

طراحی ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتائیک در شهر تهران^۱

راحیل وفائی^۲

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

چکیده

با توجه به عوارض مصرف انرژی‌های فسیلی و آلودگی‌های زیست‌محیطی، کشور ایران نیز همچون دیگر کشورها به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر روی آورده است. در میان منابع تجدیدپذیر، استفاده از انرژی خورشیدی توسعه بیشتری یافته است. پرکاربردترین و رایج‌ترین شیوه استفاده از انرژی خورشیدی، به کار بردن سیستم‌های فتوولتائیک در معماری و از جمله ترکیب این سیستم با ساختمان به صورت «ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتائیک» است.

با توجه به پیشرفت سیستم‌های فتوولتائیک در معماری و روند رو به رشد آنها در سراسر دنیا و با توجه به نیاز کشور ما به این مقوله، در مقاله حاضر عواملی که در طراحی این ساختمان‌ها مطرح می‌شود، بررسی شده و در پایان راهکارهای مورد نیاز برای طراحی ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتائیک در شهر تهران ارائه شده است. ملاک انتخاب شیوه‌های طراحی، عواملی است که در شهر تهران بر طراحی این نوع ساختمان‌ها 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 ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتائیک ارائه شده است که می‌تواند در فرآیند طراحی راهگشای طراحان و معماران باشد. متخصصان رشته‌های مختلف درگیر با پروژه ساختمانی نیز می‌توانند از نتایج و راهکارهای این مقاله بهره‌مند شوند.

مقدمه

با توجه به اینکه مصرف برق در ایران هر سال رو به افزایش است و مقدار زیادی از انرژی کشور در بخش ساختمان به صورت برق (روشنایی، سرمایش، گرمایش و...) استفاده می‌شود و نیز با توجه به نیاز روزافزون به منابع انرژی و کم شدن منابع انرژی فسیلی و آب‌سدها، محدودیت‌های برق‌رسانی و تأمین سوخت برای نقاط دورافتاده، و توجه به کاهش آلودگی هوا، از این‌رو استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید برق در ایران که تابش نور خورشید در آن قدرت و توان مطلوب دارد^۳ و از مناطق بسیار مستعد برای بهره‌گیری از انرژی خورشیدی است، امری ضروری به نظر می‌رسد.

۱. این مقاله برگرفته از پایان‌نامه نویسنده است با عنوان سیستم‌های فتوولتائیک در ترکیب با معماری (ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتائیک BIPV)، که در رشته کارشناسی ارشد معماری با راهنمایی منصوره طاهباز، شهریور ۱۳۸۸ در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی دفاع شده است.
۲. دانشجوی دکترای معماری دانشگاه شهید بهشتی؛ rahilvafaei@yahoo.com
۳. در بسیاری نقاط سرزمین ایران تابش خورشید به طور متوسط ۳۰۰۰ ساعت آفتابی در سال است که بسیار قابل توجه است (علی‌اکبر نوشین، شناخت و کاربرد انواع انرژی پیشنهادی نو برای تأمین انرژی انسانها)، ص ۲۳۵.

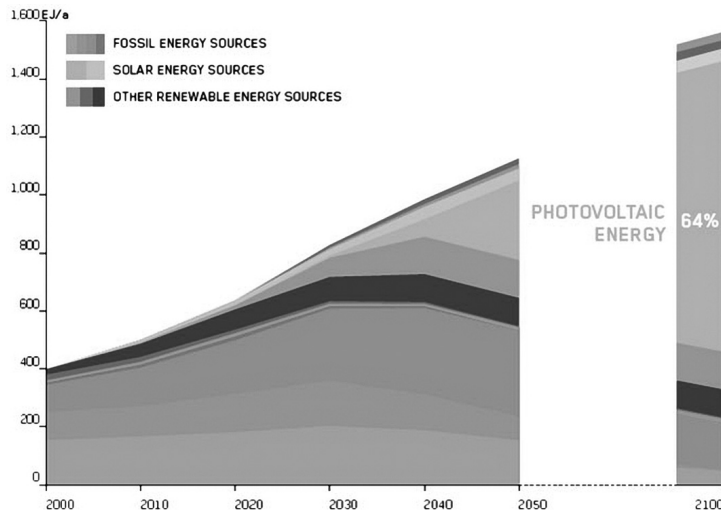
پرسش‌های تحقیق

۱. دلایل نیاز به استفاده از فتوولتائیک‌ها در شهر تهران چیست؟
۲. چه عواملی بر به کارگیری فتوولتائیک‌ها در شهر تهران و در ترکیب آن با ساختمان تأثیر می‌گذارند؟
۳. شیوه‌های طراحی بومی «ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتائیک» در شهر تهران کدام اند؟

یکی از بهترین شیوه‌های استفاده از انرژی خورشیدی فتوولتائیک‌ها 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 فتوولتائیک‌ها یک شکاف بزرگ در میان منابع ایجاد کرده و برآورد شده که تا سال ۲۱۰۰م، ۶۴٪ انرژی از فتوولتائیک‌ها تأمین خواهد شد.

با آنکه فتوولتائیک‌ها کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف دارند، امروزه استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک 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 فتوولتائیک‌ها 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 فتوولتائیک‌ها 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 تولیدکننده انرژی نخواهند بود.

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



ت ۱. نمودار مسیر انرژی‌ها از ۲۰۵۰-۲۱۰۰م.
<http://www.sapa-solar.com/photovoltaics-solution.html>. Accessed Jul, 2009.

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

- اگر بخواهیم از این فن آوری در ساختمان‌های کشورمان استفاده کنیم، فتوولتاییک‌ها را باید از کجا تهیه کنیم و آیا در ایران چنین محصولی وجود دارد؟

- آیا در ایران امکانات ساخت و تولید فتوولتاییک‌ها و پشتیبانی آنها وجود دارد؟

- در صورت وجود فتوولتاییک‌ها در ایران، آیا می‌توان با توجه به طرح معماری ساخت محصول خاصی را به کارخانه سازنده سفارش داد؟

خوشبختانه در کشورمان چنین توانایی‌ای وجود دارد و شرکت «فیبر نوری و برق خورشیدی هدایت نور»^۵ در تهران یگانه سازنده پنل‌های فتوولتاییک در ایران است که کلیه محصولات آن از کیفیت و بازدهی بالایی برخوردار است و قابل رقابت با محصولات مشابه ساخته شده توسط کشورهای اروپایی و آمریکایی است.

در باره مسائل اقتصادی این سیستم باید گفت که بیشترین مخارج، مربوط به هزینه‌های اولیه تولید آن است. با توجه به کاربرد فتوولتاییک‌ها در معماری به عنوان اجزای اصلی ساختمانی و جایگزینی آن با مصالح بنا و چندعملکرده بودن آن، استفاده از این سیستم‌ها آرام آرام اقتصادی‌تر شده و با روند روبه رشدی که دارد در آینده‌ای نزدیک قیمت برق تولیدی فتوولتاییک‌ها به کمتر از قیمت برق شبکه 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 استفاده از فتوولتاییک‌ها وضعیت تابش آفتاب آن است. به همین منظور شهر تهران از نظر تابش آفتاب با برخی شهرهای اروپایی مقایسه شده است.

توجه به امکان‌سنجی شهر تهران به عنوان نمونه مطالعه شده، شیوه‌های طراحی «ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک» (BIPV)^۴ بومی در این شهر معرفی و در نهایت پیشنهادهای لازم ارائه شده است.

۱. امکان‌سنجی استفاده از BIPV در تهران

در ایران منابع نفت و گاز به عنوان انرژی اولیه، تأمین‌کننده سوخت مورد نیاز برای تولید برق هستند و فقط بخش کوچکی از نیروی برق با بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر و برق آبی تولید می‌شود. ایران اکنون از مشکل تأمین انرژی فارغ نیست و به‌زودی دچار بحران انرژی خواهد شد. کلان‌شهر تهران با جمعیت بسیار و انبوه ساختمان‌ها بیشترین مصرف‌کننده انرژی در ایران است. بنا بر این جز با افزایش تولید برق و اعمال مدیریت انرژی در بخش ساختمان نمی‌توان پاسخگوی این تقاضای روزافزون بود.

