

تعیین الزامات استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن در شرایط بحران

احمد زوار تربتی^۱

چکیده:

وابستگی شدید و نیاز فزاینده جهان به منابع انرژی، پرداختن به مباحث مرتبط را به مزیت رقابتی کشورها تبدیل کرده است. مسائلی نظیر محدودیت ذخایر نفتی و سایر سوخت‌های فسیلی، باعث شده که جهان در تکاپوی گذر از تنگنای انرژی به منابع تجدیدشونده؛ به‌ویژه انرژی خورشیدی چشم بدوزد. تولید برق با استفاده از انرژی خورشیدی در سراسر جهان به‌سرعت در حال گسترش است و با توجه به مزایای مختلف آن، در بخش‌های نظامی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. از سویی دیگر، امروزه آسیب‌رسانی به زیرساخت‌های تأمین انرژی نظیر قطع برق از سوی گروه‌های تروریستی و دولت‌های متخاصم به‌عنوان یک تاکتیک نظامی و راه کار وارد کردن ضربه استفاده شود؛ بنابراین، قبل از ایجاد زیرساخت‌های لازم و استفاده از انرژی خورشیدی بایستی تهدیدات و ضعف‌های احتمالی بررسی شود. در این پژوهش برای «تعیین الزامات استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی در شرایط بحران» از رویکرد آمیخته (کیفی و کمی) استفاده شده است. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، موردی-زمینه‌ای است و برای گردآوری اطلاعات، از مطالعات کتابخانه‌ای و تحقیقات میدانی استفاده شد. ابزارهای گردآوری اطلاعات، متن‌خوانی، مصاحبه و پرسش‌نامه بوده است. ابتدا با بررسی منابع کتابخانه‌ای، فرم مصاحبه تهیه گردید و طی مصاحبه‌ای عمیق با نخبگان حوزه تحقیق (۱۰ نفر)، الزامات استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی در شرایط بحران در دودسته الزامات بیرونی، ناظر بر تهدیدات و الزامات درونی، متناسب با نقاط ضعف، طبقه‌بندی گردیدند. بعد از جمع‌آوری نظرات خبرگان و تحلیل کیفی مصاحبه‌ها و تلفیق مطالب گردآوری‌شده، پرسش‌نامه نهایی طراحی شد. در پرسش‌نامه نهایی، تهدیدات (مؤلفه‌های بیرونی) در قالب ۷ مؤلفه و ۳۰ الزام و نقاط ضعف (مؤلفه‌های درونی) نیز در قالب ۵ مؤلفه و ۱۲ الزام مطرح گردید. پرسش‌نامه نهایی در اختیار ۶۵ نفر از کارشناسان مرتبط با موضوع قرار گرفت و همه جامعه آماری به‌عنوان جامعه نمونه مورد استفاده قرار گرفت. روایی پرسش‌نامه صوری و با تأیید خبرگان حوزه پژوهش تحصیل شد و پایایی پرسش‌نامه‌ها بر اساس آلفای کرونباخ کسب گردید. نتایج تجزیه و تحلیل سؤالات پژوهشی نشان‌داد که پرسش‌شوندگان معتقدند ۷۹/۲ تهدیدات، ۸۵/۴ نقاط ضعف، ۸۷/۲۲ الزامات بیرونی و ۸۹

الزامات درونی استخراج‌شده، در حد زیاد و خیلی زیاد بر استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی در شرایط بحران مؤثر هستند. هرکدام از فرضیه‌های پژوهشی با استفاده از آزمون خی‌دو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و با استفاده از آزمون فریدمن، مشخص گردید که «مباران هوایی»، «حملات موشکی» و بعد از آن‌ها «مب‌های الکترومغناطیسی» جدی‌ترین تهدیدات سامانه انرژی خورشیدی در اماکن نظامی هستند و مهم‌ترین نقاط ضعف سامانه خورشیدی نیز به ترتیب «احتیاج به هزینه اولیه نسبتاً زیاد»، «نبود دانش و تجربه استفاده در آجا»، «ناپایداری برق تولیدی»، «مشکلات جانمایی» و «آسیب‌پذیری در برابر شرایط مختلف آب و هوایی» احصا گردیدند. متناظر با تهدیدات و نقاط ضعف احصاء شده، الزامات (راهکارهای مقابله‌ای) نیز استخراج و اولویت‌بندی شدند.

واژگان کلیدی: انرژی خورشیدی، الزامات، تهدیدات، ضعف‌ها، اماکن نظامی.

جستار گشایی

امروزه انرژی‌های نو در سراسر جهان به سرعت در حال گسترش است. پاک بودن و عدم تولید آلودگی و ارزانی را می‌توان دو شاخص اصلی تولید انرژی‌های نو برشمرد به‌طوری‌که این انرژی‌ها به دلیل بهره‌وری بالا به‌خوبی توانسته‌اند در بسیاری نقاط جای خالی انرژی‌های فسیلی را پر کنند. در این میان ایران قابلیت‌های فراوانی برای استفاده از انرژی‌های باد و خورشید دارد و در کنار سایر انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان با اتکا به انرژی حاصل از باد و خورشید مقادیر فراوانی برق را با بهترین شکل ممکن تولید و عرضه کرد. کارشناسان انرژی بر این اعتقادند که انرژی‌های نو در قرن بیست‌ویک باید جایگزین انرژی‌های فسیلی با آلاینده‌گی فراوان شوند تا از مصرف بی‌رویه فرآورده‌های هیدروکربنی کاسته و استفاده از انرژی در آینده متکی به ساختاری باشد که در آن منابع انرژی بدون کربن نظیر انرژی خورشید با باد مورد استفاده قرار گیرند. در حال حاضر کشورهای مختلف جهان به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر؛ به‌ویژه خورشید و باد حرکت کرده و به‌عنوان مثال ظرف ۵ سال گذشته در کشور آلمان سهم صنایع فتوولتائیک در تولید نیروی برق ۱۰ برابر شده و حدود ۳ درصد انرژی موردنیاز آن کشور را تأمین می‌کند، قرار است تا سال ۲۰۲۰ برق موردنیاز پانزده میلیون آلمانی از انرژی خورشیدی تأمین شود. مطالعاتی که در زمینه توانایی تولید برق از انرژی خورشید در کشور انجام شده نشان می‌دهد در بخش انرژی خورشید ایران دارای متوسط تابش بیش از ۵ کیلووات ساعت در مترمربع در روز است که در طول ۳۰۰ روز سال و در ۹۰ درصد خاک کشور اتفاق می‌افتد. همچنین با توجه به عدم نیاز به سوخت، این نوع انرژی در زمان تحریم، جنگ و بحران نیز قابل استفاده است (واحدی، ۱۳۹۳).

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در ارتش‌های جهان نیز در حال گسترش است. به‌عنوان نمونه کنگره

آمریکا تصویب کرده است که ارتش آمریکا ۲۵ درصد برق مورد نیاز خود را تا سال ۲۰۲۵ از انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین کند. هم‌اکنون برق چند پایگاه نظامی آمریکا در این کشور از طریق صفحات خورشیدی نصب شده در آن‌ها تأمین می‌شود. ارتش جمهوری اسلامی ایران نیز با توجه به امکانات بالقوه همچون زمین‌های بلااستفاده داخل پادگان‌ها و اطراف آن‌ها، نیروی انسانی ارزان، دانش و توان مهندسی و... این امکان را دارد تا با استفاده از انرژی خورشیدی بخشی از نیاز خود را تأمین کند و مقدار مازاد را نیز به فروش برساند.

در اماکن نظامی با توجه به گستردگی ساختمان‌ها، مأموریت و نیاز تجهیزات مختلف آن‌ها مانند سامانه‌های رایانه‌ای، دوربین‌های مدار بسته، سامانه‌های ارتباطی و... به انرژی برق و همچنین مصارف خدمانی و بهداشتی در زمان صلح و جنگ و هزینه‌های بالای آن، تأمین انرژی برق از اهمیت بالایی برخوردار است. در حال حاضر این نیاز از طریق شبکه برق سراسری تأمین می‌شود که این برق عمدتاً از سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود. برخی از معایب استفاده از این برق به شرح زیر است:

- منابع سوخت‌های فسیلی محدود است و با توجه به تمام شدن آن‌ها در آینده، نگرانی برای جایگزینی آن‌ها وجود دارد.

- استفاده از سوخت‌های فسیلی موجب تولید گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط زیست می‌شود.
- در زمان جنگ، در صورت استفاده دشمن از بمب‌های گرافیتی و الکترومغناطیسی شبکه برق مختل خواهد شد.

- به دلیل افزایش سالانه مصرف برق در کشور، شبکه سراسری برق در مواقع اوج مصرف قادر به تأمین نیاز برق کل کشور نیست هم‌چنان که در سال‌های اخیر قطعی برق در مناطق مختلف کشور من جمله برخی اماکن نظامی اتفاق افتاد. این مورد اگر در زمان بحران روی دهد مشکل ساز خواهد بود.

علی‌رغم پیشرفت‌های اخیر در فناوری تولید برق با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و مزایای آن‌ها نسبت به استفاده از سوخت‌های فسیلی، هنوز برای حل مشکلات پیش‌گفته اقدامی در اماکن نظامی صورت نگرفته و در مورد نحوه استفاده از این انرژی و الزامات پدافند غیرعامل در این حوزه تحقیقی انجام نشده است.

با توجه به نتایج پژوهش‌های قبلی، محقق در این تحقیق به دنبال تصمیم‌سازی در مورد استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی نیست؛ بلکه با فرض این که تصمیم بر استفاده از این فناوری گرفته شده باشد به دنبال تعیین الزامات آن است. همچنین انرژی خورشیدی کاربردهای متفاوتی دارد که در این تحقیق تمرکز اصلی بر روی استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک است و سایر روش‌های استفاده از انرژی خورشیدی موضوع بحث این تحقیق نیست. از طرف دیگر همان‌طور که در عنوان مقاله آمده مسئله برای

شرایط بحران بررسی می‌شود. درواقع هدف از استفاده از این انرژی تأمین برق اماکن نظامی در شرایط عادی نیست ولی می‌توان از انرژی به‌دست‌آمده برای شرایط عادی نیز استفاده نمود که باعث کاهش هزینه‌های جاری برق مجموعه خواهد شد. فلذا در این تحقیق محقق به دنبال حل این مسئله است که الزامات استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی در شرایط بحران چیست؟ بررسی‌های اولیه نشان‌داد که می‌توان در دو بعد درونی و بیرونی به بررسی الزامات استفاده از سامانه خورشیدی پرداخت؛ ازاین‌رو، در این پژوهش، در بعد بیرونی، فرصت‌ها و تهدیدات بررسی و برای مقابله با تهدیدات راه کارهای (الزامات) لازم پیش‌بینی و تعیین می‌گردد. در بعد درونی نیز به نقاط قوت و ضعف سامانه خورشیدی پرداخته و برای پوشش نقاط ضعف سامانه راه کارهای (الزامات) لازم تبیین و تعیین می‌شود.

کاربردهای روزافزون انرژی برق در بخش‌های مختلف جامعه و وابستگی بیشینه فعالیت‌ها به این انرژی، باعث می‌شود تا نبود آن اثرات منفی گسترده‌ای در سطح جامعه ایجاد کند. بدین‌ترتیب قطع برق علاوه بر خسارت بر بخش‌های مختلف می‌تواند به‌عنوان یک تهدید برای امنیت ملی به‌حساب آید؛ ازاین‌رو، قطع برق از سوی گروه‌های تروریستی و دولت‌های متخاصم به‌عنوان یک تاکتیک نظامی و راه کار واردکردن ضربه به شمار می‌رود. امروزه استفاده از انرژی‌های نو نظیر انرژی خورشیدی برای تأمین برق مصرفی رایج شده است. استفاده از سامانه خورشیدی به‌عنوان بخشی از زیرساخت برق دارای آسیب‌پذیری‌هایی است که منشأ برخی از آن‌ها تهدیدات بیرونی و منشأ برخی دیگر نقاط ضعف درونی است. در صورت استفاده از انرژی خورشیدی به‌عنوان یکی از منابع تأمین برق اماکن نظامی، بدون در نظر گرفتن الزامات پدافند غیرعامل، زیرساخت برق اماکن نظامی آسیب‌پذیر خواهد بود و لازم است در پژوهشی ۱- تهدیدات زیرساخت برق و نقاط ضعف سامانه خورشیدی اماکن نظامی مشخص و اولویت‌بندی گردد و ۲- الزامات پدافند غیرعامل در دودسته بیرونی و درونی تعیین و اولویت‌بندی شوند؛ بنابراین ضرورت دارد که قبل از استفاده از این فناوری، ابتدا تهدیدات و نقاط ضعف سامانه خورشیدی بررسی و راه کارهای مقابله با هر یک تعیین و اولویت‌بندی شود.

