Archive of SID

طراحی ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک در شهر تهران[1]

راحیل وفائی[2]

کلیدواژگان: انرژی خورشیدی، سیستم‌های فتوولتاییک، ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک، شهر تهران.

چکیده

بـا توجه به عـوارض مصـرف انرژی‌هـای فسـیلی و آلودگی‌های زیست‌محیطی، کشـور ایران نیز همچون دیگر کشـورها به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر روی آورده است. در میان منابع تجدیدپذیر، استفاده از انرژی خورشیدی توسعهٔ بیشتری یافته است. پرکاربردترین و رایج‌ترین شیوهٔ استفاده از انرژی خورشیدی، به کار بردن سیستم‌های فتوولتاییک در معماری و از جمله ترکیب این سیسـتم با ساختمان به صورت «ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک» است.

بـا توجه به پیشـرفت سیسـتم‌های فتوولتاییک در معمـاری و روند رو بـه رشـد آنها در سراسـر دنیا و بـا توجه به نیاز کشـور ما به این مقوله، در مقالهٔ حاضر عواملی که در طراحی این سـاختمان‌ها مطرح می‌شـود، بررسی شـده و در پایان راهکارهای مورد نیاز برای طراحی ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک در شهر تهران ارائه شده است. ملاک انتخاب شـیوه‌های طراحی، عواملی اسـت که در شـهر تهران بر طراحی این نوع سـاختمان‌ها تأثیر می‌گذارد. همچنین با استفاده از تحلیل آمار اقلیمی شهر تهران، آمار تابش خورشید، نمودارهای تابش، زوایای تابش خورشید در طول سال، و... و بر اساس اهداف این مقاله پیشنهادهایی برای ساختن سـاختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک ارائه شده است که می‌تواند در فرآیند طراحی راهگشـای طراحان و معماران باشد. متخصصان رشته‌های مختلف درگیر با پروژهٔ ساختمانی نیز می‌توانند از نتایج و راهکارهای این مقاله بهره‌مند شوند.

مقدمه

با توجه به اینکه مصرف برق در ایران هر سـال رو به افزایش اسـت و مقـدار زیادی از انرژی کشـور در بخش سـاختمان به صورت برق (روشـنایی، سـرمایش، گرمایش و...) استفاده می‌شـود و نیز با توجه بـه نیـاز روزافزون به منابع انرژی و کم شـدن منابع انرژی فسـیلی و آب سـدها، محدودیت‌های برق‌رسـانی و تأمین سوخت برای نقاط دورافتـاده، و توجه به کاهش آلودگی هوا، از این‌رو اسـتفاده از انرژی خورشـیدی برای تولید بـرق در ایران که تابش نور خورشـید در آن قدرت و توان مطلوب دارد[3] و از مناطق بسـیار مستعد برای بهره‌گیری از انرژی خورشیدی است، امری ضروری به نظر می‌رسد.

۱. ایـن مقالـه برگرفتـه از پایان‌نامهٔ نویسنده اسـت با عنوان *سیستم‌های فتوولتاییـک در ترکیـب بـا معماری (ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک BIPV)*، که در رشـتهٔ کارشناسی ارشد معماری با راهنمایی منصوره طاهباز، شـهریور ۱۳۸۸ در دانشکدهٔ معماری و شهرسازی دانشـگاه شهید بهشتی دفاع شده است.

۲. دانشـجوی دکتـرای معمـاری دانشگاه شهید بهشتی؛
rahilvafaei@yahoo.com

۳. در بسـیاری نقاط سـرزمین ایران تابـش خورشـید بـه طور متوسـط ۳۰۰۰ سـاعت آفتابی در سـال است که بسـیار قابل توجه است (علی‌اکبر نوشین، *شناخت و کاربرد انواع انرژی (پیشـنهادی نـو برای تأمیـن انرژی انسانها)*، ص ۲۳۵.

www.SID.ir

Archive of SID

پرسش‌های تحقیق

۱. دلایل نیاز به استفاده از فتوولتاییک‌ها در شهر تهران چیست؟

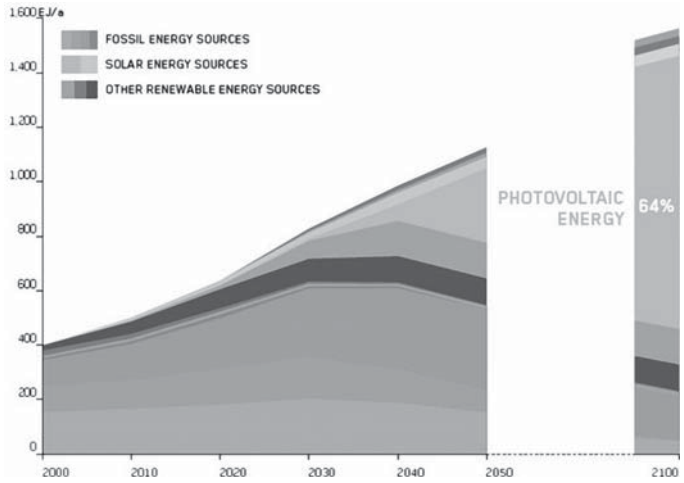
۲. چه عواملی بر به کارگیری فتوولتاییک‌ها در شهر تهران و در ترکیب آن با ساختمان تأثیر می‌گذارند؟

۳. شیوه‌های طراحی بومی «ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک» در شهر تهران کدام اند؟

یکی از بهترین شیوه‌های استفاده از انرژی خورشیدی فتوولتاییک‌ها هستند. با توجه به نمودار مسیر انرژی‌ها (ت ۱) که منابع انرژی فسیلی، منابع انرژی خورشیدی و دیگر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر را تا سال ۲۱۰۰م نشان می‌دهد، منابع انرژی خورشیدی سهم عظیمی دارند. بر اساس این بردار از سال ۲۰۵۰ تا ۲۱۰۰م انرژی فتوولتاییک‌ها یک شکاف بزرگ در میان منابع ایجاد کرده و برآورد شده که تا سال ۲۱۰۰م، ۶۴% انرژی از فتوولتاییک‌ها تأمین خواهد شد.

با آنکه فتوولتاییک‌ها کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف دارند، امروزه استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک بیشتر در بخش معماری و صنعت ساختمان است. با پیشرفت فن‌آوری و لزوم صرفه‌جویی در مصرف انرژی، دنیای امروز به سمت یکپارچه کردن هرچه بیشتر فتوولتاییک‌ها با معماری (برای تولید برق) پیش می‌رود و نمونه‌های فراوانی از این دست در کشورهای مختلف مشاهده می‌شود که روزبه‌روز رو به پیشرفت است؛ به عبارتی فتوولتاییک‌ها به عنوان سازمایه (عنصر) ساختمانی یا مصالح با بنا ترکیب می‌شوند و علاوه بر مزایایی که خودشان به‌تنهایی دارند، در ترکیب با معماری فواید آنها چندین برابر می‌شود و دیگر فقط تولیدکنندهٔ انرژی نخواهند بود.

در این مقاله نخست پتانسیل‌های ایران و شهر تهران به همراه امکانات و وضعیت آن و نیازها و مشکلاتی که پیش روست بحث می‌شود، سپس با



ت۱. نمودار مسیر انرژی‌ها از ۲۱۰۰ـ۲۰۵۰م.
http://www.sapa-solar.com/photovoltaics-solution.html. Accessed Jul, 2009.

www.SID.ir

Archive of SID

توجه به امکان‌سنجی شـهر تهران به عنوان نمونهٔ مطالعه‌شده، شـیوه‌های طراحی «سـاختمان‌های یکپارچه بـا فتوولتاییک» (BIPV)[۴] بومـی در این شـهر معرفی و در نهایت پیشـنهادهای لازم ارائه شده است.

۱. امکان‌سنجی استفاده از BIPV در تهران

در ایـران منابـع نفت و گاز به عنوان انـرژی اولیه، تأمین‌کنندهٔ سـوخت مورد نیاز برای تولید برق هستند و فقط بخش کوچکی از نیـروی بـرق با بهره‌گیـری از منابع تجدیدپذیـر و برق آبی تولید می‌شـود. ایران اکنون از مشکل تأمین انرژی فارغ نیست و به‌زودی دچار بحران انرژی خواهد شـد. کلان‌شـهر تهران با جمعیت بسـیار و انبوه ساختمان‌ها بیشترین مصرف‌کنندهٔ انرژی در ایـران اسـت. بنا بر این جـز با افزایش تولید بـرق و اِعمال مدیریت انرژی در بخش سـاختمان نمی‌توان پاسـخگوی این تقاضای روزافزون بود.

از جملـه راهکارهـا در این زمینه اسـتفاده از نور خورشـید برای تأمین برق سـاختمان توسط فتوولتاییک‌ها است و امروزه معماران به‌سـرعت به سـمت ترکیب کردن فتوولتاییک‌ها با بنا و جایگزینی آنها با مصالح سـاختمانی پیش می‌روند که یکی از سریع‌ترین بخش‌های رشد صنعت ساختمان است و این تکنیک کاربردی در اروپا و آمریکا به خوبی شـناخته شـده اسـت و از سوی طرفداران محیط زیست پشتیبانی می‌شود. صنعت استفاده از سیسـتم‌های فتوولتاییک یکپارچه با سـاختمان، چند سـالی اسـت که در کشورهای مختلف جهان مثل ژاپن، آلمان، آمریکا، استرالیا، سـوئیس، هلند، سوئد، و... توسـعهٔ چشمگیری یافته و این کشورها درصدد یافتن راه‌حل‌های مبتکرانه برای تولید برق توسـط آن در بخش ساختمان هستند. اما در ایران هنوز اقدامی در زمینهٔ «ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک» انجام نگرفته و آشـنایی کافی با چگونگی طراحـی و ترکیب فتوولتاییک‌ها با بنا وجود ندارد.

البته شاید در ذهن بسـیاری از طراحان این سؤالات مطرح شود که:

- اگر بخواهیم از این فن‌آوری در ساختمان‌های کشورمان اسـتفاده کنیم، فتوولتاییک‌ها را باید از کجا تهیه کنیم و آیا در ایران چنین محصولی وجود دارد؟
- آیـا در ایران امکانات سـاخت و تولیـد فتوولتاییک‌ها و پشتیبانی آنها وجود دارد؟
- در صـورت وجـود فتوولتاییک‌ها در ایـران، آیا می‌توان بـا توجه به طرح معماری سـاخت محصول خاصی را به کارخانهٔ سازنده سفارش داد؟

خوشـبختانه در کشـورمان چنین توانایی‌ای وجـود دارد و شـرکت «فیبر نوری و برق خورشـیدی هدایت نور»[۵] در تهران یگانـه سـازندهٔ پنل‌هـای فتوولتاییک در ایران اسـت که کلیهٔ محصولات آن از کیفیت و بازدهی بالایی برخوردار است و قابل رقابت با محصولات مشابه ساخته‌شده توسط کشورهای اروپایی و آمریکایی است.

