فصلنامه علمی - ترویجی
سیاست‌نامه علم و فناوری
دورهٔ ۷ شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۶

اینترنت اشیا و برنامه‌های کاربردی کلان‌داده‌ها در شهرهای هوشمند پایدار

زینب سعادتی[۱]
بتول مهرشاد[۲]

چکیده

شهر هوشمند پایدار پدیدهٔ جدید فناورانهٔ شهری است که در نتیجهٔ توسعهٔ سه روند مهم جهانی یعنی انتشار پایداری، گسترش شهرنشینی و فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌وجود آمده است. شهر هوشمند پایدار، شهری نوآورانه است که از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات و دیگر ابزارها برای بهبود کیفیت زندگی، ارتقای کارایی عملیات شهری، افزایش سطح خدمات و رقابت استفاده می‌کند تا از انطباق نیازهای نسل‌های کنونی و آینده باتوجه‌به جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی اطمینان حاصل شود. اینترنت اشیا[۳] یکی از مؤلفه‌های اصلی زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرهای هوشمند پایدار است که، به‌علت داشتن پتانسیل بسیار بالا برای پیشبرد پایداری محیط‌زیست، یک رویکرد توسعهٔ شهری معرفی می‌شود. اینترنت اشیا یکی از منابع اصلی ایجاد کلان‌داده است و تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده به‌وضوح درحال نفوذ در بسیاری از حوزه‌های شهری برای بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی و کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی است. در این مقاله فرصت توسعهٔ چشم‌انداز اطلاعاتی شهرهای هوشمند، با استفاده از کلان‌داده، برای دستیابی به سطح مطلوب پایداری محیطی بررسی می‌شود. در این راستا، چارچوبی تحلیلی و کامل و همچنین برنامه‌های کاربردی مرتبط با کلان‌داده درزمینهٔ شهرهای هوشمند پایدار تشریح شده است.

واژگان کلیدی: شهر هوشمند پایدار، اینترنت اشیا، داده‌کاوی، پردازش کلان‌داده، فناوری اطلاعات و ارتباطات

مقدمه

مفهوم «شهرهای هوشمند»، در طول سال‌های اخیر، به‌عنوان شکلی جدید از توسعهٔ پایدار گسترش یافته و نشان‌دهندهٔ مدلی شهری است که به همهٔ رویکردهای جایگزین برای بهبود کیفیت و عملکرد خدمات شهری به‌منظور تعامل بهتر بین شهروندان و دولت اشاره می‌کند. فضای شهری مدرن با داده‌ها سروکار دارد و همین امر چالش‌ها و فرصت‌های بسیاری در این زمینه ایجاد کرده است. منابع اطلاعاتی جدید فرصت‌هایی را برای برنامه‌های جدید فراهم می‌کنند تا کیفیت زندگی شهروندان را بهبود بخشند.

کاوش داده‌های شهری به تلاش‌های بین‌رشته‌ای بسیار نیاز دارد و علاقهٔ جوامع تحقیقاتی حوزه‌های گوناگون ازجمله داده‌کاوی و یادگیری ماشین، علوم انرژی و محیط‌زیست، علوم اجتماعی، بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی شهری و حمل‌ونقل را به خود جلب می‌کند (Katakis, 2015). داده‌های شهری معمولاً مربوط به فعالیت‌های انسانی است که، علاوه‌بر پیچیدگی زیاد، حفظ حریم خصوصی و

۱. کارشناس ارشد مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (نویسندهٔ مسئول) z.saadati.z@gmail.com.
۲. دانشجوی دکتری مدیریت فناوری اطلاعات دانشگاه فردوسی مشهد

3. Internet of Thing (IoT)

امنیت یک نگرانی برای آن‌هاست (Katakis, 2015). شهروندان در انواع شبکه‌های اجتماعی و برنامه‌های کاربردی تلفن همراه خود، با بیان احساسات و تعامل با یکدیگر، به‌عنوان «حس‌گرهای اجتماعی» عمل می‌کنند (Andrienko et al, 2016). در دسترس بودن داده‌های مربوط به افراد امکان استفادهٔ بالقوه از مقادیر مکان‌های جغرافیایی را به‌عنوان یک منبع کم‌هزینه و بدون نیاز به زیرساخت اطلاعات برای سنجش شهری در شهرهای هوشمند فراهم می‌کند. تمام این جنبه‌ها، همراه با نیاز به تجزیه‌وتحلیل در زمان واقعی برای حس‌گرهای شهری، به مدیریت کلان‌داده‌ها و مسائل مربوط به آن مرتبط است (Xiwei et al, 2017).

داده‌های تحلیل مسیر برای نشان دادن مسیر مطلوب، باتوجه‌به موقعیت فعلی و مقصد موردنظر، استفاده می‌شوند. پیشرفته‌ترین سیستم‌های مسیریابی، ترافیک در زمان واقعی را درنظر می‌گیرند و با پیش‌بینی ترافیک مسیرهای مختلف با استفاده از فیلدهای مکانی ـ زمانیِ تصادفی، که از داده‌های پیشین ترافیک برای پیش‌بینی بهره می‌گیرند، بهترین مسیر را پیشنهاد می‌دهند (Andrienko et al, 2017).

ظهور اینترنت اشیا و فناوری اطلاعات و ارتباطات مفاهیم بسیاری را تغییر داده است که «شهر هوشمند» یکی از آن‌هاست. این موضوع در چند سال اخیر در عرصهٔ سیاست کاملاً مطرح بوده است (Caragliu et al, 2011; Fox and Pettit, 2015) و امروزه ازطریق ماهیت و ابعاد خاص خود، که شامل افراد، اقتصاد، تحرک، محیط طبیعی، زیرساخت‌های فناوری اطلاعات، شیوهٔ زندگی و مدیریت عمومی است، جهان را تسخیر کرده است (Ojo et al, 2016).

این مفهوم را تعدادی از شرکت‌های فناوری (مانند: سیسکو، مایکروسافت، اچ‌پی، آی‌بی‌ام، زیمنس، اوراکل) از سال ۲۰۰۵ مطرح کردند (Harrison and donnelly, 2011). آی‌بی‌ام شهر هوشمند را این‌گونه تعریف می‌کند: «آنچه استفاده از تمام اطلاعات مرتبط در دسترس امروز را برای درک بهتر، کنترل عملیات و استفاده از منابع محدود بهینه‌سازی می‌کند» (Kehoe et al., 2011). سیسکو شهر هوشمند را راهکارهای مقیاس‌پذیری تعریف می‌کند که از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت زندگی استفاده می‌کنند (Falconer and Mitchell, 2013). بنابراین، شهرهای هوشمند از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای هوشمندی و کارآمدبودن در استفاده از منابع بهره می‌گیرند تا کیفیت زندگی جمعیت شهری را به حداکثر برسانند. شهر هوشمند مبتنی بر زیرساخت اطلاعات توزیع‌شده و مستقل شامل میلیون‌ها منبع اطلاعاتی است و انتظار می‌رود در آن بیش از ۵۰میلیارد دستگاه، با استفاده از اینترنت اشیا یا سایر فناوری‌های مشابه، در سال ۲۰۲۰ به یکدیگر متصل شوند (Ben Sta, 2017).

اینترنت اشیا یکی از مؤلفه‌های اصلی زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرهای هوشمند پایدار است که به‌علت پتانسیل بسیار بالا برای پیشبرد پایداری محیط‌زیست رویکرد توسعهٔ شهری معرفی می‌شود. اینترنت اشیا با تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها مرتبط است که به‌وضوح درحال نفوذ در بسیاری از حوزه‌های شهری برای بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی و کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی است. این امر عمدتاً به استفادهٔ مؤثر از منابع طبیعی، مدیریت هوشمند زیرساخت‌ها و تسهیلات و ارتقای خدمات ارائه‌شده برای حمایت از محیط‌زیست مربوط می‌شود. به همین ترتیب، برنامه‌های مرتبط با کلان‌داده‌ها و اینترنت اشیا در تسهیل و بهبود روند توسعهٔ پایدار محیط‌زیست تأثیر بسزایی دارند (Bibri, 2018).

پیش‌بینی می‌شود که تغییر فناورانهٔ عظیمی با درهم‌آمیختن فناوری اطلاعات و ارتباطات و سیستم‌ها و حوزه‌های شهری به وقوع بپیوندد. اینترنت اشیا درحکم یک فناوری انسانی ـ اجتماعی، به تحولات شدید زیست‌محیطی و فناورانهٔ شهری، به لحاظ پیچیدگی و تنوع، منجر می‌شود. قابلیت کلان‌داده‌ها عامل اصلی برای تحقق برنامه‌های جدید مربوط به اینترنت اشیا درنظر گرفته شده است. در کل گسترش اینترنت اشیا، به‌منزلهٔ یک پارادایم محاسباتی و روند تحلیلی کلان‌داده‌ها، باعث ارتقای ابتکارات و برنامه‌های شهر هوشمند پایدار در حوزهٔ زیست‌محیطی و فناوری کشورهای پیشرفته می‌شود (Bibri and Krogstie, 2016).

اینترنت اشیا قابلیت یک‌پارچه‌سازی سازه‌های دیجیتال و فیزیکی را ایجاد می‌کند و کلاسی سطحی کاملاً جدید از برنامه‌های کاربردی کلان‌داده‌ها و خدمات فراهم می‌کند که باید با توجه به پایداری محیط‌زیست استفاده شوند. در محدودهٔ شهرهای هوشمند پایدار، افزایش حجم تولید داده‌ها فراتر از تصور است و حجم وسیعی از اطلاعات، که درحال حاضر از حوزه‌های گوناگون شهری در دسترس‌اند، به اندازه‌ای ارزشمند است که می‌توان با همکاری برنامه‌ریزان شهری و متخصصان فناوری اطلاعات و ارتباطات برای پیشرفت پایداری محیطی از آن بهره برد. فناوری‌های مطرح در اینترنت اشیا شامل انواع حس‌گرها، سیستم‌های پردازش داده، شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم و فعال‌سازهای سیستم‌ها در محیط فیزیکی است (Bibri, 2015).

باوجود افزایش تحقیقات دربارهٔ اینترنت اشیا و برنامه‌های مرتبط با داده‌های توسعهٔ شهری، بخش عمده‌ای از کارها عمدتاً با هدف رشد اقتصادی و کیفیت زندگی در قلمرو شهرهای هوشمند است (Zanella et al., 2014).

