = 1, 2, \dots, k\}$  با شرط

$$\sum_{j=1}^k w_j = 1$$

ت: محاسبه درجه غلبگی  $(\pi(a,b))$  برای تمامی زوج گزینه‌ها مطابق رابطه (۴)

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^k P_j(a,b) w_j \quad (4)$$

ث: محاسبه جریان فرا رتبه‌ای مثبت  $(\phi^+(a))$  و منفی  $(\phi^-(a))$  مطابق روابط (۵) و (۶)

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a,x) \quad (5)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x,a) \quad (6)$$

ج: محاسبه جریان فرا رتبه‌ای مطابق رابطه (۷)

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (7)$$

چ: رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها مطابق رابطه (۸) و تعیین روابط برتری (p) و اختلافات جزئی (I)

$$\begin{cases} aP^III b & \text{iff } \phi(a) > \phi(b) \\ aI^III b & \text{iff } \phi(a) = \phi(b) \end{cases} \quad (8)$$

می‌باید توجه کرد که تابع رضامندی برای مقادیر منفی d صفر است. همچنین در هر یک از توابع پیشنهادی صفر، یک یا دو مشخصه می‌باید تعریف شوند که در آن q حد آستانه بی‌تفاوتی، p حد آستانه برتری اکید و s یک مقدار ما بین p و q است که می‌باید معین شود.

حد آستانه اختلافات جزئی، بزرگترین اختلافی است که برای تصمیم‌گیر بی‌اهمیت است و حد آستانه برتری، کوچکترین اختلافی است که برای تخصیص برتری کامل بین دو گزینه کافی است.

**پ: محاسبه درجه اعتبار رتبه بندی (رابطه ۱۲)**

$$\rho(aSb) = \begin{cases} C(aSb) & \text{if } G \\ C(aSb) \times \prod_{j \in I: d_j(aSb) > C(aSb)} \frac{1 - d_j(aSb)}{1 - C(aSb)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

که در آن  $G = d_j(aSb) \leq C(aSb)$  است.

جانمایی ایستگاههای پایش از روشهای سه گانه ادغام استفاده می شود (اصغری زاده و همکاران، ۱۳۸۵؛ Wang, et al., 2008).

**روش میانگین حسابی**

در این روش از رتبه های مختلف به دست آمده برای هر گزینه میانگین حسابی گرفته می شود. گزینه ای که دارای میانگین کمتری باشد، دارای رتبه بالاتری خواهد بود.

**روش بردار**

در این روش، رتبه های هر زوج گزینه در روشهای مختلف با یکدیگر مقایسه می شوند و یک جدول برای این مقایسه های زوجی تشکیل می شود.

در صورتی که تعداد روشهایی که در آن گزینه a بر گزینه b ارجح است، بیشتر از تعداد روشهایی باشد که در آن گزینه b بر گزینه a ارجحیت دارد، با w و در غیر این صورت با d نشان داده می شود.

w ها مبین تعداد بردها و d ها نشان دهنده تعداد باختها هستند. گزینه ای که تعداد برد بیشتری داشته باشد، دارای اولویت برتر خواهد بود.

**روش کاپلند**

در روش کاپلند علاوه بر تعداد بردها، تعداد باختها نیز در اولویت بندی لحاظ می شوند. در این روش صلاحیت هر گزینه بر اساس تفاضل تعداد بردها و باختها محاسبه می شود. گزینه ای که در آن تفاضل تعداد بردها و باختها دارای مقدار بیشتری باشد، اولویت بالاتری خواهد داشت.

**ضوابط جانمایی ایستگاههای پایش آلودگی هوا**

آلودگی هوا در شهر تهران تحت تأثیر عوامل متعددی همچون توپوگرافی، اقلیم، جمعیت، شبکه حمل و نقل و صنعت است. عمده آلاینده های هوای این شهر منواکسید کربن (CO)، دی اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>)، دی اکسید نیتروژن (NO<sub>2</sub>)، ذرات معلق (PM<sub>10</sub>) و ازن (O<sub>3</sub>) هستند.

در مناطقی با شرایط فوق، ضوابط جانمایی ایستگاههای پایش آلودگی هوا مطابق جدول شماره (۲) خواهد بود. (U.S. Environmental Protection Agency, 2008).

لیکن در برخی از منابع اذعان شده است که برای جانمایی این ایستگاهها معیارهای دیگری نظیر تراکم جمعیت، ترافیک، توزیع متوازن ایستگاهها در منطقه، کاربری مناطق و غیره نیز می تواند

**ت: رتبه بندی گزینه ها**

برای رتبه بندی گزینه ها در روش ELECTRE III انجام فرایند تقطیر<sup>۱۹</sup> (برای ایجاد پیش رتبه بندی نزولی و صعودی گزینه ها) و فرایند تقاطع (برای به دست آوردن رتبه بندی نهایی گزینه ها به کمک اطلاعات به دست آمده از مراحل قبل) ضروری است.

انجام این عمل منجر به تعیین روابط برتری، اختلافات جزئی و غیرقابل مقایسه میان گزینه ها می شود که به رتبه بندی جزئی گزینه ها مشهور است (Figueira, et al., 2005).

با وجود اطلاعات کامل و مفیدی که چنین رتبه بندی در اختیار تصمیم گیر قرار می دهد، از آنجایی که تحقیق حاضر نیازمند رتبه بندی کامل گزینه ها برای اتخاذ تصمیم نهایی است؛ از رتبه بندی گزینه ها به کمک ماتریس درجه اعتبار استفاده شد. بدین صورت که صلاحیت هر گزینه به کمک تفاضل درجه اعتبار آن گزینه نسبت به سایر گزینه ها و درجه اعتبار سایر گزینه ها نسبت به آن گزینه به دست آمد.

