



پیاده‌سازی و تحلیل سامانه هوشمند نظارت و کنترل شاخص روشنایی ساختمان در راستای تحقق شهر هوشمند

مهدی جعفری‌وردنجان^{۱*}، ملیحه ایزدی^۲، افضل روانگرد^۳

۱. گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

۲. گروه برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، ایران

۳. گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

* تهران، ۱۳۷۶۱۱۳۷، ۱۴۳۵۷۶۱۱۳۷، mehdijafari@ut.ac.ir

چکیده

از آنجا که ساختمان یکی از اجزای اساسی تشکیل‌دهنده شهر به شمار می‌آید، پیاده‌سازی مفهوم شهر هوشمند نیاز به تلاشی بنیادین جهت بسترسازی این امر در قالب انواع ساختمان خواهد داشت. این هدف بدون سامان‌دهی مبانی مدیریت مصرف انرژی، سطح فناوری موجود، و ارتباط سیستم‌های مختلف در آن مقدور نیست. یکی از موارد هوشمندسازی، مبحث تنظیم شاخص‌های آسایش ساختمان به منظور اصلاح الگوی مصرف انرژی در ضمن رفاه ساکنان است. شاخص روشنایی مورد مهمی در گروه شاخص‌های آسایش به شمار می‌آید. در این راستا، هدف اصلی پژوهش حاضر ارائه سامانه هوشمندسازی نظارت و کنترل شاخص روشنایی در راستای تحقق شهر هوشمند است. این سامانه هوشمند در دو فاز ارائه شده است. فاز اول مربوط به داده‌برداری و پیاده‌سازی بخش نظارت است. در فاز دوم کارکرد سیستم کنترلی به منظور تنظیم بهینه شاخص مورد نظر مورد تحلیل قرار گرفته، عملکرد نرم‌افزار مورد استفاده مبتنی بر الگوریتم ارائه‌شده مورد آزمایش قرار گرفته است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، برآیند عملکرد سیستم جهت بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی لازم جهت تنظیم میزان روشنایی منطقه مورد آزمایش، مورد قبول واقع شده، ضمن حفظ مقدار شاخص روشنایی در حد مطلوب (۸۳ درصد)، کاهش توان مصرفی در نتیجه پیاده‌سازی سامانه هوشمند ارائه‌شده به طور متوسط به میزان ۱/۷۵ برابر دیده می‌شود.

کلیدواژگان

مدیریت انرژی، شهر هوشمند، شاخص‌های آسایش، نظارت و کنترل، نرم‌افزار

Implementation and Analysis of Smart Control System of Building Lighting Index In Order To Achieve a Smart City

Mehdi Jafari Vardanjani^{1*}, Maliheh Izadi², Afzal Ravangard³

1. Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

2. Department of Urban Planning, Faculty of Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

3. Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

* Tehran, Iran, mehdijafari@ut.ac.ir

Abstract

Since the building is one of the basic components of the city, implementing the concept of smart city requires a fundamental effort to prepare all types of buildings and related organizations for conforming to the smart mechanisms. This goal would not be possible without reforming and reorganizing the main factors of the smart city, including managing energy consumption, improving the level of technology, and connecting different systems in it. One of the cases of smart city is the issue of comfort indices including adjusting and maintaining optimal lighting in a building to optimize energy consumption. Thus, the main purpose of this study is to provide a smart system for monitoring and controlling the lighting index in order to achieve a smart city. In this regard, the proposed system in the present paper is presented in two phases. The first phase is related to data collection and implementation of the monitoring unit. In the second phase, the function of the control system is analyzed in order to optimally adjust the desired lighting index, and the performance of the provided software is tested based on the proposed algorithm. According to the obtained results, the result of system performance to optimize and reduce energy consumption required to adjust the brightness of the test area, has been accepted, while maintaining the desired brightness index (83%), reducing power consumption as a result of system implementation. The presented smart is seen on average 1.75 times.

Keywords

Energy Management, Smart City, Comfort Indices, Monitoring and Controlling, Software

۱- مقدمه

راستا، لامپ‌های کم‌مصرف LED به عنوان یکی از المان‌های اصلی در ایجاد و حفظ روشنایی مطلوب در فضای گلخانه مورد ارزیابی قرار گرفته است که ارتباط مستقیمی با مقوله مورد مطالعه مقاله حاضر دارد. محیط روشنایی و حفظ انرژی مورد استفاده در آن موضوع وسیعی به شمار می‌آید که با توجه به پیشرفت‌های فنی و تکنولوژیکی اخیر، تلاش‌های پژوهشی بیشتری را جهت حفظ منابع انرژی موجود و هوشمندسازی بالاتر تجهیزات کنونی می‌طلبد.

در مطالعه انجام‌شده توسط لاریجانی و همکاران [۱۳] اهمیت انرژی سبز با یک نظرسنجی میدانی و بر اساس روش گراند تئوری و نمونه‌گیری هدمند مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مطالعه میزان سبز بودن برخی مشاغل مورد بررسی قرار گرفته، شاخصی برای آن تعیین شده است. در صورتی که این مطالعه به همراه شاخص‌های هوشمندسازی شهر و ساختمان مورد بررسی قرار گیرد، می‌تواند به عنوان گامی مقدماتی در راستای تبیین و تحقق انرژی پاک و همچنین بسترسازی برای انرژی هوشمند محسوب گردد. از آنجایی که انرژی، اساس تحرک و پویایی زندگی بشر است و اتلاف آن باعث افزایش هزینه‌ها و نابودی محیط زیست می‌گردد، در این پژوهش سعی شده است تا با پیاده‌سازی سیستم نظارت، ابتدا یک نیازسنجی در زمینه شاخص روشنایی انجام شده، سپس با به‌کارگیری سامانه هوشمند کنترل، الگوی مصرف به الگوی بهینه‌ی مصرف نزدیک شود. بدین ترتیب علاوه بر حفظ شاخص روشنایی مطلوب، کاهش مصرف انرژی ساختمان حاصل می‌گردد. همچنین یک نرم‌افزار کاربردی به منظور نظارت و کنترل هوشمند پارامترهای انرژی با تأکید بر شاخص روشنایی ارائه شده است.

