



# نسخه از دور , GIS ایران



سال اول، شماره سوم، پاییز ۱۳۸۸  
Vol.1, No.3, Autumn 2009

سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS

۹۹-۱۱۴

## استفاده از سرویس‌های مکانی تعامل پذیر به منظور دسترسی و انتشار داده‌های کیفیت هوا

پوریا امیریان<sup>۱\*</sup>، علی اصغر آل‌شیرازی<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. دانشیار گروه GIS دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۵/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۲/۶

### چکیده

امروزه در تمامی شهرهای بزرگ دنیا، پایش و کنترل کیفیت هوا به یکی از موضوعات مهم مدیریت شهری و زیست‌محیطی تبدیل گردیده است. دسترسی سریع، و پردازش و تحلیل داده‌های سنجنده‌های آلاینده‌های هوا از موارد مورد نیاز در ارائه راهکارهای مؤثر در کاهش و کنترل آلودگی هوا به‌شمار می‌آیند. وجود شبکه‌ای از سنجنده‌های آلاینده‌های هوا، داده‌های مورد نیاز به‌منظور پالایش آلودگی هوا را فراهم می‌سازند. در این خصوص آنچه باعث عدم دسترسی و ارائه و پردازش نامطلوب داده‌های کیفیت هوا می‌گردد، استفاده نکردن از راه‌حل‌های تعامل‌پذیر در خصوص انتشار، دسترسی و پردازش داده‌هاست. در نوشتار حاضر، استفاده از سرویس‌های مکانی تعامل‌پذیر به‌عنوان راه‌حلی مناسب به‌منظور رفع مشکل مذکور پیشنهاد می‌گردد. در این زمینه ارائه ساختار و فرمت و همچنین روش دسترسی تعامل‌پذیر به داده‌های کیفیت هوا بررسی گردیده است و سامانه‌ای به‌منظور ایجاد سرویس‌های مکانی تعامل‌پذیر با هدف انتشار داده‌های کیفیت هوا ارائه می‌گردد. در پایان مقاله، تعدادی برنامه کاربردی به‌منظور آزمون تعامل‌پذیری سرویس‌های ایجادشده، پیاده‌سازی می‌گردد.

**کلیدواژه‌ها:** سامانه‌های اطلاعات مکانی، سرویس‌های مکانی، تعامل‌پذیری، پایش کیفیت هوا.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر (عج)، تقاطع میرداماد، دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، گروه GIS، تلفکس: ۸۸۷۸۶۲۱۲  
Email: PouriaAmirian@gmail.com

## ۱- مقدمه

پارک ترافیک، پارک رز، گلبرگ، مسعودیه و استانداری تحت نظر شرکت کنترل کیفیت هوا مشغول فعالیت‌اند. ایستگاه‌های پایش، به صورت منظم اقدام به جمع‌آوری داده‌های کیفیت هوا می‌کنند و داده‌های جمع‌آوری شده را به یک ایستگاه مرکزی انتقال می‌دهند. در ایستگاه مرکزی پس از انجام آزمون‌های آماری به منظور یافتن خطاهای فاحش در داده‌ها و حذف آنها، مقدار شاخص کیفیت هوا<sup>۱</sup> (AQI) محاسبه می‌گردد. شاخص کیفیت هوا که از سوی آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا<sup>۲</sup> معرفی شده، کیفیت کلی هوا را بر مبنای پارامترهای مختلف آلاینده‌گی بیان کرده است و به منظور اطلاع‌رسانی کیفیت هوا به شهروندان به کار می‌رود (Cheng et al., 2007). مقدار شاخص کیفیت هوا از میزان دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، ازن، مونوکسید کربن و ذرات معلق موجود در هوا محاسبه می‌گردد. پس از محاسبه مقدار شاخص کیفیت هوا، کیفیت هوا در یکی از کلاس‌های پاک، سالم، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک تعیین می‌گردد و به اطلاع شهروندان و برنامه‌ریزان شهری رسانده می‌شود.

هم‌اینک شرکت کنترل کیفیت هوای تهران که یکی از شرکت‌های وابسته به شهرداری تهران است و نیز دفتر بررسی آلودگی هوا، تحت نظر سازمان حفاظت محیط زیست، مسئولیت جمع‌آوری، پردازش و مدیریت داده‌های سنجنده‌های پایش کیفیت هوا را برعهده دارند. هر دو این ارگان‌ها از صفحات وب ایستا (بدون تعامل با کاربر) و نیز فایل‌های آماری قابل بارگذاری<sup>۳</sup>، به منظور ارائه نقشه‌ها و اطلاعات آماری مربوط به آلودگی هوا بر مبنای آخرین اطلاعات سنجنده‌ها، استفاده می‌کنند (<http://air.tehran.ir>). با وجود اینکه ارائه نقشه‌ها و اطلاعات آماری بر روی وب‌سایت، مناسب کاربران انسانی (شهروندان، برنامه‌ریزان و

آلودگی هوا و تأثیرات ناشی از آن بر روی سلامت شهروندان از مهمترین دغدغه‌های شهروندان، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران شهری به‌شمار می‌آید (Sohrabinia and Khorshiddoust, 2007). کلان‌شهر تهران در زمره آلوده‌ترین شهرهای بزرگ جهان قرار دارد. علاوه بر منابع آلاینده فراوان، جغرافیای این شهر نیز اغلب باعث ایجاد پدیده وارونگی هوا در فصل زمستان می‌گردد و به علت نبود بادهای دائمی، این وارونگی به سهولت از بین نمی‌رود. از طرف دیگر، وجود لایه نسبتاً ضخیمی از گرد و غبار و ذرات معلق در هوای این شهر تقریباً پدیده‌ای دائمی است. یکی از راهکارهای عملی به منظور ارائه راهکارها و مدیریت مشکل آلودگی هوای شهر تهران، استفاده از شبکه‌ای از سنجنده‌های پایش آلودگی هواست که به وسیله شبکه‌های ارتباطی به یکدیگر متصل‌اند. امروزه وجود چنین شبکه‌هایی به همراه استفاده از فناوری‌های جدید ارتباطی و اطلاعاتی سبب پیدایش زیرساخت لازم به منظور جمع‌آوری، انتقال، پردازش و انتشار داده‌های مختلف مرتبط با آلودگی هوا شده است (Robinson et al., 2005). به منظور استفاده از پتانسیل بالای داده‌های تولیدشده به وسیله شبکه سنجنده‌های پایش آلودگی هوا، می‌بایست سازوکار انتشار و دسترسی برای این داده‌ها به گونه‌ای فراهم گردد که تمامی استفاده‌کنندگان بتوانند با کمترین خطا و به صورت استاندارد به داده‌های مذکور دسترسی داشته باشند.

## ۲- بیان مسئله و پیش‌زمینه تحقیق

در شهر تهران، شبکه‌ای از سنجنده‌های پایش کیفیت هوا در مناطق مختلف مستقر گردیده‌اند. در این شبکه ایستگاه‌های مستقر در فرهنگسرای بهمن، میدان تجریش، قلهک، سرخه حصار، میدان آزادی، پردیسان و ویلا متعلق به سازمان حفاظت محیط زیست و ایستگاه‌های موجود در اقدسیه، شهری، ژئوفیزیک،

1. Air Quality Index (AQI)  
2. Environmental Protection Agency  
3. Download

اطلاعات مکانی برای تولید نقشه‌های با رزولوشن بالا در مورد آلاینده‌های مختلف استفاده شده است (Vienneau et al., 2009). در پژوهش‌های ذکر شده، خروجی تنها به‌صورت نقشه و یا اطلاعات آماری ارائه گردیده و در هیچ‌یک از آنها موضوع تعامل‌پذیری و دسترسی به داده‌های کیفیت هوا با در نظر گرفتن استانداردهای مطرح در دنیای اطلاعات مکانی به میان نیامده است.

