

ارزیابی کیفیت سرویس‌های درون‌یابی مکانی در توسعه‌ی سامانه‌های پایش آلودگی هوا بر مبنای اینترنت اشیا

رویا حبیبی^{۱*}، علی اصغر آل‌شیخ^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی

rhabibi@mail.kntu.ac.ir

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

alesheikh@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۵، تاریخ تصویب آذر ۱۳۹۵)

چکیده

آلودگی هوا یکی از اصلی‌ترین معضلات کلانشهرها محسوب می‌شود. پایش بهینه‌ی سطح غلظت آلاینده‌های هوا، نقش حیاتی را در مهار این مشکل ایفا می‌کند. در این پژوهش، با تلفیق مفاهیم اینترنت اشیا و سامانه‌ی اطلاعات مکانی، راهکاری جهت پایش بهینه‌ی آلودگی هوا ارائه گردید. از ضروریات پیاده‌سازی اینترنت اشیا، فراهم آوردن بستری همکنش‌پذیر جهت تبادل اطلاعات بین اشیای مختلف است. موضوع دیگر، ارسال اطلاعات قابل اعتماد به کاربران در کمترین زمان ممکن است. جهت رفع موانع همکنش‌پذیری استانداردهای SOS، SensorML و O&M از OGC SWE مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، دو شاخص جهت ارزیابی کیفیت سرویس‌های وب مکانی ارائه گردید و کیفیت چهار سرویس درون‌یابی شامل IDW، EBK، GPI و OK بررسی شدند. جهت تعمیم نتایج به سایر شبکه‌های حسگری، میزان اثرپذیری این شاخص‌های کیفی از شش پارامتر مرتبط با ساختار شبکه حسگری و ویژگی‌های آماری داده‌ی سنسجش شده‌ی آن‌ها، با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بررسی شدند. نتایج پژوهش نشان داد سرویس‌های OK و EBK با میانگین RMSE ۱۴/۶۱ و ۱۵/۱۱ در شاخص اعتمادپذیری بهتر از دو روش دیگر عمل کردند. شاخص زمان در سرویس EBK ضعیف بوده (۶ دقیقه و ۲۱ ثانیه)، اما در دیگر سرویس‌ها سطح مطلوبی (کسری از ثانیه) داشت. شاخص اعتمادپذیری با ویژگی‌های آماری رابطه معکوس ($IRMSE > 0/9$) و شاخص زمان با پارامترهای ساختاری، به‌ویژه تعداد حسگرها، رابطه مستقیم قوی ($IRIDW=0/99$ ، $IRBK=0/97$ و $IROK=0/66$) داشتند. راهکار ارائه شده و نتایج حاصل در توسعه‌ی سامانه‌های پایش محیطی و در تعامل با سایر مولفه‌ها در محیط اینترنت اشیا می‌تواند بسیار مفید باشد.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیا، درون‌یابی، وب حسگر، آلودگی هوا، OGC SWE

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

اینترنت اشیاء (IoT) مفهوم نوظهوری است که همگام با توسعه فناوری‌های مربوط به طراحی و ساخت حسگرها و همچنین فناوری‌های ارتباطی و اطلاعاتی گسترش یافت. تعاریف مختلفی از دیدگاه‌های متفاوتی برای IoT وجود دارد [۱]. تعریف مرجع در این پژوهش، توسط اتحادیه ارتباطات بین‌المللی ارائه شده است. مطابق این تعریف، اینترنت اشیاء زیرساختی جهانی برای جامعه‌ی اطلاعاتی معرفی می‌شود که سرویس‌های پیشرفته را از طریق ارتباطات داخلی بین اشیاء و بر مبنای فناوری‌های ارتباطی و اطلاعاتی همکنش‌پذیر^۲ فراهم می‌آورد. در این تعریف، «شیء» به عنوان نمونه‌ای قابل شناسایی و منحصر بفرد از جهان فیزیکی و یا دنیای اطلاعاتی در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند با شبکه‌ی ارتباطاتی تلفیق شود [۲]. IoT به علت وب‌مبنا و آنی بودن، توانایی دسترسی به شبکه‌ی وسیعی از اشیاء و نیز فراهم آوردن بستری جهت همکاری‌های ملی و بین‌المللی، به هیچ مرز فیزیکی محدود نبوده و در بسیاری از حوزه‌ها، کاربردی است. از مهم‌ترین این حوزه‌ها، پایش محیط است [۳].

در توسعه‌ی شبکه‌های حسگری دو موضوع به‌طور عمده، مورد مطالعه‌ی محققین بوده است. موضوع نخست در حوزه‌ی سخت‌افزار حسگرها و جزئیات ارتباطی شبکه بوده و دربرگیرنده‌ی تلاش‌های انجام شده در جهت رفع موانع مربوط به محدودیت‌های پهنای باند و مصرف انرژی و همچنین طراحی قراردادهای مقیاس‌پذیر و کارا در یک شبکه‌ی حسگری بی‌سیم است. موضوع دوم در مورد وب-حسگر است. وب‌حسگر جزئیات ارتباطی ضمنی شبکه‌های حسگری و ناهمگنی قراردادهای حسگرها را پنهان کرده و به عنوان یک سکوی کاربردمحور، به‌منظور ارتباط و یکپارچه‌سازی حسگرهای ناهمگن در کشف، دسترسی و استفاده از اطلاعات منابع حسگری عمل می‌کند [۴]. پایش محیط، ماهیتی جهانی دارد. درک و شناخت موثر محیط، جهت برقراری ارتباط مناسب با آن، نیازمند به-اشتراک‌گذاری داده‌ی اخذ شده از ابزارهای ناهمگن و نیز سازمان‌های مختلف در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و یا جهانی می‌باشد. بدین منظور، وجود زیرساختی باز،

منعطف، پایدار و همکنش‌پذیر ضروری است. این موضوع نقش وب‌حسگر را بر شبکه‌های حسگری در حوزه‌ی پایش محیط بر مبنای اینترنت اشیاء برجسته‌تر می‌سازد.

پایش محیط، گستره‌ی وسیعی از پارامترها را دربر می‌گیرد. در این پژوهش، به‌طور خاص، فاکتورهای آلاینده‌ی هوا مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. آلودگی هوا، به علت دارا بودن آثار نامطلوب بر سلامت انسان و محیط زیست، یکی از چالش برانگیزترین مسائل در شهرها، به-ویژه کلانشهرها، محسوب می‌شود [۵]. رشد جمعیت شهری، فعالیت‌های صنعتی، الگوهای ترافیکی و شهری-سازی از عوامل مهم بروز آلودگی هوا به‌شمار می‌آیند [۶]. از این نظر، شهر تهران از آلوده‌ترین شهرهای جهان محسوب می‌شود. به گونه‌ای که پایش بهینه و کاهش سطح غلظت آلاینده‌های هوا، همواره از نگرانی‌های اصلی مسئولان این شهر بوده است. این موضوع، در فصل سرد که آلاینده‌ها در نزدیک سطح زمین به دام می‌افتند، شکل بحرانی‌تری را به‌خود می‌گیرد. در سال‌های اخیر، آلودگی هوا در زمستان موجب تعطیلی بسیاری از مدارس و مراکز دولتی شده است و خسارات جدی را بر سطح سلامت و بخش اقتصاد جامعه وارد کرده است [۷].

تغییرپذیری مکانی و زمانی بالای محیط، لزوم استفاده از حسگرهای مکانی را در پایش آن روشن می‌سازد. راه-حل‌های موجود جهت پایش سطح غلظت آلاینده‌های هوا، مدیریت فعالیت منابع تولیدکننده‌ی آن‌ها و همچنین افزایش سطح سلامت عمومی جامعه، بر استفاده‌ی یکپارچه از داده‌ی مشاهداتی این حسگرها و همچنین پردازش‌ها و مدل‌سازی‌های مکانی بنا شده است [۸]. بدین ترتیب، سامانه‌ی اطلاعات مکانی، با قابلیت‌های خود در آنالیز و نمایش داده‌ی مکانی، نقش مهمی را بر عهده دارد. طبق گزارش Whitmore و همکاران، بیش از ۴۰٪ مطالعات صورت گرفته در زمینه‌ی اینترنت اشیاء به بحث پیرامون فناوری‌های مورد استفاده در پیاده‌سازی IoT بوده و تنها در حدود ۲۵٪ پژوهش‌ها به کاربرد IoT پرداخته‌اند [۹] که در این میان نیز اهمیت و کاربرد سامانه‌ی اطلاعات مکانی، به ویژه پردازش‌ها و تحلیل‌های مکانی، چندان مورد توجه نبوده است؛ در صورتیکه در اینترنت اشیاء، حجم عظیمی از داده‌ی خام وجود دارد که باید مورد پردازش قرار گرفته و به اطلاعات و یا دانش مناسب با کاربرد تبدیل شود [۱۰]. بر این اساس، هدف اصلی در

^۱ Internet of Things

^۲ Interoperable

همبستگی بین نتایج و پارامترهای مورد بررسی ارائه شده است. در انتها، نتایج حاصل از این مطالعه مورد بحث قرار گرفته و نتایج مستخرج شده، بیان شده و پیشنهاداتی نیز جهت فعالیتهای آتی ارائه گردیده است.