۲- مبانی نظری پژوهش

تحقق فضای شهری هوشمند، تنها ارتقای سطح فناوری و دانش آن نیست، بلکه فراهم‌کننده زیرساختاری جهت مصرف بهینه انرژی و مدیریت آن است [۱۴]. شهر هوشمند و به طور ویژه انرژی هوشمند، بستری را فراهم می‌آورد که نظارت و کنترل، و به طور کلی مدیریت انرژی به طور شفاف‌تری در دسترس مسوولان و مصرف‌کنندگان قرار گیرد [۱۵]. هنگامی که شاخص‌های آسایش زندگی ساکنان و نیاز واقعی آنها به طور واضح و بر اساس مکانیزم‌های هوشمند و مدرن تشخیص داده شود، مسلماً مدیریت تولید و ارائه انرژی نیز می‌تواند با توجه به سنجش دقیق این نیازها انجام شود [۱۶]. این امر نه تنها باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود، بلکه سازوکار دستیابی به شهر هوشمند و اتوماسیون ساختمان‌ها را فراهم می‌کند [۱۷].

در ادامه، موانع موجود در مقابل پیاده‌سازی مبحث انرژی شهر هوشمند و رابطه علت و معلولی بین آنها در قالب ابعاد مدیریتی، قانونی، مالیاتی، بازار، محیطی، فنی، اجتماعی، سیاسی، اطلاعاتی و آگاهی مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱). به طور کلی می‌توان گفت که پیاده‌سازی مفهوم شهر هوشمند، به طور عمده به ذی‌نفعان کلیدی از قبیل سرمایه‌گذاران، توسعه‌دهندگان و مسوولان محلی نیز بستگی دارد [۱۸].

۳- روش پژوهش

در این بخش مراحل امکان‌سنجی و پیاده‌سازی سامانه هوشمند سخت‌افزاری و نرم‌افزاری روشنایی ساختمان تشریح شده است. مراحل مطالعاتی و عملیاتی این طرح شامل موارد زیر است (شکل ۲).

شهر هوشمند شامل ساختمان‌های هوشمند، انرژی هوشمند، ارتباطات هوشمند، شبکه هوشمند، و آگاهی محیطی است. رویکرد اصلی متولیان این شهر استفاده از فناوری و انفورماتیک متمدن به منظور ارتقای سطح خدمات است [۱] که مهمترین آنها منابع انرژی به‌شمار می‌رود. جهت دستیابی به مدیریت انرژی ایده‌آل در یک سیستم چند وجهی از قبیل شهر هوشمند، نه تنها نیاز به شناخت و بررسی اکثر المان‌های انرژی وجود دارد، بلکه وابستگی ضمنی بین آنها باید تعریف شود [۲]. همچنین، مدل‌سازی کاملی جهت صحت‌سنجی سیستم‌های پیشرفته و نوین کنونی مورد نیاز است [۳]. امروزه مسائل امنیتی انرژی ما را به ذخیره‌سازی انرژی، مدیریت هوشمند انرژی و استفاده از منابع درونی که به منابع انرژی تجدیدپذیر تبدیل می‌شوند، ملزم می‌نماید [۴]. در مورد یک ساختار هوشمند، مدیریت انرژی، تلاشی سیستماتیک و پیوسته را جهت ارتقای کارآمد انرژی در داخل یک ساختمان می‌طلبد [۵].

آنچه که باید در پژوهش‌های پیشنهادی مربوط به شهر هوشمند در اولویت قرار داشته باشد، تحلیل و بررسی ظرفیت‌ها، موانع موجود و معیارهای اساسی جهت دستیابی به شهر هوشمند و بررسی میزان مطابقت ساختمان‌ها با مفهوم شهر هوشمند است تا در این راستا علاوه بر بسترسازی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و مدیریت آن، ارتقای تدریجی سطح فناوری المان‌های اصلی سازنده یک شهر (ساختمان‌ها) جهت دستیابی به یک شهر هوشمند پدید آید. مسلماً عوامل متعددی در مبحث تحقق شهر هوشمند و مدیریت آنها دخیل است که می‌بایست به طور دقیق و حساب‌شده مورد بررسی قرار گیرند [۶].

در مطالعه انجام شده توسط کالویلو و همکاران [۷] تمام زمینه‌های مربوط به انرژی در شهر هوشمند و تمام ارتباطات آن، بررسی شده، مدل‌های مختلف موجود و ابزارهای شبیه‌سازی ارائه شده‌اند [۸]. در این مطالعه نتایج نشان می‌دهد که تسهیلات انرژی کارآمد با کاربردهای بهتر، سیستم‌های کنترلی، و طرح‌های مبتنی بر تقاضا، جایگاه اصلی خود را در شهرهای هوشمند آتی خواهند یافت [۹].

در مطالعه دیگری که توسط پتریتولی و همکاران [۳] انجام شده، ذخیره‌سازی انرژی قابل استفاده به عنوان داده‌های مصرفی سیستم آزمایشی خیابان هوشمند قرار گرفت. در این تحقیق، مصرف پایه انرژی سیستم روشنایی، با یک سیستم شبیه‌سازی شده از پیش‌تعریف‌شده مقایسه شده است. به این ترتیب سیستم روشنایی بر اساس نرخ ترافیک موجود که با توجه به روزهای هفته میانگین‌گیری شده است، قابل تنظیم است. البته هنوز آزمایش عملی جامعی در این زمینه انجام نشده است. همچنین، مطالعاتی در زمینه حمل و نقل هوشمند انجام شده است [۱۰].

