

## نقش انرژی خورشید در توسعه پایدار شهر تهران (مطالعه موردی: ساختمان مسکونی)

بهلول علیجانی<sup>۱</sup>، محمد سلیقه<sup>۲</sup>، صابر شفائی گیگلو<sup>۳</sup>

تاریخ وصول: ۱۳۹۷/۰۲/۰۵، تاریخ تایید: ۱۳۹۷/۰۹/۲۷

### چکیده

نیاز بشر به انرژی، پیوسته در حال افزایش و منابع انرژی فسیلی رو به کاهش است. استفاده بی‌رویه از منابع سوخت فسیلی با آلوده ساختن محیط‌زیست، زندگی در کره زمین را تهدید می‌کند و امروزه یکی از راهکارهایی که برای بحران انرژی پیشنهاد می‌شود، در کنار اصلاح الگوی مصرف، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است. انرژی خورشیدی از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر است و از مولفه‌های اصلی توسعه پایدار محسوب می‌شود. این پژوهش، به بررسی و شناخت پتانسیل انرژی خورشیدی و عوامل موثر در جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی، خصوصاً در بخش ساختمان‌های مسکونی در شهر تهران پرداخته است و از حیث هدف، کاربردی و از حیث نوع، توصیفی - تحلیلی است و از ۴ مرحله اصلی تشکیل شده است: در مرحله نخست، جهت شناسایی و بررسی وضعیت موجود انرژی تولیدی و مصرفی، به مطالعه، بررسی و مقایسه داده‌های مربوط به مصرف انرژی حاصل از کلیه سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های تجدیدناپذیر و تجدید، در مرحله دوم، پتانسیل انرژی خورشیدی در شهر تهران با استفاده از اطلاعات بدست آمده از ایستگاه سینوپتیکی مهرآباد شهر تهران، در مرحله سوم به بررسی وضعیت عملکردی و هزینه زیرساخت لازم جهت بهره‌برداری سیستم‌های فتوولتائیک در مقایسه با سوخت‌های فسیلی، پرداخته شد و در مرحله آخر، فرآیند طراحی و تحلیل نحوه انتخاب سیستم فتوولتائیک با اجرا بر روی یک سیستم نمونه تشریح شده است. نتایج حاکی از آن است که با توجه به شرایط توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی، شهر تهران دارای ظرفیت بالای انرژی خورشیدی می‌باشد که زمینه‌های بهره‌مندی از توسعه پایدار را در این شهر فراهم می‌کند. همچنین نتایج نشان داده که در ساختمان مسکونی مورد مطالعه استفاده و فعال‌سازی سامانه‌های فتوولتائیک خورشیدی سودآوری اقتصادی قابل ملاحظه‌ای داشته که خود بستری برای دستیابی به توسعه پایدار است.

**واژگان کلیدی:** توسعه پایدار، انرژی خورشیدی، سیستم‌های فتوولتائیک، شهر تهران.

۱- استاد اقلیم شناسی، دانشکده علوم و جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۲- دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، [saligheh@khu.ac.ir](mailto:saligheh@khu.ac.ir)

۳- دکتری اقلیم شناسی، شهری، دانشکده جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)، [shafaei.saber@gmail.com](mailto:shafaei.saber@gmail.com)

هجوم شهرنشینی، تردد، ساخت و ساز، سرمایه‌ش و گرمایش سبب افزایش مصرف انرژی و در نتیجه انواع آلودگی‌ها شده است (Zeng and et al, 2015: 17). در نتیجه‌ی پیشرفت صنعت نیاز به بهره‌برداری از منابع طبیعی نیز بیشتر شده؛ به نحوی که بهره‌برداری غیرمنطقی از منابع طبیعی منجر به نابودی آن‌ها می‌شود (Hirth, 2013: 23). برای ادامه‌ی زندگی در این چرخه، احتیاج انسان به انرژی بیشتر شده است (Kim and et al, 2012: 86). به عنوان مثال، یکی از منابع سرشار انرژی حاصل از نور خورشید است که امروزه توسط تکنولوژی فتوولتاییک برای فراهم کردن آب و برق مصرفی در ساختمان، از آن استفاده می‌شود (Krause, 2002: 85). آنچه قابل اهمیت است میزان اقتصادی بودن زمینه‌ی استفاده از انرژی خورشیدی است. معمولاً چون انرژی خورشیدی انرژی رقیقی می‌باشد، در زمینه‌هایی که احتیاج به دمای چندان بالایی نیست (نظیر مصارف خانگی) بیشتر مقرون به صرفه است (وئوق و حیدری نژاد، ۱۳۹۳: ۴۵).

تهران به عنوان شهری در حال توسعه با دارا بودن منابع تقریباً غنی از انرژی‌های تجدیدپذیر و نیز با استفاده‌ی روزافزون از منابع انرژی تجدیدناپذیر، نیازی مبرم به بهینه‌سازی مصرف انرژی و برنامه‌ریزی‌های خرد و کلان در این زمینه دارد (نظریان و همکاران، ۱۳۸۶: ۲۸). یکی از راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، طراحی ساختمان‌های جدید و یا تجهیز کردن ساختمان‌های موجود با رویکرد اکوتکنولوژیکی است (Mazman, 2009: 34). رویکردی که نتایج آن در نیل به اهداف توسعه‌ی پایدار اثبات شده است (Mohsenzadeh and Hosseini, 2015: 19). در این پژوهش با بررسی مصادیق ساخت و ساز اکوتکنولوژیکی، همچنین بررسی وضع موجود در تهران، به ارائه راهکارهایی در خصوص لزوم استفاده از این رویکرد در ساختمان‌ها (در این پژوهش ساختمان مسکونی) شهر تهران پرداخته می‌شود. بنابراین هدف اصلی این پژوهش بررسی و شناخت پتانسیل انرژی خورشیدی و عوامل موثر در جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی در بخش ساختمان‌های مسکونی شهر تهران است.

## مبانی نظری

### توسعه پایدار شهری<sup>۱</sup>

توسعه پایدار به معنی ارائه راه‌حل‌هایی در مقابل الگوهای فانی کالبدی، اجتماعی و اقتصادی توسعه می‌باشد که بتواند از بروز مسائلی همچون نابودی منابع طبیعی، تخریب سامانه‌های زیستی، افزایش بی‌رویه جمعیت، بی‌عدالتی و پایین آمدن کیفیت زندگی انسان‌ها در حال و آینده جلوگیری کند (Koroneos and Nanaki, 2012: 34). در واقع توسعه پایدار بر پایه‌ی هوشیاری انسان نسبت به خودش و نسبت به منابع طبیعی کره زمین استوار است و خواهان یک سبک زندگی پایدار برای همه انسان‌ها است و مخالف مصرف بیش از اندازه، اتلاف منابع و بی‌توجهی به نسل‌های آینده و قطع را به با گذشته است (Yifan and et al, 2017: 118). یکی از مولفه‌های توسعه پایدار در ارتباط با مسائل شهر و برنامه‌ریزی‌های آن نمود پیدا می‌کند. به طور کلی می‌توان گفت توسعه‌ی پایدار شهری راه هماهنگی از توسعه را حمایت می‌کند که از نظر اکولوژیکی پاسخگو، از نظر اجتماعی سازگار، از نظر فرهنگی درخور، از نظر سیاسی عادلانه، از نظر تکنولوژیکی مورد حمایت و سرانجام از نظر اقتصادی کارآمد برای جوامع باشد (choi, 2003: 78).

۱ sustainable development

## انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی به عنوان منبعی پاک و لایزال و پایان‌ناپذیر و تجدیدپذیر و البته رایگان، یکی از فراوان‌ترین انرژی جهان محسوب می‌شود (Kabir and et al, 2018: 897) که امروزه در جوامع مختلف به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم و به کمک سیستم‌های خورشیدی چهارگانه فتوویولوزی، شیمیایی، فتولتائیک و حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (رحیمی خوب و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۴). میزان انرژی که خورشید در مدت زمان یک ساعت به زمین ارزانی می‌کند، تأمین‌کننده تمامی انرژی مورد نیاز بشر در طول یک سال است (Zarzalejo and et al, 2009: 12) و از سویی دیگر یکی از جذاب‌ترین ویژگی‌های انرژی خورشید از نقطه نظر اقتصادی، توانایی آن در کاهش هزینه‌های کلی تولید انرژی می‌باشد. به همین صورت تحقیقات و بررسی‌های زیادی بر روی طراحی سیستم‌های انرژی خورشیدی بهینه که هزینه کلی انرژی را به حداقل می‌رساند متمرکز شده است (Trnka and et al, 2005: 49).