اهمیت تأمین انرژی برق از نگاه پدافند غیرعامل به‌ویژه برای مناطق حیاتی، حساس و مهم و حفظ تداوم تأمین انرژی برق در مواقع بحران انکارناپذیر است. مهم‌ترین دستاورد پرداختن به این موضوع و انجام این تحقیق افزایش تاب‌آوری زیرساخت برق اماکن نظامی در زمان بحران است. برخی دیگر از مهم‌ترین فواید انجام این تحقیق عبارتند از:

- پیاده‌سازی موفق سامانه خورشیدی و بهره‌برداری از مزایای آن
- افزایش قابلیت اطمینان در تأمین برق اماکن نظامی، در صورت رعایت الزامات درونی و بیرونی تعیین‌شده در این تحقیق

- تحمیل هزینه‌های اضافه بر دشمن برای آسیب رساندن به زیرساخت برق اماکن نظامی
- امکان تعیین میزان آسیب‌پذیری زیرساخت کنونی برق اماکن نظامی با محاسبه عدم تطابق وضع موجود با نتایج این تحقیق

با توجه به مطالب یادشده که بر ضرورت و اهمیت این تحقیق دلالت می‌کنند، «تبیین و تعیین الزامات استفاده از انرژی خورشیدی (به‌طور خاص سامانه‌های فتوولتائیک)، در اماکن نظامی برای افزایش تاب‌آوری زیرساخت برق در شرایط بحران» به‌عنوان هدف اصلی این پژوهش مطرح گردیده و فرض شده که «الزامات پدافند غیرعامل در بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در شرایط بحران در اماکن نظامی به‌صورت بیرونی (ناظر بر تهدیدات) و درونی (ناظر بر نقاط ضعف) دسته‌بندی می‌شوند»؛ ازاین‌رو، تلاش شده با بهره‌گیری از تجارب علمی داخلی و خارجی، به اهداف فرعی بدین شرح پرداخته شود:

- ۱- تعیین الزامات بیرونی پدافند غیرعامل استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی در شرایط بحران.
- ۲- تعیین الزامات درونی پدافند غیرعامل استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی در شرایط بحران؛ بنابراین، ابتدا ابعاد مختلف تهدیدات و نقاط ضعف مشخص شد و سپس متناسب با هر دسته، الزامات (راه کارهای مقابله‌ای) تعیین گردید.

در رابطه با اهداف فرعی فرض شده ۱- الزامات بیرونی پدافند غیرعامل استفاده از انرژی خورشیدی در شرایط بحران در اماکن نظامی شامل توجه به استحکامات فیزیکی، اتصالات الکتریکی، تأمین امنیت فیزیکی و سایبری، رعایت اصول پراکندگی، استتار و اختفاء است. ۲- الزامات درونی پدافند غیرعامل استفاده از انرژی خورشیدی در شرایط بحران در اماکن نظامی شامل جانمایی مناسب، استفاده از سیستم هیبرید (ترکیبی)، بهره‌گیری از نیروی انسانی ماهر و انجام طراحی بینه با هدف صرفه‌جویی اقتصادی است. الزامات بیرونی و درونی متغیرهای مستقل این تحقیق هستند و لازم به توضیح است الزامات موردبررسی در این تحقیق با توجه به هدف تحقیق که افزایش تاب‌آوری و تسهیل مدیریت بحران است، الزامات پدافند غیرعامل بوده و سایر الزامات مانند الزامات فنی، زیست‌محیطی و... در این تحقیق بررسی نمی‌شود. تاب‌آوری زیرساخت برق اماکن نظامی در شرایط بحران نیز متغیر وابسته در این تحقیق است. برابر بررسی‌های انجام گرفته از طریق مراجعه به آثار مکتوب اعم از کتاب‌ها، مقاله‌های علمی و منابع الکترونیکی و وبگاه‌های معتبر علمی، پژوهشی در زمینه «تعیین الزامات استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی در شرایط بحران» صورت نپذیرفته است؛ ولی در پژوهش‌های متعددی، موضوعات مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی مطرح شده که ابر موضوعی پیرامون این موضوعات بدین‌صورت است:

- در برخی از مقالات، مزایای استفاده از انرژی خورشیدی بررسی شده است؛ برای مثال، دانشمند

- کشاورز در پژوهشی به نقش انرژی خورشیدی در کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌های محیط زیست در کاربری‌های مسکونی شهرستان فیروزآباد پرداخته است (دانشمند کشاورز، ۱۴۰۰). هریسچیان و همکاران نیز نقش انرژی خورشیدی در کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌های محیط زیستی در کاربری‌های مسکونی شهر تهران را بررسی کرده‌اند (هریسچیان و همکاران، ۱۳۹۸). جورسرای آلاشتی هم در پژوهشی به نقش انرژی خورشیدی در ساختمان‌های تجاری و مسکونی پرداخته است (جورسرای آلاشتی، ۱۳۹۷).
- در برخی مقالات، به افزایش بهره‌وری انرژی خورشیدی پرداخته شده است؛ مثلاً لطیفی و همکاران در تحقیقی به بررسی تأثیر استفاده از صفحات فتوولتائیک در پنجره ساختمان‌ها پرداخته‌اند. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که این صفحات علاوه بر قابلیت کاهش مصرف انرژی از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه هستند (لطیفی و همکاران، ۱۴۰۰). در تحقیق Aguacil و همکاران، تأثیر کاربرد صفحات فتوولتائیک یکپارچه با نما و صفحات فتوولتائیک بر روی بام و جداره‌های ساختمان در تحقیقی بررسی شده است. (Aguacil et al, 2019) تأثیر استفاده از صفحات فتوولتائیک یکپارچه با نما در بهبود بار سرمایشی ساختمان‌های اداری شارجه امارات نیز در تحقیقی بررسی شده است (Salameh et al, 2020). حسین زاده و همکارانش هم تأثیر صفحات فتوولتائیک تلفیق شونده با نمای ساختمان بر بهبود مصرف انرژی ساختمانی در تهران هم بررسی شده است (Hoseinzadeh et al, 2021). در تحقیقی دیگر، تأثیر صفحات فتوولتائیک بر مصرف انرژی اتاقی اداری در هنگ کنگ بررسی شده (Qiu et al, 2019). همچنین، استفاده از صفحات فتوولتائیک تلفیق شونده با نمای ساختمان در ساختمان‌های مختلف شهر سئول و تأثیر آن‌ها بر مصرف انرژی ساختمان‌ها موضوع تحقیقی بوده است (Yoo, 2019). در پژوهشی دیگر، پژوهشگران نشان دادند که صفحات فتوولتائیک تلفیق شونده با نمای ساختمان می‌توانند در کاهش مصرف انرژی ساختمان مؤثر واقع شوند (Yang et al, 2020). اکبری و همکاران در پژوهشی به تعیین جهت‌های بهینه استقرار ساختمان‌ها، از طریق بررسی میزان انرژی دریافتی مستقیم سطوح قائم ساختمان‌ها در شهر تهران پرداخته‌اند (اکبری و همکاران، ۱۳۹۸).
- در برخی مقالات، امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی برای مناطق مختلف مطرح شده است؛ از جمله این که خمر و همکارانش در تحقیقی به بررسی تطبیقی شش شهر عمده سیستم انرژی از نظر میزان مطلوبیت استقرار پنل‌های خورشیدی و مقدار برق تولیدشده پرداخته‌اند (خمر و همکارانش، ۱۳۹۹). زندی و همکاران در پژوهشی توانایی تابش کلی در سطح ۱۵۹ روستای شهرستان سبزوار را محاسبه و بررسی کرده‌اند (زندی و همکاران، ۱۳۹۸). حجازی زاده و همکاران در تحقیقی به توانایی سنجی مناطق کویری، بیابانی و سواحل مکران به منظور کسب انرژی از خورشید پرداخته‌اند (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۷). در پژوهشی به ارزیابی رفتار حرارتی بام سبز و انرژی‌های تجدیدپذیر در پایداری و

بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها و کاربردهای آن در تولید صورت‌های دیگر انرژی؛ ازجمله انرژی الکتریکی فتوولتائیک، هواگرم‌کن خورشیدی و هوا سردکن خورشیدی، دیوار ترومب و بام سبز و ... پرداخته شده است (جامعی و همکارش، ۱۳۹۹). ادبی‌مقانی و همکارانش در پژوهشی به تحلیل سطح پذیرش فناوری انرژی خورشیدی در مناطق روستایی (مطالعه موردی: مناطق روستایی شهرستان کلبر و شهرستان خداآفرین- استان آذربایجان شرقی) پرداخته‌اند (ادبی‌مقانی و همکاران، ۱۳۹۹). عیدی و همکارانش نیز پژوهشی به بررسی الزامات مؤثر در امکان به‌کارگیری انرژی خورشیدی در بخش کشاورزی از دیدگاه کارشناسان کشاورزی شهرستان مراغه پرداخته‌اند (عیدی و همکاران، ۱۳۹۸).

- برخی پژوهش‌ها به عوامل مرتبط با توسعه فناوری انرژی خورشیدی پرداخته‌اند؛ برای مثال خیاطیان یزدی و همکارانش در تحقیق خود به تحلیل توسعه فناوری فتوولتائیک از منظر انتظارات، شبکه‌ها و یادگیری پرداخته‌اند (خیاطیان یزدی و همکاران، ۱۳۹۹).

- برخی مقالات به مباحث سیاست‌گذاری و حکمرانی انرژی خورشیدی در کشورها پرداخته‌اند؛ برای مثال فرتاش و همکارانش به موضوع آسیب‌شناسی نقش کنشگران در ساختار حکمرانی انرژی خورشیدی در ایران پرداخته‌اند (فرتاش و همکاران، ۱۳۹۹). آل مصطفی و همکاران، یکی از دلایل عدم توسعه سامانه‌های خورشیدی فتوولتائیک در کشور لبنان را نبود انسجام سیاستی در محتوای سیاست‌ها و عدم هماهنگی افقی میان کنشگران کلیدی این حوزه ازجمله وزارتخانه‌های انرژی و آب، محیط زیست و امور مالی می‌داند (El Mustapha et al, 2018). کریمیان و همکاران با بررسی تاریخی حکمرانی سیاست‌گذاری نوآوری در ایران بیان می‌کنند که هم‌پوشانی میان نهادها و سیاست‌ها و ضعف هوشمندی و یادگیری سیاستی و بهینه‌بودن مسیر تکامل حکمرانی، از مهم‌ترین چالش‌های این حوزه است؛ اما با این حال ما در دوره‌هایی شاهد هماهنگی افقی و عمودی و انسجام و هماهنگی سیاستی بوده‌ایم (کریمیان و همکاران، ۱۳۹۸). محمدی و همکارش به الگوی حکمرانی مشارکتی توسعه انرژی تجدیدپذیر ایران با رویکرد نهادی پرداخته‌اند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

که به نظر می‌آید تحقیقات امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی برای مناطق مختلف، نزدیک‌ترین پژوهش‌های مرتبط با موضوع این تحقیق هستند.