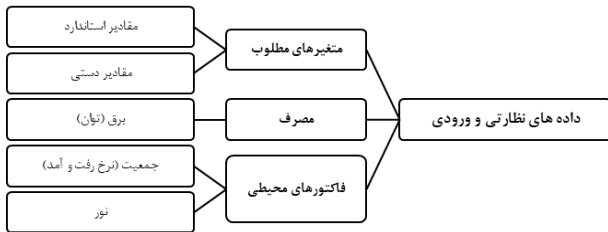
وازکویز و همکاران [۱۱]، میزان کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی آن به کمک ترکیب نرم‌افزار شبیه‌سازی مصرف انرژی در شهر، و نرم‌افزار ایجاد الگوریتم یادگیری ماشینی پیشرفته را بررسی کرده‌اند. استفاده از این روش باعث می‌شود تا الگوریتم‌های کنترل یادگیری و ظرفیت و توانایی آنها در شهرهای مختلف قابل سنجش باشد و بستر مدیریت انرژی هوشمند به‌سادگی فراهم آید. پژوهش حاضر پیاده‌سازی سیستم خودکار نظارت، کنترل مصرف، تولید و تنظیم بهینه شاخص‌های آسایش (نور، دما، رطوبت و دود) را انجام داده است.

در مطالعه انجام‌شده توسط لطفی و همکاران [۱۲]، مبحث بهینه‌سازی مصرف انرژی در حیطه روشنایی مطلوب مورد تحلیل قرار گرفته است. در این

است. جهت دستیابی به این هدف، بخش سخت‌افزاری (بوردهای الکترونیک مرکزی) جهت ایجاد ارتباط بین حسگرهای مکانیزم هوشمند (حسگر جریان الکتریکی)، حسگر حرکتی (جهت نظارت بر میزان رفت و آمد) و حسگر روشنایی) استفاده می‌شود. سیستم‌های نظارت و کنترل مورد نظر، به صورت جداگانه در زیر تشریح شده‌اند:

۳-۲-۱- سیستم نظارت

در سیستم نظارت به‌هنگام، عمل نظارت با توجه به ورودی‌های دریافتی در سه مقوله انجام می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، سه مقوله ورودی مورد نظر شامل متغیرهای مطلوب، مصرف و فاکتورهای محیطی است.

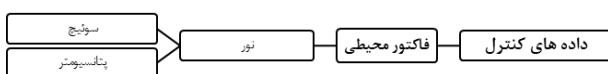


شکل ۳ پیکربندی بخش نظارت سامانه مدیریت هوشمند

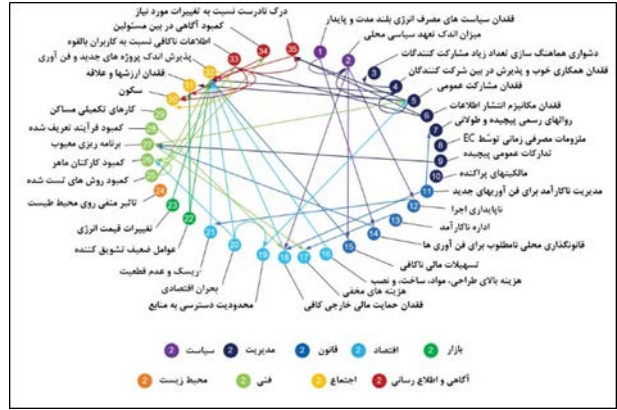
۳-۲-۲- سیستم کنترل

سیستم کنترل به‌هنگام عمل کنترل را با توجه به ورودی‌های جمع‌آوری شده در سیستم نظارت به‌هنگام انجام می‌دهد (شکل ۴). این عمل برای فاکتور محیطی قابل کنترل انجام می‌شود. در واقع این کار همان‌طور که در بخش نظارت نیز گفته شد، پس از بررسی و ثبت داده‌های جمعیتی و میزان اهمیت نواحی مختلف ساختمان انجام می‌شود. بدین ترتیب عمل کنترل نه تنها باعث تنظیم شاخص روشنایی می‌گردد، بلکه بهینه‌سازی مصرف انرژی نیز به طور ضمنی انجام می‌شود. زیرا عمل کنترل فاکتورهای محیطی برای قسمت‌های پراهمیت ساختمان با حساسیت بالاتری انجام می‌شود و میزان مصرف انرژی در مناطق پراهمیت متمرکز شده، از اتلاف آن در مناطق کم‌اهمیت جلوگیری می‌گردد.

تلاش می‌شود که عمل کنترل به صورت چرخه بسته انجام شود. به این معنا که عمل کنترل فاکتورها در ابتدای امر بر اساس مقدار متغیرهای مطلوب انجام می‌شود. سپس پارامترهای کنترل‌شده به طور متناوب از طریق سامانه نظارتی اندازه‌گیری شده، در صورت مشاهده اختلاف بین آنها مجدداً سامانه کنترلی درصد اصلاح آن برخواهد آمد. در مورد مکانیزم کنترلی هر یک از فاکتورهای محیطی باید گفت که این عمل باید با توجه به مکانیزم به‌کار گرفته در تجهیزات روشنایی انجام شود که در زیر، هر یک به طور مجزا توضیح داده شده است:



شکل ۴ پیکربندی بخش کنترل سامانه مدیریت هوشمند



شکل ۱ رابطه علت و معلولی بین موانع. هر مانع به صورت یک دایره توپر نمایش داده شده است و روابط به صورت پیکان نمایش داده شده است. جهت پیکان، جهت رابطه علت و معلول را نشان می‌دهد.



شکل ۲ مراحل اجرایی پژوهش

۳-۱-۱- شناخت

فاز شناخت به طور کلی شامل موارد زیر می‌شود:

- بررسی و تحلیل شرایط ساختمان مورد نظر به لحاظ موقعیت جغرافیایی
- بررسی موانع موجود در مقابل پیاده‌سازی فنی طرح

۳-۲-۲- نظارت و کنترل

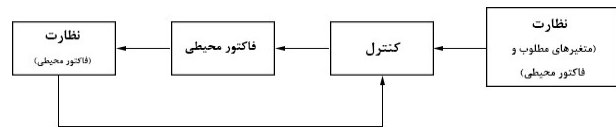
فاز نظارت و کنترل به طور کلی شامل موارد زیر است:

