بررسی نقش GIS فراگستر در مدیریت زیرساخت‌های زیرزمینی شهری

مینا کریمی*[۱]، ابوالقاسم صادقی نیارکی[۲]، علی حسینی نوه احمدآبادیان[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
minakarimi@email.kntu.ac.ir

[۲] استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
a.sadeghi@kntu.ac.ir
hosseininaveh@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۳۹۵، تاریخ تصویب آبان ۱۳۹۵)

چکیده

زیرساخت‌های شهری یکی از حوزه‌های اساسی در کشورهای مختلف است و رشد یک جامعه تا حد زیادی به مدیریت مناسب آن‌ها وابسته است. ازاین‌رو پایش، کنترل، برنامه‌ریزی و مدیریت هرچه بهتر این زیرساخت‌ها ضروری است. به‌عنوان نمونه به دلیل بروز مشکلات و خسارت‌های مالی و جانی فراوان در تشخیص اشتباه مکان تأسیسات نظیر مکان لوله‌ها، بررسی آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. رایانش فراگستر و پیشرفت‌های نوین درزمینه سیستم اطلاعات مکانی (GIS) می‌تواند به‌عنوان راه‌حلی برای این قبیل مشکلات، به مدیران و تصمیم گیران کمک کند. هدف این مقاله بررسی نقش GIS فراگستر در مدیریت زیرساخت‌های زیرزمینی شهری است. در این مقاله انواع فناوری‌های به‌کاررفته شده در حوزه زیرساخت‌های شهری با کمک رایانش فراگستر در سه دسته زیرساخت‌ها، حسگرها و سرویس‌ها بیان شده است. با مقایسه میان فناوری‌های موجود در تعیین موقعیت تأسیسات زیرزمینی، می‌توان نتیجه گرفت به‌کارگیری RFID بهتر از روش‌های پیشین است. هم‌چنین بین روش‌های بصری‌سازی و بازدید در محل این زیرساخت‌ها مقایسه‌ای صورت گرفت که این مقایسه نشان می‌دهد روش واقعیت افزوده در این کاربرد بسیار مناسب‌تر از روش GIS همراه است.

واژگان کلیدی: مدیریت شهری، زیرساخت شهری، رایانش فراگستر، فناوری

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

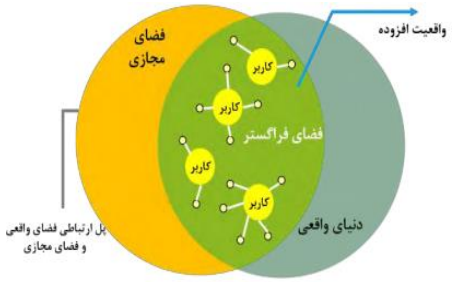
زیرساخت‌های شهری به‌عنوان یکی از حوزه‌های اساسی در کشورهای مختلف است و رشد یک جامعه تا حد زیادی به مدیریت مناسب آن‌ها وابسته است [۱]. ازاین‌رو تلاش برای پایش، کنترل، برنامه‌ریزی و مدیریت هرچه بهتر این زیرساخت‌ها ضروری است. هم‌چنین به دلیل بروز مشکلات و خسارات مالی و جانی فراوان در تشخیص اشتباه مکان تأسیسات شهری ازجمله مکان لوله‌های آب، گاز و غیره، بررسی آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد [۲]. مدیران و تصمیم گیران در این زمینه سعی دارند با بهره‌گیری از جنبه‌های مختلف فضای علمی به راه‌حل‌های بهتری برای تحقق اهداف خود برسند. پیشرفت در دنیای فناوری اطلاعات و فناوری‌های مرتبط با رایانش فراگستر [۳] نظیر واقعیت افزوده، اینترنت اشیاء و شبکه حسگر فراگستر، GIS را به سمت GIS فراگستر سوق داده است و سبب ورود این نسل جدید GIS به حوزه مدیریت شهری شده است. پایش وضعیت این زیرساخت‌ها به سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و تصمیم گیران اطلاعات موردنیاز را درباره وضعیت فعلی آن‌ها می‌دهد و GIS ابزار اساسی جهت تجزیه‌وتحلیل علمی این وضعیت است [۴] بنابراین GIS به‌منظور ذخیره‌سازی و سازمان‌دهی اطلاعات مرتبط با زیرساخت‌ها موردنیاز است [۵].

شرکت‌های مسئول زیرساخت‌های زیرزمینی شهری شامل زیرساخت برق، گاز، آب و فاضلاب، مخابرات و انرژی، برای مدیریت زیرساخت‌های خود به GIS وابسته‌اند [۶]. با پیشرفت علم و فناوری، مدیریت این زیرساخت‌ها به سمت خودکارسازی بیش‌تر سوق پیدا کرده است. وقتی یک حادثه در سیستم‌های تأسیسات اتفاق بیفتد، زندگی میلیون‌ها نفر تحت تأثیر قرار می‌گیرد و ممکن است باعث حوادث ثانویه شود [۷]. این سیستم‌ها همچنین با حوادث طبیعی مثل سیل، زلزله، طوفان و سونامی تخریب می‌شوند. زلزله به‌عنوان بیشترین حادثه مخربی است که سبب قطعی در سیستم‌های تأسیسات می‌شود [۷]؛ بنابراین اطمینان از اینکه همه سیستم‌های تأسیسات به‌طور عادی و تحت نظارت ایمن کار می‌کنند، اهمیت می‌یابد [۸].

هدف این مقاله بررسی نقش GIS فراگستر در مدیریت زیرساخت‌های زیرزمینی شهری است تا به مدیران و تصمیم گیران در انجام هرچه بهتر وظایفشان کمک کند. در این مقاله انواع فناوری‌های رایانش فراگستر به‌کاررفته درزمینه زیرساخت‌های زیرزمینی شهری در سه دسته زیرساخت‌ها، حسگرها و سرویس‌ها معرفی‌شده است.