۲- پیشینهی تحقیق

Granell و همکاران در سال ۲۰۱۶، قابلیت‌های فناوری‌های نوین اینترنت را در کاربردهای محیطی مورد بررسی قرار دادند [۱۲]. در این بررسی، که تلفیقی از راه-حل‌های مکانی و ابزارهای پردازشی مقیاس‌پذیر وب‌مبنا بود، با تمرکز بر وب‌مشاهداتی^۳ صورت گرفته و کاربرد رایانش ابری، اینترنت اشیا و داده‌ی کلان در سامانه‌های پایشی مورد بحث قرار گرفتند. در وب‌مشاهداتی، داده‌ی حجیمی به‌عنوان مشاهده در نظر گرفته می‌شود که توسط حسگرها اخذ شده و یا با اعمال پردازش‌ها و مدل‌هایی حاصل شده و جهت درک فرایندهای محیطی، پردازش شده و نمایش داده می‌شوند. کاربردهای وب‌مشاهداتی در گونه‌های زیستی و همچنین ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری در امور دریایی به‌عنوان مورد مطالعاتی در این پژوهش بیان شدند. Fang و همکاران (۲۰۱۳) سامانه‌ی یکپارچه‌ای را بر مبنای اینترنت اشیا، و با بهره‌گیری از سرویس‌های ابری، سنسجش از دور، سامانه‌ی اطلاعات مکانی و سامانه‌ی تعیین موقعیت جهانی (GPS)^۴، جهت هشدار اولیه در جاری شدن سیلاب‌های ناشی از آب شدن برف ارائه کردند [۱۳]. سامانه‌ی طراحی شده در زمینه‌ی اخذ داده، مدیریت و اشتراک‌گذاری منابع مختلف داده‌ای، در زمینه‌ی سامانه‌ی هشدار جاری شدن سیلاب‌ها و همچنین در مدیریت منابع آبی، اطلاعات مفیدی را فراهم کرد. در این سامانه جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی اطلاعات مرتبط با وضعیت برف، از نقشه‌های پوشش برف، ارتفاع بارش و تراکم برف استفاده شد.

Gong و همکاران جهت مدیریت داده‌ی محیطی و با بهره‌گیری از وب‌سرویس‌های مکانی و وب‌حسگر، یک مدل داده‌ای در سامانه‌ی اطلاعات مکانی آبی ارائه نمودند. در این مطالعه، در تلفیق با مدل داده‌ای تعریف شده در استانداردهای وب‌حسگر، نقشه‌ی موضوعی رطوبت خاک با

این پژوهش، یکپارچه‌سازی موثری از سامانه‌ی اطلاعات مکانی و مفاهیم اینترنت اشیا جهت پایش آلودگی هوا می‌باشد. به جهت فراهم آوردن همکنش‌پذیری و تبادل داده در شبکه‌ی پایش آلودگی که از حسگرهای ناهمگنی تشکیل شده است، از استانداردهای OGC SWE^۱ استفاده شده است. OGC نهادی بین‌المللی با هدف توسعه‌ی استانداردهای باز مکانی است. با توجه به هزینه بر بودن و عدم توانایی اخذ داده در هر مکانی توسط شبکه‌های حسگری درجا، و همچنین لزوم آگاهی از وضعیت آلاینده‌های هوا در هر مکانی، نیاز است در این محیط از وب‌سرویس‌های پردازش مکانی با وظیفه‌ی درون‌یابی استفاده شود. بدین ترتیب، سطحی از آلاینده‌ها در سراسر منطقه مورد نظر برازش داده خواهد شد. در این پژوهش با بهره‌گیری از وب‌سرویس‌های مکانی، معماری سرویس‌گرا (SOA)^۲ پیاده‌سازی شده است. با افزایش تعداد سرویس‌هایی که عملکرد یکسان و کیفیت‌های متفاوتی دارند، مسئله‌ی انتخاب وب‌سرویس بهینه که برآوردکننده قیود کیفی مورد نظر کاربران باشد، به موضوع چالش برانگیزی بدل شده است [۱۱]. از این‌رو در پژوهش حاضر، جهت ارزیابی کیفیت سرویس‌های پردازش مکانی دو پارامتر پیشنهاد شده و جهت انجام درون‌یابی مکانی، مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. شبکه‌ی حسگری مورد مطالعه در سامانه‌ی پایش، شبکه‌ی پایش کیفیت هوای مستقر در شهر تهران است. نتایج حاصل از تحلیل‌های صورت گرفته، مستقل از نوع داده بوده و به سایر شبکه‌های حسگری قابل تعمیم است. بدین ترتیب، از دیگر اهداف پژوهش، جستجوی رابطه‌ی معناداری بین کیفیت سرویس‌های درون‌یابی و توزیع مکانی حسگرها و همچنین ویژگی‌های آماری مقادیر سنسجش شده‌ی آن‌ها می‌باشد. در ادامه، در بخش دوم، مطالعات انجام شده مرتبط با این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش سوم، منطقه و داده‌ی مورد مطالعه، پردازش‌های مکانی و استانداردهای SWE، روش‌های درون‌یابی مورد بررسی، معماری سامانه در انتشار سرویس پردازش مکانی و همچنین شاخص‌های ارزیابی کیفیت سرویس بیان شده است. در قسمت یافته‌ها، نتایج حاصل از اجرای سرویس‌های مختلف و

^۳ Observation web
^۴ Global Positioning System

^۱ Open Geospatial Consortium Sensor Web Enablement
^۲ Service Oriented Architecture

۳-۱- داده و منطقه‌ی مورد مطالعه

در این مطالعه، شبکه‌ی پایش کیفیت هوای شهر تهران به عنوان شبکه حسگری مورد بررسی انتخاب شده است. طبق سرشماری سال ۱۳۹۰، کلانشهر تهران در حدود ۸/۳ میلیون نفر جمعیت را در خود جای داده است [۲۱]. از لحاظ جغرافیایی، این شهر در محدوده‌ی مختصات $35^{\circ} 35'$ و $51^{\circ} 17'$ و $35^{\circ} 48'$ عرض شمالی و طول $51^{\circ} 17'$ و $33^{\circ} 33'$ شرقی قرار دارد. تراکم جمعیتی بالای شهر و شرایط جغرافیایی خاص آن، علاوه بر وجود منابع تولید آلاینده‌های خطرناک همچون وسایل نقلیه موتوری و مراکز صنعتی، تهران را به آلوده‌ترین شهر کشور تبدیل کرده است. به‌طوری که معضل آلودگی هوا در شهر تهران یکی از نگرانی‌های اصلی مسئولان شهری به شمار می‌رود.

پارامترهای مورد بررسی در شبکه‌ی مورد مطالعه، شامل شش آلاینده‌ی اصلی CO ، O_3 ، SO_2 ، NO_2 ، $PM_{2.5}$ و PM_{10} می‌باشند. این شبکه به طور دائم و ساعتی در حال سنجش غلظت آلاینده‌ها است؛ اما، به دلیل مسائلی نظیر تعمیر ایستگاه‌ها، اغلب در داده‌ی اخذ شده‌ی آن‌ها خلأهایی وجود داشته و تمام ایستگاه‌های شبکه به طور همزمان در حال اخذ داده نیستند. جهت برآورد هدف پژوهش، می‌بایست از داده‌ی همزمان این شبکه‌ها استفاده شود. از این‌رو، از مجموعه داده‌ی اخذ شده‌ی این ایستگاه‌ها در ساعت ۱۹ روزهای ۸ دی سال ۱۳۹۴ و همچنین ۴ فروردین سال ۱۳۹۴ استفاده شده است. علت انتخاب این دو زمان، کیفیت هوای متفاوت این دو روز جهت انجام ارزیابی بهتر سرویس‌ها می‌باشد که در سامانه‌ی کنترل کیفیت هوای تهران^۶ روز نخست ناسالم و روز دوم پاک گزارش شده است. بنابر مشاهدات آماری، ساعت ۱۹ از آلوده‌ترین ساعات شبانه‌روز در تهران است. از علل دیگر انتخاب این ساعت جهت مطالعه، تعداد بیشتر ایستگاه‌های فعال آن در میان سایر ساعات شبانه‌روز و همچنین تردد بیشتر ساکنین شهر در این زمان است که نیاز بیشتر به سامانه‌ی پایش را در این ساعت القا می‌کند. در حال حاضر، کیفیت هوای شهر تهران توسط دو نهاد مختلف، سازمان حفاظت محیط زیست استان تهران و

استفاده از درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)^۱ به صورت آنی ایجاد شد. در این مطالعه زمان جمع‌آوری داده تا تهیه نقشه‌ی موضوعی ۹/۲ ثانیه به‌طول انجامید [۱۴]. استفاده از انواع روش‌های درون‌یابی، به منظور برآورد مقادیر پارامتر مطلوب در نقاط نمونه‌برداری نشده در بسیاری از کاربردها متداول است. در زمینه‌ی آلودگی هوا، عتابی و همکاران میزان تغییرپذیری آلاینده بنزن را در منطقه یک شهر تهران با استفاده از روش IDW نمایش دادند [۱۵]. Xie و همکاران به بررسی عملکرد چهار روش درون‌یابی در توزیع مکانی فلزات سنگین خاک، جهت تعیین میزان آلودگی خاک در بیجینگ چین پرداختند [۱۶]. در رابطه با اقلیم‌شناسی می‌توان به ارزیابی هفت روش درون‌یابی جهت پهنه‌بندی میزان بارش باران در شهر پیون کشور هند [۱۷] و همچنین مقایسه‌ی هشت روش درون‌یابی در پهنه‌بندی میزان رطوبت شهر دستریتو فدرال کشور برزیل [۱۸] اشاره نمود.

Yang و همکاران به ارزیابی عملکرد خادم‌آهای مختلف جهت انتشار سرویس‌های نمایش نقشه تحت وب (WMS)^۲ پرداختند [۱۹]. هدف از آن مطالعه، آنالیز عملکرد WMS و یافتن الگوی این عملکرد جهت ارائه‌ی اصولی در طراحی نرم‌افزارهای کاربردی سمت مخدوم^۴ بود. در این پژوهش، کیفیت سرویس‌های منتشر شده توسط خادم‌های مختلف با اندازه‌گیری زمان ارسال پاسخ خادم مورد مطالعه قرار گرفت. در مطالعه‌ی دیگری، Poorazizi و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی عملکرد سه خادم مکانی شامل 52North، Deegree و Mapserver، در انتشار سرویس مشاهداتی حسگر (SOS)^۵ از نظر زمان پردازش و حجم داده‌ی پاسخ در فیلترهای زمانی و مکانی مختلف پرداختند [۲۰].

۳- مواد و روش‌ها

در این بخش به بیان مفاهیم مورد نیاز در اجرای سناریوی پیشنهادی و همچنین شرح معماری سامانه و روش‌های ارائه شده جهت ارزیابی کیفیت سرویس‌های پردازش مکانی پرداخته شده است.