- نیازسنجی با توجه به اهمیت تنظیم شاخص روشنایی در نقاط و مقاطع زمانی معین
- جمع‌آوری داده‌های کمی و سنسجش الگوی توان مصرفی فعلی در فاز نظارت
- پیاده‌سازی تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری جهت کنترل شاخص روشنایی و تنظیم بهینه توان مصرفی با توجه به میزان روشنایی مطلوب
- فارغ از مباحث مربوط به امکان‌سنجی و موانع موجود در مقابل پیاده‌سازی نهایی، راهبرد عملیاتی مورد نظر در این قسمت تشریح می‌شود. هدف نهایی این بخش، پس از پیاده‌سازی سامانه، ارائه نرم‌افزاری جهت بهینه‌سازی، نظارت، و کنترل میزان مصرف انرژی با تأکید بر شاخص روشنایی

الگوریتم کنترل

۳-۲-۲-۱-

الگوریتم کلی کنترلی مورد استفاده در این سیستم به گونه‌ای پیکربندی شده است که مقادیر مطلوب فاکتور روشنایی به عنوان مقادیر ثابت، و مقادیر اندازه‌گیری شده وارد بخش کنترل شده، در صورت مشاهده اختلاف بین آنها، عمل کنترل روی پارامتر روشنایی انجام می‌شود (شکل ۵). سپس مجدداً مقدار فاکتورهای محیطی (روشنایی و رفت و آمد) مورد اندازه‌گیری قرار گرفته، در بخش کنترل مورد مقایسه قرار می‌گیرند، و در صورت وجود اختلاف، عمل کنترل روی مقدار روشنایی انجام می‌شود. این کار به طور متناوب و در فواصل زمانی معین ($t_R \cong 10 s$) تکرار می‌شود. بدین ترتیب کنترل مقادیر بر اساس مقادیر مطلوب انجام می‌شود.



شکل ۵ الگوریتم کلی مورد استفاده در سامانه هوشمند

ب-۱- تنظیم شدت نور (I) نسبت به شدت نور حداقل ($I < I_{min}$)

در این وضعیت دو حالت محتمل است:

ب-۱-۱- تعداد منابع نورانی (لامپ) روشن (n_L) کمتر از مجموع تعداد منابع نورانی (n) باشد.

که در این وضعیت جهت افزایش شدت نور یک منبع نورانی روشن اضافه می‌شود و در صورتی که باز هم شدت نور به حد مطلوب نرسید، در تکرار بعدی سیکل، منبع نورانی دیگری روشن می‌شود. این کار تا زمانی که شدت روشنایی به حد مطلوب برسد ادامه می‌یابد. شایان ذکر است که اگر سیستم روشنایی دارای تجهیزات تنظیم روشنایی متغیر باشد، عمل کنترل به جای تعداد منابع نورانی، روی ولتاژ آنها اعمال می‌شود. از آنجایی که این امر مستلزم اصلاح و تجهیز تأسیسات مورد استفاده فعلی است، هزینه‌بر بوده، الگوریتم مبتنی بر تعداد به عنوان الگوریتم پیشنهادی، اشاره شده است.

ب-۱-۲- تعداد منابع نورانی روشن (n_L) برابر مجموع تعداد منابع نورانی (n) باشد.

از آنجایی که در این وضعیت نمی‌توان منبع نورانی دیگری روشن نمود (منبع نورانی خاموش دیگری موجود نیست) عمل خاصی انجام نمی‌شود و ادامه الگوریتم اجرا می‌شود. البته باید توجه داشت که این حالت معمولاً رخ نمی‌دهد، زیرا شدت نور حداقل معمولاً باید در حدی تعیین شود که بتوان آن را با تعداد منابع نورانی موجود برآورده ساخت.

شایان ذکر است همان‌طور که قبلاً گفته شد، عمل کنترل مستقیماً روی مصرف انجام نمی‌شود، بلکه این کار به طور غیرمستقیم، و بر اساس مقدار مطلوب روشنایی و اهمیت نقاط مختلف (نرخ رفت و آمد) انجام می‌شود. برای مثال، برای تنظیم نور در یک اتاق در صورتی که نرخ رفت و آمد در این اتاق در طول روز ۰ باشد، عمل کنترل بدون توجه به مقدار مطلوب نور (یا با در نظر گرفتن یک ضریب کاهشنده در مقدار مطلوب)، مقدار مصرف برق را با کاهش تعداد منابع نورانی یا کاهش جریان مصرفی آنها، کاهش می‌دهد، مگر اینکه این اتاق به دلایل امنیتی به طور دستی، به عنوان نقاط بحرانی تعریف شده باشد.

شایان ذکر است که در الگوریتم ارائه شده (شکل ۶)، منظور از t_R دوره تناوب مورد نظر برای تکرار الگوریتم کنترل مورد استفاده است. بدین معنا که الگوریتم معرفی شده، در هر t_R (محدوده سیکل تکرارشونده که با خط‌چین نمایش داده شده است) مجدداً تکرار می‌شوند. همچنین، باید به این نکته توجه نمود که فاکتورهای محیطی، به صورت هم‌زمان در حال اندازه‌گیری هستند و پارامترهای موجود در این الگوریتم در واقع بیان‌کننده مقدار جاری پارامتر مورد نظر هستند.

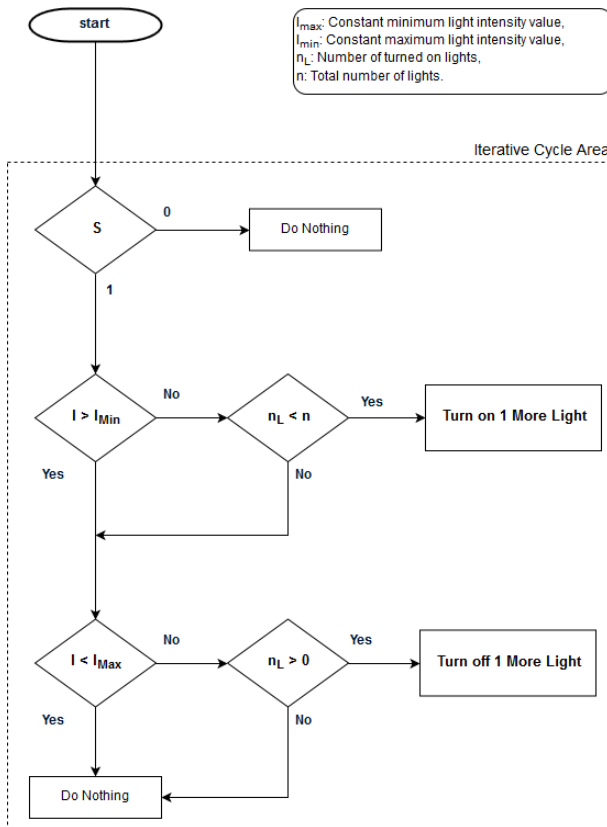
عمل کنترل روشنایی برای تنظیم نور بین دو شدت نور حداقل (I_{min}) و حداکثر (I_{max}) طراحی شده است. در این الگوریتم حالات زیر محتمل است:

الف - متغیر وضعیت یا فرمان سیستم روشنایی ۰ باشد ($S = 0$).

