فصلنامه علمی-پژوهشی
جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای
سال یازدهم، شماره ۳، تابستان ۱۴۰۰
صص: ۱۸-۱

تحلیل الزامات و مشکلات توسعهٔ پلتفرم مرجع برای توسعهٔ هوشمندسازی شهرها(مطالعهٔ موردی: شهر کرمان)

مرضیه افضلی ننیز

دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

مهدی مدیری[۱]

استاد دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

رحمت‌الله فرهودی

استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/٤/۱ تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/٦/۱۰

چکیده

مهمترین بخش زیرساختی نرم‌افزاریِ پایگاه اطلاعاتی در یک شهر هوشمند، پلتفرم نرم‌افزاری آن است. پلتفرم نرم‌افزاری برای شهرهای هوشمند شامل یک محیط میان‌افزار متمرکز که از توسعه‌دهندگان نرم‌افزار در طراحی، اجرا، استقرار و مدیریت برنامه‌های کاربردی برای شهرهای هوشمند تعریف می‌کند. طراحی یک پلتفرم (سیستم عامل و معماریِ) نرم‌افزار به خوبی زیرساخت لازم را برای مقابله با حجم زیادی از داده‌ها، طیف وسیعی از دستگاه‌ها و برنامه‌های کاربردی، قابلیت همکاری سیستم و سایر مشکلات مربوط به محیط‌های هوشمند شهر فراهم می‌کند. این تحقیق به دنبال یافتن الزامات یک پلتفرم نرم‌افزاریِ جامع برای شهر موزد مطالعه و یافتن چالش‌های اصلی و مشکلات تحقیق باز در توسعهٔ نسل چنین سیستم عامل‌هایی است. نتایج این مطالعه نشان داد که پلتفرم‌های موجود در پروژه‌های هوشمندسازی شهرهای دنیا، دارای معایبی است و ما را به توسعهٔ یک پلتفرم مرجع نوین هدایت می‌کند. چهار جزء اصلی این پلتفرم مرجع عبارت است از: CPS، IoT، BD و رایانش ابری. این الگوی جدید می‌تواند به عنوان پلتفرم مرجع توسط شرکت‌های مهندسی داخل طراحی و بومی‌سازی شود. بر اساس نظر کارشناسان پلتفرم نرم‌افزاری جامع برای مدیریت هوشمند شهر کرمان که می‌بایست در سیستم مدیریت هوشمند شهر مستقر باشد، وجود ندارد. نبود پلتفرم معماری جامع در این شهر باعث شده داده‌های تولید شده توسط سنسورهای معدود نتواند عملاً مورد استفاده قرار بگیرد. ده عامل از توسعهٔ سریع چنین پلتفرم‌هایی در هوشمندسازی این شهر جلوگیری می‌نماید که بایستی مد نظر شرکت‌های طراحی کنندهٔ آنها قرارگیرد. این مشکلات عبارت است از: حریم خصوصی، مدیریت داده‌ها، ناهمگونی، مدیریت انرژی، ارتباطات، مقیاس‌پذیری، امنیت، کمبود آزمایشگاه، مدل‌های شهری و نگهداری پلتفرم.

کلمات کلیدی: پلتفرم نرم‌افزاری مرجع، هوشمندسازی، پایگاه اطلاعاتی، رایانش ابری، شهر کرمان.

۱- (نویسنده مسئول) mmodiri@alumni.ut.ac.ir

مقدمه

در حال حاضر، بیشتر جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند. منابع و زیرساخت‌های فعلی به اندازهٔ کافی برای مقابله با تقاضای روزافزونی که رشد جمعیت دارد، کافی نیست (کاراگلیو و همکاران، ۲۰۱۱). در حالی که جمعیت شهری رو به رشد است، زیرساخت‌ها و منابع مورد نیاز برای حمایت از شهروندان اغلب کافی نیست که این امر منجر به تخریب خدمات عمومی می‌شود. به همین منظور، در سال‌های اخیر مفهومی با عنوان شهر هوشمند مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان مدیریت شهری در سراسر جهان به ویژه کشورهای پیشرفته قرار گرفته است. شهر هوشمند مفهومی نو است که در محافل علمی، صنعتی و دولتی توجه بیشتری به خود جلب کرده است. اگرچه تعاریف مختلفی از شهر هوشمند شده، اما سانتانا و همکاران (۲۰۱٦) بر این تعریف از شهر هوشمند توافق دارند که یک شهر باید یک محیط یکپارچه برای تسهیل قابلیت همکاری بین زیر سیستم‌های شهر داشته باشد. بر این اساس، به نظر آنها: «یک شهر هوشمند، شهری است که در آن ابعاد اجتماعی، تجاری و تکنولوژیکی آن از طریق فناوری اطلاعات و ارتباطات برای بهبود تجربهٔ شهروندان در داخل شهر پشتیبانی می‌شود. برای رسیدن به این هدف، شهر خدمات عمومی و خصوصی را ارائه می‌دهد که در یک راه جامع، مقرون به صرفه و پایدار عمل می‌کنند».

در حالی که سه جنبهٔ مهم شهر هوشمند شامل عوامل نهادی، عوامل فناوری و عوامل انسانی است، در ادغام یکپارچهٔ این سه عامل است که شش مؤلفه اصلی شهر هوشمند تحت عناوین اقتصاد هوشمند، مردم هوشمند، حکمروایی هوشمند، زندگی هوشمند، پویایی هوشمند و محیط زیست هوشمند شکل می‌گیرد. مؤلفه‌هایی که فصل مشترک نگاه اندیشمندان مختلف شهرهای هوشمند دنیاست. این شش مؤلفه، ابزار کارآمد نمودن دولت در لوایِ مدیریت و حکمروایی شایسته است. در ورای چنین نگاهی، دولتمردان با کمک برنامه‌ریزیان شهری و فناوران دست به ایجاد شهرهای هوشمند جدید و یا هوشمندسازی شهرهای فعلی نموده‌اند. با توجه به تعاریف شهر هوشمند، شناخت وضعیت لحظه به لحظهٔ محیط، پردازش اطلاعات به دست آمده و کنترل و مدیریت صحیح آنها، نخستین و اساسی‌ترین گام در حرکت به سوی هوشمندسازی شهرهاست.

با توجه به اینکه اکثر شهرهای موجود کشورهای در حال توسعه نظیر ایران، تصوّر هوشمندسازی را در سر دارند، با نبود و یا کمبود زیرساخت‌ها، داده‌ها و پایگاه‌های اطلاعاتیِ(DBI)[1] لازم مواجه هستند. ابتکارات برای توسعهٔ بستر نرم‌افزاری شهر هوشمند در طیف گسترده‌ای از خدمات شهری مانند مدیریت اضطراری (آسیماکوپولو و بِسین، ۲۰۱۱)، کنترل ترافیک (باربا و همکاران، ۲۰۱۲)، حمل و نقل (جاهل و همکاران، ۲۰۱٤)، آلودگی هوا (واکالی و همکاران، ۲۰۱٤)، انرژی (یاماموتو و همکاران، ۲۰۱٤)، مدیریت زباله (پِررا و همکاران، ۲۰۱٤)، امنیت عمومی (گالاچی و همکاران، ۲۰۱٤) و مراقبت‌های بهداشتی (حسین و همکاران، ۲۰۱۵) توسعه یافته است. با این حال، بسیاری از این راه‌حل‌ها بر روی یک دامنهٔ خاص تمرکز دارد و یک مشکل خاص را هدف می‌گیرد و از ابتدا و با استفادهٔ مجدد از نرم‌افزارِ تکراری کمی توسعه یافتند.

چنین خدمات اساسی می‌تواند توسط یک «پلتفرمِ نرم‌افزاریِ جدید و جامع ارائه شود. پلتفرم نرم‌افزاری برای شهرهای هوشمند شامل یک محیط میان‌افزار متمرکز که از توسعه دهندگان نرم‌افزار در طراحی، اجرا، استقرار و

[1] - Data Base Infirmation

مدیریت برنامه‌های کاربردی برای شهرهای هوشمند تعریف می‌کند». بسیاری از مسائل چالش‌برانگیز مربوط به مدیریت هوشمندسازی لازم است قبل از یک طراحی یک پلتفرم نرم‌افزاری برای شهرهای هوشمند مطرح شود تا راه‌حل آنها در نرم‌افزار دیده شود، از جمله قابلیت همکاری بین سیستم‌های چندگانهٔ شهر، تضمین حریم خصوصی شهروندان، مدیریت حجم زیادی داده، پشتیبانی از مقیاس‌پذیری مورد نیاز و برخورد با انواع مختلف سنسورها. این مسائل به عنوان چالش‌ها و دغدغه‌های کاربران خاص و عام مطرح است.

