فصلنامه معماری سبز
سال یازدهم، شماره ۱ (پیاپی: ۴۶)، بهار ۱۴۰۴
ISSN:2476-5368

تحلیل و مقایسه سیستم‌های فتوولتائیک اعمال شده بر روی ساختمان (BAPV) و سیستم های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان (BIPV)

نگین غفوریان [1*]، فرهاد احمدنژاد [2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰
کد مقاله: ۱۹۵۴۰

چکـیده

آلودگی هوا و کمبود انرژی از جمله چالش‌های جدی است که ایران با آن مواجه است. این مشکلات نه تنها بر سلامت عمومی تأثیر می‌گذارند، بلکه به توسعه پایدار کشور نیز آسیب می‌زنند. در این راستا، استفاده از فناوری‌های نوین انرژی های تجدیدپذیر، به ویژه سیستم‌های فتوولتائیک، می‌تواند راه‌حلی مؤثر برای کاهش آلودگی و تأمین انرژی باشد. دو روش اصلی در این زمینه، BAPV و BIPV هستند که هر یک دارای ویژگی‌ها و مزایای خاص خود می‌باشند. با توجه به شرایط اقلیمی متنوع ایران، این مطالعه به تحلیل امکان‌سنجی و کاربرد هر یک از این روش‌ها در ساختمان‌های موجود می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش سیستم‌های فتوولتائیک اعمال شده بر روی ساختمان در حال حاضر به دلیل کمبود استفاده از پنل‌های فتوولتائیک در ساختمان‌های موجود، می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای مردم باشد. همچنین، الزامات سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان برای توسعه‌های آینده کشور و دخیل شدن آن در مبحث نوزده مورد بررسی قرار می‌گیرد. این تحقیق به پر کردن شکاف‌های موجود در ادبیات مربوط به سیستم‌های فتوولتائیک در ایران کمک می‌کند و راهکارهایی برای بهبود شرایط زیست‌محیطی و انرژی کشور ارائه می‌دهد.

واژگـان کلـیدی: انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های فتوولتائیک، انرژی خورشیدی، BAPV، BIPV

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته معماری و انرژی دانشگاه هنر اسلامی تبریز
ne.ghafourian@tabriziau.ac.ir
۲- استادیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز

۱- مقدمه

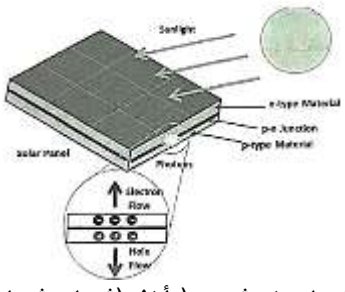
در ایران، با توجه به پتانسیل بالای تابش نور خورشید، استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید برق می‌تواند راهکاری مؤثر برای مقابله با افزایش مصرف برق و کاهش منابع فسیلی باشد. یکی از مشکلات عمده‌ای که ایران با آن مواجه است، محدودیت‌های برق‌رسانی به ویژه در نقاط دورافتاده و روستاها است. در این مناطق، تأمین سوخت و انرژی به یک چالش جدی تبدیل شده است. انرژی خورشیدی می‌تواند به عنوان یک منبع پایدار و تجدیدپذیر نقش کلیدی در تأمین انرژی و کاهش آلودگی هوا ایفا کند. به همین دلیل، دولت ایران در سال‌های اخیر اقداماتی را در راستای تشویق استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی انجام داده است. یکی از روش‌های کلیدی برای بهره‌مندی از انرژی خورشیدی در ساختمان‌ها، استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک است. امروزه فضای خالی کافی برای نصب سیستم PV[1] در محدوده شهری وجود ندارد. علاوه بر این، ساخت و ساز شهر به طور قابل توجهی متراکم با تعداد زیادی آسمان خراش است و بنابراین نصب یک سیستم فتوولتائیک مستقل بسیار غیرممکن است. با این حال، امکان بهره برداری از سقف و نمای ساختمان های موجود برای تولید انرژی توسط سیستم های فتوولتائیک وجود دارد.(Wu et al, 2015) سیستم‌های فتوولتائیک، براساس تکنولوژی ساخت و نحوه نصب در ساختمان به دو دسته تقسیم می‌شوند: فتوولتائیک اعمال شده بر روی ساختمان BAPV[2] و فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان BIPV[3].