به این معناست که باید سیستم تنظیم روشنایی خاموش باشد، بنابراین فرمان خاموش شدن سیستم روشنایی ارسال می‌شود.

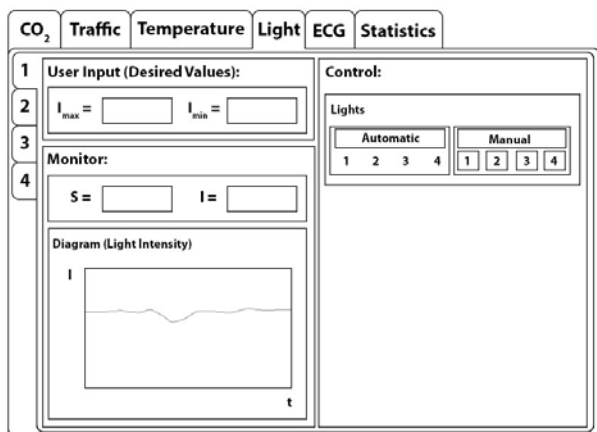
ب- متغیر وضعیت یا فرمان سیستم روشنایی ۱ باشد ($S = 1$).

به این معناست که باید سیستم تنظیم روشنایی فعال باشد. بنابراین سیستم روشنایی به صورت زیر عمل می‌کند:



شکل ۶ الگوریتم کنترل مورد استفاده در سامانه هوشمند که در هر بازه زمانی تکرار می‌شود.

- کنترل: در قسمت کنترل وضعیت کنترل سیستم تنظیم روشنایی (دستی یا خودکار) برای تعداد منبع نورانی موجود تعیین می‌شود. منظور از حالت خودکار، کنترل به وسیله سیستم هوشمند، و منظور از حالت دستی، کنترل روشن و خاموش کردن منابع نورانی به طور دستی می‌باشد.

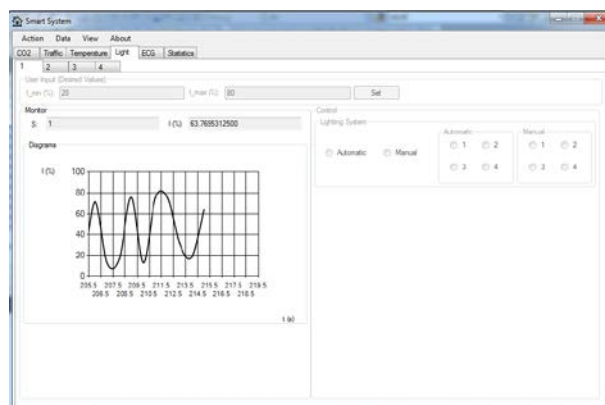


شکل ۸ نرم‌افزار سامانه هوشمند، بخش روشنایی

۴- یافته‌ها

با نگرشی دقیق به مبحث هوشمندسازی یک ساختمان می‌توان به درک بهتری در خصوص چگونگی بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان، مشکلات، و عوامل بازدارنده این امر و نحوه تنظیم آن دست یافت. در یک ساختمان هوشمند علاوه بر نظارت بر تغییرات پارامترهای مربوط به انرژی‌های مصرفی و ثبت داده‌ها در یک سیستم مرکزی، کنترل المان‌های مختلف با تعیین پارامتر روشنایی به صورت بهینه انجام می‌شود. در صورتی که این فرآیند به طور حساب‌شده انجام شود، تأثیر مطلوبی در بهینه‌سازی مصرف انرژی خواهد داشت. در طرح پیاده‌سازی شده، پیش از عمل نظارت و داده‌برداری، ساختمان به ۴ منطقه تقسیم شده است. این کار با توجه به تعداد منابع نورانی موجود برای هر منطقه انجام شده است. سپس پارامتر رفت و آمد در هر یک از این مناطق به طور مداوم تحت نظارت قرار گرفته است. میزان و نرخ رفت و آمد جهت تعیین میزان اهمیت هر منطقه ثبت شده است (شکل ۹)؛ همچنین شدت روشنایی اندازه‌گیری شده برای مدت ۲۴ ساعت در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

- ب-۲- تنظیم شدت نور (I) نسبت به شدت نور حداکثر ($I > I_{max}$) در این وضعیت حالات زیر محتمل است:
 - ب-۲-۱- تعداد منابع نورانی روشن (m_L) بیشتر از 0 باشد. که در این وضعیت جهت کاهش شدت نور یک منبع نورانی روشن، خاموش می‌شود و در صورتی که باز هم شدت نور به حد مطلوب نرسید، در تکرار بعدی سیکل، منبع نورانی دیگری خاموش می‌شود. این کار تا زمانی که شدت روشنایی به حد مطلوب برسد ادامه می‌یابد.
 - ب-۲-۲- تعداد منابع نورانی روشن (m_L) برابر 0 باشد. از آنجایی که در این وضعیت نمی‌توان منبع نورانی دیگری خاموش نمود (منبع نورانی روشن دیگری موجود نیست)، عمل خاصی انجام نمی‌شود و ادامه الگوریتم اجرا می‌شود. البته باید توجه داشت که این حالت معمولاً طی روز یا در زمان خاموشی کامل رخ می‌دهد، زیرا در طول روز شدت نور موجود معمولاً بیشتر از شدت نور حداکثر تعریف شده بوده (یعنی بدون هیچ منبع نورانی روشن وضعیت $I > I_{max}$ رخ می‌دهد)، و در زمان خاموشی کامل، شدت نور حداکثر روی تقریباً 0 تعریف می‌شود (یعنی بدون هیچ منبع نورانی روشن باز هم وضعیت $I > I_{max}$ رخ می‌دهد).