در یکی از پژوهش‌هایی که در سال ۲۰۰۹ منتشر شده، چارچوبی بر مبنای فناوری‌های Web Services طراحی و پیاده‌سازی شده است که به کمک آن، داده‌های سنجنده‌های مرتبط با پدیده‌های محیط زیستی به‌صورتی منسجم و مستقل از سکوه‌های نرم‌افزاری قابل ارائه و انتشار است (Horsburgh et al., 2009). در پژوهش حاضر، از ساختاری به‌منظور انتشار داده‌های محیط زیستی به‌صورت عوارض نقطه‌ای استفاده شده است. ساختار مذکور با استفاده از مجموعه‌ای از ابزارها سعی در کاهش تعامل‌ناپذیری دارد. با وجود این به علت استفاده نکردن از استانداردها و دستورالعمل‌های مطرح در دنیای اطلاعات مکانی (مانند دستورالعمل‌های مطرح‌شده از سوی OGC<sup>۳</sup>)، روش مذکور استاندارد نیست.

در پژوهشی که در دانشگاه جرج میسون<sup>۴</sup> انجام شده است، از تلفیقی از سامانه‌های استاندارد سازمان OGC به‌منظور ارائه داده‌های سنجنده‌های مختلف استفاده شده است (Chena et al., 2009). در پژوهش حاضر، ارتباط و تلفیق تعداد نسبتاً زیادی سرویس استاندارد در نظر گرفته شده و از این نظر کار بسیار عظیم و ارزشمندی انجام شده است. با وجود این، در پژوهش مذکور استفاده از داده‌های سنجنده‌های مختلف با تأکید بر استفاده‌کنندگان نرم‌افزاری در نظر

تصمیم‌گیران شهری) است، استفاده از این اطلاعات به‌منظور تحلیل و یا تلفیق با سایر اطلاعات نیازمند وارد کردن دستی داده‌ها در فرمت‌های اختصاصی نرم‌افزارهای مختلف است. چنین روالی باعث دخالت عامل انسانی در فرایندهای مختلف ورود، ذخیره‌سازی و پردازش اطلاعات می‌گردد و در نتیجه اتلاف زمان، خطر نسبتاً بالای ایجاد اشتباه در ارائه نتایج را در پی خواهد داشت. با توجه به استفاده‌کنندگان بسیار بالای اطلاعات مرتبط با کیفیت هوا (کارشناسان شهرداری و ارگان‌های وابسته، بخش دولتی، بخش خصوصی، بخش دانشگاهی و شهروندان) و تعدد و تفاوت سامانه‌های نرم‌افزاری که می‌بایست مورد استفاده قرار گیرند، بهتر است داده‌های مرتبط با کیفیت هوا به‌گونه‌ای تعامل‌پذیر بر روی شبکه جهانی وب دست‌یافتنی شوند که سامانه‌های نرم‌افزاری بدون دخالت عامل انسانی - قابلیت تعامل و ارتباط آبی<sup>۱</sup> را با یکدیگر داشته باشند. به‌عبارت دیگر، چالش‌ها و نیازمندی‌های جدید در زمینه مدیریت داده‌های کیفیت محیط زیست انسان (مانند داده‌های کیفیت هوا)، تعامل‌پذیری را به‌منظور دسترسی، تلفیق و به اشتراک‌گذاری داده‌های مذکور بیش از پیش ضروری ساخته‌اند (Frehner and Brändlia, 2006). لازم به ذکر است که در خصوص استفاده از فناوری‌های امروزی مرتبط با سامانه‌های اطلاعاتی و سنسور از دور در جهت استخراج داده‌های کیفیت هوا و مطالعات مرتبط با آن، تا به حال پژوهش‌های ارزشمندی در سطح دنیا و کشور ایران انجام شده است. در پژوهشی که در سال ۲۰۰۷ به چاپ رسیده، از تصاویر سنجنده MODIS و نیز توابع آنالیز مکانی<sup>۲</sup> مختلف، به‌منظور ارزیابی تراکم و پراکنش آلاینده‌های مختلف در شهر تهران استفاده شده است (Sohrabinia and Khorshiddoust, 2007). در پژوهش دیگری که در کل قاره اروپا انجام شده، از مدلی خاص (با متغیرهای مختلفی از جمله آمار سالانه آلاینده‌های مختلف، آمار ترافیک، پوشش زمین، جمعیت، راه‌های دسترسی و مانند اینها) در قالب ابزارهای سامانه‌های

1. Online
2. Spatial Analysis
3. Open Geospatial Consortium
4. George Mason

تعامل پذیری دسترسی<sup>۲</sup>.

به منظور انتقال و به اشتراک گذاری داده‌های کیفیت هوا از هر فرمتی می‌توان استفاده کرد، اما برای دستیابی به تعامل پذیری داده‌ای می‌بایست فرمت و دستورالعمل باز<sup>۳</sup>، مستقل از سکو<sup>۴</sup> و استاندارد را به کار گرفت. تعامل پذیری داده‌ای به معنی آن است که داده‌های یک سامانه نرم‌افزاری (مانند داده‌های سنجنده‌های کیفیت هوا) در سامانه‌های نرم‌افزاری دیگر با حداقل دخالت عامل انسانی و فارغ از فرمت‌های خاص نرم‌افزارهای مختلف قابل استفاده باشند. از سوی دیگر، فرمت و ساختار استاندارد به منظور انتقال و به اشتراک گذاری داده‌ها، نیازمند سازوکار استاندارد برای دسترسی به سرویس‌هایی به منظور بازیابی این داده‌هاست. به عبارت دیگر تعامل پذیری دسترسی، فراهم‌کننده روش‌های استاندارد و مستقل از پیاده‌سازی‌های نرم‌افزاری برای دسترسی به داده‌های سامانه نرم‌افزاری است. بنابراین برای استفاده بهینه از داده‌های به دست آمده از سنجنده‌های کیفیت هوا می‌بایست از روش‌های استاندارد به منظور دسترسی به داده‌ها در فرمت و ساختار استاندارد استفاده کرد. در پژوهش حاضر، استفاده از سرویس‌های مکانی مطرح شده از سوی کنسرسیوم OGC به منظور فراهم کردن روش‌های استاندارد دسترسی به پایگاه داده پارامترهای کیفیت هوا پیشنهاد می‌گردد. سرویس‌های مکانی مطرح شده از سوی OGC جزئی از چارچوبی هستند که هدفش فراهم ساختن تعامل پذیری به صورت کامل میان تمامی سیستم‌های نرم‌افزاری مرتبط با داده‌های مکانی است (Zhang et al., 2007). سرویس‌های مطرح شده در چارچوب مذکور، از سوی واسطه‌های استاندارد و به صورت مستقل از سکوها نرم‌افزاری تعریف می‌گردند (Lake et al., 2004). پیاده‌سازی واسطه‌های

گرفته شده و به ایجاد نتایج برای کاربر انسانی پرداخته نشده است. به عبارت دیگر، سرویس‌های مورد استفاده در این پژوهش تأکید بر دسترسی به اطلاعات سنجنده‌ها با سطح جزئیات کامل داشته و در آن ایجاد خروجی تصویری (که در بسیاری موارد اساس تصمیم‌گیری‌های اولیه مدیران را تشکیل می‌دهد) در نظر گرفته نشده است.