مسئلهٔ اصلی پژوهش که باید مدنظر قرار گیرد این است که: «چگونه و به چه میزان می‌توان چشم‌انداز اطلاعاتی شهرهای هوشمند پایدار را با استفاده از اینترنت اشیا و برنامه‌های پردازش کلان‌داده‌ها، با توجه به پایداری زیست‌محیطی، افزایش داد؟»

درحال حاضر، کمبود راهکارهاي نوآورانه براساس برنامه‌هاي مرتبط با کلان‌داده‌ها و اینترنت اشیا احساس می‌شود؛ برنامه‌هایی که بتوانند سهم مؤثری در توسعهٔ پایدار زیست‌محیطي داشته

باشند. در این مقاله، فرصت ارتقای چشم‌انداز اطلاعاتی شهرهای هوشمند با استفاده از کلان‌داده‌ها برای دستیابی به سطح موردنیاز پایداری محیطی بررسی می‌شود. در این راستا، چارچوبی تحلیلی و کامل عرضه شده و همچنین برنامه‌های کاربردی مرتبط با کلان‌داده‌ها درزمینهٔ شهرهای هوشمند پایدار تشریح شده است. ذیل هر برنامهٔ کاربردی یک نمونه از شهرهای هوشمندی که درحال حاضر مدنظر قرار گرفته و بر آن تمرکز شده آورده شده است. این پژوهش پایه‌ای برای محققان شهری به‌منظور ایجاد چارچوب‌های تحلیلی در تحقیقات آینده فراهم می‌کند. چارچوب معرفی‌شده می‌تواند توسعه یابد، آزمایش شود و در تحقیقات تجربی ارزیابی شود و به مطالعات عمیق‌تر درزمینهٔ شهرهای هوشمند پایدار بینجامد.

۱. تحلیل موضوعی (بررسی مفاهیم و تعاریف اصلی تحقیق)

گام‌های اصلی تحلیل موضوعی این مطالعه به شرح زیر است:

۱) بررسی شهر هوشمند، شهر هوشمند پایدار، اینترنت اشیا، تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها و دیگر حوزه‌های بین‌رشته‌ای که مربوط به پایداری محیطی است. هدف تحلیل مدل شهر هوشمند پایدار است که بر فناوری‌های بهره‌وری انرژی و سایر راه‌حل‌های زیست‌محیطی مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات،اینترنت اشیا و تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها تأکید می‌کند. نتایج این فرایند شامل حوزه‌های موضوعیِ گوناگون ازجمله برنامه‌های کاربردی، فناوری حس‌گر، برنامه‌های پردازش داده‌ها و مدل‌های محاسباتی شهرهای هوشمند پایدار می‌شود.

۲) شناسایی و بررسی کامل یک مدل خاص و متمایز از شهرهای هوشمند پایدار در آینده.

۳) معرفی شهرهای هوشمند متمرکز بر هر حوزه از برنامه‌های کاربردی شهرهای هوشمند پایدار.

۱-۱. شهر هوشمند

تعاریف شهر هوشمند متفاوت است و محققان بسیاری در این زمینه تحقیق کرده‌اند. کارالیو و همکارانش معتقدند در سال‌های اخیر «شهرهای هوشمند» در مفهوم شکل جدید توسعهٔ پایدار مرکز توجه بسیاری بوده‌اند. آن‌ها تعریفی متمرکز و عملیاتی از ساختار شهر هوشمند ارائه می‌دهند. از دیدگاه آن‌ها، زمانی یک شهر هوشمند است که سرمایه‌گذاری در نیروی انسانی و سرمایهٔ اجتماعی به تقویت پایداری اقتصادی و کیفیت بالای زندگی به‌همراه مدیریت عاقلانهٔ منابع طبیعی منجر شود (Caragliu et al, 2011). هریسون و دانلی شهر هوشمند را سیاستی جدید برای برنامه‌ریزی شهری معرفی کرده‌اند که، با استفاده از ترکیب سیستم‌های اطلاعات پیچیده، عملکرد زیرساخت‌های شهری و خدمات مانند ساختمان‌ها، حمل‌ونقل، توزیع برق و آب و امنیت عمومی را ادغام می‌کند (Harrison and Donnelly, 2011).

عَلَم و همکارانش شهر هوشمند را استفاده از زیرساخت‌های فناوری اطلاعات، منابع انسانی، سرمایهٔ اجتماعی و منابع زیست‌محیطی به‌منظور تضمین توسعهٔ اقتصادی، پایداری اجتماعی و تضمین کیفیت بالای زندگی انسانی معرفی می‌کنند. شهر هوشمند برای توسعهٔ پایدار شهری حیاتی است و بسیاری از مشکلات بحرانی را که با روند فشرده‌سازی شهرنشینی فعلی ایجاد شده مانند ترافیک، آلودگی محیط‌زیست و محدودیت منابع طبیعی کاهش می‌دهد (Alam et al, 2016).

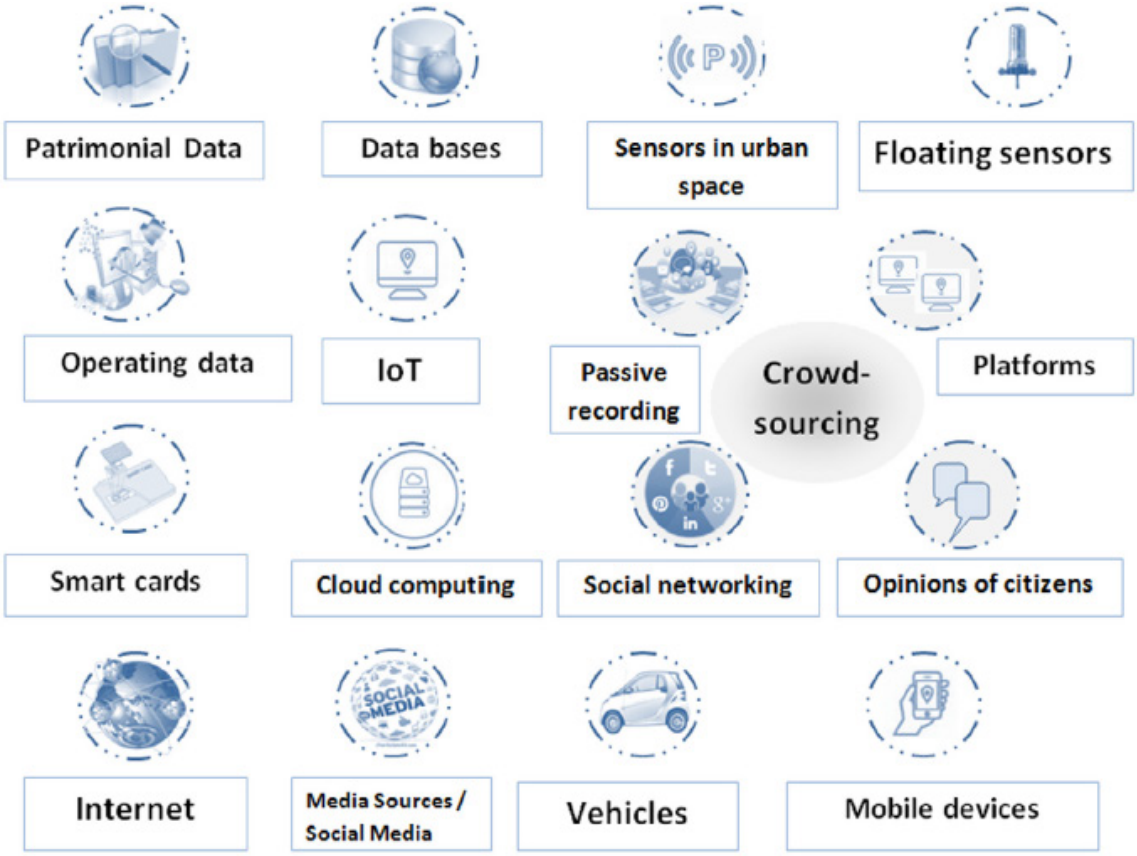
شورابی و همکارانش تعریف مفهومی جامعی از شهر هوشمند ارائه داده‌اند و آن را سیستم طبیعی و ارگانیک بزرگی معرفی کرده‌اند که بسیاری از زیرسیستم‌ها و اجزا را به هم متصل می‌کند. به اعتقاد آن‌ها هوش جدید شهرها در ترکیب بهبود دهنده و مؤثر شبکه‌های مخابراتی دیجیتال (به‌منزلهٔ اعصاب)، اطلاعات جاسازی‌شده (به‌منزلهٔ مغز)، حس‌گرها و برچسب‌ها (به‌منزلهٔ اندام‌های حسی) و نرم‌افزار (به‌منزلهٔ دانش و صلاحیت شناختی) مستقر شده است (Chourabi et al, 2012).

در تعریفی کامل، شهرهاي هوشمند شهرهايي با زيربناهاي هوشمند فيزيكي، اجتماعي و اقتصادي با اطمينان از تمركز شهروندان بر ويژگي‌هاي اساسي همچون اقتصاد هوشمند، تحرک هوشمند، افراد هوشمند، محيط هوشمند، زندگي هوشمند و حكومت‌داري هوشمند در يک محيط پايدار و همچنين استفادهٔ راهبردي از فناوري‌هاي جديد و رويكردهاي نوآورانه براي افزايش كارايي و رقابت‌پذيري شهرها معرفي شده‌اند ((Ojo et al, 2016.

۱-۱-۱. مزایای اتخاذ رویکرد شهر هوشمند

با استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات در شهرهای هوشمند، می‌توان مزایای گوناگونی را پیش‌بینی کرد:

- کاهش استفاده از منابع حیاتی و آب، و کاهش میزان CO2؛
- استفاده صحیح از محدودیت‌های اساسی موجود و پس از آن افزایش رضایت شخصی و کاهش نیاز به سرمایه‌گذاری‌های ریسک‌پذیر متداول؛
- برنامه‌ریزی سیاست‌های جدید برای ساکنان شهرها و حومهٔ آن‌ها، برای مثال دستورالعمل چگونگی مقابله با سوءاستفاده از روش‌های گوناگون حمل‌ونقل.
- افزایش سرمایه‌گذاری‌های تجاری ازطریق توزیع اطلاعات پیوسته دربارهٔ فعالیت‌های ادارهٔ شهرستان‌ها.
- مشخص‌کردن چگونگی درخواست منابع حیاتی، آب و حمل‌ونقل در مقیاس شهرستان‌ها به‌طوری که مسئولان شهرستان‌ها بتوانند برای تعدیل نیازها و افزایش انعطاف‌پذیری با هم همکاری



شکل ۱: منابع اطلاعاتی شهرهای هوشمند

کنند. این مزیت از پیشرفت اخیر در نوآوری به‌دست آمده است.

- دسترسی از راه دور به حس‌گرهای پیشرفته و چارچوب‌های کنترل رایانه‌ای برای کنترل و بهره‌برداری از زیرساخت‌های شهری. این حس‌گرهای متحرک چارچوب‌های مدیریت ساختمان، ابزار و مقیاس‌های کامپیوتری و... را دربر می‌گیرد.
- توسعه و تغییر سیستم‌های کنترل از راه دور که اجازه می‌دهد حس‌گرها و چارچوب‌ها با تمرکز در کنترل با هم مرتبط شوند و داده‌هایشان را مبادله کنند.
- بهبود روش‌های مدیریت داده‌ها، به‌ویژه مدل‌های معنایی نهادینه‌شده، که اجازه می‌دهد داده‌های سطح پایین رمزگشایی و آمادهٔ انتقال شوند.
- پیشرفت قدرت محاسباتی جدید که بررسی جریان داده‌ها، به‌مثابهٔ یک مفهوم «ثابت»، را با هدف تغییر عملیات اجرایی و بخش‌های مختلف دانش ممکن می‌سازد (Ben Sta, 2017).