ادغام تمام این دامنه‌ها در ساختار کامل و سازگار، نیاز به زیرساخت‌های نرم‌افزاری اساسی دارد. به عبارتی، برای ساخت یک شهر دقیق، مطلوب است خدمات و برنامه‌های کاربردی در یک زیرساخت فناوری یکپارچه در نظر گرفته شود. طراحی یک پلتفرم (سیستم عامل و معماریِ) نرم‌افزار به خوبی زیرساخت لازم را برای مقابله با حجم زیادی از داده‌ها، طیف وسیعی از دستگاه‌ها و برنامه‌های کاربردی، قابلیت همکاری سیستم و سایر مشکلات مربوط به محیط‌های هوشمند شهر فراهم می‌کند. در حقیقت این تحقیق به دنبال یافتن پاسخ به این دو سؤال است: ۱- الزاماتی که یک پلتفرم نرم‌افزاریِ جامع برای شهرهای هوشمند باید برآورده نماید، چیست؟ ۲- چالش‌های اصلی و مشکلات تحقیق باز در توسعهٔ نسل چنین سیستم عامل‌های قوی برای شهرهای هوشمند چیست؟.

این تحقیق از نوع تحلیلی- توصیفی بوده که تحلیل‌های آن، ترکیبی از تحلیل‌های کیفی و کمّی است. به لحاظ هدف نیز این تحقیق از نوع تحقیقات کاربردی- توسعه‌ای است که از نتایج تحقیقات انجام شده در صدد توسعهٔ الگویی از معماری نرم‌افزار برای هدایت و پشتیبانی مدیریت هوشمندسازی در شهرهای ایران به ویژه در شهر مورد مطالعه است. از طرفی میزان تحقق زیرساخت‌های چنین معماری از نگاه متخصصین امر در شهر کرمان مورد سنجش قرار گرفته است.

برای این منظور جهت شناسایی و استخراج یک پلتفرمِ (معماریِ) مرجع که الزامات اساسی مد نظر این تحقیق را مورد توجه قرار دهد، ۲۳ سکوی نرم‌افزاری شهر هوشمند در جهان مورد بررسی قرار گرفت تا به دو سؤال اساسی تحقیق پاسخ داده شود. با ترکیب نتایج پاسخ به دو پرسش اصلی تحقیق، معماری نرم‌افزاری مرجع برای شهرهای هوشمند استخراج گردید. این معماری، مؤلفه‌هایی را برای اجرای یک پلتفرم نرم‌افزاری مناسب ارائه می‌دهد.

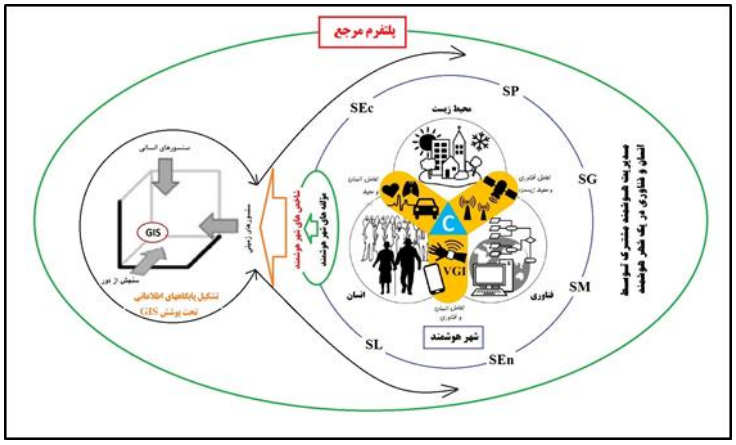
با توجه به اینکه این تحقیق بخشی از نتایج یک تحقیق بزرگتری است، لذا بخشی از اطلاعات مورد نیاز آن از طریق مصاحبه و تهیهٔ فرم مصاحبه و به شیوهٔ نمونه‌گیری فوکوس گروب از ٦١ نفر از کارشناسان خبرهٔ فناوریِ ادارات و سازمان‌های مختلف دولتی و خصوصی شهر کرمان در سال ١٣٩٦ به دست آمد.

مبانی نظری

ابتکارات متعددی در شهرهای هوشمند دنیا با سطوح مختلف رشد و برنامه‌های کاربردی در حوزه‌های مختلف وجود دارد. اکثر این ابتکارات در اروپا (کاراگلیو و همکاران، ۲۰۱۱؛ منویل و همکاران ٢٠١٤)؛ سپس در ایالات متحده، ژاپن و کرهٔ جنوبی هستند (لیو و پنگ، ۲۰۱۳). ابتکاراتی نیز در کشورهایی نظیر برزیل (فورتِس و همکاران، ٢٠١٤) و امارات متحدهٔ عربی (جاناجرِه و همکاران، ۲۰۱۳) وجود دارد. شکل (۱) کشورهایی را که حداقل یک پروژهٔ شهر هوشمند دارند و در این پژوهش مد نظر بودند، نشان می‌دهد. این نقشه نشان می‌دهد که بیشتر پروژه‌ها

در کشورهای توسعه‌یافته و چند کشور در حال توسعه بوده و کشورهای توسعه‌نیافته، فاقد پروژه‌های هوشمند شهری هستند.

بر اساس آنچه در ادبیات و پیشینهٔ تحقیق آمده، یک چارچوب و مدل مفهومی برای این تحقیق تدوین شد که در شکل (۲) آورده شده است. بر اساس این مدل، شهرهای هوشمند فعلی، متشکل از سه عنصر و ذینفع اصلی یعنی انسان، محیط زیست و فناوری است که هر سه در مجموع تحت پوشش شش مؤلفه و ٧٤ شاخص بین‌المللی، ملّی، منطقه‌ای و محلی هستند. این شاخص‌ها توسط سه نوع سنسور، داده‌های لازم را برای تشکیل پایگاه‌های اطلاعاتی تحت پوشش یک پایگاه مرکزی GIS شهر هوشمند فراهم می‌کند. خروجی این پایگاه، اطلاعاتی است که هم برای پایش و ارزیابی و هم برای مدیریت شهر هوشمند وارد بازچرخهٔ مدیریتی شهر هوشمند می‌شود. در ورای چنین مدلی، وجود یک پلتفرم مرجع در شهر کرمانف کمبود اساسی به نیز می‌رسد که معرفی آن، هدف اصلی این تحقیق را تشکیل می‌دهد.



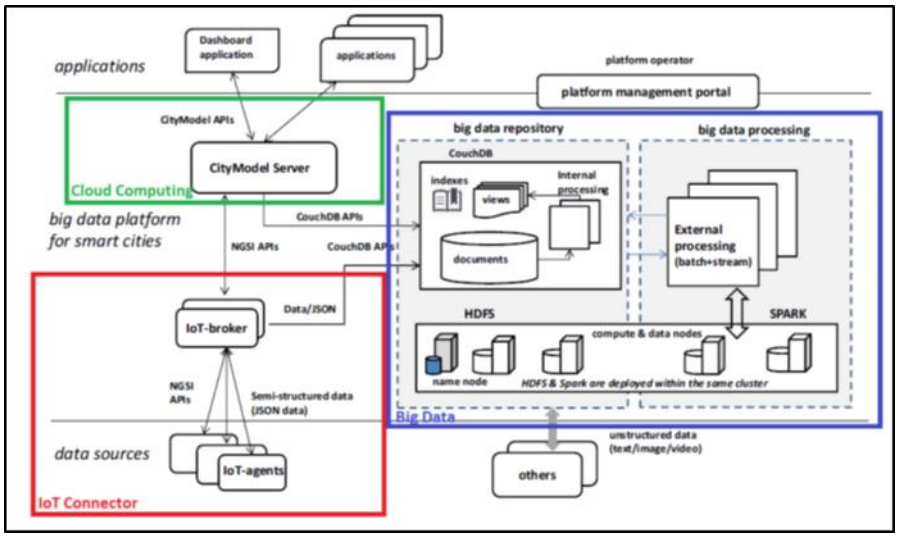
شکل ۲. مدل مفهومی تحقیق

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

توضیحات: اقتصاد هوشمند (Sec)، مردم هوشمند (SP)، حکمروایی هوشمند (SG)، پویایی هوشمند (SM)، محیط زیست هوشمند (SEn)، زندگی هوشمند (SL)، اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه (VGI)

بر این اساس، ابتدا برخی پلتفرم‌های عمومی مورد استفاده در پروژه‌های هوشمندسازی شهرهای دنیا ارائه می‌شود. سپس معماری دو سیستم عامل CiDAP و OpenIoT ارائه شده در تحقیقات قبلی، در نهایت در پاسخ به سؤالات تحقیق که پیش از این ارائه شد، معماری مرجع جدیدی استخراج می‌شود که برای به کارگیری در شهرهای هوشمند در حال گسترش نظیر شهر کرمان کاربرد دارد. پلتفرم داده‌ها و تجزیه و تحلیل شهر (CiDAP)[1] یک پلتفرم بزرگ مبتنی بر داده است که با هدف استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از شهر برای فعال‌سازی آگاهی و اطلاعات متنی در برنامه‌ها و خدمات است. این پلتفرمِ پردازشی، داده‌های بزرگ از یک میان‌افزار مبتنی بر اینترنت اشیاء را جمع-آوری می‌کند. شکل (۳) معماری پلتفرم را ارائه می دهد که دارای پنج جزء اصلی است.