پژوهش حاضر چارچوبی به منظور دسترسی و انتشار داده‌های کیفیت هوا به صورت تعامل پذیر بر روی شبکه جهانی وب ارائه می‌دهد. تعامل پذیری در چارچوب مذکور از طریق استفاده از استانداردها و دستورالعمل‌های OGC فراهم می‌گردد. نقطه تمایز پژوهش حاضر با تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده در این خصوص، استفاده از استانداردهای OGC (به‌ویژه WFS، WMS، GML و O&M) در جهت انتشار دسترسی به داده‌های سنجنده‌های کیفیت هوا بر مبنای ساختاری استاندارد و توسعه پذیر است، که امکان استفاده از داده‌های کیفیت هوا را هم به صورت تصویری و هم با جزئیات کامل در اختیار قرار می‌دهد. در نوشتار حاضر، پس از بحث در مورد تعامل پذیری و لزوم ایجاد آن، اجزای چارچوب پیشنهادی معرفی گردیده، و سیستمی بر مبنای آن توسعه و شرح داده شده است.

### ۳- تعامل پذیری در دسترسی و انتشار داده‌های کیفیت هوا

داده‌های به دست آمده از سنجنده‌های پایش کیفیت هوا، از لحاظ علمی دارای ارزش بسیار بالایی هستند، اما به علت تعامل ناپذیری‌شان، به صورت کارا و بهینه مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. دو مشکل اساسی در زمینه دسترسی و انتشار این داده‌ها عبارت هستند از:

- نبود فرمت و ساختار استاندارد برای انتقال و به اشتراک گذاری داده‌ها میان سیستم‌های مختلف (نبود تعامل پذیری داده‌ای<sup>۱</sup>).
- نبود سازوکار استاندارد به منظور دسترسی نرم‌افزاری به داده‌ها در محیط‌های محاسباتی (نبود

1. Data non-Interoperability
2. Access non-Interoperability
3. Open
4. Platform Independent

پارامترهای کیفیت هوا در زمان‌های مختلف برای یک ایستگاه پایش، لایه‌ای جدید از اطلاعات مکانی ایجاد می‌شود و مقادیر جدید خصوصیات (هندسی و یا توصیفی) جایگزین مقادیر قبلی می‌گردند (Langran, 2003). روش مذکور کاملاً در راستای مفهوم مدل‌سازی تصویر لحظه‌ای از اشیا مکانی<sup>۳</sup> قرار دارد (Worboys, 2005). با استفاده از تصویر لحظه‌ای اشیا مکانی می‌توان نمایش مناسبی از وضعیت پدیده‌ها و عوارض مکانی در زمانی مشخص به وجود آورد. با این حال، مدل تصویر لحظه‌ای اشیا مکانی امکان نمایش رویدادها و تغییرات را به شکل یکپارچه (نمایش عارضه در زمان‌های مختلف یا به عبارت دیگر نمایش زمانمند پدیده‌ها) فراهم نمی‌آورد. (Worboys, 2005).

مدل‌های رویداد - مبناً<sup>۴</sup> با در نظر گرفتن رویداد به عنوان واحد پایه ذخیره‌سازی و نمایش پدیده‌ها، تغییرات زمانی را به شکل مطلوب مدل‌سازی می‌کنند. استفاده از مدل‌های رویداد - مبناً امکان ذخیره‌سازی و نمایش رفتار پویای پدیده‌های مکانی، تحقیق در روابط پیچیده میان پدیده‌ها، بررسی تأثیرات مختلف پدیده‌ها بر یکدیگر در طول زمان و ارائه فرضیه‌های جدید در زمینه تغییرات پدیده‌ها و عوارض مکانی را فراهم می‌آورد (Langran, 2003). در پژوهش حاضر، داده‌های پارامترهای اندازه‌گیری شده به وسیله سنجنده‌های پایش کیفیت هوا، به صورت سری‌های زمانی - مکانی و برمبنای مدل رویداد - مبناً مدل‌سازی گردیدند. در فرایند مذکور، داده‌های اندازه‌گیری شده به وسیله سنجنده‌های مختلف، به شکل موقعیت‌های ثابتی که در آنها تعدادی پارامتر در بازه‌های منظم اندازه‌گیری می‌شوند، درمی‌آیند. اندازه‌گیری‌های مختلف پارامترها، یک یا چند سری زمانی را تشکیل می‌دهند. با توجه به موقعیت ثابت ایستگاه‌های پایش، موقعیت ایستگاه‌ها در

استاندارد به وسیله فناوری‌های مختلف نرم‌افزاری از قبیل Java و NET امکان‌پذیر است. اما به دلیل استفاده از زیرساخت وب در ایجاد ارتباط میان سیستم‌ها و استفاده از واسط استاندارد، سرویس‌ها می‌توانند به صورت خودکار و فارغ از خصوصیات پیاده‌سازی سکوی نرم‌افزاری با یکدیگر تعامل داشته باشند. جزء مهم دیگری از چارچوب مطرح شده به وسیله OGC، فرمت‌های استاندارد است. فرمت‌های استاندارد به منظور انتقال داده‌های مکانی، ایجاد پیام‌های ارتباطی میان سرویس‌های مکانی و تعریف پرسش و پاسخ به صورت استاندارد طراحی شده‌اند.

#### ۴- انتقال و به اشتراک‌گذاری داده‌های سنجنده‌های پایش کیفیت هوا

سامانه‌های اطلاعات مکانی<sup>۱</sup> (GIS) با استفاده از ابزارها و مدل‌هایی که در اختیار دارند، داده‌های خام به دست آمده از سنجنده‌های مختلف را به اطلاعات کاربردی برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران تبدیل می‌سازند (Longley et al., 2005). در GIS، اغلب عوارض مکانی (مانند سنجنده) و روابط میان عوارض، با فرض ثابت بودن خصوصیات عوارض در طول زمان، مدل‌سازی می‌گردند. به عبارت دیگر در اغلب مدل‌های متداول و مرسوم که در سامانه‌های اطلاعات مکانی به منظور مدل‌سازی پدیده‌ها و عوارض طبیعی به کار برده می‌شوند، تغییرات زمانی عوارض (از نظر هندسی و یا توصیفی) نادیده گرفته می‌شوند. دلیل مسئله مذکور این است که اغلب پدیده‌ها و عوارض مکانی، شناسه و موقعیت‌شان را در بازه‌های زمانی بسیار طولانی حفظ می‌کنند. به عبارت دیگر، واحد پایه در ذخیره‌سازی و نمایش، عارضه مکانی<sup>۲</sup> در نظر گرفته می‌شود. از این رو نمایش و مدل‌سازی تغییرات زمانی پدیده‌ها و عوارض غالباً در کاربردهای عمومی سامانه‌های اطلاعات مکانی در نظر گرفته نمی‌شوند (Drummond et al., 2007). در صورت نیاز به ذخیره‌سازی و نمایش تغییرات زمانی پدیده‌ها و عوارض مکانی (از قبیل اندازه‌گیری مقادیر

1. Geospatial Information Systems
2. Feature
3. Spatial Snapshot Model
4. Event-Based Model

هندسی و توصیفی). GML امروزه به عنوان استاندارد جهانی انتقال و به اشتراک گذاری داده‌های مکانی میان سامانه‌های نرم‌افزاری مکانی مطرح شده است (Lake, 2005).

در پژوهش حاضر به منظور مدل‌سازی مشاهدات و اندازه‌گیری‌های سنجنده‌های کیفیت هوا با در نظر گرفتن مدل رویداد - مبنا از O&M به همراه GML استفاده گردید. در این راستا ساختاری توسعه‌پذیر با تکیه بر مدل رویداد - مبنا طراحی گردید تا به کمک آن پایگاه داده پارامترهای کیفیت هوا ایجاد گردد.