از جمله راهکارها در این زمینه استفاده از نور خورشید برای تأمین برق ساختمان توسط فتوولتاییک‌ها است و امروزه معماران به‌سرعت به سمت ترکیب کردن فتوولتاییک‌ها با بنا و جایگزینی آنها با مصالح ساختمانی پیش می‌روند که یکی از سریع‌ترین بخش‌های رشد صنعت ساختمان است و این تکنیک کاربردی در اروپا و آمریکا به خوبی شناخته شده است و از سوی طرفداران محیط زیست پشتیبانی می‌شود. صنعت استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک یکپارچه با ساختمان، چند سالی است که در کشورهای مختلف جهان مثل ژاپن، آلمان، آمریکا، استرالیا، سوئیس، هلند، سوئد، و... توسعه چشمگیری یافته و این کشورها درصدد یافتن راه‌حل‌های مبتکرانه برای تولید برق توسط آن در بخش ساختمان هستند. اما در ایران هنوز اقدامی در زمینه «ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک» انجام نگرفته و آشنایی کافی با چگونگی طراحی و ترکیب فتوولتاییک‌ها با بنا وجود ندارد.

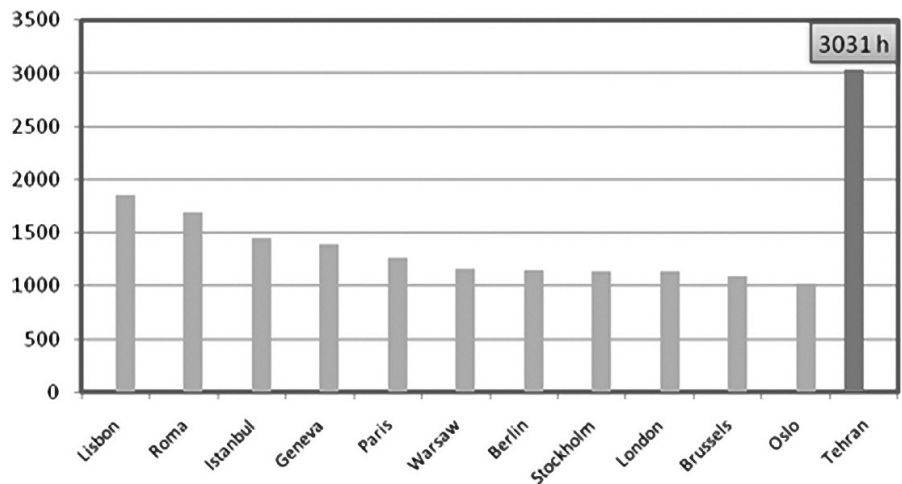
4. BIPV (Building Integrated Photovoltaic).

۵. برای اطلاعات بیشتر، نک: <http://www.sgccir.com/sg> (سایت اینترنتی شرکت فیبر نوری و برق خورشیدی هدایت نور).

وضعیت تابش آفتاب در ایران، و آسمان تهران

کشور ایران بین عرض جغرافیایی 25° و 39° و 1° تا 25° شمالی قرار گرفته، در حالی که کشورهای اروپایی بین عرض‌های جغرافیایی حدود 40° تا 70° ایالات متحده آمریکا بین عرض 30° تا 50° و کانادا بین عرض 50° تا 70° واقع شده‌اند. ایران با قرار گرفتن میان این عرض جغرافیایی به خط استوا نزدیک‌تر است و همان‌طور که می‌دانیم در نواحی نزدیک به استوا، پرتو خورشید بر سطح زمین عمودتر و در نواحی نزدیک به دو قطب پرتو خورشید مایل‌تر است. بنا بر این ایران به لحاظ دریافت انرژی خورشید توان و امکان بیشتری نسبت به کشورهای اروپایی و آمریکایی دارد، اما با این حال این کشورهای اروپایی و آمریکایی هستند که نمونه‌های بسیار 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 1000 تا 1500 ساعت در سال است در صورتی که جمع ساعات آفتابی تهران در سال 3031 ساعت است و در مقایسه مشخص می‌شود که ساعات آفتابی تهران 2 تا 3 برابر ساعات آفتابی شهرهای اروپایی است که تفاوت بسیار



ت ۲. نمودار مقایسه ساعات آفتابی تهران با شهرهای اروپایی
 مأخذ: نگارنده، بر اساس آمار پایگاه اینترنتی <http://www.sapa-solar.com/sun-hours-european-city.html>. Accessed Jul, 2009.

چشم‌گیری را نشان می‌دهد. با این حال در همین شهرهای اروپایی - با تعداد ساعات آفتابی کم - تعداد زیادی ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک وجود دارد که نمونه‌های بسیار خوب به کارگیری این سیستم در دنیا هستند. کشور ایران به جهت داشتن شهرهای با بیش از 3000 ساعت آفتابی در سال سرشار از انرژی خورشیدی است و فقط نیازمند یک برنامه‌ریزی ملی برای استفاده از این انرژی است.

با توجه به اینکه رویکرد به فتوولتاییک‌ها در دنیا رو به رشد و موفقیت‌آمیز بوده و از نظر علمی و اقتصادی موجه است در کشورهای مختلف به فراوانی به کار گرفته می‌شود. با وجود نیاز به استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید برق در کلان‌شهر تهران و امکان تولید پنل‌های فتوولتاییک با توان بالا در این شهر، زمینه‌های بومی کردن ضوابط طراحی و طراحی ساختمان‌های BIPV یکی از برنامه‌هایی است که می‌باید به‌جد دنبال شود تا در ایران نیز همگام و همراه با دیگر کشورها در صورت بروز بحران انرژی، برای تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز کشور بتوان از سیستم‌های فتوولتاییک به عنوان جایگزینی مطمئن استفاده کرد.

به همین منظور در ادامه نیازهای کلی طراحی BIPV‌ها معرفی و سپس شیوه‌های طراحی بومی برای به‌کارگیری ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک در شهر تهران بررسی و ارائه می‌شود.

۲. معرفی نیازهای طراحی BIPV

به منظور یکپارچگی صحیح فتوولتاییک‌ها با ساختمان می‌باید آنها را از ابتدای فرآیند طراحی به عنوان بخشی از طرح‌مایه‌های اولیه ساختمان و مطابق با طرح معمار در نظر گرفت. برای رسیدن به این هدف، لازم است به مسائل مختلف مرتبط با فتوولتاییک‌ها و ساختمان، و همچنین تأثیری که بر یکدیگر می‌گذارند در طول طراحی پرداخت؛ زیرا زمانی که فتوولتاییک‌ها

۹. تأثیر شیب دیوار نمای ساختمان بر نیروی سیستم فتوولتاییک؛
۱۰. تعیین نوع و توان سیستم فتوولتاییک یکپارچه با ساختمان؛
۱۱. تأثیر نیاز به سرمایه‌ش یا گرمایش بر زاویه شیب پنل‌های فتوولتاییک؛
۱۲. تأثیر عملکرد ساختمان بر مکان و زاویه شیب پنل‌های فتوولتاییک؛
۱۳. هماهنگی میان معمار و دیگر مهندسان دست‌اندر کار طرح ساختمان BIPV.

۳. شیوه‌های بومی طراحی ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک در تهران

همان‌طور که گفته شد هدف این مقاله ارائه راهکار برای عواملی است که در فرآیند طراحی چنین ساختمان‌هایی تأثیرگذار است. 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 است. 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 نتیجه مطلوب رسید. بدین منظور برای دست‌یابی به راهکارهای طراحی BIPV، ابتدا برخی ویژگی‌های اقلیمی شهر تهران^۷ که به استفاده از فتوولتاییک‌ها مربوط است، بررسی خواهد شد.