۱-۱-۲. اطلاعات و داده‌های شهر هوشمند

اشیا، افراد، فرایندها و دستگاه‌ها ازطریق زیرساخت‌های متصل به اینترنت در شهرهای هوشمند با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند و حجم زیادی از اطلاعات را تولید می‌کنند، مانند حس‌گرها، پایگاه‌های داده، رسانه‌ها و... . ظهور فناوری اطلاعات و ارتباطات منابع دیگر اطلاعات ازجمله: محاسبات ابری،[1] اینترنت اشیا و جمع‌سپاری[2] را توسعه می‌دهد. در شکل ۱ منابع اطلاعات در شهرهای هوشمند خلاصه شده است (Ben Sta, 2017).

جمع‌سپاری یا انبوه‌سپاری ترکیبی از دو واژهٔ جمعیت و برون‌سپاری به‌معنای برون‌سپاری به انبوه مردم است. جمع‌سپاری نوعی برون‌سپاری است، ولی نه به شرکت‌ها یا سازمان‌های خاص بلکه به گروهی از افراد ناشناخته. ناشناخته به این معناکه یک شرکت نمی‌تواند مجموعه افراد ایده‌آل برای خود را تأمین نماید. این مجموعه هم شامل افراد کارآمد و هم افراد بی‌تجربه می‌شود. جمع‌سپاری، در تلاش برای جذب ایده‌های جدید در فرایند نوآوری بسیاری از بنگاه‌ها، امروزه درحال گسترش حوزه‌های مدیریت دانش و برون‌سپاری خلاقیت است. این ایده را هاو مطرح کرد(Howe, 2006).

۱-۲. شهر هوشمند پایدار

مفهوم شهرهای هوشمند پایدار از سه روند مهم جهانی یعنی انتشار پایداری، گسترش شهرنشینی و فناوری اطلاعات و ارتباطات منتج شده است. توسعهٔ پایداری، شهرنشینی و فناوری

1. Cloud Computing
2. Crowdsourcing

اطلاعات و ارتباطات اخیراً تحت پوشش «شهرهای هوشمند پایدار» بیان می‌شوند (Höjer and Wangel, 2015).

بر این اساس، شهر هوشمند پایدار پدیدهٔ جدید فناورانه ـ شهری است که در اواسط سال ۲۰۱۰ به‌وجود آمده است. اصطلاح «شهر هوشمند پایدار»، اگرچه همیشه به‌صراحت مورد بحث قرار نمی‌گیرد، برای توصیف شهری است که توسعهٔ فراگیر فناوری اطلاعات و ارتباطات پیشرفته و استفادهٔ گسترده از آن در سیستم‌های مختلف شهری شهر را چنان تجهیز می‌کند که با استفاده از ابزارهای ایمن ، پایدار و کارآمدِ کنترل، نتایج اقتصادی و اجتماعی منابع موجود را کنترل کند (Ahvenniemi et al., 2017).

ترکیبی از شهرهای هوشمند و شهرهای پایدار در تعاریف موجود کمتر شناخته شده است. اتحادیهٔ بین‌المللی مخابرات (ITU, 2014)، با تجزیه‌وتحلیل حدود ۱۲۰ تعریف، تعریفی جامع برای شهرهای هوشمند پایدار ارائه کرده است: « : شهر هوشمند پایدار، شهری نوآورانه است که در آن از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات و دیگر ابزارها برای بهبود کیفیت زندگی، کارایی عملیات شهری، خدمات و رقابت استفاده می‌شود تا از تطبیق نیازهای نسل‌های کنونی و آینده، با توجه به جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، اطمینان حاصل شود».

۱-۳. پردازش کلان‌داده‌ها: ویژگی‌ها و تکنیک‌ها

اصطلاح «کلان‌داده‌ها» برای توصیف رشد، تکثیر، ناهمگونی، پیچیدگی، دسترسی، زمان‌بندی، تغییرپذیری و استفاده از داده‌ها در حوزه‌های کاربردی مختلف استفاده می‌شود. ویژگی‌های مذکور پردازش کلان‌داده‌ها را از قابلیت‌های محاسباتی و تحلیلی برنامه‌های کاربردی استاندارد و زیرساخت‌های مرسوم پایگاه داده خارج می‌کند.

سیستم‌های تحلیلی سنتی برای مدیریت کلان‌داده‌ها مناسب نیستند. این بدان معنی است که پردازش کلان‌داده‌ها شامل استفاده از ابزار (طبقه‌بندی، خوشه‌بندی، رگرسیون و سایر الگوریتم‌ها)، تکنیک‌ها (داده‌کاوی، یادگیری ماشین، تجزیه‌وتحلیل آماری و...) و فناوری‌ها (هادوپ،[1] اسپارک،[2] اچ‌بیس،[3] مانگودی‌بی[4]) است که فراتر از محدودهٔ روش‌های تحلیلی است که در استخراج دانش مفید از حجم وسیع داده‌ها برای تصمیم‌گیری دقیق و سریع با هدف افزایش بینش استفاده می‌شود. هیچ تعریف متمرکز یا قطعی از کلان‌داده‌ها درزمینهٔ شهرهای هوشمند پایدار وجود ندارد. این اصطلاح را می‌توان برای توصیف حجم بسیار زیاد از اطلاعات شهری به‌کار برد که دست‌کاری، تحلیل، مدیریت و ارتباط آن‌ها نیازمند هماهنگی و محاسبات تحلیلی و لجستیکی آمادی(تدارکاتی) بسیاری است. گفتنی است که چنین اطلاعاتی با برچسب‌های مکانی و زمانی روبه‌رو هستند که عمدتاً از انواع مختلف حس‌گرها و به‌طور خودکار تولید می‌شوند. به‌رغم عدم توافق در تعریف کلان‌داده‌ها، به‌نظر می‌رسد این توافق وجود دارد که کلان‌داده‌ها به پیشرفت‌های عظیم، نوآوری‌ها، امکانات فراوان و فرصت‌های شگفت‌انگیز در آینده منجر خواهند شد.

ویژگی‌های اصلی کلان‌داده‌ها حجم بسیار زیاد داده، سرعتی که بتوان آن را پردازش کرد و طیف گسترده از انواع داده‌هاست.

اصطلاح «پردازش کلان‌داده‌ها» به‌طور کلی به هرمقدار گسترده از داده‌ها اشاره دارد که به‌صورت بالقوه برای جمع‌آوری، ذخیره، بازیابی، یک‌پارچه‌سازی، انتخاب، پیش‌پردازش، تبدیل، تجزیه‌وتحلیل و تفسیر برای کشف دانش جدید مفید استفاده می‌شود. سایر سازوکارهای محاسباتی که در پردازش کلان‌داده‌ها به‌کار می‌روند عبارت‌اند از: جست‌وجو، به‌اشتراک‌گذاری، انتقال، پرس‌وجو، به‌روزرسانی، مدل‌سازی و شبیه‌سازی.

درزمینهٔ شهرهای هوشمند پایدار، تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها به مجموعه‌ای از برنامه‌های کاربردی نرم‌افزاری پیچیده و اختصاصی و سیستم‌های پایگاه داده اشاره می‌کند که توسط ماشین‌آلات با قدرت پردازش بسیار زیاد اجرا می‌شود و می‌تواند کلان‌داده‌ها را به دانش مفید برای تصمیم‌گیری آگاهانه تبدیل کند (ایجاد و افزایش بینش دربارهٔ حوزه‌های مختلف شهری مانند حمل‌ونقل، تحرک، ترافیک، محیط‌زیست، انرژی، برنامه‌ریزی و طراحی).

انواع رایج پردازش کلان‌داده‌ها عبارت‌اند از تجزیه‌وتحلیل پیش‌بینی، تشخیصی، توصیفی و تجربی که برای استخراج انواع دانش یا بینش از مجموعهٔ کلان‌داده‌ها به‌کار می‌رود و برای اهداف مختلف، بسته به دامنهٔ کاربرد آن‌ها، استفاده می‌شود.

تجزیه‌وتحلیل شهری شامل استفاده از تکنیک‌های مختلف مرتبط با داده ازجمله تفکر داده‌های تحلیلی و اصول استخراج دانش مفید با استفاده از الگوهای پنهان و هم‌بستگی‌های معنی‌دار، یادگیری ماشین، داده‌کاوی، تجزیه‌وتحلیل آماری، تجزیه‌وتحلیل رگرسیون (مدل‌سازی توضیحی در مقایسه با مدل پیش‌بینی)، پرس‌وجوی پایگاه داده، ذخیره‌سازی داده‌ها و یا ترکیبی از این تکنیک‌هاست. استفاده از این تکنیک‌ها بستگی به حوزهٔ شهری و همچنین ماهیت مشکلی دارد که باید حل‌وفصل شود (Bibri, 2018).

پیشینه‌ي پژوهشدر این بخش، پژوهش‌های انجام‌شده در حوزهٔ پردازش کلان‌داده‌ها، اینترنت اشیا و شهرهای هوشمند پایدار بررسی خواهد شد. چن و همکاران بررسی نظام‌مندی از داده‌کاوی در دیدگاه‌های تکنیکی، دانشی و کاربردی ارائه داده‌اند که با آخرین توسعه‌های مربوط به هوشمندی کسب‌وکار پشتیبانی می‌شود (Chen et al., 2012). ژانگ و همکاران فرصت‌های تحقیقاتی جدید را در اختیار قرار داده‌اند و بینش‌هایی را در انتخاب سیستم‌های پردازش مناسب برای کاربردهای خاص مطرح کرده‌اند. درواقع

1. Hadoop
2. Spark
3. HBase
4. MongoDB

یک مدلِ سطح بالا از سیستم‌های پردازش موازی طبقه‌بندی‌شده شامل پردازش جریان، پردازش ماشین، پردازش گراف و پردازش دسته‌ای است (Zhang et al., 2016). سینگ و سینگلا بر ابزار و فناوری‌های پیشرو برای ذخیره‌سازی و پردازش کلان‌داده‌ها مروری کلی کرده‌اند و فناوری‌های جدید تولید اطلاعات و همچنین زمینه‌های کسب‌وکار را که اطلاعات عظیم در آن‌ها تولید می‌شود پوشش داده‌اند (Singh and Singla, 2015).

تسای در بررسی خود تحلیل کلان‌داده‌ها و مسائل مربوط به آن را بررسی کرده است، با تمرکز بر اینکه چگونه یک پلت‌فرم پردازش داده‌ها با کارایی بالا را به‌کار گیرند تا کلان‌داده‌ها را تجزیه‌وتحلیل کنند و الگوریتم داده‌کاوی مناسب برای استخراج مفید دانش از کلان‌داده‌ها ارائه نمایند (Tsai et al., 2015).