## ۵- دسترسی به داده‌های سنجنده‌های پایش

### کیفیت هوا

استفاده از O&M و GML به منظور ایجاد پایگاه داده و همچنین فرمت تبادل پارامترهای کیفیت هوا، روش مناسبی را برای انتقال داده‌ها فراهم می‌کند. به منظور دسترسی به پایگاه داده، می‌بایست از روش‌های دسترسی استاندارد استفاده شود تا سامانه‌های نرم‌افزاری مختلف بتوانند داده‌های مورد نیاز را به صورت استاندارد بازیابی کنند. روش‌های استاندارد دسترسی به داده‌ها در پژوهش حاضر از طریق پیاده‌سازی سرویس‌های مکانی استاندارد ایجاد می‌گردد. این سرویس‌ها امکان بازیابی داده‌های مورد نیاز را به دو صورت فراهم می‌آورند: ارسال تصویری از اطلاعات (ایجاد تصویری از اطلاعات و ارسال آن تصویر)، و ارسال کامل اطلاعات (ایجاد فایل با ساختار مشخص حاوی کلیه جزئیات هندسی و توصیفی اطلاعات و ارسال آن فایل). بسیاری از سامانه‌های نرم‌افزاری تنها نیاز به بازیابی تصویری از اطلاعات موجود در پایگاه داده دارند (دسترسی تصویری) و برخی از سامانه‌های دیگر هم نیازمند دسترسی به کلیه اطلاعات پارامتر

واقع سری مکانی را تشکیل می‌دهد و در نتیجه هر سنجنده موجود در ایستگاه پایش یک مقدار ثابت (موقعیت) از سری‌های زمانی (اندازه‌گیری‌ها در بازه‌های زمانی مختلف) را به وجود می‌آورد. مشاهدات پارامترهای کیفیت هوا در ایستگاه‌های پایش در این تحقیق به صورت  $(AP_i, t_j, S_k)_M$  مدل‌سازی گردیدند که در آن  $AP_i$  پارامترهای اندازه‌گیری شده کیفیت هوا در زمان‌های  $t_j$  و به وسیله سنجنده  $S_k$  در ایستگاه پایش M است. در پژوهش حاضر، دستورالعمل<sup>۱</sup> O&M کنسرسیوم OGC به منظور پیاده‌سازی مدل مذکور مورد استفاده قرار گرفت. دستورالعمل O&M حاوی ابزارها و ساختار عمومی، مناسب و مستقلی برای مدل‌سازی مشاهدات مختلف است. از این رو با استفاده از این دستورالعمل نیازی به در نظر گرفتن خصوصیات متفاوت سنجنده‌های مختلف و ماهیت پدیده‌های مشاهداتی و همچنین فرمت خاص ذخیره‌سازی هر یک از سنجنده‌های مختلف وجود نخواهد داشت [Cox, 2006].

در دستورالعمل O&M، هر اندازه‌گیری می‌تواند به صورت یک رویداد مدل شود. با استفاده از چنین قابلیت‌هایی می‌توان اندازه‌گیری کیفیت هوا را به رویدادی که در یک مکان (ایستگاه پایش) اتفاق افتاده است، مدل‌سازی بهینه و زمانمند کرد. به علاوه، تلفیق داده‌های مختلف مشاهداتی که در بازه‌های زمانی متفاوت با یکدیگر جمع‌آوری شده‌اند نیز سهولت می‌یابد (Botts et al., 2006). با توجه به وجود مؤلفه مکان برای مشاهدات مختلف، می‌بایست از دستورالعمل یا استاندارد مناسبی به منظور مدل‌سازی و بیان مکان ایستگاه‌های پایش به صورت تعامل‌پذیر استفاده کرد. مناسب‌ترین دستورالعمل در این زمینه<sup>۲</sup> GML است (Lake, 2005). دستورالعمل GML نیز مانند O&M بر مبنای زبان XML<sup>۳</sup> شرح و بسط یافته است. GML ابزارها و المان‌های استاندارد بیان مکان و اطلاعات توصیفی عوارض مختلف را فراهم می‌کند (مانند روش تعریف هندسه، سامانه تصویر، نوع داده اطلاعات

1. Observation and Measurements  
2. Geography Markup Language  
3. Extensible Markup Language

در حالت اصلی و اولیه، هر سرویس WFS می‌بایست سه عملیات<sup>۴</sup> را پیاده‌سازی کند. شکل (۱)، دی‌آگرام Class را به همراه Interface مربوط به آن (مطابق با استاندارد UML Class Diagram) نمایش می‌دهد.

به‌منظور کسب اطلاعات کلی در مورد سرویس WFS، درخواست‌کننده (که معمولاً سامانه‌ای نرم‌افزاری است) ابتدا درخواست Get Capabilities را به WFS ارسال می‌کند. سرویس WFS نیز در پاسخ، سند استاندارد را با نام Capabilities Document که حاوی اطلاعات مورد نیاز به‌منظور استفاده از سرویس مذکور است (شامل نام لایه‌ها اطلاعاتی، شرایط استفاده، ویرایش استاندارد مورد استفاده و مانند اینها) به درخواست‌کننده بازمی‌گرداند.

یا سنجنده خاصی بر مبنای شرایط معرفی شده هستند (دسترسی کامل اطلاعاتی). بر مبنای سرویس‌های استاندارد مطرح شده در چارچوب OGC، در پژوهش حاضر دسترسی تصویری از طریق سرویس<sup>۱</sup> WMS و دسترسی کامل اطلاعاتی از طریق سرویس<sup>۲</sup> WFS ایجاد می‌گردد.

سرویس WFS، دسترسی به اطلاعات مکانی (هم خصوصیات هندسی و هم خصوصیات توصیفی) در فرمت GML را فراهم می‌آورد (OGC, 2005). زمانی که درخواست‌کننده<sup>۳</sup>، درخواستی را به WFS ارسال می‌کند، WFS بر مبنای شروط معرفی شده در متن درخواست، داده‌های مکانی را از پایگاه داده بازیابی می‌کند و در فرمت GML به درخواست‌کننده برمی‌گرداند (OGC, 2005).



شکل ۱. سه عملیات سرویس WFS (سه عملیات به همراه نام، نوع داده ورودی و نوع داده خروجی برای یک WFS با استفاده از UML Class Diagram نمایش داده شده است)

1. Web Map Service
2. Web Feature Service
3. Client
4. Operation

به منظور بازیابی تصویر داده‌های مکانی از سرویس WMS استفاده می‌گردد (OGC, 2006). سرویس WMS در حالت پایه می‌بایست دو عملیات را پیاده‌سازی کند (شکل ۲).

هدف عملیات اول در WMS مانند سرویس WFS است، به گونه‌ای که به منظور اطلاع از لایه‌های اطلاعاتی که سرویس می‌تواند آنها را ارائه دهد و شرایطی که درخواست‌کننده می‌بایست برای استفاده از سرویس رعایت کند از طریق عملیات اول (Get Capabilities) به درخواست‌کننده اطلاع داده می‌شود. عملیات دوم (Get Map) برای بازیابی تصویر از داده‌های مکانی به کار می‌رود، بدین ترتیب که درخواست‌کننده با مشخص کردن نام لایه‌های اطلاعاتی، محدوده مکانی نقشه و فرمت فایل تصویر درخواستی (مانند Png, Jpg و ...) را به سرویس WMS ارسال می‌کند و سرویس WMS بر مبنای پارامترهای مشخص شده در متن درخواست، نقشه (تصویری با فرمت رستری و یا برداری) را تولید می‌کند و به درخواست‌کننده ارسال می‌دارد. سرویس WMS می‌تواند از یک پایگاه داده مکانی، سرویس‌های WFS و حتی سرویس‌های WMS دیگر به عنوان منبع اطلاعاتی استفاده کند (OGC, 2006).