پژوهش حاضر از لحاظ ماهیت آمیخته کیفی مقدم بر کمی است و از نظر روش، موردی-زمینه‌ای است و از نظر هدف، کاربردی بوده؛ چراکه با انجام این پژوهش و تعیین الزامات استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی در شرایط بحران، می‌توان دستاوردهای این تحقیق را برای استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش آلاینده‌گی زیست‌محیطی، کاهش هزینه‌های تأمین انرژی و ... مدنظر قرارداد و بهره برد. در بخش آمار کیفی، ابتدا با بررسی اسناد و مدارک، مقالات

و منابع کتابخانه‌ای، فرم مصاحبه با خبرگان تهیه شد و سپس جمع‌آوری اطلاعات از طریق مصاحبه با روش گلوله برفی تا رسیدن اشباع انجام شد. در بخش اسنادی، روش تجزیه و تحلیل اطلاعات کیفی بوده یعنی در پژوهش حاضر ضمن استخراج خطوط کلی متون، اسناد و مدارک، مقالات و ... با به کارگیری تجارب پژوهشگران و محققین، محورها و برای تحقیق مشخص گردید و مؤلفه‌های تأثیرگذار بر موضوع مورد تحقیق در اختیار کارشناسان و متخصصان قرار گرفت. در بخش آمار کمی، برای تحلیل داده‌های حاصل از پرسش‌نامه و نظرات صاحب‌نظران از آمار توصیفی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. جامعه آماری در این پژوهش را تعداد ۶۵ نفر مشتمل بر ۳ دسته تشکیل دادند: ۱- کاربران متخصص (ذینفعان): افرادی که قرار است در شرایط بحران از برق خورشیدی برای مصارف ضروری استفاده کنند و در این خصوص دارای تجربه و دانش هستند. ۲- مدیران ارشد که مسئولیت‌های پشتیبانی یا مهندسی در اماکن نظامی بر عهده آن‌ها بوده و در این زمینه دارای تجربه و صاحب‌نظرند. ۳- متخصصان حوزه سامانه‌های فتوولتائیک که در این زمینه دارای دانش فنی و تجربه اجرایی بالا است. به دلیل محدود بودن جامعه آماری، در این پژوهش از نمونه‌گیری استفاده نشده و به صورت تمام‌شمار همه افراد جامعه هدف در نظر گرفته شدند. گردآوری اطلاعات و داده‌ها در این تحقیق با استفاده از روش کتابخانه‌ای و میدانی و با مصاحبه و پرسش‌نامه انجام شد. برای تعیین روایی پرسش‌نامه از نظر متخصصان و خبرگان حوزه پژوهش (روایی محتوایی) استفاده شد و بعد از اعمال نظرات و اصلاحات لازم و اخذ پایایی درونی، پرسش‌نامه‌ها در بین اعضای جامعه آماری توزیع گردید. به منظور پاسخ‌گویی، مقیاس لیکرت پنج‌تایی (از کاملاً موافق تا کاملاً مخالف) در نظر گرفته شده که با توجه به آن پاسخ‌دهندگان وضعیت هر شاخص را مشخص نمودند. هرکدام از فرضیه‌های پژوهشی با استفاده از آزمون خی‌دو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و اولویت‌بندی مؤلفه‌ها با استفاده از آزمون فریدمن انجام شد.

مبانی نظری و مفاهیم:

در این بخش، ابتدا انرژی خورشیدی را از زاویه دید فنی و کاربردی بررسی کرده و به ذکر نقاط ضعف و قوت آن به روایت منابع تحقیق می‌پردازیم و سپس از زاویه پدافند غیرعامل فناوری انرژی خورشیدی را واکاوی نموده و فرصت‌ها^۱ و تهدیدهای^۲ استفاده از این فناوری را بررسی می‌کنیم.

انرژی‌های تجدیدپذیر: صفت «تجدیدپذیر» به آن دست از انرژی‌هایی اطلاق می‌شود که در اثر استفاده نابود نمی‌شوند. این بدان معناست که منابع تجدیدپذیر می‌توانند در مدت‌زمان کوتاهی، بازتولید و یا تجدید شوند. منابع مهم تجدیدپذیر عبارت‌اند از: ۱- زیست‌توده یا جرم زیستی^۳، ۲- باد، ۳- زمین‌گرمایی،

۴- خورشید، ۵- آب (طباطبایی، ۱۳۸۹: ۳۰)

1. opportunities

2. threats

3. Biomass

انرژی خورشیدی: مهم‌ترین و پرکاربردترین نوع انرژی، انرژی الکتریکی است. در شکل کلی می‌توان ساختار شبکه‌های الکتریکی را در قالب سه بخش به‌صورت زیر معرفی کرد: ۱- تولید، ۲- انتقال، ۳- توزیع

ابتدا انرژی الکتریکی در نیروگاه‌ها تولید می‌شود، به‌وسیله خطوط انتقال به مراکز منتقل و در نهایت به سمت محل‌های مصرف توزیع می‌گردد. در فاصله بین تولید و توزیع از مراکز به نام پست برق برای تبدیل انرژی الکتریکی به اندازه‌های مختلف استفاده می‌گردد (حمود غفاری، ۱۳۹۷).

هم‌اکنون توسط سامانه‌های مختلف و برای مقاصد مختلف از انرژی خورشیدی بهره‌گیری می‌شود (زند و همکاران، ۱۳۹۷): ۱. بهره‌گیری از انرژی حرارتی خورشید برای مصارف خانگی، صنعتی و نیروگاهی. ۲. استفاده از انرژی نورانی خورشید به‌طور مستقیم یا تبدیل نور حاصل از پرتوهای خورشید به الکتریسیته به‌وسیله سامانه‌های فتوولتائیک.

سامانه‌های فتوولتائیک: سامانه‌های فتوولتائیک^۱ یا مبدل‌های انرژی PV، مجموعه‌ای از تجهیزات و وسایل مهندسی است که با همکاری هم نور خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. بخش اصلی در سامانه‌های فتوولتائیک، پانل فتوولتائیک است که از سلول‌های خورشیدی تشکیل می‌شوند و به‌صورت سری و موازی به هم متصل شده‌اند. از سری و موازی کردن سلول‌های خورشیدی می‌توان به جریان و ولتاژ قابل قبولی دست یافت. در نتیجه به مجموعه‌ای از سلول‌های سری و موازی شده پانل فتوولتائیک می‌گویند (زند و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۵). سامانه‌های فتوولتائیک یکی از پرمصرف‌ترین کاربردها را در میان منابع تولید و تبدیل انرژی‌های نو و تجدیدپذیر داراست. کاربرد سامانه‌های فتوولتائیک خورشیدی به‌صورت نیروگاهی در اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ نیروگاهی ممکن است. هم‌اکنون در بسیاری از نقاط جهان نیروگاه‌های بزرگ فتوولتائیک خورشیدی با ظرفیت چند صد مگاوات نصب شده است. در کاربرد غیر نیروگاهی این سامانه‌ها، منبع انرژی الکتریکی مورد نیاز تجهیزات مهندسی را می‌توان از سامانه‌های فتوولتائیک تأمین کرد. برخی کاربردهای سامانه‌های فتوولتائیک غیر نیروگاهی عبارت‌اند از: ۱. سامانه‌های روشنایی خورشیدی، ۲. پمپاژ خورشیدی، ۳. یخچال‌های خورشیدی، ۴. حفاظت کاتدی، ۵. سامانه تغذیه‌کننده پرتابل (قابل حمل)، ۶. ماهواره‌های خورشیدی، ۷. ماشین حساب، ساعت، رادیو، ضبط صوت و وسایل بازی کودکان (همان، ۲۶-۲۷).

در مقایسه‌ای که روی تهدیدپذیری نیروگاه‌ها توسط علیرضا نوروزی صورت گرفته، این‌طور نتیجه‌گیری شده است که نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک به دلیل کوتاهی خطوط انتقال و عدم تهدیدپذیری منبع تأمین نیرو (خورشید) یکی از ایمن‌ترین نیروگاه‌ها در مقابل تهدیدات نظامی خواهد بود. در کتاب تهدیدات گرافیتی و الکترومغناطیسی در صنعت برق و راهکارهای مقابله با آن این‌طور آمده است: هنگام حملات

گرافیتی و الکترومغناطیسی، تأمین حداقل نیازها برای مدیریت عمومی و رفع احتیاجات مردمی و ادامه فعالیت‌های حیاتی امری ضروری است.

استفاده انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی با قابلیت دسترسی در نقاط مختلف می‌تواند تأثیرات فراوانی در افزایش توانایی در مدیریت بحران در آوارگی‌های ناشی از شرایط پس از جنگ و یا ناشی از بلایای طبیعی، محرومیت‌زدایی و تأمین انرژی موردنیاز واحدهای نظامی و گروه‌های امدادی داشته باشد. در شرایط بروز بحران جنگ حفظ نظم و امنیت (رویارویی با نیروهای مهاجم دشمن) از وظایف نیروهای نظامی خواهد بود. بدیهی است این نیروها برای برآوردن نیازهای اولیه خود نظیر استفاده از وسایل ارتباطی و مخبراتی و حفظ نظم و امنیت در پایگاه‌های خود نیاز به تأمین انرژی الکتریکی خواهند داشت. شرایط بحران و امکان وقوع قطعی‌های مکرر در شبکه برق سراسری و نیاز به جابجایی و در نتیجه بهره‌مندی از منبع انرژی قابل حمل اهمیت استفاده از سامانه‌های خورشیدی تولید برق را نشان می‌دهد.

بابک جدی و همکاران در مقاله «ارتقاء شاخص‌های پدافند غیرعامل با استفاده از برنامه‌ریزی بهینه منابع تجدیدپذیر انرژی در شبکه‌های هوشمند توزیع برق» عنوان کرده‌اند استفاده از منابع تولید انرژی در مقیاس کوچک به عنوان مشخصه اصلی شبکه‌های هوشمند، میزان اتکا به شبکه‌های طولانی برق را کاهش خواهد داد. سرمایه‌گذاری و توسعه منابع تولید پراکنده مزایایی از قبیل تنوع بخشی به منابع انرژی و عدم وابستگی به یک یا دو منبع انرژی (مانند گاز و گازوئیل بخصوص در شرایط تحریم)، همپاسازی ساختار بازار برق، افزایش بازده تولید انرژی از طریق تولید هم‌زمان برق و حرارت و پیک‌سائی را به همراه دارد؛ لذا منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر از دیدگاه پدافند غیرعامل منابعی استراتژیک به شمار رفته و می‌توانند جایگزین خوبی برای سوخت‌های فسیلی در صورت وقوع جنگ و یا شرایط تحریمی باشند.

عدم توسعه تولیدات پراکنده در شبکه توزیع، این شبکه را در مقابل خطاها و قطعی‌های سامانه انتقال و فوق توزیع آسیب‌پذیر می‌سازد. به همین دلیل یکی از اهداف مهم مهندسين و مدیران سامانه توزیع در همه نقاط دنیا ایجاد شبکه‌های جزیره‌ای و ریزشبکه‌ها با امکان تولید محلی است تا در صورت هرگونه قطعی در شبکه انتقال و فوق توزیع شبکه‌های جزیره‌ای از شبکه اصلی جدا شده و سرویس‌دهی به تمام یا برخی از مشترکین شبکه همچنان ادامه یابد.

توسعه تولیدات پراکنده علاوه بر مستقل کردن شبکه توزیع از انتقال، باعث تعویق توسعه فیدرهای فشار متوسط و همچنین پست‌های توزیع می‌گردد. این امر از افزایش تعداد دارایی‌های حساس سامانه توزیع جلوگیری می‌کند که کاهش آسیب‌پذیری سامانه توزیع در برابر عوامل خارجی؛ به‌ویژه تهاجمات گروه‌های متخاصم را به دنبال خواهد داشت. به‌طورکلی، توسعه تولیدات پراکنده در سامانه توزیع علاوه بر مزایای اقتصادی برای شرکت‌های توزیع، بنا به دو دلیل زیر آسیب‌پذیری سامانه توزیع را کاهش می‌دهد (دشتی و همکاران، ۱۳۹۵، ۸۱):

- ۱- استقلال شبکه توزیع از شبکه‌های بالادستی ۲- کاهش دارایی‌های حساس سامانه توزیع.

گرچه پست‌های فوق توزیع عامل اتصال شبکه توزیع به شبکه انتقال هستند؛ اما تولیدات پراکنده نیز می‌توانند به‌عنوان مبادی دیگر ورود انرژی به شبکه توزیع به شمار روند. مزیت تولیدات پراکنده نسبت به پست‌های فوق توزیع را می‌توان به تولید مستقل انرژی نسبت داد. به‌طوری‌که بدون نیاز به خطوط فوق توزیع و انتقال که هر یک دارایی‌های حساس در صنعت برق به شمار می‌روند، انرژی برق را به شبکه توزیع تحویل می‌دهند. ظرفیت‌های متنوع تولیدات پراکنده در مقادیر مختلف، قابلیت و انعطاف تولیدات پراکنده را تا به حدی بالا برده است که می‌توان از آن به‌عنوان حتی پست‌های توزیع (علاوه بر پست‌های فوق توزیع) استفاده نمود و فاصله مصرف تا تولید را تا حد بسیار زیادی کاهش داد. کاهش این فاصله، امنیت برق‌رسانی در مواقع بحران و جنگ را بالا می‌برد. ضمن اینکه افزایش تعداد تولیدات پراکنده در سطح شهر، قابلیت استتار و اختفاء را افزایش می‌دهد به‌طوری‌که با پنهان کردن این نیروگاه‌های کوچک در زیرزمین، رنگ کردن آن‌ها مشابه با مبلمان شهری قابلیت تشخیص سریع از دشمن گرفته می‌شود. ضمن اینکه بارهای حساس و مهم می‌توانند دارای نیروگاه‌های کوچک در محل مصرف باشند تا در صورت قطع برق شهری اقدام به استفاده از آن‌ها نمایند. مهم‌ترین قسمت از نیروگاه‌های کوچک یا همان تولیدات پراکنده، ژنراتورها مشتمل بر رتور و استاتور هستند که می‌بایست زمانی که بارهای حساس و یا مهم را تأمین می‌کنند در محفظه‌ای مقاوم‌سازی شده قرار گیرند تا در اثر انفجار و با اصابت گلوله عملکرد اصلی خود یعنی تولید برق را از دست ندهند؛ اما یکی از مهم‌ترین چالش‌های تولیدات پراکنده تأمین سوخت آن‌ها در مواقع بحران و حمله نیروهای متخاصم است. چراکه در زمان حمله احتمال اینکه شریان‌های اصلی سوخت توسط نیروهای متخاصم از بین برود و یا قطع بشود کم نیست. از همین رو لازم است برای موارد اضطراری سوخت جداگانه‌ای برای تولیدات پراکنده تغذیه‌کننده بارهای حساس و مهم در انبار نگهداری شود؛ اما راه‌حل بهینه‌تر استفاده از تولیدات پراکنده تجدیدپذیر مثل سلول‌های خورشیدی، تولید برق از سوخت‌های زیستی و... است چراکه در این صورت حتی در زمان جنگ، انرژی موردنیاز بارهای حساس و مهم تأمین خواهد شد (دشتی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۹).