انرژی خورشید برای تأمین انرژی ساختمان‌های مسکونی و اداری مناسب‌ترین گزینه است (حیدری، ۱۳۸۸: ۱۶۵). با استفاده از آبگرمکن‌ها و سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی خورشیدی می‌توان در کل عمر ساختمان هزینه‌های بسیاری را صرفه‌جویی کرد و نیز این سیستم‌ها می‌توانند در حفظ منابع طبیعی و محیط زیست به مردم کمک بزرگی کنند (صفایی و طالقانی، ۱۳۸۴: ۴۶). بنابراین با توجه به اقلیم آب و هوایی هر شهر باید ساختمان‌ها طوری ساخته شود که مصرف انرژی هر چه بهتر بهینه‌تر صورت پذیرد. همچنین استفاده حداکثری از انرژی خورشیدی در دریافت، انباشت و تبدیل آن توسط دستگاه‌ها و ابزارهای چندان پیچیده می‌تواند در جهت صرفه‌جویی اقتصادی باشد (نقی زاده، ۱۳۸۱: ۹۳).

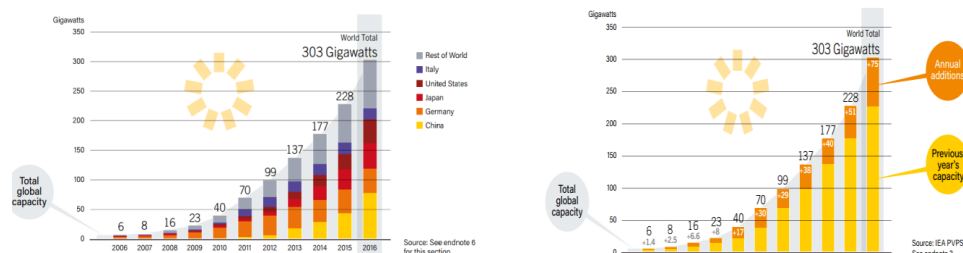
استفاده از انرژی حرارتی خورشید به صورت مستقیم کاربردهای محدودی دارد (عزیزی و فریادی، ۱۳۹۱: ۵۷). معمولاً این انرژی به صورت دیگر (انرژی الکتریکی) تبدیل می‌شود؛ سپس از آن کار مفید اخذ می‌شود. ساده‌ترین راه برای اینکه بتوان انرژی گرفته شده از خورشید را به کار تبدیل کرد و یا آن را به مناطق دیگر انتقال داد تبدیل آن به الکتریسیته است (Lysen, 1996: 78). برای بهره‌برداری بهتر از انرژی خورشید بادی صفحات خورشیدی در زاویه‌ای قرار گیرند که در معرض تابش مستقیم خورشید باشند (Goswami, 2004: 35). بعضی سیستم‌ها برنامه‌ریزی شده‌اند تا در هر ساعت از روز و هر موقع سال با توجه به زاویه تابش خورشیدی سلول‌های خورشیدی را به آن سمت تنظیم کنند تا بیشترین بهره را ببرند. البته در این روش ابزارهایی جانبی سیستم موجب افزایش هزینه‌های اولیه و هزینه‌های نگهداری می‌شود (Young, 1997: 65). حتی در سیستم‌های ساده باید در مورد محل نصب صفحه‌ها دقت داشت که در هیچ موقعیتی صفحات در سایه درختان یا ساختمان‌های مجاور قرار نگیرند. دانشمندان چینی و ژاپنی در بررسی‌های اخیر خود به این نتیجه رسیده‌اند که بال پروانه بهترین جذب‌کننده انرژی خورشید در طبیعت است. بال پروانه‌ها از پولک‌هایی تشکیل شده‌اند که مثل سلول‌های فتوالکتریکی با بازده بالا عمل می‌کنند و این پژوهشگران سعی در شبیه‌سازی آن‌ها دارند (Guiavarch and Peuportier, 2006: 89).

## پیشینه پژوهش

## تجربیات جهانی در سامانه‌های فتولتائیک

توسعه و رشد بازار جهانی سامانه‌های فتولتائیک از سال ۲۰۰۰ تا کنون نرخ رشد بیش از ۴۰٪ داشته است. بطوریکه تنها در سال ۲۰۱۴ بیش از ۳۸ گیگاوات سامانه‌های فتولتائیک در جهان نصب و راه‌اندازی شده است (Zhu and Lin, 2004: 45). بنابراین همانگونه که در جدول (۱) نشان داده شده است، با این مقدار سامانه منصوبه در سال ۲۰۱۴، توان تجمعی نصب شده در جهان تا پایان سال ۲۰۱۴ بیش از ۱۸۰۰۰۰۰ مگاوات بوده است. بیش از ۷۰٪ سامانه‌های فتولتائیک نصب و راه‌اندازی شده در جهان در کشورهای اروپایی نصب و راه‌اندازی گردیده است (Ganj, 2008).

۵۶): در شکل ۱ و ۲ میزان تجمعی سامانه‌های فتوولتائیک در جهان بصورت جمعی و به تفکیک کشورهای جهان ارائه شده است.



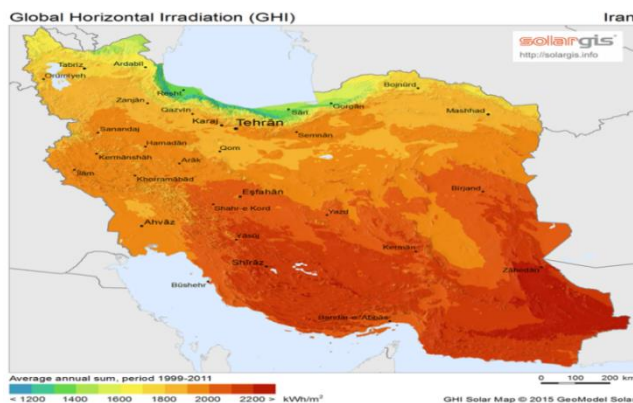
شکل ۲: میزان تجمعی سامانه های فتوولتائیک در جهان به تفکیک کشورهای جهان

شکل ۱: میزان تجمعی سامانه های فتوولتائیک در جهان

مطابق با تصاویر ۱ و ۲، در سال‌های گذشته، با وجود پتانسیل بالای انرژی تابشی خورشید در منطقه‌ی خاورمیانه، تعداد و حجم سیستم‌های برق خورشیدی اجرا شده در این منطقه نسبت به مقیاس‌های انجام شده در جهان، از میزان پائینی برخوردار بوده است، لیکن در چند سال اخیر تغییرات چشم‌گیری در خاورمیانه در این خصوص مشاهده می‌گردد.

### سامانه‌های فتوولتائیک در ایران

ایران در وضعیت مناسبی (عرض جغرافیایی ۲۵ الی ۴۵ درجه شمالی) به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در جهان قرار دارد (بیگدلی، ۱۳۸۹: ۱۵) و در صورت توجه به موقعیت استراتژیک و جغرافیایی کشور با اقدام و اجرای سیاستی مناسب، می‌توان ضمن توسعه‌ی این سیستم‌ها بازار تجارت و صادرات منطقه را نیز در اختیار گرفته و از سود حاصله برای افزایش در آمد کشور و کاهش وابستگی به صنعت نفت و توسعه مناطق محروم و مزایای این بخش بهره جست (اکبری، ۱۳۹۰: ۶۷). تصویب و اجرای قانون اخذ عوارض برق از سال ۱۳۹۲ و تخصیص آن جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از این موارد می‌باشد.



شکل ۳: میزان تابش کل سالانه کشور ایران بر مبنای kWh/m<sup>2</sup> (منبع: GHI)

شکل شماره ۳ میزان انرژی تابشی خورشید بر حسب وات ساعت بر متر مربع در طی روز را ارائه می‌نماید. کمترین تابش در کشور ایران از بیشترین میزان تابش در کشور آلمان بیشتر می‌باشد. بنابراین استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در اکثر مناطق کشور به ویژه استان‌های مرکزی، جنوبی و شرقی مناسب است و این سیستم می‌تواند نقش بسزایی را در تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز در این مناطق ایفا نماید. بنابراین جهت احداث نیروگاه فتوولتائیک تمامی مناطق کشور به لحاظ دریافت انرژی تابشی از سطح مناسبی برخوردار می‌باشد، و استان تهران نیز از جمله این موارد می‌باشد. مطالعه ادبیات پژوهش نشان داد که پژوهشی که به طور خاص و جزئی و در عین با نگاهی کل نگرانه و مقایسه‌ای

روند رشد مصرف و هزینه‌های تولید و زیست محیطی سوخت‌های فسیلی در مقابل جایگزینی انرژی خورشیدی به بررسی نقش انرژی خورشید در توسعه پایدار شهر تهران در بخش خانگی، عمومی و تجاری و به صورت مورد بررسی صنعت ساختمان بپردازد، وجود نداشته و در چند مقاله صرفاً به بررسی محدود و تک بعدی مولفه‌های مورد نیاز ساختمان جهت بکارگیری انرژی خورشیدی، بیان شده است. **منطقه مورد مطالعه** شهر تهران در حاشیه شمالی واحد زمین‌ساختی ایران مرکزی و در مرز پایکوه‌های جنوبی واحد مورفوتکتونیک البرز مرکزی واقع شده است (پورکرمانی و آرین، ۱۳۸۳: ۴۵). قرارگرفتن این شهر در مرز این دو واحد ساختمانی موجب شده که از هر دو به طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیر پذیرد (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۳). زیربنای شهر تهران را مخروط افکنه‌های پایکوهی البرز تشکیل می‌دهند (مقیم و صفاری، ۱۳۸۹: ۵۶). این مخروط افکنه‌ها بر روی سنگ پایه آتشفشانی- رسوبی دوران سوم زمین شناسی استقرار یافته‌اند و طی دوران چهارم زمین شناسی همواره تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیک اخیر، متحول شده و در نهایت مورفولوژی کنونی منطقه تهران تکوین یافته است (مجرد و حسینی فر، ۱۳۹: ۲۸).