به عبارت ساده تر جمع مقادیر ستون مربوط به گزینه از ماتریس درجه اعتبار از جمع مقادیر سطر مربوط به آن گزینه از ماتریس درجه اعتبار کم شد. سرانجام رتبه بندی کامل گزینه ها به کمک صلاحیت به دست آمده برای هر گزینه انجام گشت.

**روش WSM**

WSM یکی از ساده ترین و رایج ترین روشهای تصمیم گیری است که در آن ارزش هر گزینه از مجموع حاصل ضرب وزن معیارها در ارزش گزینه ها به دست می آید. ضعف این روش در برخورد با مسائل تصمیم گیری چندبعدی آشکار می شود (Wang, et al., 2008).

**روشهای ادغام**

با توجه به این که نتایج رتبه بندی حاصل از روشهای مختلف، متفاوت هستند، برای دستیابی به نتیجه ای واحد و واقعی برای

لحاظ شود (اشرفی و همکاران، ۱۳۸۶؛ Goswami, et al., 2002؛ Kukkonen, et al., 2001).

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهر تهران با مساحت ۷۳۰ کیلومتر مربع و جمعیت ۸,۴۲۹,۸۰۷ نفر است. در این شهر در سال ۸۸، ۱۷ ایستگاه سنجش آلودگی هوا وجود داشته است که تحت نظر سازمان محیط زیست و شرکت کنترل کیفیت هوا هستند. این ایستگاهها شامل:

آزادی، بهمین، قلهک، سرخه حصار، پردیسان، تجریش، فاطمی، اقدسیه، بازار، پارک رز، ژئوفیزیک، شهر ری، پونک، گلبرگ، مسعودیه، استانداری و امام خمینی هستند که محل آنها در شکل شماره (۲) - الف نشان داده شده است (Alesheikh, et al., 2005). با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه برای انجام بررسی‌های بهتر و جانمایی دقیق‌تر، ۲۰ گزینه برای احداث ایستگاههای جدید (مطابق شکل شماره ۲ - الف) پیشنهاد شد تا ارزیابی‌ها و تعیین اولویت برای آنها صورت گیرد.

در انتخاب این ۲۰ نقطه، مطالعات پیشین مرتبط با مکان‌یابی ایستگاههای پایش آلودگی هوا در شهر تهران و لایه‌های اطلاعاتی موجود از منطقه به عنوان مبنای قرار گرفته است. به عبارت دیگر با توجه به مناطق پرجمعیت و پرتراکم شهر و بر مبنای محدوده‌هایی که در تحقیقات پیشین به عنوان مناطق اولویت‌دار برای احداث ایستگاه جدید مشخص شده‌اند، امکان پیشنهادی برای احداث ایستگاه جدید معین شدند. در این زمینه می‌توان به مراجعی مانند (اشرفی و همکاران، ۱۳۸۶)، (امیریان و آل شیخ، ۱۳۸۸) و (Alesheikh, et al., 2005) اشاره کرد.

### تعیین معیارهای ارزیابی

در این تحقیق و نظر به اهمیت و دسترسی به داده‌ها برای جانمایی ایستگاههای پایش، پنج معیار تراکم جمعیت، فاصله از ایستگاههای موجود، فاصله از درختان، فاصله از دیوار ساختمان‌ها و فاصله از خیابانها مورد توجه قرار گرفتند. لایه تراکم جمعیت به کمک جمعیت موجود در نواحی آماری ایجاد شد (شکل شماره ۲ - ب).

ایستگاه جدید می‌باید در مناطقی با تراکم جمعیت بالا قرار گیرد. لایه فاصله از ایستگاههای موجود با ترسیم حریم‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۳۰۰۰ متری به‌وجود آمد (شکل شماره ۲ - ج). برای توزیع یکنواخت ایستگاهها در کل شهر برای

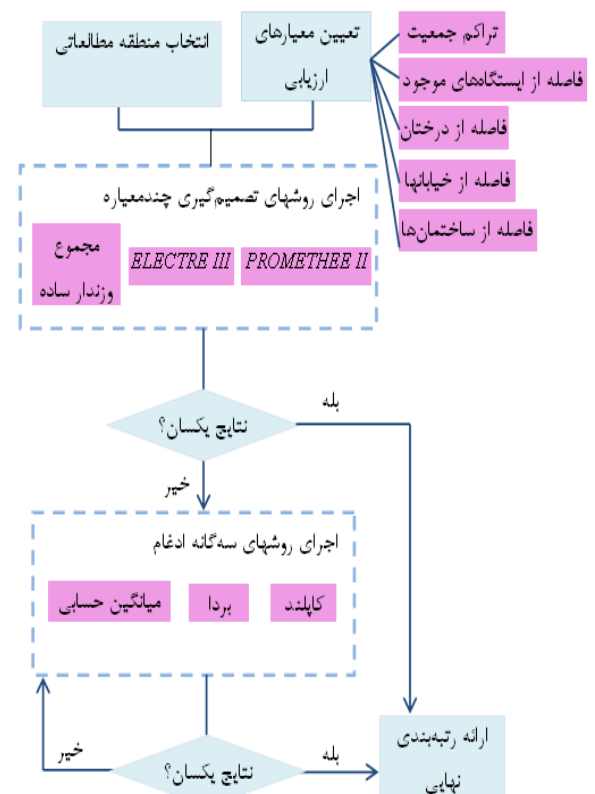
### جدول شماره (۲): ضوابط جانمایی ایستگاههای پایش

ردیف	آلاینده	ارتفاع از سطح زمین (متر)	اطراف (متر)	فاصله افقی و عمودی دیوارهای ساختمانهای	فاصله از درختان (متر)	فاصله از جاده‌ها (متر)
۱	دی اکسید گوگرد	۳-۱۵	>۱	>۱	>۱۰	-
۲	منوکسید کربن	۳-۱۵	>۱	>۱	>۱۰	۲-۱۰
۳	آزن	۳-۱۵	>۱	>۱	۱۰	-
۴	دی اکسیدنیترژن	۳-۱۵	>۱	>۱	>۱۰	-
۵	ذرات معلق	۲-۷	>۲	>۲	>۱۰	۲-۱۰

(U.S. Environmental Protection Agency, 2008)

### روش کار

روند انجام این تحقیق مطابق شکل شماره (۱) است.