۲- فناوری‌های رایانش فراگستر مورد استفاده در زیرساخت‌های زیرزمینی شهری

اصطلاح رایانش فراگستر نخستین بار در سال ۱۹۹۱ توسط آقای مارک وایزر[۱] پدر علم رایانش فراگستر [۹] در آزمایشگاه علوم کامپیوتری Xerox PARC مطرح شد [۱۰]. او بر این باور بود که فناوری‌های کامپیوتری آینده به سمتی حرکت می‌کنند که در محیط‌ها و اشیاء پیرامون بشر موجود و قابل‌دسترس بوده و افراد را در فعالیت‌های روزمره یاری خواهند نمود. هم‌چنین جهان را به‌گونه‌ای تصور کرد که در آن رایانه‌هایی که در تمام محیط جاسازی شده‌اند[۲]، می‌توانند از دید کاربران پنهان باشند [۱۰]. در ایده رایانش غیر محسوس او می‌توان به هر کاربر در هر زمان و هر مکان، با بهره‌گیری از هر نوع سرویسی و در هر شبکه‌ای، هر نوع خدماتی را ارائه داد [۱۱]. یک محیط فراگستر در محدوده بین دنیای واقعی و دنیای مجازی قرارگرفته است [۱۲]. شکل ۱ فضای فراگستر و جایگاه حسگرها در آن را نشان می‌دهد. یک محیط فراگستر در محدوده مشترک بین دنیای واقعی و دنیای مجازی قرار گرفته است [۸]. عامل کلیدی دراین‌ارتباط حسگرها هستند که در رایانش فراگستر برای ایجاد ارتباط یکپارچه بین دو محیط مجازی و محیط دنیای واقعی از آن‌ها استفاده می‌شود.



شکل۱- فضای فراگستر و جایگاه حسگرها در آن [۸]

فناوری‌های مختلفی درزمینه رایانش فراگستر وجود دارد. این فناوری‌ها با توجه به کاربردی که درزمینه مدیریت زیرساخت‌های شهری دارند، در سه دسته زیرساخت‌ها، حسگرها و سرویس‌ها به ترتیب بررسی شده‌اند. شکل ۲ این دسته‌بندی را نشان می‌دهد.

۱ Mark Weiser
۲ Embedded

شکل۲- انواع فناوری‌های رایانش فراگستر در زیرساخت‌های زیرزمینی شهری

۲-۱- زیرساخت‌ها

فناوری‌های زیرساخت فناوری‌هایی هستند که به‌صورت زیرساخت و شبکه عمل می‌کنند. درواقع شبکه-ای از حسگرها در کنار یکدیگر قرارگرفته، با یکدیگر ارتباط داشته و در کنار هم کار می‌کنند. انواع فناوری‌های زیرساخت مورداستفاده درزمینه زیرساخت‌های شهری در ادامه و در پنج مورد آورده شده است.

۲-۱-۱- شبکه حسگر فراگستر (USN[۱])

USN محیطی فراگستری برای ارتباط بین دستگاه‌های کوچک جاسازی‌شده با قابلیت‌های سنجش است [۱۳]. شبکه‌های حسگر فراگستر، متعدد، دارای دسترسی آسان، اغلب دستگاه‌های رایانشی غیرقابل دید، اکثراً متحرک و کاشت شده در محیط، متصل به یک زیرساخت شبکه به‌طور فزاینده فراگستر و متشکل از یک هسته کابلی و شبکه‌های بی‌سیم هستند [۳]. در [۱۳] یک سیستم حسگر بی‌سیم هوشمند برای پایش آنلاین خطوط لوله آب و شناسایی قطعی‌ها ارائه شده که همانند سیستم SCADA، برای هدف ایمنی عمومی، پایش بلادرنگ را پشتیبانی می‌کند و به رخدادهای حوادث پاسخ می‌دهد. GASNET نیز یک سیستم حسگر شبکه خط گاز است [۱]. به دلیل آنکه حسگرها هرلحظه داده‌های زیادی را جمع‌آوری می‌کنند، تحلیل این داده‌های عظیم با راه‌حل فعلی امکان‌پذیر نیست. امروزه سنجش شبکه‌ای و تحلیل داده‌های با مقیاس بزرگ می‌تواند انقلابی در نحوه پایش زیرساخت‌های شهرداری پدید آورد. جریان داده از حسگرها می‌تواند به سازمان‌ها اجازه دهد تا زیرساخت‌هایشان را مؤثرتر و به‌صورت بلادرنگ ایجاد کنند (به‌ویژه در زمان رخدادهای شدید) تا مسائل نگه‌داری را سریعاً شناسایی کنند و تصمیم آگاهانه‌ای در مورد مقاوم‌سازی یا جایگزینی برخی از اجزای زیرساخت عمرانی بگیرند [۱].

۲-۱-۲- شبکه حسگر بی‌سیم (WSN[۲])

هنگامی‌که حسگرهای زیادی در یک مکان برای پایش اهداف خاص به‌کاررفته شوند، شبکه حسگر بی‌سیم ایجاد می‌شود [۱]. این شبکه‌ها سیگنال‌ها را از محیط دریافت کرده و اطلاعاتی نظیر زمان، مکان، افراد و فعالیت‌ها را پردازش می‌کنند. از این اطلاعات به‌منظور ارائه خدمات بهتر به کاربران استفاده می‌شود. حسگرها ابزارهای مهمی هستند که برای جمع‌آوری اطلاعات و ارزیابی تصمیمات، خدمات موردنیاز را به این شبکه‌ها عرضه می‌کنند. این شبکه‌ها به دلیل قدرت و هزینه کم در موارد بسیاری کاربرد دارند. WSN یک سیستم سنجش جهانی است که می‌تواند سکوی پیشرفته‌ای برای شناسایی بلایای طبیعی فراهم کند و در جمع‌آوری، ذخیره‌سازی داده‌ها و پایش سلامت تأسیسات و هم‌چنین به‌عنوان سیستم‌های هشدار اولیه در زیرسطح به کار گرفته شود [۱۴]. لازم به ذکر است USN نسبت به WSN هوشمندتر است. WSN از انتشار موج الکتریکی بین گره‌های حسگر استفاده می‌کنند. در کاربردهای زیرزمینی فرستنده‌ها و گیرنده‌ها که به‌صورت مکانی توزیع شده‌اند، به دستگاه‌های سنجشی که شرایط زیرسطحی (نظیر رطوبت، دما، فشار، رسانایی و لرزش) را پایش می‌کنند و اطلاعات را بلادرنگ به گره تکاملی[۳] می‌فرستند، مجهز شده‌اند [۱۴].