بر مبنای اطلاعات موجود در Capabilities Document درخواست‌کننده به منظور آگاهی از ساختار یک یا چند لایه اطلاعاتی عملیات دوم (Describe Feature Type) را آغاز می‌کند. در این مرحله سرویس، ساختار و خصوصیات لایه یا لایه‌های اطلاعاتی را که در متن درخواست مشخص شده‌اند (مانند نام فیلدهای اطلاعاتی، نوع داده فیلدهای اطلاعاتی، محدوده مکانی لایه اطلاعاتی و مانند اینها) به درخواست‌کننده مطابق با ساختار GMLApplication Schema ارسال می‌دارد. پس از اطلاع از ویژگی‌های لایه‌های اطلاعاتی، در عملیات سوم (با نام Get Feature Info) داده‌های مکانی به صورت GML از سرویس WFS بازیابی می‌شوند. بر مبنای اطلاعاتی که از عملیات دوم به دست می‌آید، عملیات سوم (بازیابی داده‌های مکانی) می‌تواند با معرفی شروط توصیفی و مکانی مختلفی برای بازیابی زیرمجموعه‌ای از کل اطلاعات صورت پذیرد. سه عملیات مذکور، بازیابی داده‌های مکانی را با معرفی شروط مختلف به صورت مناسب و مستقل از زبان و فناوری خاصی تحقق می‌بخشد. معمولاً منبع اطلاعاتی سرویس WFS یک پایگاه داده مکانی است. سرویس WFS می‌تواند از سرویس‌های WFS دیگر نیز به عنوان منبع اطلاعاتی استفاده کند، که این مورد می‌تواند در محیط‌های تعاملی بسیار مفید باشد.



شکل ۲. دو عملیات یک سرویس WMS

(در اینجا یک Class و Interface مربوط به آن نشان‌دهنده نام متدها، نوع داده ورودی و نوع داده خروجی هستند)

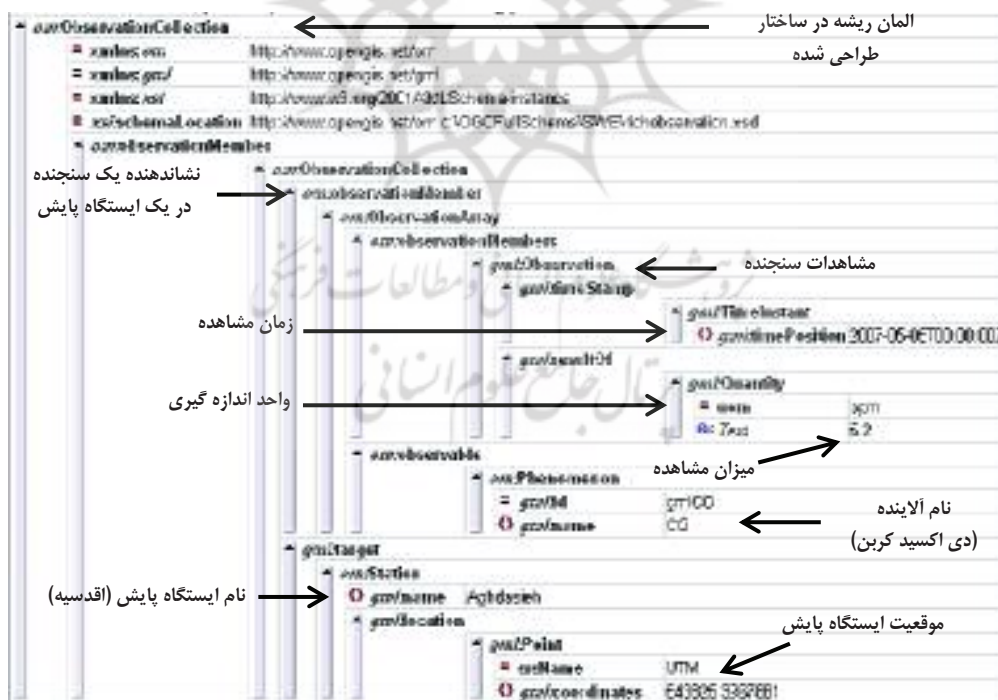


در مرحله مدل‌سازی مشاهدات، بر مبنای ابزارهای فراهم شده در استاندارد O&M و GML، ساختاری برای توصیف کلیه جنبه‌های مکانی، توصیفی و زمانی مشاهدات کیفیت هوا، بر مبنای مدل رویداد - مبنا طراحی گردید. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره گردید، مشاهدات پارامترهای کیفیت هوا، در ایستگاه‌های پایش در این تحقیق به صورت  $(API, tj, Sk)_M$  مدل‌سازی گردیدند. با کمک فناوری XSD<sup>۱</sup> مدل مورد نظر پیاده‌سازی گردید (شکل ۳). فناوری XSD که یکی از فناوری‌های خانواده XML به‌شمار می‌آید، برای تعریف ساختارهای اطلاعاتی به‌کار می‌رود. فناوری XSD با کمک مجموعه‌ای از انواع داده‌های استاندارد (عددی، متنی، تاریخی و ...) و همچنین تعدادی روش برای برقراری ارتباط میان المان‌های اطلاعاتی و اعتبارسنجی آنها می‌تواند ساختارهای پیچیده اطلاعاتی را مدل‌سازی کند.

کلیه اطلاعات لازم به‌منظور تعامل میان درخواست‌کننده و سرویس مکانی WFS و یا WMS مانند پارامترهای مجاز درخواست، روش ارسال درخواست و روش معرفی شروط مختلف برای بازیابی داده‌های مکانی، در دستورالعمل استاندارد سرویس‌های مکانی مشخص شده‌اند و بدین ترتیب این دو سرویس روش استاندارد و مشخصی را برای دسترسی به داده‌های موجود در پایگاه داده پارامترهای کیفیت هوا در دو سطح تصویر و اطلاعات کلی فراهم می‌سازند.

### ۶- پیاده‌سازی

در پژوهش حاضر به‌منظور پیاده‌سازی سامانه‌ای به‌منظور انتشار و دسترسی تعامل‌پذیر داده‌های سنجنده‌های کیفیت هوا سه مرحله در نظر گرفته شد: مدل‌سازی مشاهدات، ایجاد پایگاه داده و طراحی و پیاده‌سازی نرم‌افزاری.



شکل ۳. ساختار طراحی شده با استفاده از XSD به‌منظور مدل‌سازی مشاهدات بر مبنای استانداردهای GML و O&M

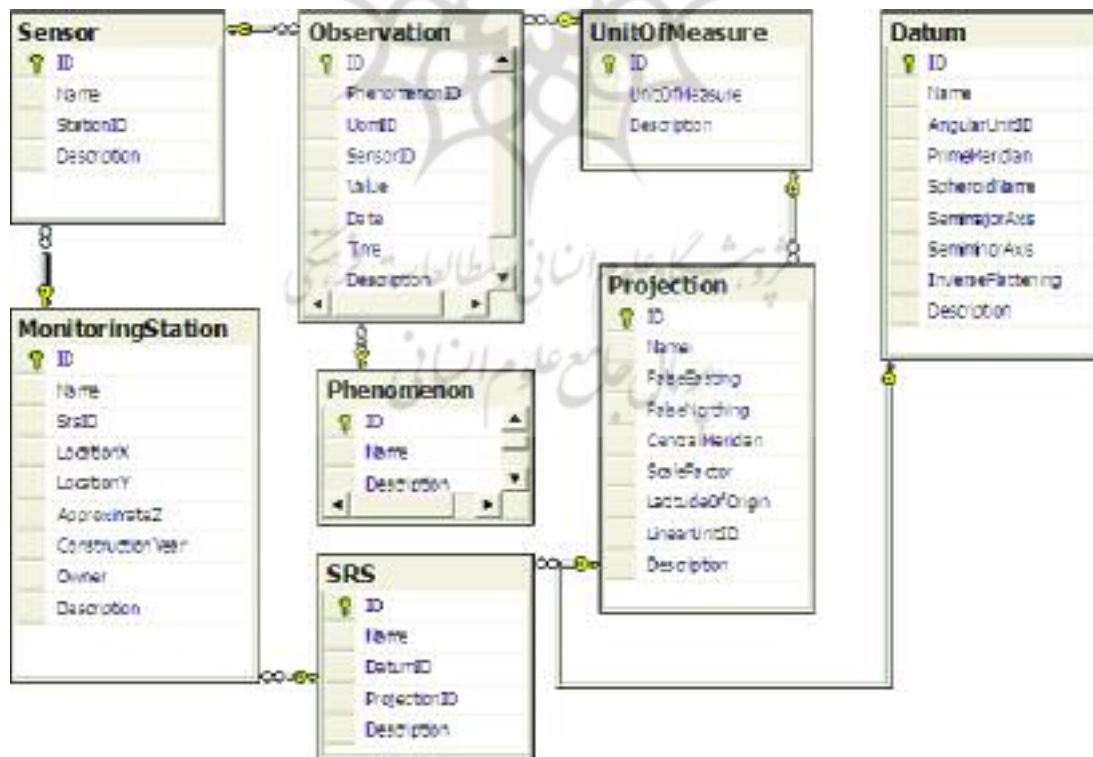
1. Extensible Schema Definition Language