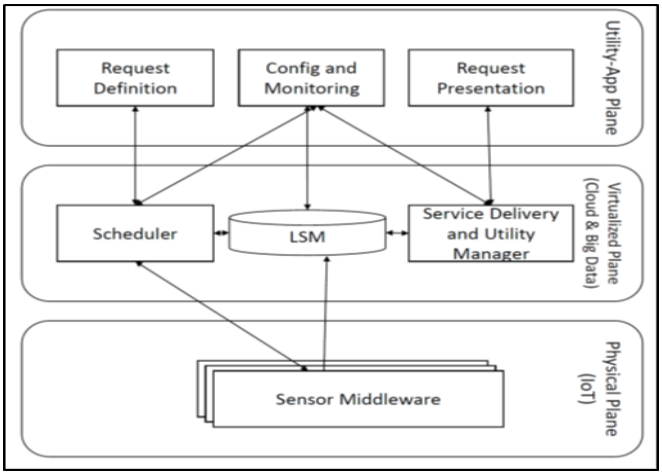
[1] - City Data and Analytics Platform



شکل ۳. بستر و پلاتفرم CiDAP منبع: (چنگ و همکاران، ۲۰۱۵)

OpenIoT یک پلتفرم مبتنی بر اینترنت (IoT) مورد استفاده توسط پروژهٔ شهر هوشمند است (پترولو و همکاران، ۲۰۱٤). شکل (٤) یک مرور کلی از معماری پلتفرم مذکور ارائه می‌دهد که دارای سه لایه است: طرح طبیعی مبتنی بر اینترنت، طرح واقعی مبتنی بر ابر و داده‌های بزرگ و طرح کاربردی.

و امّا در معماریِ ترکیبیِ پیشنهادی، جنبه‌های مثبت هر دو سیستم عامل فوق در نظر گرفته شده است. ماژول دادهٔ بزرگ در این پلتفرم، شبیه به CiDAP است. هر دو پردازش دسته‌ای و در زمان واقعی و اجزای ذخیره‌سازی داده‌های بزرگ را پیش‌بینی می‌کنند. با این حال، ایدهٔ یک مخزن برنامه را برای ذخیرهٔ داده‌ها و مِتا داده‌ها، مخزن مدل برای ذخیرهٔ انواع مختلف مدل‌های مرتبط با پدیده‌های مختلف شهر مانند انواع مختلف نقشه‌ها، جریان داده‌ها، رفتارهای کاربر، فرایندهای خودکار و غیره اضافه شد. یا در پلتفرم پیشنهادی، شبیه به OpenIoT، یک لایهٔ ابر و شبکه برای مدیریت داده‌های جمع‌آوری شده از شهر و اجزای سرویس و اجزای برنامه اجرا شده است.



شکل ٤. پلتفرم OpenIoT منبع:(پترولو و همکاران، ۲۰۱٤)

در این خصوص تحقیقات مختلفی در خارج کشور انجام شده که در ادامه به بررسی اجمالی آنها پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است، این تحقیق در داخل کشور پیشنهٔای ندارد و موضوعی نو است که به توسعهٔ یک الگوی تکنولوژیکی برای بومی‌سازی آن در ایران می‌پردازد.

سیستم عامل WindyGrid یک طرح ابتکاری از شهر شیکاگو، شامل پلتفرمی برای شهرهای هوشمند است که هدفشان ارائه داده‌های زمان واقعی و تاریخی با یک دید کلی از عملیات شهر است (ثورنتون، ۲۰۱۳).

اسمارتی سیستم عامل دیگری است که با هدف ارائهٔ ابزار و خدمات برای پویایی و سیستم‌های حمل و نقل انعطاف‌پذیر شهر طراحی شده است که داده‌ها را از منابع مختلف جمع‌آوری می‌کند، مانند جریان ترافیک، مکان کاربر، تأخیر سرویس‌های حمل و نقل و دسترسی به پارک. شبکه‌ای از سنسورهای کم هزینه، اطلاعات را از شهر جمع آوری می‌کند و شبکه‌های اجتماعی به طور مداوم برای دریافت اطلاعات از شهروندان پایش می‌شود. این پلتفرم مقدار زیادی داده‌های تولید شده توسط شهر را با تکنیک‌های داده‌کاوی، مانند طبقه‌بندی، رگرسیون و خوشه-سازی، پردازش می‌کند (آناستاسی و همکاران، ۲۰۱۳).

پلتفرم پیشنهاد شده توسط گرتلسمید و همکاران (۲۰۱۳) از فناوری‌های معنایی برای ایجاد یک پلتفرم در شهرهای هوشمند استفاده می‌کند که در تنظیم و سازگاری با سیستم انعطاف‌پذیری دارد. الزامات اصلی کارکردی که برای این گروه از سیستم عامل‌ها شناسایی شده، عبارت است از: مدیریت داده‌ها مانند جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل و تجسم داده‌ها؛ پردازش داده‌ها در مقیاس بزرگ مانند پردازش دسته‌ای و در زمان واقعی و استفاده از تکنیک‌های معنایی همراه با داده‌های بزرگ. به عنوان نیازهای غیر کاربردی نیز ویژگی مقیاس‌پذیری و سازگاری را دار هستند.

ویلاجوسانا و همکاران (۲۰۱۳) یک پلتفرم برای شهرهای هوشمند ارائه دادند که اجزای اصلی آن مدیریت داده‌ها و میزبانی خدمات بوده است. آن شامل یکAPI داده‌باز است که به شخص ثالث امکان دسترسی به داده‌های ذخیره شده در پلتفرم را می‌دهد.

شهرت شهر هوشمند پادوا در ایتالیا به این است که از اینترنت اشیاء برای ایجاد یک شبکهٔ حسگر در شهر استفاده می‌کند. با استفاده از بیش از سیصد سنسور، پلت فرم داده‌های محیطی مانند انتشار CO_2 و دمای هوا را جمع‌آوری کرده و چراغ‌های خیابانی را نظارت می‌کند. یکی از ویژگی‌های برجسته در این پلتفرم، استفاده از پروتکل‌های مشترک داده است که قابلیت همکاری در میان سیستم‌های مختلف چند شهر را فراهم کند (زانلا و همکاران، ۲۰۱٤).

پروژهٔ استاندر هوشمند، یک زیرساخت آزمایشی برای حمایت از توسعه و استقرار برنامه‌های کاربردی و سرویس-های شهر هوشمند است. این پروژه در سانتاندرِ اسپانیا و با امکانات کوچکتر در سایر شهرهای اروپایی متمرکز است. این پلتفرم انواع مختلفی از اطلاعات را شامل اطلاعات مربوط به شرایط ترافیکی، درجهٔ حرارت، انتشار CO_2، رطوبت و میزان تابش را پردازش می‌کند. در حال حاضر، این پروژه بیش از ۲۰۰۰۰ سنسور در این شهر نصب کرده است (سانچز و همکاران، ۲۰۱٤).

ابزارهای داده بزرگ برای جمع‌آوری جریان داده‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها مانند پیش‌بینی و استنتاج استفاده می-شود. سیستم عامل Scallop4SC برای شهر هوشمند با استفاده از داده‌های بزرگ برای پردازش حجم زیادی از داده‌های جمع‌آوری شده از ساختمان‌های هوشمند مورد استفاده قرار گرفته است این پلتفرم از اطلاعات مربوط به

ساختمان استفاده می‌کند، مانند مصرف آب و انرژی، دما، رطوبت هوا و میزان تولید زباله. به صورت دوره‌ای، ساختمان‌ها، داده‌ها را برای پردازش به پلتفرم می‌فرستند (یاماموتو و همکاران، ۲۰۱٤).

خان و همکاران (۲۰۱۵) معماری شهر هوشمند بر اساس داده‌های بزرگ را پیشنهاد دادند تا برای دسترسی به مقیاس‌پذیری لازم برای پلتفرم شهر هوشمند مورد استفاده قرار گیرد. این معماری دارای سه لایه است: لایهٔ جمع-آوری، تجزیه و تحلیل و فیلتر کردن داده‌ها؛ دیگری لایهٔ مربوط به تهیهٔ نقشه؛ و لایهٔ سوم که کاربران می‌توانند داده‌ها را از دو لایهٔ دیگر پردازش کرده و بازیابی کنند. پیاده‌سازی معماری تنها از فایل‌های منبع‌باز استفاده می‌کند و نویسندگان، ابزارهای لازم برای همهٔ لایه‌ها را ارائه می‌دهند.

سیستم عامل CiDAP یک پلتفرم تحلیل داده‌های بزرگ است که در آزمایش سانتاندرِ هوشمند به کار گرفته شده است. این پلتفرم از داده‌های جمع‌آوری شده از آن شهر استفاده می‌کند و آن را تجزیه و تحلیل می‌کند تا رفتارهای شهری را درک کند. اجزای اصلی این پلتفرم عبارت است از ابزار جمع‌آوری داده‌ها از پلتفرم سانتاندر،هارد برای ذخیرهٔ داده‌های بزرگ؛ پردازشگر داده‌های بزرگ و یک سرور مدل شهری که مسئول برقراری ارتباط با برنامه‌های خارجی است (چنگ و همکاران، ۲۰۱۵).