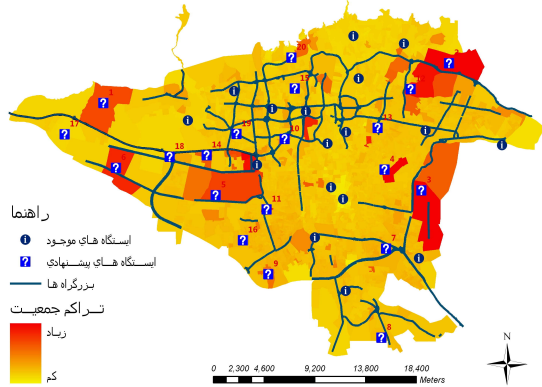


شکل شماره (۱): روند انجام تحقیق (مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰)

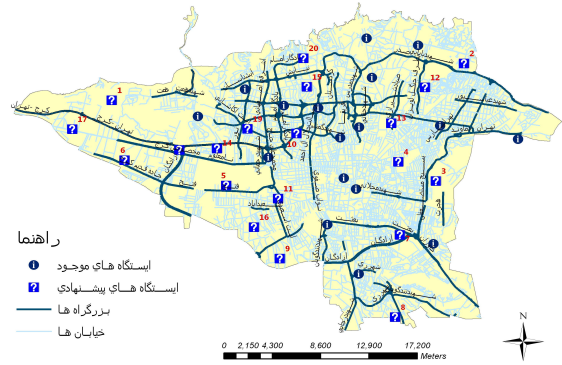
خیابان‌ها با ترسیم حریم‌های ۲، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ متری تولید شدند (شکل شماره ۲-د، ۲-چ و ۲-ج).

قوانین جانمایی ایستگاه‌های جدید بر مبنای سه معیار اخیر در جدول شماره (۲) ذکر شده است.

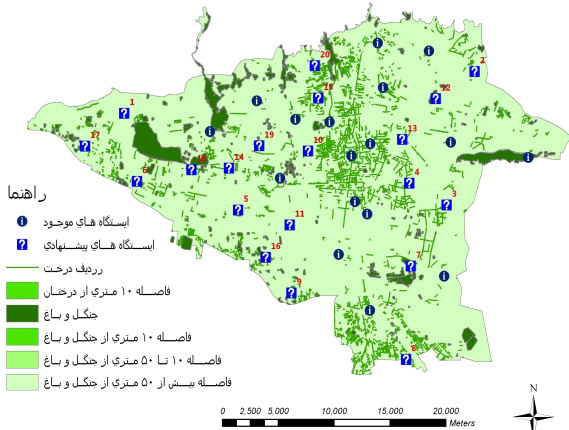
سنجش واقعی تر آلودگی هوا، می‌باید ایستگاه‌های جدید در فاصله بیش‌تری از ایستگاه‌های موجود قرار گیرند. سایر لایه‌ها شامل فاصله از درختان با ترسیم حریم‌های ۱۰ و ۵۰ متری، فاصله از دیوارهای ساختمان‌ها با ترسیم حریم‌های ۲ متری و فاصله از



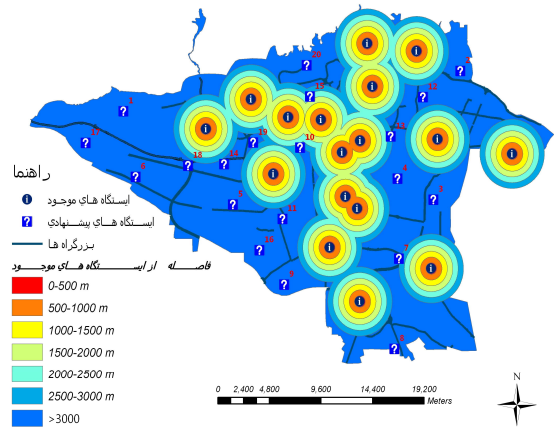
ب: لایه تراکم جمعیت



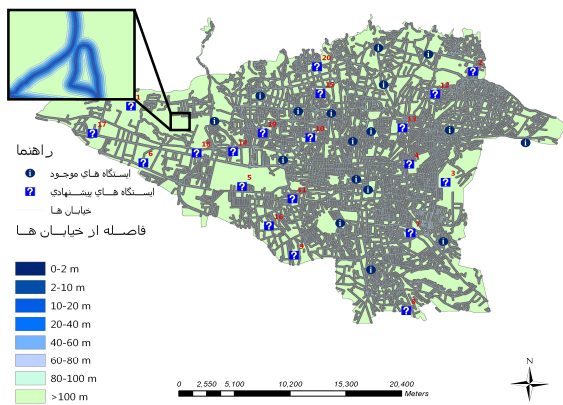
الف: منطقه مورد مطالعه



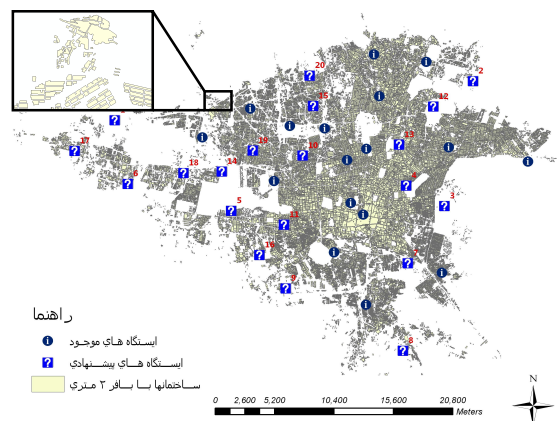
د: لایه فاصله از درختان



ج: لایه فاصله از ایستگاه‌های موجود



ح: لایه فاصله از خیابان‌ها



ج: لایه فاصله از دیوار ساختمان‌ها

شکل شماره (۲): لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در تحقیق (مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰)

## اجرا

$\phi(\cdot)$  و رتبه این سه گزینه در جدول شماره (۴) نشان داده شده است.