در نواحی مختلف استان تهران به علت موقعیت ویژه جغرافیایی، آب و هوای متفاوتی شکل گرفته است. باد غالب در استان تهران بادهای غربی است (اجلالی، ۱۳۸۶: ۲۹). بر اساس داده‌های ۳۰ ساله ایستگاه سینوپتیک تهران، متوسط بارندگی سالیانه در استان ۲۶۳،۹ میلی متر است با توجه به شرایط توپوگرافیکی خاص استان تهران میزان بارندگی در مناطق شمالی به دلیل کوهستانی بودن بیشتر از سایر نقاط است به طوریکه بر اساس آمار دراز مدت، میانگین بارندگی سالانه هومند آب سرد ۳۳۱،۵ میلیمتر و تجریش ۴۲۲،۶ میلیمتر می‌باشد (مسیحی و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۸). بر اساس داده‌های ۳۰ ساله ایستگاه سینوپتیک تهران، میانگین دمای سالانه تهران ۱۷،۳ درجه سانتیگراد است (لشکری و ظفری، ۱۳۸۸: ۶۷). این مقدار در جنوب استان در ایستگاه ابردژ ۲۶،۲ درجه سانتیگراد و در شمال ۴ استان ایستگاه فیروزکوه ۸،۹ درجه سانتیگراد می‌باشد. بررسی دمای استان تهران بر اساس داده‌های ۳۰ ساله ایستگاه سینوپتیک نشان داده که میانگین حداقل روزانه دما در سردترین ماه سال از ۵ درجه سانتیگراد کمتر است و براین اساس در سه کلاس، فاسرد، سرد و معتدل قرار می‌گیرد (عبدمنافی و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۸).

### روش پژوهش

روش تحقیق در این پژوهش از حیث هدف، کاربردی و از حیث نوع، توصیفی-تحلیلی است و از جداول و نمودارهای مختلف شرکت برق استان تهران، گاز، نفت، سازمان انرژی‌های نو و سایر ارگان‌های مرتبط استفاده شده است. این پژوهش از ۴ مرحله اصلی تشکیل شده است که عبارت است از: ۱-مرحله اول: شناسایی و بررسی وضعیت موجود انرژی تولیدی و مصرفی شهر تهران؛ ۲-مرحله دوم: بررسی موقعیت سامانه‌های فتوولتائیک شهر تهران؛ ۳-مرحله سوم: بررسی وضعیت عملکردی و هزینه سیستم‌های فتوولتائیک در مقایسه با سوخت‌های فسیلی؛ ۴-مرحله چهارم: فرآیند طراحی و تحلیل انتخاب سیستم‌ها فتوولتائیک بر روی یک سیستم نمونه در شهر تهران. جهت انجام این تحقیق، در هر یک از چهار مرحله اجرای پژوهش، گردآوری اطلاعات از روش‌های مختلفی استفاده شده است. جهت شناسایی و بررسی وضعیت موجود انرژی تولیدی و مصرفی (خصوصاً هزینه انرژی‌های تجدیدناپذیر و سوخت‌های فسیلی) شهر تهران به تجزیه و تحلیل اطلاعات و گزارشات دریافتی از اطلاعات موجود در سایت‌های مربوطه و مراجعه حضوری به وزارت نیرو، وزارت نفت، اداره برق کل استان تهران، شرکت گاز کل استان تهران و سایر سازمان‌های مربوطه پرداخته شد و از آخرین داده‌های میدانی، اطلاعات و مستندات مکتوب، گزارشات سالانه، ترانزنامه‌ی انرژی و مصاحبه میدانی با مسولان مربوطه در نهادهای ذی‌صلاح در جهت انجام اهداف تحقیق، استفاده

گردید. همچنین به بررسی مطالعه آمار سوخت مصرفی در بخش‌های مختلف خانوار، کشاورزی، تجاری و خصوصاً صنعتی در بازه‌ی یک الی دو ساله شهر تهران (آخرین اطلاعات موجود مربوط به سال ۱۳۹۳ می‌باشد) پرداخته شد. جهت بررسی موقعیت سامانه‌های فتوولتائیک شهر تهران و بررسی اطلاعات مربوط به میزان جذب و استفاده از انرژی خورشیدی و آمار تابشی به صورت روزانه در شهر تهران، پس از مطالعات میدانی و جستجو در منابع معتبر و مراجعه حضوری به سازمان انرژی‌های نو، به مطالعه داده‌ها و رکوردهای مدت (۲۰ساله) به صورت ساعتی، ماهانه و سالانه سازمان هواشناسی شهر تهران پرداخته شد. جهت بررسی وضعیت عملکردی و هزینه زیرساخت لازم جهت بهره‌برداری سیستم‌های فتوولتائیک در مقایسه با سوخت‌های فسیلی، علاوه بر اطلاعات موجود در سایت‌های مربوطه و سازمان انرژی‌های نو و به مطالعات و تحقیقات میدانی و تحقیقات بازار از شرکت‌های داخلی و بین‌المللی و شرکت‌های فعال به صورت نمایندگی‌های شرکت‌های خارجی فعال در تولید، توزیع و واردات زیرساخت و تجهیزات سیستم‌های فتوولتائیک پرداخته شد. همچنین محاسبه هزینه تولید انرژی از سوخت‌های فسیلی از داده‌های موجود در شرکت برق منطقه مربوط به سال ۱۳۹۵ استفاده گردید. جهت بررسی فرآیند طراحی و تحلیل انتخاب سیستم‌ها فتوولتائیک بر روی سیستم نمونه در شهر تهران، با توجه به این که میزان تابش انرژی خورشیدی و جذب در کلیه مناطق شهر تهران یکسان در نظر گرفته شده است، لذا این نمونه به صورت کاملاً تصادفی انتخاب شده است. نخست یک واحد مسکونی دو خوابه به مساحت تقریبی ۱۲۰ متر مربع در شرق و یا جنوب شهر تهران انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و داده‌های مربوط به میزان مصرف انرژی خصوصاً انرژی الکتریکی از شرکت برق منطقه مربوطه استناد گردید. در نهایت این پژوهش در محدوده زمانی خردادماه ۱۳۹۵ لغایت شهریورماه ۱۳۹۶ انجام شده محدود مکانی پژوهش حاضر کلانشهر تهران می‌باشد که در حال حاضر شامل ۲۲ منطقه درون شهری است.

#### یافته‌ها

#### بررسی موقعیت سامانه‌های فتوولتائیک شهر تهران: میزان پتانسیل تابش و ساعات آفتابی و جذب انرژی خورشیدی

بر اساس مطالعات سازمان فضایی ناسا به طور کلی کشور ایران نسبت میانگین جهانی، دارای شدت تابش بالاتری بوده (رضایی مقدم و هاتفی اردکانی، ۱۳۹۵: ۸) به طوری که معدل سالانه تابش در شهر تهران برابر ۴/۵۸ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز می‌باشد. میانگین سالانه دمای شهر تهران ۱۶٫۴ سانتی‌گراد است (مسرت، ۱۳۹۵: ۱۵۴). میزان تابش در این شهر براساس مقادیر اعلام شده در سایت بین‌المللی GIS به شرح شکل ۶ می‌باشد. براساس پتانسیل اعلام شده، میزان تابش سالانه در استان تهران در سطح افق میزان ۱۸۰۰ الی ۲۰۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع در سال می‌باشد. در این خصوص میزان کل ساعت آفتابی در شهر تهران در فصول مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: کل ساعت آفتابی در شهر تهران در فصول مختلف و مقدار جذب انرژی خورشیدی بر حسب کیلوکالری بر متر مربع در روز از

ماه شهر تهران

مقدار جذب انرژی خورشیدی بر حسب کیلوکالری بر متر مربع			کل ساعت آفتابی در شهر تهران در فصول مختلف				
مهر	آبان	آذر	دی	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
۴۸۰۷	۳۳۵۳	۲۲۴۴	۱۷۳۷	۳۱۹۹	۴۴۰۳	۵۱۵۰	۶۲۹۴
فصل	فصل بهار	فصل تابستان	فصل پاییز	کل ساعت آفتابی (hr)	۶۵۹	۱۰۱۴	۷۸۴

۱۹۱۷	بهمن	۶۱۹۰	مرداد	۴۹۷	فصل زمستان
۲۴۴۲	اسفند	۵۵۱۲	شهریور	۲۹۵۴	سالیانه
۳۹۳۸		میانگین سالانه جذب			

همچنین میزان جذب انرژی خورشیدی بر حسب کیلوکالری بر متر مربع در روز در شهر تهران آمده است. اطلاعات جدول فوق بر مبنای مطالعات ده ساله‌ی سازمان فضایی ناسا می‌باشد. بر اساس این جدول، بیشترین میزان جذب مربوط به تیرماه و مردادماه به ترتیب با مقدار ۶۲۹۴ و ۶۱۹۰ کیلوکالری بر متر مربع در روز می‌باشد.