جدول پایگاه داده مذکور، در شکل ۴ نمایش داده شده است.

به منظور بارگذاری داده‌های سنجنده‌های کیفیت هوا، برنامه کاربردی بارگذاری با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Visual Basic 2005 ایجاد گردید. با استفاده از این برنامه کاربردی، مشاهدات هر یک از سنجنده‌ها به صورت ساعتی در پایگاه داده پارامترهای کیفیت هوا، بارگذاری می‌شوند و در نتیجه پایگاه داده مذکور کاملاً بهنگام نگهداری می‌شود. به منظور بارگذاری خودکار داده‌های ارسالی از ایستگاه‌های مختلف به ایستگاه مرکزی در پایگاه داده، این برنامه کاربردی به صورت Windows Service بر روی سرور مرکزی ایستگاه مرکزی پایش پیاده‌سازی می‌گردد تا به محض ارسال داده‌ها به سرور مرکزی، عملیات بارگذاری داده‌های ارسالی در پایگاه داده انجام شود.

در شکل ۳ مکان سنجنده، زمان اندازه‌گیری، میزان و واحد اندازه‌گیری پارامتر منوکسید کربن برای ایستگاه پایش اقدسیه ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است، موقعیت، واحدهای اندازه‌گیری زمان و سامانه تصویر به وسیله استاندارد GML و بیان خصوصیات زمانی و ارتباط مشاهدات با سنجنده و ایستگاه پایش به وسیله استاندارد O&M فراهم شده است. هر جا که در این مدل از حروف پیشوند om استفاده شده است نشان‌دهنده استفاده از استاندارد O&M و هر جا از حروف پیشوند gml استفاده شده است نشان‌دهنده استفاده از استاندارد GML است.

ساختار طراحی شده بر مبنای XSD، به منظور ایجاد پایگاه داده پارامترهای کیفیت هوا مورد استفاده قرار گرفت. این پایگاه داده با کمک سامانه مدیریت پایگاه داده SQL Server 2005 ایجاد گردید. مدل رابطه‌ای

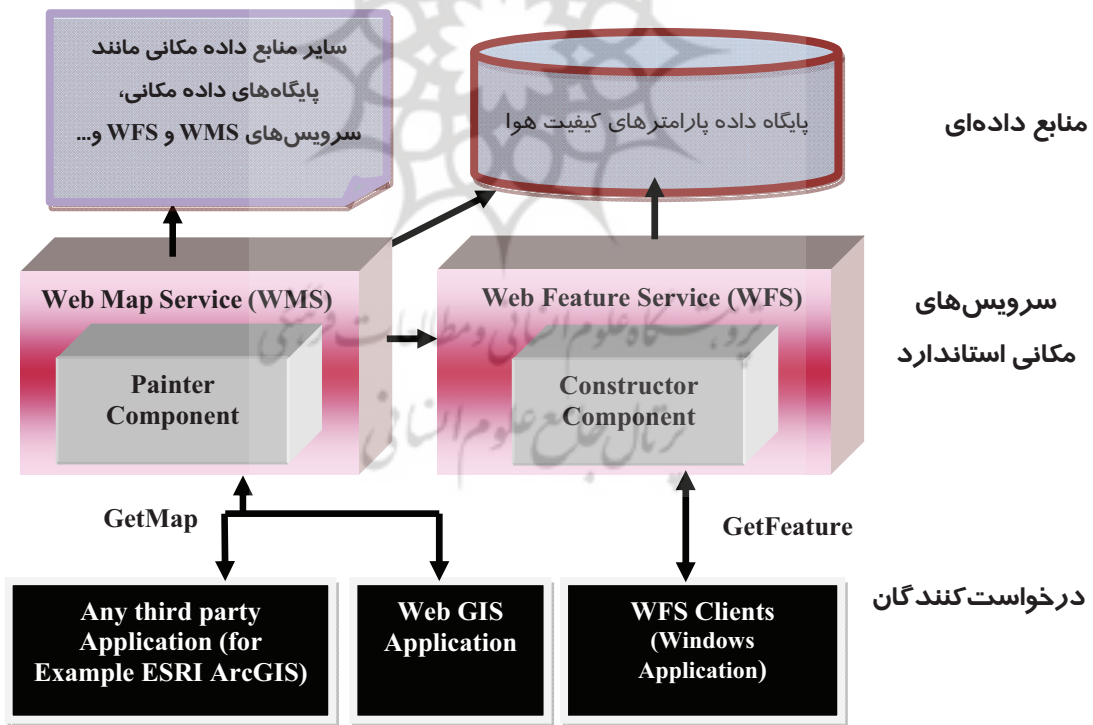


شکل ۴. ساختار رابطه‌ای جدول‌های پایگاه داده پارامترهای کیفیت هوا

اطلاعات، سرویس WMS قادر است لایه‌های مناطق و نواحی شهر تهران را نیز ارائه دهد. همچنین با توجه به استفاده از استانداردهای WFS و WMS، سایر منابع داده مکانی نیز به آسانی با سامانه شرح و بسط داده شده در پژوهش حاضر تلفیق پذیرست. نکته دیگر در معماری در نظر گرفته شده، ارتباط میان سرویس‌های WMS و WFS است. در پیاده‌سازی انجام شده در تحقیق حاضر، به منظور بازیابی داده، سرویس WMS می‌تواند به صورت مستقیم و یا با استفاده از سرویس WFS به بازیابی داده از پایگاه داده بپردازد. با توجه به ساختار فرمت SVG (که فرمتی متنی و براساس XML است) سرویس WMS برای تولید تصویر به فرمت SVG ابتدا با استفاده از سرویس WFS داده‌های مورد نیاز را به صورت GML بازیابی می‌کند و سپس به کمک مؤلفه نرم‌افزاری Painter و با استفاده از فناوری XSLT<sup>۲</sup> فرمت GML را به SVG تبدیل می‌کند و به

شکل ۵، مؤلفه‌های نرم‌افزاری مختلف تشکیل‌دهنده سامانه دسترسی و انتشار تعامل‌پذیر پارامترهای کیفیت هوا و ارتباط میان آنها را نمایش می‌دهد. مؤلفه‌های نرم‌افزاری تشکیل‌دهنده سرویس‌های مکانی به تجزیه و تحلیل درخواست، بازیابی داده‌های مورد درخواست و ایجاد خروجی متناسب با درخواست می‌پردازند. مؤلفه Constructor در سرویس WFS، پس از تجزیه و تحلیل درخواست، داده‌های مربوط به پارامترهای اندازه‌گیری، واحد اندازه‌گیری، زمان مشاهده، سنجنده و ایستگاه پایش را از جدول‌های مرتبط، بازیابی می‌کنند و سپس بر مبنای ساختار طراحی شده برای ارائه اطلاعات، به درخواست‌کننده پاسخ مناسب می‌دهند.