در بارهٔ مسـائل اقتصادی این سیستم باید گفت که بیشترین مخـارج، مربـوط به هزینه‌هـای اولیهٔ تولید آن اسـت. با توجه به کاربـرد فتوولتاییک‌هـا در معماری به عنـوان اجزای اصلی سـاختمانی و جایگزینی آن با مصالح بنـا و چندعملکرده بودن آن، اسـتفاده از این سیستم‌ها آرام‌آرام اقتصادی‌تر شده و با روند روبه رشـدی کـه دارد در آینده‌ای نزدیک قیمـت برق تولیدی فتوولتاییک‌ها به کمتر از قیمت برق شبکهٔ شهری خواهد رسید و زمانی که نفت و برق ما قیمت واقعی خود را پیدا کنند و استفاده از برق فتوولتاییک هزینه‌ای معادل برق شبکه سراسری در یک ماه داشته باشد، انرژی خورشیدی و فتوولتاییک اقتصادی خواهد شد.

یکی از مؤلفه‌های هر مکان برای اسـتفاده از فتوولتاییک‌ها وضعیت تابش آفتاب آن اسـت. به همین منظور شـهر تهران از نظر تابش آفتاب با برخی شهرهای اروپایی مقایسه شده است.

4. BIPV (Building Integrated Photovoltaic).

۵. بـرای اطلاعـات بیشـتر، نـک: http://www.sgccir.com/sg (سـایت اینترنتی شرکت فیبر نوری و برق خورشیدی هدایت نور).

www.SID.ir

Archive of SID

وضعیت تابش آفتاب در ایران، و آسمان تهران

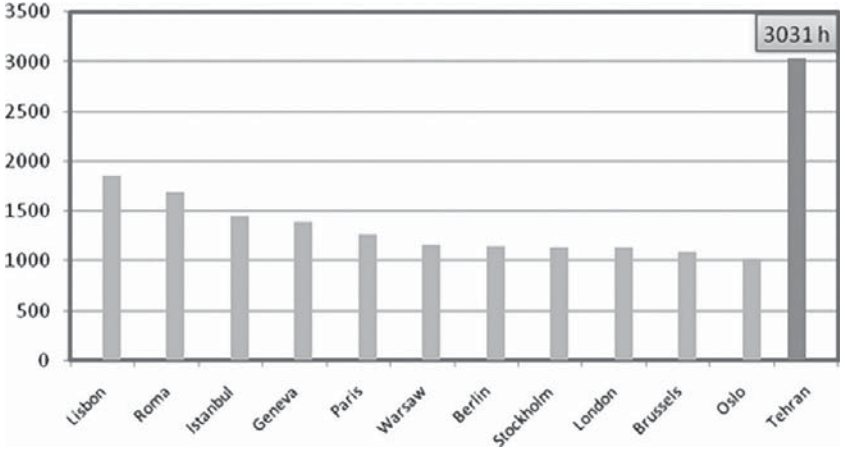
کشـور ایران بین عـرض جغرافیایـی ۲۵° و ۱۰' تا ۳۹° و ۲۵' شمالی قرار گرفته، در حالی که کشورهای اروپایی بین عرض‌های جغرافیایـی حدود ۴۰° تا ۷۰°، ایالات متحدهٔ آمریکا بین عرض ۳۰° تا ۵۰° و کانادا بین عرض ۵۰° تا ۷۰° واقع شده اند. ایران با قرار گرفتن میان این عرض جغرافیایی به خط استوا نزدیک‌تر اسـت و همان‌طور که می‌دانیم در نواحی نزدیک به استوا، پرتو خورشـید بر سطح زمین عمودتر و در نواحی نزدیک به دو قطب پرتو خورشـید مایل‌تر اسـت. بنا بر این ایـران به لحاظ دریافت انرژی خورشـید توان و امکان بیشـتری نسـبت به کشورهای اروپایی و آمریکایی دارد، اما با این حال این کشـورهای اروپایی و آمریکایی هسـتند که نمونه‌های بسـیار زیادی از یکپارچگی فتوولتاییک‌ها با ساختمان در آنها وجود دارد و این روند همچنان رو به افزایش است.

طبق نمودار «ت ۲» تعداد ساعات آفتابی در اغلب شهرهای اروپایی حدود ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ سـاعت در سال است در صورتی که جمع سـاعات آفتابی تهران در سـال ۳۰۳۱ سـاعت است و در مقایسـه مشخص می‌شود که سـاعات آفتابی تهران ۲ تا ۳ برابر سـاعات آفتابی شـهرهای اروپایی اسـت که تفاوت بسیار چشـمگیری را نشـان می‌دهد. با این حال در همین شـهرهای اروپایی ـ با تعداد ساعات آفتابی کم ـ تعداد زیادی ساختمان‌های یکپارچه بـا فتوولتاییک وجود دارد که نمونه‌های بسـیار خوب به کارگیری این سیسـتم در دنیا هسـتند. کشور ایران به جهت داشـتن شهرهای با بیش از ۳۰۰۰ ساعت آفتابی در سال سرشار از انرژی خورشـیدی اسـت و فقط نیازمند یک برنامه‌ریزی ملی برای استفاده از این انرژی است.

بـا توجه به اینکه رویکـرد به فتوولتاییک‌هـا در دنیا رو به رشـد و موفقیت‌آمیـز بـوده و از نظر علمی و اقتصـادی موجه اسـت در کشـورهای مختلف به فراوانی به کار گرفته می‌شود. با وجود نیاز به اسـتفاده از انرژی خورشیدی برای تولید برق در کلان‌شهر تهران و امکان تولید پنل‌های فتوولتاییک با توان بالا در این شـهر، زمینه‌های بومی کـردن ضوابط طراحی و طراحی سـاختمان‌های BIPV یکی از برنامه‌هایی است که می‌باید به‌جد دنبال شـود تا در ایران نیز همگام و همراه با دیگر کشـورها در صـورت بروز بحران انرژی، برای تأمین بخشـی از انرژی مورد نیاز کشور بتوان از سیستم‌های فتوولتاییک به عنوان جایگزینی مطمئن استفاده کرد.

بـه همین منظـور در ادامه نیازهای کلـی طراحی BIPVها معرفی و سـپس شـیوه‌های طراحـی بومی بـرای به‌کارگیری سـاختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک در شهر تهران بررسی و ارائه می‌شود.

ت۲. نمودار مقایسه ساعات آفتابی تهران با شهرهای اروپایی
مأخـذ: نگارنـده، بر اسـاس آمار پایگاه اینترنتی http://www.sapa-solar.com/sun-hours-european-city.html. Accessed Jul, 2009.



۲. معرفی نیازهای طراحی BIPV

به منظور یکپارچگی صحیح فتوولتاییک‌ها با سـاختمان می‌باید آنها را از ابتدای فرآیند طراحی به عنوان بخشی از طرح‌مایه‌های اولیهٔ سـاختمان و مطابق بـا طرح معمار در نظـر گرفت. برای رسـیدن به این هدف، لازم اسـت به مسـائل مختلف مرتبط با فتوولتاییک‌ها و سـاختمان، و همچنین تأثیـری که بر یکدیگر می‌گذارند در طول طراحی پرداخت؛ زیرا زمانی که فتوولتاییک‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

با ساختمان ترکیب می‌شوند علاوه بر تولید الکتریسیته، با نما، بام، فضای پشت‌شان، عناصر و سیستم‌های دیگر، و حتی محیط پیرامون ساختمان نیز مرتبط هستند. بنابراین ضروری است که این موضوع در فرآیند طراحی از جنبه‌های مختلف بررسی و برای هر کدام راهکاری مناسب و هماهنگ با دیگر عوامل سنجیده شود.

برخی از نیازهای طراحی BIPVها کلی هستند یعنی می‌توانند در همه‌جا یکسان مطرح شوند و طراحان و مهندسان ساختمان با دانستن اصول و ضوابط و راهکارهای آنها می‌توانند در هر مکانی با توجه به نوع طرح و مسائل مربوطه، راه حلی برای آن بخش از فرآیند طراحی BIPV ارائه دهند. اما برخی دیگر از نیازهای طراحی این ساختمان‌ها می‌باید برای شهر مورد نظر بومی شوند و به طور خاص با اطلاعات و شرایط آن مکان هماهنگ شوند. در این قسمت ابتدا نیازهای طراحی BIPVها کوتاه معرفی می‌شود:[۶]

۱. تأثیر عوامل اقلیمی بر پنل‌های فتوولتاییک؛
۲. تعیین جهت و شیب بهینهٔ پنل‌های فتوولتاییک؛
۳. تأثیر سایه‌اندازها بر چیدمان و ترکیب و فاصلهٔ پنل‌های فتوولتاییک که شامل سایه‌اندازی خود ساختمان، همسایگی‌ها و موانع، سایه‌اندازی درختان، سایه‌اندازی آسمان ابری، و سایه‌اندازی آلودگی‌ها می‌شود؛
۴. هماهنگی میان سیستم‌های فتوولتاییک با سیستم‌های غیرفعال خورشیدی در ساختمان BIPV؛
۵. تهویهٔ سیستم‌های فتوولتاییک یکپارچه با ساختمان؛
۶. شیوه‌های ترکیب سیستم‌های فتوولتاییک با ساختمان که در این ترکیب فتوولتاییک‌ها می‌توانند با بام، پنجره‌های سقفی و آتریوم‌ها، نما و عناصر آن، و سایبان‌ها یکپارچه شوند؛
۷. جایگزینی فتوولتاییک‌ها با مصالح ساختمانی متداول؛
۸. تأثیر ریخت پلان ساختمان بر نیروی سیستم فتوولتاییک؛
۹. تأثیر شیب دیوار نمای ساختمان بر نیروی سیستم فتوولتاییک؛
۱۰. تعیین نوع و توان سیستم فتوولتاییک یکپارچه با ساختمان؛
۱۱. تأثیر نیاز به سرمایش یا گرمایش بر زاویهٔ شیب پنل‌های فتوولتاییک؛
۱۲. تأثیر عملکرد ساختمان بر مکان و زاویهٔ شیب پنل‌های فتوولتاییک؛
۱۳. هماهنگی میان معمار و دیگر مهندسان دست اندر کار طرح ساختمان BIPV.

۳. شیوه‌های بومی طراحی ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک در تهران

همان‌طور که گفته شد هدف این مقاله ارائهٔ راهکار برای عواملی است که در فرآیند طراحی چنین ساختمان‌هایی تأثیرگذار اند. به همین جهت در ادامه، روش‌های طراحی «ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک» در شهر تهران متناسب با نیازهای بومی آن به تفصیل بررسی و پیشنهادها و راهکارهای لازم ارائه شده است.

۳. ۱. تأثیر عوامل اقلیمی

عوامل اقلیمی و جغرافیایی بر میزان تولید نیروی فتوولتاییک‌ها تأثیرگذار اند. این عوامل ممکن است باعث افزایش خروجی سیستم یا حتی کاهش آن شوند. بنا بر این زمانی که فتوولتاییک‌ها در ترکیب با ساختمانی هستند، باید تأثیر مسائل اقلیمی مربوط به معماری در این سیستم‌ها را نیز پیش‌بینی کرد تا بتوان به نتیجهٔ مطلوب رسید. بدین منظور برای دست‌یابی به راهکارهای طراحی BIPVها، ابتدا برخی ویژگی‌های اقلیمی شهر تهران[۷] که به استفاده از فتوولتاییک‌ها مربوط است، بررسی خواهد شد.

۶. برای اطلاعات بیشتر نک: وفائی، راحیل. «بررسی شیوه‌های طراحی ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک»، در صفه، ش ۴۹ (پاییز و زمستان ۱۳۸۸)، ص ۶۹ ـ ۸۰.