^۱ Inverse Distance Weighted

^۲ Server

^۳ Web Mapping service

^۴ Client

^۵ Sensor Observation Service

^۶ www.air.tehran.ir

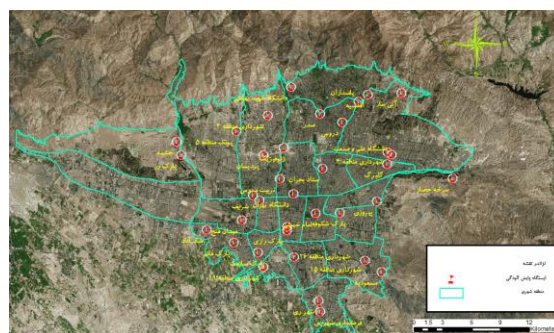
مطالعه، از OGC SWE برگرفته شده است. علاوه بر آن، راه حل لحاظ شده جهت رفع مشکل همکنش پذیری و ایجاد ارتباطی بر مبنای قراردادهای استاندارد بین منابع گوناگون حسگری در اینترنت اشیا، به کارگیری این مجموعه استاندارد است.

مجموعه استانداردهای وب حسگری SWE یک زیرساخت مشاهداتی است که با کمک مدل های اطلاعاتی و خصوصیات واسط ارائه شده توسط OGC، بین منابع حسگری و کاربردها ارتباط برقرار می کند [۲۴]. این زیرساخت می تواند به صورت یک سامانه ی مشاهداتی منفرد، خودکار و وظیفه پذیر عمل کرده و خود را به طور پویا پیکربندی نماید [۲۵]. SWE به دو زیر گروه شامل مدل اطلاعاتی و مدل واسط تقسیم می شود. در مدل اطلاعاتی، استانداردهایی وجود دارد که مدل های داده ای را جهت مشاهدات حسگر و فراداده آن تعریف می کند. مدل های اطلاعاتی مورد استفاده در این پژوهش O&M^۳ و SensorML^۴ است. SensorML شمایی برای توصیف فراداده ی حسگرها و O&M شمایی برای کدبندی مشاهدات حسگرها تعریف می کند. مدل واسط SWE، شامل استانداردهایی است که واسط های وب سرویس های حسگری مختلف را مشخص می کند. مدل واسط مورد استفاده در این پژوهش، SOS^۵ است. در چارچوب SWE، دسترسی استاندارد شده به مشاهدات حسگر و فراداده آن توسط SOS، فراهم شده است. این سرویس به عنوان یک میانجی بین کاربر و یک آرشیو داده ای حسگر یا سامانه ی حسگر آنی، ایفای نقش می کند [۲۶].

۴-۳-۴- درون یابی مکانی

درون یابی مکانی نامی است که به برآورد مقدار پدیده مطلوب در نقاط نمونه برداری نشده و با استفاده از مقادیر نمونه برداری شده، اطلاق می شود. روش های درون یابی مکانی به دو دسته کلی روش های قطعی و روش های زمین-آمار تقسیم می شوند. هر دو دسته از شباهت نقاط همسایه برای برازش سطح پیوسته ای از نقاط گسسته بهره می برند. روش های قطعی از توابع ریاضی و روش های زمین آمار علاوه بر توابع ریاضی، از روابط آماری نیز استفاده می کنند [۲۷].

شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، پایش می شود. این شبکه در زمان های مورد بررسی دارای ۳۸ ایستگاه فعال است که از این بین ۱۶ ایستگاه متعلق به سازمان حفاظت محیط زیست و ۲۲ ایستگاه متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوا می باشد. توزیع مکانی ایستگاه های فعال در مناطق مختلف شهر تهران در زمان مورد مطالعه، همراه نام آن ها در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱- توزیع مکانی ایستگاه های شبکه ی پایش کیفیت هوای مورد مطالعه در شهر تهران

۳-۲- پردازش مکانی

مفهوم IoT نیازمند استدلال های مکانی است و در این محیط، علاوه بر مکان اشیا، می بایست رابطه ی مکانی بین اشیا و یا به عبارتی دیگر تحلیل های مکانی، در نظر گرفته شود. در نگاهی دقیق تر در دل IoT فناوری وب مکانی^۱ نهفته است [۲۲]. در این راستا، سرویس های پردازش مکانی^۲، که در قالب وب سرویس منتشر می شوند، برای انجام آنالیزهای پیچیده ی مکانی بر وب بسیار کارآمد و موثر خواهند بود. هدف سرویس پردازش مکانی انجام پردازش هایی است که بتواند داده ی مکانی را به اطلاعات مکانی تبدیل کند [۲۳].

۳-۳- استانداردهای OGC SWE

مدل داده ای هسته ی مرکزی GIS را تشکیل می دهد. مدل داده ای مناسب نقش تصمیم گیرنده ای را در ایجاد یک برنامه ی کاربردی GIS دارد. ابتدایی ترین وظیفه ی مدل داده ای مکانی-زمانی، سازماندهی و مدیریت داده ی مکانی-زمانی، تحلیل و بیان محتوا و روابط بین تغییرات مکانی-زمانی است [۱۴]. مدل داده ای در نظر گرفته شده در این

^۳ Observations & Measurements

^۴ Sensor Model Language

^۵ Sensor Observation Service

^۱ GeoWeb

^۲ Geoprocessing Services

است یک فرایند فیزیکی نظیر جهت باد و یا آلودگی هوا را نمایش دهند؛ اما، چند جمله‌ای‌های مرتبه بالاتر، علاوه بر حساسیت بیشتر به نقاط پرت، تعبیر فیزیکی سطح را نیز مشکل می‌سازد [۲۷].

درون‌یابی OK: این روش، از خانواده کریجینگ بوده و از خودهمبستگی بین نقاط نمونه بهره می‌برد و در واقع از دو مرحله ارزیابی کیفیت ساختار داده و نیز برآورد مقدار در نقاط مشاهده نشده تشکیل شده است. این روش برای برآورد مقدار در نقاط نامعلوم از تابع سمی‌واریوگرام استفاده می‌کند. این تابع قوت و ضعف همبستگی آماری را بر حسب تابعی از فاصله بیان می‌کند [۲۷].

درون‌یابی EBK: این روش از حیث مدلسازی چندین سمی‌واریوگرام به جای یک سمی‌واریوگرام، با روش‌های کریجینگ کلاسیک متفاوت است و از طریق مجموعه‌ای از فرایندهای شبیه‌سازی، سطح مورد نظر را تخمین می‌زند. روش اجرای فرایند بدین صورت است که ابتدا با استفاده از داده‌ی موجود، یک مدل سمی‌واریوگرام برازش می‌شود. سپس با استفاده از آن، مقادیر جدیدی برای هر یک از نقاط ورودی شبیه‌سازی شده و مجدداً با استفاده از این مقادیر شبیه‌سازی شده، مدل سمی‌واریوگرام جدیدی برازش می‌شود. پس از آن، با استفاده از قانون بیز که نشان‌دهنده‌ی احتمال برآورد داده با استفاده از سمی‌واریوگرام است، وزنی برای سمی‌واریوگرام در نظر گرفته می‌شود [۲۹].

۳-۵- معماری سامانه

رشد فزاینده‌ی ابزارهای متصل به اینترنت، بیان می‌کند در سال‌های آینده تریلیون‌ها ابزار ناهمگن و حجم وسیعی از انواع مختلف اطلاعات از طریق اینترنت در دسترس قرار خواهد گرفت. بدین منظور وجود معماری منعطفی در IoT بسیار ضروری است تا بتواند با فراهم آوردن این قابلیت اتصال، ارتباط و کنترل آسان و کاربردهای سودمند را در آن ایجاد نماید [۱۰]. با وجود معماری‌های فراوان ارائه شده در پیاده‌سازی IoT، همچنان فقدان معماری مرجعی در این زمینه حس می‌شود. مدل معماری لایه‌ای پایه در پیاده‌سازی IoT، از سه لایه درک، شبکه و کاربرد تشکیل شده است. در لایه‌ی درک، اطلاعات از دنیای فیزیکی اخذ شده و در لایه‌ی شبکه این اطلاعات بین سرویس‌های مختلف منتقل شده تا در لایه‌ی کاربرد، تحلیل‌ها و پردازش‌های لازم بر آن انجام شده و خدمات مورد نیاز کاربران به آن‌ها

روش‌های قطعی در این مطالعه شامل روش‌های IDW و چند جمله‌ای عمومی (GPI)^۱ و روش‌های زمین‌آمار شامل کریجینگ معمولی (OK)^۲ و کریجینگ بیزین تجربی (EBK)^۳ است که در ادامه توضیح داده می‌شوند. هر یک از روش‌های درون‌یابی پیش از انتشار به عنوان سرویس بر محیط وب، از لحاظ پارامترهای محاسباتی خود نظیر حداقل و حداکثر نقاط همسایگی، انتخاب نوع همسایگی، درجه‌ی چند جمله‌ای در روش GPI، توان در روش IDW، نوع کرنل و تابع فیت شونده به سمی‌واریوگرام^۴ در روش‌های زمین‌آمار، بهینه شده‌اند.

درون‌یابی IDW: این روش از قانون اول جغرافیا برگرفته شده که بیانگر شباهت و رابطه‌ی بیشتر نقاط نزدیک به هم است و با این فرض پیش می‌رود که مقدار نقاط نمونه‌برداری نشده، میانگین وزنداری از مقادیر نقاط معلوم داخل همسایگی آن است. برآورد مقدار در نقاط مشاهده نشده، بر اساس وزنی صورت می‌گیرد که برگرفته از معکوس فاصله نقاط از یکدیگر است. در رابطه ۱ نحوه محاسبه مقدار برآورد شده، بیان شده است. در این رابطه، Z مقدار برآورد شده از مقادیر ورودی در نقطه‌ی مطلوب s_0 مقدار مشاهده شده در نقطه‌ی نمونه‌برداری شده s_i و W_i وزن نسبت داده شده به نقطه‌ی مشاهداتی i است که با افزایش توان p اثر نقاط دورتر به شدت کاهش می‌یابد. d نیز فاصله نقطه مشاهداتی از نقطه برآورد شده می‌باشد. این روش در مواردی که تراکم نقاط نمونه برداری بالا و برداشت نقاط با توجه به تغییرات محلی صورت گرفته باشد، سطح بهتری را برازش می‌کند [۲۸].