با توجه به جدید بودن این موضوع و پیچیدگی‌های موجود در درک این دو مفهوم، تحقیق و بررسی دقیق‌تری در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. هدف این مقاله بررسی و تحلیل سیستم‌های BAPV و BIPV و مزایا و تفاوت‌های این دو سیستم می‌باشد. یافته‌های بدست آمده از این مقاله نشان می‌دهد که سیستم BAPV به دلیل سادگی نصب و هزینه‌های کمتر، گزینه‌ای مناسب برای ساختمان‌های موجود در کشور محسوب می‌شود. از سوی دیگر، سیستم BIPV به دلیل طراحی یکپارچه و قابلیت زیباسازی، انتخاب بهتری برای ساختمان‌های آینده خواهد بود. در نتیجه این موضوع می‌تواند به عنوان راهنمایی برای سیاست‌گذاران و معماران در انتخاب بهترین گزینه‌ها در طراحی و ساخت ساختمان‌های جدید و موجود مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مبانی نظری

۲-۱-سیسیتم فتوولتائیک

فتوولتائیک یا به اختصار PV به یکی از انواع سامانه‌های تولید برق از انرژی خورشیدی می‌پردازد. در این روش با بکارگیری سلول‌های خورشیدی، بدون بهره‌گیری از مکانیزم‌های متحرک و شیمیایی از تابش نور خورشید، الکتریسیته تولید می‌شود. سلول های خورشیدی از نوع نیمه رسانا می‌باشند که از سیلیسیوم یعنی دومین عنصر فراوان پوسته زمین ساخته می‌شوند. وقتی نور خورشید به یک سلول فتوولتائیک می‌تابد، بین دو الکترود منفی و مثبت اختلاف پتانسیل بروز کرده و این امر موجب جاری شدن جریان بین آن‌ها می‌گردد. پس می‌توان فتوولتائیک را در دسته فناوری‌های تجدیدپذیر قرار داد. (نجفی پور و مسروری جنت، ۱۳۹۹)



شکل ۱– مکانیسم پنل های خورشیدی (مأخذ: (شجاع، شجاع و کهزادیان، ۱۳۹۴))

سیستم‌های فتوولتائیک به عنوان یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر، قابلیت کارکرد در شرایط جوی مختلف را دارند. تحقیقات نشان می‌دهند که این سیستم‌ها حتی در آب و هوای ابری و بارانی نیز قادر به تولید انرژی الکتریکی هستند، هرچند که میزان تولید در این شرایط کاهش می‌یابد. قوانین تجربی مربوط به رابطه ابری بودن هوا و بازدهی سامانه فتوولتائیک را به طور کلی به شرح زیر بیان می‌شود: (لکنر، کی‌نژاد و آذری، ۱۳۸۵)

- در روزهای نسبتاً ابری، حدود ۸۰ درصد بازدهی

---

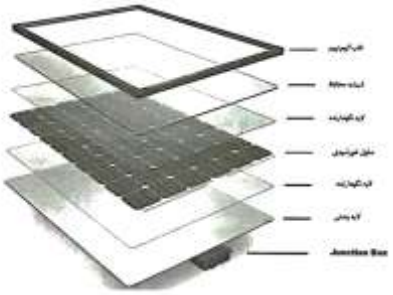
1 - PV (Photovoltaic): سیستم فتوولتائیک

2 - BAPV (Building-Applied Photovoltaics): سیستم‌های فتوولتائیک اعمال شده بر روی ساختمان

3 - BIPV (Building-Integrated Photovoltaics): سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان

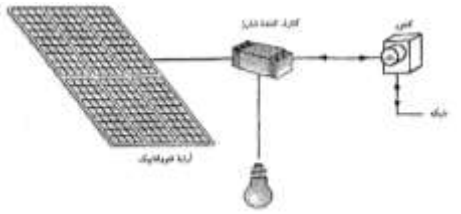
- در روزهای مرطوب یا مه آلود، حدود ۵۰ درصد بازدهی
- در روزهای به شدت ابری، حدود ۳۰ درصد بازدهی