۲-۱-۳- زیرساخت فراگستر

پیشرفت‌های فنی و تلاش در برنامه‌ریزی شهری منجر به ظهور شکل جدیدی از زیرساخت‌های شهری به نام زیرساخت فراگستر شده است [۱۵]. زیرساخت‌های فراگستر از حسگرها و شبکه‌های حسگر برای برقراری ارتباط مستمر با وسایل کامپیوتری کابلی و/یا بی‌سیم استفاده می‌کنند. مطابق [۳] رایج‌ترین فناوری‌هایی که به‌طور گسترده در زیرساخت‌های فراگستر استفاده می‌شوند، عبارت‌اند از: HSDPA،BCN،

۱ Ubiquitous Sensor Network

۲ Wireless Sensor Network

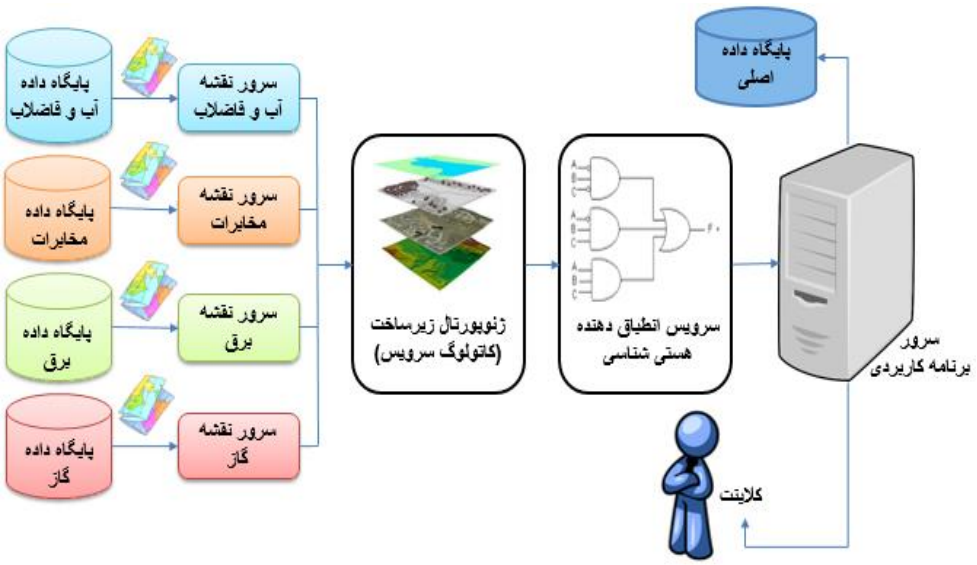
۳ Master

WiBro، USN، RFID، فناوری رایانش محیط آگاه، واقعیت افزوده، GIS و GPS. زیرساخت فراگستر می‌تواند اطلاعاتی را در سازمان‌های خدمات رفاهی شهری، مدیریت رشد و توسعه شهری و پایش بلادرنگ[1] محیط‌زیست فراهم کند، درحالی‌که این برنامه‌ریزی و مدیریت بلادرنگ به‌نوبه خود می‌تواند به حفاظت از منابع طبیعی شهری، مدیریت رشد شهری و توسعه شهری پایدار کمک کند [۱۶].

۲-۱-۴- زیرساخت داده مکانی (SDI)[2]

سازمان‌هایی که فعالیتشان با حفاری‌های شهری مرتبط است، به دلیل فقدان اطلاعات مکانی درباره تأسیسات زیرزمینی، عدم همکاری برای به اشتراک‌گذاری اطلاعات با دیگر سازمان‌ها و داده‌های غیردقیق، خسارت‌هایی را به منابع شهری وارد می‌کنند و باعث از دست رفتن منابع انسانی و مالی می‌شوند [۲و ۱۷]. اگر این سازمان‌ها یک مجموعه استاندارد از داده‌های مکانی را در یک شبکه جامع منحصربه‌فرد به اشتراک بگذارند و روش‌هایی را برای کشف، دسترسی، بازیابی و استفاده از این اطلاعات توسعه دهند، می‌توانند از برخورد مسیرهای حفاری جلوگیری کنند و دامنه خسارت را کاهش دهند. [۲]؛ بنابراین لزوم استفاده از SDI در اینجا اهمیت می‌یابد.

مطابق راهنمای انجمن زیرساخت داده مکانی جهانی (GSDI[3])، اصطلاح SDI غالباً استفاده‌شده تا مجموعه پایه مرتبطی از فناوری‌ها، سیاست‌ها و ترتیبات نهادی را تعریف کند که موجود بودن و دسترسی داده‌های مکانی را تسهیل بخشد [۱۸]. تعامل‌پذیری بین سیستم‌های اطلاعات مکانی ضروری است. این هدف هنگامی به دست می‌آید که سازمان‌ها درک ساختاری، نحوی و معنایی از یکدیگر داشته باشند. ناهمگونی ساختاری و نحوی با روش‌های مختلف و استفاده از استانداردهای OGC قابل‌رفع هستند [۱۸]. تعامل‌پذیری معنایی به‌عنوان مهم‌ترین عامل در به اشتراک‌گذاری داده‌ها است [۱۹]. SDI به سازمان‌ها کمک می‌کند تا محیطی برای به اشتراک‌گذاری داده‌های مکانی فراهم کنند، هر سازمان به اطلاعات مکانی دیگر سازمان‌ها دسترسی دارد و می‌تواند مسیرهای حفاری را به‌گونه‌ای طراحی کند تا حداقل برخورد ممکن را با دیگر امکانات زیرزمینی داشته باشد، زمان در هنگام پرسش از سایر سازمان‌ها کاهش می‌یابد و همه داده‌های به اشتراک‌گذاری شده، بهنگام هستند [۲]. این زیرساخت داده مکانی معمولاً تحت عنوان زیرساخت داده مکانی فراگستر یا زیرساخت داده مکانی زیرزمینی (USDI[4]) نامیده می‌شود. heydari و همکاران نقش SDI محلی را در به‌اشتراک‌گذاری آسان‌تر داده‌ها مطالعه نموده و اهمیت هستی‌شناسی را در تعامل‌پذیری معنایی بین سازمان‌های درگیر حفاری در شهر تهران را بررسی کرده و درنهایت یک سیستم وب‌سرویس GIS ای مبتنی بر هستی‌شناسی طراحی و برای یک منطقه از تهران پیاده‌سازی نمودند [۲]. شکل ۳ معماری مفهومی چنین سیستمی را پیشنهاد می‌دهد.



شکل۳- معماری مفهومی زیرساخت داده مکانی برای سازمان‌ها (USDI)

۱ Online
۲ Spatial Data Infrastructure
۳ Global SDI
۴ Ubiqiutoius SDI / Underground SDI

۲-۱-۵-اینترنت اشیاء (IoT[1])

اینترنت اشیاء چنین تعریف شده است: «اینترنت اشیاء دستگاه‌هایی نظیر اشیاء مصرفی روزانه و ابزارهای صنعتی را به شبکه متصل می‌کند، امکان جمع‌آوری اطلاعات و مدیریت این دستگاه‌ها را از طریق نرم‌افزار به‌منظور افزایش کارایی، ایجاد سرویس‌های جدید، یا دستیابی به مزایای بهداشت، ایمنی و زیست‌محیطی را فراهم می‌کند» [۲۰]. این اصطلاح نخستین بار توسط آقای Kevin Ashton تکنولوژیست بریتانیایی در سال ۱۹۹۹ هنگامی‌که در MIT بود، مطرح شد [۲۰]. امروزه فناوری IoT به‌سرعت در حال رشد است و به‌عنوان یکی از فناوری‌های آتی تلقی می‌شود. هم‌چنین فناوری‌ها و سیستم‌های حسگری هوشمندتری برای پایش ایمنی و اهداف مدیریت بحران در حال گسترش است [۲۱].