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

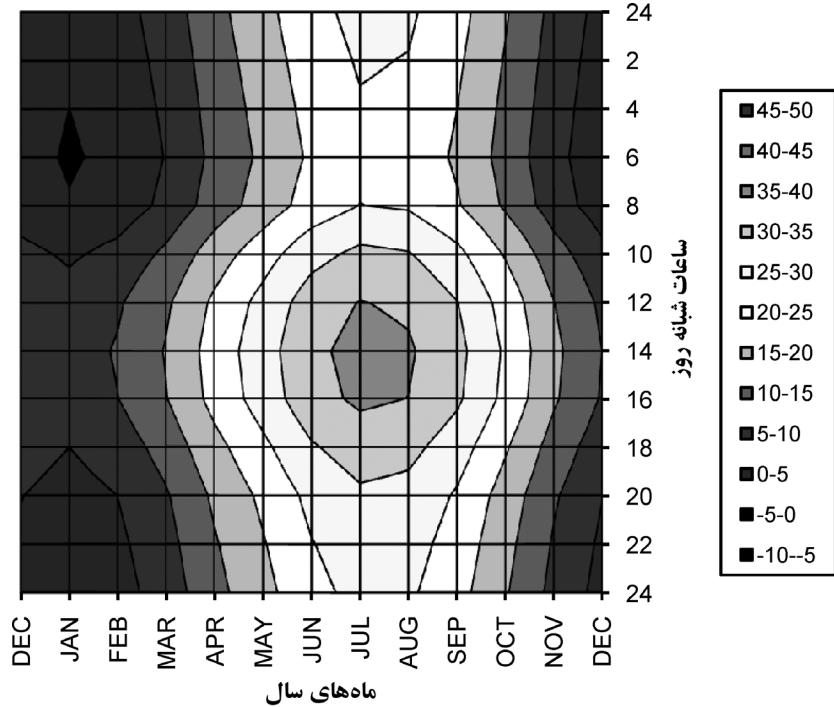
۱. تأثیر عوامل اقلیمی بر پنل‌های فتوولتاییک؛
۲. تعیین جهت و شیب بهینه پنل‌های فتوولتاییک؛
۳. تأثیر سایه‌اندازها بر چیدمان و ترکیب و فاصله پنل‌های فتوولتاییک که شامل سایه‌اندازی خود ساختمان، همسایگی‌ها و موانع، سایه‌اندازی درختان، سایه‌اندازی آسمان ابری، و سایه‌اندازی آلودگی‌ها می‌شود؛
۴. هماهنگی میان سیستم‌های فتوولتاییک با سیستم‌های غیرفعال خورشیدی در ساختمان BIPV؛
۵. تهویه 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 ریخت‌پلان ساختمان بر نیروی سیستم فتوولتاییک؛

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

۷. شهر تهران در عرض جغرافیایی 35° و 44° شمالی و طول جغرافیایی 51° و 30° شرقی در اقلیم گرم و خشک ایران واقع شده است. در این مقاله آمار و اطلاعات ایستگاه هواشناسی مهرآباد از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ مینا قرار گرفته است. عرض جغرافیایی ایستگاه مهرآباد 35° و 41° شمالی و طول جغرافیایی آن 51° و 19° شرقی و ارتفاع ۱۱۹۰/۸ متر از سطح دریاست.

ت ۳. (راست) تقویم نیاز اقلیمی شهر تهران، بر اساس دما^۹ (مأخذ: نگارنده، بر پایه برنامه تهیه شده توسط منصوره طاهباز).
ت ۴. (چپ) نمودار تغییرات روز - درجه سرمایش و گرمایش شهر تهران (مأخذ: همان).

دمای محیط تأثیر بسیار زیادی بر بازده سیستم‌های فتوولتائیک دارد، به طوری که با افزایش حرارت 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 - ۰/۴ درصد کاهش می‌یابد.^۸ در شهر تهران در ماه‌های گرم به خصوص در ساعات ظهر، دمای هوا به بالای ۲۵ درجه می‌رسد و این دما بازدهی فتوولتائیک‌ها 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 تهویه طبیعی یا مکانیکی بازده سیستم را افزایش دهد.
راهکار: در سیستم‌های نما به صورت دولایه، با ایجاد باز شو می‌توان از باد و تهویه طبیعی در ساختمان برای تهویه پشت پنل‌های فتوولتائیک استفاده کرد و بدین وسیله بازدهی آنها را افزایش داد.



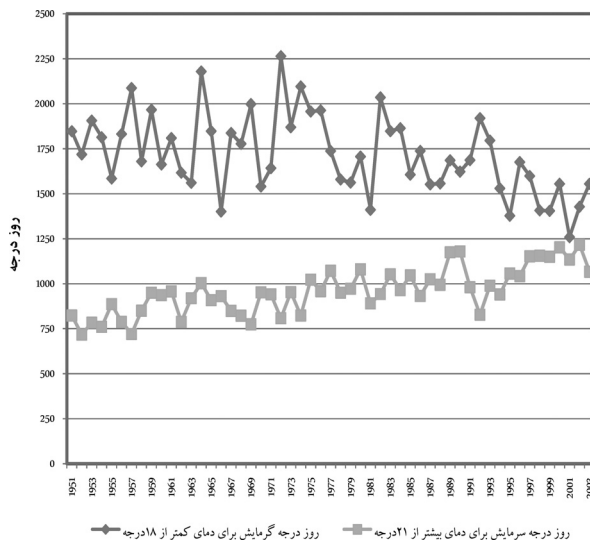
در سیستم‌های بام شیب‌دار می‌توان با ایجاد دریچه زیر لبه بام و روی بام، امکان عبور جریان هوا از پشت فتوولتائیک‌ها را ایجاد کرد.

البته طراح هنرمند و باتجربه می‌تواند طول فرآیند طراحی راهکارهای دیگری که هماهنگ با دیگر عوامل باشند، ارائه کند.

طبق نمودار روز- درجه سرمایش و گرمایش (ت ۳) متوجه می‌شویم که در سال‌های گذشته در تهران نیاز به گرمایش بیشتر بوده، اما در سال‌های اخیر روز درجه گرمایش رو به کاهش و روز درجه سرمایش رو به افزایش است. بنابراین باید نیاز به سرمایش مورد توجه قرار گیرد و برای ماه‌های گرم تدابیر مناسبی اندیشیده شود.

با توجه به نیاز بیشتر برق در این ماه‌ها این مسئله می‌تواند روی طراحی و شیب پنل‌های فتوولتائیک تأثیر بگذارد که در ادامه بررسی می‌شود.

نمودار «ت ۴» نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر حدود ۲۰-۲۵ روز در سال، گرد و غبار در آسمان تهران وجود داشته است و از آنجایی که گرد و غبار می‌تواند بازدهی سلول‌های



روز درجه سرمایش برای دمای بیشتر از ۲۱ درجه - روز درجه گرمایش برای دمای کمتر از ۱۸ درجه