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^n W_i Z(s_i) \quad (1)$$

$$W_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^n d_{i0}^{-p} \quad \text{و} \quad \sum_{i=1}^n W_i = 1$$

درون‌یابی GPI: این روش با استفاده از یک تابع چند جمله‌ای، سطح همواری را به نقاط معلوم برازش کرده و روند تدریجی و الگوهای بزرگ مقیاس سطح مورد نظر را نمایش می‌دهد. چند جمله‌ای‌های مرتبه پایین، ممکن

^۱ Global Polynomial Interpolation

^۲ Ordinary Kriging

^۳ Empirical Bayesian Kriging

^۴ Semivariogram

شده‌اند. ماشین میزبان در آزمون‌های صورت گرفته در سمت خادم SONY VPCSA2 با حافظه‌ی 8GB RAM و پردازنده‌ی Intel Core i7-2620M (2.70 GHz) بوده است.

۳-۶- شاخص‌های کیفیت سرویس

شاخص‌های کیفیت سرویس‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل دو فاکتور اعتمادپذیری و زمان است: (۱) اعتمادپذیری: این شاخص، میزان قابل اعتماد بودن نتایج حاصل از پردازش سرویس مکانی را بیان کرده و از طریق ارزیابی عملکرد روش درون‌یابی از آماره‌ی خطای جذر میانگین مربعاتی (RMSE^۴) به‌دست می‌آید که در رابطه‌ی ۲ نحوه محاسبه آن بیان شده است. در این رابطه، n تعداد مشاهدات، o مقادیر مشاهده شده و p مقدار برآورد شده می‌باشد [۳۳]. جهت ارزیابی روش درون‌یابی اجرا شده با استفاده از آماره‌ی مذکور، اغلب از روش اعتبارسنجی^۵ و یا اعتبارسنجی متقابل^۶ استفاده می‌شود. روش اعتبارسنجی در مواردی به‌کار می‌رود که نمونه‌ها تعداد و توزیع مناسب داشته باشند. در این پژوهش، به علت کم بودن تعداد ایستگاه‌ها، از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده شده است. در روش اعتبارسنجی متقابل، هر یک از نقاط نمونه در هر بار اعمال درون‌یابی حذف شده و مقدار برآورد شده در آن نقطه، با مقدار مشاهداتی آن از طریق آماره‌ها مقایسه می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2} \quad (2)$$

(۲) زمان: در سامانه‌های پایش آنی، با محدودیت‌ها و کنترل‌های اکید زمانی مواجه هستیم، به گونه‌ای که تمامی فعالیت‌ها و پردازش‌ها می‌بایست در زمانی کوتاه و قابل قبول انجام شوند [۱۴]. علاوه بر آن، پردازش‌های مکانی پیچیدگی بالایی داشته و فرایندهایی زمانبرند. شاخص زمان، زمان سپری شده از ارائه‌ی درخواست در سمت مخدوم تا تکمیل پردازش در خادم و ارسال پاسخ به مخدوم است (رابطه‌ی ۳).

$$T_{\text{ارسال پاسخ}} + T_{\text{پردازش}} + T_{\text{ارائه درخواست}} = T_{\text{شاخص}} \quad (3)$$

ارائه شود [۳۰]. بر اساس این معماری، پژوهش حاضر بر دو لایه‌ی بالایی (کاربرد و شبکه) اجرا گردیده و فرض شده در لایه‌ی درک، اطلاعات با دقت بالا از دنیای فیزیکی دریافت شده و در شبکه انتقال می‌یابد. در میان معماری‌های نرم‌افزاری موجود، معماری سرویس‌گرا و مدل REST^۱ در کاربری‌های مختلف IoT، به علت تمرکز بر سرویس‌ها و انعطاف‌پذیری بالا، بسیار مورد توجه بوده است [۹]. وب-سرویس‌های RESTful راه استاندارد را جهت ارتباط خادم و مخدوم در محیط وب فراهم می‌آورند [۳۱]. معماری سرویس‌گرا، زیرساخت همکنش‌پذیری را جهت انجام پردازش‌های مکانی توزیع‌یافته‌ی پیشرفته و سرویس‌های تعاملی فراهم می‌آورد. در SOA، مولفه‌های مستقل توزیع-یافته، سامانه‌ی نرم‌افزاری بزرگتری را تشکیل می‌دهند. این مولفه‌ها به منظور پاسخگویی به درخواست نرم‌افزارهای مخدوم طراحی شده‌اند. در تعاملات خادم-مخدوم، ابتدا مخدوم یک درخواست شامل ورودی‌های لازم را به خادم ارسال می‌کند. این درخواست در وب‌سرویس به عنوان مولفه‌ای در خادم تفسیر شده، پردازش‌های لازم بر آن انجام شده و خروجی مورد نظر ایجاد می‌گردد. سپس، این خروجی برای انجام پردازش‌های دیگر و یا بصری سازی به نرم‌افزار کاربردی مخدوم بازگردانده می‌شود [۳۲]. معماری مورد استفاده در این مطالعه نیز یک معماری سرویس‌گرا می‌باشد که با استفاده از مدل REST و قراردادهای HTTP^۲ پیاده‌سازی شده است. HTTP اساس تبادل اطلاعات در فضای وب است و در تعاملات بین خادم و مخدوم استفاده می‌شود. تبادل اطلاعات در این سامانه در قالب‌های داده‌ای XML، JSON^۳ و GeoJSON صورت می‌گیرد. پیاده شده است. شکل ۲ شمایی کلی از این روند را در سامانه پایشی مطالعاتی نمایش می‌دهد. داده‌ی خام این ایستگاه‌ها از طریق شبکه‌ی اینترنت، در یک پایگاه داده ذخیره شده و از این طریق قابل دسترسی می‌باشد. در این مطالعه جهت پیاده سازی سرویس‌های پردازش مکانی با وظیفه‌ی درون‌یابی، از خادم وب ArcGIS for Server 10.2 و پایگاه داده مکانی SQL Server 2012 Enterprise و در قسمت مخدوم از ArcGIS JS API 3.16 استفاده شده است. استانداردهای SWE، از طریق 52North SOS Server پیاده

^۴ Root Mean Squared Error

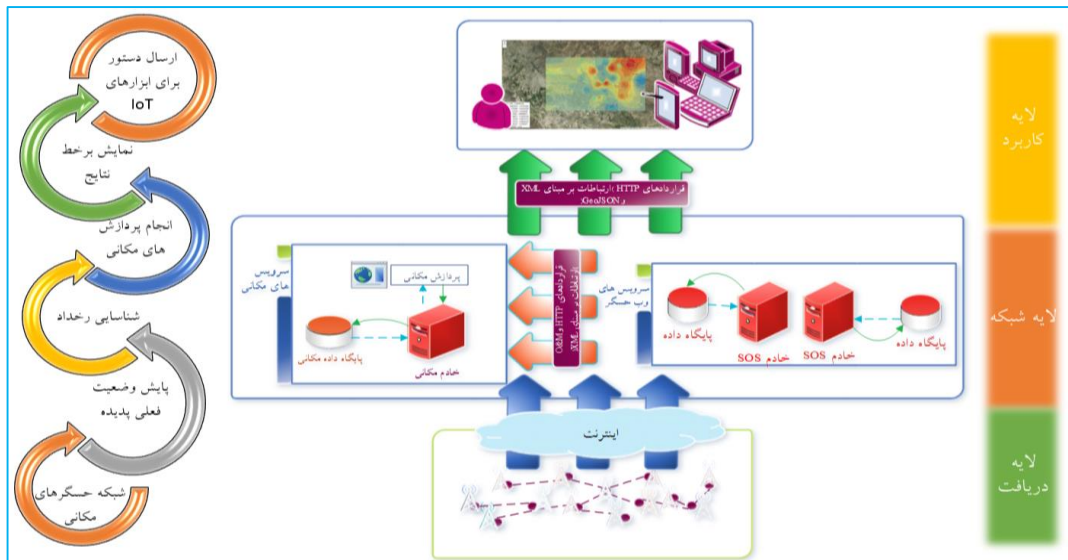
^۵ alidation

^۶ Cross-validation

^۱ Representational State Transfer

^۲ HyperText Transfer Protocol

^۳ JavaScript Object Notation



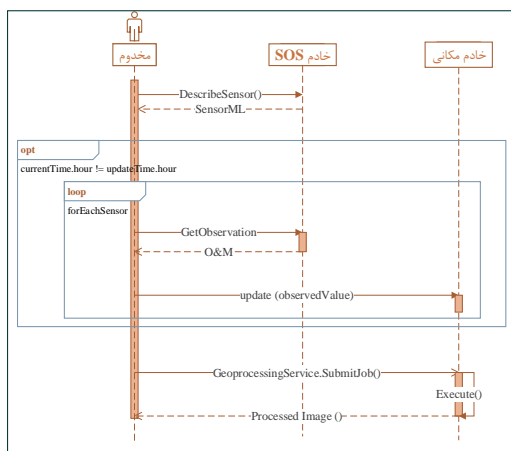
شکل ۲- معماری سامانه‌ی پایشی در محیط IoT و نمایی کلی از مراحل انجام کار

۳-۷- همبستگی بین پارامترها

در این پژوهش، رفتار کیفیت وب‌سرویس‌های درون‌یابی از طریق مطالعه‌ی میزان تاثیرپذیری شاخص‌های کیفی از شش پارامتر، انجام شد. نتایج حاصل از این تحلیل، مستقل از نوع داده‌ی سنجش شده بوده و می‌تواند در سایر شبکه‌های حسگری مورد استفاده قرار گیرد. از میان این شش پارامتر، چهار مورد مربوط به نحوه‌ی توزیع مکانی و ساختار شبکه بوده که شامل میانگین، حداقل و حداکثر فاصله‌ی بین حسگرهای مستقر در منطقه و همچنین تعداد آن‌ها (تعداد ایستگاه‌ها) می‌باشد. دو پارامتر دیگر میانگین و انحراف معیار داده‌ی سنجش شده‌ی حسگرها هستند که بیانگر ویژگی‌های آماری داده‌ی سنجش شده‌ی حسگرها می‌باشند. میزان تاثیرپذیری شاخص‌ها از پارامترهای مذکور، با کمک ضریب همبستگی پیرسون و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 انجام شد. مقادیر حاصل از همبستگی بین دو پارامتر، عددی بین +1 و -1 را اختیار می‌کند. هرچه مقدار همبستگی نزدیک به یک باشد، رابطه‌ی قوی مثبتی بین پارامترها حاکم است؛ یعنی، با افزایش یکی از پارامترها، پارامتر دیگری نیز افزایش می‌یابد. عکس این موضوع برای مقادیر همبستگی منفی نزدیک به -1 برقرار است که به معنی کاهش یکی از پارامترها همراه با افزایش پارامتر دیگری است. مقادیر همبستگی نزدیک صفر، بیانگر معنی‌دار نبودن رابطه‌ی بین پارامترها و یا وجود رابطه‌ی ضعیف بین آن‌ها است.