به‌طورکلی معماری یک سیستم IoT می‌تواند در سه سطح بیان شود: سنجش، شبکه و کاربرد. برای یک سیستم IoT باهدف ایمنی، مؤلفه بسیار مهم در پردازش اطلاعات این است که بررسی شود آیا سیستم در یک وضعیت عملیاتی ایمن با استفاده از فناوری‌های آنالیز و الگوریتم هشدار هست یا نه. هرگاه یک ناهنجاری رخ می‌دهد، اندازه‌گیری‌های متناظر بهتر است اصلاح و تعدیل شوند، ازاین‌رو تحلیل نیز اهمیت زیادی دارد. در شکل ۴ معماری برای شهر هوشمند در سه سطح و چهار عنصر بیان‌شده است: سنجش، ارتباط، تحلیل و برنامه‌های کاربردی [۸]. ایجاد یک سیستم IoT ایمن با چهار پارامتر به بالا بردن پایش ایمنی و قابلیت واکنش اضطراری یک شهر، کمک خواهد کرد.

شکل۴- پارامترهای یک سیستم ایمنی IoT

[1] Internet of Thing

بهتر است یک آنالیز ایمنی چند سطحی و سیستم هشدار ایجاد شود. سطوح مختلف هشدار در جدول ۱ ارائه شده است. این تغییرات سریع پارامترهای فیزیکی نظیر فشار، نرخ جریان، دما و غیره معمولاً می‌تواند به‌عنوان شاخص‌های مستقیم و قابل‌اعتماد آسیب لوله‌های محلی یا حتی قطعی سیستماتیک استفاده شود. هنگامی‌که یکی از این پدیده‌ها شناسایی شود، باید هشدار داده شود و اندازه‌گیری (شاخص‌های) واکنش اضطراری مثل تعمیرات سریع، باید در موقعیت‌هایی که حسگرها داده‌های رادیکالی را گزارش داده‌اند، به کار گرفته شوند. به‌طور مثال شکستگی لوله ممکن است باعث کاهش فشار در موقعیت‌های معین یا نوع معین شود [۸].

جدول۱- سطوح مختلف هشدار برای یک آنالیز ایمنی

سطوح هشدار		توضیحات
اول	ناهنجاری	سیستم زیرساخت در یک وضعیت نوسان غیرعادی، در مقایسه با داده‌های مرجع قدیمی‌اش است.
دوم	سوء عمل	داده‌های ناهنجار و غیرعادی شناسایی‌شده که مستقیماً منجر به سوء عمل در آینده می‌شود.
سوم	مواقع اضطراری	باعث تغییرات سریع در پارامترهای فیزیکی نظیر فشار، نرخ جریان، دما و غیره می‌شود

۲-۲- حسگرها

این فناوری‌ها شامل فناوری‌هایی هستند که به‌صورت حسگر عمل می‌کنند. این حسگرها اطلاعات موردنیاز را جمع‌آوری کرده و به پایگاه موردنظر برای پردازش می‌فرستند و درنهایت خروجی موردنظر را ارائه می‌دهند. در ادامه به توضیحات بیشتر پیرامون هریک از این فناوری‌ها پرداخته شده است.

۲-۲-۱- تگ‌های RFID[2]

ثبت‌های[3] موقعیتی که در سازمان‌ها وجود دارد، اغلب غیردقیق هستند و موقعیت تأسیسات را با دقت کم می‌دهند. این ثبت‌ها معمولاً برای موقعیت‌یابی خط تأسیسات در دو بعد

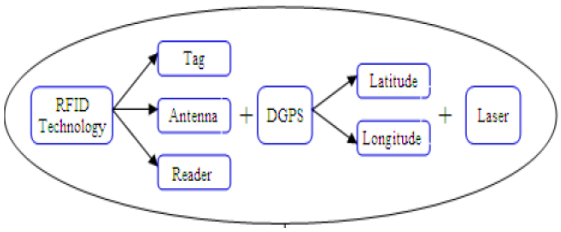
[2] Radio Frequency Identification
[3] Records

که به شکل یک خط در نقشه‌اند، کافی هستند. بعد سوم یا همان عمق، برای ایجاد طرح‌های سه‌بعدی دقیق و اطلاع از مکان دقیق اشیاء زیرزمینی قبل از حفاری ضروری است. [۱۷] فناوری‌های موجود برای موقعیت‌یابی سرمایه‌های مدفون شامل روش‌های مخرب و غیرمخرب است. هیچیک از این روش‌ها دقت موردنظر و کارایی سیستم را تأمین نمی‌کنند، گران و زمان‌بر هستند و داده‌ها در فرمت معمول نیستند. به‌علاوه قادر به فراهم‌سازی داده‌های دقیق و جامع در محل لوله‌های غیرفلزی مدفون نیستند [۱۷]. فناوری RFID می‌تواند به رفع این کاستی‌ها کمک کند. در جدول ۲ مقایسه‌ای بین روش‌های مخرب و غیرمخرب و RFID ارائه شده است.

جدول۲- مقایسه روش‌های موقعیت‌یابی

	روش‌های مخرب و غیرمخرب	RFID
دقت	کم	زیاد
کارایی	کم	زیاد
هزینه	گران	ارزان
زمان	زمان‌بر	کمتر
فرمت داده	غیرعادی	معمولی
لوله غیرفلزی	نامناسب	مناسب

RFID یک فناوری سنجش است که به‌صورت خودکار افراد، حیوانات و یا اشیاء را با استفاده از امواج رادیویی از طریق دستگاه‌های حسگری کوچک شناسایی می‌کند و متشکل از تگ‌های RFID و فرستنده‌ها و خواننده‌های RFID است [۳و۲۲]. دقت بالا، سرعت خواندن بالا و پایداری در محیط‌های نامناسب، برخی از مزایای سیستم‌های RFID به شمار می‌روند. به‌کارگیری آن‌ها می‌تواند منجر به توسعه سیستم جدید موقعیت‌یابی شود. درنتیجه می‌توان طول و عرض جغرافیایی تأسیسات زیرزمینی را از دستگاه‌های GPS و عمق را با کمک تگ‌های RFID به دست آورد. در شکل ۵ فناوری‌های موردنیاز برای تعیین موقعیت این تأسیسات ارائه‌شده است.