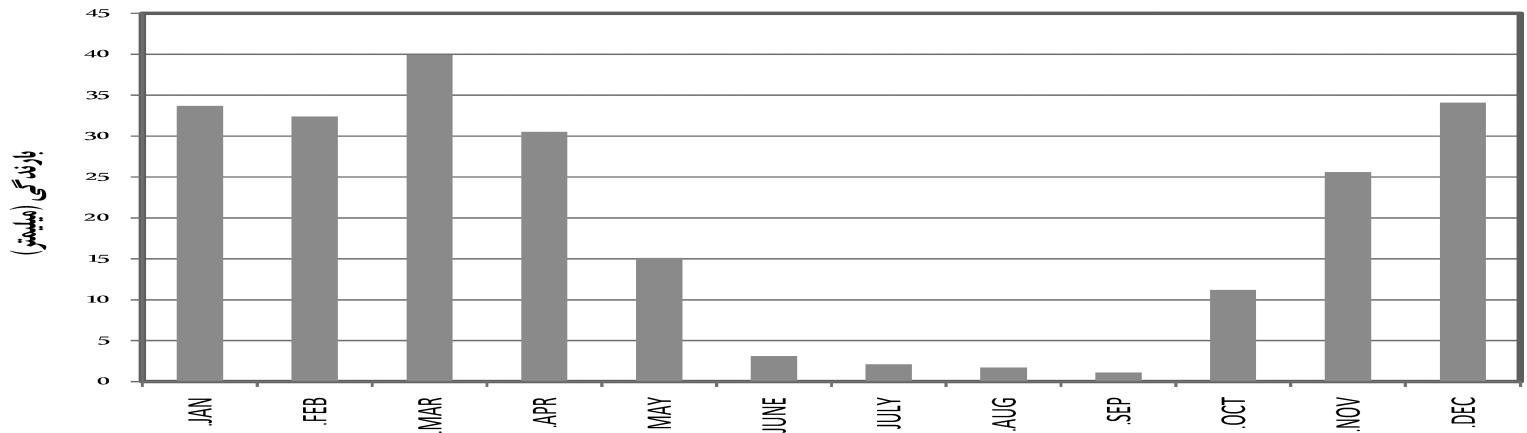
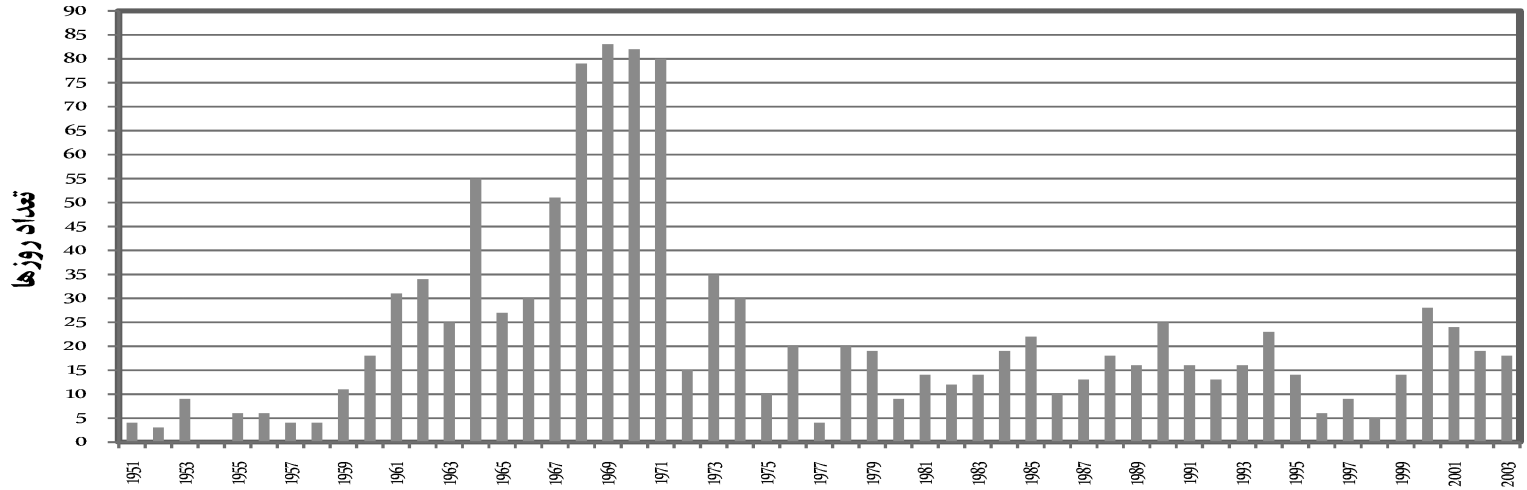
(بارندگی بیش از ۲۵ میلی‌متر) در روزهای سرد سال بوده و در این ماه‌ها احتمال یخبندان وجود دارد، باید در طراحی شیب پنل‌های فتوولتاییک دقت شود تا روی سیستم آب جمع نشود، زیرا کارایی آن را پایین آورده و در صورت یخ بستن عملکرد سیستم را مختل می‌کند.

در طراحی ساختمان‌های BIPV باید برای وضعیت ساختمان در این ماه‌ها دقت بسیار کرد و راهکارهای مناسب برای جلوگیری از جمع شدن آب و برف روی سیستم و در نتیجه بر طرف کردن یخ‌زدگی انجام شود.

فتوولتاییک را کاهش دهد، این کاهش مقدار تولید سیستم 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 توجه به اینکه بیشترین میزان بارندگی‌های تهران

ت ۵. (بالا) نمودار مجموع سالیانه تعداد روزهای همراه با گرد و غبار شهر تهران (مأخذ: همان).
ت ۶ (پایین) نمودار بارندگی ماهیانه شهر تهران (مأخذ: همان).



۲.۳. تعیین جهت و شیب بهینه پنل‌های فتوولتاییک در تهران

بازده نیروی سیستم فتوولتاییک رابطه مستقیمی با میزان دریافت انرژی خورشید دارد. از طرفی این بازده به جهت و شیب پنل‌های مستقرشده نیز بستگی دارد و در نتیجه جهت‌گیری و شیب پنل‌های فتوولتاییک متأثر از میزان دریافت انرژی خورشید است.

یکی از روش‌هایی که امروزه در دنیا برای تعیین جهت و شیب بهینه پنل‌های فتوولتاییک در هر مکان استفاده می‌شود، نمودار تابش^{۱۰} است که در آن با استفاده از آمار موجود از تابش دریافتی خورشید، میزان تابش بر کلیه سطوح افقی و عمودی در جهت‌ها و شیب‌های مختلف در این نمودار ترسیم می‌شود.

پیش از تعیین جهت و شیب بهینه پنل‌های فتوولتاییک از روی نمودارهای تابش در تهران، نخست با استفاده از اطلاعات و آمار هواشناسی مربوط به تابش ماهیانه و سالیانه و بر اساس نمودار میانگین سالانه تابش دریافتی از خورشید در سطح افقی

۹. برای اطلاعات بیشتر درباره نمودارهای اقلیمی، نک: طاهباز، منصوره. «روش تحلیل آمار هواشناسی برای طراحی معماری همساز با اقلیم». در هنرهای زیبا، ش ۳۸ (تابستان ۱۳۸۸)، ص ۷۲-۶۱.

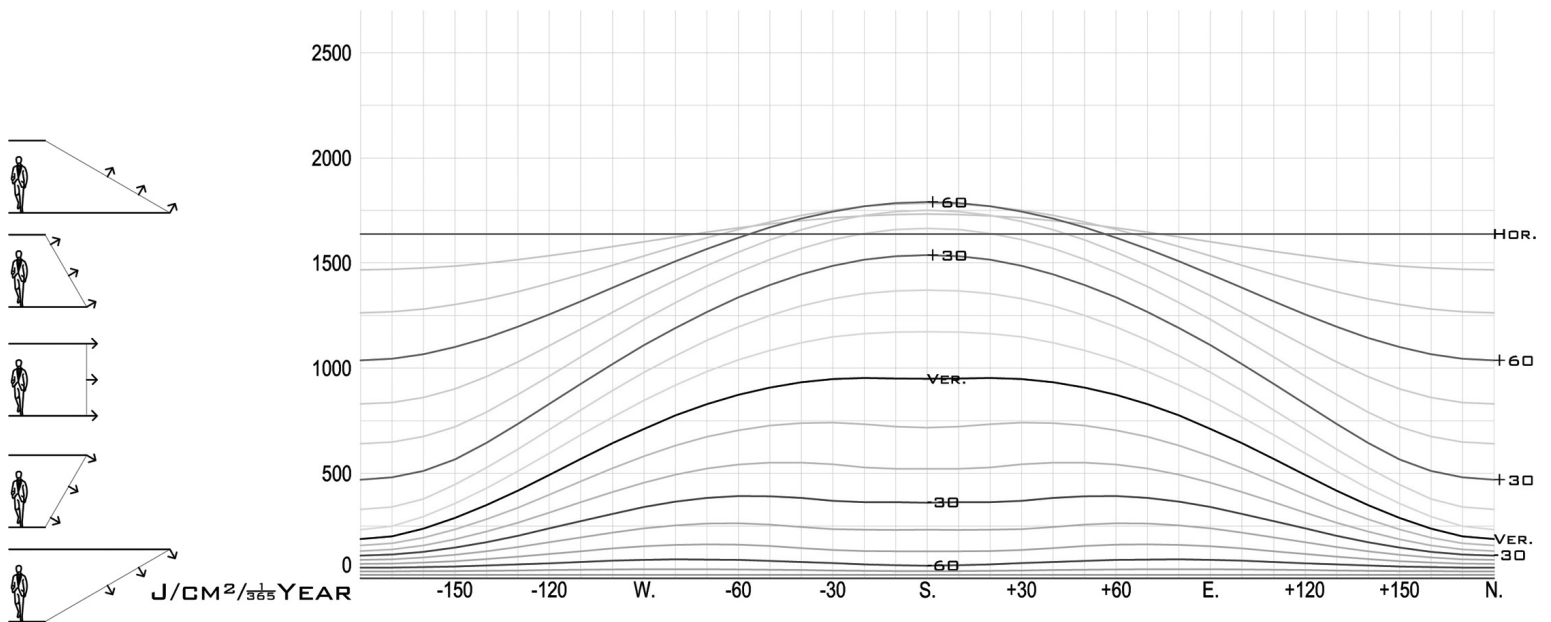
۱۱. نک: صمیمی، مجتبی. از مهر تا مهرز (برآورد شدت تابش آفتاب و میزان مهر و قهر آن بر روی