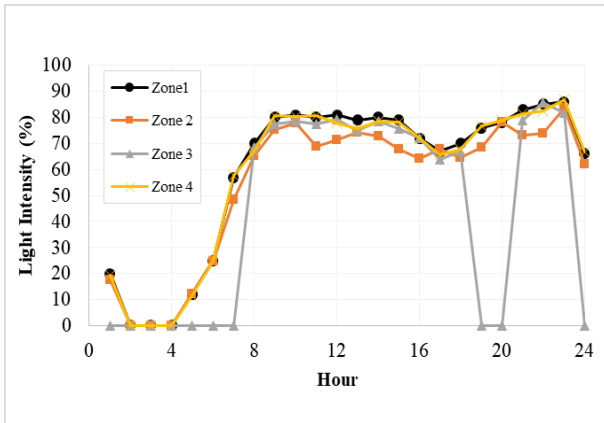
شکل ۹ نرم‌افزار سیستم هوشمند، بخش کنترل نور

۳-۲-۳- نرم افزار کنترل

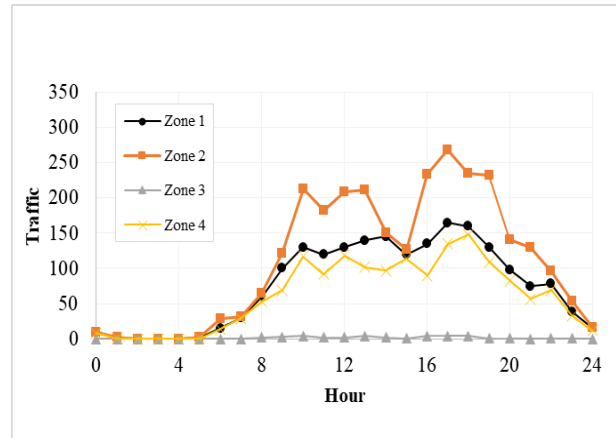
نرم‌افزار سامانه هوشمند مورد نظر جهت نظارت و کنترل شاخص روشنایی و تنظیم توان مصرفی بر اساس الگوریتم‌های ارائه شده (شکل ۶) طراحی شده است. در پژوهش حاضر ساختمان مورد نظر جهت افزایش کنترل پذیری به چند منطقه^۱ تقسیم می‌شود. به این ترتیب نظارت و کنترل فاکتور مورد نظر و توان مصرفی به طور مستقل از سایر مناطق قابل انجام خواهد بود. همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود، این بخش نرم‌افزار شامل سه قسمت ورودی، نظارت، و کنترل است:

- ورودی: در قسمت ورودی داده، مقدار مورد نظر شدت نور حداقل (I_{Min}) و حداکثر (I_{Max}) وارد می‌شود.
- نظارت: در قسمت نظارت، مقدار شدت نور کنونی (I) و وضعیت فعال‌سازی سیستم تنظیم روشنایی (S)، به طور عددی و نمودار نمایش داده می‌شود.

^۱ Zone

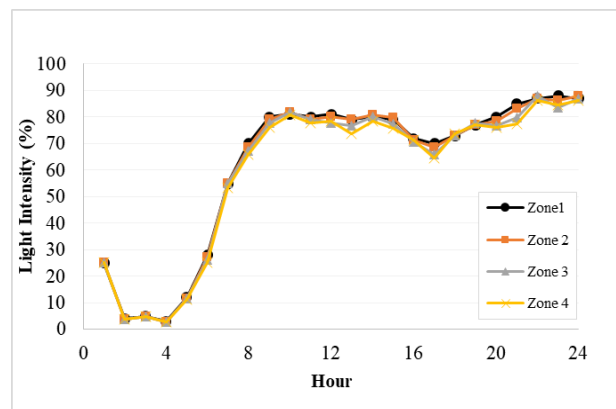


شکل ۸ شدت روشنایی اندازه‌گیری شده برای مدت ۲۴ ساعت در ۴ منطقه، پس از پیاده‌سازی سیستم هوشمند



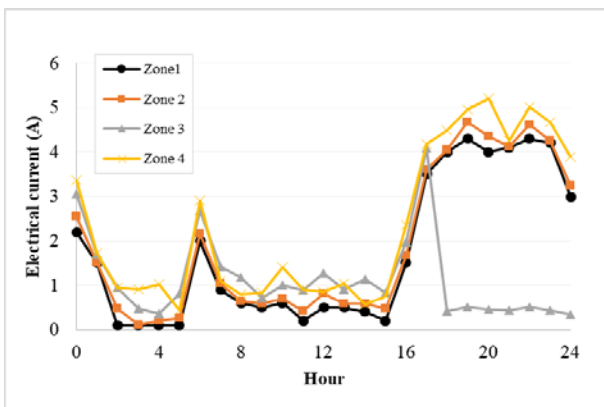
شکل ۹ میزان رفت و آمد اندازه‌گیری شده برای مدت ۲۴ ساعت در ۴ منطقه