**جدول شماره (۴): نتایج روش PROMETHEE II برای سه گزینه**

رتبه	$\phi(\cdot)$	$\phi^-(\cdot)$	$\phi^+(\cdot)$	شماره ایستگاه
۲	-۰/۰۰۰۱	-۰/۱۹۹۷	۰/۱۹۹۸	۳
۱	-۰/۰۴۴	-۰/۱۱۱۵	۰/۱۵۵۵	۵
۳	-۰/۰۴۴	-۰/۱۵۵۸	۰/۱۱۱۷	۲۰

(مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰)

روش ELECTRE III با مشخصه‌های  $(p=0.35, q=0.05, v=0.8)$  مطابق روابط (۹) تا (۱۲) اجرا شد و نتایج جدول شماره (۵) حاصل شد.

**جدول شماره (۵): نتایج روش ELECTRE III برای سه گزینه**

شماره ایستگاه	۳	۵	۲۰
صلاحیت گزینه‌ها	۰	۰/۱۰۳۶	-۰/۱۰۳۶
رتبه	۲	۱	۳

(مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰)

با اجرای روش WSM با توجه به مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری و وزن معیارها، نتایج ۰/۸۴، ۰/۸۳۹ و ۰/۸۰۸ برای گزینه‌های ۳، ۵ و ۲۰ به دست آمد. این مقادیر به ترتیب رتبه‌های ۱، ۲ و ۳ را به گزینه‌های مذکور نسبت می‌دهد. تا این مرحله اولویت گزینه‌ها از سه روش مذکور محاسبه شد. آنگاه با توجه به اختلاف موجود میان نتایج به دست آمده از اجرای سه روش مذکور، روش‌های سه‌گانه ادغام اجرا شد. روش میانگین حسابی، میانگین رتبه‌های به دست آمده از سه روش مذکور را به دست می‌آورد و بر مبنای آن رتبه‌بندی جدید را برای گزینه‌ها انجام می‌دهد. میانگین رتبه‌ها برای گزینه‌های ۳، ۵ و ۲۰ به ترتیب برابر ۱/۶۷، ۱/۳۳ و ۳ شد. برای اجرای دو روش بردا و کاپلند، رتبه‌های به دست آمده از سه روش مقایسه شده و تعداد  $w$  ها و  $w-d$  ها برای گزینه‌های ۳، ۵ و ۲۰ در جدول شماره (۶) ارائه شد.

**جدول شماره (۶): محاسبه تعداد  $w$  ها و  $w-d$  های سه گزینه**

تعداد $w-d$ ها	تعداد $w$ ها	۲۰	۵	۳	شماره گزینه
۰	۱	w	d	-	۳
۲	۲	w	-	w	۵
-۲	۰	-	d	d	۲۰

(مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰)

برای بررسی نتایج حاصل از اجرای روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش‌های ELECTRE III و PROMETHEE II برای ۲۰ ایستگاه پیشنهادی اجرا شدند. بدین صورت که در ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری برای این ۲۰ گزینه بر اساس ۵ معیار مذکور تشکیل شد. ماتریس تصمیم‌گیری مطابق رابطه (۱) ارائه می‌شود که مبین ارزش تک‌تک گزینه‌ها در قیاس با تمامی معیارها است.

ماتریس تصمیم‌گیری این تحقیق بر مبنای نقشه‌های شکل شماره (۲) تشکیل شد و برای سادگی وزن تمامی معیارها یکسان (معادل ۰.۲) فرض شد. به دلیل حجم زیاد محاسبات، روند اجرایی به طور نمونه برای سه گزینه ۳، ۵ و ۲۰ بیان می‌شود و نتایج نهایی برای تمامی ایستگاهها در قالب جدول ارائه می‌شود. مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری برای این سه ایستگاه در جدول شماره (۳) ذکر شده است.

**جدول شماره (۳): ماتریس تصمیم‌گیری ایستگاههای ۳، ۵ و ۲۰**

شماره ایستگاه	تراکم جمعیت	فاصله از ایستگاهها	فاصله از درختان	فاصله از ساختمانها	فاصله از خیابانها
۳	۱	۱	۱	۱	۰/۲
۵	۰/۳۹۸	۱	۱	۱	۰/۹
۲۰	۰/۰۴۲۵	۱	۱	۱	۱

(مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰)

مقادیر جدول شماره (۳) بر مبنای نقشه‌های شکل شماره (۲) با توجه به محل ایستگاهها تعیین شدند. تراکم جمعیت بر مبنای مقادیر نرمال شده تراکم جمعیت در شکل شماره ۲-ب تعیین شده است. در معیار فاصله از ایستگاهها با توجه به قرار گرفتن در فاصله بزرگتر از ۳۰۰۰ متر، عدد ۱ به ایستگاهها اختصاص یافته است.