۷. نمودار میزان تابش سالانه دریافتی در هر یک از سمت‌ها و شیب‌ها برای شهر تهران (مأخذ: صمیمی، مجتبی. از مهر تا مهرز، ص ۱۴ پیوست).

(بام) و جبهه‌های دیگر ساختمان با شیب‌های مختلف^{۱۱} می‌توان تشخیص داد که کدام جبهه‌ها از ساختمان برای استفاده از فتوولتاییک‌ها مناسب‌تر خواهند بود.

طبق نمودار «ت ۷» در صورتی که بخواهیم فتوولتاییک‌ها را با دیوارهای قائم نما ترکیب کنیم، جبهه رو به جنوب وضعیت بهتری از لحاظ دریافت تابش خورشید دارد. اما اگر در طراحی ساختمان امکان ساخت دیوار شیب‌دار (با توجه به اجرا و هزینه‌های ساخت 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 شیب‌های مثبت رو به آسمان و یا حداقل از دیوار قائم استفاده کرد و مسائل و مشکلاتی را که در اثر رویکرد غیر



همان طور که ذکر شد ترکیب فتوولتاییک‌ها با بام مشکلاتی را همراه دارد. با توجه به اقلیم تهران که در آذر و دی ماه شاهد برف و یخبندان است و همین‌طور از آن‌جا که تابش روی این سطح به جهت مایل بودن زاویه خورشید بسیار کم است، این برف و یخبندان ادامه می‌یابد و مانع از عملکرد فتوولتاییک‌ها می‌شود.

با تحلیل نمودارهای تابش ماهیانه و سالیانه در شهر تهران می‌توان به تعیین جهت و شیب بهینه پنل‌های فتوولتاییک دست یافت.

۳.۲.۱. نمودارهای تابش شهر تهران^{۱۲}

نمودارهای تابش برای هر مکان متفاوت هستند و باید جداگانه ترسیم شوند. در کشورهای مختلفی که ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک طراحی و ساخته شده، این نمودارها ترسیم شده و موجود هستند. به همین منظور برای طراحی چنین ساختمان‌هایی در شهر تهران نیاز بود که چنین نمودارهایی با استفاده از الگوهای موجود تهیه و از نمونه بومی آنها استفاده شود.

در «ت ۸» مشاهده می‌شود که در همه نمودارها جهت بهینه قرارگیری فتوولتاییک‌ها به سمت جنوب (با کمی زاویه انحراف رو به شرق یا غرب) است و اما برای هر ماه می‌توان جداگانه یک محدوده یا دقیقاً یک زاویه شیب بهینه تعیین کرد که این حالت برای سیستم‌هایی که متحرک هستند، کاربرد دارد. در صورتی که استفاده از این سیستم در ماه‌های خاصی (به صورت فصلی) مورد نیاز باشد، 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 خورشید در تابستان به هنگام ظهر در بیشترین مقدار سالانه آن قرار دارد اما به خاطر زاویه بسیار میلی که نسبت به جبهه جنوب در این هنگام پیدا می‌کند،

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

با توجه به مسیر حرکت خورشید در آسمان (از شرق به غرب) و زاویه‌ای که با سطح افق می‌سازد، در شهر تهران جبهه‌های قائم رو به شمال تابش ناچیزی را دریافت می‌کنند که این تابش مستقیم نیست و در حالتی که شیب مثبت رو به آسمان داشته باشند، هرچه این شیب بیشتر شود میزان دریافت آنها نیز بیشتر خواهد بود تا جایی که جبهه شمالی با شیب ۶۰ درجه رو به آسمان، همانند جبهه شرقی یا غربی با زاویه شیب ۳۰ درجه روبه آسمان، انرژی دریافت می‌کند و این مقدار از دریافت تابش جبهه جنوب در حالت قائم نیز بیشتر است!

دیوار رو به جنوب با شیب ۴۵ درجه تقریباً همانند (کمی بیشتر از) سطح افقی بام تابش دریافت می‌کند، وقتی چنین حالتی وجود دارد، دیوار شیب‌دار در بعضی موارد مزیت‌هایی بر بام دارد؛ مثلاً در مواقع برف و باران سطح افق انباشته از آب و برف می‌شود در حالی که دیوار شیب‌دار چنین نیست. اما در مقابل بام نیز مزیت‌هایی بر دیوار شیب‌دار دارد؛ از جمله مسائل محدودیت فضای داخل، اجرای ساختمان، و... را ندارد.