شکل۵- فناوری‌های موردنیاز برای تعیین موقعیت تأسیسات زیرزمینی [۱۷]

۲-۲-۲- حسگرهای فیبر نوری (FOSs[1])

حسگرهای فیبر نوری، یکی دیگر از سیستم‌های سنجش جهانی، می‌توانند به‌کار گرفته شوند تا در رفتاری کاملاً توزیع‌یافته و در فواصل طولانی عمل کنند و داده‌های با قدرت تفکیک بالای مکانی و زمانی را اخذ نمایند [۱۴]. ابعاد کم، وزن سبک، ایمنی در مقابل تداخل مغناطیسی، پیاده‌سازی در دمای بالا، پهنای باند وسیع، حساسیت بالا و استحکام، ازجمله مزایای FOS ها هستند [۲۳]. این ویژگی‌ها امکان جایگزینی FOS را با دستگاه‌های قدیمی به‌منظور اندازه‌گیری و پایش چندین پارامتر شامل دما، فشار، صوت، دوران، شتاب، میدان الکتریکی و مغناطیسی، کشش، رطوبت، گرانروی، PH، گاز و محتوای شیمیایی می‌دهد[۱۴].

۲-۲-۳- برچسب‌گذاری مکانی[2]

ارائه اطلاعات پیرامون شیء یا عارضه‌ای که توسط کاربر مشاهده می‌شود، یکی از سرویس‌های قابل‌ارائه به کاربر بر پایه محیط (مکان و جهت) او است. در رایانش فراگستر، فرآیندی که برای تشخیص یک شیء یا مشخصه مکانی و بازگرداندن اطلاعات مربوط به آن به کار گرفته می‌شود، برچسب‌گذاری مکانی نامیده می‌شود [۱۲]. در این فرآیند ابتدا شیء موجود در محیط شناسایی می‌شود، سپس در مدتی که کاربر با آن تعامل دارد، ردیابی شده و به‌جای مدل‌سازی کامل در ابزار مورداستفاده، تنها بخش‌های موردنیاز کاربر برای بصری سازی محتوای مربوط به آن بر روی محیط واقعی افزوده می‌شدند. این مفهوم یکی از مهم‌ترین بخش‌های به‌کارگیری قابلیت GIS در مفاهیم فراگستر است.

۲-۳- سرویس‌ها

این دسته از فناوری‌ها به‌صورت سرویس ارائه می‌شوند. درواقع کارایی خود را در قالب خدمات به کاربران و مدیران عرضه می‌کنند. این فناوری‌ها در شش دسته در ادامه معرفی شده‌اند.

---
۱ Fiber-Optic Sensors
۲ Geo-labeling

۲-۳-۱- سیستم اطلاعات مکانی فراگستر (UBIGIS[1])

ازآنجاکه حدود ۸۰ درصد از اطلاعات موجود در دنیای واقعی ماهیت مکانی دارند [۲۴]، GIS نیز متأثر از رویکردهای رایانش فراگستر متحول شده است. این تحول از فرآیند اخذ و جمع‌آوری و پردازش داده تا نمایش و بصری سازی داده‌ها به وجود آمده است. GIS فراگستر را می‌توان نسل جدیدی از GIS دانست که با بهره‌گیری از رایانش فراگستر، توانسته مفاهیم بسیار جدید و ارزشمندی را ایجاد نماید [۲۵]. ظهور تلفن‌های هوشمند سبب ورود سیستم‌های فراگستر به زندگی انسان‌ها شده است. مفهوم واژه هر زمان و هر مکان دسترسی به داده برای کاربر به‌محض تقاضای داده است. این ویژگی هرجاگاهی و سایر مؤلفه‌های تلفن همراه نظیر محیط آگاهی، امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و غیره می‌تواند برای ایجاد یک محیط فراگستر استفاده شود. شکل ۶ مؤلفه‌های سیستم اطلاعات مکانی فراگستر را نشان می‌دهد

شکل۶- مؤلفه‌های GIS فراگستر [۱۱]

۲-۳-۲- محیط آگاهی (زمینه آگاهی)[2]

در یک سیستم اطلاعات مکانی فراگستر مؤلفه محیط آگاهی مهم‌ترین بخش سیستم را تشکیل می‌دهد. رایانش محیط آگاه یک فناوری است که اطلاعات را در مورد محیط یک وسیله اخذ و به کار می‌گیرد تا سرویس‌هایی را که برای افراد، مکان، زمان و رویداد خاص مناسب هستند را فراهم کند [۲۲]. دستیابی به اطلاعات محیطی کار ساده‌ای نیست. هم‌چنین رایانه‌ها به‌تنهایی قادر به درک و استخراج اطلاعات محیطی و به‌کارگیری آن‌ها برای کاربران نیستند. در محیط آگاهی اصطلاح حسگر تنها محدود به تجهیزات سخت‌افزاری نیست، بلکه هر منبع داده‌ای که اطلاعات محیطی فراهم آورد، حسگر گفته می‌شود [۲۶]. سیستم مدیریت ایمنی گاز شهری در کره، تلاشی برای کنترل اطلاعات محیط آگاه ایجاد کرده است و غالباً بر اساس سیستم ارتباط کابلی به کمک IT است [۲۷].

۲-۳-۳- هستی‌شناسی[3]

یک هستی‌شناسی یک «توصیف صریح و رسمی از یک مفهوم» است [۲۸]. هستی‌شناسی‌ها توسط مردم، پایگاه‌های داده و برنامه‌های کاربردی که نیازمند به اشتراک‌گذاری اطلاعات یک دامنه خاص را دارند، استفاده می‌شوند [۲۹]. زبان استاندارد معرفی‌شده توسط W3C برای بیان هستی‌شناسی‌ها OWL است که عضوی از خانواده زبان‌های نمایش دانش است [۱۸]. اساس زبان OWL بر پایه منطق توصیفی بناشده است. برای کامپیوترها که بتوانند باهم ارتباط داشته باشند، تمپلیت‌های پیام باید به یک فرمت قابل تفسیر برای کامپیوتر تعریف‌شده باشد. تفسیر معنایی را می‌توان با استفاده از کدگذاری رنگ‌های مختلف (به‌عنوان‌مثال رنگ قرمز برای کابل‌های برق) و نمایش‌های هندسی مناسب (به‌طور مثال استوانه برای سه‌راهی) انجام داد؛ بنابراین کاربر بسته به نیاز می‌تواند انتخاب کند چه عوارضی نشان داده شود [۳۰].