در جدول شماره ۴ میزان انرژی تابش مستقیم و کل روی سطوح افقی و مایل برحسب  $Cal/Cm^2.day$  و ضریب ابر در ماه‌های مختلف میلادی شهر تهران نشان داده شده است، که بر اساس اطلاعات جدول مذکور، بیشترین تابش مستقیم خورشیدی بر روی سطوح افقی شهر تهران، مربوط به ماه‌های ژوئن و ژوئیه با مقدار ۵۲۰ و ۵۰۸ کالری بر سانتی متر مربع در روز می‌باشد.

جدول ۴. میزان تابش مستقیم و کل روی سطوح افقی و مایل برحسب  $Cal/Cm^2.day$  و ضریب ابر شهر تهران

ماه‌های میلادی	تابش مستقیم خورشید ی	تابش کل خورشید ی	انرژی کل تابشی	ضریب ابر شهر تهران	ماه‌های میلادی	تابش مستقیم خورشید ی	تابش کل خورشید ی	انرژی کل تابشی	ضریب ابر شهر تهران
January	۱۲۸	۲۱۰	۳۱۸	۰/۱۲۳	July	۵۰۸	۶۴۵	۵۶۴	۰/۲۱۶
February	۱۹۴	۲۸۸	۳۹۴	۰/۳۹۱	August	۴۷۷	۵۹۷	۵۷۸	۰/۱۸۶
March	۲۳۰	۳۵۲	۴۱۲	۰/۴۵۶	September	۳۹۵	۴۹۴	۵۵۸	۰/۱۸۰
April	۳۲۷	۴۶۷	۴۷۷	۰/۴۰۰	October	۱۷۷	۳۶۵	۴۸۳	۰/۲۴۲
May	۴۰۳	۵۵۴	۵۰۵	۰/۳۵۲	November	۱۱۸	۱۹۵	۳۰۵	۰/۳۱۶
June	۵۲۰	۶۵۹	۵۶۳	۰/۲۰۹	December	۳۱۳	۴۲۳	۴۶۲	۰/۴۲۳
سالانه	۳۱۳	۴۲۳	۴۶۲	-					

در نهایت آمار و اطلاعات مربوط به درصد روزهای آفتابی و ابری و متوسط انرژی سطح افقی و سطح مایل در ماه‌های مختلف شهر تهران در جدول ۶ نشان داده شده است. که بر اساس اطلاعات این جدول بیشترین درصد روزهای آفتابی در شهریور ماه با مقدار ۰/۸۰۳ رخ می‌دهد و بیشترین روزهای متوالی ابری در فروردین ماه با مقدار ۵ روز مشاهده می‌شود. همچنین مقدار متوسط انرژی روزانه سطوح افقی شهر تهران، در مرداد و شهریورماه با مقدار ۶،۴۸۹ و ۶،۵۵۲ از سایر ماه‌های سال بیشتر است اما بیشترین مقدار متوسط انرژی روزانه سطح مایل به ماه‌های خرداد و تیرماه با مقدار ۷،۰۵۹ و ۷،۳۹۴ مربوط است.

جدول ۵: درصد روزهای آفتابی و ابری و متوسط انرژی سطح افقی و سطح مایل در ماههای مختلف شهر تهران

ماه	درصد روزهای آفتابی	روزهای متوالی ابری (بیست سال)	متوسط انرژی روزانه سطح افقی	متوسط انرژی روزانه سطح مایل
فروردین	۰/۴۸۵	۵	۴/۶۶۵	۴/۳۰۶
اردیبهشت	۰/۵۶۶	۴	۵/۲۸۲	۵/۳۱۸
خرداد	۰/۷۲۸	۲	۵/۷۶۸	۷/۰۵۹
تیر	۰/۷۸۵	۲	۵/۸۷۵	۷/۳۹۴
مرداد	۰/۷۹۵	۲	۶/۵۵۲	۶/۵۵۲
شهریور	۰/۸۰۳	۲	۶/۴۸۹	۵/۸۶۷
مهر	۰/۷۳۵	۲	۵/۵۰۲	۴/۲۰۳
آبان	۰/۶۳۷	۳	۴/۳۸۹	۲/۸۶۱
آذر	۰/۵۶۵	۴	۳/۲۸۶	۲/۲۵۶
دی	۰/۵۲۳	۴	۳/۲۰۱	۲/۱۵۵
بهمن	۰/۵۲۷	۴	۳/۸۰۸	۲/۵۲۶
اسفند	۰/۵۰۲	۴	۴/۲۴۹	۳/۳۱۴

در جدول ۶ متوسط ساعات آفتابی ماهیانه را در یک دوره سی ساله منتهی به سال ۲۰۰۵ و متوسط دمای تهران در یک دوره سی ساله ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک مهرآباد قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۶: متوسط ساعات آفتابی در شهر تهران

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
MEAN	173.6	182.8	205.5	222.8	289.5	345.1	349.5	340.3	304	256.1	194.9	166.1	3030.2
MEAN	3.3	5.5	10.2	16.6	22.1	27.8	30.6	29.7	25.5	18.7	11.1	5.4	17.2

جدول ۶، بیشترین ساعت آفتابی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد شهر تهران، به ترتیب به ماههای ژوئیه (۳۴۹،۵)، ژوئن (۳۴۵،۱) و اوت (۳۴۰،۳) و کمترین این ساعات، به ماههای دسامبر (۱۶۶،۱)، ژانویه (۱۷۳،۶) و نوامبر (۱۹۴،۹)، مربوط می‌شود. همچنین بر حسب اطلاعات و آمار موجود، متوسط درجه حرارت در ایستگاه سینوپتیک تهران بین ۳،۵ الی ۳۱ درجه سلیسیوس در نوسان می‌باشد. همچنین در جدول ۸ میزان این نوسان درجه حرارت در ماههای مختلف در یک دوره آماری منتهی به سال ۲۰۰۵ در ایستگاه فوق را نشان داده شده است. مطابق جدول ۶، بیشترین مقدار متوسط دمای تهران در ایستگاه سینوپتیک مهرآباد شهر تهران به ترتیب به ماههای ژوئیه (۳۰،۶ درجه) و کمترین مقدار درجه حرارت به ماه ژانویه (۳،۳ درجه) مربوط می‌شود.

در نهایت در جدول ۹ ویژگی‌های مختلف از آب و هوای شهر تهران در ماههای مختلف میلادی، نشان داده شده است که بین خشک‌ترین و مرطوب‌ترین ماه سال، تفاوت میزان بارش ۳۵ میلی متر است. در طی سال دما به میزان ۲۶،۵ درجه سانتی گراد تغییر می‌کند.



جدول ۷: ویژگی‌های مختلف آب و هوای شهر تهران

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature	2.8	5.1	9.5	15.1	21.2	26.2	29.3	28.6	24.4	18	11	5.4
Min. Temperature	-2.2	-0.1	3.8	8.7	14.2	18.7	21.8	21.4	17.1	11.5	5.2	0.3
Max. Temperature	7.8	10.3	15.2	21.6	28.3	33.7	36.9	35.9	31.8	24.6	16.8	10.6
Avg. Temperature	37.0	41.2	49.1	59.2	70.2	79.2	84.7	83.5	75.9	64.4	51.8	41.7
Min. Temperature	28.0	31.8	38.8	47.7	57.6	65.7	71.2	70.5	62.8	52.7	41.4	32.5
Max. Temperature	46.0	50.5	59.4	70.9	82.9	92.7	98.4	96.6	89.2	76.3	62.2	51.1
Precipitation/Rainfall (mm)	36	30	36	27	16	4	1	42	3	14	21	30

فرآیند طراحی و تحلیل انتخاب سیستم‌ها فتوولتائیک بر روی سیستم نمونه در شهر تهران

در این مرحله فرآیند طراحی و تحلیل نحوه‌ی انتخاب سیستم فتوولتائیک با اجرا بر روی سیستم نمونه تشریح می‌شود. در بخش نخست، سیستم فتوولتائیک برای تغذیه انرژی الکتریکی مورد نیاز در یک ساختمان مسکونی، طراحی و تجزیه و تحلیل می‌شود.

