Scientific-Research Quarterly Journal
of Technical Science
Khatam Al-Nabieen University
Volume 2, Issue 4, Autumn 2024

A Comparative Study of the Costs, Economic and Environmental Benefits of Solar Parking Lots versus Traditional Parking Lots: A Case Study of Khatam Al-Nabieen University Parking Lot

Mohammad Nasim Zahidi[1], Sayed Anwar Shah Mousawi[2], Najeebullah Khaliqi[3]

Abstract:

With the increasing use of renewable energy, particularly solar energy, and the growing demand for parking spaces in urban areas, solar carports have emerged as a sustainable and cost-effective solution for energy supply and pollution reduction in urban areas in urban areas. This study investigates and compares the economic performance of solar carports with that of traditional parking structures (iron-frame tents and polycarbonate covers). This study employs the AHP and PROMETHEE methods to analyze and compare key criteria, such as initial costs, return on investment, environmental impact, lifespan, and public acceptance. The significance of this research lies in its multidimensional justification—economic, environmental, socio-technological, and policy-based—making it relevant both scientifically and operationally.

The findings indicate that although the initial investment for solar systems is higher, solar carports prove to be significantly more economical in the long-term owing to electricity generation, energy

[1] Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khatam Al-Nabieen University, Kabul, Afghanistan.

Email: nasim.zahidi@knu.edu.af Phone: +93745209280

[2] Assistant Professor, Civil Department, Faculty of Engineering, Khatam Al-Nabieen University, Kabul, Afghanistan.

Email: sa.mousawi@knu.edu.af Phone: +93744384228

[3] Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khatam Al-Nabieen University, Kabul, Afghanistan.

Email: najib.khaliqi@knu.edu.af Phone: +93788726289

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

cost savings, and pollution reduction. A case study of the parking facility at Khatam Al-Nabieen University in Kabul revealed that the installed solar system could supply a portion of the university's energy needs, generating over 2.3 GWh of electricity over 25 years and preventing the emission of approximately 947.5 t of CO_2.
Overall, this study strongly highlights that sola carports, as a sustainable, economic, and environmentally friendly alternative to conventional parking structures, can contribute to addressing energy and pollution challenges in Afghanistan. Therefore, the multifaceted importance of this study is evident not only in the cost-benefit analysis of solar projects but also in establishing a strategic link between sustainable development goals, technological innovation, and the empowerment of public institutions to play a leading role in the transition to a green economy.
Keywords: Parking, Renewable Energy, AHP, PROMETHEE, Economic Analysis.

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

فصلنامه علمی - تحقیقی علوم فنی
پوهنتون خاتم‌النبیین(ص)
سال دوم ، شماره‌ی چهارم، خزان ۱۴۰۳
صفحه ۵۹ – ۸۲

بررسی مقایسه‌ای هزینه‌ها، مزایای اقتصادی و محیط زیستی پارکینگ خورشیدی در مقابل پارکینگ‌های سنتی،مطالعه موردی پارکینگ دانشگاه خاتم النبیین (ص)

محمد نسیم زاهدی[۱]،سید انورشاه موسوی[۲]، نجیب الله خالقی[۳]

چکیده

با توجه به افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، به ویژه انرژی خورشیدی، و نیاز روزافزون به فضاهای پارکینگ در مناطق شهری، پارکینگ‌های خورشیدی به عنوان یک راه‌حل پایدار و اقتصادی برای تأمین انرژی و کاهش آلودگی معرفی شده‌اند. در این تحقیق، به بررسی و مقایسه اقتصادی پارکینگ‌های خورشیدی با پارکینگ‌های سنتی (پوشش آهن چادر و پولی‌کاربنیت) پرداخته شده است. این مقاله از روش‌های AHP و PROMETHEE برای تحلیل و مقایسه معیارهایی همچون هزینه‌های اولیه، بازگشت سرمایه، اثرات زیست‌محیطی، طول عمر و پذیرش عمومی استفاده کرده است. اهمیت این تحقیق از جنبه‌های متعدد اقتصادی، محیط زیستی، اجتماعی-فناورانه و سیاستگذاری دارای توجیه‌پذیری علمی و عملیاتی است. نتایج نشان داد که با وجود هزینه اولیه بالاتر نصب سیستم خورشیدی، این نوع پارکینگ‌ها به دلیل تولید برق، صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی و کاهش آلودگی، در بلندمدت از نظر اقتصادی به مراتب سودآورتر از پارکینگ‌های سنتی هستند. همچنین، مطالعه موردی پارکینگ دانشگاه خاتم‌النبیین (ص) در کابل نشان داد که با نصب سیستم خورشیدی، این پارکینگ قادر به تأمین بخشی از نیازهای انرژی دانشگاه بوده و می‌تواند در طول ۲۵ سال با تولید بیش از ۲.۳ گیگا وات ساعت انرژی برق از انتشار حدود 947.5 تن CO_2 جلوگیری نماید. به طور کلی، این تحقیق به‌طور قاطع تأکید دارد که پارکینگ‌های خورشیدی به عنوان یک گزینه پایدار، اقتصادی و زیست‌محیطی در مقایسه با پارکینگ‌های سنتی، می‌توانند به حل مشکلات انرژی و آلودگی در افغانستان کمک کنند. بنابراین، اهمیت چندوجهی این پژوهش نه تنها در تحلیل هزینه-فایده پروژه‌های خورشیدی، بلکه در ایجاد پیوندی