سانتانا و همکاران (۲۰۱٦) به بررسی بسترهای نرم‌افزاری لازم اعم از مفاهیم، الزامات و چالش‌های موجود در این خصوص برای شهرهای هوشمند برزیل پرداختند. آنها همچنین یک سبک معماری (پلتفرم) مرجعِ واحد برای یکپارچه‌سازی داده و اطلاعات جمع‌آوری شده از شهر هوشمند ارائه دادند تا از طریق آن، این اطلاعات در یک فرمت و سازماندهیِ مشخص، ثبت، ضبط و نگهداری شده و قابل ویرایش، بازیافت و بازیابی باشد تا به راحتی در مدیریت و توسعهٔ شهر هوشمند به کار گرفته شوند.

اکثر این سیستم‌های عامل به استثنای سیستم عامل CiDAP که از یک نرم‌افزار میانی اینترنت اشیاء در سانتاندر استفاده می‌نماید، در بقیهٔ سیستم عامل‌ها اینترنت اشیاء ندارند و مشخص نیست که چگونه داده‌ها را از سطح شهر جمع‌آوری می‌کنند. ایراد دیگر این سیستم‌ها، نگرانی‌های امنیتی مربوط به آنهاست. در ادامه به بررسی پیشینهٔ سیستم عامل‌هایی پرداخته می‌شود که از پردازش ابری به عنوان تکنولوژی فعال استفاده می‌نمایند.

U-City سیستم عامل دیگری است که به ارائهٔ خدمات برای توسعهٔ برنامه‌های کاربردی که از داده‌های شهر استفاده می‌کند، می‌پردازد. معمولاً از این پلتفرم در اکثر شهرهای هوشمند استفاده می‌شود. این پلتفرم چندین ویژگی مدیریت خدماتی را ارائه می‌دهد نظیر کشف سرویس خودکار، استقرار سرویس و اجرای خدمات مرتبط با زمینه. همچنین خدمات ارائه شده از پیش تعریف شده مانند یک موتور استنتاج، یک سرویس اطلاعاتی متمرکز متنی و یک پورتال برای مدیریت این پلتفرم ارائه می‌دهد (لی و رو، ۲۰۱۰).

Civitas یک نرم‌افزار میانی دیگر است که برای حمایت از توسعهٔ خدمات شهر هوشمند طراحی شده است. این نرم‌افزار برای توسعه و استقرار برنامه‌های هوشمند شهر و جلوگیری از ظهور «جزایر اطلاعاتی» یعنی برنامه‌های مُقطَّع که اطلاعات مرتبط را به اشتراک نمی‌گذارند، طراحی شده است. شهروندان با استفاده از یک دستگاه خاص به نام Civitas Plug به نرم‌افزار متصل می‌شوند که امنیت و حریم خصوصی آنها را تضمین می‌کند. الزامات اصلی

کاربردی شناسایی شده برای این گروه از سیستم عامل‌ها عبارت است از: مدیریت خدمات و مدیریت داده‌ها. به عنوان نیازهای غیر کاربردی نیز امنیت، حریم خصوصی و آگاهی از زمینه جزو ویژگی‌های این سیستم عامل‌هاست. نقص عمدهٔ این سیستم عامل‌ها این است که هیچ یک از آنها از چارچوب شناخته شده برای اجزای اجرایی مانند موتور خروجی و ابزارهای پردازش استفاده نمی‌کند که ممکن است نگهداری پلتفرم را مشکل سازد. مشکل دیگر این است که سیستم عامل مکانی برای اجازهٔ دسترسی خارجی به پلتفرم را توصیف نمی‌کند (ویلانوا و همکاران، ۲۰۱۳).

پیرو و همکاران (۲۰۱٤) یک پلتفرم سرویس دو لایه برای ایجاد برنامه‌های شهر هوشمند ارائه دادند. اولین لایهٔ آن، سطح پایین است که ارتباطات را در میان دستگاه WSN شهر کنترل می‌کند. لایهٔ دوم داده‌ها را از دستگاه‌ها جمع-آوری می‌کند.

Gambas، یک نرم‌افزار میانی است برای توسعهٔ برنامه‌های هوشمند شهر که از کسب اطلاعات، توزیع و ادغام آنها پشتیبانی می‌کند. این پلتفرم همچنین زمان اجرای برنامه را برای تسهیل توسعه و استقرار سرویس‌ها با استفاده از داده‌های شهری و یک سرویس رجیستری فراهم می‌کند. میان‌افزار از اطلاعات محرمانه پشتیبانی می‌کند؛ به طوری که خدمات شهر هوشمند می‌تواند با وضعیت، رفتار و قصد شهروندان سازگار شود. تمام ارتباطات در پلتفرم رمزگذاری شده است تا اطمینان حاصل شود که حریم خصوصی و امنیت شهروندان رعایت شده است (آپولینارسکی و همکاران، ۲۰۱٤).

در ادامه، به معرفی پیشینهٔ سیستم‌های عاملی پرداخته می‌شود که پردازش ابری و سیستم‌های طبیعی خودتنظیم را به عنوان فنآوری‌های فعال استفاده می‌کنند.

وان و همکاران (۲۰۱۲) پیشنهاد یک پلتفرم CPS مبتنی بر رخداد را که از مدیر رخداد برای مدیریت و ایجاد همکاری در میان اجزای M2M استفاده می‌کند، دادند. این پلتفرم داده‌ها و خدمات را به برنامه‌های شخص ثالث از طریق یک ماژول انتشار، اشتراک می‌دهد. این پلتفرم همچنین طراحی فرآیند رویداد را قادر می‌سازد پیام‌های بی‌سیم را مدیریت کند. الزامات عملکردی اصلی شناسایی شده برای این گروه از سیستم عامل‌ها عبارت است از: واکنش-های اتوماتیک به تغییرات در محیط شهر، ارتباط میان دستگاه‌های شهر و ساز و کار انتشار یا عضویت برای برنامه‌ها جهت برقراری ارتباط با این پلتفرم. به عنوان نیازهای غیر کاربردی، نیز تنظیم، سازگاری و آگاهی از زمینه از جمله ویژگی‌های این سیستم عامل‌هاست. این دسته از سیستم عامل‌ها، نیازمندی‌های مهمی مانند پایش و انتشار داده‌ها از دستگاه‌ها را ندارند؛ همچنین مکانیزمی برای تأیید اطلاعات جمع‌آوری شده از شهر را نادیده می‌گیرند و از فرآیند عدم تناقض استفاده می‌کنند.

گورگن و همکاران (۲۰۱۳) سیستم میان‌افزار خدمات خودکار مستقل برای شهرهای هوشمند را ارائه نمودند که دارای ویژگی‌هایی مانند خود سازگاری، خودبهینه‌سازی، خودتنظیم، خود محافظت، خود درمان، خود کشف، و خودتوصیف هستند آنها استفاده از رایانه‌های ابری را برای ارائهٔ مقیاس‌پذیری، قابلیت اطمینان و کشش به پلتفرم توجیه می‌کنند.

پرایوِت و همکاران (۲۰۱٤) یک پلتفرم دیگر مبتنی بر CPS را پیشنهاد می‌کنند که ویژگی اصلی آن خودسازگاری در محیط‌ها و شهرهای هوشمند است. این پلتفرم یک زیرساخت نرم‌افزاری توزیع شده مشترک را فراهم می‌کند که داده‌ها را جمع‌آوری کرده و به تغییرات در محیط واکنش نشان می‌دهد.

یافته‌های تحقیق

معیارها و الزامات پلتفرم‌های نرم‌افزاری

برای پاسخ به سؤال «الزاماتی که یک پلتفرم نرم‌افزاری برای شهرهای هوشمند باید برآورده نماید، چیست؟» از تجربیات پروژه‌های هوشمندسازی و نتایج تحقیقات اندیشمندان تا به امروز استفاده شد و الزامات کاربردی و غیرفعال برای ایجاد یک پلتفرم در شهرهای هوشمند شناسایی گردید. در ادامه، خواسته‌های عملکردی و غیر کاربردی استخراج شده از سیستم عامل‌های موجود تجزیه و تحلیل می‌شود تا از طریق آنها، معماری مرجع استخراج شود.

- الزامات کاربردی (فعال یا کاربردی)

الزامات کاربردی یک پلتفرم برای شهرهای هوشمند، شامل تسهیل توسعهٔ برنامه‌های شهر هوشمند است. با این هدف اکثر سیستم عامل‌های مورد بررسی، به جمع‌آوری داده‌ها از شهر، مدیریت و به اشتراک‌گذاری داده‌ها و ارائهٔ ابزار برای تسهیل توسعهٔ برنامه‌های شهر هوشمند نیازمند هستند. جدول (۱) خلاصه‌ای از الزامات کاربردی سیستم عامل شهر هوشمند را ارائه می‌دهد که حاصل نتایج برخی اندیشمندان مختلف است.