طراحی سیستم فتوولتائیک برای یک منزل مسکونی

به منظور برآورد مصرف انرژی الکتریکی یک واحد مسکونی در شهر تهران به عنوان نمونه، از جدول ۱۰ که توان متوسط مصرفی سالیانه لوازم خانگی در آن ارائه شده، استفاده گردیده است. لازم به ذکر است که با توجه به توضیحات بخش‌های قبلی و با فرض این که اختلاف زاویه تابش نور خورشید و میزان جذب در مناطق مختلف شهر تهران تفاوت چشم‌گیری ندارد، اطلاعات مندرج در این جدول بر اساس انتخاب یک واحد مسکونی دو اتاق خوابه به مساحت تقریبی ۱۲۰ متر مربع در شرق و یا جنوب شهر تهران است و میزان مصرف متوسط سالیانه لوازم خانگی معمول متعلق به این واحد مسکونی برآورد شده است.

جدول ۱۰. میزان متوسط مصرف لوازم خانگی یا ساختمان مسکونی

ردیف	نام وسیله	متوسط توان مصرفی (لحظه‌ای وات)		اطلاعات مصرف	
		ساعت مصرف	وات ساعت	کیلووات ساعت	وات ساعت
۱	لامپ	۱۲	۸۴۰	۰/۸۴	
۲	هواکش	۸	۲۸۰	۰/۲۸	
۳	یخچال	۲۴	۲۴۰۰	۲/۴	
۴	فریزر	۲۴	۳۶۰۰	۳/۶	
۵	تلوزیون LCD 40	۱۰	۲۰۰۰	۲	

۵/۳	۵۳۰۰	۱۰	۵۳۰	کولر آبی	۶
۱/۵	۱۵۰۰	۱	۱۵۰۰	ماشین لباسشویی	۷
۲	۲۰۰۰	۱	۲۰۰۰	اتوی برقی	۸
۵/۶	۵۶۰۰	۴	۱۴۰۰	سایر (متوسط)	۹
۲۳/۵۲	جمع متوسط انرژی مصرفی روزانه بر حسب کیلووات ساعت				

محاسبه میزان انرژی روزانه مورد نیاز از آرایه‌های فتوولتائیک: طبق جدول ۱۰ میزان متوسط مصرف انرژی روزانه برای یک ساختمان مسکونی برابر با ۲۳/۵۲ kWh می‌باشد. این میزان در نتایج مطالعات (Herche, 2017) در شهر لارناکا با 21/32kWh برابری می‌کند. با در نظر گرفتن تأثیر تلفات که بیشترین مقدار آن ۵٪ فرض می‌شود و لحاظ کردن بازده مبدل (۹۲٪/فرض می‌شود)، برای نمونه مذکور، میزان انرژی روزانه مورد نیاز به صورت رابطه (۱) است:

$$\text{رابطه (۱)} \quad 23.52 \text{ kWh} \div 0.92 \div 0.95 = 26.91 \text{ kWh}$$

بیشترین انرژی مورد نیاز از آرایه فتوولتائیک مطابق رابطه (۲) ارائه شده است:

$$\text{رابطه (۲)} \quad 26.91 \text{ kWh} \div 5 \text{ PSH} = 5.382 \text{ kW}$$

میزان انرژی مورد نیاز در مطالعه‌ی موردی (شهر لارناکا) در پژوهش (Herche, 2017) برابر با 28/13kwh و در مطالعه‌ی (Zhu and et al, 2017) برابر با 25/07kwh بوده است. همچنین بیشترین انرژی مورد نیاز از آرایه‌ی فتوولتائیک در پژوهش Herche و Zhu به ترتیب برابر با ۳,۰۹ و ۲,۱۲ بوده است که تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای با پژوهش حاضر دارد.

برای نمونه مورد طراحی، درجه حرارت متوسط محیط برابر ۲۵ درجه سانتی‌گراد و جنس ماژول پلی کریستال در نظر گرفته می‌شود. در اکثر مطالعات جنس ماژول‌ها مشابه در نظر گرفته شده اما در درجه حرارت در محیط‌های مختلف متفاوت است. بنابراین ضریب کاهش توان بر اثر دما با استفاده از روابط بیان شده در نمونه مورد بررسی بصورت رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$\text{رابطه (۳)} \quad 1 - (50 - 25) \times 0.45\% = 1 - 12.5\% = 0.8875$$

بنابراین توان ماژول فتوولتائیک نمونه مورد استفاده که توان خروجی آن با اعمال عوامل ۲ و ۱ از ۲۶۵ وات به ۲۳۹/۲ وات رسیده بود، با اعمال ضریب کاهش توان بر اثر دما به صورت رابطه‌ی (۴) محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه (۴)} \quad 87.5\% \times 239.2 \text{ W} = 212.3 \text{ W}$$

نتایج مطالعات (Herche, 2017 ; Zhu and et al, 2017; Zhang and et al, 2017; Kumar kar and et al, 2016; Kannan and Vakeesan, 2016) نشان داده که در شهرهای مختلف با توجه به درجه حرارت متوسط محیط و جنس ماژول و همچنین توان خروجی ماژول‌ها میزان انرژی مورد نیاز از آرایه‌های فتوولتائیک متفاوت خواهد بود.

محاسبه کمترین ولتاژ مبدل ساختمان مسکونی: در ساختمان نمونه، کمترین میزان ولتاژ مبدل برابر 110 ولت است و ماژول انتخابی دارای  $V_{mp}$  برابر ۳۱/۷ و ضریب ولتاژ ۰/۱۴ ولت بر درجه سانتی‌گراد است:

$$\text{رابطه (۵)} \quad V_{min mpp} = 31.7 - [0.14 \times (70 - 25)] = 25.4 \text{ V}$$

با احتساب 5٪ افت ولتاژ، به ازای هر ماژول ولتاژی برابر با مقدار رابطه (۶) به مبدل می‌رسد:

$$\text{رابطه (۶)} \quad 25.4 \times (0.95) = 24.13 \text{ V}$$

این عدد برابر با  $V_{min-mpp-inv}$  یعنی حداقل ولتاژ MPPT موثر ورودی به مبدل است. در نمونه مورد طراحی کمترین ولتاژ مجاز مبدل برابر 110 ولت است. برای محاسبه تعداد ماژول‌ها پیشنهاد می‌شود که 10 درصد حاشیه اطمینان در کمترین مقدار مجاز اعمال گردد. بنابراین طبق روابط بیان شده رابطه (۷) بیان می‌شود:

$$110 \times 1.1 = 121 \text{ V} \text{ :رابطه (۷)}$$

بدین ترتیب کمترین تعداد ماژول در هر رشته بصورت رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

$$N_{min \text{ per String}} = 121 / 24.13 = 5.014 \text{ :رابطه (۸)}$$

با گرد کردن به سمت بالا تعداد ماژول‌ها در هر رشته برابر ۶ بدست می‌آید. نتایج روابط ۵، ۶، ۷ و ۸ تفاوت‌هایی را با سایر نتایج مطالعات در نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. تعداد ماژول‌ها در نتایج تحقیق (Najafi and et al, 201) برابر با ۴ و در پژوهش (Mohajeri and et al, 2016) برابر با ۱۲ بوده است. تعداد ماژول‌ها در هر رشته در ارتباط مستقیم با میزان انرژی خروجی قرار دارند.

محاسبه بیشترین ولتاژ: در سردترین دمای ممکن، ولتاژ مدار باز آرایه نباید هرگز بیش از بیشترین ولتاژ مجاز ورودی مبدل باشد. در اینجا از ولتاژ مدار باز ( $V_{oc}$ ) استفاده می‌شود چون این ولتاژ از ولتاژ TMPP بیشتر است. برای نمونه مورد طراحی، با فرض اینکه کمترین دمای روزانه برابر صفر در نظر گرفته شود و همچنین ولتاژ مدار باز در شرایط STC برابر ۳۸/۲ ولت باشد، بیشترین ولتاژ مدار باز در کمترین دمای سلول بصورت رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$V_{oc \text{ max}} = 38.2 - (0.14 \times (0 - 25)) = 41.7 \text{ V} \text{ :رابطه (۹)}$$

همچنین برای این نمونه مورد طراحی، بیشترین تعداد ماژول‌ها در رشته طبق روابط بیان شده؛ مطابق با رابطه (۱۰) به دست می‌آید:

$$N_{max \text{ -per string}} = \frac{450}{41.7} = 10.79 \text{ :رابطه (۱۰)}$$

با گرد کردن به سمت پایین، بیشترین تعداد ماژول‌ها برابر ۱۰ بدست می‌آید. بنابراین در نمونه مورد طراحی، تعداد ماژول‌ها در رشته فتوولتاییک فقط می‌تواند ۶ الی ۱۰ تا باشد. از آنجا که تعداد کل ماژول‌های مورد نیاز برابر ۲۵ محاسبه شده است، بنابراین می‌توان ۳ رشته ۹ ماژولی راموازی کرد. بدین ترتیب بادر نظر گرفتن محدوده مجاز کاری مبدل از نقطه نظر ولتاژ، می‌توان آرایش نهایی آرایه را تعیین نمود. در این زمینه نتایج دیگر پژوهش‌ها نشان داده که تعداد ماژول‌ها ممکن است متفاوت باشد. نتایج پژوهش (Jose Sarralde and et al, 2015) برای یک ساختمان مسکونی دو خوابه در شهر لوبنین<sup>۱</sup> برابر ۱۵ بوده است. در نتایج تحقیق (Almasoud and Gandayh, 2015) برای یک ساختمان آموزشی دارای ۷ کلاس این میزان ۳۶ بوده است.