علاوه بر این، نگهداری سیستم‌های فتوولتائیک به دلیل عدم وجود قطعات متحرک، بسیار آسان است. عدم وجود حرکت مکانیکی در این سیستم‌ها به کاهش استهلاک و افزایش عمر مفید آنها کمک می‌کند. این ویژگی‌ها، به همراه توانایی تولید انرژی در شرایط مختلف جوی، موجب شده است که سیستم‌های فتوولتائیک به عنوان یک گزینه پایدار و کارآمد برای تأمین انرژی در نظر گرفته شوند. (سرپوشان، ۱۳۹۳) اجزای تشکیل دهنده پنل‌های خورشیدی عبارتند از: شیشه محافظ، لایه نگهدارنده، سلول‌های فتوولتائیک سری شده، لایه نگهدارنده پشت، صفحه پشت ماژول

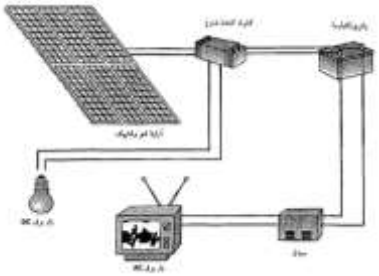


شکل ۲- مکانیسم پنل های خورشیدی (مأخذ: (مولوی و دریاباری، ۱۴۰۲))

سیستم های فتوولتائیک در حالت کلی به دو دسته متصل به شبکه (On- Grid) و منفصل از شبکه (Off Grid) تقسیم‌بندی می‌شوند همانطور که از اسم این سیستم‌ها نیز پیداست منظور از سیستم‌های On- Grid- سیستم‌هایی هستند که به شبکه سراسری برق وصل شده و پرواضح است که با قطع شبکه این سیستم‌ها نیز تولیدی نخواهند داشت سیستم‌های منفصل از شبکه نیز سیستم‌هایی هستند که بیشتر برای برق‌رسانی روستاهای دوردست ویلاها، مناطق صعب العبور مناطقی که به شبکه سراسری برق دسترسی ندارند و ... استفاده می‌شود. (مولوی و دریاباری، ۱۴۰۲)



شکل ۳- شماتیک سیستم متصل به شبکه (مأخذ: (لکنر، کی‌نژاد و آذری، ۱۳۸۵))



شکل ۴- شماتیک سیستم منفصل از شبکه (مأخذ: (لکنر، کی‌نژاد و آذری، ۱۳۸۵))

۲-۲- BIPV ها

در سال‌های اخیر، توجه به ادغام فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر، به‌ویژه سامانه‌های فتوولتاییک (PV)، در طراحی ساختمان‌ها افزایش یافته است. بنای یکپارچه با PV به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که در طراحی آن‌ها، سامانه‌های فتوولتاییک نه تنها به‌عنوان پوشش بلکه به‌عنوان بخشی از کالبد بنا در نظر گرفته می‌شوند. این رویکرد سیستم فتوولتائیک را به‌عنوان مصالحی که می‌تواند شکل‌دهنده‌ی فرم بنا باشد، اهمیت می‌دهد و نشان می‌دهد که چگونه فناوری می‌تواند در طراحی و ساختار معماری تأثیرگذار باشد. (سیدمجید, محمدتقی و علیرضا، ۲۰۰۸)

تحقیقات نشان می‌دهد که ادغام PV در طراحی اولیه ساختمان‌ها می‌تواند به بهبود کارایی انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک کند. در این راستا، طراحی‌های نوآورانه‌ای که PV را به‌عنوان جزئی جدایی‌ناپذیر از فرم بنا در نظر می‌گیرند، می‌توانند منجر به ایجاد فضاهای معماری منحصر به فرد و کارآمد شوند. این رویکرد نه تنها به حفظ منابع انرژی کمک می‌کند و هزینه ساخت و ساز را کاهش می‌دهد (Kalogirou et al, 2014)، بلکه مفهوم و منطق طراحی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و به‌نوعی هویت جدیدی به بنا می‌بخشد.