جدول ۱- الزامات عملکردی در پلتفرم شهرهای هوشمند دنیا در پروژه‌ها و مطالعات بررسی شده

نام پروژه، پلتفرم و یا تحقیق انجام شده	مدیریت داده	زمان اجرای برنامه	مدیریت WSN	پردازش داده	دسترسی به داده‌های خارجی	مدیریت خدمات	ابزارهای مهندسی نرم‌افزار	تعریف مدل شهر
SmartSantander	*	*	*		*			
OpenIoT	*	*	*	*		*	*	
Concinnity	*	*		*	*	*	*	
Civitas	*			*		*		
Gambas	*	*			*	*		*
Khan et al, 2013	*			*	*	*	*	
Girtelschmid et al, 2013				*	*			
Scallop4SC	*			*	*			
OpenMTC					*	*	*	
Wan et al, 2012	*			*		*		
Piro et al, 2014						*		
Gurgen et al, 2013	*	*	*	*	*	*		
Vilajosana et al, 2013	*		*	*	*	*		
ClouT	*	*	*		*			
Padova Smart sity	*		*	*	*			

U-City	❋	❋		❋	❋	❋		
Sentilo	❋		❋		❋			
Windy Grid	❋				❋			
EPIC	❋		❋		❋	❋		
Privat et al, 2014								❋
SMARTY	❋		❋	❋	❋	❋		
CiDAP	❋			❋	❋			❋
جمع کل	۱۸	۷	۹	۱۳	۱٦	۱٤	٤	۳

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

بر اساس الزامات عملکردی ذکر شده، می‌توان دید که فعالیت اصلی سیستم عامل، کنترل چرخهٔ داده‌های شهر را هدف قرار می‌دهد: (۱) جمع‌آوری داده‌ها با WSN، (۲) مدیریت داده‌ها در پلتفرم، (۳) پردازش داده‌ها با استفاده از مدل‌های شهر و (٤) به اشتراک‌گذاری داده‌های خام و پردازش اجازهٔ دسترسی خارجی. این فعالیت‌ها با فناوری‌های فعال مانند اینترنت اشیاء با مدیریت WSN و مدیریت داده‌ها و پردازش با داده‌های بزرگ و مدیریت خدمات با پردازش ابری بسیار مرتبط است.

– الزامات غیر عملکردی (غیرفعال یا غیر کاربردی)

بیشتر الزامات غیرکاربردی پلتفرمِ شهر هوشمند مربوط به سیستم‌های غیر عملکردی (غیر کاربردی) مانند مقیاس-پذیری، سازگاری و قابلیت همکاری است. دیگر نیازهای غیر کاربردی مربوط به ویرایش اطلاعات مهم و شخصی شهروندان مانند امنیت و حریم خصوصی است. جدول (۲) یک مرور کلی از الزامات غیر عملکردی برای سیستم عامل شهر هوشمند ارائه می‌دهد که حاصل نتایج کار اندیشمندان مختلف است.

جدول ۲- الزامات غیر عملکردی در پلتفرم شهرهای هوشمند دنیا در پروژه‌ها و مطالعات بررسی شده

نام پروژه، پلتفرم و یا تحقیق انجام شده	قابلیت همکاری	مقیاس‌پذیری	امنیت	حریم خصوصی	اطلاع از متن	انطباق	توسعه‌پذیری	تنظیمات
SmartSantander		❋	❋	❋				
OpenIoT	❋		❋					❋
Concinnity	❋		❋	❋				❋
Civitas	❋		❋	❋				
Gambas			❋	❋	❋			
[Khan et al. 2013]		❋			❋		❋	
[Girtelschmid et al. 2013]	❋	❋			❋	❋		
Scallop4SC		❋					❋	
OpenMTC	❋							
[Wan et al. 2012]	❋					❋		❋
[Piro et al. 2014]			❋					
[Gurgen et al. 2013]	❋				❋	❋		
[Vilajosana et al. 2013]	❋		❋					
ClouT	❋							
Padova Smart City	❋	❋	❋					
U-City			❋					❋
Sentilo		❋	❋	❋			❋	
WindyGrid								
EPIC	❋	❋						
[Privat et al. 2014]					❋	❋		❋
SMARTY	❋				❋			

CiDAP	*		*		*	*		*
Number of Instances	۱۳	۸	۱۰	۵	۷	۵	٤	۵

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

توسعهٔ یک پلتفرم معماری جامع برای شهر مورد مطالعه

گام اول در هوشمندسازی هر شهری، ایجاد و توسعهٔ پلتفرم نرم‌افزاری آن است. مدیران شهری لازم است شرکت-های دانش‌بنیان را برای تولید فناوری بومی یک پلتفرم مرجع و یا تهیهٔ آن از طریق شرکت‌های تولید کنندهٔ آنها مطلع نمایند و با آنها وارد قرارداد همکاری شوند. بر اساس نتایج مطالعات نظری، انجام شده، تکنولوژی‌های فعالی که در پلتفرم‌های فعلی رایج در شهرهای هوشمند استفاده می‌شود شامل دو نوع پلتفرم CiDAP و OpenIoT است که شرح مفصل آنها گذشت.

در پی پاسخ به دو سؤال اصلی تحقیق و در راستای رفع ایراداتی که دو پلتفرم مذکور داشته است، پلتفرمِ مرجع جدیدی برای بسترِ نرم‌افزاریِ شهرهای هوشمند استخراج شد که ساختار آن در شکل (۵) آورده شده است. پلتفرم پیشنهادی، قادر است از الزامات کاربردی مانند مقیاس‌پذیری، امنیت، حریم خصوصی و قابلیت همکاری پشتیبانی نماید. جدول (۳) گزینه‌هایی برای پیاده‌سازی پلتفرم مرجع را ارائه داده است. شرکت‌های دانش‌بنیان برای رسیدن به یک مدل بومی مبتنی بر آخرین فناوری مربوط به پلتفرم‌ها برای استفاده در هوشمندسازی شهر کرمان لازم است به ویژگی‌ها و خصوصیات مشترک این پلتفرم‌ها دقت نمایند. در پلتفرم نرم‌افزاری جامع، چهار جزء اصلی آن به شرح ذیل مشخص گردید:

سیستم‌های سایبرنتیک (خودتنظیم) طبیعی (CPS)[1]: از CPS به عنوان محاسبات و فناوری‌های ارتباطی، می‌توان برای بهبود ویژگی‌های سیستم‌های فیزیکی استفاده نمود. یک نمونه CPS مربوط به شهرهای هوشمند، برنامه‌ای برای تشخیص حوادث ترافیکی است این نرم‌افزار در تلفن‌های هوشمند توسعه داده شد. در این سیستم، دستگاه شتاب-سنج و GPS، سرعت و شتاب فعلی راننده را می‌سنجد. در صورت کاهش شدید، داده‌ها با استفاده از یک مدل پیش‌بینی وقوع یک تصادف را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و در صورت وقوع، پیام هشدار را به سرور مرکزی ارسال می‌کند.

اینترنت (IoT)[2]: سه جزء در یک محیط IoT عبارت است از سخت‌افزار (شامل سنسورها و عملگرها برای دریافت داده‌ها)، میان‌افزار (برای پردازش و ذخیره داده‌های دریافت شده از سخت افزار) و مخزن داده. امروزه استفاده‌های بالقوه‌ای از IoT برای شهرهای هوشمند، نظیر نظارت بر سلامت ساختمان‌های تاریخی، تشخیص سطوح بار ظروف زباله، حساسیت نویز در مناطق مرکزی شهر، کنترل شرایط چراغ‌های راهنمایی و تحلیل استفاده از انرژی در خانه هوشمند می‌شود.

داده‌های بزرگ (BD)[3]: بیشتر نویسندگان داده‌های بزرگ را به عنوان مجموعه‌ای از تکنیک‌ها و ابزار برای ذخیره و دستکاری مجموعه داده‌های بزرگ در نظر می‌گیرند؛ در حالی که فناوری‌های متعارف مانند پایگاه داده‌های ارتباطی و

[1] - Cyber-Physical System
[2] - Internet of Things
[3] - Big Data

ابزارهای پردازش پیوسته نمی‌توانند با چنین حجم وسیعی از داده‌ها روبرو شوند. چهار ویژگی اصلی برای داده‌های بزرگ وجود دارد: حجم داده‌ها، تنوع در فرمت داده، سرعت پردازش داده‌ها و اطمینان از کیفیت داده‌ها.