مراحل انتخاب ظرفیت و آرایش آرایه فتوولتاییک در حالت طراحی منزل مسکونی بر اساس میزان فضای موجود: در طراحی نمونه مورد مطالعه که ماژول ۲۶۵ واتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، فرض می‌شود مساحت هر ماژول بصورت

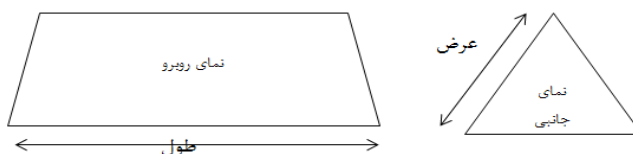
$$1.019\text{m} \times 1.625\text{m} = 1.65 \text{ m}^2 \text{ :رابطه (۱۱)}$$

با در نظر گرفتن فاصله 10 میلیمتری بین ماژول‌ها، مساحت بصورت رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$1.029\text{m} \times 1.635\text{m} = 1.68 \text{ m}^2 \text{ :رابطه (۱۲)}$$

فرض می‌شود مساحت سقف برای نصب بصورت رابطه (۱۳) محاسبه شود:

$$9\text{m} \times 7\text{m} = 63 \text{ m}^2 \text{ :رابطه (۱۳)}$$



شکل ۷. اندازه‌گیری طول و عرض مکان نصب آرایه فتولتائیک

هر ماژول، دو بعد طول و عرض دارد. ماژول‌ها معمولاً مستطیلی شکل هستند. ماژول‌ها را می‌توان در راستای طول و یا عرض نصب کرد. در هر فضایی، باید نصب ماژول‌ها در دو جهت مذکور بررسی کرد تا بتوان بیشترین تعداد واقعی ماژول‌ها را تعیین کرد. این محاسبات برای طراحی نمونه مورد مطالعه بصورت رابطه‌ی ۱۵ و ۱۶ هستند:

حالت الف: نصب عرضی

$$\text{رابطه (۱۴): } 7 \text{ m} / 1.029 \text{ m} = 6.8 \sim 6$$

$$\text{رابطه (۱۵): } 9 \text{ m} / 1.635 \text{ m} = 5.5 \sim 5$$

به هر حال، تعداد کل ماژول‌های قابل نصب برابر با ۳۰ می‌باشد.

حالت ب: نصب طولی

$$\text{رابطه (۱۶): } 7 \text{ m} / 1.635 \text{ m} = 4.28 \sim 4$$

$$\text{رابطه (۱۷): } 9 \text{ m} / 1.029 \text{ m} = 8.74 \sim 8$$

در این حالت تعداد کل ماژول‌های قابل نصب برابر ۳۲ تا خواهد بود. بنابراین می‌توان گفت در نمونه مورد مطالعه بیشترین تعداد ماژول‌های قابل نصب برابر ۳۲ عدد بدست می‌آید. برای تعیین میزان خروجی آرایه‌های فتولتائیک میزان متوسط انرژی خروجی که به صورت روزانه از سیستم فتولتائیک بدست می‌آید برابر است با حاصل ضرب‌های میزان متوسط انرژی خروجی از آرایه فتولتائیک (وات ساعت)، میزان توان خروجی ماژول در شرایط STC (وات)، فاکتور کاهش در اثر دما (بدون واحد)، فاکتور کاهش در اثر تلرانس سازنده (بدون واحد)، فاکتور کاهش در اثر آلودگی، تابش در ساعات اوج خورشید برای جهت‌گیری و زاویه برخورد خاص و تعداد ماژول‌ها در آرایه. لذا در این جا برای نمونه طراحی منزل مسکونی مورد مطالعه، میزان انرژی روزانه تولیدی مطابق با رابطه (۱۸) به دست می‌آید:

$$\text{رابطه (۱۸): } 265 \times 0.95 \times 0.875 \times 0.95 \times 5 \times 32 = 33.482 \text{ kWh}$$

برای تعیین میزان انرژی تحویلی از سامانه فتولتائیک که توسط آرایه فتولتائیک به شبکه تحویل می‌شود باید اثر بازده مبدل و تلفات را لحاظ نمود، بنابراین طبق روابط بیان شده، برای نمونه مورد مطالعه با فرض لحاظ کردن بازده ۹۲٪ برای مبدل و در نظر گرفتن تلفات برابر ۵٪ میزان انرژی تحویلی از سیستم فتولتائیک مطابق با رابطه (۱۹) به دست می‌آید.

$$\text{رابطه (۱۹): } 33.482 \times 0.92 \times 0.95 = 29.26 \text{ kWh}$$

مراحل انتخاب ظرفیت و ابعاد آرایه فتولتائیک در حالت حضور ذخیره‌ساز: فرض می‌شود میزان متوسط انرژی موردنیاز روزانه طبق نمونه مطرح شده برابر ۲۶/۹۱ kWh باشد و سیستم فتولتائیک با شبکه تبادل انرژی نداشته‌باشد. بنابراین تمام بار مصرفی باید توسط سیستم فتولتائیک و باتری تأمین شود.

**الف: تعیین ظرفیت باتری:** تعیین ظرفیت باتری باید بگونه‌ای انجام شود که علاوه بر پاسخگویی معمول در ساعاتی از شبانه روز که تابش خورشید موجود نیست و یا کم است، در صورت وجود شرایط بد آب و هوایی نیز باتری بتواند تأمین انرژی را انجام دهد. آمپر ساعت کل برای بانک باتری از حاصل ضرب آمپر ساعت مورد نیاز در شبانه روز در تعداد روزهای ابری به دست می‌آید. ابتدا با استفاده از انرژی مورد نیاز محاسبه شده و در نظر گرفتن ولتاژ ۴۸ ولت برای

آرایه‌های فتوولتائیک (معمولاً ولتاژ آرایه‌های فتوولتائیک، بسته به نوع سیستم، 12، ۲۴ یا ۴۸ ولت می‌باشد)، آمپر ساعت بصورت رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه (۲۰): } 26.91 \text{ kWh/ } 48 \text{ V} = 560.625 \text{ Ah}$$

باتوجه به اطلاعات موجود در جدول ۱۰ و میانگین تعداد روزهای ابری سال که تقریباً برابر ۳ است و در این روزها فقط باتری تأمین کننده بار مصرفی باشد، رابطه (۲۱) به دست می‌آید:

$$\text{رابطه (۲۱): } 560.625 \times 3 = 1681.875 \text{ Ah}$$

معمولاً محدوده ولتاژی که باتری‌ها شارژ شده ولی هنوز قادر به کار باشند بین ۰٫۲ تا ۰٫۸ می‌باشد (در این طراحی ۰٫۸) در طی شارژ و دشارژ بانک باتری، بخشی از انرژی تلف می‌شود و بنابراین باید انرژی ذخیره شده در باتری با لحاظ کردن میزان این تلفات محاسبه شود. این کار با استفاده از یک ضریب تلفات که برحسب درصد بیان می‌شود، انجام می‌شود. با فرض اینکه ضریب تلفات باتری ۲۰ درصد و ولتاژ دشارژ آن ۰٫۸ باشد، میزان آمپر ساعت ذخیره به صورت رابطه (۲۲) محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه (۲۲): } (1681.875 \div 0.8) \times 1.2 = 2522.8125 \text{ Ah}$$

خروجی باتری تابع دمای باتری و محیط آن می‌باشد. لذا تغییرات دما (مانند پانل خورشیدی) خروجی بانک باتری را تغییر می‌دهد. برای تأثیر دادن تغییرات دما بر روی خروجی باتری، آمپر ساعت بدست آمده در ضریبی که از جدول ۱۱ استخراج می‌شود، ضرب می‌شود. در سیستم نمونه، این عدد برابر ۱/۱۹ انتخاب شده است. بنابراین میزان کل آمپر ساعت لازم برای واحد خورشیدی واحد برابر است با رابطه (۲۳)

$$\text{رابطه (۲۳): } 2522.8125 \times 1.19 = 3002.146 \text{ Ah}$$

جدول ۱۱. ضریب درجه حرارت

متوسط درجه حرارت منطقه در زمستان		ضریب	متوسط درجه حرارت منطقه در زمستان		ضریب
درجه سانتی‌گراد	درجه فارنهایت		درجه سانتی‌گراد	درجه فارنهایت	
۴۰	۴/۴	۱/۳	۸۰	۲۶/۷	۱
۳۰	-۱/۱	۱/۴	۷۰	۲۱/۲	۱/۰۴
۲۰	-۶/۷	۱/۵۹	۶۰	۱۵/۶	۱/۱۱
			۵۰	۱۰	۱/۱۹