مفهوم "I" در BIPV (سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان) به یکپارچگی چندوجهی اشاره دارد که شامل جنبه‌های تکنولوژیکی، زیبایی‌شناختی و انرژی می‌شود. (شکل ۱) این ادغام‌ها به شرح زیر هستند: (Maturi and Adami, 2018)

- ادغام تکنولوژیکی: به معنای ادغام مواد فتوولتائیک در ساختار ساختمان است که جایگزین مصالح سنتی می‌شود.

- ادغام زیبایی‌شناسی: تضمین می‌کند که تاسیسات خورشیدی ظاهر ساختمان را بهبود می‌بخشد و با طرح‌های معماری هماهنگ می‌شود.
- ادغام انرژی: نشان‌دهنده همراستایی کارآمد سیستم فتوولتائیک با انرژی مورد نیاز ساختمان است و استفاده از برق تولیدی را بهینه می‌کند.

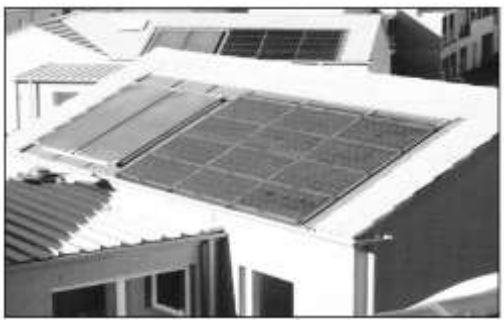
این ادغام‌ها باهم سنگ بنای طراحی موفق سیستم BIPV را تشکیل می‌دهند که هدف آن ترکیبی هماهنگ از شکل، عملکرد و پایداری است.

شکل ۵– مفاهیم یکپارچه‌سازی (مأخذ: (Biyik et al ،۲۰۱۷))

ادغام سیستم‌های فتوولتائیک (PV) در معماری ساختمان‌ها نه تنها نشان‌دهنده تعهد به پایداری زیست‌محیطی است، بلکه همچنین پذیرش بازار را از طریق طرح‌های زیبایی‌شناختی افزایش می‌دهد. رویکرد استفاده از فناوری PV در سطح جهانی متفاوت است و تحت تأثیر عواملی مانند ارزش‌های فرهنگی، عوامل اقتصادی و رواج مسکن عمومی قرار دارد. این روند اهمیت رو به رشد راه‌حل‌های انرژی تجدیدپذیر در توسعه شهری و نقش متخصصان در تقویت شیوه‌های پایدار را برجسته می‌کند. (Reijenga and Kaan, 2012)

معمار باید مفروضات زیر را در مراحل طراحی قبلی خود در نظر بگیرد تا حداکثر و بهینه‌ترین مزایای کاربرد (BIPV) را در ساختمان خود به دست آورد: (Abdelazem, 2024)

- محاسبات طراحی غیرفعال محیطی / خورشیدی.
- آب و هوای محلی / شرایط سایت و بافت سایت.
- زبان طراحی معماری، سازش با (BIPV) سیستم ها / مواد موجود.



شکل ۶– دهکده المپیک سیدنی استرالیا (مأخذ: (سیدمجید، محمدتقی و علیرضا، ۲۰۰۸))

۳-۲- BAPV ها

فتوولتائیک‌های اعمال شده بر ساختمان (BAPV)، که در آن پانل‌های فتوولتائیک مستقیماً با استفاده از یک سازه به پوسته ساختمان موجود متصل می‌شوند.(Biyik et al, 2017)

نکات منفی این سیستم می‌توان به شرح زیر نتیجه گرفت: (Abdelazem, 2024)

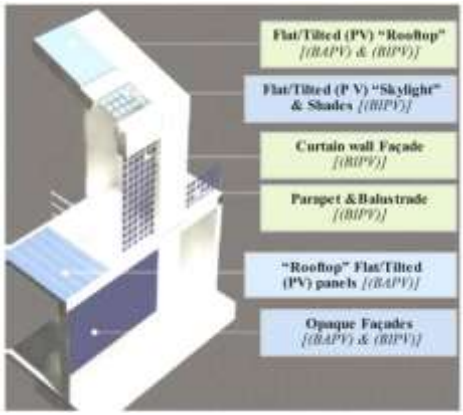
- بارهای اضافی روی پشت بام و نما باید قبل از اعمال محاسبه شود و قابل توجه باشد.
- نیاز به طراحی مجدد معماری (مخصوصا در نما) دارد تا از نظر معماری و زیبایی‌شناسی پذیرفته شود.