مؤلفه Painter در سرویس WMS، بر مبنای پارامترهای ارسالی، داده‌های مورد نیاز را بازیابی می‌کند و سپس به تولید تصویری در فرمت JPG و PNG و SVG<sup>۱</sup> می‌پردازد. به منظور ارائه گویاتر



شکل ۵. مؤلفه‌های نرم‌افزاری و ارتباط آنها با یکدیگر در سامانه پیشنهادی

1. Scalable Vector Graphics  
2. Extensible Stylesheet Language for Transformation

بازیابی داده‌ها از سرویس WFS کند. همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است، این نرم‌افزار در حال ارسال درخواست بازیابی مقدار پارامتر مونوکسید کربن در تاریخ 5/5/2007 از ایستگاه اقدسیه است.

نرم‌افزار مذکور قادر است تا داده‌های بازیابی شده را در فرمت GML و به صورت درختی نمایش دهد. شکل ۷، پاسخ سرویس WFS به درخواست نشان داده شده در شکل ۶ را نمایش می‌دهد.

در سامانه دوم و به منظور استفاده از سرویس WFS، برنامه کاربردی‌ای تحت وب به کمک فناوری ASP.NET 2.0 و زبان JavaScript ایجاد گردید (شکل ۸). این برنامه کاربردی تنها دارای ابزارهای نمایشی است. ابزارهای موجود در این برنامه کاربردی صرفاً درخواست کاربر را به درخواست GetMap تبدیل می‌کند و به سرویس WFS ارسال می‌دارد. سپس به کمک فناوری AJAX<sup>۲</sup> تصویر بازیابی شده از سرویس WFS بدون ایجاد صفحه جدید (بدون Refresh شدن مرورگر)، در قسمت نقشه برنامه کاربردی نمایش داده می‌شود.

درخواست‌کننده پاسخ می‌دهد. فناوری XSLT ابزارهایی را به منظور تبدیل فرمت‌هایی که بر مبنای XML هستند به یکدیگر و به صورت بهینه فراهم می‌آورد (Antoniou and Tsoulos, 2006). به منظور ارائه تصویر در فرمت‌های JPG و PNG و با توجه به ساختار این دو فرمت (فایل باینری)، سرویس WFS به صورت مستقیم اقدام به بازیابی داده‌ها از پایگاه داده می‌کند.

همان‌گونه که پیش از این عنوان گردید، پایگاه داده پارامترهای کیفیت هوا با استفاده از سامانه مدیریت پایگاه داده SQL Server 2005 پیاده‌سازی گردید. مؤلفه‌های نرم‌افزاری تشکیل‌دهنده دو سرویس WFS و WFS به کمک فناوری ASP.NET 2.0 ایجاد گردیدند.

به منظور آزمون عملی سرویس‌های پیشنهادی، دو سیستم نرم‌افزاری به صورت رومیزی<sup>۱</sup> و تحت وب ایجاد گردید. سامانه اول شامل نرم‌افزاری رومیزی بر پایه سیستم عامل ویندوز و به کمک سکوی برنامه‌نویسی NET 2.0 ایجاد گردید. این نرم‌افزار قادر است تا با معرفی شرایط منطقی و مقایسه‌ای مختلف، اقدام به



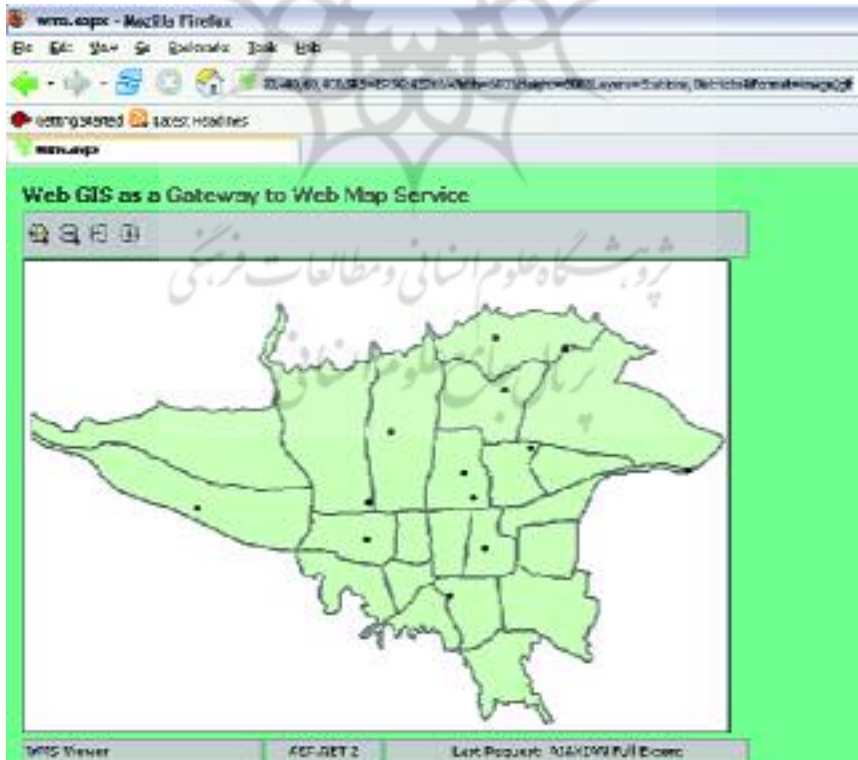
شکل ۶. نرم‌افزار درخواست‌کننده داده‌ها از سرویس WFS

1. Desktop
2. Asynchronous JavaScript And Xml

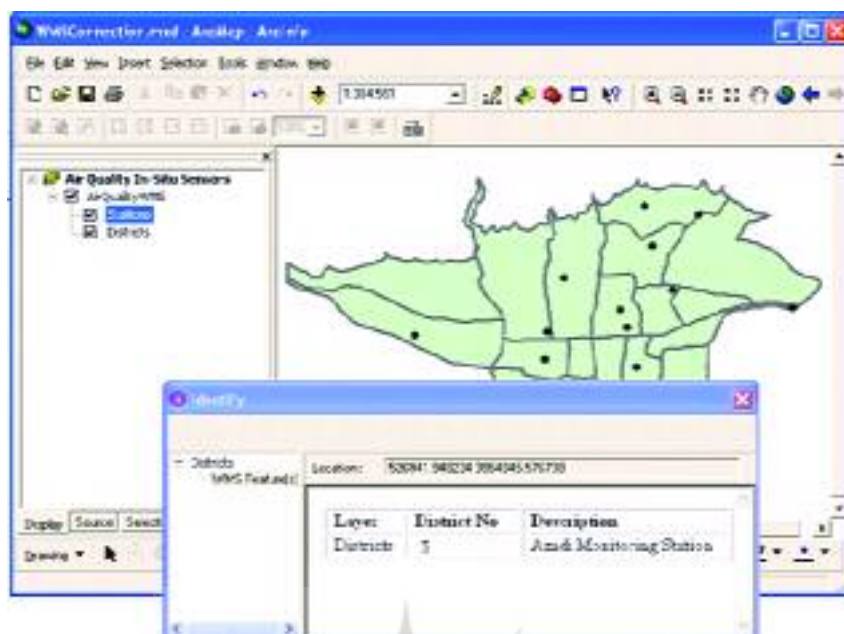
استفاده از سرویس‌های مکانی تعامل‌پذیر به منظور دسترسی و انتشار داده‌های کیفیت هوا