پس از محاسبه کل آمپر ساعت لازم برای واحد خورشیدی لازم است تعداد باتری برای ایجاد چنین ظرفیتی محاسبه شود. برای به دست آوردن تعداد باتری‌های موازی، لازم است آمپر ساعت کل برآمپر ساعت هر باتری تقسیم گردد. در طراحی نمونه، فرض می‌شود باتری‌های در نظر گرفته شده دارای مشخصه ۱۰۰۰ آمپر ساعت و ۲۴ ولت باشند. در این صورت رابطه (۲۴) بدست می‌آید.

$$\text{تعداد باتری‌های موازی رابطه (۲۴): } 3002.146 \div 1000 = 3$$

ب) محاسبه تعداد ماژول‌های فتوولتائیک: تعداد ماژول‌های فتوولتائیک باید بگونه‌ای طراحی و محاسبه شوند که هم بتوانند توان مصرفی واحد مسکونی را تأمین کنند و هم باتری‌های تعیین شده را شارژ کنند. با توجه به ظرفیت باتری‌های تعیین شده، باید جریان مورد نیاز شارژ باتری با فرض دشارژ کامل باتری محاسبه و انرژی متناظر با آن مقدار انرژی بار مصرفی افزوده شود تا مقدار انرژی که باید توسط سیستم فتوولتائیک تأمین شود، تعیین گردد. ضریب ۰/۱ به منظور رعایت قید نرخ شارژ شدن باتری است. این ضریب با توجه به مشخصات باتری استفاده شده تعبیر می‌کند.

$$\text{رابطه (۲۵): } 3 \times 0.1 \times 1000 = 300 \text{ Ah} = \text{Icharging}$$

$$\text{رابطه (۲۶): } \text{EB} = (300 \text{ Ah}) \times 24 \text{ V} = 7.2 \text{ kWh}$$

$$\text{رابطه (۲۷): } \text{ET} = 26.91 + \text{EB} = 26.91 + 7.2 = 34.11 \text{ kWh}$$

در روابط فوق  $\text{Ich}$  آمپر ساعت مورد نیاز برای شارژ باتری،  $\text{EB}$  انرژی مورد نیاز برای شارژ باتری و  $\text{ET}$  انرژی کل می باشد. بنابراین میزان کل انرژی که باید توسط سیستم فتوولتائیک تولید شود، برابر  $34.11$  کیلووات ساعت است. تعداد ماژول های  $265$  وات بصورت زیر محاسبه می شود. توجه شود همانطور که در بخش قبلی، محاسبه گردید توان خروجی یک ماژول  $265$  واتی پس از اعمال تاثیر دما، گردوخاک و غیره به  $212.3 \text{ W}$  می رسد.

$$\text{رابطه (۲۸): } N = (34.11 \text{ kWh} \div 5 \text{ PHS}) \div 212.3 = 31.98 \approx 32$$

در رابطه (۲۸)  $N$  تعداد ماژول های مورد نیاز است. مساحت مورد نیاز جهت نصب این ماژول ها با ضرب تعداد ماژول ها در مساحت هر ماژول بدست می آید. تحقیقات (Kabir and et al(2018 بر روی ساختمان مسکونی و استفاده از سیستم فتوولتائیک برای تأمین انرژی مورد نیاز ساختمان با توجه به شرایط جغرافیایی مشابه با نمونه مورد بررسی در این پژوهش نشان داده که انرژی خورشیدی می تواند در جایگزینی سوخت های فسیلی مفید باشد و از نظر اقتصادی نیز به صرفه است. همچنین تحقیقات (Kumar and et al(2016 در یکی از شهرهای کشور هند و تحقیقات (Herche(2017 در شهر لارناکا و نتایج پژوهش (Jose Sarralde and et al(2015 در راستای نتایج تحقیق حاضر می باشد. با این وجود تحقیقات (Li and et al(2015 و (Mohajeri and et al(2016 نشان داده است که هزینه استفاده از سیستم های فتوولتائیک بسیار بالاست و در بعضی جنبه ها مقرون به صرفه نخواهد بود. همچنین میزان متوسط انرژی برای نمونه های مورد مطالعه در تحقیقات آنها برابر  $52/18 \text{ kWh}$  بوده است که در تعداد ماژول و آرایه های آن نقش مستقیم دارد.

### جمع بندی

در این پژوهش داده های مربوط به مصرف انرژی در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت و همانگونه که از جداول و نمودارهای ارائه شده مشخص بود، این شهر بزرگترین مصرف کننده انرژی کشور می باشد و بخش مسکونی یکی از بخش های پر مصرف انرژی در شهر تهران است. از طرفی در بین حامل های مختلف انرژی در تأمین انرژی بخش خانگی (مسکونی)، گاز طبیعی با مقدار  $73,44$  بیشترین درصد و منابع تجدیدپذیر قابل احتراق با مقدرا  $1,87$  درصد کمترین سهم را به خود اختصاص می دهند و رشد سالانه مصرف انرژی در بخش خانگی، تجاری و عمومی در استفاده از برق با مقدار  $10,89$  درصد بیشترین رشد و مصرف فرآورده های نفتی با رشد  $12,20$  - کمترین درصد رشد مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. در حالی که در مقابل مجموع عرضه کل انرژی های تجدید پذیر خصوصاً انرژی خورشیدی، معادل تنها  $24,9$  درصد (معادل بشکه نفت خام)، یعنی تنها  $0,13$  درصد از عرضه انرژی کل مصرفی کشور می باشد.

باتوجه به ظرفیت های بالا از معیارهای مختلف انرژی خورشیدی شهر تهران، زمینه های بهره مندی از انرژی خورشیدی در این شهر قابل توجه می باشد، زیرا بر اساس مطالعات سازمان فضایی ناسا به طور کلی معدل سالانه تابش در شهر تهران  $4/58$  کیلووات ساعت بر متر مربع در روز، مجموع میزان تابش سالانه تابش مستقیم و کل بر روی سطوح افقی و مایل  $736$  کالری بر سانتی متر مربع، میانگین انرژی کل سالانه تابشی بر صفحات شیب دار و رو به جنوب  $462$  کالری بر سانتی متر مربع، میانگین سالانه دما  $16,4$  سانتی گراد، میزان تابش سالانه آن در سطح افق میزان  $1800$  الی  $2000$  کیلووات ساعت بر متر مربع در سال، میانگین و مجموع سالانه جذب انرژی خورشیدی به ترتیب  $3938$ ،  $47248$  کیلوکالری بر مترمربع در روز از ماه، می باشد. بنابراین سودآوری اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی قابل ملاحظه و باعث شده تا

حداقل در برخی از بخش‌ها مانند برخی از سازمان‌های دولتی شهر تهران، استفاده و اقدام به فعال‌سازی سامانه‌های سلول خورشیدی نمایند. اما این مقدار کم از بهره‌برداری، با توجه به ظرفیت‌های موجود مطالعه شده از انرژی خورشیدی شهر تهران کافی نمی‌باشد و جهت حداکثر استفاده و بهره‌برداری از این انرژی مفید و تجدیدپذیر نیازمند برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر در بخش‌های مختلف می‌باشد. بطوری که انتخاب صحیح زیرساخت و تجهیزات سیستم‌های فتولتائیک که از اجزای اصلی نیروگاه فتولتائیک در جهت استفاده از انرژی خورشیدی محسوب می‌شوند و همچنین انتخاب مناسب ظرفیت و چیدمان، باعث افزایش بهره‌وری نیروگاه از تابش انرژی خورشیدی موجود و نیز کاهش هزینه تمام شده می‌گردد.

#### پیشنهادها

۱. بازنگری و اصلاح ضوابط شهرسازی درخصوص بهینه‌سازی مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی به صورت ابلاغ
۲. خودداری از ارائه طرح واحد برای اقلیم‌ها و محیط‌های متفاوت؛
۳. بازنگری و اصلاح جهت ساختمان‌ها و معابر جهت دریافت انرژی خورشیدی؛
۴. فرهنگ‌سازی و تدارک طرح‌های تشویقی جهت رونق تولید و استفاده شهروندان از انرژی خورشیدی حتی به میزان کم؛
۵. تأمین زیر ساخت‌های لازم جهت بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در بخش خانگی، عمومی و تجاری شهر تهران.