- نیاز به مطالعه سیستم تهویه برای شکاف هوا بین ماژول های (PV) و پوسته ساختمان است.
- نیاز به یک مطالعه امکان‌سنجی برای تمیز کردن و رویه‌های نگهداری به سیستم مورد استفاده می‌باشد.

شکل ۷– ساختمان معاونت انرژی(بالا)، پاسگاه مرزی گزیک(پایین) (مأخذ: (سیدمجید، محمدتقی و علیرضا، ۲۰۰۸))

۴-۲- کاربردهای سیستم‌های فتوولتائیک در پوسته ساختمان

امروزه حوزه معماری به واسطه حضور تکنولوژی سلول‌های فتوولتائیک شاهد تحولی چشمگیر در انرژی مورد نیاز مصرفی است. با توجه به اینکه منبع تغذیه سلول‌های فتوولتائیک نور خورشید می‌باشد، لذا محل قرارگیری سلول‌ها، جداره‌هایی از ساختمان است که زمینه مناسبی برای تابش مستقیم نور خورشید دارا باشند از این رو محل استفاده صفحات فتوولتائیک، غالباً نماهای بیرونی و سطوح خارجی بام ساختمان می‌باشد.



شکل ۸– کاربردهای سیستم‌های فتوولتائیک در پوسته ساختمان (مأخذ: (Abdelazem, 2024))

۳- بررسی تفاوت‌های BIPV و BAPV

سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان (BIPV) و سیستم‌های فتوولتائیک اعمال شده بر روی ساختمان (BAPV) دو روش اصلی برای استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمان‌ها هستند. BIPV ها شامل عناصر پوسته ساختمان مانند دیوارها، نماها و پنجره‌ها می‌شوند که به طور مستقیم با پنل‌های فتوولتائیک (PV) یکپارچه شده‌اند. این سیستم‌ها نه تنها انرژی خورشیدی تولید می‌کنند، بلکه به عنوان عناصر ساختمانی نیز عمل می‌کنند و به زیبایی‌شناسی و کارایی ساختمان کمک می‌کنند.

در مقابل، BAPV ها شامل پنل‌های PV هستند که به عناصر موجود ساختمان اضافه می‌شوند، بدون اینکه به طور مستقیم با ساختار ساختمان یکپارچه شوند. این سیستم‌ها معمولاً بر روی سقف‌ها یا دیوارهای موجود نصب می‌شوند و به عنوان یک افزودنی به ساختمان عمل می‌کنند. BAPV ها به دلیل نصب آسان‌تر و هزینه‌های کمتر، گزینه‌ای محبوب برای بسیاری از پروژه‌های خورشیدی محسوب می‌شوند. (Aaditya, Rao, and Mani, 2017) پس در حالت کلی می‌توان گفت BIPV ها یک سیستم جدانشدنی از ساختمان‌ها هستند و BAPV ها بر روی یک ساختمان قرار داده می‌شوند اما معیارهای BIPV ها را برآورده نمی کنند. (Haegermark and Dalenbäck, 2014) سیستم‌های فتوولتائیک اعمال شده بر روی ساختمان (BAPV) بیشتر در پروژه‌های بازسازی استفاده می‌شوند. در این سیستم‌ها، ماژول‌های PV بر روی قفسه‌هایی نصب می‌شوند که به یک ساختار پشتیبانی فلزی جداگانه متصل شده‌اند و این ساختار بر روی سقف ساختمان قرار می‌گیرد (dos Santos and

Rüther, 2012)؛ این در حالی است که استفاده از سیستم‌های BIPV در ساختمان‌های نوساز، راه‌حل بهتری است. (Krawczak, 2020)