میزان توان مصرفی در هر ۴ منطقه، به واسطه اندازه‌گیری جریان الکتریکی مصرفی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همان‌طور که شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان می‌دهند، در ساعات‌های ابتدایی شبانه‌روز (ساعت ۱:۰۰) تا بعد از ظهر (ساعت ۱۶:۰۰) تفاوت چندانی در مقدار جریان الکتریکی مصرفی، پیش و پس از پیاده‌سازی سیستم دیده نمی‌شود، که مسلماً به دلیل عدم نیاز به روشنایی بالا در این محدوده زمانی است. البته باید این نکته را مد نظر قرار داد که ساختمان مورد آزمایش در شرایط آب و هوایی متعارف یک شبانه‌روز تحت بررسی قرار گرفته است. منظور از این شرایط، هوای صاف و بدون ابر است. بنابراین، در صورت وجود عوامل کاهش روشنایی طبیعی مثل ابر و بارندگی، مسلماً تفاوت مصرف انرژی برای ایجاد روشنایی در ساعات مذکور نیز بیشتر از حالت کنونی خواهد بود. اما آنچه که به طور کلی می‌توان به آن اشاره کرد در ساعات تاریکی است. همان‌طور که در شکل ۱۲ دیده می‌شود، بین ساعات ۱۶:۰۰ تا ۲۴:۰۰، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در مصرف انرژی الکتریکی دیده می‌شود. این امر به طور آشکار در شکل ۱۴ مورد مقایسه قرار گرفته است. در این نمودار مجموع جریان الکتریکی مصرفی، پیش و پس از پیاده‌سازی سیستم هوشمند به نمایش گذاشته شده است. این امر تأثیر مستقیم سامانه هوشمند ارائه‌شده را در کاهش مصرف انرژی الکتریکی نشان می‌دهد.



شکل ۱۰ شدت روشنایی اندازه‌گیری شده برای مدت ۲۴ ساعت در ۴ منطقه

شدت روشنایی اندازه‌گیری شده پس از پیاده‌سازی سیستم هوشمند در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود تفاوت اندکی بین شدت روشنایی اندازه‌گیری شده، پیش (شکل ۱۰) و پس (شکل ۱۱) از پیاده‌سازی سیستم هوشمند دیده می‌شود و شدت روشنایی مورد نیاز تا حد قابل قبولی فراهم شده است. ضمناً باید به این موضوع نیز اشاره کرد که میزان رفت و آمد و اهمیت هر نقطه نیز در شدت روشنایی فراهم شده پس از پیاده‌سازی سیستم کنترل رعایت شده است. بنابراین، باید این امر را در نظر داشت که نقطه مورد بررسی صرفاً در محدوده‌های زمانی که رفت و آمد در آن ۰ است نیازی به روشنایی ندارد. لذا نمی‌توان سیستم را به صورتی برنامه‌ریزی نمود که میزان رفت و آمد پائین را به کمک یک ضریب به صورت مستقیم، در شدت روشنایی ایجادشده وارد نمود؛ زیرا حضور حتی یک کاربر (ساکن) در منطقه مورد نظر باعث ضرورت بر ایجاد شدت روشنایی مطلوب در آن نقطه خواهد شد. بنابراین همان‌طور که در شکل ۱۱ دیده می‌شود، شدت روشنایی کنترل‌شده در هر منطقه صرفاً برای زمان‌های بدون رفت و آمد روی مقدار ۰ درصد تنظیم شده است.



شکل ۱۲ میزان جریان الکتریکی مصرفی برای ۴ منطقه، پیش از پیاده‌سازی سیستم هوشمند

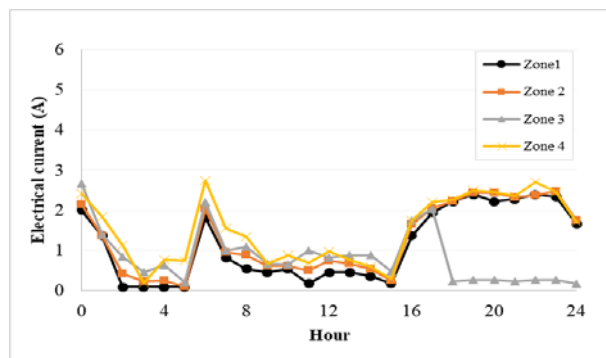
با توجه به اهمیت پائین و عبور و مرور کمتر، منابع نورانی بسیار معدودی را به خود اختصاص خواهند داد؛ در حالی که قبل از پیاده‌سازی سیستم، این امر امکان دارد که به دلیل فراموشی کاربر، مناطق کم اهمیت به دلیل فعال ماندن منابع نوری در آنها مصرف بی‌فایده انرژی را ادامه دهند.

۵- نتیجه‌گیری

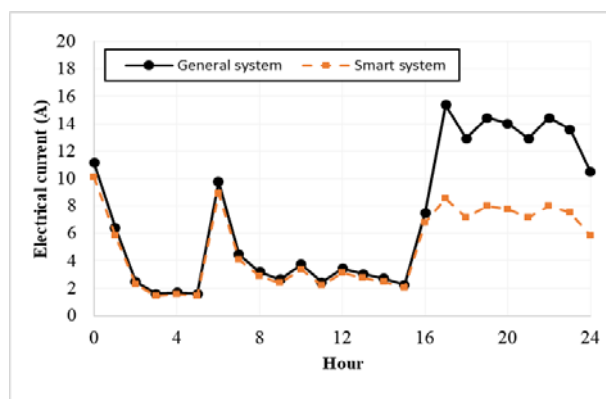
در این مطالعه یک سامانه هوشمند بهینه‌سازی مصرف انرژی را رویکرد تنظیم شاخص روشنایی، بر اساس اهمیت نقاط مختلف یک ساختمان ارائه شد. نحوه طراحی و عملکرد این سیستم در دو فاز نظارت و کنترل، به صورت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تشریح شده است. با توجه به مکانیزم عملکرد این سیستم، میزان کاهش مصرف انرژی به واسطه تنظیم تعداد منابع نورانی غیر ضروری جهت تأمین روشنایی مورد نیاز برای هر منطقه، نشان داده شده است. می‌توان مشاهده نمود که سیستم پیاده‌سازی شده، ضمن حفظ درصد روشنایی مطلوب داخل ساختمان (۸۳ درصد)، توان مصرفی لازم برای روشنایی را به طور متوسط تا حد ۱/۷۵ برابر کاهش می‌دهد. از آنجایی که این سیستم بر اساس تشخیص میزان نیاز واقعی کاربران و اهمیت نقاط مختلف (بر اساس میزان رفت و آمد) عمل می‌کند، با توجه به نتایج به‌دست آمده، انتظار می‌رود که بتوان آن را برای سایر شاخص‌های آسایش (دما، ذرات معلق، و ...)، در سایر فضاهای مختلف مسکونی و غیرمسکونی نیز به طور کاربردی پیاده‌سازی نمود.