## منابع

۱. اکبری، حسین (۱۳۹۰)، طراحی ساختمان اداری با صرفه‌جویی انرژی با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد معماری، دانشکده‌ی معماری و شهرسازی دانشگاه هنر تهران، صص ۴۴-۵۰.
۲. اجلالی، فرید (۱۳۸۶)، آلودگی هوا تهران با نگاهی به پالایش هوای تهران، نشر آموزش کشاورزی.
۳. بیگدلی، آنوسا (۱۳۸۹)، تأثیر اقلیم و آلودگی هوای تهران بر بیماری سکنه قلبی (دوره ۵ ساله ۱۹۹۰-۱۹۹۴)، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، پاییز ۱۳۸۰، شماره ۶۲، ۱۴۰-۱۲۶.
۴. پورکرمانی؛ محسن، آرین، مهران (۱۳۸۳)، مروری بر مطالعات لرزه‌خیزی گستره‌ی تهران، فصلنامه‌ی رشد آموزش زمین‌شناسی، پاییز ۱۳۸۳.
۵. پوراحمد؛ احمد، حاتمی نژاد؛ سید حسین؛ قاسمی؛ ایرج (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی شهر تهران بر اساس شاخص‌های اجتماعی جمعیتی مدرنیته، فصلنامه‌ی مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، زمستان ۱۳۹۲، سال پنجم شماره ۱۹.
۶. حیدری، شاهین (۱۳۸۸)، برنامه‌ریزی انرژی در ایران با تأکید بر بخش ساختمان، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.
۷. رحیمی خوب، علی؛ بهبانی، سیدمحمدرضا؛ جمشیدی، محبوبه (۱۳۸۸)، ارزیابی دو روش تجربی و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد تابش خورشید رسیده به زمین - مطالعه موردی در جنوب شرق تهران، فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال پنجاهم، زمستان ۱۳۸۸، صص ۱۴-۴۵.
۸. صفایی، بتول؛ طالقانی، گیت (۱۳۸۴)، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان، چهارمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان.
۹. لشکری، حسن؛ ظفری، افسانه (۱۳۸۸)، پهنه‌بندی آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از GIS دوره آماری ۱۹۹۹-۲۰۰۷، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، پاییز ۱۳۸۸، سال ششم، شماره ۲۳، ۶۰-۴۹.
۱۰. مجرد، فیروز؛ حسینی فر، سمیه (۱۳۹۱)، مکان‌یابی نواحی مساعد برای توسعه فیزیکی کلانشهر تهران بر مبنای عناصر اقلیمی و عوامل جغرافیایی، فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۴۷، ۲۳-۴۲.
۱۱. مقیمی، ابراهیم؛ صفاری؛ امیر (۱۳۸۹)، ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری در قلمروی حوضه‌های زهکشی سطحی مطالعه موردی: کلان شهر تهران، فصلنامه مدرس علوم انسانی، بهار ۱۳۸۹ - شماره ۶۵.
۱۲. مسیحی، سارا؛ سعدوندی، مهدی؛ صالحی‌نیا، مجید (۱۳۹۱)، بررسی و شناسایی شاخصه‌های اقلیمی موثر بر مطلوبیت محیطی مسکن انبوه (مطالعه موردی مسکن انبوه در منطقه پرند تهران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته هنر و معماری دانشکده هنر اصفهان. ۱۳۹۱.
۱۳. نظریان، اصغر، ضیائی‌ان فیروزآبادی، پرویز؛ جنگی، علی اکبر (۱۳۸۶)، بررسی نقش مکان و مورفولوژی در کیفیت هوای شهر تهران با استفاده از GIS و داده‌های ماهواره‌ای، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، پاییز ۱۳۸۶، شماره ۶۱، ۳۰-۱۷.
۱۴. نقی زاده، محمد (۱۳۸۱)، ضوابط شهرسازی و معماری بهینه‌سازی مصرف سوخت، دومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان.
۱۵. وثوق، فریبرز؛ حیدری نژاد، قاسم (۱۳۹۳)، بررسی علل افزایش میانگین دمای محیط با نگرش ویژه به تأثیر آن بر شهرهای بزرگ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، به راهنمایی حیدری نژاد، قاسم، ۱۳۹۳.



16. A.H.Almasoud; Hatim M.Gandayh.(2015).solar energy in Baghdad, Journal of King Saud University - Engineering Sciences. Volume 27, Issue 2, July 2015, Pages 153-157.
17. Choi.(2003).Indicators of sustainable development: programmed of work on indicators for sustainable development of the commission on sustainable development. As contained in the report of the secretary – general to the CSD on chapter ۲۰ of agenda ۲۱, “information for decision – making” (E / C N. ۱۷/۱۹۹۵/۱۸).
18. Dapeng, Li; Gang, Liu; Shengming, Liao(2015). Solar potential in urban residential buildings, Solar Energy, Volume 111, January 2015, Pages 225-235.
19. Ehsanul, Kabir; Pawan, Kumar; Sandeep, Kumar; Adedeji A, Adelodun; Ki-Hyun Kim(۲۰۱۸), Solar energy: Potential and future prospects, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 82, Part 1, February 2018, Pages 894-900.
20. Gang, J. (2008). “Wanted: tall buildings less iconic, more specific”, CTBUH 8th World Congress on Tall & Green: Typology for a Sustainable Urban Future, 2008, Dubai, 3–5 March, pp.496–502.
21. Guiavarch, A., Peupartier, B.,( 2006).Photovoltaic collectors efficiency according to their integration in buildings. Solar Energy 80 (1), 65–77.
22. Hirth; L,(2013)The market value of variable renewables: the effect of solar wind power variability on their relative price. Energ Econ 2013;38:218e36.
23. Juan ,José Sarralde ;David ,James Quinn ;Daniel ,Wiesmann ;Koen ,Steemers(2015). Solar energy and urban morphology: Scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London. Renewable Energy. Volume 73, January 2015, Pages 10-17.
24. Kim YD, Thu K, Bhatia HK, Bhatia CS, Ng KC,(2012). Thermal analysis and performance optimization of a solar hot water plant with economic evaluation. Sol Energy 2012;86(5):1378e95.
25. Krause M, Vajen K, Wiese F, Ackermann H.(2002). Investigations on optimizing large solar thermal systems. Solar Energy 2002;73(4):217e25.
26. Koroneos CJ, Nanaki EA.(2012), Life cycle environmental impact assessment of a solar water heater. J Clean Prod 2012;37:154e61.
27. Lysen, E. H. (1996).The Trias Energica: Solar Energy Strategies for Developing Countries, Eurosun Conference, Freiburg 16-19 Sep 1996.
28. Mazman M, Cabeza LF, Mehling H, Nogues M, Evliya H, HEO Paksoy.(2009). Utilization of phase change materials in solar domestic hot water systems. Renew Energ 2009;34(6):1639e43.
29. Mohsenzadeh M, Hosseini R. A (2015),photovoltaic/thermal system with a combination of a booster diffuses reflector and vacuum tube for generation of electricity and hot water production. Renew Energy 2015;78:245e52.
30. Nadarajah, Kannan; Divagar,Vakeesan,(2016).Solar energy for future world: - A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 62, September 2016, Pages 1092-1105.
31. Nahid ,Mohajeri; Govinda, Upadhyay; Agust, Gudmundsson; Dan, Assouline; Jérôme, Kämpf; Jean-Louis ,Scartezzini (2016). Effects of urban compactness on solar energy potential. Renewable Energy, Volume 93, August 2016, Pages 469-482.
32. Sanjay, KumarKar; Atul, Sharma; Biswajit, Roy.(2016). Solar energy market developments in India. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 62, September 2016, Pages 121-133.
33. Trnka, M., Z. Zalud, J. Eitzinger and M. Dubrovsky.( 2005).Global solar radiation in Central European lowlands estimated by various empirical formulas. Agric. and Forest Meteorol. 131(1-2): 45-76.

34. Wesley, Herche,(2017), Solar energy strategies in the U.S. utility market, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 77, September 2017, Pages 590-595.
35. Young, J.W.S., (1997). A framework for the ultimate environment index— putting atmospheric change into context with sustainability. *Environmental Monitoring and Assessment* 46, 135–149.
36. Yifan ; Li, Jinyan ,Zhan; Fan, Zhang; Miaolin ,Zhang; Dongdong ,Chen.(2017), The study on ecological sustainable development in Chengdu, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, ,Volume 101, October 2017, Pages 112-120.
37. Zhu, Y., Lin, B.,( 2004). Sustainable housing and urban construction in China. *Energy and Buildings* 36, 1287–1297.
38. Zeng Y, Klabjan D, Arinez J.(2005). Distributed solar renewable generation: option contracts with renewable energy credit uncertainty. *Energ Econ* 2015;48: 295e305.
39. Zarzalejo, L.F., J. Polo, L. Martin, L. Ramirez and B. Espinar. (2009). A new statistical approach for deriving global solar radiation from satellite images. *Solar Energy* 83: 480–484.