شکل ۹– شکل سمت راست سیستم‌های فتوولتائیک اعمال شده بر روی ساختمان (BAPV)، شکل سمت چپ سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان (BIPV) (مأخذ: (۲۰۱۴، Haegermark and Dalenbäck))

دوره برگشت سرمایه برای سیستم‌های فتوولتائیک اعمال شده بر روی ساختمان (BAPV) حدود ۱۲ الی ۱۳ سال است. در مقابل، سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان (BIPV) سرمایه اولیه خود را پس از ۱۶ الی ۱۷ سال بازمی‌گردانند که این مدت ۳۱,۱۴٪ طولانی‌تر از دوره بازپرداخت BAPV است. این تفاوت در دوره بازگشت سرمایه می‌تواند به عوامل مختلفی مانند هزینه‌های نصب، نگهداری و کارایی سیستم‌ها بستگی داشته باشد. با این حال، هر دو سیستم نقش مهمی در تولید انرژی تجدیدپذیر و کاهش اثرات زیست‌محیطی دارند و انتخاب بین آن‌ها بستگی به نیازها و محدودیت‌های خاص هر پروژه دارد. (Jovanović, Nikolic, and Nikolić, 2020)

باتوجه به تحقیقات موجود، دمای سلول در حالت BAPV بیشتر از حالت BIPV است. دلیل این امر وجود دیوار است که به عنوان یک مقاومت حرارتی عمل می‌کند. به همین علت بازده در سیستم BIPV کمی بیشتر از حالت BAPV است. دمای اتاق در سیستم BIPV به دلیل تماس مستقیم مدول‌ها با هوای اتاق نسبت به دمای اتاق در حالت BAPV بیشتر بوده و در زمستان تاثیر مطلوبی دارد. اما این امر در فصل تابستان و با افزایش زیاد دمای اتاق تاثیر مطلوبی داشته و هزینه تهویه را افزایش می‌دهد. (محسنی سهی و جعفرکاظمی، ۱۳۹۸)

همچنین تحقیقی که در مورد تولید برق در جنوب اسپانیا صورت گرفته است، می‌توان نتیجه گرفت سیستم‌های فتوولتائیک اعمال شده بر روی ساختمان (BAPV) نسبت به سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان (BIPV) بالاترین تولید انرژی را دارد. (Toledo et al, 2016) سایه یکی از عواملی است که بر میزان دسترسی به خورشید اثر می‌گذارد، موقعیت و محل پنل‌های فتوولتائیک بایستی چنان طراحی شود که اثر سایه به هیچ وجه روی آنها نباشد؛ (رضی منش سرخاب، صاغری و شاهی ۱۳۹۲) فضای موثر در سیستم‌های BIPV به دلیل عدم وجود سایه‌های ناشی از خود سیستم، بزرگتر است. در نتیجه در سیستم‌های BIPV امکان استفاده از تمام مساحت موجود در سطح سقف وجود دارد که این امر به کاهش هزینه ساخت ناشی از مصالح ساختمانی معمولی و افزایش عمر مفید ساختمان کمک می‌کند. (Ekici, Ekici, and Ünal, 2017)

سیستم‌های BIPV به دلیل یکپارچگی با ساختار ساختمان، مقاومت بالاتری در برابر باد دارد. از سوی دیگر، سیستم‌های BAPV به دلیل نصب بر روی سطح ساختمان، ممکن است در برابر باد بلند شوند و جابه‌جا شوند. این سیستم‌ها به طور معمول بر روی سقف یا دیوارهای ساختمان نصب می‌شوند و به ساختار اصلی ساختمان متصل نمی‌شوند. بنابراین، در شرایط باد شدید، احتمال بلند شدن یا جابه‌جا شدن این سیستم‌ها بیشتر است. (یوردشاهی, پریا و سلیمانی، ۲۰۲۴) سیستم‌های BAPV ممکن است از نظر ظاهری نامرتب به نظر برسند زیرا به ساختار موجود اضافه می‌شوند و شکننده هستند. در مقابل، سیستم‌های BIPV به طور یکپارچه در ساختار ساختمان‌ها ادغام می‌شوند و بادوام هستند و به عنوان بخشی از طراحی معماری ساختمان عمل می‌کنند به همین دلیل این سیستم از لحاظ زیبایی شناختی نسبت به سیستم BAPV عملکرد بهتری دارند. (یوردشاهی, پریا و سلیمانی، ۲۰۲۴)