۱-۳-۱. برنامه‌های اینترنت اشیا (IoT) و مرتبط با کلان‌داده‌ها: شهرهای هوشمند در مقایسه با شهرهای هوشمند پایدار

تحقیق دربارهٔ کاربردهای اینترنت اشیا و کلان‌داده‌ها در قلمرو شهرهای هوشمند فعال است و عمدتاً با رشد اقتصادی و کیفیت زندگی ارتباط دارد. اما نقش اینترنت اشیا و برنامه‌های مربوط به کلان‌داده‌ها در پیشرفت پایداری محیطی درزمینهٔ شهرهای هوشمند پایدار به‌عنوان یک رویکرد جامع توسعهٔ شهری تا به امروز به‌ندرت بررسی شده است.

علاوه‌براین، درحالی‌که شهرهای هوشمند به علت ناپایداری و کاهش عملکرد زیست‌محیطی در مقایسه با شهرهای کوچک، مواجه شده‌اند، شهرهای پایدار به مشکلات ناشی از چالش‌های پایداری محیط‌زیست که ناشی از ناهم‌سویی راه‌حل‌های مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات است، پرداخته‌اند (Kramers et al., 2014).

به‌طور خاص، رویکردی متمرکز درحال تکامل است که توانایی بالقوه‌ای را برای رسیدگی به چالش پایداری زیست‌محیطی با عنوان «شهرهای هوشمند پایدار» نشان می‌دهد. راه پیشِ رو برای شهرهای آینده پیشبرد پایدار محیط‌زیست از طریق فناوری پیشرفتهٔ اطلاعاتی و ارتباطی است که استفاده از تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها را تضمین می‌کند (Bibri and Krogstie, 2017a).

۱-۳-۲. شکاف‌های دانش درزمینهٔ شهرهای هوشمند پایدار

- هیچ چارچوبی برای ادغام وجوه اطلاعاتی و فیزیکی شهرهای هوشمند پایدار وجود ندارد. این موضوع می‌تواند در ایجاد پایه‌ای برای توسعه و استقرار آن‌ها بر اساس تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها تأثیر بسزایی داشته باشد.
- نیاز به تقویت چشم‌انداز اطلاعاتی شهرهای هوشمند پایدار با استفاده از اینترنت اشیا و برنامه‌های مربوط به کلان‌داده‌ها برای افزایش سهم آن‌ها در پایداری محیطی وجود دارد.
- حسابرسی دقیق تحلیلی با تصویر پشتیبانی‌شدهٔ ویژه‌ای لازم است تا چگونگی اجرای برنامه‌های کاربرد کلان‌داده‌ها در ارتباط با حوزه‌های مختلف شهرهای هوشمند پایدار درزمینهٔ پایداری محیطی تشریح و تجسم شود (Bibri and Krogstie, ۲۰۱۷a).

۲. چارچوب شهرهای هوشمند پایدار: اینترنت اشیا و تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها

چشم‌انداز توسعه و اجرای شهرهای هوشمند پایدار مبتنی بر اینترنت اشیا و برنامه‌های مربوط به کلان‌داده‌ها به‌سرعت تبدیل به واقعیت می‌شود. این پیشرفت با پیشرفت‌های اخیر در چندین زمینهٔ علمی و فناوری در محدودهٔ محاسبات فراگیر و تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها، به‌ویژه ترکیب حس‌گرها، مدل‌سازی و استدلال هیبریدی، یادگیری ماشین، داده‌کاوی، محاسبات ابری و مه، شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم و... ارتباط دارد. شهرهای هوشمند پایدار به‌منزلهٔ یک پدیدهٔ جدید فناورانهٔ شهری و راهبرد توسعهٔ کلان شهری، افق‌های کاملاً جدیدی را برای شهرهای هوشمند با تأکید بر پایبندی زیست‌محیطی و پاک‌سازی شهری باز می‌کند. شهرهاي هوشمند پايدار، درحكم نوآوري فناورانهٔ شهري، فرايند تحولي را نشان مي‌دهند كه از طريق افزايش نفوذ خدمات اطلاعاتی هوشمند به سيستم‌هاي شهري تأمين مي‌شود.

برخورد با سازوکارهای پیچیده و الگوهای درگیر در تعامل بین سیستم‌های زیست‌محیطی و فیزیکی شهرهای پیشرفتهٔ هوشمند بسیار مهم است و چگونگی این تعاملات در محیط تأثیر می‌گذارد. فرصت‌های بسیاری برای برنامه‌های کاربردی کلان‌داده‌ها که توسط اینترنت اشیا فعال شده‌اند، در تبدیل مدل شهری به شیوه‌ای که سهم خود را در پایداری محیطی افزایش می‌دهد، وجود دارد. زیرا محدودهٔ برنامه‌های کاربردی شهری، که از تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها در ارتباط با پایداری محیطی استفاده می‌کنند، به‌طور بالقوه بسیار زیاد است و قدرت اصلی کلان‌داده‌ها بستگی به نفوذ آن‌ها بر جنبه‌های زیست‌محیطی شهرهای پیشرفتهٔ هوشمند دارد.

نتایج تجزیه‌وتحلیل موضوعی می‌تواند، با توجه به مفاهیم شناخته‌شده (برنامه‌های کاربردی، فناوری‌های حس‌گر، سیستم‌های پردازش داده‌ها و مدل‌های محاسباتی)، به مدل شهری پایدار هوشمندی بینجامد که بر اساس استفاده از اینترنت اشیا و کلان‌داده‌ها برای تجزیه‌وتحلیل مناسب و با هدف پیشبرد پایدار محیط‌زیست بنا نهاده شده است (Bibri, 2018).

۲-۱. افزایش چشم‌انداز اطلاعاتی شهرهای پیشرفتهٔ هوشمند برای پیشبرد پایدار محیط‌زیست

چارچوب معرفی‌شدهٔ بیبری بر مبنای یافته‌های حاصل از بررسی ادبیات و تحلیل‌های موضوعی همراه با زمینه‌های مفهومی و نظری است. در این چارچوب از رویکرد لایه‌ای استفاده شده که با توجه به ادبیات علمی معمولاً در معماری‌های سیستم و زیرساخت‌ها درزمینهٔ شهرهای هوشمند این رویکرد به‌کار گرفته می‌شود.

هدف این چارچوب توسعهٔ چشم‌انداز اطلاعاتی شهرهای پیشرفتهٔ هوشمند با برنامه‌های کاربردی مرتبط با اینترنت اشیا و پردازش کلان‌داده‌هاست. پردازش و تجزیه‌وتحلیل بر اساس رایانش ابری با استفاده از رایانش مه/ لبه است. نتایج تحلیلی حاصل از فرایند کشف دانش/ داده‌کاوی به‌منظور ایجاد، پشتیبانی و یا تصمیم‌گیری خودکار بر اساس دامنهٔ کاربرد است. در این زمینه، تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها با هدف بهینه‌سازی و پشتیبانی تصمیم‌های هوشمند مربوط به کنترل، بهینه‌سازی، خودکارسازی، مدیریت و برنامه‌ریزی سیستم‌های شهری به‌عنوان فرایندهای عملیاتی و سازمان‌دهی زندگی شهری همراه با کارایی خدمات مرتبط با حفظ محیط‌زیست انجام می‌شود (Bibri and Krogstie, 2017b).

در مجموع، نتیجهٔ داده‌کاوی و کشف دانش مفید به بهبود عملکرد عملیاتی، بهینه‌سازی استفاده از منابع و ارتقای خدمات، با هدف کاهش ریسک‌ها و آثار زیست‌محیطی درزمینهٔ شهرهای پیشرفتهٔ پایدار، اختصاص می‌یابد.

۲-۲. شرح و توصیف چارچوب تحلیلی

• سیستم‌های شهری و حوزه‌ها باید با استفاده از اینترنت اشیا و آنالیز کلان‌داده‌ها، به‌عنوان مجموعه‌ای از فناوری‌های پیشرفته، و برنامه‌های کاربردی جدید آن‌ها مدیریت شوند و در شکل ایدئال با شناسایی مفاهیم طراحی اشکال شهری پایدار ترکیب شوند (Bibri and Krogstie, 2017b).

ایده این است که شهرهای هوشمند پایدار باید به شکل اصولی طراحی، نظارت، درک، تجزیه‌وتحلیل و برنامه‌ریزی شوند و بر اساس راه‌حل‌های بسیار هوشمند و نوآورانه با هدف توسعهٔ پایدار محیط‌زیست فعالیت کنند.

سیستم‌های شهری مقادیر ناهمگن و عظیم داده را به‌منزلهٔ ورودی برای برنامه‌های کاربردی کلان‌داده‌ها ارائه می‌کنند. داده‌های شهری با مقیاس و سرعت‌های متنوع از حس‌گرهای مختلف دریافت و به‌طور خودکار در انبار داده‌ها، برای استفاده در مقیاس گسترده، ذخیره می‌شوند. بنابراین، این مؤلفه شامل منابع گوناگون از داده‌های شهری در انواع و اندازه‌های متفاوت است که باید در عملیات، توابع، طرح‌ها و خدمات شهری درزمینهٔ پایداری محیطی جمع‌آوری، ذخیره، پردازش، تجزیه‌وتحلیل، مجسم و مستقر شوند و به‌اشتراک گذاشته شوند.