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

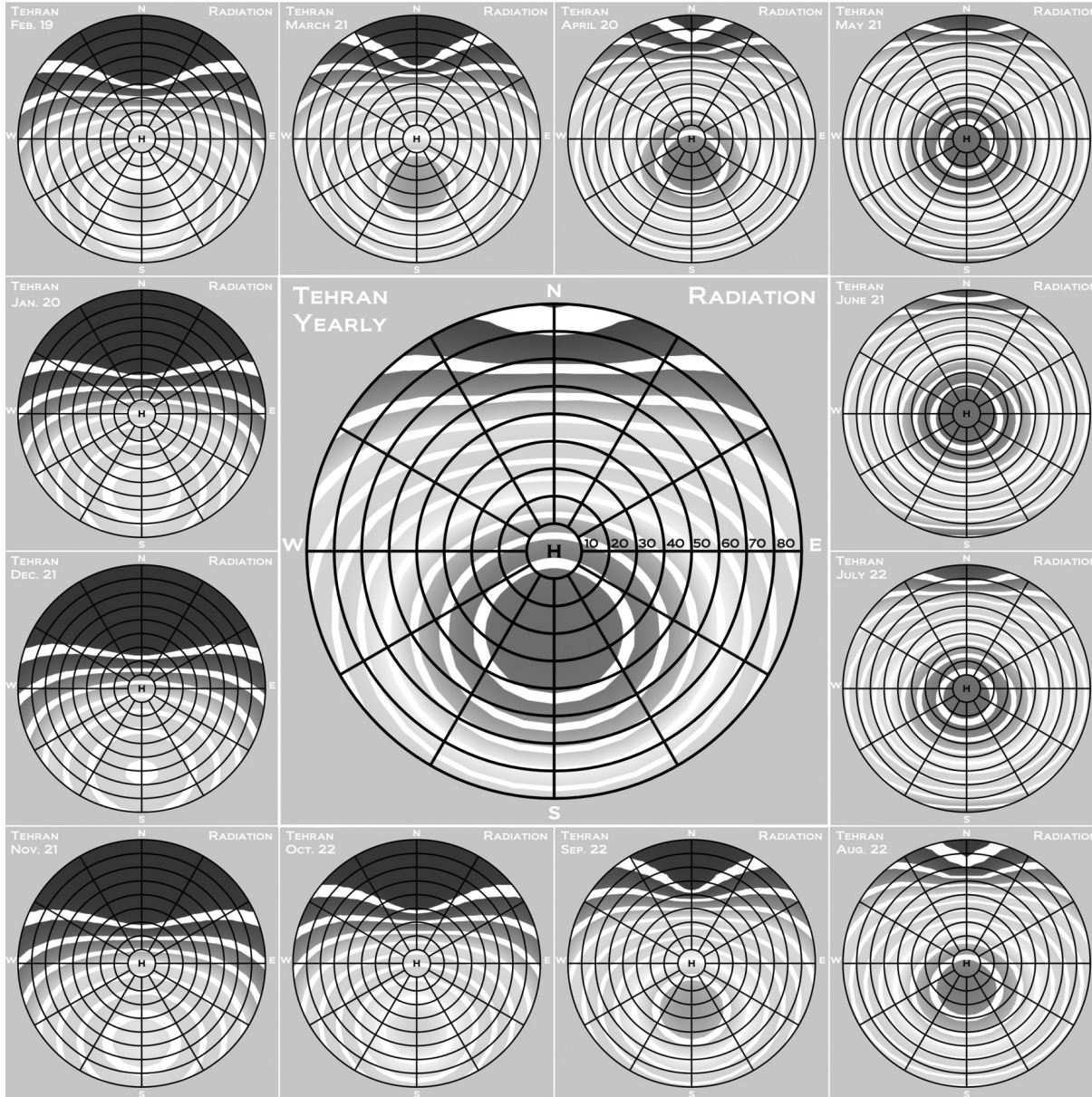
دیوار شیب‌دار نما، سایبان‌های شیب‌دار به گونه‌ای که روی هم سایه نیندازند، سایبان‌های خورشیدی روی دیوار نما که به صورت پله‌ای هستند، بام شیب‌دار (با زاویه ۶۰ درجه روبه آسمان) که ممکن است نسبت به دیوار شیب‌دار گزینه بهتری باشد، و نورگیرهای شیب‌دار روی بام.

به طور کلی بر اساس نمودار «ت ۷» می‌توان گفت دریافت تابش روی سطح افق از تمام جبهه‌ها با شیب‌های مختلف بیشتر است به جز جبهه‌های رو به جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب در صورتی که با شیب ۴۵-۶۰ درجه رو به آسمان باشند. اما

→ سطوح ساختمان در شهرهای ایران و معماری از نگاه آفتاب). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته معماری، استاد راهنما: دکتر منصوره طاهباز، تهران: دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده معماری و شهرسازی، تیر ۱۳۸۶. در این پایان‌نامه با طراحی برنامه‌ای رایانه‌ای به محاسبه موقعیت و مسیر حرکت خورشید در هر لحظه از روز و سال برای شهرهای مختلف ایران پرداخته شده و در بخشی از آن آمار ماهانه و میانگین سالانه تابش دریافتی از خورشید در سطح افقی (بام) و جبهه‌های دیگر ساختمان آمده و بر روی نمودارهای مختلف نمایش داده شده است.

۱۲. در این نمودار نقاطی که به یک میزان تابش خورشید را دریافت می‌کنند (نقاط هم‌انرژی) در محدوده هم‌رنگ هستند و به این ترتیب هر محدوده از نظر میزان دریافت انرژی خورشید و تبدیل و تولید به نیروی برق، امتیازی به خود اختصاص داده است. با استفاده از این محدوده‌ها می‌توان نقاطی که حداکثر انرژی را از خورشید دریافت می‌کنند مشخص کرد، به گونه‌ای که چنانچه پنل‌ها در جهت هر کدام از این زاویه شیب‌ها قرار گیرند بر اساس میزان انرژی که از خورشید دریافت می‌کنند، بازدهی متفاوتی خواهند داشت و بر اساس این نقاط می‌توان جهت و زاویه شیب بهینه پنل‌های فتوولتاییک را از روی نمودار تعیین کرد.

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 مایل تر است اما به واسطه تابش عمودتر به جبهه جنوب، نقش آن چنان زیاد می شود که در نمودارها در نقطه ماکزیمم قرار گرفته است.



۱۳. برای اطلاعات بیشتر نک: صمیمی، مجتبی. «مبانی برای طراحی مهرپا». در معماری و شهرسازی ویژه نامه معماری پایدار، ش ۱۰۱ (خرداد ۱۳۹۰)، ص ۱۱۲-۱۱۷.

ت ۸ نمودارهای دریافت تابش ماهیانه و سالیانه برای شهر تهران^{۱۳} (مأخذ: مجتبی صمیمی، برنامه ترسیم نمودارهای تابش).

۳.۲.۳. 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 سرمایه‌ی 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 سالیانه 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 واسطه یخ بستن سطح روی آنها متوقف شود. بنا بر این جبهه‌های جنوبی شیب‌دار (سایبان‌های شیب‌دار و لوورها)، بام‌های رو به جنوب شیب‌دار، یا نورگیرهای دندان‌دندانه 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 سرمایه‌ی یا گرمایش بر زاویه شیب پنل‌های فتوولتاییک

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

در مقایسه 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 تهویه 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 سالیانه تابش کمک بیشتری در خصوص تعیین جبهه‌ها و شیب‌های بهینه خواهد کرد.

نمودار میانگین سالیانه 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 جبهه 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.

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

بنابراین استفاده از انرژی خورشیدی توسط فتوولتاییک‌ها هم برای گرمایش و هم سرمایش به کاربردی 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 مصرف‌کننده انرژی به یک تولیدکننده 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 زاویه 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 زاویه 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 زاویه 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 کره زمین و تغییرات آب‌وهوایی، تعداد روز-درجه سرمایش در تهران نسبت به روز-درجه گرمایش افزایش یافته و بنا بر این نیاز به سرمایش در

اغلب مناطق تهران بیشتر است. البته در مناطق شمالی تهران که در دامنه کوه‌های البرز واقع شده اند، روز-درجه گرمایش نسبت به روز-درجه سرمایش بالاتر است. بنابراین باید اولویت نیاز به سرمایش و گرمایش در منطقه 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 ۲۰ تا ۳۰ درجه نسبت به افق قرار دهید.

۳.۴. تأثیر عملکرد ساختمان بر مکان و زاویه

شیب پنل‌های فتوولتاییک

یکی دیگر از عواملی که می‌تواند در طراحی سیستم فتوولتاییک یکپارچه با ساختمان از لحاظ مکان قرارگیری پنل و جهت آن، زاویه 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 به کار رود.

آنها همانند کارکرد اداری از صبح تا عصر است. بنا بر این نیاز آنها به انرژی با ساعات تولید برق در طول روز یکی است و در صورتی که سیستم‌های فتوولتاییک با این ساختمان‌ها یکپارچه شوند، کارایی خوبی خواهند داشت. از آن‌جا که مدارس چند ماه از سال را فعال نیستند، اگر بتوان برق تولیدشده در آن زمان‌ها را برای استفاده در مواقع دیگر ذخیره کرد یا اگر به شبکه برق شهری متصل باشد، کمک بسیاری به تأمین نیروی برق مورد نیاز این کارکرد و حتی شبکه شهری خواهد کرد.