در معیارهای فاصله از درختان و ساختمانها با توجه به قرار گرفتن ایستگاهها در فواصل بزرگتر از ۵۰ متر و ۲ متر، عدد ۱ به آنها اختصاص یافت. اعداد ۰/۲ و ۰/۹ در معیار فاصله از خیابانها به دلیل قرار گرفتن در فواصل ۲-۱۰ متر و ۸۰-۱۰۰ متر به گزینه‌ها منتسب شد. حال با داشتن مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری و وزن معیارها، روش PROMETHEE II مطابق روابط (۲) تا (۷) و با تابع گوسین (با پارامتر  $s=0.2$ ) اجرا شد. مقادیر  $\phi^+(\cdot)$ ،  $\phi^-(\cdot)$



واحد تکرار خواهد شد. مشابه روند مذکور، رتبه‌بندی تمامی گزینه‌ها (۲۰ گزینه) به کمک روشهای ELECTRE III، PROMETHEE و WSM انجام شده و روشهای ادغام اجرا شد. نتایج رتبه‌بندی در جدول شماره (۸) نشان داده شده است.

شایان ذکر است در این تحقیق، برای ۲۰ گزینه در تکرار دوم از اجرای روشهای ادغام، نتایج واحد حاصل شد. این نتایج حاکی از اولویت احداث گزینه‌های ۳، ۵، ۱۳، ۲۰ و ۸ بر سایر گزینه‌هاست.

### بررسی نتایج

برای ارزیابی بهینگی اولویت ایستگاههای پیشنهادی که توسط روشهای مختلف ارائه شده است، نقشه کیفیت هوا مطابق استاندارد کیفیت هوا<sup>۳۳</sup> تولید شد. با توجه به این که منواکسیدکربن (CO) یکی از آلاینده‌های بحرانی برای هوای شهر تهران است، نقشه AQI برای آلاینده منواکسیدکربن تولید شد. برای طراحی این نقشه، در ابتدا غلظت لحظه‌ای ثبت شده برای CO در تمامی ایستگاهها به غلظت استاندارد تبدیل شد.

برای انجام این تبدیل در اکثر تحقیقات صورت گرفته، از میانگین گیری متحرک، ۱ ساعته و ۸ ساعته استفاده شده است. در این تحقیق برای تعیین کیفیت هوا به لحاظ آلاینده CO، مطابق استاندارد هوای پاک از غلظت ۸ ساعته CO استفاده شد.

برای نمونه در جدول شماره (۶) در مقایسه گزینه ۳ با گزینه ۲۰، در هر سه روش رتبه گزینه ۳ بهتر از گزینه ۲۰ بوده، و بنابراین در ستون و ردیف مربوط (w) قرار گرفت و بدین ترتیب برای تمامی گزینه‌ها، مقایسه‌ها انجام گرفت.

بر مبنای مقادیر میانگین رتبه‌ها، تعداد W ها و W-d ها، رتبه سه گزینه ۳، ۵ و ۲۰ محاسبه و در جدول شماره (۷) ارائه شد.

### جدول شماره (۷): محاسبه رتبه سه گزینه با تعداد w ها و w-d ها

شماره گزینه	۳	۵	۲۰
رتبه حاصل از روش WSM	۱	۲	۳
رتبه حاصل از روش ELECTRE III	۲	۱	۳
رتبه حاصل از روش PROMETHEE II	۲	۱	۳
رتبه حاصل از میانگین حسابی	۲	۱	۳
رتبه حاصل از روش بردا	۲	۱	۳
رتبه حاصل از روش کاپلند	۲	۱	۳

(مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰)

با توجه به یکسان بودن نتایج حاصل از این مرحله، اجرای روشهای میانگین حسابی، بردا و کاپلند متوقف شده و رتبه‌بندی نهایی ارائه می‌شود. در صورتی که نتایج حاصل از اجرای روشهای ادغام در تکرار اول یکسان نباشد، اجرای روشهای ادغام بر روی رتبه‌بندی جدید به دست آمده برای گزینه‌ها تا رسیدن به رتبه‌بندی

### جدول شماره (۸): رتبه‌بندی اولویت احداث ایستگاههای پایش به کمک روشهای مختلف

شماره گزینه‌ها	ELECTRE III	PROMETHEE II	WSM	Ranks mean (1st)	Borda (1st)	Capland (1st)	نهایی
۱	۱۹	۱۷	۱۹	۱۸	۱۹	۱۹	۱۹
۲	۵	۱۱	۱۱	۹	۱۱	۱۱	۱۱
۳	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱
۴	۱۲	۳	۷	۶	۷	۷	۷
۵	۴	۱	۲	۲	۲	۲	۲
۶	۱۷	۱۶	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷
۷	۱۸	۲۰	۱۸	۱۹	۱۸	۱۸	۱۸
۸	۹	۶	۵	۵	۵	۵	۵
۹	۲۰	۱۸	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
۱۰	۱۴	۱۰	۱۰	۱۲	۱۰	۱۰	۱۰
۱۱	۷	۱۲	۱۲	۱۱	۱۲	۱۲	۱۲
۱۲	۱۰	۱۳	۱۴	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳
۱۳	۲	۴	۴	۳	۳	۳	۳
۱۴	۶	۸	۹	۷	۸	۸	۸
۱۵	۱۵	۱۴	۱۳	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴
۱۶	۱۱	۷	۶	۸	۶	۶	۶
۱۷	۱۶	۱۵	۱۵	۱۶	۱۵	۱۵	۱۵
۱۸	۸	۱۹	۱۶	۱۵	۱۶	۱۶	۱۶
۱۹	۱۳	۹	۸	۱۰	۹	۹	۹
۲۰	۳	۵	۳	۴	۴	۴	۴

(مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰)

طریق درون‌یابی (امیریان و آل‌شیخ، ۱۳۸۸)، نقشه کیفیت هوا در شش طبقه‌ی نواحی خوب (۰ تا ۵۰)، متوسط (۵۱ تا ۱۰۰)، غیربهداشتی برای افراد حساس (۱۰۱ تا ۱۵۰)، غیربهداشتی (۱۵۱ تا ۲۰۰)، خیلی غیربهداشتی (۲۰۱ تا ۳۰۰) و خطرناک (۳۰۱ تا ۵۰۰) برای شهر تهران تهیه شد.