تهدیدات پیش‌روی صنعت برق

رضا دشتی در کتاب واکاوی خاموشی‌های سراسری برق در جهان و راهکارهای پدافند غیرعامل تهدیدات عمدی صنعت برق را به دسته‌های زیر تقسیم‌بندی می‌نماید: الف-جنگ ب- حملات تروریستی تهدیدات بالقوه فراوری شبکه برق را می‌توان به شرح ذیل دسته‌بندی نمود (همان، ۵۱):

۱- ایجاد عیب در دارایی‌ها (اعم از خطوط، پست‌ها و نیروگاه‌ها)، ۲- استفاده از بمب‌ها و تهدیدات نوین (بمب‌های گرافیکی، الکترومغناطیسی و لیزری)، ۳- حملات سایبری، ۴- تحریک مصرف‌کنندگان به مصرف هم‌زمان، ۵- شناسایی و ایجاد عیب در نقاط ضعف شبکه، ۶- ایجاد چند خاموشی و عیب

به صورت هم‌زمان، ۷-شناسایی و ایجاد عیب در نقاطی که توازن تولید و مصرف در آن مناطق وجود ندارد، ۸-شناسایی و ایجاد عیب در نقاطی که سامانه کنترل اضطراری وجود ندارد، ۹-نفوذ در منابع انسانی اپراتوری و مدیریت ولو در قالب مشاوره، بخش خصوصی، فروش کالا و...، ۱۰-تخریب. بمب‌های گرافیتی: گرافیت یک رسانای غیرفلزی است که در بمب‌های گرافیتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حقیقت بمب‌های گرافیتی، کپسول‌های حاوی الیاف کربنی رسانای الکتریسیته هستند. هنگام بمباران یک منطقه پس از انفجار بمب مادر، تعداد زیادی کپسول که مجهز به چترهای تأخیر انداز سرعت هستند در سطح ناحیه مورد نیاز پراکنده شود. این کپسول‌ها در ارتفاع معینی باز شده و سبب می‌شود الیاف کربنی بر روی تجهیزات الکتریکی پراکنده شود. در الگوهای دیگر کربن به صورت پودر پخش می‌شود و به تدریج به منابع الکتریسیته نفوذ کرده و باعث اتصال الکتریکی می‌شود. زمان پخش این مواد در هوا بین ۵ تا ۳۰ دقیقه است. بمباران گرافیتی سبب وقوع اتصال کوتاه می‌شود که در صورت عملکرد به موقع سامانه‌های حفاظتی قطع برق را به همراه خواهد داشت. به این ترتیب با یک حمله گرافیتی می‌توان برق منطقه نسبتاً وسیعی را قطع نمود. یکی از معضلات آلودگی گرافیتی در تجهیزات الکتریکی، زمان‌بر و مشکل بودن رفع آلودگی است که سبب افزایش زمان بازیابی شبکه قدرت خواهد شد. این امر نیز به نوبه خود، فرصت بیشتری را برای انجام حملات بعدی و عملیات خرابکارانه در اختیار دشمن قرار می‌دهد. نمونه‌ای از بمب‌های گرافیتی در جنگ علیه صربستان در سال ۱۹۹۹ میلادی استفاده شده و خاموشی ۷۰ درصدی را پس از حمله اول در برداشت. علاوه بر این، از این بمب‌ها در عملیات طوفان صحرا در جنگ عراق نیز استفاده گردید و باعث شد ۸۵ درصد ظرفیت تولید عراق از کار بیافتد (رجبی مشهدی، بی تا: ۵).

بمب‌های الکترومغناطیسی: هر عنصر الکترونیکی با توجه به مواد سازنده آن و نیز سطح توان آن، حد تداخل الکترومغناطیسی قابل تحمل خاصی دارد و در مقابل میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بیش از سطح تحمل، آسیب‌پذیر خواهد بود. این عامل ایده اصلی استفاده از بمب‌های الکترومغناطیسی برای تخریب و از کار انداختن مدارات الکتریکی است. برای آشنایی بیشتر با یک بمب الکترومغناطیسی نخست مفهوم پالس الکترومغناطیسی معرفی می‌شود. پالس الکترومغناطیسی، انرژی ناشی از یک میدان بسیار قوی متمرکز شده لحظه‌ای است که می‌تواند سامانه‌های الکتریکی و یا مدارهای الکترونیکی حساس به امواج توان بالا را نابود کرده یا به آن‌ها آسیب برساند. امواج الکترومغناطیسی انواع مختلفی دارد که هر کدام ویژگی مختص به خود را دارد و به مولدهای متفاوتی برای تولید و انتشار نیازمندند. بمب الکترومغناطیسی نوعی از سلاح است که از طیف الکترومغناطیسی استفاده می‌کند و امواجی با انرژی بسیار بالا با دامنه چند گیگاوات را در مدت زمان چند میکروثانیه ایجاد می‌کند. ظاهراً، بمب

الکترومغناطیسی آسیب و ضرری برای انسان‌ها در برنارد و این امر به خاطر کوتاه‌بودن موج پالس تولیدشده و به‌وسیله آن است و به همین خاطر بمب‌های الکترومغناطیسی غیرکشنده نامیده می‌شوند (رجبی مشهدی، بی‌تا: ۶).

حملات سایبری: پس از خودکارسازی و انجام طرح‌های هوشمندسازی شبکه، کلیه شبکه صنعت برق، به‌صورت دیجیتال و رایانه‌ای فرمان‌پذیر می‌شوند. بدین‌ترتیب با حملات سایبری اطلاعات شبکه قابل‌برداشت و تغییر خواهد بود و فرمان‌ها نیز می‌تواند به‌تناسب دلخواه گروه متخاصم تغییر کند. بدین‌ترتیب پایداری شبکه با اختلال مواجه می‌شود.

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، ابتدا داده‌های به‌دست‌آمده از منابع کتابخانه‌ای خلاصه و در قالب نقاط قوت (۱۱ مقوله) نقاط ضعف (۶ مقوله)، فرصت‌ها (۹ مقوله) و تهدیدات (۶ مقوله) دسته‌بندی گردیدند (جدول ۳) و متناظر با تهدیدات، نحوه آسیب و الزام (راه‌کار مقابله) آن استخراج گردید. سپس نظرات خبرگان با استفاده از فرم مصاحبه ۱۴ سؤالی (مصاحبه باز و ۱۲ سؤال اصلی و ۲ سؤال فرعی (مربوط به سوابق فرد مصاحبه‌شونده و نظرات و پیشنهادات)) جمع‌آوری گردید (جدول ۴) و با تحلیل کیفی (تحلیل مضمون) مصاحبه‌ها، تهدیدات و نقاط ضعف در دودسته مؤلفه‌های بیرونی و مؤلفه‌های درونی قرار داده شدند و متناظر با آن‌ها الزامات نیز در دودسته الزامات بیرونی و الزامات درونی تعیین گردیدند. در ادامه، با تجمیع و تلفیق خروجی منابع کتابخانه‌ای و تلفیق نتایج مصاحبه‌ها، پرسش‌نامه‌هایی این پژوهش، برای تکمیل در میان کارشناسان توزیع گردید. در پرسش‌نامه‌هایی تهدیدات (مؤلفه‌های بیرونی) در قالب ۷ مؤلفه و ۳۰ الزام و نقاط ضعف (مؤلفه‌های درونی) نیز در قالب ۵ مؤلفه و ۱۲ الزام مطرح شدند (جدول ۵، ۶ و ۷).

جدول ۳- نقاط قوت و ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها استفاده از انرژی خورشیدی (مستخرج از منابع کتابخانه‌ای)

ردیف	نقاط قوت	ردیف	فرصت‌ها
۱	سازگاری با محیط‌زیست	۱	برق‌رسانی به مناطق دور از شبکه برق
۲	سادگی نگهداری و بهره‌برداری	۲	وجود صحراها و بیابان‌های وسیع در کشور
۳	عدم نیاز به سوخت، آب و سایر مواد مصرفی	۳	قرارگیری بیشتر استان‌های کشور در کمربند تابش
۴	استهلاک کم و عمر زیاد	۴	وجود علاقه عمومی در به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر
۵	ماژولار بودن	۵	توجه سیاست‌ها و مسئولان به لزوم تنوع‌بخشی به انواع سبد انرژی الکتریکی در کشور

۶	عدم ایجاد آلودگی	۶	برنامه حمایت از طرح‌های پژوهشی و دانشگاهی در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر
۷	نداشتن قطعات متحرک و عدم تولید صدا	۷	وجود منابع غنی سیلیسیم در کشور
۸	وجود خط تولید پانل فتوولتائیک در کشور	۸	تدوین استراتژی و برنامه عملیاتی توسعه صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر طبق برنامه پنجم توسعه
۹	هزینه تعمیر نگهداری پایین	۹	تحمل هزینه زیاد به دشمن برای نابودی
۱۰	روند کاهشی هزینه تولید پانل‌های فتوولتائیک	ردیف	تهدیدها
۱۱	راه‌اندازی مجدد در زمان کوتاه	۱	حملات موشکی و بمباران هوایی
ردیف	نقاط ضعف	۲	بمب‌های الکترومغناطیسی
۱	هزینه زیاد پانل‌ها به دلیل بازده پایین	۳	بمب‌های گرافیتی
۲	هزینه زیاد سیستم ذخیره‌ساز	۴	تهدیدات خرابکاری یا تروریستی
۳	ناپایداری برق تولیدی	۵	حملات سایبری
۴	نیاز به فضای زیاد	۶	تحریم
۵	ناپایداری و متغیر بودن برق تولیدی		
۶	نیاز به بهره‌گیری از نیروی انسانی آموزش‌دیده و ماهر		

جدول ۴- فرم مصاحبه

ردیف	شرح سؤال
۱	لطفاً در صورت تمایل سوابق علمی و تجربی و میزان آشنایی خود را در زمینه استفاده از انرژی خورشیدی در ارتش جمهوری اسلامی ایران بیان فرمایید.
۲	نظر جنابعالی در مورد استفاده از سامانه فتوولتائیک برای تأمین برق اماکن نظامی در شرایط بحران و مزایا و معایب آن چیست؟
۳	به نظر جنابعالی در شرایط بحران تأمین برق اماکن نظامی با چه تهدیدهایی مواجه است؟
۴	به نظر جنابعالی در طراحی سامانه فتوولتائیک برای تأمین برق اماکن نظامی در شرایط بحران، رعایت الزاماتی نظیر استفاده از شیلدینگ، کوتینگ، عایق‌بندی هادی‌ها، ارتینگ و برق‌گیر برای افزایش تاب‌آوری مجموعه در برابر سلاح‌های جدید مانند بمب‌های الکترومغناطیسی و گرافیتی مهم است؟
۵	به نظر جنابعالی در طراحی سامانه مذکور توجه به استحکامات فیزیکی دارایی‌ها برای تاب‌آوری در برابر حملات احتمالی مهم است؟
۶	به نظر جنابعالی استفاده از یک مرکز کنترل و دیسپاچینگ برای مدیریت تأمین برق مجموعه اماکن نظامی لازم است؟
۷	به نظر جنابعالی از برق خورشیدی باید برای همه مصارف استفاده شود یا مصارف ضروری؟
۸	به نظر جنابعالی با توجه به لزوم تأمین برق پایدار در شرایط بحران استفاده از سامانه‌های ذخیره‌ساز مانند باتری در کنار سامانه فتوولتائیک مهم است؟

ردیف	شرح سؤال
۹	به نظر جنابعالی آیا جانمایی سامانه فتوولتائیک در داخل اماکن نظامی مهم است؟ برای این منظور چه قسمتی از پادگان را برای نصب نیروگاه فتوولتائیک پیشنهاد می‌کنید؟
۱۰	به نظر جنابعالی در طراحی سامانه مذکور توجه به امنیت سایبری در برابر حملات سایبری احتمالی مهم است؟
۱۱	به نظر جنابعالی در استفاده از سامانه مذکور بهره‌گیری از نیروی انسانی ماهر مهم است؟
۱۲	به نظر جنابعالی در استفاده از سامانه مذکور در نظر گرفتن صرفه اقتصادی مهم است؟
۱۳	به نظر جنابعالی در طراحی سامانه فتوولتائیک برای تأمین برق اماکن نظامی در شرایط بحران چه الزامات دیگری باید در نظر گرفته شود؟
۱۴	لطفاً هر گونه نظر و پیشنهادی را که در راستای این تحقیق (تعیین الزامات استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی در شرایط بحران) مدنظر جنابعالی است و در غنی‌تر نمودن این تحقیق مؤثر می‌دانید بیان فرمایید.