[۱] پوهنیار،دیپارتمنت برق پوهنځی انجنیری، پوهنتون خاتم النبیین(ص)، کابل، افغانستان،
nasim.zahidi@knu.edu.af، ۰۷۴۵۲۰۹۲۸۰

[۲] پوهنیار، دیپارتمنت سیول پوهنځی انجنیری، پوهنتون خاتم النبیین(ص)، کابل، افغانستان،
sa.mousawi@knu.edu.af، ۰۷۴۴۳۸۴۲۲

[۳] پوهنیار، دیپارتمنت برق پوهنځی انجنیری، پوهنتون خاتم النبیین(ص)، کابلپ، افغانستان،
najib.khaliqi@knu.edu.af، ۰۷۸۸۷۲۶۲۸۹

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

استراتژیک بین اهداف توسعه پایدار، نوآوری-فناوری و توانمندسازی نهادهای عمومی برای ایفای نقش پیشگام در گذار به اقتصاد سبز، قابل توجه است.

واژه‌های کلیدی: پارکینگ، انرژی تجدیدپذیر، تحلیلAHP، تحلیلPROMETHEE، تحلیل اقتصادی.

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی، به عنوان یک راه‌حل پایدار برای تأمین نیازهای انرژی بشر مطرح شده است[۱]. با توجه به افزایش نگرانی‌ها درباره تغییرات اقلیمی، کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، و نیاز به دسترسی انرژی پایدار، انرژی خورشیدی به عنوان یکی از امیدوارکننده‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر شناخته شده است. از سوی دیگر، رشد سریع شهرنشینی و افزایش تعداد وسایل نقلیه در سراسر جهان، نیاز به ایجاد فضاهای مناسب برای پارکینگ را به یک چالش مهم شهری تبدیل کرده است[۲]. در این راستا، ایده "پارکینگ‌های خورشیدی" به عنوان یک راه‌حل نوآورانه مطرح شده است که به طور همزمان به دو چالش عمده جهانی پاسخ می‌دهد :تأمین انرژی پایدار و مدیریت فضاهای شهری.

پارکینگ‌های خورشیدی، با نصب پنل‌های فتوولتائیک بر روی سقف‌های پارکینگ یا ساخت سایه‌بان‌های خورشیدی، نه تنها می‌توانند انرژی مورد نیاز برای روشنایی، سیستم‌های امنیتی، و تجهیزات پارکینگ را تأمین کنند، بلکه می‌توانند به عنوان ایستگاه‌های چارج برای موترهای الکتریکی نیز عمل نمایند. این سیستم‌ها علاوه بر کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، می‌توانند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا کمک کنند[۳]. همچنین، استفاده از این فناوری در پارکینگ‌های ادارات دولتی، شرکت‌های خصوصی، و فضاهای عمومی می‌تواند گامی مؤثر در جهت ترویج توسعه پایدار و افزایش آگاهی عمومی درباره مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر باشد.

افغانستان به عنوان کشوری با منابع غنی انرژی خورشیدی، پتانسیل بالایی برای بهره‌برداری از این فناوری دارد. با این حال، علیرغم وجود میانگین تابش خورشیدی بالا در بسیاری از مناطق کشور، بخش‌های زیادی از افغانستان همچنان از دسترسی به انرژی پایدار محروم هستند[۴]. این مسئله به ویژه در مناطق شهری و روستایی که با کمبود برق و افزایش تقاضا برای انرژی مواجه هستند، مشهود است. از سوی دیگر، رشد جمعیت و افزایش تعداد وسایل نقلیه در افغانستان، نیاز به توسعه فضای پارکینگ را به یک ضرورت تبدیل کرده است. در این شرایط، استفاده از سیستم‌های خورشیدی در پارکینگ‌ها می‌تواند به عنوان یک راه‌حل نوآورانه و پایدار، همزمان به نیازهای انرژی و مدیریت فضاهای شهری پاسخ دهد.