برای بررسی و مقایسه بهینگی اولویت‌های ارائه شده از روشهای مختلف، لایه ایستگاههای پیشنهادی و نقشه کیفیت هوا بر روی هم قرار گرفت و شاخص مقایسه‌ای  $CI^{33}$  برای تمامی روشهای اجرا شده محاسبه شد (مطابق رابطه (۱۴) تا رضامندی روشهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

$$CI_{method} = \sum_{i=1}^{20} (21 - n_i) \times (lp_i) \quad (14)$$

در رابطه فوق  $n_i$  اولویت ایستگاه  $i$ ام در روش مربوط و  $lp_i$  زیرشاخص محاسبه شده برای CO در ایستگاه  $i$ ام است. سپس بر مبنای شاخص CI درصد رضامندی برای روشهای مختلف محاسبه شد. نتایج حاصل از محاسبه درصد رضامندی برای رتبه‌بندی حاصل از روشهای ELECTRE III، PROMETHEE II، WSM و ادغام سه روش که تحت عنوان رتبه‌بندی نهایی ارائه شده است، در نمودار شماره (۳) آمده است.

این نتایج حاکی از رضامندی روش PROMETHEE II در رتبه‌بندی ارائه شده برای ۱۰ گزینه برتر در قیاس با سایر روشهاست.

همچنین در رتبه‌بندی ۲۰ ایستگاه پیشنهادی، رتبه‌بندی نهایی دارای برتری جزئی نسبت به سایر روشها بوده است. بنابراین با توجه به نتایج موجود در شکل شماره (۳) می‌توان اذعان داشت که برای تحقیق حاضر روش PROMETHEE II و رتبه‌بندی نهایی نتایج بهتری ارائه کرده‌اند.

به بیان بهتر در جانمایی ایستگاههای پایش آلودگی هوا در صورتی که تصمیم‌گیر بخواهد فقط از مدل تصمیم‌گیری استفاده کند، روش PROMETHEE II پیشنهاد می‌شود و در غیر این‌صورت ادغام روشهای مختلف تصمیم‌گیری نتایج بهتری ارائه خواهند داد.

رضامندی ۸۲ درصد برای رتبه‌بندی نهایی ۲۰ ایستگاه پیشنهادی مؤید این ادعاست.

این روش یکی از ساده‌ترین و کارآمدترین روشهای برآورد غلظت استاندارد CO است که در تحقیقاتی مانند (کتابچه استاندارد تجهیزات پایش کیفیت هوا Environmental Protection Agency (2008). (اردکانی و همکاران، ۱۳۸۵) و (عرفانی، ۱۳۹۰) توصیه شده است.

بنابراین در این تحقیق مطابق استاندارد هوای پاک از غلظت ۸ ساعته استفاده می‌شود، یعنی در طول ۲۴ ساعت، سه بار غلظت میانگین برای هر ۸ ساعت محاسبه شده و از میان آنها مقدار بیشینه برای تبدیل به زیرشاخص از AQI استفاده می‌شود.

این زیرشاخص از رابطه (۱۳) و بر مبنای طبقات جدول (۹) محاسبه می‌شود (اردکانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ عرفانی، ۱۳۹۰؛ Alesheikh, et al., 2005).

$$lp = [(IHi - ILo) / (BPHi - BPLo)] \times (Cp - BPLo) + ILo \quad (13)$$

که در رابطه فوق  $lp$  زیرشاخص محاسبه شده برای CO،  $Cp$  غلظت محاسبه شده برای CO،  $BPHi$  مقدار CO موجود در جدول (۹)، که برابر یا بزرگتر از غلظت محاسبه شده است،  $BPLo$  مقدار CO موجود در جدول شماره (۹)، که برابر، یا کوچکتر از غلظت محاسبه شده است،  $IHi$  بالاترین مقدار شاخص کیفیت هوا در طبقه مربوط از جدول شماره (۹) و  $ILo$  پایین‌ترین مقدار شاخص کیفیت هوا در طبقه مربوط از جدول شماره (۹) است.

جدول شماره (۹): طبقات شاخص کیفیت هوا برای آلاینده CO

مقادیر شاخص	توصیف کننده	مقدار CO(ppm)	رنگ هشدار
۰-۵۰	خوب	۰-۴/۴	سبز
۵۱-۱۰۰	متوسط	۴/۵-۹/۴	زرد
۱۰۱-۱۵۰	غیربهداشتی برای افراد حساس	۹/۵-۱۲/۴	نارنجی
۱۵۱-۲۰۰	غیربهداشتی	۱۲/۵-۱۵/۴	قرمز
۲۰۱-۳۰۰	خیلی غیربهداشتی	۱۵/۵-۳۰/۴	ارغوانی
۳۰۱-۴۰۰	خطرناک	۳۰/۵-۴۰/۴	زرشکی
۴۰۱-۵۰۰	خطرناک	۴۰/۵-۵۰/۴	زرشکی

(مأخذ: اردکانی و همکاران، ۱۳۸۵)

پس از محاسبه شاخص  $lp$  برای تمامی ایستگاهها به‌صورت روزانه، میانگین ماهانه برای فروردین ۸۸ محاسبه شد. سرانجام از

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سه روش ELECTRE III، PROMETHEE II و WSM که جزء برترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره‌اند، برای جانمایی ایستگاه‌های پایش آلودگی هوای تهران مورد استفاده قرار گرفتند. برای این کار معیارهای پراهمیتی نظیر تراکم جمعیت، فاصله از ایستگاه‌های موجود، فاصله از درختان، فاصله از دیوار ساختمان‌ها و خیابان‌ها لحاظ شدند. ۲۰ گزینه اولیه برای احداث ایستگاه‌های جدید در نواحی مختلف شهر تهران پیشنهاد شدند تا اولویت این ۲۰ محل بر مبنای معیارهای مذکور به کمک روش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد.