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نیاز فزاینده ساختمان‌های موجود به تأمین انرژی از منابع تجدیدپذیر، سیستم‌های فتوولتائیک اعمال شده بر روی ساختمان (BAPV) به دلیل هزینه کمتر و نصب آسان‌تر، گزینه مناسبی برای اکثر پروژه‌ها به ویژه در ساختمان‌های قدیمی و بازسازی شده به شمار می‌روند. این سیستم‌ها با قابلیت نصب بر روی سقف‌ها و دیوارهای موجود، امکان بهره‌برداری از انرژی خورشیدی را بدون نیاز به تغییرات اساسی در ساختار ساختمان فراهم می‌آورند و دوره بازگشت سرمایه کوتاه‌تری دارند. از سوی دیگر، سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان (BIPV) به علت ادغام مستقیم در ساختار ساختمان، علاوه بر تولید انرژی،

مزایای زیبایی‌شناختی و ساختاری نیز دارند، هرچند که هزینه نصب بالاتری دارند و دوره بازگشت سرمایه طولانی‌تری را شامل می شوند. نظر به شرایط خاص ایران و نیاز به استفاده بهینه از منابع انرژی تجدیدپذیر، پیشنهاد می‌شود که در طراحی‌های آینده، الزامات استفاده از سیستم‌های BIPV در ساختمان‌ها مد نظر قرار گیرد و در مقررات ملی ساختمان گنجانده شود. این تغییرات می تواند به بهبود بهره‌وری انرژی، کاهش اثرات زیست‌محیطی و کاهش هزینه‌های انرژی در بلندمدت کمک کند. به علاوه، بهره برداری از انرژی خورشیدی باید به عنوان یک اولویت در سیاست‌های اجرایی کشور و برنامه‌ریزی‌های ساخت و ساز آینده در نظر گرفته شود، چرا که استفاده از سیستم‌های خورشیدی در هر دو نوع BAPV و BIPV می‌تواند نقش مؤثری در تأمین انرژی پایدار و کاهش وابستگی به منابع انرژی فسیلی ایفا کند.