این مقاله به بررسی مزایا و چالش‌های استفاده از سیستم‌های خورشیدی در پارکینگ‌های افغانستان می‌پردازد. در این راستا، امکان‌سنجی این ایده در زمینه‌های مختلف اداری و تجاری مورد تحلیل قرار می‌گیرد. با توجه به رشد جمعیت و افزایش استفاده از وسایل نقلیه در افغانستان، توسعه فضاهای پارکینگ به همراه سیستم‌های خورشیدی می‌تواند به کاهش مشکلات انرژی، کاهش آلودگی محیط زیست، و ترویج استفاده از فناوری‌های نوین کمک کند. علاوه بر این، این سیستم‌ها می‌توانند به عنوان زیرساختی برای پشتیبانی از موترهای الکتریکی در آینده عمل کنند و گامی مؤثر در جهت تحول انرژی و توسعه پایدار در افغانستان باشند.

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

۲. پیشینه تحقیق

پارکینگ های خورشیدی مجهز به پنل های فتوولتائیک با استفاده از انرژی های تجدید پذیر، خنک کردن وسایل نقلیه الکتریکی پلاگین، کاهش هزینه های چارج و به طور بالقوه بازگرداندن انرژی اضافی به شبکه، در نتیجه اقدامات انرژی پایدار را ترویج می کنند[5]. سایبان های پارکینگ خورشیدی با استفاده از فضای شهری برای سیستم های فتوولتائیک، تولید برق که وابستگی به سوخت های فسیلی را کاهش می دهد، پایداری زیست محیطی را افزایش می دهد. این امر به منابع انرژی پاک تر کمک می کند، از چارچ موترهای الکتریکی پشتیبانی می کند و امکان ادغام بالقوه در شبکه توزیع را فراهم می کند[6]. پارکینگ های خورشیدی به طور قابل توجهی کاهش CO_2 و انتشار آلاینده های ناشی از وسایل نقلیه الکتریکی، ترویج استفاده از انرژی های تجدید پذیر و بهینه سازی تولید انرژی در مناطق شهری،تقویت اقتصادهای محلی ضمن رسیدگی به تقاضای برق و پایداری زیست محیطی از طریق تولید برق خورشیدی[7].پارکینگ های خورشیدی از انرژی های تجدید پذیر، کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای استفاده می کنند. با تولید برق از پنل های خورشیدی، آنها به تولید انرژی پایدار کمک می کنند و در نهایت تأثیر زیست محیطی را کاهش می دهند و منابع انرژی پاک تر را ترویج می کنند[8].امکانات پارکینگ خورشیدی، مانند پارکینگ زیرزمینی تورکو، کاهش نیازهای تولید انرژی، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و ترویج خنثی بودن کربن استفاده می کنند. آنها شرایط زندگی شهری را بهبود می بخشند و در عین حال از انرژی های تجدیدپذیر برای اهداف گرمایش و خنک سازی استفاده می کنند[9].حوزه پارکینگ فتوولتائیک انرژی خورشیدی با تولید انرژی از طریق پنل های خورشیدی، کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی و به حداقل رساندن انتشار کربن، بهره وری انرژی را افزایش می دهد. علاوه بر این، محافظت در برابر عناصر آب و هوا، ترویج استفاده پایدار از انرژی و حفاظت از منابع را فراهم می کند[10].

۳. روش تحقیق

این تحقیق به هدف تحلیل اقتصادی و مقایسه‌ای پوشش‌های خورشیدی با پوشش‌های سنتی مانند آهن چادر و پولی‌کاربنیت از نظر شاخص‌های کلیدی همچون میزان بازدهی انرژی[1]، دوره بازگشت سرمایه PP۲ و نرخ بازگشت سرمایه ROI3 انجام شده است. برای دستیابی به این هدف، روش تحقیق به‌صورت توصیفی-تحلیلی و با رویکرد کمی و مقایسه‌ای طراحی شده است. مراحل تحقیق شامل جمع‌آوری اطلاعات، تحلیل تلفات انرژی در سیستم خورشیدی، محاسبه شاخص‌های اقتصادی و مقایسه گزینه‌های مختلف پوشش پارکینگ بوده است.

[1] Energy Efficiency
[2] Payback Period (PP)
[3] Return on Investment (ROI)

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

در مرحله اول، اطلاعات مورد نیاز از طریق منابع کتابخانه‌ای، مطالعه اسناد، کتب و مقالات معتبر و نظر سنجی از متخصصین جمع‌آوری شد. این اطلاعات شامل اطلاعات تخنیکی و اقتصادی مربوط به پوشش‌های خورشیدی، آهن چادر و پولی کاربنیت بود. در مرحله بعد، تحلیل تلفات انرژی در سیستم خورشیدی انجام شد تا میزان بازدهی انرژی به‌دقت بررسی گردد.