جدول ۵- سؤالات بخش تهدیدات و نقاط ضعف زیرساخت برق اماکن نظامی و نقاط ضعف سامانه خورشیدی

ردیف	میزان تأثیر گذاری هر یک از تهدیدات زیر در آسیب پذیری زیرساخت برق امام نظامی را چگونه ارزیابی می‌کنید؟	ردیف	میزان تأثیر گذاری هر یک از نقاط ضعف سامانه خورشیدی در آسیب پذیری زیرساخت برق اماکن نظامی را چگونه ارزیابی می‌کنید؟
سؤال ۱	بمباران هوایی	سؤال ۱	مشکلات جانمایی (با در نظر گرفتن نیاز به فضای زیاد برای چیدمان پانل‌ها)
سؤال ۲	حملات موشکی	سؤال ۲	ناپایداری برق تولیدی (تغییرات توان در طول شبانه‌روز و فصول مختلف سال)
سؤال ۳	تهدیدات خرابکاری و تروریستی	سؤال ۳	احتیاج به هزینه اولیه نسبتاً زیاد
سؤال ۴	بمب‌های گرافیتی	سؤال ۴	نبود دانش و تجربه استفاده در آجا
سؤال ۵	بمب‌های الکترومغناطیسی	سؤال ۵	آسیب پذیری در برابر شرایط مختلف آب و هوایی
سؤال ۶	حملات سایبری		
سؤال ۷	تحریم		

جدول ۶- جدول تهدیدات زیرساخت برق و سامانه خورشیدی اماکن نظامی و الزامات (راه کارهای) متناظر مقابله با تهدیدات

ردیف	مؤلفه تهدید	تا چه اندازه‌ای با هر یک از الزامات (راه کارهای) مقابله با تهدیدات زیرساخت برق و سامانه خورشیدی (فتوولتائیک) اماکن نظامی موافقت می‌کند؟
سؤال ۱	همبازار هوایی و موشکی	استفاده از سامانه هیبرید (سامانه‌های برق موزاری مانند دیزل ژنراتور، باتری و...)
سؤال ۲		اجرای تجهیزات و کابل‌های سامانه خورشیدی (غیر از پانل‌ها) در کانال و پناهگاه مستحکم زیرزمینی
سؤال ۳		رعایت اصل پراکندگی (چند نیروگاه کوچک به جای یک نیروگاه بزرگ)
سؤال ۴		ایجاد امکان جزیره‌ای سازی شبکه در هنگام وقوع حمله
سؤال ۵		رعایت اصل استتار و اختفاء (استفاده از سقف‌ها و پنجره‌های فتوولتائیک، هم رنگ سازی پانل‌ها با محیط و ...)
سؤال ۶		رعایت اصل فزیز (ایجاد روشنایی در اماکن بی اهمیت برای فریب هدف گیری دشمن)
سؤال ۷	تهدیدات خرابکاری و تروریستی	استفاده از سامانه هیبرید (سامانه‌های برق موزاری مانند دیزل ژنراتور، باتری و...)
سؤال ۸		رعایت اصل پراکندگی (چند نیروگاه کوچک به جای یک نیروگاه بزرگ)
سؤال ۹		نصب سامانه‌های تشخیص خرابکاری و هشداردهنده
سؤال ۱۰		ایجاد امکان جزیره‌ای سازی شبکه در هنگام وقوع حمله
سؤال ۱۱		اطمینان از دسترسی به تجهیزات فیزیکی برای بازیابی مجدد شبکه
سؤال ۱۲		ایجاد تأمین و قرق برای سامانه فتوولتائیک
سؤال ۱۳		رعایت اصل استتار و اختفاء (استفاده از سقف‌ها و پنجره‌های فتوولتائیک، هم رنگ سازی پانل‌ها با محیط و ...)
سؤال ۱۴		مقاوم سازی ساختمانی و مقاوم سازی الکتریکی
سؤال ۱۵	بمب‌های گرافیتی	آموزش نیروی انسانی متخصص برای مقابله با بحران و بازیابی مجدد شبکه برق بعد از حمله
سؤال ۱۶		حفاظت الکتریکی و فیزیکی تجهیزات سامانه خورشیدی در برابر بمب‌های گرافیتی*
سؤال ۱۷		استفاده از سامانه‌های هشداردهنده
سؤال ۱۸		بی برق کردن کلیه تجهیزات در لحظه حمله گرافیتی

ردیف	مؤلفه تهدید	تا چه اندازه‌ای با هر یک از الزامات (راه کارهای) مقابله با تهدیدات زیر ساخت برق و سامانه خورشیدی (فتوولتائیک) اماکن نظامی موافقید؟
سؤال ۱۹	بمب‌های الکترومغناطیسی	آموزش نیروی انسانی متخصص برای مقابله با بمب‌های الکترومغناطیسی
سؤال ۲۰		استفاده از کابل (فیبر) نوری برای انتقال اطلاعات
سؤال ۲۱		هوشمندسازی (بی‌برق کردن) تجهیزات در لحظه حمله و...
سؤال ۲۲		حفاظت الکتریکی و فیزیکی تجهیزات سامانه خورشیدی در برابر بمب‌های الکترومغناطیسی**
سؤال ۲۳		ارتقای کیفیت تجهیزات برای مقاومت بیشتر در برابر بمب‌های الکترومغناطیسی
سؤال ۲۴	تهدیدات سایبری	ایجاد مرکز کنترل و نظارت شبکه با ملاحظات دفاع سایبری
سؤال ۲۵		استفاده از کابل (فیبر) نوری و شبکه داخلی برای انتقال اطلاعات
سؤال ۲۶		قابلیت سوییچ از حالت مکانیزه به دستی
سؤال ۲۷		استفاده از تجهیزات تولید داخل
سؤال ۲۸	تحریم	ایجاد تنوع در منابع خرید خارجی تجهیزات و منحصر به فرد نبودن منابع تأمین تجهیزات مورد نیاز
سؤال ۲۹		تحریم هوشمندانه کالاهای خارجی و بومی سازی تجهیزات با استفاده از توان متخصصان داخلی
سؤال ۳۰		عدم وابستگی به مجموعه‌های خارج از اماکن نظامی برای نگهداری و تعمیرات

جدول ۷- جدول نقاط ضعف زیرساخت برق و سامانه خورشیدی اماکن نظامی و الزامات (راه کارهای)

متناظر مقابله با نقاط ضعف

ردیف	مؤلفه نقطه ضعف	تا چه اندازه‌ای با هر یک از الزامات (راه کارهای) مقابله با نقاط ضعف سامانه خورشیدی (فتوولتائیک) اماکن نظامی موافقید؟
سؤال ۱	مشکلات جانمایی (با در نظر گرفتن نیاز به فضای زیاد برای چیدمان پانل‌ها)	استفاده از مکان‌هایی که سایه‌اندازی روی پانل‌ها حداقل باشد
سؤال ۲		نصب صفحات در کمترین فاصله از اتاق تجهیزات
سؤال ۳		استفاده از فضاهای بی‌استفاده (بام ساختمان‌های بی‌اهمیت و پارکینگ‌ها) با رعایت ملاحظات استتار
سؤال ۴		قابل دسترس بودن برای انجام سرویس و نگهداری
سؤال ۵	ناپایداری برق تولیدی (تغییرات توان در طول شبانه‌روز و فصول مختلف سال)	استفاده از ژنراتور به عنوان مکمل
سؤال ۶		استفاده از باتری

ردیف	مؤلفه نقطه ضعف	تا چه اندازه‌ای با هر یک از الزامات (راه کارهای) مقابله با نقاط ضعف سامانه خورشیدی (فتوولتائیک) اماکن نظامی موافقت؟
سؤال ۷	احتیاج به هزینه اولیه نسبتاً زیاد	انجام برآورد دقیق و طراحی بهینه قبل از اجرا
سؤال ۸		استفاده برای مصارف عمومی برای کاهش هزینه‌ها در شرایط عادی
سؤال ۹		استفاده برای قسمت‌ها و مصارف ضروری (اولویت‌بندی) در شرایط بحران
سؤال ۱۰	نبود دانش و تجربه استفاده در آجا	اجرای آزمون برای مشخص شدن معایب و مشکلات
سؤال ۱۱		برگزاری دوره‌های مهارت افزایی برای کارکنان شبکه برق مجموعه اماکن نظامی
سؤال ۱۲	آسیب‌پذیری در برابر شرایط مختلف آب و هوایی	استفاده از استحکامات فیزیکی متناسب

الگوی مفهومی تحقیق به صورت زیر است:

۱	استفاده از مکان‌هایی که سایه‌اندازی روی پانل‌ها حداقل باشد.
۲	نصب صفحات در کمترین فاصله از اتاق تجهیزات
۳	استفاده از فضاهای بی‌استفاده (پام ساختمان‌های بی‌اهمیت و پارکینگ‌ها) با رعایت ملاحظات استتار
۴	قابل دسترسی بودن برای انجام سرویس و نگهداری
۱	استفاده از باتری
۲	استفاده از ژنراتور به عنوان مکمل
۱	انجام برآورد دقیق و طراحی بهینه قبل از اجرا
۲	استفاده برای مصارف عمومی برای کاهش هزینه‌ها در شرایط عادی
۳	استفاده برای قسمت‌ها و مصارف ضروری (اولویت‌بندی) در شرایط بحران
۱	اجرای آزمون برای مشخص شدن معایب و مشکلات
۲	برگزاری دوره‌های مهارت افزایی برای کارکنان شبکه برق مجموعه اماکن نظامی
۱	استفاده از استحکامات فیزیکی متناسب

تجزیه و تحلیل توصیفی و استنباطی سؤالات پرسش‌نامه:

در جداول ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ با استفاده از داده‌های حاصل از پرسش‌نامه و نظرات صاحب‌نظران، آمار توصیفی (میانگین، انحراف معیار، بیشینه و کمینه) و آمار استنباطی اولیه (مقدار خی دو به همراه درجه آزادی) آورده شده است. شرح سؤالات پرسش‌نامه‌ها به علت محدودیت فضا، در این جداول آورده نشده و فقط شماره سؤالات در پرسش‌نامه درج گردیده و برای اطلاع از شرح سؤالات پرسش‌نامه‌ها بایستی به جداول ۵، ۶ و ۷ مراجعه شود.