۲-۳-۴- فناوری اطلاعات (IT[4])

یکی از زمینه‌های اساسی کاربرد IT درزمینه برنامه-ریزی و مدیریت شهری است. اولین نیاز مدیران در مدیریت هر نوع بحران در شهر در اختیار داشتن اطلاعات به‌روز است. ایجاد این سیستم نیازمند SDI از طریق زیرساخت‌های مختلفی از قبیل شبکه‌های ارتباطی، استانداردهای تدوین‌شده، دستورالعمل‌های کاربردی و غیره است [۱۸]. امروزه پیچیدگی مسائل شهری فراتر از قابلیت مدیران و یا به‌کارگیری روش‌های سنتی در تصمیم‌گیری است و توسعه IT قابلیت‌ها و دیدگاه‌های

---

۱ Ubiquitous Geospatial Information System
۲ Context Awareness
۳ Ontology
۴ Information Technology

جدیدی را برای مسئولین و برنامه‌ریزان شهری ایجاد کرده است [۳۱]. با به‌کارگیری مناسب این فناوری می‌توان از وقوع بسیاری از بحران‌ها در فضاهای شهری پیش‌گیری کرده و یا در صورت وقوع نسبت به مدیریت بحران‌ها اقدام نمود. در طول سال‌های اخیر سیستم‌های زیرساخت و شبکه‌هایی که آب، برق و گاز را فراهم می‌کنند، بیشتر مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT[۱]) شده‌اند. با در نظر گرفتن این نکته که کارکرد مناسب آن‌ها به کارکرد صحیح ICT وابسته است [۳]. زیرساخت‌های فیزیکی و عوارض متحرک نظیر نفتی که در خط لوله در جریان است و جریان الکتریکی در خط تأمین برق (انرژی)، می‌تواند به‌صورت خودکار توسط شبکه‌های دیجیتال پایش، کنترل و محافظت شوند [۳].

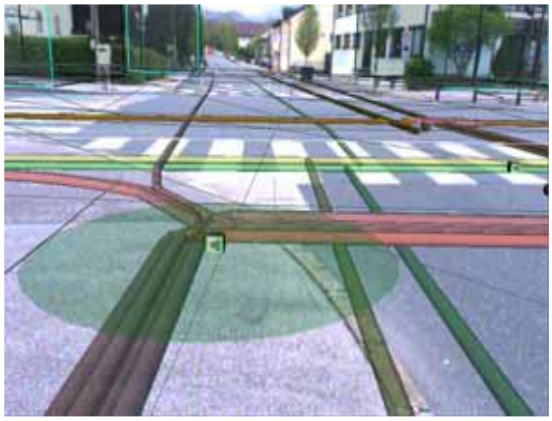
۲-۳-۵- واقعیت افزوده (AR[۲])

واقعیت مجازی[۳] تصویری مستقیم یا غیرمستقیم و بلادرنگ از دنیای فیزیکی است که با افزودن اطلاعات مجازی تولیدشده توسط کامپیوتر به واقعیت، واقعیت افزوده تشکیل شده است. واقعیت افزوده محیطی تعاملی است و در حین این‌که اشیاء حقیقی و مجازی را با یکدیگر ترکیب می‌کند به‌طور سه‌بعدی ثبت شده است. در [۳] واقعیت افزوده بدین‌صورت تعریف شده است: «واقعیت افزوده زمینه‌ای از مطالعات رایانه است که منجر به ترکیب دنیای واقعی و داده‌های ایجادشده توسط کامپیوتر می‌شود». AR می‌تواند شامل به‌کارگیری داده‌های ردیابی متحرک، شناسایی فیدوشال مارک[۴] با استفاده از ماشین بینایی[۵] و ایجاد محیط‌های کنترل‌شده با هر تعداد حسگر و فعال‌کننده[۶] باشد [۳]. زنجیره میلگرام[۷] در شکل ۷ واقعیت مجازی را به دنیای واقعی مرتبط می‌کند و بین آن‌ها واقعیت افزوده و واقعیت مجازی افزوده[۸] قرار دارند [۳۲].

شکل۷- زنجیره میلگرام [۳۲]

۱ Information and Communication Technology
۲ Augmented Reality
۳ Virtual Reality
٤ Fiducial Marker
٥ Computer Vision
٦ Actuator
۷ Milgram
۸ Augmented Virtuality

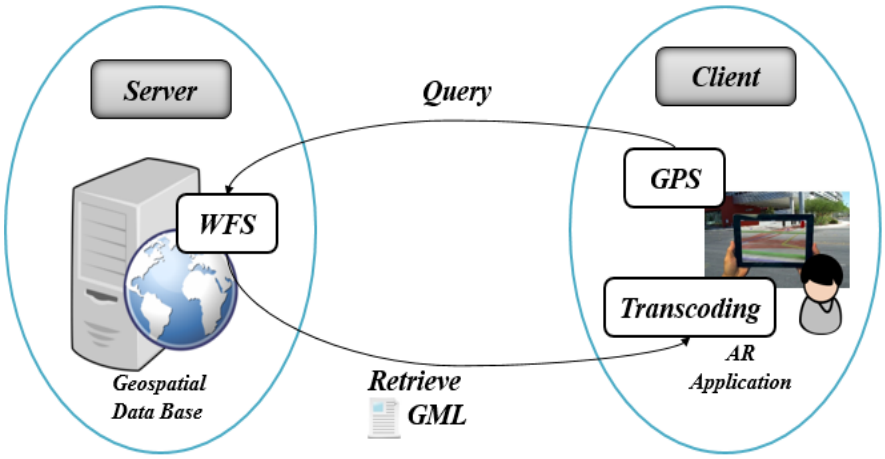
درگذشته واقعیت افزوده کمتر از آزمایشگاه خارج می‌شد ولی امروزه باوجود تلفن‌های هوشمند امکان پیاده‌سازی این فناوری در تلفن‌های همراه فراهم‌شده و این خود فراهم‌کننده مؤلفه‌های فراگستری هر مکان، هر زمان، هر سرویس، هر کاربر و هر شبکه است. افزایش قدرت پردازش و دارا بودن ابزارهایی مانند ژیروسکوپ، شتاب سنج، قطب‌نما، دوربین تلفن همراه و دیگر حسگرها به همراه صفحه‌نمایش موجود بر روی دستگاه امکانات مناسبی برای تولید برنامه‌های AR ایجاد کرده‌اند [۳۰و ۳۳]. در حقیقت مزیت اصلی این سیستم‌ها این است که تمام وسایل موردنیاز را در خود دارند و نیازی به خرید دستگاه‌هایی همانند HMD های گران‌قیمت و افزودن آن در این دستگاه‌ها نیست [۳۴]. شکل ۸ نمایی از این زیرساخت‌ها را که به کمک AR بصری سازی شده‌اند، نشان می‌دهد.