برای تحلیل اقتصادی، شاخص‌های کلیدی همچون دوره بازگشت سرمایه و نرخ بازگشت سرمایه محاسبه شدند. این شاخص‌ها به منظور ارزیابی مقرون‌به‌صرفه بودن هر گزینه و تعیین زمان مورد نیاز برای بازگشت سرمایه اولیه مورد استفاده قرار گرفتند. سپس، با استفاده از دو روش PROMETHEE1 و AHP2 برای اولویت بندی و رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف پوشش پارکینگ از نظر معیارهای تخنیکی، اقتصادی، و محیط‌زیستی تحلیل و مقایسه شدند.

روش PROMETHEE به دلیل توانایی در تحلیل چندمعیاره و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس ترجیحات، و روش AHP به دلیل قابلیت وزن‌دهی به معیارها و ارزیابی سازگاری تصمیم‌گیری، انتخاب شدند. این دو روش به ما اجازه دادند تا بهترین گزینه را با در نظر گرفتن تمامی ابعاد تخنیکی و اقتصادی انتخاب کند.

در نهایت، پس از تحلیل اطلاعات و مقایسه گزینه‌ها، با توجه به معیارهای بازدهی انرژی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، دوره بازگشت سرمایه، طول عمر مواد و قابلیت بازیافتی مواد بهترین گزینه برای پوشش پارکینگ پیشنهاد شده است. این تحقیق با استفاده از روش‌های علمی و تحلیلی، تلاش کرده است تا راه‌حلی مناسب برای طراحی پارکینگ‌های خورشیدی ارائه دهد که هم از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه باشد و هم به توسعه پایدار و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر کمک کند.

۴. تعریف پارکینگ خورشیدی

پارکینگ خورشیدی به نوعی از پارکینگ‌های اطلاق می‌شود که سقف آن‌ها به پنل‌های فتوولتائیک (PV Module)[3] مجهز شده است. این پنل‌ها انرژی خورشیدی را جذب کرده و آن را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. انرژی تولید شده می‌تواند برای مصارف مختلفی همچون تأمین برق روشنایی پارکینگ، چارج موترهای الکتریکی (EVs)[4]، یا حتی تأمین انرژی ساختمان‌های مجاور استفاده شود[11]. پارکینگ‌های خورشیدی می‌توانند به صورت مستقل (Off-grid)5 یا متصل به شبکه (On-grid)6 عمل کنند[12]. در حالت متصل به شبکه، انرژی مازاد تولید شده می‌تواند به شبکه برق شهری تزریق شده و به عنوان یک منبع درآمد اضافی برای مالکین پارکینگ محسوب شود.

---

[1] PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)
[2] Analytic Hierarchy Process (AHP)
[3] Photo-voltaic Module (PV)
[4] Electric vehicles (EVs)
5 Stand-alone photo-voltaic system (Off- grid)
[6] Grid connected Photo-voltaic system (On-grid)

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

با توجه به افزایش نرخ رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی، نیاز به مسکن، صنعت، حمل و نقل، و فناوری‌های نوین به طور تصاعدی در حال افزایش است[13]. این رشد سریع، تقاضا برای انرژی الکتریکی و فضای مناسب برای پارکینگ را به شدت افزایش داده است. در این شرایط، پارکینگ‌های خورشیدی نه تنها به عنوان یک راه‌حل برای مدیریت فضاهای شهری، بلکه به عنوان یک منبع پایدار و تجدیدپذیر برای تولید انرژی مطرح می‌شوند. این سیستم‌ها می‌توانند به کاهش فشار بر شبکه‌های برق سنتی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک کنند.

۱-۴. مزایا و معایب پارکینگ‌های خورشیدی

پارکینگ‌های خورشیدی به عنوان یک فناوری نوآورانه در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر و مدیریت فضاهای شهری، دارای مزایا و معایبی هستند که در ادامه به صورت علمی و تخصصی بررسی می‌شوند.

۱-۴-۱. تولید انرژی پاک

با استفاده از انرژی خورشیدی، پارکینگ‌های خورشیدی به تولید برق از منبعی پاک و تجدیدپذیر کمک می‌کنند. این امر به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی‌های محیطی کمک می‌کند.

۱-۴-۲. تأمین انرژی برای موتر های الکتریکی

یکی از اصلی‌ترین کاربردهای پارکینگ‌های خورشیدی، تأمین انرژی برای چارج موتر های الکتریکی است. این موضوع می‌تواند به تسهیل گذار به حمل و نقل پایدار کمک کند و وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش دهد[14].

۱-۴-۳. استفاده کارآمد از فضا

برای ساخت پارکینگ خورشیدی فضای اضافی نیاز نیست. در عوض می‌توان از یک فضای موجود استفاده کرد تا حداکثر بهره‌وری را داشته باشد. یک پارکینگ خورشیدی استاندارد می‌تواند وسایل نقلیه را در برابر گرم‌شدن بیش‌ازحد و یا برف و باران محافظت کند و به‌طور همزمان تولید انرژی پاک داشته باشد. با ایجاد سایه برای جلوگیری از گرم شدن بیش از حد موتر در زیر نور آفتاب، پارکینگ‌های خورشیدی می‌توانند باعث اصلاح الگوی مصرف سوخت موتر ها شوند.