۶- مراجع

- [1] I. Dinçer, *Comprehensive Energy Systems*, Elsevier, 2018.
- [2] K. Pourjavan, Explaining smart city and smart urban transportation solutions, *Karafan*, pp. 15-35, 2019. (In Persian)
- [3] E. Petritoli, F. Leccese, S. Pizzuti, F. Pieroni, Smart lighting as basic building block of smart city: An energy performance comparative case study, *Measurement*, 136, pp. 466-477, 2019.
- [4] H. Lund, Renewable heating strategies and their consequences for storage and grid infrastructures comparing a smart grid to a smart energy systems approach, *Energy*, 151, pp. 94-100, 2018.
- [5] A. Trianni, E. Cagno, M. Bertolotti, P. Thollander, E. Andersson, Energy management: A practice-based assessment model, *Applied Energy*, 235, pp. 1614-1636, 2019.
- [6] M. Blackstock, N. Kaviani, R. Lea, A. Friday, MAGIC Broker 2: An open and extensible platform for the Internet of Things, *IEEE*, 12(2), pp. 12-21, 2010.
- [7] C. F. Calvillo, A. Sánchez-Miralles, J. Villar, Energy management and planning in smart cities, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, pp. 273-280, 2016.
- [8] Y. M. Hsieh, Y. C. Hung, A scalable IT infrastructure for automated monitoring systems based on the distributed computing technique using simple object access protocol Web-services, *Automation in Construction*, 18(4), pp. 424-433, 2009.
- [9] R. K. R. Kummitha, N. Crutzen, How do we understand smart cities? An evolutionary perspective, *Cities*, 67, pp. 43-52, 2017.
- [10] S. McClellan, J. A. Jimenez, G. Koutitas, *Smart Cities: Applications, Technologies, Standards, and Driving Factors*, Springer International Publishing, 2017.
- [11] J. R. Vázquez-Canteli, S. Ulyanin, J. Kämpf, Z. Nagy, Fusing Tensor Flow with building energy simulation for intelligent energy management in smart cities, *Sustainable Cities and Society*, 45, pp. 243-257, 2019.
- [12] A. Lotfi, M. Seyedi, LED lamps: a change in the lighting system of greenhouses, *Karafan*, pp. 42-55, 2016. (In Persian)
- [13] M. Laarjani, L. Razi, Explaining the structure of identifying and prioritizing green jobs in the field of renewable energy: Wind energy, *Karafan*, pp. 18-33, 2017. (In Persian)
- [14] P. Barnaghi, S. Ganea, F. Ganz, M. Haushwirth, Brigitte, Kjærgaard, # mper, D. K. Mileo, A. Nechifor, S. Sheth, A. Lasse, Vestergaard, *Real-Time IoT Stream Processing and Large-scale Data Analytics for Smart City Applications*, 2014.



شکل ۱۳ میزان جریان الکتریکی مصرفی برای ۴ منطقه، پس از پیاده‌سازی سیستم هوشمند



شکل ۱۴ مجموع جریان الکتریکی مصرفی ۴ منطقه، پیش و پس از پیاده‌سازی سیستم هوشمند

در واقع سامانه هوشمند پیاده‌سازی شده به این صورت عمل کرده است که با توجه به بررسی نیاز واقعی در فاز نظارت، میزان مصرف انرژی (جریان الکتریکی) تعیین می‌شود. نیاز واقعی همان شدت (درصد) روشنایی مورد نیاز است که با توجه به داده‌برداری انجام شده پیش از پیاده‌سازی سیستم به‌دست آمده است. این شدت روشنایی پیش از پیاده‌سازی سیستم کنترل (بهینه‌سازی) هوشمند، بدون توجه به میزان مصرف، و صرفاً از دید کاربر تعیین شده است در حالی که پس از پیاده‌سازی سیستم کنترل هوشمند میزان مصرف صرفاً بر اساس شدت نور مورد نیاز تنظیم می‌شود. به عنوان مثال، اگر در ساعت ۹ شب نیاز روشنایی کاربر ۸۳ درصد باشد، بدون سیستم کنترل این شدت روشنایی با ۴ منبع نورانی ایجاد شده است و میزان توان مصرفی در این وضعیت ۵ واحد توان است. در حالی که می‌توان همین شدت روشنایی (۸۳ درصد) را صرفاً با ۲ منبع نورانی ایجاد نمود که در این وضعیت توان مصرفی تنها ۲/۵ واحد توان خواهد بود. این امر از طریق سیستم نظارت و کنترل پیاده‌سازی شده انجام می‌شود. در واقع این سیستم تعداد منابع نورانی فعال (روشن) را صرفاً تا زمانی افزایش می‌دهد که شدت روشنایی مورد نیاز به دست آید؛ در حالی که کاربر بدون آگاهی از مقدار کمی این شدت روشنایی، مقدار مصرف را با افزایش منابع نورانی فعال (روشن کردن منبع نورانی) افزایش می‌دهد. بنابراین، واضح است که سیستم به طور مستقیم در کاهش مصرف انرژی نقش مؤثر داشته است. حال در صورتی که این سیستم بر روی چند نقطه از ناحیه (ساختمان) مورد نظر پیاده‌سازی شود، این امر با توجه به میزان عبور و مرور و اهمیت مناطق نیز صورت گرفته، برخی مناطق

- [15] G. Cugola, A. Margara, Processing flows of information: From data stream to complex event processing, *ACM Comput. Surv.*, 44(3): Article 15, 2012.
- [16] A. Gyrard, M. Serrano, *Connected Smart Cities: Interoperability with SEG 3.0 for the Internet of Things*. in *2016 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*, 2016.
- [17] N. P. Rana, S. Luthra, S. K. Mangla, R. Islam, S. Roderick, Y. K. Dwivedi, Barriers to the Development of Smart Cities in Indian Context, *Information Systems Frontiers*, 2018.
- [18] T. Rosing, M. Todd, C. Farrar, W. Hodgkiss, Energy Harvesting for Structural Health Monitoring Sensor Networks, *Journal of Infrastructure Systems - J INFRASTRUCT SYST*, 14, 2008.