شکل ۷. نمایش درختی پاسخ سرویس WFS



شکل ۸. برنامه کاربردی تحت وب به منظور استفاده از WMS



شکل ۹. نمایش نقشه تولید شده به وسیله WMS و ابزار شناسایی توسعه داده شده در محیط ArcGIS Desktop

پارامترهای کیفیت هوا استفاده کرد. پیشنهاد پژوهش حاضر استفاده از سرویس‌های WFS و WMS برای دسترسی به پارامترهای کیفیت هوا در ساختار رویداد - مبنای ایجاد شده به وسیله GML و O&M به منظور انتقال و به اشتراک گذاری داده‌های پارامترهای کیفیت هوا باعث به وجود آمدن تعامل پذیری داده‌ای می‌گردد. همچنین استفاده از سرویس‌های استاندارد WFS و WFS روش استاندارد به منظور دسترسی به داده‌های مذکور را فراهم می‌آورد و در نتیجه تعامل پذیری دسترسی امکان پذیر می‌گردد. همچنین در پژوهش حاضر، مشاهدات پارامترهای کیفیت هوا با توجه به ماهیت مکانی - زمانی بودن آنها، براساس مدل رویداد - مبنای استاندارد O&M مدل سازی گردید. بر مبنای پیشنهاد ارائه شده در این تحقیق، پایگاه داده پارامترهای کیفیت هوا منطبق با مدل سازی انجام شده و سرویس‌های مکانی مورد نظر پیاده سازی گردید. به منظور آزمون تعامل پذیر بودن سرویس‌های توسعه داده شده، دو برنامه رومیزی و تحت وب و همچنین یک ابزار در نرم افزار ArcGIS پیاده سازی شدند. با توجه

در پژوهش حاضر با توجه به امکان استفاده از سامانه پیاده سازی شده در نرم افزارهایی که امکان توسعه داشته باشند (به کمک امکانات ماکرونویسی و توسعه)، با استفاده از توسعه نرم افزار ArcGIS (به کمک توابع ArcObjects)، ابزاری به منظور نمایش و بازیابی اطلاعات از سرویس WFS و WMS ایجاد گردید؛ بدین ترتیب که تصویر ایجاد شده از سرویس WMS در نرم افزار ArcMap نمایش داده می‌شود و ابزار شناسایی توسعه داده شده به کاربر این اجازه را می‌دهد که با کلیک بر روی نقشه نمایش داده شده، اطلاعات مربوط به نام منطقه شهری و ایستگاه پایش موجود در آن منطقه را ببیند.

## ۷- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر استفاده از سرویس‌های مکانی استاندارد به منظور دسترسی و انتشار داده‌های پارامترهای کیفیت هوا به صورت تعامل پذیر ارزیابی گردید. فقدان تعامل پذیری در سطوح داده و دسترسی، سبب می‌گردد که نتوان به صورت خودکار از داده‌های

- and **AQI indices**, Science of The Total Environment, Volume 382, Issues 2-3, 1 September 2007, pp 191-198.
- Cox, S., 2006, **Observations and Measurements, an OGC Best Practices Paper**, Available at: [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=2316](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=2316).
- Drummond, J., Billen, R., Joao, E and Forrest, D., 2007, **Dynamic and Mobile GIS: Investigating Changes in Space and Time**, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Frehner, M. and Brändlia, M., 2006, **Virtual Database: Spatial Analysis in a Web-based Data Management System for Distributed Ecological Data**, Environmental Modeling & Software, Volume 21, Issue 11, November 2006, pp. 1544-1554.
- Ho, C., Robinson, A., Miller, R. and Davis, M., 2005, **Overview of Sensors and Needs for Environmental Monitoring**, Sensors Journal, Issue 5, pp 4-37.
- Horsburgha, J., Tarbotona, D., Piaseckib, M., Maidmentc, D., Zaslavskyd, I., Valentined, D. and Whitenacked, T., 2009, **An Integrated System for Publishing Environmental Observations Data**, Environmental Modelling & Software, Volume 24, Issue 8, August 2009, pp 879-888.
- Lake, R., 2005, **The Application of Geography Markup Language (GML) to the Geological Sciences**, Computers & Geosciences, Volume 31, Issue 9, November 2005, pp 1081-1094.
- به استاندارد بودن، توسعه‌پذیری و تعامل‌پذیری، استفاده از راه‌حل ارائه شده در پژوهش حاضر، روش مناسبی برای استفاده بهینه و گسترده از داده‌های کیفیت هوا به نظر می‌رسد. درواقع نقطه تمایز این تحقیق با کارهای مشابه صورت گرفته، ایجاد فرمت و سازوکار دسترسی به داده‌های کیفیت هوا با رویکرد تعامل‌پذیری است. با توجه به اهمیت محاسبه شاخص‌ها و انجام تحلیل‌های مختلف بر روی داده‌های کیفیت هوا، طراحی و پیاده‌سازی سرویس‌های پردازشی با رویکرد مطرح‌شده در پژوهش حاضر (استاندارد بودن) و به‌ویژه بر مبنای استاندارد (Web Processing Service) WPS از سازمان OGC می‌تواند زمینه‌ای برای فعالیت‌های آتی پژوهشگران باشد.

#### ۸- منابع

Antoniou, B. and Tsoulos, L., 2006, **The Potential of XML Encoding in Geomatics Converting Raster Images to XML and SVG**, Computers & Geosciences, Volume 32, Issue 2, March 2006, pp 184-194.

Botts, M., Percivall, G., Reed, C. and Davidson, J., 2006, **OGC Sensor Web Enablement: Overview and High Level Architecture**, an OGC White Paper, Available at: [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=4326](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=4326).

Chena, N., Liping, D., Yua, G. and Mina, M., 2009, **A Flexible Geospatial Sensor Observation Service for Diverse Sensor Data Based on Web Service**, iSPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 64, Issue 2, March 2009, pp 234-242.

Cheng, W., Chen, Y., Zhang, J., Lyons, T., Pai, J. and Chang, S., 2007, **Comparison of the Revised Air Quality Index with the PSI**

- Lake, R., Burggraf, D., Trinic, M. and Rae, L., 2004, **Geography Markup Language**, Chichester, England, John Wiley and Sons.
- Langran, G., 2003, **Issues of Implementing a Spatiotemporal System**, International Journal of Geographical Information Systems, vol. 7(4), pp. 305-314.
- Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D. and Rhind, D., 2005, **Geographic Information Systems and Sciences**, Wiley Publications.
- OGC, 2006, Open GIS Web Map Service 1.3 implementation specification.
- OGC, 2005, Open GIS Consortium Web Feature Service implementation specification 1.1.0.
- Sohrabinia, M. and Khorshiddoust, M., 2007, **Application of Satellite Data and GIS in Studying Air Pollutants in Tehran**, **Habitat International**, Volume 31, Issue 2, June 2007, pp 268-275.
- Vienneau, D., De Hoogha, K. and Briggs, D., 2009, **A GIS-based Method for Modelling Air Pollution Exposures Across Europe**, Science of The Total Environment, Volume 408, Issue 2, 20 December 2009, pp 255-266.
- Worboys, M. F., 2005, **Event-oriented Approaches to Geographic Phenomena**, International Journal of Geographical Information Science, vol. 19, no. 1, pp 1-28.
- Zhang, J., Gong, J., Lin, H., Wang, G., Huang, J., Zhu, J., Xu, B. and Teng, J., 2007, **Design and Development of Distributed Virtual Geographic Environment System based on Web Services**, Information Sciences, Volume 177, Issue 19, 1 October 2007, pp. 3968-3980.