رایانش (پردازش) ابری[1]: رایانش ابری، گامی دیگر در تحول اینترنت است. تحولی که می‌تواند همه چیز (از قدرت پردازش گرفته تا زیرساخت آن و برنامه‌ها از فرآیندهای تجاری گرفته تا تعاملات شخصی) را به کاربران در قالب یک خدمت در مکان‌ها و زمان‌های مختلف ارائه نماید. منظور از واژهٔ «ابر» در رایانش ابری، مجموعه‌ای از سخت-افزار، شبکه، فضای ذخیره‌سازی، خدمات و واسط کاربری که با یکدیگر ادغام شده‌اند تا بتوانند مفهوم رایانش (پردازش) را در غالب یک خدمت ارائه کنند. خدمات ابری شامل ارائه نرم‌افزار، زیرساخت و فضای ذخیره‌سازی بر روی اینترنت (چه به عنوان اجزای مستقل و یا در قالب یک بسته کامل) بر اساس خواستهٔ کاربر می‌باشد. به عبارتی، در پردازش ابری، کلیهٔ سیستم‌های مربوط به پلتفرم یک شهر، سخت‌افزارها، میان افزارها و نرم‌افزارها، کاربران متخصص و عمومی در ارتباط با هم پردازشی را برای ارائهٔ خدمات مناسب در مکان‌ها و زمان‌های مختلف به کاربران و شهر انجام می‌دهد (شکل ۵). مدل‌های رایانش ابری عبارت است از: زیرساختِ خدمت (IaaS)[2]، بسترِ خدمت (PaaS)[3] و نرم‌افزارِ خدمت (SaaS)[4]. همچنین، رایانش ابری در قالب مدل‌های مختلفی ارائه می‌شود: ابرهای عمومی[5]، ابرهای خصوصی[6] و ابرهای هیبریدی[7] که تلفیقی از ابرهای عمومی و خصوصی هستند.

مدیریت داده‌های بزرگ یک ماژول برای مدیریت تمام داده‌ها در پلتفرم است که مسئول ذخیرهٔ داده‌های جمع آوری شده از شهر و تولید شده توسط پلتفرم است. به این ترتیب، پلتفرم مرجع دارای سه مخزن است: (۱) یک مخزن برای ذخیرهٔ برنامه‌ها، از جمله کد منبع باینری آن، تصاویر و اسناد مرتبط؛ (۲) یک مخزن برای ذخیرهٔ مدل‌های شهر، مانند یک مدل ترافیک، مدل شبکه سنسور، مدل داده‌ها، نقشه‌های شهر، و یک مدل توزیع انرژی؛ (۳) یک مخزن داده برای ذخیرهٔ اطلاعات جمع‌آوری شده از سنسورها، شهروندان و برنامه‌های کاربردی.

با تکیه بر مولفهٔ میان‌افزار فوق، توسعه‌دهندگان نرم‌افزار و اپراتورهای شهر هوشمند، برنامه‌های هوشمند شهر را توسعه و گسترش می‌دهند. با استفاده از داده‌های باز و خدمات باز شده توسط یک شهر، شهروندان و کاربران معمولی نیز ممکن است برنامه‌های جدیدی را اجرا کنند یا حتی توسعه دهند تا بر روی زیرساخت‌های هوشمند شهر اجرا شوند. برنامه‌ها از خدمات و داده‌ها از پلتفرم استفاده خواهند کرد و داده‌ها را بر روی پلتفرم تولید و ذخیره می‌کنند. این پلتفرم باید SDK را برای توسعه، تسهیل نماید.

تمام اجزای پلتفرم باید از چندین الزامات غیرفعال مانند مقیاس‌پذیری، امنیت، حریم خصوصی و قابلیت همکاری پشتیبانی کند. مقیاس‌پذیری اساساً به دلیل تعداد زیادی از دستگاه‌ها، داده‌ها و خدمات در پلتفرم است. حریم خصوصی و امنیت مهم هستند، زیرا کار پلتفرم جمع‌آوری، ذخیره و پردازش داده‌های معقول از شهر و شهروندان

---

1 - Cloud Computing
2 - Infrastructure as a Service – IaaS
3 - Platform as a Service – PaaS
4 - Software as a Service – SaaS
5 - Public Clouds
6 - Private Clouds
7 - Hybrid Clouds

است. قابلیت همکاری، قابلیت عملیات یکپارچه انواع مختلف خدمات، دستگاه‌ها و برنامه‌های کاربردی را فراهم می کند. جدول (۳) گزینه‌هایی برای پیاده‌سازی پلتفرم مرجع را ارائه می‌دهد.

جدول ۳- تکنولوژی‌های مورد استفاده در اجرای سیستم عامل ترکیبیِ مرجع

Component	Tools
IoT Middleware	Sentilo and X-GSN
Data Repository	MongoDB, CouchDB, MySQL, IBM DB2, and Redis
Data Processing	Spark and Hadoop
Stream Processing	Storm
Cluster Management	Apache ZooKeeper and Haddop YARN
Cloud Environment	OpenNebula and Microsoft Azure
Data Access	REST APIs and Jersey
Security	SAML Protocol
Machine Learning	Weka, Spark MLib, and Scikit Learn

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

- وضعیت پلتفرم نرم‌افزاری برای شهر کرمان از نگاه کارشناسان خبرهٔ شهر

با انجام یک مصاحبهٔ هدفمند، دو سؤال مطرح و مورد مصاحبهٔ کارشناسان خبره و متخصص در حوزهٔ فناوری شهر کرمان قرار گرفت: آیا شما با مفهوم، ساختار و عملکرد پلتفرم نرم‌افزاری برای مدیریت هوشمند یک شهر آشنا هستید؟ از ۱۷۵ نفر، مجموعاً ٦١ نفر پاسخ‌شان «بله» بود.

سپس سؤال دوم طرح شد: آیا شهر کرمان دارای زیرساخت پلتفرم نرم‌افزاری برای مدیریت هوشمند هست؟ از تعداد ٦١ نفر واجد شرایط پاسخ به این سؤال، در مجموع ۵۹ نفر (۹٦.۷ درصد) بر نبود و خلأ پلتفرم نرم‌افزاری برای مدیریت هوشمند شهر کرمان که می‌بایست در سیستم مدیریت هوشمند مرکزی شهر (در واحد انفورماتیک شهرداری) مستقر باشد، تأکید داشتند.

در مرحلهٔ بعد، از پاسخ‌دهندگان خواسته شد اگر جواب‌شان به سؤال دوم «دارد» است، به سؤالات سوم تا ۲۲ پاسخ دهند. با توجه به اینکه ۹٦.۷ درصد پاسخ‌ها «ندارد» و یا ۳.۳ درصد «اطلاعی ندارم» بوده، لذا با نبود پلتفرم، اجزای آن نیز محلی از اعراب ندارد. به این معنا که پاسخ همهٔ سؤالات ۳ تا ۲۲، «ندارد» بوده است (جدول ٤).

با در نظر داشتن اینکه مهمترین بخش زیرساختی نرم‌افزاریِ پایگاه اطلاعاتی در یک شهر هوشمند، پلاتفرم آن است؛ همچنین با توجه به نتایج این قسمت (سطح معناداری ۹٦.۷ درصد و ضریب خطای ۰/۰۳۳) نبود یک پلاتفرم مرجع و ضروری در این شهر توسط کارشناسان خبرهٔ آن تأیید شده است.

جدول ٤- وضعیت پلتفرم نرم‌افزاری مورد نیاز برای هوشمندسازی شهر کرمان

الزامات زیرساختی پلتفرم نرم‌افزاری برای شهر هوشمند			تحلیل نظرات ٦١ کارشناس IT آگاه به پلتفرم نرم‌افزاریِ مدیریت هوشمند شهر کرمان					
			پاسخ مثبت		پاسخ منفی		اظهار بی‌اطلاعی	
اصلی	جزئی	سؤال مرتبط	دارد	درصد	ندارد	درصد	اطلاع ندارم	درصد
پلتفرم	پلتفرم مناسب برای سیستم مدیریت شهر	۲	۰	۰	۵۹	۹٦.۷	۲	۳.۳
اجزای مورد نیاز پلتفرم	CPS	۳	۰	۰	۵۹	۹٦.۷	۲	۳.۳
	IoT	٤	۰	۰	۵۹	۹٦.۷	۲	۳.۳
	BD	۵	۰	۰	۵۹	۹٦.۷	۲	۳.۳
	Cloud Computing	٦	۰	۰	۵۹	۹٦.۷	۲	۳.۳
الزامات کاربردی مورد نیاز پلتفرم	مدیریت داده (DM)	۷	۰	۰	۵۹	۹٦.۷	۲	۳.۳
	برنامهٔ زمان اجرا	۸	۰	۰	۵۹	۹٦.۷	۲	۳.۳
	شبکهٔ بی‌سیم WSN	۹	۰	۰	۵۹	۹٦.۷	۲	۳.۳

	پردازش داده‌ها	۱۰	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
	دسترسی به داده‌های خارجی	۱۱	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
	مدیریت سرویس (خدمات)	۱۲	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
	ابزارهای مهندسی نرم‌افزار	۱۳	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
	تعریف مدل شهر	۱۴	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
الزامات غیر کاربردی مورد نیاز پلتفرم	قابلیت همکاری	۱۵	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
	مقیاس‌پذیری	۱۶	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
	امنیت	۱۷	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
	حریم خصوصی	۱۸	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
	اطلاع از متن	۱۹	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
	سازگاری (انطباق)	۲۰	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
	توسعه‌پذیری	۲۱	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
	تنظیمات	۲۲	۰	۰	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳
		–	–	–	۵۹	۹۶.۷	۲	۳.۳

جدول ۵- جمع‌بندی میانگین پاسخ‌های «ندارد» کارشناسان برای پلتفرم، اجزا و الزامات آن در هوشمندسازی شهر کرمان

	سؤال مرتبط در پرسشنامه	میانگین پاسخ «ندارد» به سؤالات	ضریب پاسخ «ندارد» به سؤالات	درصد تحقق تأیید فرضیهٔ ۱ از منظر پلتفرم	ضریب خطای آزمون مستقیم
پلتفرم، اجزا و الزامات آن در فرایند هوشمندسازی شهر کرمان	۳ تا ۲۲	۵۹	۰.۹۶۷	۹۶.۷	۰.۰۳۳

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

- چالش‌ها و مشکلات تحقیقاتی فراروی پلتفرم مرجعِ باز

در نهایت، برای پاسخ به این سؤال که «چالش‌های اصلی و مشکلات تحقیق باز در توسعهٔ نسل جدید سیستم عامل-های قوی بعدی برای شهرهای هوشمند چیست»؟ چالش‌های اصلی محقّقان که در زمینهٔ توسعهٔ نرم‌افزارها برای شهرهای هوشمند شناخته شده‌اند، تبیین و ارائه می‌شود. این چالش‌ها ماحصل تجزیه و تحلیل پژوهش‌های انجام شدهٔ قبلی مربوط به پروژه‌های شهرهای هوشمند است (جدول ٦).