۴- یافته‌ها

معماری در نظر گرفته شده در شکل ۲ برای هر یک از چهار روش درون‌یابی مورد بررسی، پیاده شد. دیاگرام ترتیبی ارائه شده در شکل ۳، جریان کاری سامانه را در این معماری نمایش می‌دهد.



شکل ۳- جریان کاری سامانه

در هر ساعت، حسگرها سنجش خود را انجام می‌دهند و این مقدار جدید می‌بایست در پایگاه داده‌ی مکانی به‌هنگام شود. بدین ترتیب، اگر در ساعت جدید، به‌هنگام سازی در پایگاه داده‌ی مکانی رخ نداده باشد، ابتدا این روند برای مقادیر مشاهداتی هر حسگر صورت گرفته و سپس، پردازش مکانی بر داده‌ی به‌هنگام شده انجام می‌شود. عمل درون‌یابی به‌عنوان پردازش مکانی مورد مطالعه، به شیوه‌ی ناهم‌انگ^۱

^۱ Asynchronous


```

12 { "getObservationResponse":
13   { "id": "1",
14     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
15     "method": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
16     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
17     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
18     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
19     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
20     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
21     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
22     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
23     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
24     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
25     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
26     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
27     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
28     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
29     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
30     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
31     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
32     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
33     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
34     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
35     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
36     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
37     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
38     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
39     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
40     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
41     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
42     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
43     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
44     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
45     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
46     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
47     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
48     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
49     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
50     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
51     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
52     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
53     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
54     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
55     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
56     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
57     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
58     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
59     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
60     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
61     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
62     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
63     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
64     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
65     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
66     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
67     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
68     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
69     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
70     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
71     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
72     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
73     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
74     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
75     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
76     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
77     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
78     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
79     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
80     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
81     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
82     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
83     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
84     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
85     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
86     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
87     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
88     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
89     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
90     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
91     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
92     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
93     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
94     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
95     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
96     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
97     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
98     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
99     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
100    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2"
101  }
102 }

```

(ب)

شکل ۴- قسمتی از پاسخ دریافت شده از خادم SOS در مدل اطلاعاتی O&M (در قالب داده‌های الف) XML و (ب) JSON

زمان اجرای فرایند درخواست و پاسخ، طی اجراهای مختلف تفاوت‌های جزئی با هم دارند؛ بنابراین، به منظور رسیدن به جوابی قابل اعتماد در زمان اجرای فرایند، برای هر آلاینده در زمان مورد مطالعه و در هر سرویس مورد بررسی، فرایند ارائه‌ی درخواست از سمت مخدوم، انجام پردازش و ارسال نتیجه‌ی آن در قالب پاسخ توسط خادم، ۲۰ مرتبه تکرار شده و میانگین زمان حاصل از این اجراها، به‌عنوان زمان فرایند، ثبت شده است. اطلاعات مربوط به تعداد ایستگاه‌های فعال هر آلاینده در زمان مورد بررسی و آماره‌های میانگین و انحراف معیار داده‌ی اخذ شده از ایستگاه‌ها و همچنین نتایج حاصل از شاخص‌های در نظر گرفته شده بر مجموعه داده‌ی مورد مطالعه، در جدول ۱ ارائه شده است.

صورت می‌پذیرد. بدین معنی که مخدوم ارسال کننده‌ی درخواست، تا زمان خاتمه‌ی پردازش و ارسال پاسخ از جانب خادم مکانی، منتظر نمی‌ماند و تعاملات آن با سایر اشیاء در یک محیط شیء‌گرا متوقف نمی‌شود. نتایج درون‌یابی مکانی در قالب یک تصویر برگردانده می‌شود و در سمت کاربر از طریق واسط کاربری، قابل رؤیت است. شکل ۴-الف قسمتی از پاسخ دریافت شده از خادم SOS، به عملگر GetObservation را در قالب O&M نمایش می‌دهد. این پاسخ که مربوط به ایستگاه شکوفه بوده، در قالب XML ارسال می‌شود. پس از آن، جهت داشتن تعاملات بهینه با خادم SOS، این پاسخ‌ها به JSON تبدیل می‌شوند. قالب استاندارد باز متنی است که نسبت به XML سبک‌تر بوده و در بسیاری از تعاملات خادم/مخدوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۴-ب بخشی از O&M دریافت شده را که به قالب داده‌ای JSON تبدیل شده، نمایش می‌دهد.

```

1 { "getObservationResponse":
2   { "id": "1",
3     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
4     "method": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
5     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
6     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
7     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
8     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
9     "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
10    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
11    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
12    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
13    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
14    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
15    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
16    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
17    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
18    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
19    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
20    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
21    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
22    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
23    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
24    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
25    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
26    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
27    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
28    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
29    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
30    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
31    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
32    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
33    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
34    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
35    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
36    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
37    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
38    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
39    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
40    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
41    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
42    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
43    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
44    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
45    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
46    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
47    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
48    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
49    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
50    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
51    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
52    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
53    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
54    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
55    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
56    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
57    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
58    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
59    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
60    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
61    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
62    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
63    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
64    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
65    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
66    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
67    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
68    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
69    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
70    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
71    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
72    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
73    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
74    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
75    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
76    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
77    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
78    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
79    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
80    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
81    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
82    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
83    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
84    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
85    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
86    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
87    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
88    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
89    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
90    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
91    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
92    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
93    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
94    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
95    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
96    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
97    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
98    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
99    "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2",
100   "url": "http://www.epgis.net/epgis2_2"
101 }

```

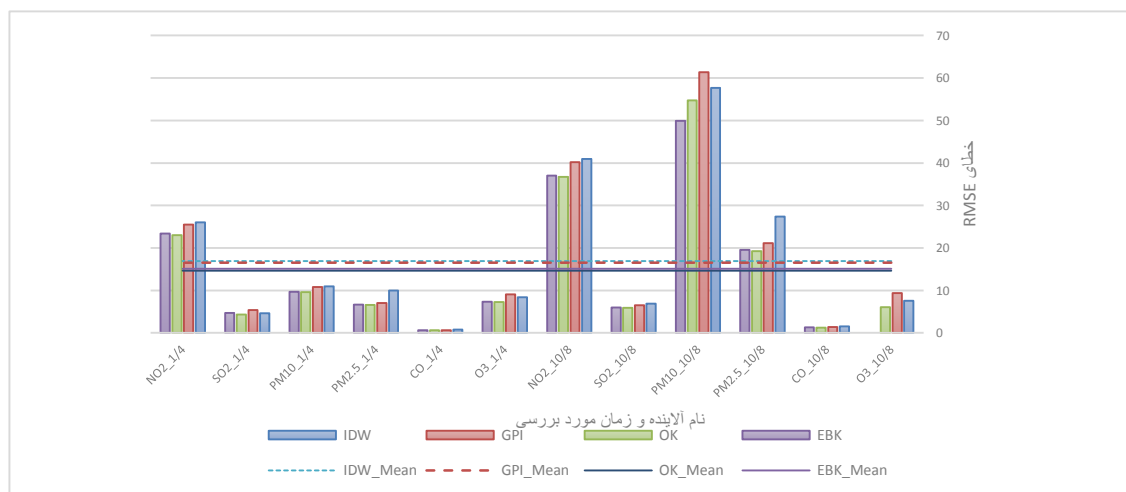
(الف)

جدول ۱- ویژگی‌های آماری داده سنجش شده حسگرها (در دو روز ۸ دی و ۴ فروردین) و نتایج حاصل از عملکرد سرویس‌های درون‌یابی مورد مطالعه