۱-۴-۴. کاهش هزینه‌های انرژی

با تولید انرژی از منابع خورشیدی، هزینه‌های مرتبط با تأمین برق برای ساختمان‌ها و اماکن مختلف کاهش می‌یابد. همچنین، این انرژی می‌تواند به شبکه ملی انرژی ارسال شود و به تعادل انرژی کمک کند[۱۵].

۱-۴-۵. هزینه‌های اولیه بالا

نصب پنل‌های خورشیدی و تجهیزات مرتبط نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجهی دارد. هزینه‌های اولیه شامل خرید پنل‌ها، اینورترها، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی، و نصب می‌شود[16].

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

۱-۴-۶.وابستگی به شرایط آب و هوایی

عملکرد پنل‌های خورشیدی به شدت به میزان تابش خورشید و شرایط آب و هوایی وابسته است. در روزهای ابری یا بارانی، بازدهی سیستم به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و در مناطق با تابش خورشیدی کم، ممکن است نیاز به استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی (مانند باتری‌ها) باشد که هزینه‌های پروژه را افزایش می‌دهد[17].

۱-۴-۷. نیاز به نگهداری و تعمیرات

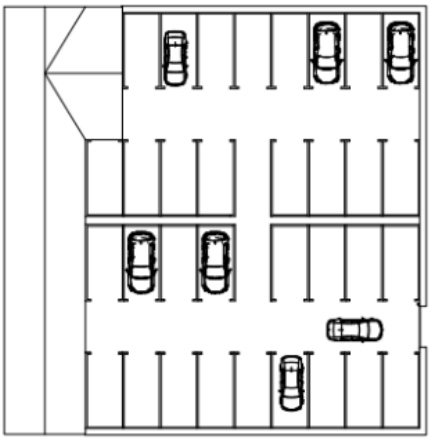
پنل‌های خورشیدی نیاز به نگهداری منظم برای حفظ عملکرد بهینه دارند. این نگهداری شامل تمیز کردن سطح پنل‌ها، بررسی اتصالات الکتریکی، و تعویض قطعات فرسوده می‌شود، هم چنان در برخی موارد، آسیب‌های ناشی از عوامل محیطی (مانند طوفان یا ژاله) می‌تواند هزینه‌های تعمیرات را افزایش دهد.

۵. مطالعه موردی

برای این تحقیق، پارکینگ دانشگاه خاتم النبیین (ص) واقع در ناحیه سوم شهر کابل جوار لیسه حبیبیه در نظر گرفته شده. که برای سهولت و رفاه اساتید، کارمندان و دانشجویان طراحی شده است که بر علاوه حفاظت موتر های مراجعین در مقابل گرما و نور مستقیم خورشید و برف و باران میتواند انرژی قابل توجه مورد نیاز دانشگاه خاتم النبیین (ص) را نیز تأمین نماید و هم چنان میتواند باعث کاهش مشکلات محیط زیستی نیز گردد. برای طراحی پارکینگ ابتدا متراژ دور تا دور زمین اندازه گیری شد ۶۱۱ متر مربع مساحت پارکینگ می باشد، اما مساحت قابل استفاده برای نصب سولر سیستم ۳۳۰ متر مربع محاسبه شده است در حالی که مساحت سولر پنل انتخاب شده در این مقاله ۲.۶ متر مربع می باشد(2274*1134 mm) بنأ در مساحت متذکره ظرفیت قابل نصب سیستم خورشیدی با توجه به استانداردهای بین‌المللی (از جمله IRENA[1] و SEI[2]) و تجربیات در ساحه عمل، با در نظر گرفتن فواصل لازم میان پنل‌ها و استرینگ ها، به‌طور میانگین برای هر کیلووات ظرفیت نصب، حدود $8m^{۲}$ متر مربع فضا نیاز است. بنابراین، ظرفیت واقعی قابل نصب حدود $(\frac{۳۳۰}{۸} = ۴۱.۲۵\ Kw)$ بنأ برای ۴۱٫۳ کیلووات برق خورشیدی به $(N = \frac{41300}{580} \approx 72)$ سولر پنل ۵۸۰ وات قابلیت نصب را دارد. سپس با استفاده از نرم افزار اتوکد طراحی پارکینگ انجام شد. با توجه به موقعیت محل و بررسی های انجام شده پس از اتمام مرحله طراحی مشخص شد که پارکینگ دارای گنجایش (۳۳) موتر می باشد، شکل (۱) نقشه پارکینگ را با جزئیات کامل نشان می‌دهد، که شامل موقعیت پنل‌های خورشیدی، فضای پارک موترها، و مسیرهای دسترسی می‌باشد.