ساختمان‌هایی که کارکردهای تجاری دارند، همچون مراکز خرید اغلب فعالیت‌شان از صبح آغاز می‌شود و تا ۹ و ۱۰ شب ادامه دارد. این مراکز معمولاً در تمام سال باز هستند و فعالیت می‌کنند. از آن‌جا که بیشتر ساعات فعالیت مراکز تجاری در طول روز است اگر با فتوولتاییک‌ها ترکیب شوند، عرضه و تقاضای انرژی در این ساعات تا حدودی از تعادل برخوردار خواهد بود و فقط در شبانگاهان لازم است از شبکه برق شهری استفاده کنند. البته در صورتی که ذخیره برق این مراکز بیشتر از مصرف روزانه باشد می‌توانند از آن در ساعات 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 شهر تهران ساخت‌وسازهای بلندمرتبه انجام شده و رعایت فاصله‌ها و توجه به خورشید و باد مد نظر قرار نگرفته، و به طور کلی بافت فشرده است، مشکل سایه‌اندازی و عدم تهویه کافی برای سیستم‌های فتوولتاییک یکپارچه با مسکن را چگونه باید حل کرد؟

بر اساس هزینه‌های فعلی فتوولتاییک در کشور و موارد و مشکلات ذکرشده درباره مسکن، شاید بتوان گفت که در عملکردهای مسکونی BIPV در مرحله اول بهتر است از این سیستم در شهرک‌های مسکونی مجموعه‌ای استفاده شود تا

یکی از کارکردهایی که همیشه و در تمام ساعات با حضور انسان تعریف و شناخته می‌شود، کارکرد مسکونی است. همان‌طور که می‌دانیم تولید برق در ساعات حضور خورشید در آسمان اتفاق می‌افتد، لیکن ساعات استفاده از این نیرو در ساختمان‌های مسکونی بیشتر از این ساعات دریافت انرژی خورشید است.

اداره‌های دولتی به طور معمول با طلوع آفتاب شروع به کار می‌کنند و اغلب تا عصر و شاید کمی بیشتر فعالیت آنها ادامه دارد. از آن‌جا است که ساعات فعالیت این نوع ساختمان‌ها در طول روز (بین ساعات ۸ صبح تا ۵ بعد از ظهر) است و تقریباً برابر با همان مسیری است که خورشید در آسمان طی می‌کند؛ بنا بر این چنانچه از سیستم‌های فتوولتاییک در این ساختمان‌ها استفاده شود، نتیجه مطلوبی خواهد داشت. کارکردهای اداری نمونه‌های مناسبی برای استفاده از این سیستم هستند، زیرا هم‌زمان با ساعاتی که تابش خورشید ادامه دارد و بر سطح پنل‌های فتوولتاییک می‌تابد، به بیشترین مقدار نیروی برق در ساختمان‌های اداری نیاز هست. همچنین میزان تقاضای آنها برای انرژی الکتریکی مقدار قابل توجهی است و نیز این ساختمان‌ها در تابستان هم فعال اند.

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

مدرسه‌های به طور معمول از صبح حدود ساعت 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 مدرسه‌های دو نوبته یا غیر انتفاعی ممکن است آنها به علت برگزاری کلاس‌های فوق‌العاده مدت زمان فعالیت بیشتر باشد. همچنین مدرسه‌هایی که کلاس‌های خاص بزرگسالان و شبانه برگزار می‌کنند، فعالیت‌شان تا ۹ و ۱۰ شب ادامه می‌یابد.

مدرسه‌های در یک بازه زمانی خاص فعالیت می‌کنند و اغلب چند ماه از سال تعطیل اند. همچنین ساعات فعالیت بیشتر

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 شبکه 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

۱۶. در کشورهایی که به صورت جدی از BIPV استفاده می‌کنند، در صورت تولید اضافی برق، مازاد آن به شبکه 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 درجه شمالی، بیشترین زاویه تابش خورشید در ظهر روز اول تیرماه ۷۸ درجه، کمترین زاویه تابش در ظهر اول دی‌ماه ۳۲ درجه، و کمترین زاویه تابش در هنگامی که خورشید طلوع و غروب می‌کند ۱۰ درجه در نظر گرفته شده است.

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 تخته کلاس، و ورود گرما در مواقع گرم سال، باید در جهت جنوبی‌شان سایبان تعبیه شود، می‌توان این سایبان‌ها را با فتوولتاییک یکپارچه کرد تا هم کارایی سایبان را داشته باشند و هم با تولید برق، انرژی مورد نیاز مدرسه را تأمین کنند.

۳.۵. تأثیر سایه‌اندازها بر چیدمان و ترکیب و فاصله 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

سبب بیشتر بودن زاویه 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 همه ساعات حتی ساعات اولیه صبح و غروب باشد، باید کمترین زاویه تابش نیز محاسبه شود تا سایه پنل‌ها روی یکدیگر نیفتد و در این حالت لازم است فاصله پنل‌ها از همدیگر خیلی بیشتر شود.

بنا بر این هرچه شیب پنل‌ها بیشتر باشد، سایه‌اندازی آنها بیشتر می‌شود. پس لازم است فاصله بین پنل‌ها به منظور جلوگیری از ایجاد سایه روی یکدیگر نیز بیشتر شود.

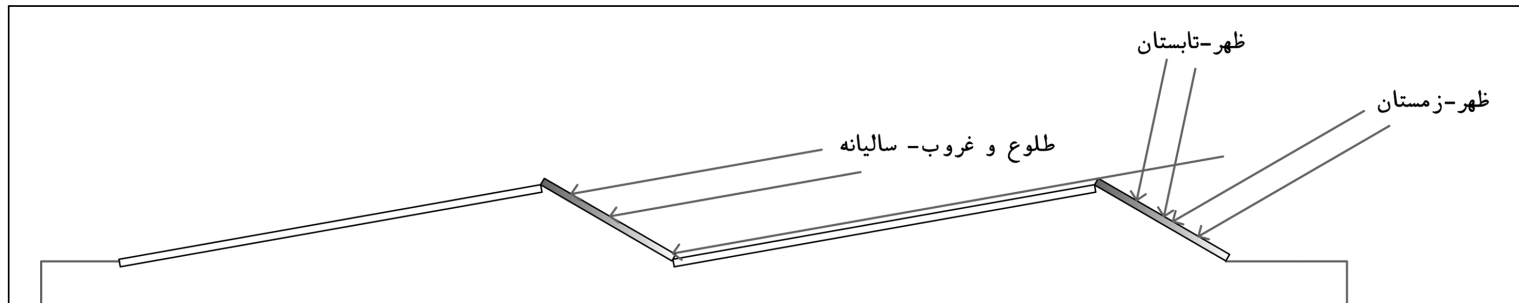
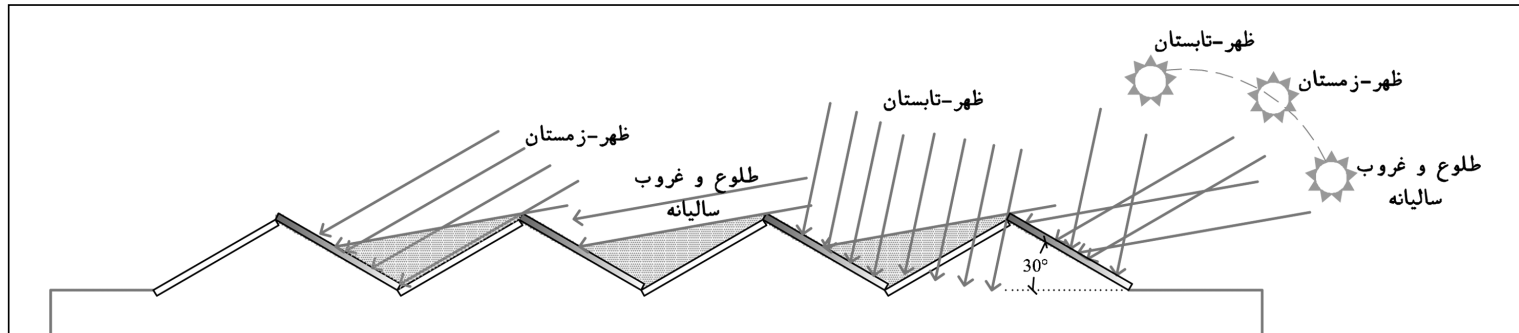
برای بر طرف شدن این مشکل باید زاویه قسمت نورگیر نسبت به زاویه پنل تغییر کند یا بین دندانه‌ها فاصله‌ای ایجاد شود که البته می‌توان از هر دو راهکار در کنار هم نیز بهره برد. راهکار دیگر این است که دندانه‌ها روی شیب قرار گیرند و هر کدام بالاتر از دندانه قبلی تعبیه شوند.