منابع

- رضی منش سرخاب، بابک، وحید صاغری و نسرین شاهی. ۱۳۹۲. "سیستمهای فتوولتائیک BIPV گامی بلند در جهت استفاده ازانرژهای تجدیدپذیر در کالبد معماری". اولین کنفرانس ملی معماری و شهرسازی اسلامی و ترسیم سیمای شهری پایدار با گذر از معماری ایرانی– اسلامی و هویت گمشده آن.
- سرپوشان، آتنا. ۱۳۹۳. "نقش دولت و سازمانهای دولتی در مدیریت انرژی و استفاده از انرژی خورشیدی."اولین کنفرانس ملی شهرسازی، مدیریت شهری و توسعه پایدار".
- سیدمجید، مفیدی شمیرانی، رضایی حریری محمدتقی و فارسی محمدی پور علیرضا. ۲۰۰۸. "تحلیل تطبیقی طراحی بناهای یکپارچه با PV با روش طراحی پایدار".
- شجاع، حامد، مالک شجاع و سعید کهزادیان. ۱۳۹۴. "بررسی سیستمهای فتوولتاییک (BIPV) در استفاده از انرژهای تجدیدپذیر در معماری." کنفرانس بین المللی معماری، شهرسازی، عمران، هنر و محیط زیست؛ افق های آینده، نگاه به گذشته.
- محسنی سهی، سیدمحمد و فرزاد جعفرکاظمی. ۱۳۹۸. "مقایسه تحلیلی سیستم فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان (BIPV) و سیستم فتوولتائیک متصل شده به ساختمان (BAPV) ". نخستین همایش فناوری های نوین در انرژی و مواد.
- مولوی، حسین، سید حامد دریاباری. ۱۴۰۲. "طراحی سیستم‌های فتوولتائیک (خورشیدی) "، انتشارات پرکاس.
- نجفی پور، الهام و ندا مسروری جنت. ۱۳۹۹. "بررسی سیستم های فتوولتائیک (BIPV) در استفاده از انرژی های تجدید پذیر و استفاده از آن در معماری پایدار." هشتمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری پایدار ایران.
- نربرت، لکنر، محمدعلی کی‌نژاد و رحمان آذری. ۱۳۸۵. گرمایش، سرمایش، روشنایی: رویکردهای طراحی برای معماران (دانشگاه هنر اسلامی تبریز).
- یوردشاهی، شفیع‌پور، پریا و سلیمانی. ۲۰۲۴. "تحلیل و بررسی عملکرد سقف های افقی و شیبدار در سیستم‌های خورشیدی BAPV و BIPV (نمونهٔ موردی: شهر ارومیه) ", فصلنامه علمی کارافن, ۲۰: ۲۹۷-۳۱۷.
- Aaditya, Gayathri, Roshan R Rao, and Monto Mani. 2017. "Integrability comparison between BIPV and BAPV in tropical conditions: a Bangalore case-study." In 2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 604-07. IEEE.
- Abdelazem, Almoataz Bellah Gamal Eldine. 2024. 'towards optimizing (bapv) and (bipv) applications in educational builsings in egypt [By aid of (IT) applications validated by real (PV) Experimental station]', Journal of Al-Azhar University Engineering Sector, 19: 210-36.
- Biyik, Emrah ,Mustafa Araz, Arif Hepbasli, Mehdi Shahrestani, Runming Yao, Li Shao, Emmanuel Essah, Armando C Oliveira, Teodosio Del Cano, and Elena Rico. 2017. 'A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems', Engineering science and technology, an international journal, 20: 833-58.
- dos Santos, Ísis Portolan, and Ricardo Rüther. 2012. 'The potential of building-integrated (BIPV) and building-applied photovoltaics (BAPV) in single-family, urban residences at low latitudes in Brazil', Energy and Buildings, 50: 290-97.
- Ekici, Betül Bektaş, Sami Ekici, and Fatih Ünal. 2017. "A Comparison Study on Building-Integrated and Building-Applied PV Systems." In International Conference on Energy and Thermal Engineering.
- Haegermark, Maria, and Jan-Olof Dalenbäck" .۲۰۱۴ .BAPV and BIPV Installation Trends in Sweden." In Proceedings of the EuroSun.
- Jovanović, Davor, Danijela Nikolic, and Novak Nikolić. 2020. 'energy analysis for bapv and bipv implementation in a residential house in kragujevac.'

- Kalogirou, Soteris A ,Lazaros Aresti, Paul Christodoulides, and Georgios Florides. 2014. 'The effect of air flow on a building integrated PV-panel', Procedia IUTAM, 11: 89-97.
- Krawczak, Ewelina. 2020. 'BAPV system modeling for the single-family house: A case study', Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska, 10: 44-47.
- Maturi, Laura, and Jennifer Adami. 2018. Building Integrated Photovoltaic (BIPV) in Trentino Alto Adige (Springer).
- Reijenga, Tjerk H, and Henk F Kaan. 2012. 'BIPV in Architecture and Urban Planning', Comprehensive Renewable Energy: 697-707.
- Toledo, Carlos, Rodolfo López Vicente, José Abad López, and Antonio Urbina Yeregui. 2016. "Building Integrated Photovoltaics (BIPV) Vs. Building Attached Photovoltaics (BAPV): Balance Between Energy Production And Architectural Design." In 20th International Congress on Project Management and Engineering, 1861-69.
- Wu, Xinfang, Yongsheng Liu, Juan Xu, Wei Lei, Xiaodong Si, Wenlong Du, Chunjiang Zhao, Yunbo Zhong, Lin Peng, and Jia Lin. 2015. 'Monitoring the performance of the building attached photovoltaic (BAPV) system in Shanghai', Energy and Buildings, 88: 174-82.