1 International Renewable Energy Agency (IRENA)
2 Solar Energy Institute (SEI)

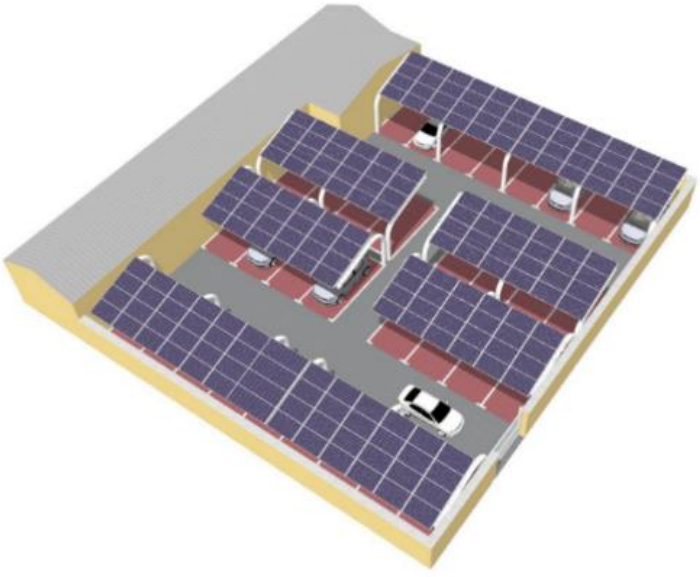
[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]



شکل ۱ نقشه پارکینگ پوهنتون خاتم النبیین(ص)

برای طراحی پارکینگ خورشیدی، برنامه‌ریزی باید به گونه‌ای انجام شود که دو هدف اصلی (ایجاد حداکثر سایه برای محافظت از موترها در برابر عوامل جوی مانند گرما، برف، و باران و تولید حداکثر انرژی از طریق جذب حد اکثر تابش خورشیدی) را به طور همزمان تأمین کند.

با توجه به این که طراحی پنل‌ها به صورت ثابت در نظر گرفته شده است، انتخاب زاویه مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است دانشگاه خاتم النبیین (ص) در شهر کابل واقع شده است که دارای مختصات جغرافیایی °34.6شمالی و °69.3شرقی است، بنأ مناسب ترین زاویه نصب برای سولر پنل ها زاویه ۳۴ درجه می باشد.



شکل ۲ نمای سه بعدی پارکینگ پوهنتون خاتم النبیین(ص) با پوشش پنل های خورشیدی

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

۶. محاسبات تخنیکی

در این بخش از تحقیق، انتخاب تجهیزات، محاسبات اقتصادی، و تحلیل اثرات محیط‌زیستی سیستم‌های خورشیدی در پارکینگ دانشگاه خاتم النبیین (ص) به طور جامع بررسی شده است. این تحلیل‌ها شامل محاسبات مربوط به بازگشت سرمایه ، نرخ بازگشت سرمایه، و مقایسه اقتصادی گزینه‌های مختلف پوشش پارکینگ می‌شود. همچنین، اثرات محیط‌زیستی این سیستم‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

۶-۱. انتخاب سولر پنل و اینورتر و محاسبات تخنیکی آن

برای طراحی پارکینگ (سایبان)خورشیدی ابتدا نوع پنل خورشیدی مشخص شد. از اینرو پنل خورشیدی JINKO 585 Watt با راندمان تبدیل 22.45٪ که معلومات تخنیکی پنل خورشیدی در جدول شماره (۱) و معلومات تخنیکی اینورتر در جدول شماره (۲) قرار شرح ذیل درج است.

جدول 1 معلومات تخنیکی پنل خورشیدی

شماره	اطلاعات فنی پنل (PV Module)	مشخصات
1	پنل	JKM585N-72HL4
2	نوعیت پنل	Monocristallin
3	توان نامی پنل	Watt 580+3
4	ولتاژ سیستم	Volt 1000-15000
5	ابعاد پنل	(m2 2.6) 35*2278*1134
6	ولتاژ اعظمی (Maximum Voltage)	42.52 Volt
7	ولتاژ مدار باز (Open circuit voltage)	51.16 Volt
8	جریان اتصال کوتاه (Short circuit current)	14.47 A

جدول شماره ۲ معلومات تخنیکی اینورتر

شماره	اطلاعات فنی اینورتر	مشخصات
1	اینورتر SMA	SUN2000 -15KTL-M5
2	توان نامی اینورتر	15 Kw
3	ولتاژ رنج	200- 1000 Volt
4	جریان اتصال کوتاه (Short circuit current)	40 A