۷. شهر تهران در عرض جغرافیایی ۳۵° و ′۴۴ شمالی و طول جغرافیایی ۵۱° و ′۳۰ شرقی در اقلیم گرم و خشک ایران واقع شده است. در این مقاله آمار و اطلاعات ایستگاه هواشناسی مهرآباد از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ مبنا قرار گرفته است. عرض جغرافیایی ایستگاه مهرآباد ۳۵° و ′۴۱ شمالی و طول جغرافیایی آن ۵۱° و ′۱۹ شرقی و ارتفاع ۱۱۹۰/۸ متر از سطح دریاست.

www.SID.ir

Archive of SID

دمـای محیـط تأثیر بسـیار زیادی بـر بازدۀ سیسـتم‌های فتوولتاییـک دارد، به طوری که با افزایش حـرارت قدرت تولید سلول کاهش یافته و با کاهش حرارت ولتاژ افزایش می‌یابد. یعنی به ازای هر ۱ درجه افزایش دمای سلول در دماهای بالاتر از ۲۵ درجه، انرژی تولیدی در حدود ۰/۵ ـ ۰/۴ درصد کاهش می‌یابد.[۸]

در شهر تهران در ماه‌های گرم به‌خصوص در ساعات ظهر، دمای هوا به بالای ۲۵ درجه می‌رسد و این دما بازدهی فتوولتاییک‌ها را کاهش می‌دهد که لازم است طراح با تدابیر مناسب برای بر طرف کردن گرمای پنل‌ها و پایین آوردن دمای آنها تلاش کند و با تهویۀ طبیعی یا مکانیکی بازده سیستم را افزایش دهد.

راهـکار: در سیسـتم‌های نما به صورت دولایه، با ایجاد بازشـو می‌توان از باد و تهویۀ طبیعی در سـاختمان برای تهویۀ پشـت پنل‌های فتوولتاییک اسـتفاده کرد و بدین وسیله بازدهی آنها را افزایش داد.

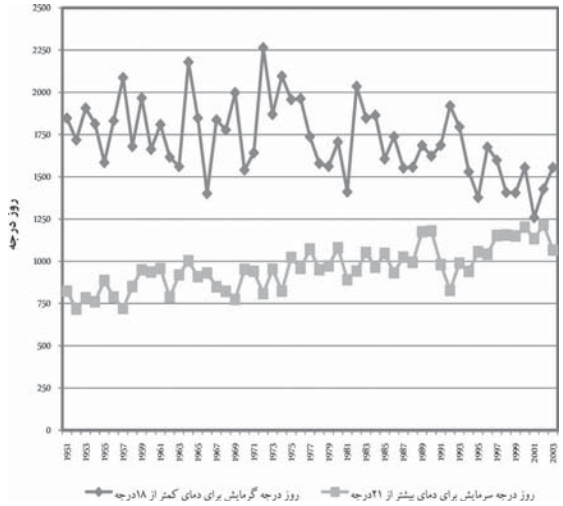
در سیسـتم‌های بام شیب‌دار می‌توان با ایجاد دریچۀ زیر لبۀ بـام و روی بام، امکان عبور جریان هوا از پشـت فتوولتاییک‌ها را ایجاد کرد.

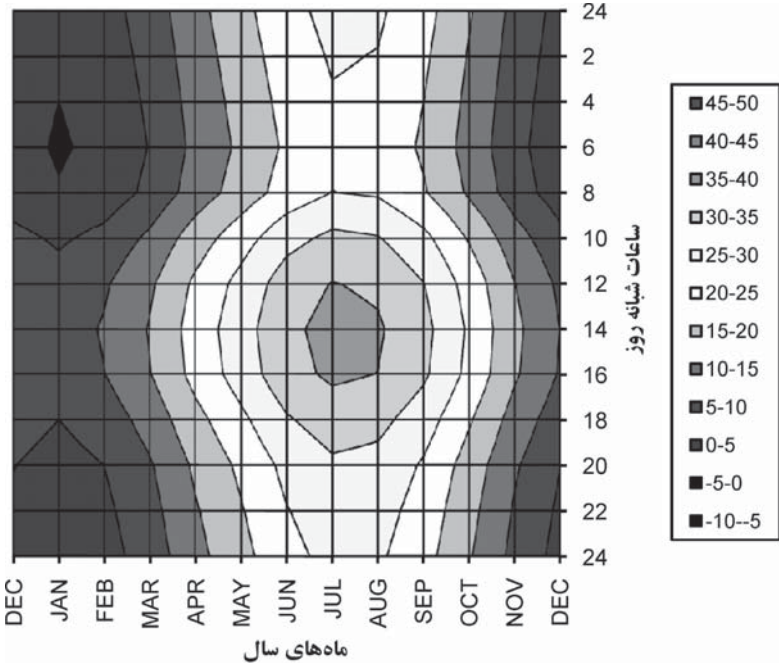
البته طراح هنرمنـد و باتجربه می‌تواند طول فرآیند طراحی راهکارهای دیگـری که هماهنگ با دیگر عوامل باشـند، ارائه کند.

طبق نمودار روز- درجۀ سـرمایش و گرمایش (ت ۳) متوجه می‌شـویم که در سـال‌های گذشـته در تهران نیاز به گرمایش بیشـتر بوده، اما در سـال‌های اخیر روز-درجـه گرمایش رو به کاهش و روزدرجه سـرمایش رو به افزایش اسـت. بنابراین باید نیاز به سرمایش مورد توجه قرار گیرد و برای ماه‌های گرم تدابیر مناسبی اندیشیده شود.

با توجه به نیاز بیشـتر برق در این ماه‌ها این مسئله می‌تواند روی طراحی و شـیب پنل‌های فتوولتاییـک تأثیر بگذارد که در ادامه بررسی می‌شود.

نمودار «ت ۴» نشـان می‌دهد که در سـال‌های اخیر حدود ۲۰- ۲۵ روز در سـال، گرد و غبار در آسمان تهران وجود داشته اسـت و از آنجایی که گرد و غبار می‌تواند بازدهی سـلول‌های





8. Thomas, R. and M. Fordham. "*Photovoltaics and Artitecture*", p.14.

ت ۳. (راسـت) تقویم نیاز اقلیمی شهر تهران، بر اساس دما[۹] (مأخذ: نگارنده، بر پایۀ برنامۀ تهیه‌شـده توسط منصوره طاهباز).

ت ۴. (چپ) نمـودار تغییرات روز ـ درجه سرمایش و گرمایش شهر تهران (مأخذ: همان).

www.SID.ir

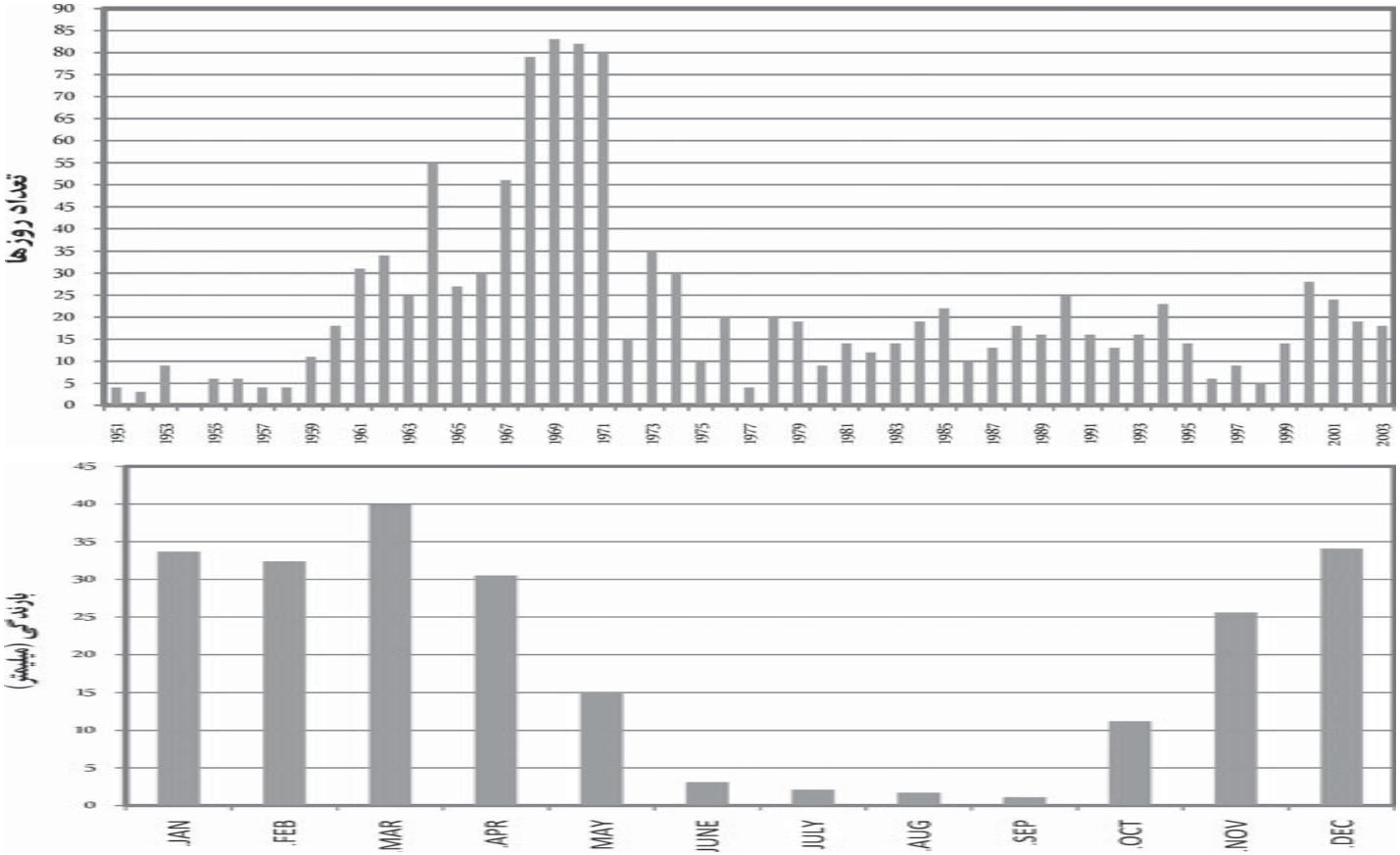
Archive of SID

فتوولتاییـک را کاهش دهد، این کاهش مقدار تولید سیسـتم بر اثر جمع شدن گرد و غبار بر روی سلول‌ها باید در طراحی لحاظ شود و چنانچه میزان آن زیاد باشد باید برای تمیز کردن دوره‌ای آنها چاره‌ای اندیشید.

پیشنهاد: لازم است فتوولتاییک‌ها در فواصل منظم شسته شوند بنابراین در ساختمان BIPV باید تدابیر لازم برای شستشوی سیستم، مثل جرثقیل نفربر یا نردبان، پیش‌بینی شود. همچنین از بارندگی در این روزها نیز می‌توان استفاده کرد؛ البته بارندگی بدون آلودگی.

با توجـه به اینکه بیشـترین میـزان بارندگی‌هـای تهران (بارندگـی بیش از ۲۵ میلی‌متر) در روزهای سـرد سـال بوده و در این ماه‌ها احتمال یخبندان وجود دارد، باید در طراحی شـیب پنل‌های فتوولتاییک دقت شـود تا روی سیستم آب جمع نشود، زیـرا کارآیی آن را پایین آورده و در صورت یخ بسـتن عملکرد سیستم را مختل می‌کند.