جدول ٦- چالش‌های عمده در سیستم عامل‌ها (پلتفرم‌های) آتی و مشکلات تحقیق باز آنها

چالش	توضیحات	تکنولوژی و ابزار لازم	تحقیق شاخص انجام شده در این خصوص
حریم خصوصی	حفاظت از اطلاعات شهروندان، شهرها و شرکت‌ها	رمزنگاری، ناشناس شدن و برچسب‌های دسترسی	بالاکریشنا و همکاران، ۲۰۱۲
مدیریت داده‌ها	مدیریت تمام اطلاعات جمع‌آوری شده در پلتفرم	پایگاه‌های داده‌ای ارتباطی و NoSQL و ابزار پردازش	سو و همکاران، ۲۰۱۱
ناهمگونی	اطمینان از قابلیت عملکرد دستگاه‌ها و برنامه‌های کاربردی	استانداردها، هستی‌شناسی و مدل یکپارچه‌سازی شهر	ونگ و همکاران، ۲۰۱٤
مدیریت انرژی	مدیریت برق مورد استفاده توسط دستگاه‌های مستقر در شهر	–	پررا و همکاران، ۲۰۱٤ حسن و همکاران، ۲۰۱٤
ارتباطات	برقراری ارتباط میان دستگاه‌های ناهمگن	تکنولوژی‌های M2M	جاهل و همکاران، ۲۰۱٤
مقیاس‌پذیری	اجازهٔ افزایش دستگاه‌ها و کاربران متصل به پلتفرم	ابزار و الگوریتم‌های توزیعی و برنامه‌های P2P	بالاکریشنا و همکاران، ۲۰۱۲ سو و همکاران، ۲۰۱۱ سینایی پورفارد و همکاران، ۲۰۱٦
امنیت	حفاظت از داده‌های شهر، خدمات و زیرساخت‌ها	رمزنگاری، دستگاه‌ها و برچسب‌های دسترسی	هانکه و همکاران، ۲۰۱۲
کمبود آزمایشگاه	عدم آزمایشگاه‌های کافی برای آزمایش راه‌حل‌های شهر هوشمند	شبیه‌ساز شهر هوشمند	سانتانا و همکاران، ۲۰۱٦
مدل‌های شهری	تعریف یک مدل توصیف برای شهر	وب‌معنایی و هستی‌شناسی	وو و همکاران، ۲۰۱٤
نگهداری پلتفرم	حفظ سیستم‌های شهر و زیرساخت‌ها	ابزار پایش و هشداردهنده	هانکه و همکاران، ۲۰۱۲ پررا و همکاران، ۲۰۱٤ ونگ و همکاران، ۲۰۱٤

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

نتیجه‌گیری و دستاورد علمی پژوهشی

مهمترین بخش زیرساختی نرم‌افزاریِ پایگاه اطلاعاتی در یک شهر هوشمند، پلاتفرم آن است. تاکنون پلتفرم‌های فعال متعددی در پروژه‌های هوشمندسازی شهرهای دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داد که هر کدام از این پلتفرم‌ها دارای معایبی است که بومی‌سازی آن در شهرهای ایران به ویژه شهر مورد مطالعه ناکارامد خواهد بود. برسی الزامات کاربردی و غیرکاربردی پلتفرم‌های مورد استفاده در پروژه‌های هوشمندسازی دنیا ما را به توسعهٔ یک پلتفرم مرجع نوین هدایت می‌کند که کمترین معایب پلتفرم‌های جاری را داراست. چهار جزء اصلی این پلتفرم مرجع عبارت است از: CPS، IoT، BD و رایانش ابری؛ به طوری که بیشترین معایب پلتفرم‌های قبلی در این تکنولوژی جدید دیده نمی‌شود. این الگوی جدید می‌تواند به عنوان پلتفرم مرجع توسط شرکت‌های مهندسی داخل طراحی و بومی‌سازی شود.

بر اساس نظر کارشناسان پلتفرم نرم‌افزاری جامع برای مدیریت هوشمند شهر کرمان که می‌بایست در سیستم مدیریت هوشمند مرکزی شهر (در واحد انفورماتیک شهرداری) مستقر باشد، وجود ندارد. از آنجا که بیشتر سنسورهای لازم برای پایش شاخص‌های یک شهر هوشمند، از جنس سنسورهای انسانی است، داده‌های مستخرج از چنین شاخص‌هایی اکثراً به صورت متنی، تصویری، پراکنده، غیر مدون و غیر قابل استناد است که در بایگانی ادارات و سازمان‌ها بلااستفاده خواهد ماند. در حالی که فرمت لازم و قابل استفاده برای بکارگیری چنین داده‌هایی در سیستم DBI هر شهری، فرمت رقومی است؛ لذا نبود پلتفرم معماری جامع در این شهر باعث شده همین داده‌های تولید شده توسط سنسورهای معدود نیز نتواند مورد استفاده قرار بگیرد. بررسی اجمالی وضعیت شهر مورد مطالعه، نشان می‌دهد چون فرمت داده‌های تولید شده از این سنسورها اغلب متنی و یا تصویری است و اطلاعات خام قلمداد می‌شوند؛ لذا از نظر مراکز آماری دستگاه‌ها به عنوان داده‌های محرمانه تلقی شده، به عنوان داده‌های بسته مطرح بوده و معمولاً به صورت آنلاین قابل دسترس نبوده و در اختیار پژوهشگران قرار نمی‌گیرد. سنسورهای معدودی هم که در برخی جاها کار ثبت و ضبط داده‌ها را بر عهده دارند، عموماً دارای خطا و گپ آماری بوده و آمار آنها غیر قابل استناد است.

جمع‌بندی حاصل از مشکلاتی که بر سر راه توسعهٔ پلتفرم‌های باز آتی وجود دارد، نشان می‌دهد ده عامل از توسعهٔ سریع چنین پلتفرم‌هایی در هوشمندسازی جلوگیری می‌نماید که بایستی مد نظر شرکت‌های طراحی کنندهٔ آنها قرارگیرد. این مشکلات عبارت است از: حریم خصوصی، مدیریت داده‌ها، ناهمگونی، مدیریت انرژی، ارتباطات، مقیاس‌پذیری، امنیت، کمبود آزمایشگاه، مدل‌های شهری و نگهداری پلتفرم.

منابع

Aamir Hussain, RaoWenbi, Aristides Lopes da Silva, Muhammad Nadher, and Muhammad Mudhish. (2015). Health and emergency-care platform for the elderly and disabled people in the Smart City. Journal of Systems and Software 110 (2015), 253 – 263. DOI:http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2015.08.041

Andrea Caragliu, Chiara Del Bo, and Peter Nijkamp. (2011). Smart cities in Europe. Journal of urban technology 18, 2 (2011), 65–82.

Andrea Zanella, Nicola Bui, Angelo Castellani, Lorenzo Vangelista, and Michele Zorzi. (2014). Internet of Things for Smart Cities. Internet of Things Journal, IEEE 1, 1 (Feb 2014), 22–32. DOI:http://dx.doi.org/10.1109/JIOT. 2014.2306328

Athena Vakali, Leonidas Anthopoulos, and Srdjan Krco. (2014). Smart Cities Data Streams Integration: Experimenting with Internet of Things and Social Data Flows. In Proceedings of the 4th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics (WIMS14) (WIMS '14). ACM, New York, NY, USA, Article 60, 5 pages. DOI:http://dx.doi.org/10.1145/2611040. 2611094

Bin Cheng, Salvatore Longo, Flavio Cirillo, Martin Bauer, and Ernoe Kovacs. (2015). Building a Big Data Platform for Smart Cities: Experience and Lessons from Santander. In Big Data (BigData Congress), 2015 IEEE International Congress on. 592–599. DOI:http://dx.doi.org/10.1109/BigDataCongress .2015.91

Caragliu, A, Del Bo & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe, Journal of Urban Technology, Vol.18, No. 2, April 2011, pp.65–82.