شکل ۸- نمایش زیرساخت‌ها در یک دستگاه AR [۱۷]

در شکل ۹ معماری یک سیستم به‌منظور بازیابی اطلاعات مرتبط با تأسیسات زیرزمینی در یک برنامه کاربردی واقعیت افزود پیشنهاد شده است. به‌منظور بصری‌سازی لوله‌ها لازم است داده‌ها از پایگاه داده به فرمت ساده GML تبدیل شوند. با کمک GPS موقعیت فعلی کاربر در میدان تشخیص داده شده، با این اطلاعات از یک WFS پرسش[۹] می‌شود تا داده‌های مرتبط را به‌صورت آنلاین و بلادرنگ برای بصری‌سازی AR بازیابی کند. داده‌هایی که در میدان اصلاح شدند می‌توانند در پایگاه داده مطابقت داده شوند [۳۴].

۹ Query



شکل۹- معماری پیشنهادی سیستم به‌منظور بازیابی و نمایش اطلاعات تأسیسات

۲-۳-۶- GIS همراه[۱]

یکی از ابزارهای اساسی درزمینه سازمان‌دهی اطلاعات نقشه، GIS همراه است [۵]. GIS همراه توسعه فناوری GIS از اداره[۲] به میدان[۳] است که امکان اخذ، ذخیره‌سازی، به‌روزرسانی، دستکاری، تجزیه‌وتحلیل و نمایش اطلاعات مکانی را برای کارگران میدانی فراهم می‌کند [۳۵] و امکان تبادل اطلاعات بین مجموعه داده‌های میدانی و GIS را فراهم می‌کند [۵]. این فناوری یک یا چند فناوری از قبیل دستگاه‌های متحرک، GPS و اطلاعات بی‌سیم برای دستیابی به اطلاعات اینترنت GIS را ترکیب می‌کند [۳۵]. این ابزار قابل‌حمل می‌تواند در محل استفاده شود و اطلاعاتی را درمورد تأسیسات بدهد و به اداره مرتبط بفرستد. ازآنجاکه درحالت عادی، بازرسی بصری زیرساخت‌های زیرزمینی غیرممکن است، شناسایی یا برآورد موقعیت آن‌ها به‌منظور بازسازی یا تعویض دشوار است [۵].

برخی شرکت‌ها از سیستم‌های GIS همراه در بازرسی محلی استفاده می‌کنند[۳۰و ۳۶]، در جدول ۳ مقایسه‌ای بین GIS همراه و AR در بازرسی‌های محلی تأسیسات زیرزمینی صورت گرفته است. این مقایسه نشان می‌دهد، ازآنجاکه AR دارای رابط کاربری بصری‌تری است، دقت و سرعت بیشتری دارد و بیشتر به‌صورت خودکار عمل می‌کند، یعنی به کاربر وابستگی کمتری دارد، به‌کارگیری آن می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر و سریع‌تر مدیران کمک کند و باعث بهبود مدیریت این زیرساخت‌ها شود.

۱ Mobile GIS
۲ Office
۳ Field

۳- نتیجه‌گیری

هدف این مقاله بررسی نقش GIS فراگستر در مدیریت زیرساخت‌های زیرزمینی شهری بود. برای این منظور انواع فناوری‌های به‌کاررفته شده در حوزه زیرساخت‌های شهری با کمک رایانش فراگستر در سه دسته زیرساخت‌ها، حسگرها و سرویس‌ها مطرح و بررسی شد. این مقاله نشان داد که GIS فراگستر می‌تواند کاربردهای زیادی در حوزه زیرساخت‌ها داشته باشد. برای نمونه می‌توان به کاربرد این فناوری در زمینه‌های مرتبط با پایش و کنترل زیرساخت‌ها، حفظ ایمنی زیرساخت‌ها، بصری سازی سه‌بعدی آن‌ها، یکپارچه‌سازی اطلاعات با به‌کارگیری زیرساخت داده مکانی بین سازمان‌ها و کاربردهای فراوان دیگر اشاره نمود.

در این مقاله مقایسه‌ای بین روش‌های مختلف بصری‌سازی و بازدید در محل، شامل واقعیت افزوده و GIS همراه، صورت گرفت. این مقایسه نشان می‌دهد روش واقعیت افزوده برای این کاربرد بسیار مناسب‌تر از روش GIS همراه است. مقایسه دیگری نیز بین فناوری‌های موجود برای تعیین موقعیت تأسیسات زیرزمینی انجام شد. با مقایسه این فناوری‌ها این نتیجه حاصل شد که به‌کارگیری روش جدید RFID بسیار مناسب‌تر از روش‌های پیشین شامل روش‌های مخرب و غیرمخرب است. ذکر این نکته ضروری است که این مقاله بیشتر به زمینه‌های تئوری و تحقیقاتی پرداخته و پیشنهاد می‌شود در کارهای آینده از این فناوری‌ها به‌صورت عملی و کاربردی استفاده شود.

جدول۳- مقایسه بین Mobile GIS و AR در بازرسی محلی تأسیسات

	Mobile GIS	AR
تکنیک‌های بصری‌سازی	عدم نمایش ارتباط بین داده‌های GIS و محیط واقعی	نمایش ارتباط بین داده‌های GIS و محیط واقعی (رابط کاربری بصری‌تر)
ارجاع‌دهی تأسیسات	مشکل در ارجاع‌دهی صحیح	به‌صورت صحیح
تفسیر داده‌ها	توسط کاربر (دستی)	توسط ماشین (خودکار)
دسترسی به داده‌ها در محل	عدم امکان دسترسی	امکان دسترسی به داده‌های پیچیده
توسعه سیستم	محدود	امکان توسعه
کارهای میدانی عملیات و نگه‌داری	محدود	به‌صورت مؤثرتر
آسیب‌های ناخواسته	زیاد	کم
ایمنی کلی در محل	کم (پایین)	زیاد (بالا)
مدیریت قطع، شناسایی نشت و خرابی	سخت و طاقت‌فرسا	آسان و مفید
ردیابی و موقعیت‌یابی	آهسته و کم‌دقت	سریع و دقیق
دقت	کم	زیاد
نمایش هم‌پوشانی	نامناسب	بهتر و برتر
ابزارهای تعاملی	غیرمستقیم و نیازمند پس پردازش	بلادرنگ و مستقیم و بدون پس پردازش
عمر باتری دستگاه	بیشتر	کمتر
هزینه	کمتر	بیشتر

مراجع

[1] Difallah, D. E., Cudre-Mauroux, P., & McKenna, S., “Scalable anomaly detection for smart city infrastructure networks”, Internet Computing, IEEE, 17(6), 39-47, 2013.

[2] Heydari, N., Mansourian, A., Taleai, M., & Fallahi, G. R.,“Ontology-based GIS web service for increasing semantic interoperability among organizations involving drilling in city of Tehran”, In 11th GSDI World Conference (GSDI 11), Spatial Data Infrastructure Convergence: Building SDI Bridges to Address Global Challenges, POSTER FORUM, Rotterdam, The Netherlands, 2009, June.