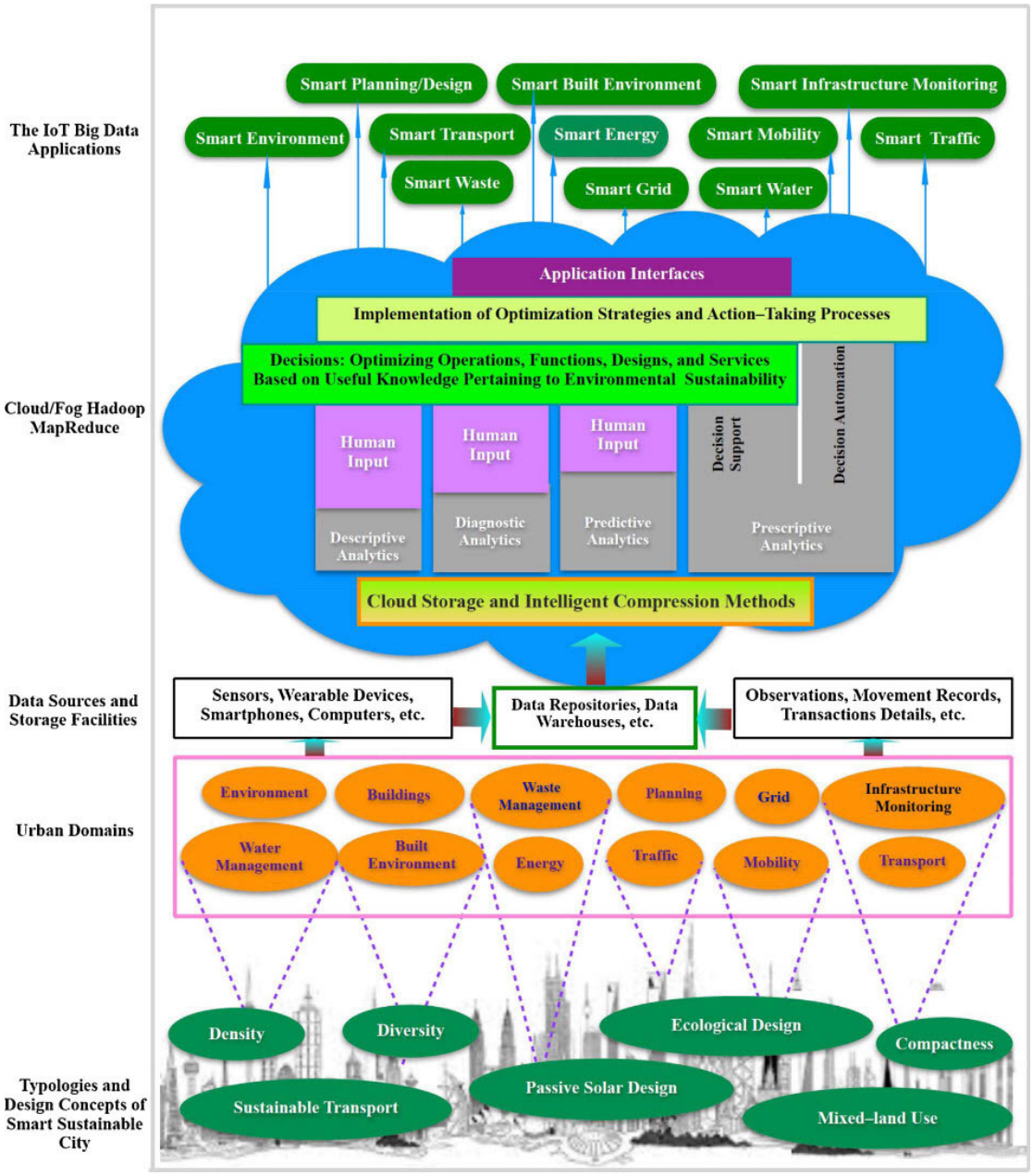
• محاسبات ابر یا محاسبات مه/ لبه و زیرساختار معماری Hadoop MapReduce برای پردازش و مدیریت کلان‌داده‌ها است. این جزء به فرایند کشف دانش/ داده‌کاوی اختصاص دارد. فرایندهای مرتبط با کشف دانش شامل انتخاب، پیش‌پردازش، تغییر، کاوش، تفسیر و ارزیابی می‌شوند. فرایندهای مرتبط با داده‌کاوی شامل درک اطلاعات، تهیهٔ داده‌ها، مدل‌سازی، ارزیابی و استقرار است. این دو فرایند در حوزه‌های شهری و حوزه‌های مرتبط با پایداری محیطی دخیل‌اند و هدف آن‌ها کشف دانش جدید یا بهره‌برداری از توده‌های بزرگ داده است.

دانش کشف‌شده یا استخراج‌شده شامل توابع اطلاعاتی است که برای تصمیم‌گیری، پشتیبانی تصمیم و تصمیم‌گیری خودکار درنظر گرفته شده است. توابع اطلاعاتی برای تصمیم‌گیری‌های بلادرنگ و راهبردی، بسته به حوزهٔ کاربرد، در قالب کنترل، خودکارسازی، بهینه‌سازی و مدیریت استفاده می‌شوند.

برنامه‌های کاربردی کلان‌داده‌ها شامل برنامه‌های متنوعی است که توسط اینترنت اشیا در ارتباط با پایداری محیطی در حوزه‌های گوناگون شهری فعال شده‌اند. یک برنامه معمولاً شامل چندین راه‌حل مربوط به زیربخش‌های گوناگون هر حوزه است که به نوع مسئلهٔ پایداری محیطی که هر حوزه با آن مواجه است بستگی دارد.

شکل ۲ به‌کارگیری پردازش کلان‌داده‌ها با استفاده از فناوری‌های اینترنت اشیا و اجراشده بر روی ابر یا مه درزمینهٔ شهرهای هوشمند پایدار را نشان می‌دهد. این فناوری‌ها شامل حس‌گرها، انبارها و مخازن داده‌ها، پلت‌فرم پردازش داده‌ها (Hadoop MapReduce) و مدل محاسبات ابری یا مه است. داده‌های حس‌گرهای مربوط به حوزه‌های مختلف شهری، که جمع‌آوری، تلفیق، پیش‌پردازش و تبدیل شده‌اند، با استفاده از داده‌کاوی و تکنیک‌های یادگیری ماشین برای ساخت مدل‌ها، شناسایی الگو، ایجاد هم‌بستگی با هدف خودکارسازی، پشتیبانی و تصمیم‌گیری در عملیات، توابع، طرح‌ها و خدمات شهری به‌کار گرفته می‌شوند. برنامه‌های کاربردی داده‌محور از سیستم‌های پشتیبانی تصمیم برای بهبود جنبه‌های گوناگون پایداری محیطی در حوزه‌های شهری استفاده می‌کنند.

این چارچوب شامل محاسبات فراگیر، سیستم‌های پردازش داده‌ها و زیرساخت‌های شبکهٔ بی‌سیم، جمع‌آوری ابر، ذخیره، متناسب‌سازی، مدیریت، پردازش، تجزیه‌وتحلیل و مدل‌سازی داده‌های مربوط به حوزه‌های گوناگون شهری برای کشف دانش مفید است که نهادهای شهری را در بهبود عملکرد زیست‌محیطی شهرهای هوشمند پایدار با استفاده از کلان‌داده‌ها در ارتباط با نظارت، کنترل، خودکارسازی، بهینه‌سازی و مدیریت زیرساخت‌ها، منابع، امکانات، خدمات و شبکه‌ها یاری می‌کند.



شکل ۲: چارچوب شهرهاي هوشمند پایدار: اینترنت اشیا و تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها

۲-۳. تشریح فناوری‌ها، مفاهیم و برنامه‌های کاربردی به‌کاررفته در چارچوب شهرهای هوشمند پایدار

تجزیه‌وتحلیل موضوعی برای شناسایی مفاهیم اصلی مضمون‌های قابل‌توجه در یک مدل شهر هوشمند پایدار درنظر گرفته شده است که بر استفاده از اینترنت اشیا و پردازش کلان‌داده‌ها در ارتباط با پایداری محیطی تأکید می‌کند. این موضوعات شامل فناوری‌های حس‌گر، پلت‌فرم پردازش داده‌ها، مدل‌های محاسباتی و برنامه‌های کاربردی داده‌محور مربوط به حوزه‌های گوناگون شهری‌اند.

۲-۳-۱. جمع‌آوری، اندازه‌گیری و پردازش کلان‌داده‌ها شهری

حس‌گرها یکی از ویژگی‌های اصلی شهرهای هوشمند پایدار در آینده هستند که بر دیدگاه‌های رایج محاسبات فراگیر، ازجمله اینترنت اشیا تکیه می‌کنند. در آیندهٔ نزدیک، بسیاری از داده‌ها، که برای نظارت، درک، تجزیه‌وتحلیل و برنامه‌ریزی سیستم‌ها و حوزه‌های شهرهای هوشمند پایدار استفاده می‌شوند، از حس‌گرهای دیجیتال در قالب مشاهدات، تراکنش‌ها و حرکات مرتبط با فرایندهای عملیاتی و سازمان‌دهی زندگی شهری به‌دست می‌آیند. داده‌های حس‌گرها در قالب‌های گوناگون، با برچسب‌های زمانی و مکانی،

همراه با انواع روش‌های داده‌کاوی و تکنیک‌های تجسم داده برای پردازش داده‌ها و نمایش الگوهای هم‌بستگی در دسترس خواهد بود. روش‌های بسیاری برای جمع‌آوری و ذخیرهٔ کلان‌داده‌های شهری از راه انواع دسترسی دیجیتال درحال شکل‌گیری و گسترش در محیط‌های شهری است.

هدف اصلی این است که سیستم جامع کاملاً جدیدی ایجاد کنیم که از موارد زیر پشتیبانی کند (Bibri and Krogstie, 2017b):

- استخراج و هماهنگی داده‌ها از منابع متعدد توزیع‌شده؛
- مدیریت و سازمان‌دهی جریان داده‌ها؛
- ادغام داده‌های ناهمگن در پایگاه داده‌های منسجم و انبارداری آن‌ها؛
- پیش‌پردازش و تبدیل داده‌ها؛
- مدیریت و ترکیب یک‌پارچهٔ مدل‌ها و الگوهای استخراج‌شده؛
- ارزیابی کیفیت مدل‌ها و الگوهای استخراج‌شده؛
- تجسم و اکتشاف الگوها و مدل‌های رفتاری؛
- شبیه‌سازی الگوها و مدل‌های استخراج‌شده؛
- استقرار نتایج به‌دست‌آمده برای پشتیبانی تصمیمات هوشمند و ارائهٔ خدمات کارآمد.

۲-۳-۲. سیستم‌های پردازش داده

سیستم‌های پردازش داده‌ها جزء اصلی از زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرهای هوشمند پایدار با توجه به برنامه‌های کلان‌داده‌ها و پیش‌شرطی برای برنامه‌های کاربردی داده‌محور درزمینهٔ شهرهای پیشرفتهٔ هوشمندند.

سیستم‌های گوناگون پردازش داده‌ها در بخش‌های مختلف، بسته به انواع الزامات و اهداف فنی، برای ذخیره‌سازی، تجزیه‌وتحلیل و مدیریت مجموعه‌های کلان‌داده‌ها استفاده می‌شوند. هدوپ، چارچوب یا مجموعه‌ای از نرم‌افزارها و کتابخانه‌هایی است که سازوکار پردازش حجم عظیمی از داده‌های توزیع‌شده را فراهم می‌کند. درواقع هدوپ را می‌توان به سیستم‌عاملی تشبیه کرد که طراحی شده تا حجم زیادی از داده‌ها را بر روی ماشین‌های مختلف پردازش و مدیریت کند. در اینجا تمرکز بر روی پلت‌فرم (Hadoop MapReduce) است، به‌علت مناسب‌بودن ویژگی‌های آن با توجه به پردازش داده‌های شهری و همچنین مزایای آن درخصوص بهره‌وری هزینه، انعطاف‌پذیری و قدرت پردازش. این پلت‌فرم برای استفاده‌های تجاری رایگان است، زیرا معماری آن منبع باز است (Singh and Singla, 2015) .