جدول ۸- تحلیل اولیه داده‌های پرسش‌نامه فرضیه اول (تهدیدات زیرساخت برق اماکن نظامی و نقاط ضعف سامانه خورشیدی)

ردیف	شماره سؤالات در پرسش‌نامه	میلگین	انحراف معیار	بیشینه	کمینه	دیدگاه خبرگان					Chi-square آزمون خی دو	
						خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	مقدار	درجه آزادی
۱	۱	۴.۳۷	۰.۷۰۶	۵	۳	۵۰	۳۷	۱۳	۰	۰	۲۱.۱۴	۲
۲	۲	۴.۳۵	۰.۸۴۵	۵	۲	۵۵	۲۹	۱۲	۴	۰	۶۱.۰۴	۳
۳	۳	۴.۱۲	۰.۹۵۶	۵	۱	۳۸	۴۶	۱۰	۲	۴	۸۴	۴
۴	۴	۴.۳۳	۰.۸۸۸	۵	۲	۵۶	۲۶	۱۳	۵	۰	۶۰.۲۴	۳
۵	۵	۴.۲۶	۰.۷۳۳	۵	۲	۴۰	۴۹	۸	۳	۰	۶۲.۹۶	۳
۶	۶	۴.۰۹	۰.۹۵۴	۵	۱	۳۹	۳۹	۱۷	۲	۳	۶۲.۲	۴
۷	۷	۳.۹۶	۰.۹۲	۵	۲	۲۹	۴۹	۱۱	۱۱	۰	۳۹.۳۶	۳

جدول ۹- تحلیل اولیه داده‌های پرسش‌نامه فرضیه دوم (نقاط ضعف زیرساخت برق اماکن نظامی و سامانه خورشیدی)

ردیف	شماره سؤالات در پرسش‌نامه	میلگین	انحراف معیار	بیشینه	کمینه	دیدگاه خبرگان						Chi-square آزمون خی دو	
						خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	مقدار	درجه آزادی	
۱	۱	۳.۹۷	۱.۳۲۹	۵	۱	۴۵	۳۶	۲	۵	۱۲	۷۴.۷	۴	۴
۲	۲	۴.۰۶	۰.۹۳	۵	۲	۴۱	۲۹	۲۵	۵	۰	۲۶.۸۸	۳	۳
۳	۳	۴.۳۵	۰.۸۹۲	۵	۱	۵۴	۳۳	۱۰	۰	۳	۶۴.۵۶	۳	۳
۴	۴	۴.۲۷	۰.۹۳	۵	۲	۴۹	۴۰	۰	۱۱	۰	۲۳.۶۶	۲	۲
۵	۵	۳.۵۵	۰.۸۹۲	۵	۱	۱۱	۴۶	۳۳	۷	۳	۶۹.۲	۴	۴

جدول ۱۰- تحلیل اولیه داده‌های پرسش‌نامه فرضیه اول الزامات (راه کارهای) مقابله با نقاط ضعف سامانه خورشیدی اماکن نظامی)

Chi-square آزمون خی دو		دیدگاه خبرگان						کمینه	بیشینه	انحراف معیار	میلگین	شماره سوالات در پرسش‌نامه	ردیف
		خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد							
درجه آزادی	مقدار												
۴	۱۱۱,۱	۲	۲	۶	۵۳	۳۷	۱	۵	۰,۸۰۸	۴,۲۱	۱	۱	
۳	۵۹,۷۶	۲	۰	۱۱	۵۰	۳۷	۱	۵	۰,۷۹۱	۴,۲	۲	۲	
۳	۳۷,۹۲	۲	۰	۲۰	۴۰	۳۸	۱	۵	۰,۸۶۸	۴,۱۲	۳	۳	
۳	۶۳,۶	۲	۰	۱۱	۳۴	۵۳	۱	۵	۰,۸۳۵	۴,۳۶	۴	۴	
۳	۶۰,۰۸	۰	۵	۱۰	۳۱	۵۴	۲	۵	۰,۸۵۵	۴,۳۴	۵	۵	
۴	۱۰۷,۷	۲	۶	۳	۳۶	۵۳	۱	۵	۰,۹۴۲	۴,۳۲	۶	۶	
۴	۱۴۷,۷	۲	۳	۲	۲۹	۶۴	۱	۵	۰,۸۴۷	۴,۵	۷	۷	
۴	۱۲۴	۲	۵	۳	۳۱	۵۹	۱	۵	۰,۹۲۱	۴,۴	۸	۸	
۳	۴۱,۰۴	۲	۰	۲۸	۲۳	۴۷	۱	۵	۰,۹۶	۴,۱۳	۹	۹	
۳	۴۷,۹۲	۰	۲	۱۵	۴۵	۳۸	۲	۵	۰,۷۶۱	۴,۱۹	۱۰	۱۰	
۳	۱۰۳,۴۴	۰	۲	۸	۲۳	۶۷	۲	۵	۰,۷۳	۴,۵۵	۱۱	۱۱	
۳	۹۷,۸۴	۰	۵	۶	۲۳	۶۶	۲	۵	۰,۸۲۳	۴,۵	۱۲	۱۲	
۳	۲۷,۶	۰	۷	۱۸	۳۹	۳۶	۲	۵	۰,۹۰۹	۴,۰۴	۱۳	۱۳	
۳	۲۷,۱۲	۰	۵	۲۲	۳۸	۳۵	۲	۵	۰,۸۸۱	۴,۰۳	۱۴	۱۴	
۲	۳۴,۹۴	۰	۰	۱۳	۲۷	۶۰	۳	۵	۰,۷۱۷	۴,۴۷	۱۵	۱۵	
۲	۴۵,۹۸	۰	۰	۴	۳۷	۵۹	۳	۵	۰,۵۷۵	۴,۵۵	۱۶	۱۶	
۳	۴۴,۵۶۰	۰	۱۱	۶	۴۴	۳۹	۲	۵	۰,۹۴۲	۴,۱۱	۱۷	۱۷	
۳	۶۱,۷۶۰	۳	۰	۱۳	۲۹	۵۵	۱	۵	۰,۹۲۲	۴,۳۳	۱۸	۱۸	
۳	۶۱,۰۴	۰	۴	۹	۳۵	۵۲	۲	۵	۰,۸۰۹	۴,۳۵	۱۹	۱۹	
۳	۹۱,۶	۰	۳	۲	۳۶	۵۹	۲	۵	۰,۶۸۹	۴,۵۱	۲۰	۲۰	
۲	۳۲,۴۲	۰	۰	۷	۵۱	۴۲	۳	۵	۰,۶۰۹	۴,۳۵	۲۱	۲۱	
۳	۴۷,۲۸	۰	۵	۱۱	۴۴	۴۰	۲	۵	۰,۸۲۵	۴,۱۹	۲۲	۲۲	
۲	۱۷,۳۶۰	۰	۰	۱۴	۴۰	۴۶	۳	۵	۰,۷۰۹	۴,۳۲	۲۳	۲۳	
۳	۶۰,۹۶	۰	۸	۴	۳۸	۵۰	۲	۵	۰,۸۸۲	۴,۳	۲۴	۲۴	
۳	۸۱,۸۴	۰	۲	۱۳	۲۳	۶۲	۲	۵	۰,۷۹۶	۴,۴۵	۲۵	۲۵	
۲	۴۲,۹۸	۰	۰	۹	۲۹	۶۲	۳	۵	۰,۶۵۸	۴,۵۳	۲۶	۲۶	

ردیف	شماره سؤالات در پرسش‌نامه	میلکین	انحراف معیار	بیشینه	کمینه	دیدگاه خبرگان						Chi-square	
						درجات ارزیابی (درصد)						آزمون خی دو	
						خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	مقدار	درجه آزادی	درجه
۲۷	۲۷	۴.۵۴	۰.۷۴۴	۵	۲	۶۶	۲۵	۶	۳	۰	۱۰۱.۰۴	۳	۳
۲۸	۲۸	۴.۵۷	۰.۸۳۲	۵	۱	۷۰	۲۳	۴	۰	۳	۱۱۸.۱۶۰	۳	۳
۲۹	۲۹	۴.۴۵	۰.۷۸۳	۵	۲	۶۱	۲۵	۱۲	۲	۰	۷۹.۷۶	۳	۳
۳۰	۳۰	۴.۵۴	۰.۷۱۷	۵	۲	۶۵	۲۶	۷	۲	۰	۹۸.۱۶	۳	۳

جدول ۱۱ - تحلیل اولیه داده‌های پرسش‌نامه فرضیه دوم (الزامات (راه کارهای) مقابله با نقاط ضعف سامانه خورشیدی اماکن نظامی)

ردیف	شماره سؤالات در پرسش‌نامه	میلکین	انحراف معیار	بیشینه	کمینه	دیدگاه خبرگان						Chi-square	
						درجات ارزیابی (درصد)						آزمون خی دو	
						خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	مقدار	درجه آزادی	درجه
۱	۱	۴.۴۳۰	۰.۷۲۸	۵	۲	۵۵.۴	۳۳.۸	۹.۲	۱.۵	۰	۴۶.۸۱۵	۳	۳
۲	۲	۴.۳۵۳	۰.۹۵۹	۵	۱	۵۸.۵	۲۶.۲	۱۰.۸	۱.۵	۳.۱	۷۲.۴۶۲	۴	۴
۳	۳	۴.۵۰۷	۰.۶۴۰	۵	۳	۵۸.۵	۳۳.۸	۷.۷	۰	۰	۲۵.۱۳۸	۲	۲
۴	۴	۴.۵۳۸	۰.۵۶۱	۵	۳	۵۶.۹	۴۰	۳.۱	۰	۰	۲۹.۵۶۹	۲	۲
۵	۵	۴.۱۵۳	۰.۸۵۲	۵	۱	۳۸.۵	۴۳.۱	۱۵.۴	۱.۵	۱.۵	۵۱.۳۳۱	۴	۴
۶	۶	۴.۳۳۸	۰.۷۳۴	۵	۲	۴۶.۲	۴۴.۶	۶.۲	۰	۰	۴۳.۳۶۹	۳	۳
۷	۷	۴.۵۰۷	۰.۵۸۹	۵	۳	۵۵.۴	۴۰	۴.۶	۰	۰	۲۶.۴۳	۲	۲
۸	۸	۴.۴۹۲	۰.۷۹۳	۵	۱	۶۳.۱	۲۶.۲	۹.۲	۰	۱.۵	۵۸.۵۰۸	۳	۳
۹	۹	۴.۲۷۶	۰.۷۸۰	۵	۱	۴۳.۱	۴۴.۶	۱۰.۸	۰	۱.۵	۳۹.۰۷۷	۳	۳
۱۰	۱۰	۴.۳۵۳	۰.۹۵۹	۵	۱	۵۸.۵	۲۶.۲	۱۰.۸	۱.۵	۳.۱	۷۲.۴۶۲	۴	۴
۱۱	۱۱	۴.۲۹۲	۰.۸۴۲	۵	۱	۴۷.۷	۳۸.۵	۱۰.۸	۱.۵	۱.۵	۶۰.۹۲۳	۴	۴
۱۲	۱۲	۴.۲۷۶	۰.۸۰۰	۵	۱	۴۳.۱	۴۴.۲	۷.۷	۱.۵	۱.۵	۶۶.۶۱۵	۴	۴

داده‌های چهار جدول بالا حاکی از آن است که ارزش خی دوی مشاهده شده در درجه آزادی مربوطه، معنی دار است. در نتیجه تفاوت بین فراوانی‌های مشاهده شده تأیید می شود. روایی پرسش‌نامه نهایی صورتی و با تأیید خبرگان حوزه پژوهش تحصیل شد و پایایی پرسش‌نامه بر اساس آلفای کرونباخ محاسبه شد و ضریب آلفای کرونباخ، برای پرسش‌های بخش تهدیدات مقدار ۰/۸۷۷۷، بخش نقاط ضعف مقدار ۰/۸۲۱۳، بخش الزامات بیرونی مقدار ۰/۷۲۵۷ و بخش الزامات درونی مقدار ۰/۸۶۹۰ را به

خود اختصاص داد که بسیار مطلوب است.

۱. تجزیه و تحلیل استنباطی فرضیه‌ها:

در این قسمت فرضیه‌های پژوهشی به ترتیب مورد تجزیه و تحلیل توصیفی و استنباطی قرار می‌گیرد. به این منظور برای هر کدام از فرضیه‌ها پس از تبدیل فرضیه پژوهشی به فرضیه آماری، فرضیه با استفاده از آزمون خی دو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و در نهایت به رتبه‌بندی عوامل مؤثر فرضیه با استفاده از آزمون فریدمن پرداخته شده است.

جدول ۱۲- تحلیل اولیه داده‌های فرضیه‌ها

ردیف	عنوان فرضیه	Chi-square آزمون خی دو	Chi-square آزمون فریدمن
		درجه آزادی	درجه آزادی
۱	تهدیدات استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی عبارتند از: ۱- حملات موشکی، ۲- بمباران هوایی، ۳- بمب‌های الکترومغناطیسی، ۴- بمب‌های گرافیتی (الیافی و پودری)، ۵- خرابکاری و تروریستی، ۶- سایبری و ۷- تحریم.	۱۵،۸۱۰	۲۳،۴۶۷
۲	نقاط ضعف استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی عبارتند از: ۱- آسیب‌پذیری در برابر شرایط مختلف آب و هوایی، ۲- احتیاج به هزینه اولیه نسبتاً زیاد، ۳- مشکلات جانمایی (با در نظر گرفتن نیاز به فضای زیاد برای چیدمان پانل‌ها)، ۴- ناپایداری برق تولیدی (تغییرات توان در طول شبانه‌روز و فصول مختلف سال)، ۵- نبود دانش و تجربه استفاده در اماکن نظامی.	۱۱،۱۴۶	۱۰،۱۲
۳	الزامات (راه کارهای) مقابله با تهدیدات استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی عبارتند از ۱- استفاده از سامانه هیبرید (سامانه‌های برق موانی مانند دیزل ژنراتور، باتری و...)، ۲- رعایت اصل پراکندگی (چند نیروگاه کوچک به جای یک نیروگاه بزرگ)، ۳- تحریم هوشمندانه کالاهای خارجی و بومی‌سازی تجهیزات با استفاده از توان متخصصان داخلی.	۵۸،۳۴۰	۴۳،۹۳۴
۴	الزامات (راه کارهای) مقابله با نقاط ضعف استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی عبارتند از ۱- استفاده از استحکامات فیزیکی متناسب، ۲- استفاده از فضاهای بلااستفاده (بام ساختمان‌های بی‌اهمیت و پارکینگ‌ها) با رعایت ملاحظات استتار، ۱۲- اجرای آزمون برای مشخص شدن معایب و مشکلات.	۳۴/۸۱۳	۴۰،۸۲۰
		۳	۱۱

با توجه به اینکه در هر مورد، ارزش خی دوی مشاهده شده در درجه آزادی مربوطه معنی دار است، در نتیجه استنباط می‌شود که بین فراوانی‌های مشاهده شده تفاوت معنی داری وجود دارد، یعنی فرضیه مربوطه پذیرفته می‌شود و فرضیه مقابل آن رد می‌گردد. با توجه به اینکه در هر مورد، داده‌های جدول

آزمون فریدمن نیز نشان می‌دهد که ارزش خی‌دوی مشاهده‌شده در درجه آزادی مربوطه معنی‌دار است، در نتیجه استنباط می‌شود که تفاوت بین میانگین‌های رتبه‌ای متغیرهای مربوطه در هر مورد معنی‌دار است.