برای اینکه بتوانیم تعداد سولر را بشکل درست انتخاب کنیم تا در زمان اضافه تولید و یا کاهش تولید اینورتر خاموش نشود باید محاسبات ذیل بطور دقیق انجام شود تا بتوانیم بطور درست و تخصصی تعیین کنیم که در مجموع چه تعداد سولر به اینورتر متصل شود و از مجموع آن چه تعداد بطور مسلسل و چه تعداد موازی متصل شوند تا میزان جریان خروجی و ولتاژ خروجی سولر پنل ها به خوبی با اینورتر تطابق (MAI[1])داشته باشند:

[1] Matching Array and Inverter

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

محاسبه حد اقل تعداد سولر که میتوان به شکل مسلسل به این اینورتر متصل کرد میتوان از رابطه (1) حساب کرد[18].

$$\mathrm{N}_{\mathrm{minimum}} = \frac{minimum\ voltage\ of\ inveter * \ safety\ margin}{V_{\max\ mdule\cdot}} \quad (1)$$

$$N_{\mathrm{minimum}} = \frac{200 * 1.1}{42.52} = 6$$

محاسبه حد اکثر تعداد پنل های که میتوان به این اینورتر به شکل مسلسل وصل کرد را از فرمول (۲) محاسبه میکنیم[18].

$$\mathrm{N}_{Maximum} = \frac{maximum\ voltage\ of\ inveter * \ safety\ margin}{V_{\mathrm{OC}\ mdule}} \quad (2)$$

$$\mathrm{N}_{Maximum} = \frac{1000 * 0.95}{51.16} = 18$$

برای محاسبه کردن تعداد قطارهای (Strings)[1] که میتوان بشکل موازی به این اینورتر وصل کرد از جریان اتصال کوتاه هردو تجهیز (پنل و اینورتر) استفاده کرد که از فرمول (۳) محاسبه میشود [18].

$$N_{string\ Parallel} = \frac{I_{SC\ Inverter}}{I_{SC\ Module}} \quad (3)$$

$$N_{string\ Parallel} = \frac{40}{14.47} \cong 3 = 3$$

با توجه به محاسبه فوق یعنی میتوان به تعداد سه قطاری از پنل های خورشیدی را به شکل موازی در این اینورتر وصل کرد. ولی برای محاسبه تعداد مجموعی (مسلسل و موازی) پنل ها که میتواند به اینورتر متصل شود از نسبت توان اینورتر و پنل خورشیدی مطابق رابطه (۴) میتوان در یافت که[18].

$$N_{\max Module} = \frac{Inverter\ DC\ input\ power}{Module\ maximum\ power} \quad (4)$$

$$N_{\max Module} = \frac{15000}{580} = 25$$

با توجه به محاسبات فوق ما به سه اینورتر ۱۵ کیلووات نیاز داریم و در هر قطار (String) 12 پنل را مسلسل و دو قطار (String) را با هم موازی می کنیم یعنی در مجموع در هر اینورتر ۲۴ پنل خورشیدی ۵۸۰ وات را وصل میکنیم که توان مجموعی هر اینورتر تقریبا ۱۴ کیلووات میشود.چون 3 اینورتر داریم بنأ تعداد مجموعی پنل خورشیدی مورد نیاز در پارکینگ ۷۲ پنل میشود. با توجه به زاویه تابش مناسب بر روی پنل ها که در کابل ۳۴ درجه میباشد بنابراین زاویه سایبان هم همین مقدار و جهت نصب پنل ها رو به جنوب (۱۸۰ درجه زاویه ازیموت) در نظر گرفته شده است، برای محاسبه میزان انرژی بدست آمده در طول یک سال و یا برای مدت که پروژه قابل استفاده است (۲۵ سال عمر پروژه) اول باید

[1] Number of modules are connected in series is called String.

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

میزان ضایعات سیستم را حساب کرد، که میزان ضایعات سیستم شامل تلفات ناشی از سایه‌اندازی، گرما، اتصالات، و کاهش بازدهی پنل‌ها در طول زمان می‌باشدکه در جدول شماره (۳) با تمام جزییات درج گردیده است

جدول شماره ۳ میزان ضایعات الکتریکی سیستم پارکینگ خورشیدی

Summary of losses		
Cause	Average Expected Loss %	De-rating-factor
Tempratuer	12	0.88
Dirt / soiling	5	0.95
Manufacturs Tolerance +3	0	0
Shading	0	0
Oriantation	5	0.95
Tilt angle	8	0.92
Voltage Drop	3	0.97
Inverter	6	0.94
Loss in DC Cables	3	0.97
Annual degradition after 1 year	0.67	0.9933
total derate multipliying factor (product of all factors)		0.76