در طراحی ساختمان‌های BIPV باید برای وضعیت ساختمان در ایـن ماه‌هـا دقت بسـیار کـرد و راهکارهای مناسـب برای جلوگیری از جمع شـدن آب و برف روی سیستم و در نتیجه بر طرف کردن یخزدگی انجام شود.



ت ۵. (بـالا) نمودار مجموع سـالیانهٔ تعـداد روزهای همراه بـا گرد و غبار شهر تهران (مأخذ: همان).
ت ۶. (پاییـن) نمـودار بارندگـی ماهیانهٔ شهر تهران (مأخذ: همان).

www.SID.ir

Archive of SID

۳. ۲. تعیین جهت و شیب بهینه پنل‌های فتوولتاییک در تهران

بـازده نیروی سیسـتم فتوولتاییـک رابطهٔ مسـتقیمی با میزان دریافت انرژی خورشید دارد. از طرفی این بازده به جهت و شیب پنل‌های مستقرشـده نیز بستگی دارد و در نتیجه جهت‌گیری و شیب پنل‌های فتوولتاییک متأثر از میزان دریافت انرژی خورشید است.

یکـی از روش‌هایی که امروزه در دنیـا برای تعیین جهت و شـیب بهینهٔ پنل‌های فتوولتاییک در هر مکان استفاده می‌شود، نمودار تابش[۱۰] اسـت که در آن با استفاده از آمار موجود از تابش دریافتی خورشـید، میزان تابش بر کلیهٔ سـطوح افقی و عمودی در جهت‌ها و شیب‌های مختلف در این نمودار ترسیم می‌شود.

پیش از تعیین جهت و شـیب بهینهٔ پنل‌های فتوولتاییک از روی نمودارهای تابش در تهران، نخست با استفاده از اطلاعات و آمار هواشناسـی مربوط به تابش ماهیانه و سالیانه و بر اساس نمودار میانگین سـالانه تابش دریافتی از خورشید در سطح افقی (بام) و جبهه‌های دیگر ساختمان با شیب‌های مختلف[۱۱] می‌توان تشـخیص داد که کدام جبهه‌ها از سـاختمان برای اسـتفاده از فتوولتاییک‌ها مناسب‌تر خواهند بود.

طبـق نمودار «ت ۷» در صورتی که بخواهیم فتوولتاییک‌ها را با دیوارهای قائم نما ترکیب کنیم، جبههٔ رو به جنوب وضعیت بهتری از لحاظ دریافت تابش خورشـید دارد. اما اگر در طراحی سـاختمان امـکان سـاخت دیوار شـیب‌دار (با توجه بـه اجرا و هزینه‌های سـاخت و...) وجود داشته باشد، دیوار رو به جنوب با شیب ۶۰ درجه رو به آسمان (۳۰ درجه نسبت به افق) بیشترین مقدار تابش را دریافت می‌کند.

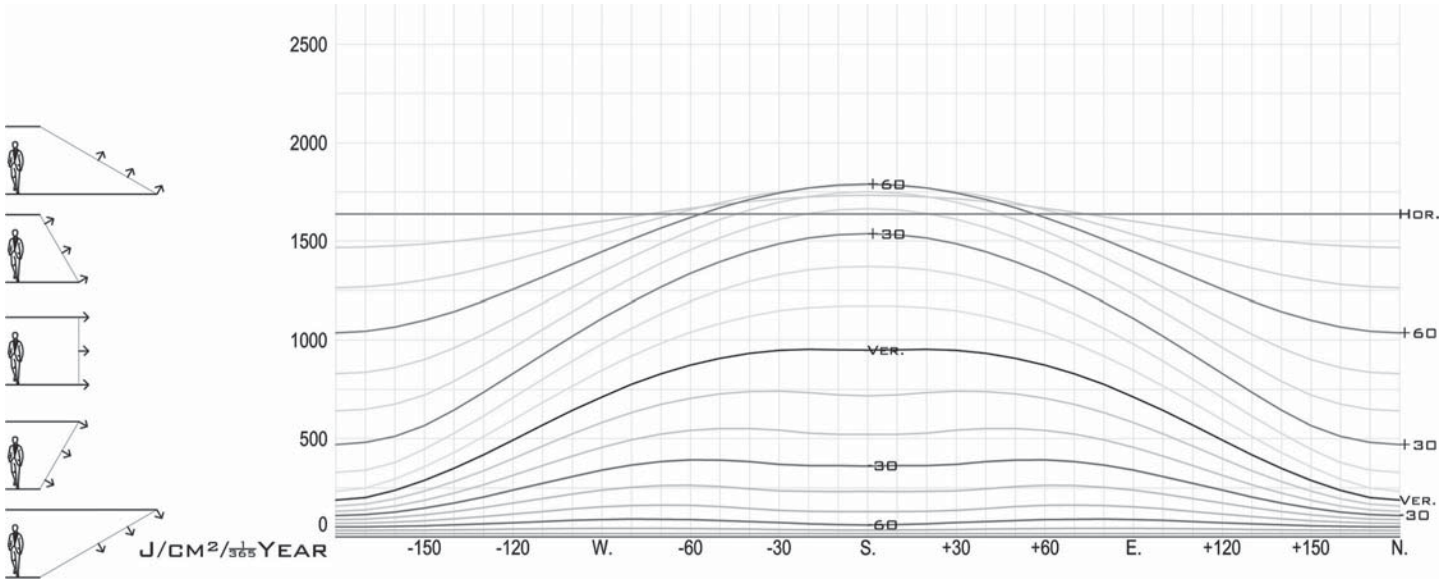
در رویکرد غیر فعال خورشیدی شیب‌های منفی (رو به زمین) برای دیوار مناسب هستند. زیرا از خورشید زمستان بهره می‌برند و در تابستان سایه‌دار خواهند بود، اما وقتی بخواهیم ساختمان را با رویکرد فعال طراحی کنیم، شیب‌های منفی دیگر اثری ندارند و می‌باید از شـیب‌های مثبت رو به آسـمان و یا حداقل از دیوار قائم استفاده کرد و مسائل و مشکلاتی را که در اثر رویکرد غیر

۹. بـرای اطلاعـات بیشـتر دربـارهٔ نمودارهـای اقلیمـی، نـک: طاهباز، منصـوره. «روش تحلیـل آمـار هواشناسـی بـرای طراحـی معماری همساز با اقلیم». در *هنرهای زیبا*، ش ۳۸ (تابستان ۱۳۸۸)، ص ۷۲ـ ۶۱.

10. Solar disk.

۱۱. نـک: صمیمی، مجتبی. از مهر تا مهراز (برآورد شـدت تابـش آفتاب و میزان مهر و قهر آن بر روی ←

ت ۷. نمودار میزان تابش سـالانهٔ دریافتی در هر یک از سـمت‌ها و شـیب‌ها برای شهر تهران (مأخذ: صمیمی، مجتبی. *از مهر تا مهراز*، ص ۱۴ پیوست).



www.SID.ir

Archive of SID

فعال خورشـیدی ساختمان پیش می‌آید با تدابیر مناسب طراحی حل کرد تا هم سـاختمان از نیروی برق فتوولتاییک‌ها اسـتفاده کند و هم شرایط آسایش حرارتی داخل ساختمان فراهم شود.

با توجه به مسـیر حرکت خورشـید در آسـمان (از شرق به غـرب) و زاویه‌ای که با سـطح افق می‌سـازد، در شـهر تهران جبهه‌های قائم رو به شـمال تابـش ناچیزی را دریافت می‌کنند که این تابش مسـتقیم نیست و در حالتی که شیب مثبت رو به آسـمان داشته باشند، هرچه این شیب بیشتر شود میزان دریافت آنها نیز بیشـتر خواهد بود تا جایی که جبهۀ شمالی با شیب ۶۰ درجه رو به آسـمان، همانند جبهۀ شرقی یا غربی با زاویۀ شیب ۳۰ درجـه روبه آسـمان، انرژی دریافت می‌کنـد و این مقدار از دریافت تابش جبهۀ جنوب در حالت قائم نیز بیشتر است!

دیوار رو به جنوب با شـیب ۴۵ درجـه تقریباً همانند (کمی بیشـتر از) سـطح افقی بام تابش دریافت می‌کنـد، وقتی چنین حالتی وجود دارد، دیوار شـیب‌دار در بعضی موارد مزیت‌هایی بر بام دارد؛ مثلاً در مواقع برف و باران سـطح افق انباشـته از آب و برف می‌شـود در حالی که دیوار شـیب‌دار چنین نیست. اما در مقابل بام نیز مزیت‌هایی بر دیوار شـیب‌دار دارد؛ از جمله مسائل محدودیت فضای داخل، اجرای ساختمان، و... را ندارد.

راهکار: شـیوه‌های مختلفی در این زمینه وجود دارد که بسته به انتخاب طراح استفاده می‌شود، مانند:

دیوار شیب‌دار نما، سایبان‌های شیب‌دار به گونه‌ای که روی هم سـایه نیندازند، سـایبان‌های خورشـیدی روی دیوار نما که به صورت پله‌ای هسـتند، بام شـیب‌دار (با زاویۀ ۶۰ درجه روبه آسمان) که ممکن است نسـبت به دیوار شیب‌دار گزینه بهتری باشد، و نورگیرهای شیب‌دار روی بام.

به طور کلی بر اساس نمودار «ت ۷» می‌توان گفت دریافت تابش روی سطح افق از تمام جبهه‌ها با شیب‌های مختلف بیشتر اسـت به جز جبهه‌های رو به جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب در صورتی که با شـیب ۴۵- ۶۰ درجه رو به آسـمان باشند. اما همان‌طور که ذکر شـد ترکیب فتوولتاییک‌ها با بام مشکلاتی را همـراه دارد. با توجه به اقلیم تهران که در آذر و دی ماه شـاهد برف و یخبندان اسـت و همین‌طور از آن‌جا که تابش روی این سـطح به جهت مایل بودن زاویۀ خورشـید بسیار کم است، این بـرف و یخبندان ادامه می‌یابد و مانـع از عملکرد فتوولتاییک‌ها می‌شود.

با تحلیل نمودارهای تابش ماهیانه و سـالیانه در شهر تهران می‌تـوان به تعیین جهت و شـیب بهینه پنل‌هـای فتوولتاییک دست یافت.

۳. ۲. ۱. نمودارهای تابش شهر تهران[۱۲]

نمودارهای تابش برای هر مکان متفاوت هسـتند و باید جداگانه ترسـیم شوند. در کشورهای مختلفی که ساختمان‌های یکپارچه بـا فتوولتاییک طراحی و سـاخته شـده، این نمودارها ترسـیم شـده و موجود هسـتند. بـه همین منظور بـرای طراحی چنین ساختمان‌هایی در شـهر تهران نیاز بود که چنین نمودارهایی با اسـتفاده از الگوهای موجود تهیه و از نمونۀ بومی آنها اسـتفاده شود.

در «ت ۸» مشـاهده می‌شـود که در همـۀ نمودارها جهت بهینـۀ قرارگیری فتوولتاییک‌ها به سـمت جنوب (با کمی زاویۀ انحراف رو به شـرق یا غرب) اسـت و اما برای هر ماه می‌توان جداگانه یک محدوده یا دقیقاً یک زاویۀ شـیب بهینه تعیین کرد که این حالت برای سیسـتم‌هایی که متحرک هسـتند، کاربرد دارد. در صورتی که اسـتفاده از این سیسـتم در ماه‌های خاصی (به صورت فصلی) مورد نیاز باشـد، بهتر است که از نمودارهای ماهیانه استفاده شود و جهت و شیب بهینه برای حداکثر بازدهی از روی این نمودارها تعیین شود.