معماری هدوپ را می‌توان بر روی ابر اجرا کرد. خان و همکاران یک طراحی معماری انتزاعی محاسبات ابری را بر اساس تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها درزمینهٔ شهرهای هوشمند پیشنهاد می‌دهند. این امر با اصل طراحی هدایت‌کنندهٔ رایانش ابری مطرح شده است تا از ابزارها و تکنیک‌های موجود، به‌طور مطلوب و مطمئن، برای قابلیت‌های تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها استفاده مجدد شود. معماری سیستم پیشنهادشده شامل سه لایه برای عملکردهای گوناگون است:

۱. لایهٔ پایین شامل مخازن توزیع‌شده و ناهمگن و حس‌گرهای گوناگون است؛

۲. لایهٔ میانی به‌منظور نقشه‌برداری وایجاد پیوند بین داده‌های مخازن داده و منابع داده ناهمگن است که به منظور پشتیبانی از جریان‌های کاری برای ایجاد روابط بین داده‌های فرمت‌های مختلف، معناشناسی و پیدا کردن سناریوهاست؛

۳. لایه بالا یک موتور تحلیلی است که داده‌های مربوط به اهداف خاص برنامه را ، با استفاده از داده‌های مرتبط در دسترس در لایه میانی پردازش می‌کند. این کاربه منظور ارائه پرسش‌ها، الگوریتم‌های کاربردی برای یافتن اطلاعات خاص در مخازن داده انجام می‌شود(Khan et al., 2015).

۲-۳-۳. رایانش ابری برای پردازش کلان‌داده‌ها

در سال‌های اخیر، رایانش ابری توجه زیادی را به خود جلب کرده و در سراسر جهان محبوبیت فراوانی به‌دست آورده است و با گسترش محاسبات توزیع‌شده و شبکه‌ای، پیشرفت و توسعهٔ دستگاه‌های حس‌گر، امکانات ذخیره‌سازی، زیرساخت‌های محاسباتی فراگیر و خصوصاً شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم بخشی از زیرساخت‌های شهرهای هوشمند به‌شمار می‌رود.

در تعریفی عمومی، مراکز داده‌ی سخت‌افزاری و نرم‌افزارهای تأمین‌کنندهٔ سرویس پردازشی را «رایانش ابری» می‌نامند. رایانش ابری روش نوین پردازش است که در آن منابع قابل‌گسترش و اغلب مجازی‌شده، به‌صورت یک سرویس پردازشی و از راه شبکه‌های ارتباطی مانند شبکه‌های محلی و اینترنت، عرضه می‌شود. محوریت این مدل، سرویس‌دهی به کاربر بر اساس تقاضا است، بدون آنکه کاربر نیازی به تجهیزات خاصی برای پردازش داشته باشد یا از محل انجام این پردازش آگاه باشد. این سرویس را می‌توان به شبکهٔ برق‌رسانی تشبیه کرد که مشترک، بدون نیاز به داشتن اطلاع از نحوهٔ تولید برق و مکان دقیق تولید آن، تنها با اتصال از یک درگاه انرژی لازم برای وسایل الکتریکی خود را تأمین می‌کند. رایانش ابری با تسهیل ذخیره‌سازی کلان‌داده‌ها و ارائهٔ قابلیت‌های لازم برای پردازش، مدیریت و استخراج دانش مفید از آن‌ها راه‌حل‌های بسیاری برای حل مسائل شهرهای هوشمند پایدار مطرح می‌کند (Khan et al., 2015).

۲-۳-۴. رایانش مه و لبه[1]

رایانش مه و لبه در برنامه‌های کاربردی شهر هوشمند پایدار معماری شبکه و سیستمی است که درخواست‌ها را از منابع فیزیکی نزدیک به درخواست‌کننده جمع‌آوری، تجزیه‌وتحلیل و

1. Fog and Edge Computing

پردازش می‌کند و کارایی بیشتری از رایانش ابری سنتی دارد. این دو مدل محاسباتی با هم ارتباط نزدیک دارند و بر هدف کاهش هزینهٔ تأخیر و افزایش کیفیت تأکید می‌کنند. هر دو اطلاعات را قبل از رسیدن به انبوه کلان‌داده‌ها برای استفادهٔ آتی فیلتر می‌کنند، درنتیجه حجم داده‌هایی که باید پردازش شود کاهش می‌یابد. کاهش داده‌ها فرایندی مهم از تکنیک‌های تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها است. معماری مه و لبه اهداف مشابهی دارند، یعنی کاهش میزان داده‌های فرستاده‌شده به ابر، کاهش زمان تأخیر شبکه و اینترنت و بهبود زمان پاسخ سیستم در برنامه‌های از راه دور. همچنین در هر دو، منبع تولید داده دستگاه‌های حس‌گر هستند. علاوه‌براین، هر دو شامل تسریع پردازش و قابلیت‌های هوشمند اطلاعاتی نزدیک به جایی هستند که منابع فیزیکی با هم مرتبط می‌شوند. تفاوت اصلی بین این دو معماری دقیقاً همان‌جایی است که چنین قابلیت‌هایی قرار می‌گیرند، یعنی محل دستگاه‌ها. در رایانش مه، قدرت اطلاعات و محاسبات به سطح معماری شبکهٔ محلی[1] (LAN) می‌رود و پردازش داده‌ها در گره مه و یا دروازهٔ اینترنت اشیا انجام می‌شود. درحالی‌که در رایانش لبه، اعتبارسنجی داده‌ها و پردازش اطلاعات همراه با قابلیت‌های ارتباطی یک دروازهٔ لبه به‌طور مستقیم در دستگاه‌های مرکزی مانند مسیریاب‌ها(روتر[2]) انجام می‌شود. این امر برای تقویت اقدامات امنیتی، با استفاده از رمزگذاری در شبکهٔ محلی، قبل از انتقال داده‌ها از راه بخش‌های ناامن یا محافظت‌نشدهٔ اینترنت ضروری است. علاوه‌براین، نیاز به تأیید و پیش‌پردازش داده‌ها در یک مه (یک شبکهٔ LAN) یا یک لبه (یک دستگاه دروازه) از این واقعیت ناشی می‌شود که یک مرکز دادهٔ کامل را نباید در یک سطح نصب کرد. در کل، ایدهٔ اصلی محاسبات مه و لبه این است که اعتبارسنجی داده‌ها را به یک حلقه بیرون از قابلیت پردازش منتقل کند (Bonomi et al., 2012).

۲-۴. برنامه‌های کاربردی کلان‌داده‌ها برای حفظ پایداری محیط‌زیست شهری

طیف وسیعی از برنامه‌های تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها در اینترنت اشیا وجود دارند که با اهداف پایداری محیط‌زیست سازگارند: حمل‌ونقل پویا، سیگنال‌های ترافیک، سیستم‌های انرژی، شبکهٔ برق، محیط‌زیست، ساختمان‌ها، نظارت و مدیریت زیرساخت و برنامه‌ریزی و طراحی (Bibri and Krogstie, 2017b).

۲-۴-۱. حمل‌ونقل هوشمند و پویا

حمل‌ونقل پویا یکی از برنامه‌های اساسی اینترنت اشیا و مرتبط با پایداری محیطی است. اینترنت اشیا نقش مهمی در بهبود پویایی تمام انواع حمل‌ونقل در شهرهای هوشمند پایدار دارد. استفاده از آن در این زمینه شامل ردیابی خودکار مسافران و وسایل نقلیهٔ آن‌ها، نظارت بر شرایط جاده و ترافیک، تهیهٔ هشدارها، یافتن مکان‌های پارکینگ، ارزش‌گذاری جاده‌ها و سازوکارهای تلفیقی ایمنی و نظارت هنگام توزیع کالاهای ارزشمند است.

به‌طور دقیق‌تر، دستگاه‌های اینترنت اشیا در ارتباط بین جنبه‌های مختلف سیستم‌های حمل‌ونقل (وسایل نقلیه، زیرساخت‌ها، رانندگان، جاده‌ها و...) ازطریق ادغام واحدهای ارتباطی، مدیریت، کنترل و پردازش اطلاعات در این سیستم‌ها مؤثرند. کنترل ترافیک، ایمنی جاده‌ای، پارکینگ هوشمند، مدیریت لجستیک و ناوگان، کنترل وسایل نقلیه و سیستم‌های جمع‌آوری عوارض برای بهبود اهداف توسعهٔ پایدار محیط‌زیست درنظر گرفته شده‌اند.

در مجموع استفاده از اینترنت اشیا، به‌منزلهٔ شکلی از محاسبات فراگیر، برای کاهش مصرف انرژی، کاهش آلودگی و حذف ناکارآمدی است که به‌شدت تحت‌تأثیر پویایی حمل‌ونقل قرار دارد (Shang et al., 2014).

۲-۴-۲. سیگنال‌های ترافیکی هوشمند

این حوزه درواقع کنترل حجم زیاد تراکم ترافیک با اندازه‌گیری پارامترهای مختلف جریان ترافیکی (موقعیت‌ها و سرعت‌های وسایل نقلیه، سرعت و تراکم ترافیک، شرایط ترافیک یا جاده‌ها، زمان انتظار در چراغ‌ها و...) با استفاده از انواع حس‌گرها (GPS، حس‌گرهای حلقه‌ای، حس‌گرهای از راه دور و...) است.

با پیش‌بینی شرایط ترافیک، می‌توان در کاهش تراکم و تصادفات جاده‌ها با بازکردن جاده‌های جدید، هدایت وسایل نقلیه به جاده‌های جایگزین، جمع‌آوری و ارائهٔ اطلاعات پارکینگ‌ها و افزایش زیرساخت‌های حمل‌ونقل بر اساس داده‌های ترافیک مؤثر واقع شد (Al Nuaimi et al., 2015).

در ایالات متحده، رویکرد اصلی شهر هوشمند در ریورساید و کالیفرنیا پیشرفت فناوری و ارتقای زیرساخت‌های ترافیک و حمل‌ونقل است. در این شهرها، علاوه‌بر استفاده از سیگنال‌های ترافیکی که با استفاده از حس‌گرها تولید می‌شوند، از دستگاه‌های اینترنت اشیا بهره گرفته شده است (Liu and Peng, 2013).

۲-۴-۳. انرژی هوشمند

استفاده از اینترنت اشیا، که بر اساس کلان‌داده‌ها پشتیبانی می‌شود، تصمیم‌گیری مربوط به عرضهٔ انرژی را با تقاضای واقعی شهروندان و سایر شرایط متناظر پشتیبانی می‌کند. تصمیم‌گیران می‌توانند بر مبنای داده‌های زمان واقعی تصمیم‌گیری کنند و شرکت‌های انرژی می‌توانند به نوسانات بازار پاسخ یک‌سان دهند؛ این امر مستلزم اتخاذ رویکردی است که براساس داده‌های زمان واقعی تولید را افزایش یا کاهش داده ودرنتیجه به بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی کمک کند. همچنین، با استفاده از فناوری‌های مشابه،

1. Local Area Network
2. Router

تجزیه‌وتحلیل کارآمد کلان‌داده‌های جمع‌آوری‌شده و ذخیره‌شده برای پیش‌بینی در زمان واقعی را ممکن می‌سازد. به همین ترتیب، دستگاه‌های تلفن همراه به شهروندان امکان دسترسی به قیمت انرژی‌های زنده را می‌دهد که بر اساس آن می‌توانند مصرفشان را تعدیل کنند و درنتیجه فشار هزینه‌های انرژی کاهش می‌یابد.