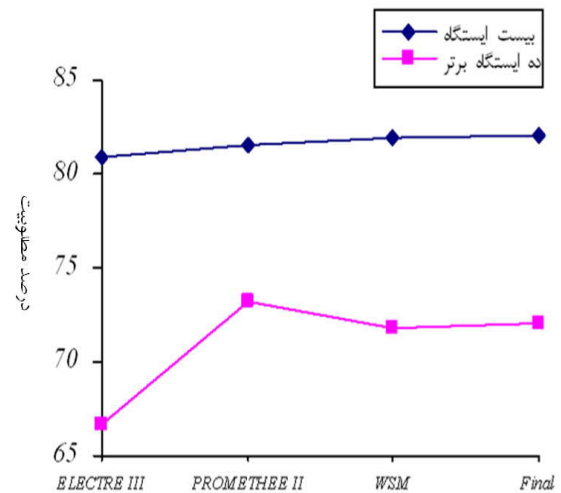
برای سادگی کار این ۲۰ نقطه بر مبنای نقشه ۲-الف و نظر کارشناس انتخاب شدند. بر مبنای نتایج حاصل از اجرای روش‌های مختلف (جدول شماره ۸)، سه روش مذکور در جانمایی ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا، رتبه‌بندی‌های متفاوتی را ارائه کردند. به دلیل این که تصمیم‌گیر نیازمند اخذ رتبه‌بندی واحد برای مسائلی از این دست است، برای ترکیب نتایج به دست آمده و ارائه رتبه‌بندی واحد روش‌های ادغام میانگین حسابی، بردا و کاپلند مورد استفاده قرار گرفتند.

برای مقایسه رضامندی روش‌های مختلف، در بخش پایانی تحقیق، نقشه کیفیت هوا برای آلاینده CO تولید شد و درصد رضامندی برای رتبه‌بندی حاصل از روش‌های مختلف محاسبه شد. نتایج حاکی از رضامندی روش PROMETHEE II نسبت به روش ELECTRE III و WSM است. اما در صورتی که از روش‌های ادغام برای رسیدن به رتبه‌بندی واحد استفاده شود، رضامندی بیشتری (در حدود ۸۲ درصد) حاصل خواهد شد. در این صورت نتایج با اطمینان بالاتری در اختیار تصمیم‌گیر قرار می‌گیرد.

از سوی دیگر رتبه‌بندی نهایی ارائه شده در این تحقیق نشان‌دهنده اولویت احداث گزینه‌های ۳، ۵، ۱۳، ۲۰ و ۸ بر سایر گزینه‌هاست. گزینه‌های پیشنهادی اولویت‌دار که در حوالی بزرگراه بسیج، بزرگراه فتح، بزرگراه شهید عراقی، بزرگراه یادگار امام و بزرگراه تهران-ورامین واقع شده‌اند، به لحاظ کیفیت هوا در نواحی خطرناک، خیلی غیربهداشتی و غیربهداشتی هستند. بنابراین می‌توان ادعان داشت نتایج حاصل بهینه بوده و به واقعیت نزدیک‌ترند.

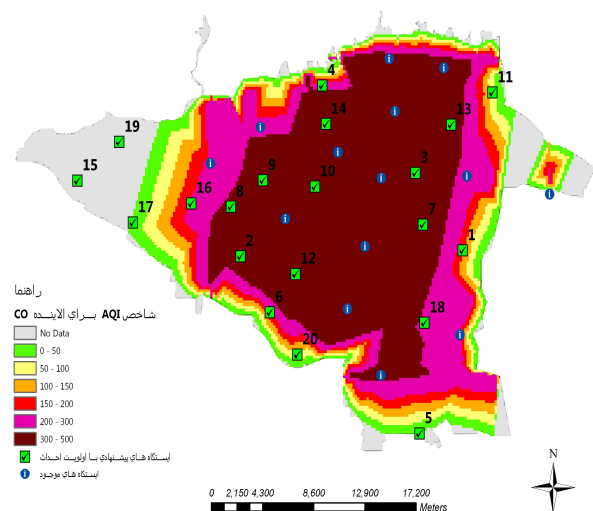
برای ادامه کار در این حیطه واردسازی سایر معیارها نظیر جهت باد، حجم ترافیک و کاربری اراضی برای مکان‌یابی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، استفاده از سایر روش‌های

همچنین با قرار دادن لایه ایستگاه‌های پیشنهادی و نقشه کیفیت هوا بر روی هم مطابق شکل شماره (۴)، می‌توان ادعا کرد، که رتبه‌بندی نهایی حاصل از ادغام روش‌های مختلف، حاکی از آن است که بیشتر ایستگاه‌های پیشنهادی با اولویت ۱ تا ۱۰ در نواحی غیربهداشتی، خیلی غیربهداشتی و خطرناک قرار گرفته‌اند. بدیهی است در نواحی مذکور و با رعایت معیارهای پنجگانه نیاز بیشتری برای احداث ایستگاه‌های جدید وجود خواهد داشت؛ در نتیجه، نتایج به دست آمده بهینه بوده و به واقعیت نزدیک است.