می‌دانیم که تابش خورشـید در تابسـتان به هنگام ظهر در بیشـترین مقدار سـالانۀ آن قرار دارد اما به خاطر زاویۀ بسـیار مایلی که نسـبت به جبهـۀ جنوب در این هنـگام پیدا می‌کند،

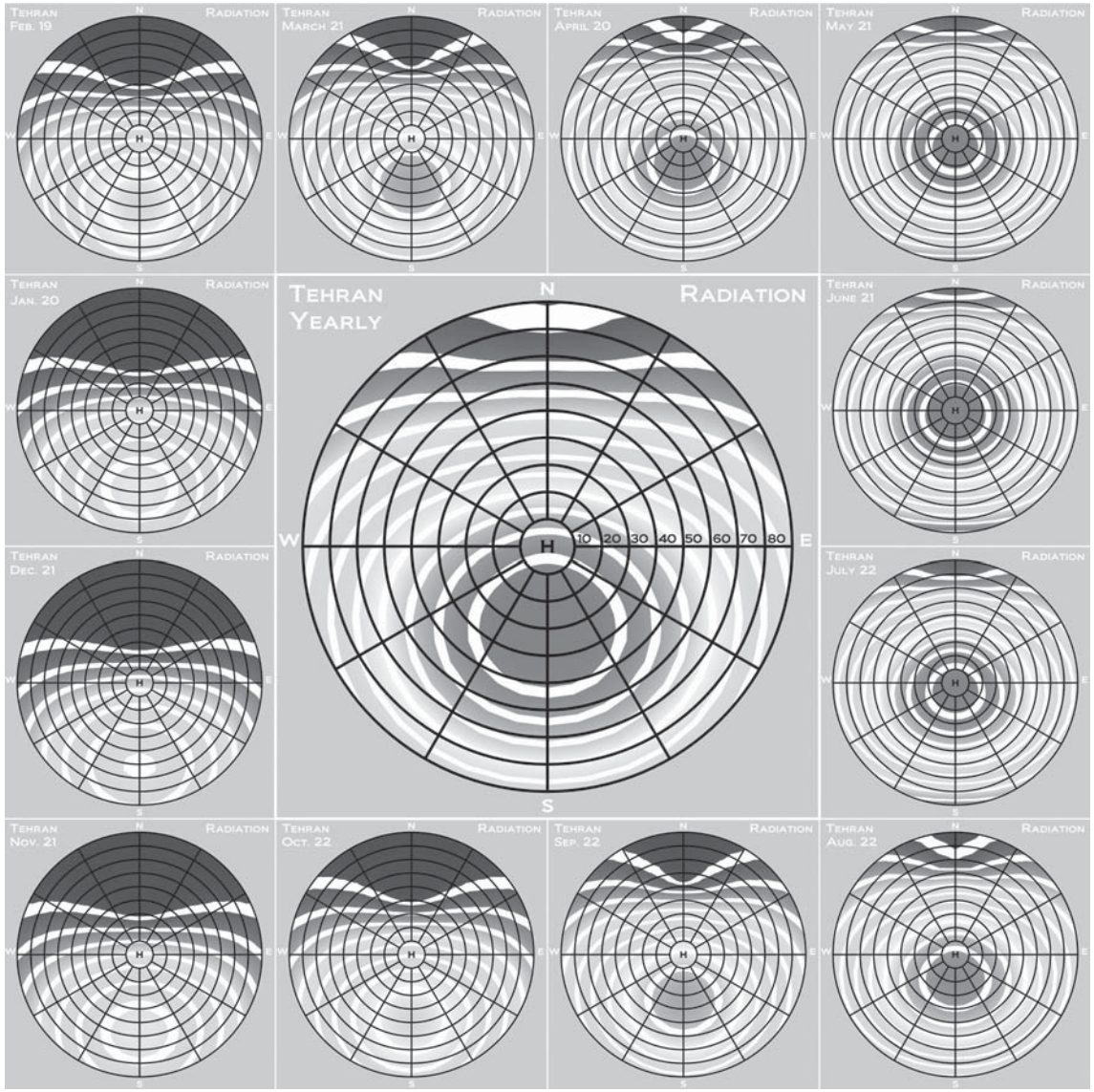
← سطوح ساختمان در شهرهای ایـران و معمـاری از نـگاه آفتـاب). پایان‌نامۀ کارشناسـی ارشـد رشـتۀ معماری. اسـتاد راهنما: دکتر منصوره طاهباز. تهران: دانشگاه شهید بهشتی، دانشـکدۀ معماری و شهرسـازی، تیر ۱۳۸۶. در ایـن پایان‌نامـه با طراحی برنامه‌ای رایانه‌ای به محاسبۀ موقعیت و مسـیر حرکت خورشید در هر لحظه از روز و سـال برای شهرهای مختلف ایران پرداخته شده و در بخشی از آن آمار ماهانه و میانگین سـالانۀ تابش دریافتی از خورشـید در سـطح افقی (بام) و جبهه‌های دیگر ساختمان آمده و بر روی نمودارهای مختلف نمایش داده شده است.

۱۲. در این نمـودار نقاطی که به یک میزان تابش خورشید را دریافت می‌کنند (نقاط هم‌انـرژی) در محدودۀ همرنگ هسـتند و به این ترتیـب هر محدوده از نظر میزان دریافت انرژی خورشید و تبدیـل و تولید به نیروی برق، امتیازی به خود اختصاص داده است. با استفاده از این محدوده‌هـا می‌توان نقاطی که حداکثـر انرژی را از خورشـید دریافت می‌کنند مشـخص کرد، به گونه‌ای‌که چنان‌چه پنل‌ها در جهـت هر کدام از این زاویۀ شیب‌ها قرار گیرند بر اساس میـزان انرژی که از خورشـید دریافت می‌کننـد، بازدهـی متفاوتـی خواهند داشت و بر اسـاس این نقاط می‌توان جهت و زاویۀ شـیب بهینـۀ پنل‌های فتوولتاییک را از روی نمودار تعیین کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

این جبهه میزان کمتری از تابش را به خود خواهد دید و سطح بام است که بیشترین تابش را دریافت خواهد کرد. متقابلاً هر چند تابش خورشید در زمستان مایل‌تر است اما به واسطهٔ تابش عمودتر به جبههٔ جنوب، نقش آن چنان زیاد می‌شود که در نمودارها در نقطهٔ ماکزیمم قرار گرفته است.



ت ۸. نمودارهای دریافت تابش ماهیانه و سالیانه برای شهر تهران[۱۳] (مأخذ: مجتبی صمیمی، *برنامهٔ ترسیم نمودارهای تابش*).

۱۳. برای اطلاعات بیشتر نک: صمیمی، مجتبی. «مبانی برای طراحی مهرپا». در *معماری و شهرسازی ویژه‌نامه معماری پایدار*، ش ۱۰۱ (خرداد۱۳۹۰)، ص ۱۱۲ـ۱۱۷.

www.SID.ir

Archive of SID

در مقایسهٔ نمودارهای ماهیانه دیده می‌شود که هرچه به سمت ماه‌های گرم پیش می‌رویم، حداکثر دریافت تابش از جبهه‌های رو به جنوب به سطح بام نزدیک‌تر می‌شود و بنابراین در ماه‌های گرم سطح افقی بام بهترین گزینه برای ترکیب با فتوولتاییک‌ها است. اما در ماه‌های دیگر جبهه‌های رو به جنوب با شیب‌های مختلف گزینه مناسب‌تر است و همچنین در این مقایسه مشخص می‌شود که ماه‌های گرم از تابش بیشتری نسبت به ماه‌های سرد برخوردار اند، بنا بر این در این ماه‌ها در صورت تهویهٔ مناسب، فتوولتاییک‌ها بازدهی و تولید بسیار بالایی خواهند داشت.

از آنجایی که در این مقاله هدف بررسی سیستم‌های فتوولتاییکی است که با اجزای ساختمان ترکیب می‌شوند و در ساختمان‌های BIPV یکپارچگی فتوولتاییک‌ها اغلب به صورت ثابت است، بنا بر این در این حالت استفاده از نمودار سالیانهٔ تابش کمک بیشتری در خصوص تعیین جبهه‌ها و شیب‌های بهینه خواهد کرد.

نمودار میانگین سالیانهٔ تابش در شهر تهران نشان می‌دهد که سطح افقی و جبهه‌های رو به جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب با شیب‌های بین ۱۰ تا ۵۰ درجه نسبت به افق[۱۴] برای یکپارچگی با فتوولتاییک‌ها بهترین گزینه هستند. اما در صورتی که یک جهت و شیب بهینه به منظور حداکثر بازدهی فتوولتاییک‌ها مد نظر باشد، باید آنها را با جبهه‌های رو به جنوب با شیب حدود ۳۰ درجه نسبت به افق، ترکیب و یکپارچه کرد.

البته ممکن است در طراحی به دلیل مسائلی همچون شکل و کشیدگی سایت، همسایگی‌ها، و... از جبههٔ رو به جنوب برای ترکیب با فتوولتاییک‌ها نتوان استفاده کرد. بنا بر این با استفاده از این نمودارها می‌توان مواقعی را که از نظر دریافت انرژی معادل سطح رو به جنوب اند، پیدا کرد.

۳. ۲. ۲. پیشنهاد

- در رویکرد فعال، بام‌ها (سطوح افقی) که بیشترین میزان تابش را در مواقع گرم متحمل می‌شوند، می‌توانند به صورت مسطح یا با شیب کم با فتوولتاییک‌ها یکپارچه شده و انرژی پاک خورشید را جهت تولید برق و به کار انداختن تجهیزات سرمایشی ساختمان به کار گیرند.
- جبهه‌های جنوبی شیب‌دار نسبت به جبهه‌های قائم (یا سایبان‌های شیب‌دار نسبت به نمای قائم) از نظر میزان دریافت تابش خورشید در ماه‌های مختلف سال و میانگین سالیانه، برای ترکیب و یکپارچگی با فتوولتاییک‌ها و دستیابی به حداکثر تولید، مناسب‌تر اند.
- با وجود بازدهی خوب سطح افقی در نمودار سالیانهٔ تابش، با توجه به اقلیم تهران که در ماه‌های سرد شاهد برف و یخبندان است، بام‌های مسطح (و سایبان‌های افقی) یکپارچه با فتوولتاییک در طول این ماه‌ها بازدهی کمی خواهند داشت یا ممکن است کارکرد آنها به واسطهٔ یخ بستن سطح روی آنها متوقف شود. بنا بر این جبهه‌های جنوبی شیب‌دار (سایبان‌های شیب‌دار و لوورها)، بام‌های رو به جنوب شیب‌دار، یا نورگیرهای دندانه‌دندانهٔ بام در صورت بر طرف کردن مسائل سایه‌اندازی آنها، بهترین حالت برای ترکیب با فتوولتاییک‌ها و دستیابی به حداکثر بازدهی هستند.