Carolina Tripp Barba, Miguel Angel Mateos, Pablo Reganas Soto, Ahmad Mohamad Mezher, and M Aguilar Igartua. (2012). Smart city for VANETs using warning messages, traffic statistics and intelligent traffic lights. In Intelligent Vehicles Symposium (IV), IEEE. IEEE, 902–907.

Catriona Manville, Gavin Cochrane, Jonathan Cave, Jeremy Millard, Jeremy Kevin Pederson, Rasmus K°are Thaarup, Andrea Liebe, Matthias Wissner, Roel Massink, and Bas Kotterink. (2014). Mapping smart cities in the EU. (2014).

Chao Wu, David Birch, Dilshan Silva, Chun-Hsiang Lee, Orestis Tsinalis, and Yike Guo. (2014). Concinnity: A Generic Platform for Big Sensor Data Applications. Cloud Computing, IEEE 1, 2 (July 2014), 42–50. DOI:http://dx.doi.org/10.1109/MCC. 2014.33

Charith Perera, Arkady B. Zaslavsky, Peter Christen, and Dimitrios Georgakopoulos. (2014). Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of Things. Trans. Emerging Telecommunications Technologies 25, 1 (2014), 81–93. DOI:http://dx.doi.org/10.1002/ett.2704

Chitra Balakrishna. (2012). Enabling technologies for smart city services and applications. In Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies (NGMAST), 2012 6th International Conference on. IEEE, 223–227.

Eleana Asimakopoulou and Nik Bessis. (2011). Buildings and Crowds: Forming Smart Cities for More Effective Disaster Management. In Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), 2011 Fifth International Conference on. 229–234. DOI:http://dx.doi.org/10.1109/ IMIS.2011.129.

Flix J. Villanueva, Maria J. Santofimia, David Villa, Jess Barba, and Juan Carlos Lopez. (2013). Civitas: The Smart City Middleware, from Sensors to Big Data. In Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), 2013 Seventh International Conference on. 445–450. DOI:http://dx.doi. org/10.1109/IMIS.2013.80

Gerhard P. Hancke, Gerhard P. Hancke Jr., and others. (2012). The role of advanced sensing in smart cities. Sensors 13, 393–425.

Gilles Privat, Mengxuan Zhao, and Laurent Lemke. (2014). Towards a Shared Software Infrastructure for Smart Homes, Smart Buildings and Smart Cities. In International Workshop on Emerging Trends in the Engineering of Cyber-Physical Systems, Berlin.

Giuseppe Anastasi, Maximiliano Antonelli, Alessio Bechini, Simone Brienza, Eleonora D'Andrea, Domenico De Guglielmo, Pietro Ducange, Beatrice Lazzerini, Francesco Marcelloni, and Armando Segatori. (2013). Urban and social sensing for sustainable mobility in smart cities. In Sustainable Internet and ICT for Sustainability (SustainIT), 2013. IEEE, 1–4.

Giuseppe Piro, Ilaria Cianci, Luigi A. Grieco, Gennaro Boggia, and Pietro Camarda. (2014). Information centric services in Smart Cities. Journal of Systems and Software, 88, 169 –188. DOI:http://dx.doi.org/10.1016/j.jss. 2013.10.029

Ignasi Vilajosana, Jordi Llosa, Borja Martinez, Marc Domingo-Prieto, Albert Angles, and Xavier Vilajosana. (2013). Bootstrapping smart cities through a self-sustainable model based on big data flows. Communications Magazine, IEEE 51, 6 (2013), 128–134.

Isam Janajreh, Liu Su, and Fathi Alan. (2013). Wind energy assessment: Masdar City case study. Renewable energy 52, 8–15.

Jiafu Wan, Di Li, Caifeng Zou, and Keliang Zhou. (2012). M2M Communications for Smart City: An Event-Based Architecture. In Computer and Information Technology (CIT), IEEE 12th International Conference on. 895–900. DOI:http://dx.doi.org/10.1109/CIT.2012.188

Jose Antonio Galache, Takuro Yonezawa, Levent Gurgen, Daniele Pavia, Marco Grella, and Hiroyuki Maeomichi. (2014). ClouT: Leveraging Cloud Computing Techniques for Improving Management of Massive IoT Data. In Service-Oriented Computing and Applications (SOCA), 2014 IEEE 7th International Conference on. 324–327. DOI:http://dx.doi.org/10.1109/ SOCA.2014.47

Kehua Su, Jie Li, and Hongbo Fu. (2011). Smart city and the applications. In Electronics, Communications and Control (ICECC), International Conference on. 1028–1031. DOI:http://dx.doi.org/10.1109/ICECC.2011.6066743

Levent Gurgen, Ozan Gunalp, Yazid Benazzouz, and Mathieu Gallissot. (2013). Self-aware cyber-physical systems and applications in smart buildings and cities. In Design, Automation Test in Europe Conference Exhibition (DATE), 2013. 1149–1154. DOI:http://dx.doi.org/10.7873/DATE.2013.240

Luis Sanchez, Luis Muoz, Jose Antonio Galache, Pablo Sotres, Juan R. Santana, Veronica Gutierrez, Rajiv Ramdhany, Alex Gluhak, Srdjan Krco, Evangelos Theodoridis, and Dennis Pfisterer. (2014). Smart- Santander: IoT experimentation over a smart city testbed. Computer Networks 61 (2014), 217 – 238. DOI:http://dx.doi.org/10.1016/j.bjp.2013.12.020

MZ Fortes, VH Ferreira, GG Sotelo, AS Cabral, WF Correia, and OLC Pacheco. (2014). Deployment of smart metering in the B´ uzios City. In Transmission & Distribution Conference and Exposition-Latin America (PES T&D-LA), 2014 IEEE PES. IEEE, 1–6.

Pu Liu and Zhenghong Peng. (2013). Smart cities in China. IEEE Computer Society 16 (2013).

Riccardo Petrolo, Valeria Loscri, and Nathalie Mitton. (2014). Towards a Cloud of Things Smart City. IEEE COMSOC MMTC E-Letter 9, 5 (Sept. 2014), 44–48. https://hal.inria.fr/hal-01080273

Rong Wenge, Xiong Zhang, Dave Cooper, Li Chao, and Sheng Hao. (2014). Smart city architecture: A technology guide for implementation and design challenges. Communications, China 11, 3 (March 2014), 56–69. DOI:http://dx.doi.org/10.1109/CC.2014.6825259

Santana, E. F. Z., Steinmacher, A.P.C., Gerosa, M. A., Kon, F., (2016). Software Platforms for Smart Cities: Concepts, Requirements, Challenges, and a Unified Reference Architecture.

Sean Thornton. (2013). Chicagos WindyGrid: Taking Situational Awareness to a New Level. (March 2013). Retrieved February 20, 2015 from http://datasmart.ash.harvard.edu/news/article/chicagos-windygrid-taking-situational-awareness-to-a-new-level-259

Shintaro Yamamoto, Shinsuke Matsumoto, Sachio Saiki, and Masahide Nakamura. (2014). Using Materialized View as a Service of Scallop4SC for Smart City Application Services. In Soft Computing in Big Data Processing. Springer, 51–60.

Sinaeepourfard, J. Garcia, X. Masip-Bruin, E. Marn-Tordera, J. Cirera, G. Grau, and F. Casaus. (2016). Estimating Smart City sensors data generation. In 2016 Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net). 1–8. DOI:http://dx.doi.org/10.1109/MedHocNet.2016.7528424

Soufiene Djahel, Ronan Doolan, Gabriel-Miro Muntean, and John Murphy. (2014). A Communicationsoriented Perspective on Traffic Management Systems for Smart Cities: Challenges and Innovative Approaches. Communications Surveys Tutorials, IEEE PP, 99 (2014), 1–1. DOI:http://dx.doi.org/10.1109/COMST.2014.2339817

Sylva Girtelschmid, Matthias Steinbauer, Vikash Kumar, Anna Fensel, and Gabriele Kotsis. (2013). Big Data in Large Scale Intelligent Smart City Installations. In Proceedings of International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (IIWAS '13). ACM, New York, NY, USA, Article 428, 5 pages. DOI:http://dx.doi.org/10.1145/2539150.2539224

Wolfgang Apolinarski, Umer Iqbal, and Josiane Xavier Parreira. (2014). The GAMBAS middleware and SDK for smart city applications. In Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2014 IEEE International Conference on. 117–122.DOI:http://dx.doi.org/10.1109/Per ComW.2014.6815176

Yong Woo Lee and Seungwoo Rho. (2010). U-city portal for smart ubiquitous middleware. In Advanced Communication Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on, Vol. 1. 609–613.

Zaheer Khan, Ashiq Anjum, Kamran Soomro, and Muhammad Atif Tahir. (2015). Towards cloud based big data analytics for smart future cities. Journal of Cloud Computing 4, 1–11. DOI:http://dx.doi.org/10.1186/s13677-015-0026-8.