۲. تجزیه و تحلیل فرضیه اصلی:

با توجه به تأیید فرضیه‌های فرعی نتیجه می‌گیریم که فرضیه اصلی تأیید و مورد پذیرش قرار می‌گیرد یعنی اینکه «تهدیدات، نقاط ضعف و الزامات (راه کارهای مقابله‌ای) استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی به درستی تبیین شده‌اند».

جدول ۱۳- نتیجه آزمون فریدمن برای تهدیدات

ردیف	تهدید	نتایج آزمون فریدمن		ردیف	نقطه ضعف	نتایج آزمون فریدمن	
		اولویت	میانگین			اولویت	میانگین
۱	بمباران هوایی	۱	۵,۳۵	۱	مشکلات جانمایی	۴	۲,۹۵
۲	حملات موشکی	۱	۵,۳۵	۲	ناپایداری برق تولیدی	۳	۳,۰۵
۳	تهدیدات خرابکاری یا تروریستی	۵	۳,۸۰	۳	احتیاج به هزینه اولیه نسبتاً زیاد	۱	۳,۸۰
۴	بمب‌های الکترومغناطیسی	۳	۴,۶۰	۴	نبود دانش و تجربه استفاده در آجا	۲	۳,۳۵
۵	بمب‌های گرافیتی	۴	۳,۹۵	۵	آسیب‌پذیری در برابر شرایط مختلف آب و هوایی	۵	۱,۸۵
۶	حملات سایبری	۶	۳,۰۰				
۷	تحریم	۷	۱,۹۵				

جدول ۱۴- نتایج اولویت‌بندی الزامات بیرونی هر دسته از تهدیدات

ردیف	۱- الزامات (راه کار) تهدید بمباران هوایی و موشکی	نتایج آزمون فریدمن	
		اولویت	میانگین
۱	استفاده از سامانه هیبرید (سامانه‌های برق موازی مانند دیزل ژنراتور، باتری و...)	۳	۳,۸۵
۲	اجرای تجهیزات و کابل‌های سامانه خورشیدی (غیر از پانل‌ها) در کانال و پناهگاه مستحکم زیرزمینی	۴	۳,۵۵
۳	رعایت اصل پراکندگی (چند نیروگاه کوچک به جای یک نیروگاه بزرگ)	۱	۴,۳۵
۴	ایجاد امکان جزیره‌ای سازی شبکه در هنگام وقوع حمله	۲	۳,۹۰
۵	رعایت اصل استتار و اختفاء (استفاده از سقف‌ها و پنجره‌های فتوولتائیک، هم‌رنگ سازی پانل‌ها با محیط و...)	۵	۲,۷۵

۶	رعایت اصل فریب (ایجاد روشنایی در اماکن بی‌اهمیت برای فریب هدف‌گیری دشمن)	۲۶۰	۶
ردیف	۲- الزامات (راه‌کار) تهدید خرابکاری و تروریستی	میلنگین	اولویت
۱	استفاده از سامانه هیبرید (سامانه‌های برق موازی مانند دیزل ژنراتور، باتری و...)	۶۵۰	۱
۲	رعایت اصل پراکندگی (چند نیروگاه کوچک به جای یک نیروگاه بزرگ)	۵۲۵	۴
۳	نصب سامانه‌های تشخیص خرابکاری و هشداردهنده	۶۴۰	۲
۴	ایجاد امکان جزیره‌ای سازی شبکه در هنگام وقوع حمله	۵۴۰	۳
۵	اطمینان از دسترسی به تجهیزات فیزیکی برای بازیابی مجدد شبکه	۲۴۰	۷
۶	ایجاد تأمین و قرق برای سامانه فتوولتائیک	۲۵۵	۶
۷	رعایت اصول استتار و اختفاء (استفاده از سقف‌ها و پنجره‌های فتوولتائیک، هم‌رنگ‌سازی پانل‌ها با محیط و ...)	۵۲۰	۵
۸	مقاوم‌سازی ساختمانی و مقاوم‌سازی الکتریکی	۲۳۰	۸
ردیف	۳- الزامات (راه‌کار) تهدید بمب‌های الکترومغناطیسی	میلنگین	اولویت
۱	آموزش نیروی انسانی متخصص برای مقابله با بمب‌های الکترومغناطیسی	۲۸۰	۴
۲	استفاده از کابل (فیبر) نوری برای انتقال اطلاعات	۳۱۰	۲
۳	هوشمندسازی (بی‌برق کردن تجهیزات در لحظه حمله و...)	۲۹۵	۳
۴	حفاظت الکتریکی و فیزیکی تجهیزات سامانه خورشیدی در برابر بمب‌های الکترومغناطیسی	۳۷۵	۱
۵	ارتقای کیفیت تجهیزات برای مقاومت بیشتر در برابر بمب‌های الکترومغناطیسی	۲۴۰	۵
ردیف	۴- الزامات (راه‌کار) تهدید بمب‌های گرافیتی	میلنگین	اولویت
۱	آموزش نیروی انسانی متخصص برای مقابله با بحران و بازیابی مجدد شبکه برق بعد از حمله	۲۱۰	۴
۲	حفاظت الکتریکی و فیزیکی تجهیزات سامانه خورشیدی در برابر بمب‌های گرافیتی	۳۰۰	۱
۳	استفاده از سامانه‌های هشداردهنده	۲۲۰	۳
۴	بی‌برق کردن کلیه تجهیزات در لحظه حمله گرافیتی	۲۷۰	۲
ردیف	۵- الزامات (راه‌کار) تهدید سایبری	میلنگین	اولویت
۱	ایجاد مرکز کنترل و نظارت شبکه با ملاحظات دفاع سایبری	۳۱۵	۱
۲	استفاده از کابل (فیبر) نوری و شبکه داخلی برای انتقال اطلاعات	۲۸۰	۳

۳	قابلیت سوییچ از حالت مکانیزه به دستی	۱،۱۰	۴
۴	استفاده از تجهیزات تولید داخل	۲،۹۵	۲
ردیف	۶- الزامات (راه کار) تهدید تحریم	میلنگین	اولویت
۱	ایجاد تنوع در منابع خرید خارجی تجهیزات و منحصر به فرد نبودن منابع تأمین تجهیزات مورد نیاز	۱،۲۵	۳
۲	تحریم هوشمندانه کالاهای خارجی و بومی سازی تجهیزات با استفاده از توان متخصصان داخلی	۲،۰۰	۲
۳	عدم وابستگی به مجموعه های خارج از کشور برای نگهداری و تعمیرات	۲،۷۵	۱

جدول ۱۵- نتایج اولویت بندی الزامات درونی هر دسته از نقاط ضعف

ردیف	۱- الزامات ضعف مشکلات جانمایی (با در نظر گرفتن نیاز به فضای زیاد برای چیدمان پانل ها)	نتایج آزمون فریدمن	
		میلنگین	اولویت
۱	استفاده از مکان هایی که سایه اندازی روی پانل ها حداقل باشد	۸،۷	۱
۲	نصب صفحات در کمترین فاصله از اتاق تجهیزات	۷،۱۵	۴
۳	استفاده از فضا های بلا استفاده (بام ساختمان های بی اهمیت و پارکینگ ها) با رعایت ملاحظات استتار	۷،۰۰	۵
۴	قابل دسترس بودن برای انجام سرویس و نگهداری	۴،۷۰	۱۱
ردیف	۲- الزامات (راه کار) ضعف ناپایداری برق تولیدی (تغییرات توان در طول شبانه روز و فصول مختلف سال)	میلنگین	اولویت
۱	استفاده از باتری	۶،۷۰	۸
۲	استفاده از ژنراتور به عنوان مکمل	۸،۶۵	۲
ردیف	۳- الزامات (راه کار) ضعف پوشش هزینه اولیه نسبتاً زیاد سامانه خورشیدی	میلنگین	اولویت
۱	انجام برآورد دقیق و طراحی بهینه قبل از اجرا	۶۸۰	۶
۲	استفاده برای مصارف عمومی برای کاهش هزینه ها در شرایط عادی	۵،۸۵	۹
۳	استفاده برای قسمت ها و مصارف ضروری (اولویت بندی) در شرایط بحران	۵،۳۵	۱۰
ردیف	۴- الزامات (راه کار) ضعف نبود دانش و تجربه استفاده در آجا	میلنگین	اولویت
۱	اجرای آزمون برای مشخص شدن معایب و مشکلات	۸،۵۴	۳
۲	برگزاری دوره های مهارت افزایی برای کارکنان شبکه برق مجموعه اماکن نظامی	۶،۷۵	۷
ردیف	۵- الزامات (راه کار) ضعف آسیب پذیری در برابر شرایط آب و هوایی	میلنگین	اولویت
۱	استفاده از استحکامات فیزیکی متناسب	۱،۸۰	۱۲

نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام شده در این پژوهش نشان‌داد که به علت مزایای فناوری انرژی خورشیدی، گرایش به استفاده از آن در چرخه تأمین انرژی، روزبه‌روز افزایش می‌یابد؛ اما برای استفاده از این زیرساخت در اماکن حساس نظیر اماکن نظامی، بایستی الزاماتی رعایت شوند. مطالعه منابع کتابخانه‌ای و مصاحبه با نخبگان، نشان‌داد که آسیب‌پذیری‌ها در دو مقوله تهدیدات که منشأ بیرونی دارند و نقاط ضعف که منشأ درونی دارند، قابل دسته‌بندی‌اند. بر این اساس در این پژوهش، الزامات استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی در شرایط بحران در قالب الزامات بیرونی و درونی بررسی شدند. در طی انجام پژوهش، دسترسی به نخبگان و کارشناسان حوزه تحقیق به‌سختی انجام شد و در بسیاری از موارد، ابتدا موضوع و حتی نتایج منابع کتابخانه‌ای برای جامعه آماری توسط محقق تشریح و سپس پرسش‌نامه ارائه گردید. ازاین‌رو، نتایج آماری و اولویت‌بندی مؤلفه‌ها در این تحقیق شاید با تجربیات و شناخت متخصصان مختلف از ماهیت و زیرساخت سانرژی خورشیدی متفاوت باشد؛ اما آنچه مسلم است این که در این پژوهش تهدیدات، نقاط ضعف و الزامات (راهکارهای مقابله‌ای) متناظر استخراج و دسته‌بندی شده‌اند. اولویت‌بندی مؤلفه‌ها با محاسبه میانگین رتبه‌های آزمون فریدمن که ترتیب و توالی اهمیت مؤلفه‌های اثرگذار در فرضیه‌ها را از دیدگاه جامعه آماری مشخص می‌کند، نشان‌داد که:

۱) بررسی‌ها نشان‌داد که از میان مؤلفه‌های مربوط به تهدیدات استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن نظامی در شرایط بحران، «بمباران هوایی» و «حملات موشکی»، آسیب‌پذیری یکسانی را ایجاد خواهند نمود، ازاین‌رو الزامات یکسانی برای هر دو تهدید به دست آمد. بمباران هوایی و حملات موشکی، دو تهدید با اولویت بالاتر و بعدازآن «بمب‌های الکترومغناطیس»، «بمب‌های گرافیتی»، «خرابکاری»، «حملات سایبری» و درنهایت «تحریم‌ها» به ترتیب دیگر تهدیدات شناسایی شدند.