۳. ۳. تأثیر نیاز به سرمایش یا گرمایش بر زاویهٔ شیب پنل‌های فتوولتاییک

انرژی خورشیدی علاوه بر اینکه در گرمایش ساختمان به صورت رویکرد غیرفعال کاربرد دارد، قابلیت به کار انداختن دستگاه‌های سردکننده ـ که امروز به یکی از بیشترین مصرف‌کننده‌های انرژی در ساختمان‌ها تبدیل شده اند ـ و همچنین تأسیسات گرمایشی ساختمان را نیز داراست.

۱۴. منظور از جبهه‌های رو به جنوب شیب‌دار یا سطوح افقی، صرفاً نما و بام نیست بلکه کلیهٔ سیستم‌های یکپارچه با فتوولتاییک در نما و بام مثل سایبان‌های افقی (رف‌های نور) و سایبان‌های شیب‌دار، نورگیرها و آتریوم‌ها، و... را در بر می‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین استفاده از انرژی خورشیدی توسط فتوولتاییک‌ها هم برای گرمایش و هم سرمایش به‌کاربردنی است؛ به طوری که انرژی آفتاب می‌تواند در زمستان ساختمان را گرم و در تابستان آن را خنک کند. از این رو بیش از پیش به اهمیت نوع رویکرد فعال معماری در رابطه با خورشید پی می‌بریم، زیرا در قرن حاضر استفاده از چنین رویکرد فعالی که زمینه‌های مختلف کاربرد انرژی در ساختمان را در زمان‌های مختلف سال شامل می‌شود، می‌تواند ساختمان را از یک مصرف‌کنندهٔ انرژی به یک تولیدکنندهٔ انرژی تبدیل کند.

بر اساس آنچه گفته شد، چنانچه نیاز به انرژی در یک ساختمان، در فصل زمستان بیشتر یا در سرتاسر سال یکسان باشد، شاید طراح شیب فتوولتاییک‌ها را فقط در موقعیت زاویهٔ مرتبط با زمستان قرار دهد، اگرچه می‌تواند با تنظیم کردن شیب در طول فصل‌های دیگر انرژی بیشتری دریافت کند، اما در این حالت انرژی کافی بدون هر تنظیمی نیز به دست می‌آید.

قراردادن پنل فتوولتاییک در زاویهٔ شیب زمستان شاید بهترین راه حل نباشد و ممکن است در فصل تابستان نیاز به انرژی بیشتری برای سرمایش نسبت به مقدار انرژی برای گرمایش[۱۵] در زمستان وجود داشته باشد. همچنین ممکن است بسته به عملکرد خاص، بنا در فصل تابستان ساختمان استفاده نشود و فقط نیاز به گرمایش در زمستان باشد (مثل مدارس) و برعکس.

در این صورت این عوامل بر تعیین زاویهٔ شیب پنل‌ها اثر خواهند گذاشت که باید معمار و دیگر مهندسان تیم طراحی از ابتدا در فرآیند طراحی این مسئله را در کنار دیگر مسائل در نظر گرفته و تصمیم بگیرند که چگونه به این مسئله پاسخ دهند.

با توجه به نمودارهای اقلیمی شهر تهران که پیش‌تر دیده شد، در سال‌های اخیر با گرم شدن کرهٔ زمین و تغییرات آب‌وهوایی، تعداد روز- درجهٔ سرمایش در تهران نسبت به روز-درجهٔ گرمایش افزایش یافته و بنا بر این نیاز به سرمایش در اغلب مناطق تهران بیشتر است. البته در مناطق شمالی تهران که در دامنهٔ کوه‌های البرز واقع شده اند، روز- درجهٔ گرمایش نسبت به روز-درجهٔ سرمایش بالاتر است. بنابراین باید اولویت نیاز به سرمایش و گرمایش در منطقهٔ مورد نظر در شهر تهران مشخص شود تا بتوان بر اساس آن شیب بهینه برای پنل‌های فتوولتاییک را تعیین کرد.

مطابق با آنچه در تحلیل نمودارهای تابش برای شهر تهران بیان شد:

- چنان‌چه در ماه‌های سرد سال به حداکثر نیروی خروجی سیستم BIPV برای تأسیسات گرمایشی ساختمان نیاز باشد، پیشنهاد می‌شود شیب پنل‌های فتوولتاییک را بین ۵۰ تا ۶۰ درجه نسبت به افق تعیین کنید.
- در صورتی که در ماه‌های بسیار گرم سال برای تأسیسات سرمایشی ساختمان به حداکثر انرژی سیستم BIPV نیاز باشد، پیشنهاد می‌شود شیب پنل‌های فتوولتاییک را بین صفر تا ۲۰ درجه نسبت به افق قرار دهید.

۳. ۴. تأثیر عملکرد ساختمان بر مکان و زاویهٔ شیب پنل‌های فتوولتاییک

یکی دیگر از عواملی که می‌تواند در طراحی سیستم فتوولتاییک یکپارچه با ساختمان از لحاظ مکان قرارگیری پنل و جهت آن، زاویهٔ شیب پنل، و... تأثیر بگذارد، نوع کارکرد ساختمان مورد نظر است. از این رو در باید دید هر عملکرد چه قابلیت‌هایی برای این سیستم دارد و چگونه می‌توان ترکیب و یکپارچگی آگاهانه و بهتری را به منظور استفاده از فتوولتاییک‌ها به دست آورد.

به منظور درک بیشتر موضوع عملکردهای مسکونی، اداری، آموزشی، و تجاری را بررسی می‌کنیم تا به نتایج تأثیر عملی آنها بر سیستم‌های BIPV دست یابیم.

۱۵. برق تولیدشده از فتوولتاییک‌ها می‌تواند برای به کار انداختن تأسیسات گرمایشی به‌کار رود.

www.SID.ir

Archive of SID

یکـی از کارکردهایـی کـه همیشـه و در تمام سـاعات با حضور انسـان تعریف و شناخته می‌شود، کارکرد مسکونی است. همان‌طـور که می‌دانیم تولید برق در سـاعات حضور خورشـید در آسـمان اتفاق می‌افتد، لیکن ساعات اسـتفاده از این نیرو در سـاختمان‌های مسـکونی بیشتر از این سـاعات دریافت انرژی خورشید است.

اداره‌های دولتی به طور معمول با طلوع آفتاب شروع به کار می‌کنند و اغلب تا عصر و شـاید کمی بیشـتر فعالیت آنها ادامه دارد. از آن‌جا اسـت که سـاعات فعالیت این نوع ساختمان‌ها در طول روز (بین سـاعات ۸ صبح تا ۵ بعد از ظهر) اسـت و تقریباً برابر با همان مسـیری است که خورشید در آسمان طی می‌کند؛ بنا بر این چنانچه از سیستم‌های فتوولتاییک در این ساختمان‌ها استفاده شـود، نتیجهٔ مطلوبی خواهد داشت. کارکردهای اداری نمونه‌های مناسـبی برای اسـتفاده از این سیسـتم هستند، زیرا هم‌زمان با سـاعاتی که تابش خورشـید ادامه دارد و بر سـطح پنل‌هـای فتوولتاییک می‌تابد، به بیشـترین مقـدار نیروی برق در سـاختمان‌های اداری نیاز هسـت. همچنین میزان تقاضای آنهـا برای انرژی الکتریکی مقدار قابل توجهی اسـت و نیز این ساختمان‌ها در تابستان هم فعال اند.

پـس می‌توان نتیجه گرفت که تعادل بین تقاضا و عرضه در سیستم فتوولتاییک مسئله مهمی است.

مدرسـه‌های به طـور معمول از صبح حدود سـاعت ۷ و ۸ آغاز به کار می‌کنند. در مدارس معمولی اغلب تا ظهر و مدارس خاص تا ساعت ۳ و ۴ این فعالیت آموزشی ادامه دارد و در برخی مدرسـه‌های دو نوبته یا غیر انتفاعی ممکن اسـت آنها به علت برگزاری کلاس‌های فوق‌العاده مدت زمان فعالیت بیشـتر باشد. همچنین مدرسه‌هایی که کلاس‌های خاص بزرگسالان و شبانه برگزار می‌کنند، فعالیت‌شان تا ۹ و ۱۰ شب ادامه می‌یابد.

مدرسـه‌های در یک بـازهٔ زمانی خاص فعالیـت می‌کنند و اغلب چند ماه از سال تعطیل اند. همچنین ساعات فعالیت بیشتر آنها همانند کارکرد اداری از صبح تا عصر اسـت. بنا بر این نیاز آنها به انرژی با سـاعات تولید برق در طول روز یکی است و در صورتی که سیستم‌های فتوولتاییک با این ساختمان‌ها یکپارچه شوند، کارآیی خوبی خواهند داشت. از آن‌جا که مدارس چند ماه از سـال را فعال نیستند، اگر بتوان برق تولیدشده در آن زمان‌ها را برای اسـتفاده در مواقع دیگر ذخیره کرد یا اگر به شبکهٔ برق شهری متصل باشـد، کمک بسیاری به تأمین نیروی برق مورد نیاز این کارکرد و حتی شبکهٔ شهری خواهد کرد.

ساختمان‌هایی که کارکردهای تجاری دارند، همچون مراکز خرید اغلب فعالیت‌شـان از صبح آغاز می‌شـود و تا ۹ و ۱۰ شب ادامه دارد. این مراکز معمولاً در تمام سـال باز هستند و فعالیت می‌کنند. از آن‌جا که بیشتر ساعات فعالیت مراکز تجاری در طول روز اسـت اگر با فتوولتاییک‌ها ترکیب شـوند، عرضه و تقاضای انرژی در این سـاعات تا حـدودی از تعادل برخوردار خواهد بود و فقط در شـبانگاهان لازم است از شـبکهٔ برق شهری استفاده کنند. البته در صورتی که ذخیرهٔ برق این مراکز بیشتر از مصرف روزانه باشـد می‌توانند از آن در سـاعات فعالیت در شب استفاده کنند.

۳. ۴. ۱. ارزیابی تأثیر عملکرد ساختمان در ترکیب با فتوولتاییک‌ها

با توجه به اینکه در خیابان‌های فرعی و کوچه‌های شـهر تهران ساخت‌وسازهای بلندمرتبه انجام شده و رعایت فاصله‌ها و توجه به خورشید و باد مد نظر قرار نگرفته، و به طور کلی بافت فشرده اسـت، مشکل سایه‌اندازی و عدم تهویهٔ کافی برای سیستم‌های فتوولتاییک یکپارچه با مسکن را چگونه باید حل کرد؟

بر اسـاس هزینه‌هـای فعلی فتوولتاییک در کشـور و موارد و مشـکلات ذکرشـده دربارهٔ مسکن، شـاید بتوان گفت که در عملکردهای مسـکونی BIPV در مرحلهٔ اول بهتر اسـت از این سیسـتم در شهرک‌های مسـکونی مجموعه‌ای استفاده شود تا

www.SID.ir

Archive of SID

مسائلی همچون جهت و شیب پنل‌ها، سایه‌اندازی، و توجه به خورشید و باد، همگی در پیوند با هم رعایت شود. مزیت دیگر به کار گرفتن این سیستم در شهرک‌ها این است که به سبب مساحت زیاد BIPVها و میزان تولید نیروی برق، می‌توان مازاد آن را به شبکهٔ برق شهری فروخت و بدین وسیله بازیافت سرمایه از سیستم سریع‌تر صورت می‌پذیرد.[۱۶]

در ساختمان‌های اداری دولتی و تجاری به علت وجود سرمایه‌های بسیار (به خصوص بودجه‌ها و یارانه‌های دولتی برای ادارات) و وسعت فضای قابل استفاده برای ترکیب با فتوولتاییک‌ها و اینکه این ساختمان‌ها معمولاً در خیابان‌های اصلی و مکان‌هایی واقع می‌شوند که مشکل سایه و آفتاب در آنها به نسبت مسکونی‌ها راحت‌تر حل می‌شود یا اینکه اصلاً مشکلی ندارند، استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک یکپارچه با ساختمان مورد توجه بیشتری قرار خواهد گرفت و بازگشت سرمایه از سیستم نیز سریع‌تر ممکن می‌شود. همچنین در طراحی چنین ساختمان‌هایی دست معمار بازتر است و می‌تواند فتوولتاییک‌ها را به گونه‌های مختلف با ساختمان ترکیب نماید (در نما، بام، نورگیرهای سقفی، آتریوم‌ها، سایبان‌ها، لوورها و...).