شکل شماره (۳): مقایسه درصد مطلوبیت روش‌های مختلف

(مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰)



شکل شماره (۴): نقشه کیفیت هوا برای CO و ایستگاه‌های

پیشنهادی با اولویت احداث (نگارندگان، ۱۳۹۰)

- 8- Indifference  
 9- Incomparable  
 10- Veto threshold  
 11- Pseudo criteria  
 12- Interpretation of parameters  
 13- Usual criterion  
 14- Quasi-criterion  
 15- Criterion with linear preference (V-shape)  
 16- Level criterion  
 17- Criterion with linear preference and indifference area  
 18- Gaussian Criterion
- تصمیم‌گیری چندمعیاره، نظیر TOPSIS<sup>۳۴</sup> و VIKOR<sup>۳۵</sup> و مقایسه نتایج به سایر محققان پیشنهاد می‌شود. همچنین با توجه به اهمیت فراوان انتخاب ۲۰ ایستگاه اولیه و تأثیر آن در نتایج نهایی، نحوه انتخاب این نقاط نیازمند مطالعه بیشتری است.
- یکی از راهکارهای پیشنهادی محققان در این زمینه استفاده از رویکردهای ترکیبی، نظیر روش الگوریتم ژنتیک- PROMETHEE است. بدین صورت که نقاط اولیه به کمک الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده و سپس برای بررسی دقیق وارد روش PROMETHEE می‌شود.

- 19 - Distillation  
 20 - Borda  
 21- Copland  
 22- Air Quality Index (AQI)  
 23- Comparative Index  
 24 -Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)  
 25-VIšekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje

### یادداشت‌ها

- 1- Multi Attribute Decision Making (MADM)
- 2- Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
- 3- Elimination and Choice Translating Reality
- 4- Outranking Method
- 5- Weighted Sum Method (WSM)
- 6- Multi Criteria Decision Making (MCDM)
- 7- Preference

### منابع مورد استفاده

- اردکانی، س. و همکاران. ۱۳۸۵. تعیین کیفیت بهداشتی هوای تهران در سال ۱۳۸۳ با استفاده از شاخص کیفیت هوا، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هشتم، شماره ۴، ص ۳۳ تا ۳۸.
- اشرفی، خ. و همکاران. ۱۳۸۶، جانمایی ایستگاههای سنجش آلودگی هوا در تهران بزرگ، مجله محیط شناسی، سال ۳۳، شماره ۴۴، ص ۱ تا ۱۰.
- اصغری‌زاده، ع.، انصاری، م.، کیانی ماوی، ز. ۱۳۸۵. وزن‌دهی و رتبه‌بندی شاخص‌های موثر بر کیفیت لاستیک خودرو با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه مطالعه موردی: شرکت کویر تایر. فصلنامه دانش مدیریت، سال ۱۹، شماره ۷۵، ص ۳ تا ۲۱.
- اصغری‌زاده، ع.، نصراللهی، م. ۱۳۸۶. رتبه‌بندی شرکت‌ها براساس معیارهای مدل سرآمدی- روش PROMETHEE، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۱، شماره ۳، ص ۵۹ تا ۸۴.
- امیریان، پ.، آل شیخ، ع. ۱۳۸۸. استفاده از سرویس‌های مکانی تعامل پذیر به منظور دسترسی و انتشار داده‌های کیفیت هوا. نشریه سنجش از دور و GIS ایران. جلد ۱. شماره ۳. پاییز ۸۸. ص ۹۹ تا ۱۱۴.
- عرفانی، م. ۱۳۹۰. بررسی کیفیت هوای شهر زاهدان با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست و انرژی علوم تحقیقات.

- Alesheikh, A., et al .2005. Providing Interoperability for Air Quality in-Situ Sensors Observations Using GML Technology. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 2, No. 2, pp: 133-140.
- Balasubramaniam, A., A.R., Boyle, N., Voulvoulis .2007. Improving petroleum contaminated land remediation decision-making through the MCA weighting process. *Chemosphere*, 66, pp: 791–798.
- Banias, G., et al .2010. Assessing multiple criteria for the optimal location of a construction and demolition waste management facility. *Building and Environment*, 45, pp: 2317-2326.
- Brans, J.P., B., Mareschal, and P., Vincke .1984. PROMETHEE: A new family of outranking methods in multi criteria analysis. In *Proceedings of Operational Research 84* (Amsterdam: Elsevier Science Publishers), pp: 408–421.
- Figueira, J., S., Greco, M., Ehrgott .2005. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys*, Springer eBook, ISBN: 0-387-23081-5.
- Goswami, E., et al .2002. spatial characteristics of fine particulate matter: identifying representative monitoring locations in Seattle. Washington. *Journal of Air & Waste Management Association*, 52, pp: 324- 333.
- Huang, P., J., Tsai, W., Lin .2010. Using multiple-criteria decision-making techniques for eco-environmental vulnerability assessment: a case study on the Chi-Jia-Wan Stream watershed, Taiwan, *Environment Monitoring Assess*, 168, pp: 141–158.
- Kukkonen, J., et al .2001. A semi-empirical model for urban PM10 concentrations, and its evaluation against data from an urban measurement network. *Atmospheric Environment*, 35, pp: 4433– 4442.
- Poorazizi, M. E., A.A., Alesheikh .2011. Monitoring real-time environmental information using Web 2.0 and GIServices technology. *International Journal of Civil Engineering*. Vol. 9, No. 1, pp: 63-70.
- Roy, B., D., Vanderpooten .1996. The European school of MCDA: Emergence, basic features and current works. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 5(1), pp: 22–37.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2008. *QA Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume II, Ambient Air Quality Monitoring Program, Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division, RTP, NC 27711. EPA-454/B-08-003.*
- Wang, J.J., et al .2008. A fuzzy multi-criteria decision-making model for trigeneration system. *Energy Policy*, 36, pp: 3823–3832.

---

Zhang,K., Ch.,Kluck, G.,Achari .2009. A Comparative Approach for Ranking Contaminated Sites Based on the Risk Assessment Paradigm Using Fuzzy PROMETHEE, *Environmental Management*, 44, pp: 952–967.