۲) «احتیاج به هزینه اولیه نسبتاً بالا»، به‌عنوان با اولویت‌ترین نقطه‌ضعف زیرساخت انرژی خورشیدی شناسایی شد و بعدازآن «نبود دانش و تجربه استفاده»، «ناپایداری برق تولیدی»، «مشکلات جانمایی» و «آسیب‌پذیری در برابر شرایط مختلف آب و هوایی» نیز به ترتیب دیگر نقاط ضعف هستند.

۳) از میان الزامات تهدیدات بمباران هوایی و موشکی، «رعایت اصل پراکندگی» و «ایجاد اماکن جزیره‌ای سازه شبکه» با اولویت‌ترین و «رعایت اصل فریب» به‌عنوان کم اولویت‌ترین الزامات به دست آمدند.

از میان الزامات تهدیدات خرابکاری و تروریستی، «استفاده از سامانه هیبرید» با اولویت‌ترین و «مقاوم‌سازی ساختمانی و مقاوم‌سازی الکتریکی» کم اولویت‌ترین به دست آمد.

از میان الزامات تهدیدات بمب‌های الکترومغناطیسی، «حفاظت الکتریکی و فیزیکی تجهیزات سامانه

خورشیدی در برابر بمب‌های الکترومغناطیسی» با اولویت‌ترین و «ارتقای کیفیت تجهیزات برای مقاومت بیشتر در برابر بمب‌های الکترومغناطیسی» کم اولویت‌ترین به دست آمد.

از میان الزامات تهدیدات بمب‌های گرافیتی، «حفاظت الکتریکی و فیزیکی تجهیزات سامانه خورشیدی در برابر بمب‌های گرافیتی» با اولویت‌ترین و «آموزش نیروی انسانی متخصص برای مقابله با بحران و بازیابی مجدد شبکه برق بعد از حمله» کم اولویت‌ترین به دست آمد.

از میان الزامات تهدیدات سایبری، «ایجاد مرکز کنترل و نظارت شبکه با ملاحظات دفاع سایبری» با اولویت‌ترین و «قابلیت سوییچ از حالت مکانیزه به دستی» کم اولویت‌ترین به دست آمد.

از میان الزامات تهدیدات تحریم، «عدم وابستگی به مجموعه‌های خارج از کشور برای نگهداری و تعمیرات» با اولویت‌ترین و «ایجاد تنوع در منابع خرید خارجی تجهیزات و منحصربه‌فرد نبودن منابع تأمین تجهیزات موردنیاز» کم اولویت‌ترین به دست آمد.

۴) از میان الزامات ضعف‌های استفاده از انرژی خورشیدی، «استفاده از مکان‌هایی که سایه‌اندازی روی پانل‌ها حداقل باشد»، «استفاده از ژنراتور به‌عنوان مکمل» و «اجرای آزمون برای مشخص شدن معایب و مشکلات» به ترتیب سه الزام با اولویت بالاتر و «استفاده از استحکامات فیزیکی متناسب» به‌عنوان کم اولویت‌ترین الزام شناسایی گردیدند.

منابع:

- دانشمند کشاورز، فاطمه، نقش انرژی خورشیدی در کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌های محیط زیست در کاربری‌های مسکونی (مطالعه موردی: شهرستان فیروزآباد)، فصلنامه پژوهش‌های کاربردی در فنی و مهندسی، ۳، ۲۴، صص ۱۱۳-۱۲۸، ۱۴۰۰.
- هریسچیان، مهدی، نقیبی، هادی، شری زاده، عادل، نقش انرژی خورشیدی در کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌های محیط زیستی در کاربری‌های مسکونی (مطالعه موردی: شهر تهران)، فصلنامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، ۶، ۱۲، صص ۱-۱۳، ۱۳۹۸.
- پورسرانی آلاشتی، علیرضا، نقش انرژی خورشیدی در ساختمان‌های تجاری و مسکونی، همایش ملی پژوهش‌های مدیریت و علوم انسانی در ایران، ۱۳۹۷.
- لطیفی، مریم؛ علایی، علی، تأثیر صفحات فتوولتائیک تلفیق شونده با نمای ساختمان در بهبود مصرف انرژی ساختمان، نشریه اختصاصی معماری و شهرسازی ایران، معماری شناسی، شماره ۱۹، صص ۱۸۷-۱۹۳، ۱۴۰۰.
- حجازی زاده، زهرا؛ خسروی، آراس؛ حسینی، سید اسعد؛ کربلایی درئی، علیرضا، توانایی سنجی مناطق کویری، بیابانی و سواحل مکران به منظور کسب انرژی از خورشید با استفاده از منطق فازی و الگوی تحلیل سلسله مراتبی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و یکم، شماره ۶۳، ۱۳۹۷.
- جامعی، احمد؛ زمان، آرمینا، معماری پایدار و تأثیر آن در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها، فصلنامه پژوهش‌های نوین علوم جغرافیایی، معماری و شهرسازی، شماره ۲۸، صص ۱۱۳-۱۳۳، ۱۳۹۹.
- خیاطیان یزدی، محمدصادق، فرتاش، کیارش، قربانی، امیر، توسعه کلام فناوریانه فتوولتائیک در یاران با رویکرد مدیریت راهبردی کلام، فصلنامه علمی پژوهشی سیاست علم و فناوری، سال ۱۲، شماره ۱، صص ۳۷-۵۴، ۱۳۹۹.
- ادبی، مقانی، محمد، رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا، پور طاهری، مهدی، صادقی سقدل، حسین، تحلیل سطح پذیرش فناوری انرژی خورشیدی در مناطق روستایی (مطالعه موردی: مناطق روستایی شهرستان کلبر و شهرستان خدا آفرین - استان آذربایجان شرقی)، نشریه علمی پژوهشی پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره پنجاه دوم - شماره ۱، صص ۲۸۳-۳۰۱، ۱۳۹۹.
- خمر، غلامعلی، زینلی، سمانه، جهان تیغ، نبی، کیانی، اکبر، بررسی تطبیقی شهرهای شش گانه منطقه سیستم از لحاظ توانایی استفاده از انرژی خورشیدی، نشریه علمی پژوهشی مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۱۰، شماره ۳۹، صص ۶۷-۸۴، ۱۳۹۹.
- فرتاش، کیارش، خیاطیان یزدی، محمدصادق، قربانی، امیر، آسیب‌شناسی نقش کنشگران در ساختار حکمرانی انرژی خورشیدی در ایران، نشریه علمی پژوهشی سیاست‌گذاری عمومی، دوره ۶، شماره ۲، صص ۱۵۵-۱۷۷، ۱۳۹۹.
- کریمیان، زهره، محمدی، مهدی، ذوالفقارزاده کرمانی، محمد مهدی و قاضی نوری، سید سپهر، بررسی تکامل تاریخی

- سیاست‌گذاری نوآوری در ایران با رویکرد حکمرانی شبکه‌ای، نشریه بهبود مدیریت، ۱۳۹۸.
- محمدی، نعیمه، دانایی‌فرد، حسن، الگوی حکمرانی مشارکتی توسعه انرژی تجدیدپذیر ایران: رویکرد نهادی، مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی، ۱۵۵، ۱۳۹۸.
 - اکبری، حسن، حسینی نژاد، فاطمه سادات، زوایای فرارگیری ساختمان برای بهره‌مندی از انرژی تابشی خورشیدی مطالعه موردی: شهر تهران، نشریه علمی پژوهشی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۱۳۳، صص ۴۲۸-۴۳۶، ۱۳۹۸.
 - عیدی، اسماء، کاظمیه، فاطمه، راحلی، حسین، تبیین عوامل مؤثر بر امکان به‌کارگیری انرژی خورشیدی در بخش کشاورزی از دیدگاه کارشناسان جهاد کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان مراغه)، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲۹، شماره ۳، ۱۳۹۸.
 - زندی، رحمان، صفایی، محمدجواد، خسروی، مریم، توانایی سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی (مطالعه موردی: شهرستان سبزوار)، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و توسعه، شماره ۵۷، صص ۷۱-۹۶، ۱۳۹۸.
 - جوسرایی آلاشتی، علیرضا، نقش انرژی خورشیدی در ساختمان‌های تجاری و مسکونی، همایش ملی پژوهش‌های مدیریت و علوم انسانی در ایران، ۱۳۹۷.
 - واحدی، سید حامد، تأثیر انرژی‌های نو در آینده اقتصادی ایران، مجله فارس پلاس، شماره ۱۲۶۷، ۱۳۹۳/۱۲/۳۰، تهران، ۱۳۹۳.
 - <https://www.farsnews.ir/news/13931203001267> تأثیر-انرژی‌های-نو-در-آینده-اقتصادی-ایران
 - رفیعی طباطبایی، سید رضا، انرژی خورشیدی، زمین‌گرایی و سایر منابع انرژی پاک، چاپ اول، تهران: انتشارات آزاده، ۱۳۸۹.
 - غفاری، محمود، تحلیل انواع روش‌های تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی، ۱۳۹۷، بازیابی شده در تاریخ ۱۳۹۸/۱/۱۴ از تارنمای <http://kalengi.ir/gtd>
 - زندی، مجید؛ امیرحسینی، مریم؛ انرژی خورشیدی، انرژی پاک آینده، چاپ اول، تهران: مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۷.
 - اشرف جلیلی منش، علی، تبیین رویکرد بهینه تأمین انرژی در ستاد آجا با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه آموزش‌های تخصصی زمینی، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، (۱۳۹۲).
 - دشتی، رضا، واکاوی خاموشی‌های سراسری برق در جهان و راهکارهای پدافند غیرعامل، چاپ اول، تهران: معاونت انرژی سازمان پدافند غیرعامل کشور، ۱۳۹۴.
 - دشتی، رضا. یوسفی، شقایق؛ ملاحظات پدافند غیرعامل در شبکه‌های توزیع برق، تهران: موسسه انتشارات نبوی، ۱۳۹۵.
 - دشتی، رضا؛ تروریسم و شبکه‌های انرژی برق (ترجمه)، چاپ اول، تهران: موسسه انتشارات نبوی، ۱۳۹۶.
 - اسکندری، حمید؛ دانستنی‌های پدافند غیرعامل، ویرایش سوم، چاپ پنجم، تهران: بوستان حمید، ۱۳۹۳.

- رجیبی مشهدی، مصطفی؛ تحدیدات گرافیتی و الکترومغناطیسی در صنعت برق و راهکارهای مقابله با آن، تهران: معاونت انرژی سازمان پدافند غیرعامل کشور، ۱۳۹۷.
- Holstein, B, (2015). **Analysing Photovoltaic Potential Using a Geographic Information System: a Case Study of Prince William County Public Schools) Master of Environmental Science and Policy (Faculty of the USC Graduate School University of George Mason University.**
- Aguacil, S, Lufkin, S, & Rey, E. (2019). **Active surfaces selection method for building-integrated photovoltaics (BIPV) in renovation projects based on self-consumption and self-sufficiency.** *Energy and Buildings*, 193, 15–28.
- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.035>.
- Salameh, T, Assad, M. E. H, Tawalbeh, M, Ghenai, C, Merabet, A, & Öztö, H. F. (2020). **Analysis of cooling load on commercial building in UAE climate using building integrated photovoltaic façade system.** *Solar Energy*, 199, 617–629.
- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.062>.
- Hoseinzadeh, P, Khalaji Assadi, M, Heidari, S, Khalatbari, M, Saidur, R, Haghighat nejad, K, & Sangin, H. (2021). **Energy performance of building integrated photovoltaic high-rise building: Case study, Tehran, Iran.** *Energy and Buildings*, 235, 110707.
- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110707>.
- Qiu, C, Yang, H, & Zhang, W. (2019). **Investigation on the energy performance of a novel semi-transparent BIPV system integrated with vacuum glazing.** *Building Simulation*, 12(1), 29–39. <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0464-6>.
21. Raji, B, Tenpierik, M. J, & van den Dobbelsteen, A. (2016). **An assessment of energy-saving solutions for the envelope design of high-rise buildings in temperate climates: A case study in the Netherlands.** *Energy and Buildings*, 124, 210–221.
- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.049> ..
- Yoo, S.-H. (2019). **Optimization of a BIPV system to mitigate greenhouse gas and indoor environment.** *Solar Energy*, 188, 875–882 .

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.055>.
- Yang, S, Cannavale, A, Di Carlo, A, Prasad, D, Sproul, A, & Fiorito, F. (2020). Performance assessment of BIPV/T double-skin façade for various climate zones in Australia: Effects on energy consumption. *Solar Energy*, 199, 377–399.
- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener044> .2020.02.
- El Mustapha, H, T Hoppes, & H Bressers. (2018). **Comparing two pathways of strategic niche management in a developing economy; the cases of solar photovoltaic and solar thermal energy market development in Lebanon.** *Journal of Cleaner Production* 186: 155-167.