۳. ۴. ۲. پیشنهاد

الف: در ساختمان‌های تجاری به سبب استفاده از مصالح مدرن و خرج هزینه‌های بالا برای زیباسازی در نما، چنان‌چه از فتوولتاییک‌ها در نمای ساختمان استفاده شود، از نظر مقایسه هزینه فتوولتاییک با مصالح متداول نسبت به دیگر ساختمان‌ها معقول‌تر است و هم این‌که زیبایی و مدرن بودن را که این ساختمان‌ها می‌طلبند، برآورده می‌کند.

ساختمان‌های مسکونی، اداری، و تجاری در تمام طول سال نیاز به مصرف برق دارند. بنا بر این بهتر است که فتوولتاییک‌ها را متناسب با جهت و شیب پنل‌ها به طور سالیانه یعنی در نمای جنوبی و با سایبان‌ها با شیب حدود ۳۰ درجه نسبت به افق یا با بام شیب‌دار و نورگیرهای سقفی و آتریوم‌ها ترکیب و یکپارچه کرد.

از آن‌جا که مدارس در ماه‌های گرم تعطیل هستند و بیشتر برای روشنایی، آب‌گرم، و راه انداختن تأسیسات گرمایشی به برق نیاز دارند، بنا بر این بهتر است که فتوولتاییک‌ها متناسب با جهت و شیب پنل‌ها در ماه‌های سرد یعنی در نمای جنوبی ساختمان با شیب نسبتاً زیاد (یا با سایبان‌ها) و در صورت امکان روی بام به صورت شیب‌دار ترکیب شوند تا خروجی نیرو در زمستان به حداکثر مقدار خود برسد.

ب: با توجه به اینکه در مدارس برای جلوگیری از خیرگی، تابش آفتاب روی تختهٔ کلاس، و ورود گرما در مواقع گرم سال، باید در جبههٔ جنوبی‌شان سایبان تعبیه شود، می‌توان این سایبان‌ها را با فتوولتاییک یکپارچه کرد تا هم کارآیی سایبان را داشته باشند و هم با تولید برق، انرژی مورد نیاز مدرسه را تأمین کند.

۳. ۵. تأثیر سایه‌اندازها بر چیدمان و ترکیب و فاصلهٔ پنل‌های فتوولتاییک

یکی از عوامل دیگر در شیوه‌های طراحی BIPVها سایه‌اندازی است. در اینجا نقش معمار در کنار دیگر مهندسان پررنگ‌تر می‌شود و اوست که می‌تواند با ایده‌های معمارانه‌اش ساختمان را هم سازگار فتوولتاییک‌ها و هم سازگار «معماری» طراحی کند و معماری و فتوولتاییک را با یکدیگر ترکیب و یکپارچه کند.

برای اینکه حداکثر بازدهی و تولید از سیستم‌های BIPV حاصل شود باید تا حد ممکن موانع و سایه‌اندازی‌ها کاهش یابند که این بستگی دارد به: موقعیت سایت و ساختمان، چیدمان فتوولتاییک‌ها و چگونگی ترکیب آنها با ساختمان، عوامل محیطی و همسایگی‌ها، و... .

در این قسمت یکی از ایده‌هایی که باعث سایه‌اندازی روی پنل‌های فتوولتاییک می‌شود بررسی شده و بعضی راهکارها ارائه خواهد شد. با استفاده از نمودار مسیر حرکت خورشید برای شهر

۱۶. در کشورهایی که به صورت جدی از BIPV استفاده می‌کنند، در صورت تولید اضافی برق، مازاد آن به شبکهٔ برق شهری فروخته می‌شود و حتی برای ساختمان‌ها از طرف دولت اعتبار مالیاتی و تشویق‌هایی نیز در نظر گرفته می‌شود.

۱۷. برای شهر تهران از روی نمودار مسیر حرکت خورشید با عرض جغرافیایی ۳۶ درجهٔ شمالی، بیشترین زاویهٔ تابش خورشید در ظهر روز اول تیرماه ۷۸ درجه، کمترین زاویهٔ تابش در ظهر اول دی‌ماه ۳۲ درجه، و کمترین زاویهٔ تابش در هنگامی که خورشید طلوع و غروب می‌کند ۱۰ درجه در نظر گرفته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

تهـران می‌تـوان زوایای تابش خورشـید را در ماه‌های مختلف و همچنین ساعات روز از طلوع تا غروب به دست آورد و بدین ترتیب سایهٔ حجم‌ها و موانع را روی پنل‌های فتوولتاییک محاسبه کرد.[۱۷]

۳. ۵. ۱. چیدمان و فاصلهٔ بین پنل‌ها بر اساس سایه‌اندازی

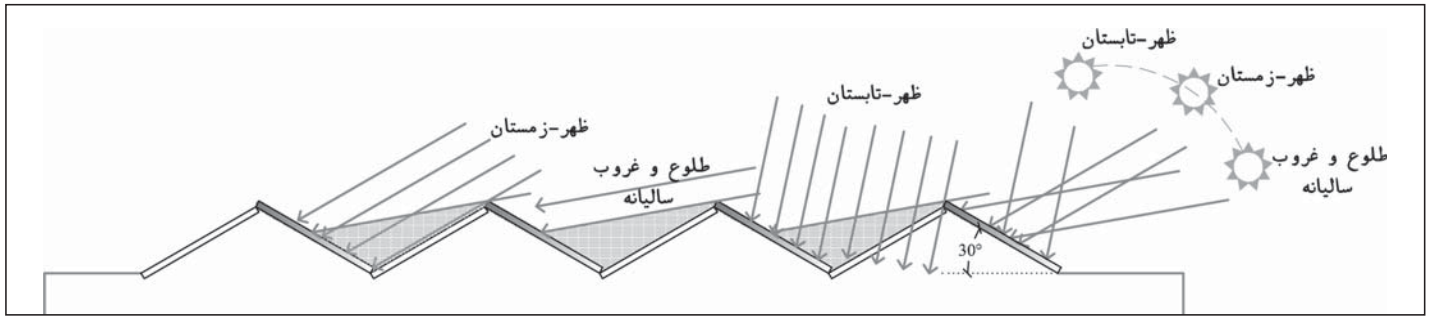
در حالتی کـه فتوولتاییک‌ها با نورگیرهای سـقفی دندانه‌دندانه ترکیب می‌شوند (ت ۹) سـایه‌اندازی خود فتوولتاییک‌ها مسئله مهمی اسـت که باید به آن توجه شـود؛ لازم است زاویهٔ شیب خود پنل‌ها و زاویهٔ شـیب دیواره یا نورگیـر مقابل آن با زوایای تابش خورشید هماهنگ شود تا از سایه‌های ناخواسته روی پنل جلوگیری شود.

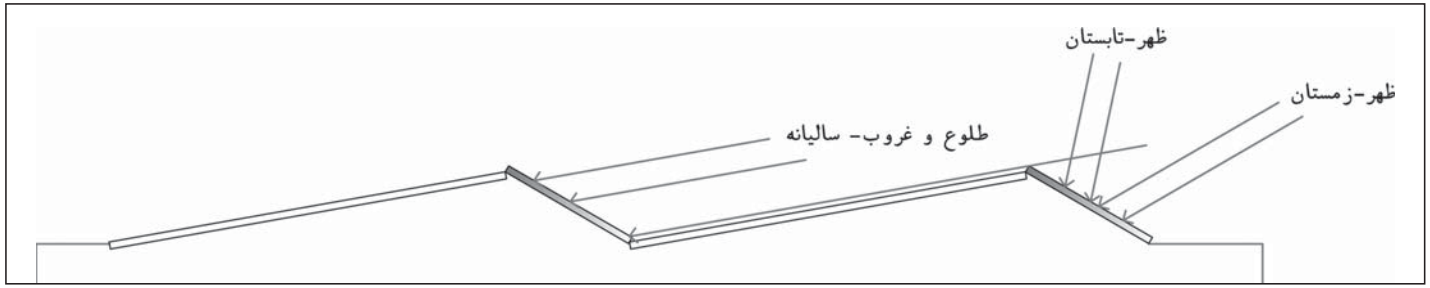
در «ت ۹» فاصلهٔ میان پنل‌ها از یکدیگر موجب بهره‌مندی پنل‌ها از تابش خورشـید در تابستان و زمستان است و این زوایا باعث ایجاد سـایهٔ آنها روی یکدیگر نمی‌شـوند. در تابستان به سبب بیشـتر بودن زاویهٔ تابش مشکل سایه در این حالت کمتر است و اغلب نور مستقیم هم به فضای داخل راه می‌یابد. اما در صورتی که نیاز به استفاده از تابش در همهٔ ساعات حتی ساعات اولیهٔ صبح و غروب باشـد، باید کمترین زاویهٔ تابش نیز محاسبه شود تا سایهٔ پنل‌ها روی یکدیگر نیفتد و در این حالت لازم است فاصلهٔ پنل‌ها از همدیگر خیلی بیشتر شود.

بنا بر این هرچه شـیب پنل‌ها بیشتر باشد، سایه‌اندازی آنها بیشـتر می‌شـود. پس لازم اسـت فاصلهٔ بین پنل‌ها به منظور جلوگیری از ایجاد سایه روی یکدیگر نیز بیشتر شود.

برای بر طرف شـدن این مشـکل باید زاویهٔ قسمت نورگیر نسـبت به زاویهٔ پنل تغییر کند یا بیـن دندانه‌ها فاصله‌ای ایجاد شـود که البته می‌توان از هر دو راهکار در کنار هم نیز بهره برد. راهکار دیگر این اسـت که دندانه‌ها روی شیب قرار گیرند و هر کدام بالاتر از دندانهٔ قبلی تعبیه شوند.

ت ۹. (بـالا) نورگیـر یکپارچه با پنل‌های فتوولتاییک با زاویهٔ شیب ۳۰° (مأخذ: نگارنده).
ت ۱۰. (پایین) راهکار جلوگیری از سـایه‌اندازی پنل‌های فتوولتاییک یکپارچه با نورگیر (مأخذ: نگارنده).





www.SID.ir

Archive of SID

در ایدهٔ «ت ۱۰» تعداد پنل‌ها در سطح بام کمتر می‌شود و همچنین خورشید تابستان به مقدار زیاد از طریق قسمت نورگیر وارد فضا می‌شود و منجر به گرم شدن بیش از حد خواهد شد.

در ایدهٔ «ت ۱۱» با قرار گرفتن دندانه‌ها روی شیب، مشکل سایه‌اندازی حل می‌شود. از مساحت فضای بام بیشتر استفاده می‌شود و تعداد پنل‌ها روی سطح نیز بیشتر شده، همچنین خورشید زمستان وارد فضا می‌شود.