تهران می‌توان زوایای تابش خورشید را در ماه‌های مختلف و همچنین ساعات روز از طلوع تا غروب به دست آورد و بدین ترتیب سایه حجم‌ها و موانع را روی پنل‌های فتوولتاییک محاسبه کرد.^{۱۲}

۳.۵.۱. چیدمان و فاصله بین پنل‌ها بر اساس سایه‌اندازی
در حالتی که فتوولتاییک‌ها با نورگیرهای سقفی دندانه‌دندانه ترکیب می‌شوند (ت ۹) سایه‌اندازی خود فتوولتاییک‌ها مسئله مهمی است که باید به آن توجه شود؛ لازم است زاویه شیب خود پنل‌ها و زاویه شیب دیواره یا نورگیر مقابل آن با زوایای تابش خورشید هماهنگ شود تا از سایه‌های ناخواسته روی پنل جلوگیری شود.

در «ت ۹» فاصله میان پنل‌ها از یکدیگر موجب بهره‌مندی پنل‌ها از تابش خورشید در تابستان و زمستان است و این زوایا باعث ایجاد سایه آنها روی یکدیگر نمی‌شوند. در تابستان به

ت ۹. (بالا) نورگیر یکپارچه با پنل‌های فتوولتاییک با زاویه شیب ۳۰° (مأخذ: نگارنده).
ت ۱۰. (پایین) راهکار جلوگیری از سایه‌اندازی پنل‌های فتوولتاییک یکپارچه با نورگیر (مأخذ: نگارنده).



در ایده «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 ایده «ت ۱۱» با قرار گرفتن دندان‌ها 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، ایده بام شیب‌دار با زاویه 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٪ بازدارنده تابش خورشید هستند و امکان دید از طریق آنها وجود ندارد یا بازدارنده 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

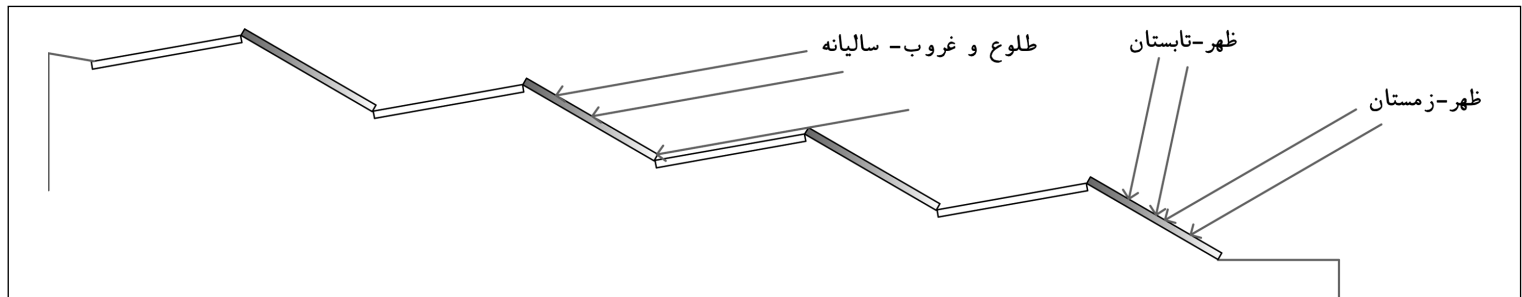
۱۸. منظور بتن اکسپوز (Expose) است.

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

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 شیشه 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 زیاتر نمایش دهند و در عین حال انرژی الکتریسیته 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



نتیجه گیری

با بررسی‌های انجام شده در این مقاله با توجه به رویکرد مثبت BIPV در دنیا و با امکان‌سنجی استفاده از آنها در شهر تهران، شیوه‌های طراحی «ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک» برای شهر تهران ارائه شد که بر اساس نیازهای بومی طراحی، جهت و شیب بهینه برای ترکیب فتوولتاییک‌ها با ساختمان و عملکردهای مختلفی که می‌توان در آنها (در تهران) از فتوولتاییک‌های یکپارچه استفاده کرد و... پیشنهاد شدند.

در حال حاضر با توجه به شناخت شیوه‌های 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 - که استفاده از اطلاعات و دستاوردهای ساختمان‌های BIPV در کشورهای دیگر را برای طراحان مهیا می‌سازد - طراحی و ساخت چنین ساختمان‌هایی در ایران دور از دسترس نیست و با توجه به آن که زمینه‌های ورود این دیدگاه به ایران فراهم است، عملی و قابل اجراست. حتی توانایی این را داریم که برای شهرهای مختلف ایران ضوابط و پیشنهادهای طراحی چنین ساختمان‌هایی را به صورت مدون و دسته‌بندی شده تدوین کنیم.

منابع و مأخذ

صمیمی، مجتبی. از مهر تا مهرآز (برآورد شدت تابش آفتاب و میزان مهر و قهر آن بر روی سطوح ساختمان در شهرهای ایران و معماری از نگاه آفتاب). پایان‌نامه کارشناسی ارشد معماری. استاد راهنما: منصوره طاهباز. تهران: دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده معماری و شهرسازی، تیر ۱۳۸۶.

_____ . برنامه ترسیم نمودارهای تابش. تهران، دفتر معماری راز مهر مهرآز، ۱۳۸۷. (قابل استفاده در: <http://www.solarvision.com>)

_____ . «مبانی برای طراحی مهرپا». در معماری و شهرسازی ویژه‌نامه معماری پایدار، ش ۱۰۱ (خرداد ۱۳۹۰)، ص ۱۱۷-۱۱۲.

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

تدایبر معمارانه می‌توانند محیطی دلپذیر در داخل ساختمان 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 شوند و به این ترتیب ساختمان BIPV به تمام خواسته‌های خود دست می‌یابد.

هنگامی که از سلول خورشیدی در یک پنجره استفاده می‌شود، سلول نصب شده حتی بهتر از شیشه عمل می‌کند و بنابراین در مصرف مصالح ساختمانی ساختمان نیز صرفه‌جویی می‌شود؛ بدین ترتیب پنجره‌ای داریم که برای ما انرژی الکتریسیته نیز تولید می‌کند!

در حال حاضر در ایران، به علت در نظر گرفتن یارانه‌های دولتی برای برق شهری و ارزان بودن قیمت برق، مقایسه فتوولتاییک‌ها با مصالح ساختمانی شاید هنوز اقتصادی به نظر نرسد. در حالی که در کشورهای دیگر که استفاده از BIPV ها رایج است، هزینه مصالح به علاوه برق تولیدی فتوولتاییک در مقایسه با قیمت برق شهری تفاوت کمتری دارد. در نتیجه این کشورها به جای یارانه برای برق شهری، کمک‌هزینه برای سیستم‌های BIPV در نظر گرفته اند و سعی بر ارزان تر کردن مصالح فتوولتاییک دارند که بازگشت سرمایه را در زمانی سریع‌تر ممکن می‌کند.

پیشنهاد: هنگامی که در ساختمان نیاز به مصالح بازدارنده تابش یا مصالح نیمه‌بازدارنده است، می‌توان از فتوولتاییک‌های مات یا نیمه‌شفاف استفاده کرد که بازدارندگی، دید فیلتر شده، نور و گرمای کنترل شده، و عایق صوتی، حرارتی و رطوبتی را نیز فراهم می‌کنند.

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

و شهرسازی. تهران: ۱۳۸۵ (منتشر نشده).

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

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 صفحه، ش ۴۹ (پاییز و زمستان ۱۳۸۸)، ص ۶۹-۸۰.

_____. سیستم‌های فتوولتاییک در ترکیب با معماری (ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک BIPV). پایان‌نامه کارشناسی ارشد معماری. استاد راهنما: منصوره طاهباز. تهران: دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده 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).