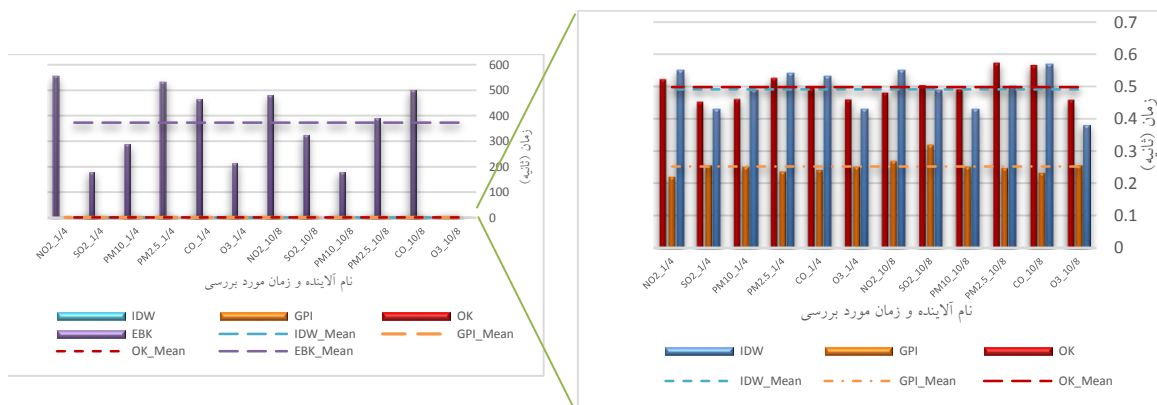
آلاینده	NO2_۱/۴	SO2_۱/۴	PM10_۱/۴	PM2.5_۱/۴	CO_۱/۴	O3_۱/۴	NO2_۱۰/۸	SO2_۱۰/۸	PM10_۱۰/۸	PM2.5_۱۰/۸	CO_۱۰/۸	O3_۱۰/۸	تعداد ایستگاه
میانگین	۴۱/۰۶	۱۱/۵۸	۱۶/۰۸	۹/۶۸	۲/۰۶	۲۰/۸۴	۶۶/۷۳	۱۹/۹۶	۱۴۱/۰۹	۷۹/۸۸	۳/۵۳	۱۴/۸۵	۷
انحراف معیار	۲۳/۶۶	۴/۵۵	۹/۸۸	۶/۷۲	۰/۶۱	۷/۴۸	۳۷/۹۷	۶/۱۰	۵۰/۷۶	۱۹/۷۳	۱/۲۳	۶/۵۴	۲۳/۶۶
RMSE	۲۶/۰۴	۴/۶۲	۱۰/۹۴	۱۰/۰۱	۰/۷۸	۸/۴۱	۴۰/۹۳	۶/۹۰	۵۷/۶۴	۲۷/۳۷	۱/۵۰	۷/۶۰	۲۶/۰۴
زمان (ثانیه)	۰/۵۵	۰/۴۳	۰/۴۹	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۴۳	۰/۵۵	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۵۰	۰/۵۷	۰/۳۸	IDW
RMSE	۲۵/۴۷	۵/۳۸	۱۰/۸۱	۷/۰۵	۰/۶۵	۹/۱۰	۴۰/۱۶	۶/۵۱	۶۱/۳۶	۲۱/۱۵	۱/۳۹	۹/۳۶	GPI
زمان (ثانیه)	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۵	GPI
RMSE	۲۳/۰۳	۴/۳۶	۹/۶۲	۶/۵۹	۰/۶۰	۷/۲۳	۳۶/۷۴	۵/۸۸	۵۴/۷۲	۱۹/۲۷	۱/۲۷	۶/۰۵	OK
زمان (ثانیه)	۰/۵۲	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۴۹	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۴۶	OK
RMSE	۲۳/۴۰	۴/۷۱	۹/۶۹	۶/۶۷	۰/۶۱	۷/۳۶	۳۷	۵/۹۹	۴۹/۹۴	۱۹/۵۲	۱/۲۸	-	EBK
زمان (ثانیه)	۵۵۴/۴۰	۱۷۹/۱۰	۲۸۶/۹۰	۵۳۳/۳۰	۴۶۴/۴۰	۲۱۲/۷۰	۴۷۸/۸۰	۳۲۱/۹۰	۱۷۸/۳۰	۳۸۸/۶۰	۵۰۱/۷۰	-	EBK

زمین آمار (OK و EBK) با هم و روش‌های قطعی (GPI و IDW) با هم شباهت بیشتری دارند. با توجه به شاخص زمان، اجرای فرایند وب‌سرویس EBK نسبت به سایر روش‌ها بسیار زمانبرتر بوده و به‌طور متوسط ۶ دقیقه و ۲۱ ثانیه به طول انجامید. این در حالی است که سایر روش‌ها در کسری از ثانیه فرایند ارائه‌ی درخواست تا ارسال پاسخ خادم را طی کردند. همچنین روش EBK بر شبکه‌های کوچک با تعداد حسگر کم عمل نمی‌کند. این موضوع نیز در مورد آلاینده O_3 در روز ۸ دی مشهود است. در بین تمام روش‌ها، GPI کمترین زمان را در اجرای فرایند دارا بود (شکل ۵).

به‌منظور مقایسه‌ی بصری رفتار سرویس‌های مختلف بر شبکه‌ی پیش، از نقطه نظر شاخص‌های کیفی در نظر گرفته شده، نمودارهای مربوط به آن‌ها رسم شده است (شکل ۵ و شکل ۶). در این نمودارها، میانگین مقادیر شاخص‌ها در سرویس‌های مختلف، به صورت خط‌چین نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، RMSE برای آلاینده‌های NO_2 و PM_{10} در روز ۸ دی و NO_2 در روز ۴ فروردین بیشترین مقدار را داشت. آلاینده CO همواره کمترین مقدار RMSE را به خود اختصاص داد و به‌طور متوسط روش OK کمترین و روش IDW بیشترین مقدار RMSE را دارا بودند. با توجه به شکل ۵ نیز می‌توان دریافت که خطای حاصل از روش‌های



شکل ۵- خطای حاصل از درون‌یابی روش‌های مختلف (شاخص اعتمادپذیری)



شکل ۶- زمان ارائه‌ی درخواست از سمت مخدوم تا ارسال پاسخ از سمت خادم (شاخص زمان)

اطمینان ۹۹٪ در تمامی روش‌ها، شاخص مذکور به‌طور مستقیم تحت اثر میانگین و انحراف معیار داده بود. تعداد ایستگاه‌ها، اثر منفی قابل اغماضی بر شاخص اعتمادپذیری داشت. این پارامتر بیشترین اثر خود را بر روش EBK

جدول ۲، ضریب همبستگی پیرسون بین خطای RMSE و پارامترهای مربوط به توزیع مکانی شبکه و ویژگی‌های آماری داده‌ی سنجش‌شده‌ی ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. طبق این جدول، با ضریب همبستگی بالای ۰/۹ و سطح

با فاصله، حداکثر فاصله‌ی بین ایستگاه‌ها، به‌طور متوسط بیشترین اثر را بر خطای روش‌ها داشته؛ اما، روش EBK رابطه‌ی مثبت قوی با حداقل فاصله‌ی بین ایستگاه‌ها داشت (ضریب همبستگی ۰/۷۲ در سطح اطمینان ۰/۹۵).

داشت. سایر پارامترهای مرتبط با توزیع مکانی ایستگاه‌ها نیز رابطه‌ی مثبت کمی با شاخص اعتمادپذیری داشتند. در میان روش‌ها، مقدار EBK بیشترین رابطه را با پارامترهای توزیع مکانی داشت. در بین پارامترهای مرتبط

جدول ۲- نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین خطای RMSE و آماره‌های کمی داده اخذ شده و توزیع مکانی ایستگاه‌ها

نام روش	پارامتر	تعداد ایستگاه	میانگین	انحراف معیار	میانگین فاصله	حداکثر فاصله	حداقل فاصله
IDW	۰/۰۲	۰/۹۶**	۰/۹۹**	۰/۱۳	۰/۳۶	۰/۲۴	
GPI	۰/۰۹	۰/۹۵**	۱/۰۰**	۰/۱۷	۰/۴۰	۰/۲۹	
OK	۰/۰۵	۰/۹۴**	۱/۰۰**	۰/۱۴	۰/۳۹	۰/۲۵	
EBK	۰/۱۵	۰/۹۳**	۱/۰۰**	۰/۳۶	۰/۴۶	۰/۷۲*	

* همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۵ (دو دامنه)

** همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۱ (دو دامنه)

رابطه‌ی مثبت ضعیفی داشته که بیشترین مقدار ضریب همبستگی برابر ۰/۳۸ در روش EBK بوده است. روش IDW بیشترین همبستگی را با حداقل فاصله‌ی بین ایستگاه‌ها داشته ($r = 0/65$ در سطح اطمینان ۰/۹۵) و OK و EBK رابطه‌ی منفی ضعیفی با این پارامتر داشتند.

نتایج حاصل از اجرای سرویس‌های پردازش مکانی مورد مطالعه، به صورت تصویری در سمت مخدوم نمایش داده می‌شود. به منظور درک بصری بهتر از خروجی روش‌های مختلف، خروجی سرویس‌ها برای دو آلاینده CO و PM_{2.5} مربوط به مجموعه داده‌ی دیماه، در شکل ۷ نمایش داده شد. همانطور که از نتایج ارزیابی بر می‌آید، آلاینده CO کمترین RMSE را بین روش‌ها داشته و خروجی حاصل از آن به لحاظ اعتمادپذیری، از سطح بالایی برخوردار بود. آلاینده PM_{2.5} تغییر پذیری مکانی بسیاری داشته و روش‌های درون-یابی بر آن دقت مناسبی را نداشتند؛ اما، این آلاینده از مهم-ترین عوامل آلودگی هوای شهر تهران است. بدین جهت خروجی این دو آلاینده جهت نمایش انتخاب شده‌اند.