حس‌گرها و عمل‌گرها به شهروندان اجازه می‌دهند تا به‌عنوان کاربر و مصرف‌کننده از راه دور دستگاه‌های خود (مانند خروجی‌های الکتریکی و سوئیچ‌ها) را کنترل کنند و همچنین آن‌ها را با توابع پیشرفته برنامه‌ریزی کنند (برای مثال تغییر شرایط نور). همچنین می‌توانند ازطریق رابط‌های مبتنی بر ابر به آن‌ها دسترسی یابند (Ersue et al., 2014).

۲-۴-۴. شبکهٔ برق هوشمند

اینترنت اشیا پتانسیل فراوانی برای مدیریت شبکهٔ برق دارد، زیرا سیستم‌ها این امکان را دارند که اطلاعات واقعی دربارهٔ تولید و مصرف برق، ناکارآمدی ارتباطات کاربر نهایی (اطلاعات دربارهٔ تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان) و مدیریت دیگر دستگاه‌های خودکار توزیع را با هدف بهبود کارایی، قابلیت اطمینان و پایداری تولید و توزیع برق جمع‌آوری کنند.

این موضوع شامل استفاده از زیرساخت‌های هوشمند اندازه‌گیری، ازجمله حس‌گرهای قراردادهشده در نقاط دسترسی مصرف‌کنندگان و همچنین درزمینهٔ تولید، انتقال و سیستم‌های توزیع است. معمولاً سازوکار نظارت و بازخورد، به‌منزلهٔ بخشی از کنترل از راه دور، و فناوری‌های ارتباطی در شبکه‌های برق برای افزایش کارایی، قابلیت اطمینان و پایداری محیطی استفاده می‌شود. این مزیت مربوط به این ایده است که سیستم‌های توزیع انرژی خود را تبدیل به سیستم‌های خودمدیریت و خودنگه‌دارنده کرده‌اند، و خدمات در بازار انرژی به‌صورت پویا سازمان یافته و هماهنگ شده است . (Ersue et al., 2014)

در استرالیا برای سیدنی، کانبرا، ملبورن و آدلاید پروژهٔ شهر هوشمند طراحی شده است. دولت این کشور طرح‌های مذکور را با نام «شبکهٔ برق هوشمند، شهر هوشمند» پیگیری می‌کند و هم‌اکنون یکی از بزرگ‌ترین این پروژه‌ها در سیدنی اجرا می‌شود. دولت استرالیا ادعا می‌کند که با اجرای پروژهٔ شهر هوشمند در سیدنی موفق شده است میزان مصرف انرژی را بسیار کاهش دهد، سفرهای درون‌شهری را به حداقل برساند، رضایتمندی مردم از خدمات شهری را بیشتر کند، از اتلاف وقت جلوگیری کند و به‌طور جامع، آنچه مردم ساکن شهر سیدنی باید دریافت کنند در قالب خدمات مجازی به آن‌ها ارائه دهد (Smart Cities Council, 2014).

۲-۴-۵. محیط هوشمند

اینترنت اشیا برای ارتقای کیفیت زندگی شهروندان با به‌سازی محیط ازطریق بهبود کیفیت هوا و کاهش آلودگی صوتی پتانسیل فراوانی دارد. انتظار می‌رود اینترنت اشیا سبب پیشرفت‌های عمده‌ای در بهبود کیفیت آب‌وهوا شود، زیرا پتانسیل لازم را برای استفاده از ابزارهای پیشرفتهٔ نظارتی فراهم می‌کند. با استفاده از اینترنت اشیا، امکان پیش‌بینی تغییرات زیست‌محیطی در آینده بر اساس نقشه‌های جغرافیایی فضایی و زمانی و همچنین شناسایی بلایای طبیعی (ازجمله زمین‌لرزه) برای نجات بسیاری از منابع زیاد است. همچنین حس‌گرهای گسترده، که آلودگی هوا و آب را تشخیص می‌دهند، می‌توانند به حذف بسیاری از انواع آلاینده‌های آسیب‌رسان به سلامت عمومی کمک کنند (Bibri, 2018).

رویکرد شهرهای هوشمند چین، مانند پکن و شانگهای و شنژن،[1] گسترش زیرساخت‌های جدید فناوری اطلاعات و ارتباطات با توجه خاص به مسائل زیست‌محیطی بوده است (Liu and Peng, 2013). همچنین برنامه‌ریزی‌های شهر هوشمند در شهر ماسدار،[2] بر اساس توسعهٔ پایدار و سازگاری با محیط‌زیست انجام شده است .(Cugurullo, 2013)

۲-۴-۶. ساختمان‌های هوشمند

اینترنت اشیا از حس‌گرها برای نظارت و کنترل سیستم‌های مکانیکی، الکتریکی و الکترونیکی به‌کاررفته در ساختمان‌های مسکونی، صنعتی، عمومی و تجاری استفاده می‌کند. این عملکردها مربوط به سیستم مدیریت ساختمان است که درواقع سیستمی مبتنی بر رایانه است و در ساختمان‌های هوشمند به‌کار می‌رود تا قطعات مکانیکی و الکتریکی و دستگاه‌های گرمایش، تهویه و سیستم تهویه مطبوع، سیستم‌های روشنایی، سیستم‌های اتوماسیون خانگی و... را به‌طور خودکار کنترل، نظارت و تنظیم کند.

سه حوزهٔ اصلی عملکرد در این زمینه عبارت‌اند از:

- ادغام اینترنت اشیا با سیستم‌های مدیریت انرژی برای ایجاد ساختارهای هوشمند با انرژی کارآمد؛
- نظارت فوری بر رفتارهای ساکنان برای کاهش مصرف انرژی؛
- ادغام دستگاه‌های هوشمند در محیط ساختمان و چگونگی استفاده از آن‌ها در برنامه‌های آینده (Bibri, 2018).

بزرگ‌ترین طرح شهر هوشمند در کره، در شهر سونگدو،[3] اجرا شده است. این طرح شامل نصب یک دستگاه ارتباط هم‌زمان از راه دور در هر آپارتمان است که هر ساکن می‌تواند اطلاعات را از راه دستگاه‌های مختلف انتقال دهد و کنترل‌های لازم را اعمال کند. سیستم مرکزی در شهر انبوه اطلاعات را مدیریت می‌کند (Halpern et al., 2013).

۲-۴-۷. نظارت بر زیرساخت و مدیریت

استفاده از اینترنت اشیا با نظارت و کنترل عملیات زیرساخت‌های

1. Shenzhen
2. Masdar
3. Songdo

شهری همچون پل‌ها، مسیرهای راه‌آهن و تونل‌ها مرتبط است. دستگاه‌های اینترنت اشیا را می‌توان برای بهبود مدیریت حوادث، بهبود هماهنگی واکنش‌های اضطراری، بهبود کیفیت خدمات و کاهش هزینه‌های عملیاتی در تمامی زمینه‌های مرتبط با زیرساخت به‌کار برد. زیرساخت‌های اینترنت اشیا، به‌عنوان یک محصول جانبی، برنامه‌ریزی فعالیت‌های تعمیر و نگه‌داری را، با هماهنگی وظایف بین ارائه‌دهندگان خدمات و کاربران این زیرساخت‌ها و امکانات، به‌نحو کارآمد ممکن می‌سازد .(Ersue et al., 2014)

برنامهٔ شهر هوشمند سنگاپور اولویت‌های زیر را در پیاده‌سازی شهر هوشمند برای ملت هوشمند مدنظر قرار می‌دهد:

راه‌های هوشمند برای ذخیرهٔ انرژی و حفاظت از محیط‌زیست؛ ساختمان‌های سبز و هوشمند؛ راه‌حل‌های هوشمند برای مشکلات آب؛ آموزش هوشمند؛ خدمات و زیرساخت‌های هوشمند (IDA, 2014).

۳. مسائل اساسی مربوط به اینترنت اشیا و تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها

تقاضای روبه‌رشد برای اینترنت اشیا و تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها به‌عنوان فناوری‌های مخرب، همراه با پتانسیل آن‌ها برای خدمت به بسیاری از حوزه‌های شهری درزمینهٔ پایداری محیطی، با چالش‌های علمی و فکری عمده مواجه است که باید با توجه به طراحی، توسعه و گسترش برنامه‌های کاربردی داده‌محور در قلمرو شهرهای پیشرفتهٔ هوشمند بررسی شوند. این چالش‌ها که عمدتاً علمی، محاسباتی و تحلیلی‌اند عبارت‌اند از:

- محدودیت‌های علم طراحی و مهندسی؛
- تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و ارزیابی؛
- مدیریت داده‌های اینترنت اشیا تولیدشده در محیط‌های پویا و فرار؛
- ادغام پایگاه داده در حوزه‌های شهری؛
- حفظ حریم خصوصی و امنیت؛
- فراهم‌کردن زمینهٔ مفهومی (مانند موقعیت جغرافیایی و زمان)؛
- رشد داده‌ها و به‌اشتراک‌گذاری؛
- عدم اطمینان و ناتمام‌بودن داده‌ها؛
- دقت، کیفیت و صحت داده‌ها؛
- توابع هوشمند و مدل‌های شبیه‌سازی؛
- تحمل خطا و مقیاس‌پذیری؛
- ذخیره و پردازش داده (Bibri, 2018; Bibri and Krogstie, 2017b).

نتیجه‌گیری

اینترنت اشیا (IoT) شکلی جدید از محاسبات فراگیر و برنامه‌های کاربردی کلان‌داده‌هاست که، باتوجه‌به عملکرد عملیاتی و برنامه‌ریزی برای توسعهٔ پایداری محیط‌زیست، به‌طور فزاینده‌ای مدنظر شهرهای هوشمند پایدار قرار گرفته است. ازاین‌رو، پتانسیل اینترنت اشیا و تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها در آن بستگی به این دارد که چنین شهرهایی بتوانند چشم‌انداز اطلاعاتی خود را با استفاده از پیاده‌سازی و ترکیب چارچوب‌های مرتبط، به‌منظور بهبود فرایندها، طرح‌ها و خدمات مطابق با چشم‌انداز پایداری محیطی گسترش دهند. تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها و استفاده از آن در تحقق‌بخشیدن به ویژگی‌های کلیدی شهرهای هوشمند پایدار، یعنی بهره‌وری از عملیات و خدمات، بهینه‌سازی منابع طبیعی و مدیریت هوشمند زیرساخت‌ها و امکانات، تأثیر بسزایی دارد. درواقع، انتظارات عظیمی برای دستاوردهای زیست‌محیطی از تحقیقات درحال انجام در حوزهٔ اینترنت اشیا و تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها در محافل علمی و همچنین در صنعت وجود دارد.

هدف از نگارش این مقاله بررسی و ادغام ادبیات مرتبط با هدف شناسایی و بحث دربارهٔ کاربردهای کلان‌داده‌ها مبتنی بر حس‌گرهای پیشرفتهٔ فعال‌شده توسط اینترنت اشیا برای پایداری محیطی، و پلت‌فرم پردازش داده‌ها و مدل‌های محاسباتی درزمینهٔ شهرهای هوشمند پایدار آینده است.