[3] Ho Lee, S., Hoon Han, J., Yigitcanlar, T., & Taik Leem, Y., “Ubiquitous infrastructure: urban infrastructure planning and management experience of Korea”, 2008.

[4] Wang, H., Zhang, Y., & Cao, J., “Ubiquitous computing environments and its usage access control”, In Proceedings of the 1st international conference on Scalable information systems (p. 6). ACM. 2006, May.

[5] Tulloch, M., & Hu, W., “A proposed solution for mapping underground utilities for buried asset management.” Ryerson Graduate Student Research Article, 2005.

[6] Schall, G., “Handheld Augmented Reality in Civil Engineering”, proceedings of Rosus09, 19-25, 2009.

[7] Dunford, M., & Li, L., “Earthquake reconstruction in Wenchuan: assessing the state overall plan and addressing the ‘forgotten phase’ ”. Applied Geography, 31(3), 998-1009. 2011.

[8] Tao, C., Guofeng, S., Hongyong, Y., & Quanyi, H. ,“Architecture for Monitoring Urban Infrastructure and Analysis Method for a Smart-Safe City”, In Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2014 Sixth International Conference on (pp. 151-154). IEEE, 2014, January.

[9] Chong, J., See, S., Seah, L. L. H., Koh, S. L., Theng, Y. L., & Duh, H. B., “Ubiquitous Computing History, Development, and Scenarios.”, Ubiquitous Computing: Design, Implementation and Usability: Design, Implementation and Usability, 2008.

[10] Weiser, M., “The computer for the 21st century”, Scientific american, 265(3), 94-104. 1991.

[11] Greenfield, A., “Readings from Everyware: The dawning age of ubiquitous computing”, ITP v0, 1, 2006.

[12] Li, K., “Ubiquitous GIS”. Notes de Cours, Pusan National University, Yangsan, 2007.

[13] Hong, S.-K., et al., “Ubiquitous Geographic Information: Case of Korea”, 2006.

[14] Pamukcu, S., & Ghazanfari, E., “Geosensing for Developing Sustainable Responses to Environmental Hazards Underground.”, In Geo-Congress 2014 Keynote Lectures@ sGeo-Characterization and Modeling for Sustainability (pp. 117-139). ASCE, 2014.

[15] Cohen, G., & Nijkamp, P., “Information and communication technology policy in European cities: a comparative approach”, Environment and Planning B, 29(5), 729-756, 2002.

[16] Yigitcanlar, T., Fabian, L., & Coiacetto, E., “Challenges to urban transport sustainability and smart transport in a tourist city: the Gold Coast”. The Open Transportation Journal, 2, 29-46, 2008.

[17] Dziadak, K., Sommerville, J., & Kumar, B., “RFID based 3D buried assets location system”, 2008.

[18] D. Nebert (Ed.), "Developing Spatial Data Infrastructures:" The SDI Cookbook v.2.0, Global Spatial Data Infrastructure (GSDI), 2004.

[19] F. A. Alamdara, A. Mansourian, M. Taleai, S. Sedghi, “Overcoming Semantic Heterogeneity in SDI using Semantic Similarity Measurement. Case Study: National Iranian Gas Company (NIGC),” 18th National Conference on Geomatics, Tehran, Iran. (in Persian), 2011

[20] Jankowski, S., Covello, J., Bellini, H., Ritchie, J., & Costa, D., “The Internet of Things: Making sense of the next mega-trend”, Goldman Sachs, 2014.

[21] Ma, X., Huang, Q. Y., Shu, X. M., Ma, W., & Zhao, Q. L., “Study on the Applications of Internet of Things in the Field of Public Safety”. Zhongguo Anquan Kexue Xuebao, 20(7), 170-176, 2010.

[22] Leem, C. S., & Kim, B. G., “Taxonomy of ubiquitous computing service for city development”, Personal and ubiquitous computing, 17(7), 1475-1483, 2013.

[23] Agrawal, G.P., “Nonlinear Fiber Optics.”, Academic Press Inc, San Diego, CA.,1995.

[24] Garson, G. D., & Biggs, R. S., “Analytic mapping and geographic databases” (No. 87). Sage, 1992.

[25] Mnzis, A. H., “The Road to Ubiquitous Geographic Information Systems Roam Anywhere-Remain Connected”, 2000.

[26] Abowd, G. D., Dey, A. K., Brown, P. J., Davies, N., Smith, M., & Steggles, P.,“Towards a better understanding of context and context-awareness”, In Handheld and ubiquitous computing (pp. 304-307). Springer Berlin Heidelberg, 1999, January.

[27] Oh, J. S., Park, J. S., & Kwon, J. R., “Selecting the Wireless Communication Methods for Establishing Ubiquitous City-Gas Facilities in Korea”, In Advances in Information Security and Assurance (pp. 823-828), Springer Berlin Heidelberg, 2009.

[28] Torres, M., Levachkine, S., Quintero, R., Guzmán, G., & Moreno, M., “Geospatial information integration based on the conceptualization of geographic domain.” In Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL international conference on Advances in geographic information systems (p. 73). ACM, 2008, November.

[29] Van Oosterom, P., & Zlatanova, S. (Eds.). “Creating Spatial Information Infrastructures: Towards the Spatial Semantic Web.” CRC Press. 2008.

[30] Zollmann, S., Schall, G., Junghanns, S., & Reitmayr, G., “Comprehensible and interactive visualizations of GIS data in augmented reality”, In Advances in Visual Computing (pp. 675-685). Springer Berlin Heidelberg, 2012.

[31] Daniel, S., & Doran, M. A., “geoSmartCity: geomatics contribution to the Smart City.” In Proceedings of the 14th Annual International Conference on Digital Government Research (pp. 65-71). ACM, 2013, June.

[32] Carmigniani, J., & Furht, B., “Augmented reality: an overview”, In Handbook of augmented reality (pp. 3-46). Springer New York, 2011.

[33] Schall, G., Zollmann, S., & Reitmayr, G., “Smart Vidente: advances in mobile augmented reality for interactive visualization of underground infrastructure.” Personal and ubiquitous computing, 17(7), 1533-1549, 2013.

[34] Perry, Ch., “Augmented Reality-Assisted 3D Visualization for Urban Professional Users”, PERRY Research & Consulting and Graziano Terenzi, AR Media, 2014, April.

[35] GIS Best Practices, “Mobile GIS.”, 2007, May, www.esri.com

[36] Schall, G., Mendez, E., Kruijff, E., Veas, E., Junghanns, S., Reitinger, B., & Schmalstieg, D., “Handheld augmented reality for underground infrastructure visualization”, Personal and ubiquitous computing, 13(4), 281-291. 2009.