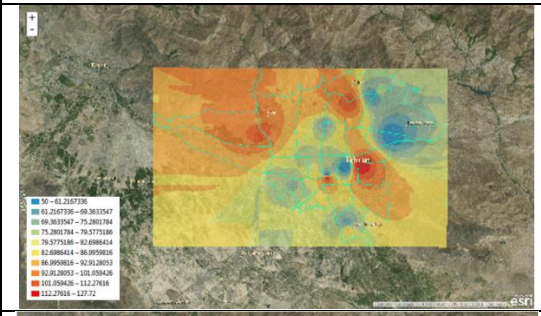
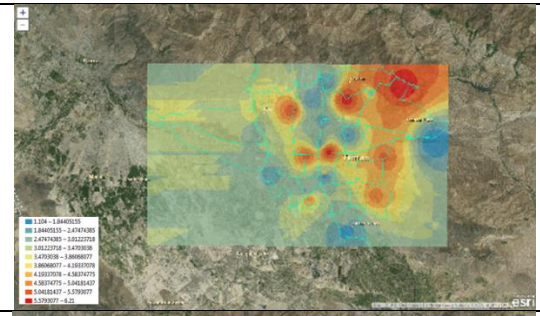
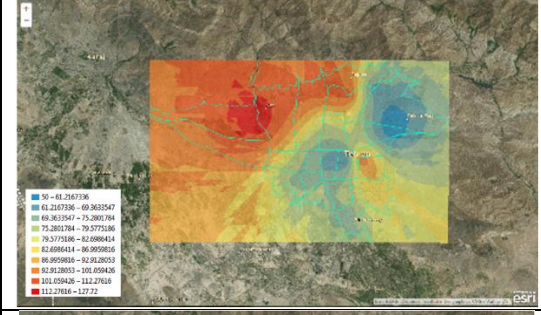
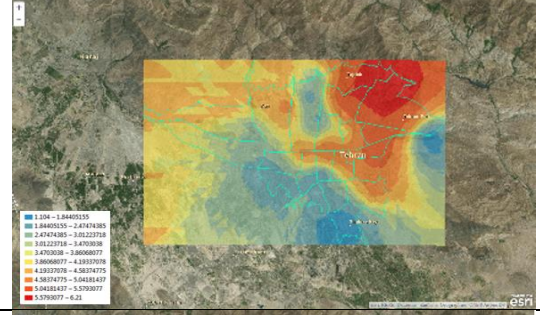
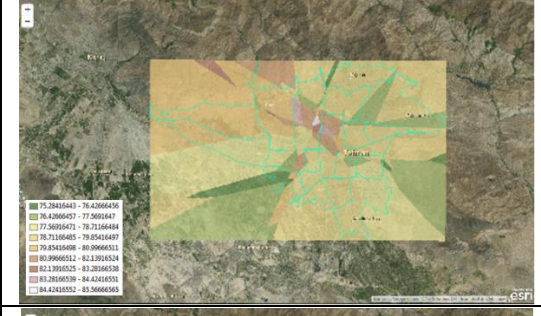
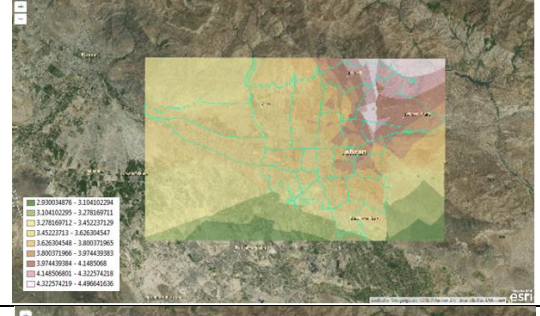
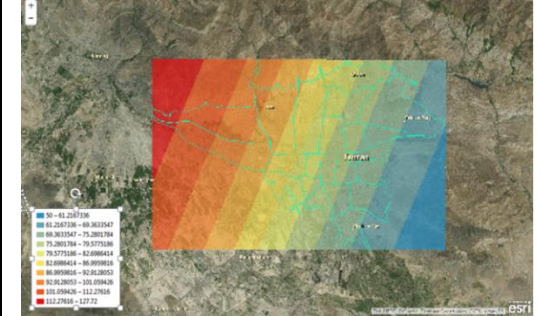
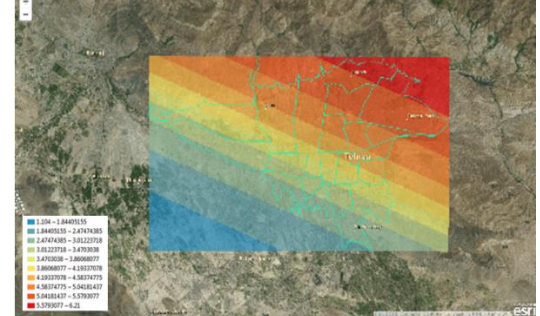
جهت بررسی رفتار سرویس‌ها با شاخص زمان، نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین این شاخص و شش پارامتر مورد بررسی در جدول شماره ۳ ارائه شده است. بر اساس این نتایج، روش‌های IDW و EBK با ضریب همبستگی ۰/۹۹ و ۰/۹۷ در سطح اطمینان ۰/۹۹ رابطه‌ی بسیار قوی مثبتی با تعداد ایستگاه‌ها داشتند. همچنین روش OK نیز با ضریب همبستگی ۰/۶۶ در سطح اطمینان ۰/۹۵ رابطه‌ی مثبتی با این پارامتر داشت. پارامتر میانگین داده با دو روش GPI و OK رابطه‌ی مثبت بسیار ضعیف و با دو روش IDW و EBK رابطه‌ی منفی بسیار ضعیفی داشت. بیشترین اثر این پارامتر بر روش EBK ($r = -0/28$) بود. پارامتر انحراف معیار نیز اثر بسیار ناچیزی بر شاخص زمان داشته، به‌طوری‌که ضریب همبستگی بین این پارامتر و دو روش GPI و OK برابر صفر بوده است. در بین پارامترهای مرتبط با فاصله‌ی مکانی حسگرها، میانگین فاصله با روش EBK رابطه‌ی مثبت ضعیف و با سایر روش‌ها رابطه‌ی منفی ضعیف و پارامتر حداکثر فاصله با تمامی سرویس‌ها

جدول ۳- نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین زمان ارائه‌ی درخواست از مخدوم تا ارسال پاسخ خادم و آماره‌های کمی داده اخذ شده و توزیع مکانی ایستگاه‌ها

نام روش	پارامتر	تعداد ایستگاه	میانگین	انحراف معیار	میانگین فاصله	حداکثر فاصله	حداقل فاصله
IDW	۰/۹۹**	۰/۱۶	-۰/۰۳	-۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۶۵*	
GPI	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۰۰	-۰/۲۹	۰/۱۰	۰/۰۳	
OK	۰/۶۶*	۰/۱۳	۰/۰۰	-۰/۱۲	۰/۱۴	-۰/۳۷	
EBK	۰/۹۷**	-۰/۲۸	-۰/۱۴	۰/۳۲	۰/۳۸	-۰/۳۳	

* همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۵ (دو دامنه)

** همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۱ (دو دامنه)

PM2.5	CO	آلاینده روش
		IDW
		EBK
		OK
		GPI

۵- بحث و نتیجه‌گیری

شبکه‌های حسگری و منابع اطلاعاتی مختلف است، در این پژوهش با بهره‌گیری از پردازش‌ها س مکانی و با کمک استانداردهای وب‌حسگری OGC SWE، سناریویی جهت اعمال مفاهیم اینترنت اشیا در پایش آلودگی هوا دنبال شد. همچنین دو شاخص اعتمادپذیری و زمان جهت ارزیابی کیفیت وب‌سرویس‌های مکانی ارائه گردید. این شاخص‌ها، بر چهار سرویس درون‌یابی شامل روش‌های OK، IDW، GPI و EBK مورد ارزیابی قرار گرفتند. شبکه‌ی حسگری مورد بررسی، شبکه‌ی پایش آلودگی هوای شهر تهران بود. از بین وب‌سرویس‌های مطالعه‌شده، سرویس‌هایی که از روش‌های

رشد روزافزون فناوری طراحی و ساخت حسگرها، که آن‌ها را ارزان‌تر و کوچک‌تر و باصرفه‌تر از لحاظ مصرف انرژی نموده، و همچنین توسعه‌ی فناوری‌های ارتباطی، راه را برای پایش بسیاری از پدیده‌های محیطی نظیر غلظت آلاینده‌های جوی (آلودگی هوا)، هموارتر ساخته است. پایش برخط و آنی غلظت این آلاینده‌ها، جهت کنترل فعالیت منابع تولیدکننده- ی آن‌ها ضروری بوده و همچنین می‌تواند موجب کاهش آسیب‌های ناشی از استنشام آن‌ها بر سلامت جامعه شود. با توجه به آنکه پایش آلودگی هوا نیازمند جمع‌آوری اطلاعات از

ویژگی‌های آماری داده‌ی سنجش شده‌ی آن، در انتخاب سرویس درون‌یابی بهینه می‌تواند بسیار سودمند واقع شود. با در نظر گرفتن نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت سرویس‌های مختلف، آلاینده CO از نظر شاخص اعتمادپذیری در بالاترین سطح قرار داشته است. علت این موضوع را می‌توان در تغییر پذیری مکانی کم این آلاینده جستجو کرد. در یک بررسی کلی، روش‌های مختلف درون‌یابی در روز پاک بهتر عمل کرده و خطای کمتری را نسبت به روز ناسالم دارند. علت این امر نیز تغییرپذیری مکانی بالای آلاینده‌ها در روزهای ناسالم و تراکم نامناسب ایستگاه‌ها است. وضعیت کیفیت هوای شهر تهران، اغلب در نیمه‌ی دوم سال در شرایط بحرانی و آلوده قرار می‌گیرد. با توجه به شرایط جغرافیایی خاص شهر، ترافیک و پدیده‌ی وارونگی در فصل سرما که موجب به دام افتادن آلاینده‌ها در نزدیک سطح زمین می‌شوند، بعضی مناطق شهری بیشتر مستعد افزایش غلظت آلاینده‌ها می‌باشند. از این‌رو، در روزهای ناسالم غلظت آلاینده‌ها در برخی مناطق بیشتر بوده و این موضوع موجب افزایش تغییرپذیری مکانی آلاینده‌ها و در نتیجه افزایش انحراف معیار و میانگین آن‌ها می‌شود که بنابر نتایج، به‌شدت شاخص اعتمادپذیری را تحت تاثیر قرار می‌دهند. پارامترهای توزیع مکانی بررسی شده در این پژوهش، بر روش‌های خانواده کریجینگ (OK و EBK) تاثیر بیشتری داشته که علت آن را می‌توان استفاده از روش‌های زمین‌آمار دانست. در سایر روش‌ها، مشاهدات مستقل از هم فرض می‌شوند و بین آن‌ها همبستگی در نظر گرفته نمی‌شود. در صورتیکه در روش‌های کریجینگ خودهمبستگی مکانی بین مشاهدات، به‌صورت تابعی از فاصله مدل می‌شود. در شبکه‌هایی که حسگرهای آن‌ها متناسب با پدیده مورد بررسی، از توزیع مکانی خوبی برخوردار بوده، استفاده از روش IDW نیز می‌تواند مفید باشد. توزیع نامناسب ایستگاه‌های موجود و تعداد کم آن‌ها از محدودیت‌های این مطالعه بود. این خطا، بر آلاینده‌هایی نظیر PM_{10} و NO_2 که نرخ تغییرات زمانی و مکانی بالایی دارند، امری غیرقابل چشم‌پوشی است. برای حل این موضوع پیشنهاد می‌شود در فعالیت‌های آتی، از داده‌ی کمکی برای درون‌یابی استفاده شود. همچنین استفاده از سایر استانداردهای SWE، نظیر SPS^۱ جهت اعمال وظیفه به حسگرها و یا SES^۲ به‌منظور ارسال اعلان وضعیت فعلی غلظت آلاینده مورد نظر به کاربران جهت تصمیمات

^۱ Sensor Planning Service
^۲ Sensor Event Service

زمین‌آمار بهره می‌برند، سطح بهتری را از آلاینده‌های مختلف تقریب زدند و در بین روش‌های زمین‌آمار، کریجینگ عادی (OK) عملکرد بهتری را نسبت به روش کریجینگ بی‌زین تجربی (EBK) داشت. از نظر شاخص زمان روش EBK عملکرد ضعیفی داشته و زمان ارائه‌ی درخواست از سمت مخدوم تا تکمیل پردازش و ارسال پاسخ آن از سمت خادم چندین دقیقه به طول انجامید. بنابراین در امور پایشی که نیاز به آگاهی از وضعیت کنونی آلاینده‌ها در حداقل زمان ممکن است، استفاده از این سرویس توصیه نمی‌گردد. سایر سرویس‌ها در کسری از ثانیه به انجام رسیدند؛ بنابراین، شاخص زمان در انتخاب این سرویس‌ها در شبکه‌ی مورد مطالعه نقش چندانی ندارد.