البته گاهی اوقات شاید راه حل مناسب‌تر و ساده‌تر برای جلوگیری از ایجاد سایه روی پنل‌های فتوولتاییک یکپارچه با بام، ایدهٔ بام شیب‌دار با زاویهٔ شیب پنل‌ها باشد. اما ممکن است بخواهید از سطح بام، نور طبیعی نیز وارد فضا شود که در این صورت می‌توان ایده‌های قبلی را عملی کرد.

۳. ۶. جایگزینی فتوولتاییک‌ها با مصالح ساختمانی متداول

امروزه به طور معمول در نمای (پوسته) ساختمان‌های تهران، سنگ، آجر، سیمان، شیشه، پنل‌های آلومینیومی، و به ندرت بتن[۱۸]، چوب و پلی‌کربنات به چشم می‌خورد. این مصالح هر کدام ویژگی‌هایی دارند؛ مثلاً ۱۰۰% بازدارندهٔ تابش خورشید هستند و امکان دید از طریق آنها وجود ندارد یا بازدارندهٔ تابش نیستند و امکان دید را هم فراهم می‌کنند. ویژگی دیگر این مصالح مات (کدر)، نیمه‌شفاف یا شفاف بودن آنهاست که هر کدام از آنها در جای خاصی بسته به کارکردشان استفاده می‌شوند.

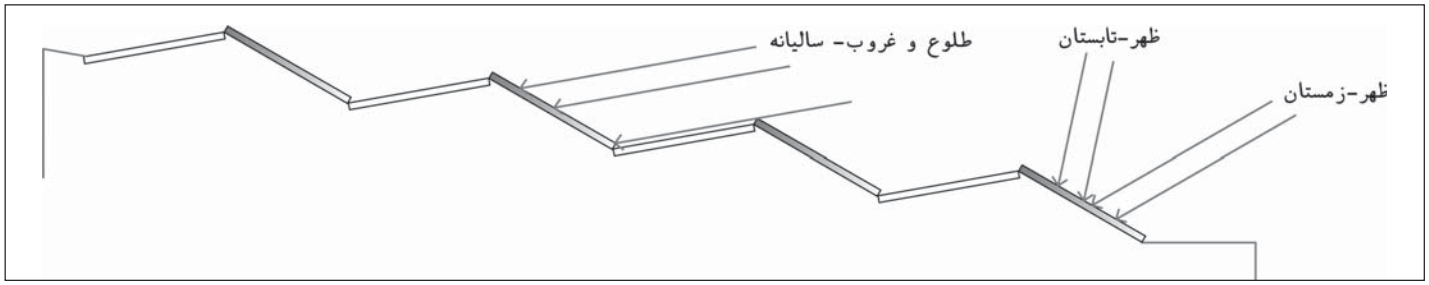
فتوولتاییک‌ها به عنوان مصالح ساختمانی می‌توانند مات و نیمه‌شفاف باشند و امکان بازدارندگی تابش خورشید و جذب آن را در کنار دید به بیرون فراهم کنند. علاوه بر این که فتوولتاییک‌ها کارکرد این نوع مصالح را انجام می‌دهند، توانایی تولید برق را نیز دارند که مزیتی بسیار ارزنده است.

مثلاً ساختن یک ساختمان با نمای تمام‌شیشه‌ای در اقلیم گرم و خشک ایران می‌تواند به غیر قابل سکونت شدن ساختمان در هوای گرم روز و در شب‌های سرد بیانجامد و با این تصمیم نادرست مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش همواره ساختمان و آلودگی ناشی از آن به مقدار زیادی افزایش خواهد یافت.

فتوولتاییک‌های جدید حتی می‌توانند به عنوان شیشهٔ پنجره کار کنند، این سلول‌ها این قابلیت را دارند که بین ۸۰% تا ۹۰% نور خورشید را از خود عبور دهند و این کیفیت باعث می‌شود که پنجره‌های مجهز به سلول‌های خورشیدی بتوانند به خنک ماندن هوای داخل خانه در تابستان کمک کرده و ساختمان را هم زیباتر نمایش دهند و در عین حال انرژی الکتریسیتهٔ مورد نیاز ساختمان را تأمین کنند.

شیشه عنصری است که نور و گرما را وارد فضا می‌کند و با محیط اطراف خود تبادل حرارتی بسیاری دارد. بنا بر این در فصل گرم و سرد محیطی نامناسب را در داخل ساختمان ایجاد می‌کند، اما فتوولتاییک‌ها عایق حرارتی هستند و با طراحی درست و

۱۸. منظور بتن اکسپوز (Expose) است.



ت ۱۱ . قرارگیری نورگیر یکپارچه با پنل‌های فتوولتاییک روی شیب (مأخذ: نگارنده).

www.SID.ir

Archive of SID

تدابیـر معمارانه می‌تواننـد محیطی دلپذیر در داخل سـاختمان فراهم آورند. از طرفی شیشه از لحاظ ویژگی آکوستیکی ضعیف عمل می‌کند و لیکن فتوولتاییک‌ها می‌توانند عایق صوتی بسیار خوبی نیز باشند. همچنین فتوولتاییک‌ها می‌توانند با انواع شیشه در نما یا بام ترکیب شـوند و به این ترتیب سـاختمان BIPV به تمام خواسته‌های خود دست می‌یابد.

هنگامی که از سـلول خورشـیدی در یک پنجره اسـتفاده می‌شـود، سلول نصب شـده حتی بهتر از شیشه عمل می‌کند و بنابراین در مصرف مصالح سـاختمانی ساختمان نیز صرفه‌جویی می‌شـود؛ بدیـن ترتیب پنجـره‌ای داریـم که برای مـا انرژی الکتریسیته نیز تولید می‌کند!

در حـال حاضر در ایران، بـه علت در نظر گرفتن یارانه‌های دولتـی بـرای برق شـهری و ارزان بودن قیمت برق، مقایسـهٔ فتوولتاییک‌ها با مصالح سـاختمانی شاید هنوز اقتصادی به نظر نرسـد. در حالی که در کشـورهای دیگر که اسـتفاده از BIPV ها رایج اسـت، هزینهٔ مصالح به علاوه برق تولیدی فتوولتاییک در مقایسه با قیمت برق شـهری تفاوت کمتری دارد. در نتیجه ایـن کشـورها به جای یارانـه برای برق شـهری، کمک‌هزینه بـرای سیسـتم‌های BIPV در نظر گرفته اند و سـعی بر ارزان‌تر کردن مصالح فتوولتاییک دارند که بازگشت سرمایه را در زمانی سریع‌تر ممکن می‌کند.

پیشـنهاد: هنگامی که در سـاختمان نیاز بـه مصالح بازدارندهٔ تابش یا مصالح نیمه‌بازدارنده اسـت، می‌توان از فتوولتاییک‌های مات یا نیمه‌شـفاف اسـتفاده کرد که بازدارندگی، دید فیلترشده، نور و گرمای کنترل‌شـده، و عایـق صوتی، حرارتی و رطوبتی را نیز فراهم می‌کنند.

چنانچه به جای نمای شیشـه‌ای از فتوولتاییک‌ها اسـتفاده شود، ساختمان همان شمایل را دارد و البته با زیبایی دوچندان و علاوه بر آن نور و گرمای کنترل‌شده به داخل فضا وارد می‌شود و دید مناسب نیز وجود دارد.

نتیجه‌گیری

با بررسـی‌های انجام‌شده در این مقاله با توجه به رویکرد مثبت BIPVها در دنیا و با امکان‌سنجی استفاده از آنها در شهر تهران، شـیوه‌های طراحی «سـاختمان‌های یکپارچه بـا فتوولتاییک» برای شـهر تهران ارائه شد که بر اساس نیازهای بومی طراحی، جهت و شـیب بهینه بـرای ترکیب فتوولتاییک‌ها با سـاختمان و عملکردهـای مختلفـی که می‌تـوان در آنهـا (در تهران) از فتوولتاییک‌های یکپارچه استفاده کرد و... پیشنهاد شدند.

در حـال حاضـر با توجـه به شـناخت شـیوه‌های طراحی «ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک» و قابلیت بررسی آنها به صورت بومی، وجود دانش و فن‌آوری تولید بومی فتوولتاییک‌ها در ایران، و امکان دسترسی به سایت‌های اینترنتی ـ که استفاده از اطلاعات و دسـتاوردهای ساختمان‌های BIPV در کشورهای دیگر را برای طراحان مهیا می‌سـازد ـ طراحی و سـاخت چنین ساختمان‌هایی در ایران دور از دسترس نیست و با توجه به آن‌که زمینه‌های ورود این دیدگاه به ایران فراهم اسـت، عملی و قابل اجراسـت. حتی توانایی این را داریم که برای شهرهای مختلف ایران ضوابط و پیشـنهادهای طراحی چنین ساختمان‌هایی را به صورت مدون و دسته‌بندی‌شده تدوین کنیم.

منابع و مآخذ

صمیمـی، مجتبی. *از مهر تا مهراز (برآورد شـدت تابش آفتاب و میزان مهر و قهر آن بر روی سـطوح سـاختمان در شـهرهای ایران و معماری از نگاه آفتاب)*. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشـد معماری. استاد راهنما: منصوره طاهباز. تهران: دانشگاه شهید بهشتی، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، تیر ۱۳۸۶.

ـــــــ . *برنامهٔ ترسـیم نمودارهای تابش*. تهـران، دفتر معماری راز مهر مهراز، ۱۳۸۷. (قابل استفاده در: http://www.solarchvision.com)

ـــــــ . «مبانی برای طراحی مهرپا». در *معماری و شهرسـازی ویژه‌نامه معماری پایدار*، ش ۱۰۱(خرداد۱۳۹۰)، ص ۱۱۷ـ۱۱۲.

طاهباز، منصوره. برنامهٔ ترسیم نمودارهای اقلیمی در *نرم‌افزار اکسل (Excel)*. ویژهٔ درس معماری همساز با اقلیم دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده معماری

www.SID.ir

Archive of SID

و شهرسازی. تهران: ۱۳۸۵ (منتشر نشده).

ـــــــــ . «روش تحلیل آمار هواشناسی برای طراحی معماری همساز با اقلیم». در *هنرهای زیبا*، ش ۳۸ (تابستان ۱۳۸۸)، ص ۷۲ـ ۶۱.

نوشین، علی اکبر. *شناخت و کاربرد انواع انرژی (پیشنهادی نو برای تأمین انرژی انسانها)*. تهران: نشر فرهنگ اسلامی، چاپ اول، ۱۳۷۱.

وفائی، راحیل. «بررسی شیوه‌های طراحی ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک»، در صفه، ش ۴۹ (پاییز و زمستان ۱۳۸۸)، ص ۶۹ ـ ۸۰.

ـــــــــ . *سیستم‌های فتوولتاییک در ترکیب با معماری (ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک BIPV)*. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد معماری. استاد راهنما: منصوره طاهباز. تهران: دانشگاه شهید بهشتی، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، شهریور ۱۳۸۸.

"BIPV- PV cells- BIPV modules, BIPV Projects". 2009. Available at: http://www.sapa-solar.com.

Randall, Thomas, & Max Fordham & Partners. *Photovoltaics and Architecture*. London: Spon Press; 2003.

http://www.weather.ir (سازمان هواشناسی ایران).

www.SID.ir