برنامه‌های کاربردی کلان‌داده‌ها که توسط اینترنت اشیا فعال شده‌اند، توانایی ارائهٔ خدمات به انواع حوزه‌های شهرهای هوشمند پایدار را درخصوص عملکرد، مدیریت و برنامه‌ریزی آن‌ها درزمینهٔ پایداری محیطی دارند.

مهم‌ترین برنامه‌های کاربردی داده‌محور که از طریق اینترنت اشیا فعال می‌شوند شامل حمل‌ونقل، پویایی، ترافیک، انرژی، شبکهٔ برق، محیط‌زیست، نظارت و مدیریت زیرساخت‌ها، طراحی و برنامه‌ریزی شهری است. چندین شهر در کشورهای پیشرفته هم‌اکنون ادغام اینترنت اشیا و برنامه‌های مربوط به کلان‌داده‌ها را از لحاظ زیست‌محیطی و فناوری آغاز کرده‌اند و با امید به بهره‌برداری از مزایای زیست‌محیطی، با توسعه و اجرای راه‌حل‌های مبتنی بر داده‌ها در سیستم‌های شهری، به‌طور فعال بر طرح‌های پایدار هوشمند تمرکز کرده‌اند.(Al Nuaimi et al., 2015; Bibri and Krogstie, 2016)

کلان‌داده‌ها، که برای تجزیه‌وتحلیل شهری استفاده می‌شوند، درواقع ترکیب برنامه‌های کاربردی پیشرفته، خدمات و قابلیت‌های محاسباتی و تحلیلی هستند که ازطریق مجموعه‌ای از ابزارها در مقیاس‌های بزرگ مکانی، که با شبکه‌های چندگانه مرتبط شده‌اند، می‌توانند بستری مناسب برای تحقق مزایای زیست‌محیطی فراهم آورند. فناوری‌های پیشرفته در مدیریت و برنامه‌ریزی هوشمندانهٔ زیرساخت‌ها، منابع

طبیعی و امکانات شهر برای بهبود کیفیت زندگی شهروندان، با هدف نهایی توسعهٔ پایدار محیط‌زیست، بسیار مفیدند.

در پاسخ به سؤال تحقیق، گسترش چشم‌انداز اطلاعاتی شهرهای پیشرفتهٔ هوشمند با استفاده از کلان‌داده‌های مبتنی بر حس‌گر پتانسیل فراوانی برای پیشبرد پایداری محیطی دارد. بر این اساس، شهرهای هوشمند پایدار آینده باید ویژگی‌های طراحی شهری و برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا را ترکیب کنند تا سهم خود را در توسعهٔ پایدار محیط‌زیست افزایش دهند. علاوه‌براین، ایده‌های شهرهای هوشمند پایدار دربارهٔ استفاده از اینترنت اشیا و تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها در آن، توسط سایر فناوری‌ها، با ادغام چشم‌انداز اطلاعاتی و فیزیکی شهری به شیوه‌ای است که سهم آن‌ها در پایداری محیطی را حفظ می‌کند. پتانسیل استفاده‌نشده از اینترنت اشیا و تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها آشکار است و باید از آن بهره‌برداری شود. از دیدگاه پایداری بسیار سودمند است که سیستم‌های شهری و حوزه‌ها تلاش‌های شهری پایدار و شهر هوشمند را به هم پیوند دهند (Bibri, 2018).

در این مقاله امکان توسعهٔ چشم‌انداز اطلاعاتی شهرهای پیشرفتهٔ هوشمند با استفاده از کلان‌داده‌ها برای دستیابی به سطح موردنیاز پایداری محیطی بررسی شد. بدین منظور، چارچوبی تشریح شد که اطلاعات بسیاری درزمینهٔ شهرهای هوشمند و شهرهای پایدار ارائه می‌دهد، ازجمله تحقیقات در سطح مفهومی، تحلیلی و جامع، و همچنین تحقیق دربارهٔ فناوری‌های خاص و برنامه‌های کاربردی آن‌ها. این چارچوب مبنایی برای توسعهٔ فرصت‌های تحقیقاتی به‌منظور پیاده‌سازی این شهرها و همچنین ایجاد بینش‌های تحلیلی در تحقیقات آینده ارائه می‌دهد.

منابع

Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I. and Airaksinen, M. (2017). "What are the differences between sustainable and smart cities?" *Cities*, 60, 234–245.

Alam, F., Mehmood, R., Katib, I., Albeshri, A. (2016). "Analysis of eight data mining algorithms for smarter Internet of things (iot)", *Procedia Computer Science* ,98 , 437–442.

Al Nuaimi, E., Al Neyadi, H., Nader, N. and Al-Jaroodi, J. (2015). "Applications of big data to smart cities". *Journal of Internet Services and Applications*, 6 (25), 1–15.

Andrienko, G., Gunopulos, D., Ioannidis, Y., Kalogeraki, V., Katakis, L., Morik, K. and Verscheure, O. (2017). "Mining Urban Data (Part C)". *Journal of Information Systems*, 64, 219-220.

Andrienko, G., Gunopulos, D., Ioannidis, Y., Kalogeraki, V., Katakis, L., Morik, K. and Verscheure, O. (2016). "Mining Urban Data (Part B)". *Journal of Information Systems*, 57, 75-76.

Ben Sta, H. (2017). "Quality and the efficiency of data in «Smart-Cities»" . *Journal of Future Generation Computer Systems*, 74, 409-416.

Bibri, S.E. (2018). "The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability". *Journal of Sustainable Cities and Society*, 38, 230-253.

Bibri, S. E., and Krogstie, J. (2017a). "Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review". *Sustainable Cities and Society*, 31, 183–212.

Bibri, S. E., and Krogstie, J. (2017b). "The core enabling technologies of big data analytics and context-aware computing for smart sustainable cities: A review and synthesis". *Journal of Big Data*, 4 (38), 1–50.

Bibri, S. E. and Krogstie, J. (2016). "On the social shaping dimensions of smart sustainable cities: A study in science, technology, and society". *Sustainable Cities and Society*, 29, 219–246.

Bibri, S. E. (2015). *The shaping of Ambient Intelligence and the Internet of Things: historico–epistemic, socio–cultural, politico–institutional and eco–environmental dimensions*. Berlin, Heidelberg: Springer–Verlag.

Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., and Addepalli, S. (2012). "Fog computing and its role in the internet of things". Proceedings of the first edition of *the MCC workshop on mobile cloud computing, ser. MCC'12*. ACM, 13–16.

Caragliu, A., Del Bo, C. and Nijkamp P . (2011). "Smart cities in Europe". *Journal of Urban Technology*, 18, 65–82.

Chen, H., Chiang, R. H. L. and Storey, V. C. (2012). "Business intelligence and analytics: From big data to big impact". *MIS Quarterly*, 36, 4, 1165–1188.

Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J.R., Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T., Scholl, H.J., et al. (2012). "Understanding smart cities: An integrative framework". *45th International Conference on*

System Science (HICSS), Hawaii., IEEE, 2289–2297.

Cugurullo, F. (2013). "How to Build a Sandcastle: An Analysis of the Genesis and Development of Masdar City". *Journal of Urban Technology*, 20, 1 , 23–37.

Ersue, M., Romascanu, D., Schoenwaelder, J. and Sehgal, A. (2014). "Management of networks with constrained devices: Use cases." *IETF internet*.

Falconer, G. and Mitchell, S. (2013). "Smart city framework: a systematic process for enabling smart connected communities". *Cisco Internet business solutions group*. Available online at: http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/ps/motm/Smart-City-Framework.pdf.

Fox, M.S. and Pettit, C.J. (2015). "On the completeness of open city data for measuring city Indicators". *Smart Cities Conference (ISC2)*, First International, IEEE, 1–6.

Halpern, O., LeCavalier, J., Calviloo, N., and Pietsch, W. (2013). "Test-bed urbanism", *Public Culture*, 25(2), 273–306.

Harrison, C. and Donnelly, I.A. (2011). "A theory of smart cities", *Proceedings of the 55th Annual Meeting of the ISSS*, Hull, UK.

Höjer, M. and Wangel, S. (2015). "Smart sustainable cities: Definition and challenges. ICT innovations for sustainability Advances in intelligent systems and computing", *310*. Springer International Publishing.

Howe, J. (2006). "The rise of crowdsourcing". *Wired Mag*, 14 (6), 1–4.

IDA. (2014). "Smart Nation Vision for Singapore". Retrieved from: https://www.ida.gov.sg/blog/insg/featured/smart-nation-vision-for-singapore.

International Telecommunications Union (ITU). (2014). *Agreed definition of a smart sustainable city*. Focus Group on Smart Sustainable Cities, SSC-0146 version Geneva, 5–6.

Katakis, L. (2015). "Mining Urban Data (part A)". *Journal of Information Systems*, 54, 113-114.

Kehoe, M. Cosgrove, M., Gennaro, S., Harrison, C., Harthoorn, W., Hogan, J. Meegan, J., Nesbitt, P. and Peters, C. (2011). "Smarter cities series: A foundation for understanding IBM smarter cities". *Redguides for Business Leaders*, IBM.

Khan, Z., Anjum, A., Soomro, K. and Tahir, M. A. (2015). "Towards cloud based big data analytics for smart future cities". *Journal of Cloud ComputingAdvances*, Systems and Applications, 4 (2).

Kramers, A., Höjer, M., Lövehagen, N. and Wangel, J. (2014). "Smart sustainable cities: Exploring ICT solutions for reduced energy use in cities". *Environmental Modelling and Software*, 56, 52–62.

Liu, P. and Peng, Z. (2013). "Smart Cities in China". IEEE Computer Society Digital Library, http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MC.2013.149.

Ojo, A., Dzhusupova, Z. and Curry, E. (2016). "Exploring the nature of the smart cities research landscape in: Smarter as the New Urban Agenda". *Springer*, 23–47.

Shang, J., Zheng, Y., Tong, W. and Chang, E. (2014). "Inferring gas consumption and pollution emission of vehicles throughout a city". *Proceedings of the 20th SIGKDD conference on knowledge discovery and data mining* (KDD 2014).

Singh, J. and Singla, V. (2015). "Big data: Tools and technologies in big data". *International Journal of Computer Applications*, 112, 15.

Smart Cities Council, (2014). *SMART CITIES READINESS GUIDE*, The planning manual for building tomorrow's cities today.

Tsai, Chun-Wei, Lai, Chin-Feng, Chao, Han-Chieh and Vasilakos, Athanasios V. (2015). "Big data analytics: A survey". *Journal of Big Data*, 2, 21.

Xiwei, L., Rangachari, A., Gang, X., Xiuqin, S. and Xiaoming, L. (2017). *Big Data and Smart Service Systems*, Chapter 5 - *Smart cities, urban sensing, and big data: mining geo-location in social networks (PP. 59-84).* Italy: Academic Press (AP).

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L. and Zorzi, M. (2014). "Internet of things for smart cities". *IEEE Internet of Things Journal*, 1 (1).

Zhang, Y., Ting, C., Tian, X., Li, S., Yuan, L., Jia, H., et al. (2016). "Parallel processing systems for big data: A survey". *Proceedings of the IEEE*, special issue on Big Data.