شبکه‌ی پایش آلودگی هوای مورد بررسی، به علت تنوع ویژگی‌های آماری مقادیر سنجش شده و همچنین تعداد متفاوت حسگرهای سنجش‌کننده برای هر آلاینده و در زمان‌های مختلف، جهت بررسی مطالعه‌ی رفتار کیفی سرویس‌ها مناسب بود. جهت تعمیم نتایج حاصل به شبکه‌هایی که سایر پدیده‌های محیطی را پایش می‌کنند، میزان تاثیر شش پارامتر بر نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت وب‌سرویس‌ها بررسی گردید. در مطالعه‌ی تاثیر این پارامترها، که بیانگر توزیع مکانی و ساختار شبکه‌ها و نیز ویژگی‌های آماری داده‌ی سنجش شده‌ی حسگرها بودند، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج حاصل حاکی از وجود رابطه‌ی مثبت قوی شاخص زمان با تعداد حسگرها بود که در شبکه‌هایی با تعداد حسگرهای زیاد حائز اهمیت خواهد بود. در مقابل، ویژگی‌های آماری داده‌های سنجش شده شامل میانگین و انحراف معیار، در خطای حاصل از روش درون‌یابی، و یا شاخص اعتمادپذیری، بسیار موثرند. برای رفع این خطا در سنجش پدیده‌ای که تغییرپذیری مکانی بالایی دارد، افزایش تعداد حسگرها با توزیع مکانی مناسب جهت کاهش انحراف معیار لازم است. علی‌رغم عملکرد نسبتاً خوب روش GPI در ارزیابی صورت گرفته، سطح حاصل از اعمال این روش، اطلاعات کافی را در مورد وضعیت فعلی پدیده مورد بررسی در اختیار قرار نداده و صرفاً الگوی کلی تغییرات آن را نمایش می‌دهد. این اطلاعات در قالب آگاهی از مکان‌هایی با مقدار بیشینه و یا کمینه محلی، با استفاده از روش IDW و یا EBK بهتر به‌دست می‌آیند. نتایج حاصل شده، مستقل از نوع داده‌ی سنجش شده بوده و در هر شبکه‌ای قابل استفاده است. به عبارت دیگر، نتایج ضریب همبستگی پیرسون، با در نظر گرفتن ساختار شبکه مورد نظر و

صحیح و به‌موقع و یا سایر مولفه‌های حاضر در محیط اینترنت اشیا، می‌تواند بسیار مفید باشد.

جهت در اختیار گذاشتن داده‌ی خام سنجش شده توسط ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا، سپاسگزاری و قدردانی می‌گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از سازمان حفاظت محیط زیست استان تهران و همچنین شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، به

مراجع

- [1] Gil, D., Ferrández, A., Mora-Mora, H., and Peral, J. (2016). "Internet of Things: A Review of Surveys Based on Context Aware Intelligent Services". *Sensors*, 16, 7, 1069-1092.
- [2] Jazayeri, M. A., Liang, S. H., & Huang, C.-Y. (2015). "Implementation and Evaluation of Four Interoperable Open Standards for the Internet of Things". *Sensors*, 15, 9, 24343-24373.
- [3] Habibi, R., & Alesheikh, A. (2015). "Incorporation of Geosensor Networks Into Internet of Things for Environmental Monitoring". *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(1), 259-261.
- [4] Alamdar, F., Kalantari, M., & Rajabifard, A. (2016). "Towards multi-agency sensor information integration for disaster management". *Computers, Environment and Urban Systems*, 56, 68-85.
- [5] Li, L., Qian, J., Ou, C.-Q., Zhou, Y.-X., Guo, C., & Guo, Y. (2014). "Spatial and temporal analysis of Air Pollution Index and its timescale-dependent relationship with meteorological factors in Guangzhou, China, 2001–2011". *Environmental Pollution*, 190, 75-81.
- [6] Ma, T., Zhou, C., Pei, T., Haynie, S., & Fan, J. (2012). "Quantitative estimation of urbanization dynamics using time series of DMSP/OLS nighttime light data: A comparative case study from China's cities". *Remote Sensing of Environment*, 124, 99-107.
- [7] Vafa-Arani, H., Jahani, S., Dashti, H., Heydari, J., & Moazen, S. (2014). "A system dynamics modeling for urban air pollution: A case study of Tehran, Iran". *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, 21-36.
- [8] Kussul, N., Shelestov, A., & Skakun, S. (2009). "Grid and sensor web technologies for environmental monitoring". *Earth Science Informatics*, 2(1-2), 37-51.
- [9] Whitmore, A., Agarwal, A., & Da Xu, L. (2015). "The Internet of Things—A survey of topics and trends". *Information Systems Frontiers*, 17(2), 261-274.
- [10] Stankovic, J. A. (2014). "Research directions for the internet of things". *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 3-9
- [11] Barakat, L., Miles, S., Poernomo, I., & Luck, M. (2011). "Efficient multi-granularity service composition". *Proc. IEEE International Conference on the Web Services (ICWS)*, 2011.
- [12] Granell, C., Havlik, D., Schade, S., Sabeur, Z., Delaney, C., Pielorz, J., . . . Kobernus, M. (2016). "Future Internet technologies for environmental applications". *Environmental Modelling & Software*, 78, 1-15.
- [13] Fang, S., Xu, L., Zhu, Y., Liu, Y., Liu, Z., Pei, H., . . . Zhang, H. (2015). "An integrated information system for snowmelt flood early-warning based on internet of things". *Information Systems Frontiers*, 17,2, 321-335.
- [14] Gong, J., Geng, J., & Chen, Z. (2015). "Real-time GIS data model and sensor web service platform for environmental data management". *International Journal of Health Geographics*, 14(1), 1-13.
- [15] Atabi, F., Moattar, F., Mansouri, N., Alesheikh, A., & Mirzahosseini, S. (2013). "Assessment of variations in benzene concentration produced from vehicles and gas stations in Tehran using GIS". *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10,2 , 283-294.
- [16] Xie, Y., Chen, T.-b., Lei, M., Yang, J., Guo, Q.-j., Song, B., & Zhou, X.-y. (2011). "Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation methods: accuracy and uncertainty analysis". *Chemosphere*, 82, 3, 468-476.
- [17] Wagner, P .D., Fiener, P., Wilken, F., Kumar, S., & Schneider, K. (2012). "Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions". *Journal of Hydrology*, 464, 388-400.

- [18] de Amorim Borges, P., Franke, J., da Anunciação, Y. M. T., Weiss, H., & Bernhofer, C. (2016). "Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of precipitation distribution in Distrito Federal, Brazil". *Theoretical and applied climatology*, 123,1-2 , 335-348.
- [19] Yang, P., Cao, Y., & Evans, J. (2007). "Web map server performance and client design principles". *GIScience & Remote Sensing*, 44(4), 320-333.
- [20] Poorazizi, M. E., Liang, S. H., & Hunter, A. J. (2012). "Testing of sensor observation services: a performance evaluation". *Proc. of the First ACM SIGSPATIAL Workshop on Sensor Web Enablement*.
- [21] SCI .(2011) .Census Results of 2011. Retrieved 2016/5/2, from www.amar.org.ir.
- [22] Brovelli, M. A., Zamboni, G., & Muñoz, C. A. (2015). "From paper maps to the Digital Earth and the Internet of Places". *Rendiconti Lincei*, 26(1), 97-103.
- [23] Stasch, C., Foerster, T., Autermann, C., & Pebesma, E. (2012). "Spatio-temporal aggregation of European air quality observations in the Sensor Web". *Computers & Geosciences*, 47, 111-118.
- [24] Chen, Z., & Chen, N. (2015). "Provenance Information Representation and Tracking for Remote Sensing Observations in a Sensor Web Enabled Environment". *Remote Sensing*, 7, 6, 7646-7670.
- [25] Di, L., Moe, K., & van Zyl, T. L. (2010). "Earth observation sensor web: An overview". *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(4), 415-417.
- [26] Bröring, A., Echterhoff, J., Jirka, S., Simonis, I., Everding, T., Stasch, C., . . . Lemmens, R. (2011). "New generation sensor web enablement". *Sensors*, 11, 3, 2652-2699.
- [27] Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS geostatistical analyst (Vol. 380)*: Esri Redlands.
- [28] Chen, F.-W., & Liu, C.-W. (2012). "Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan". *Paddy and Water Environment*, 10, 3, 209-222.
- [29] Krivoruchko, K. (2012). "Empirical Bayesian Kriging: Implemented in ArcGIS Geostatistical Analyst". ESRI.
- [30] Tsai, C.-W., Lai, C.-F., & Vasilakos, A. V. (2014). "Future Internet of Things: open issues and challenges". *Wireless Networks*, 20, 8, 2201-2217.
- [31] Yue, P., Baumann, P., Bugbee, K., & Jiang, L. (2015). *Towards intelligent GIServices*. *Earth Science Informatics*, 8, 3, 463-481.
- [32] Castronova, A. M., Goodall, J. L., & Elag, M. M. (2013). "Models as web services using the open geospatial consortium (ogc) web processing service (wps) standard". *Environmental Modelling & Software*, 41, 72-83.
- [33] Li, J., & Heap, A. D. (2011). "A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors". *Ecological Informatics*, 6, 3, 228-241.