بنأ با در نظر داشت جدول ضایعات فوق، تشعشع آفتاب[1](Solar Irradiation) در ولایت کابل یا [2](PSH=5.75) ، توان سولر پنل ها و آسمان آفتابی کابل که در طول سال ۳۰۰ روز می باشد[19]. میتوان میزان انرژی تولیدی ماهوار سالانه و در طول عمر پروژه را حساب کرد اما من بخاطر طولانی نشدن این مقاله میزان تولید سالانه و ۲۵ ساله (عمر پروژه) را با استفاده از فرمول (۵) حساب میکنم.

$$Energy\ yield^{3} = PSH \times Array\ Power\ \ at\ STC^{4} \times Derating\ factor\ due\ to\ losses \qquad (5)$$

$$Annually\ Energy\ yield = 5.75 * 300 * 41.3 * 0.76 = 54144.3\ Kwh = 54.14\ Mwh$$

$$\text{Energy yield } at \text{ 25 years} = 5.75 * 300 * 41.3 * 0.76 * 25 = 1353607.5\ Kwh = 1.4\ Gwh$$

بنأ با در نظر داشت محاسبات که انجام شده توسط پارکینگ خورشیدی مورد نظر سالانه 54.14 میگاوات ساعت انرژی الکتریکی و در طول ۲۵ سال 1.4 گیگاوات ساعت انرژی الکتریکی

[1] Irradiance is the total quantity of radiant energy per unit area received over a given period i.e. daily, monthly or annually.
[2] Daily irradiation is commonly referred as peak sun hours. (PSH)
[3] Energy yield بازدهی انرژی یک سیستم در یک پریود زمانی مشخص
[4] STC standard test condition

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

از یک منبع تجدید پذیر تولید میشود، اگر تعرفه تجارتی برق برشنا را ۱۲.۵ افغانی[20] (تجارتی) فی کیلووات ساعت در نظر بگیریم ، سالانه پوهنتون خاتم النبین (ص) ۶۷۶۸۰۳.۸ افغانی (54144.3 × 12.5 = 676803.8) از پرداخت پول برق صرفه جویی می کند. بنأ این پارکینگ خورشیدی در طول ۲۵ سال (که عمر مفید سولر سیستم ها می باشد) میتواند معادل۱۷ میلیون افغانی (16920093.8 = ۲۵ * 676803.8) عاید داشته باشد.

۶-۲. اثرات محیط زیستی

در جامعه علمی این موضوع به طور گسترده پذیرفته شده است که فعالیت‌های انسانی بر تغییرات اقلیمی تأثیر می‌گذارد و بخش عمده‌ای از این تأثیر ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در صنعت تولید برق است [21]. که این پارکینگ خورشیدی به میزان قابل توجهی از آلودگی محیط زیست جلوگیری می کند. بطور اوسط تولید هر کیلووات ساعت انرژی از منابع فسیلی باعث تولید ۰.۷ کیلوگرام کاربن دای اکساید میشود[22]. بنأ طوریکه در جدول شماره 4 دیده میشود این پارکینگ خورشیدی بطور اوسط سالانه از تولید (54144.3 × 0.7 = 37901) کیلوگرام یا (۳۸تن) CO_2 و در طول ۲۵ سال از تولید (۹۴۷.۵ تن) CO_2 جلو گیری می کند.

جدول شماره 4 میزان تولید CO_2 به ازای انرژی تولیدی از منابع فسیلی

میزان تولید CO_2 به ازای هر کیلووات‌ساعت(KWh) انرژی از منابع فسیلی				
شماره	منابع فسیلی	تولید CO_2 در ازای هر یک کیلووات ساعت انرژی	تولید CO_2 در ازای ۵۴۱۴۴.۳ کیلووات ساعت انرژی در طول یک سال بر حسب کیلو گرام	تولید CO_2 در ازای۱.۴ گیگاوات ساعت انرژی در طول ۲۵ سال بر حسب تن
1	ذغال سنگ	0.9کیلو گرام	۴۸۷۳۰	۱۲۱۸.۳ تن
2	نفت	0.8کیلوگرام	۴۳۳۱۵.۴	۱۰۸۳ تن
3	گاز طبیعی	0.4کیلوگرام	۲۱۶۵۷.۷	۵۴۱.۴
میزان اوسط تولید کاربن دای اکساید بر حسب تن			۳۷۹۰۱	۹۴۷.۵

۶-۳. محاسبات اقتصادی

برای تحلیل اقتصادی پارکینگ با پوشش سولر سیستم، آهن چادر و پولی کاربنیت باید هزینه‌ها، درآمدها، و شاخص‌های اقتصادی مانند دوره بازگشت سرمایه(PP) ، نرخ بازگشت سرمایه(ROI) ، و هزینه‌های عملیاتی و نگهداری محاسبه شوند. در این بخش، محاسبات اقتصادی برای پارکینگ خورشیدی دانشگاه خاتم النبیین (ص) برای سه نوع پوشش پارکینگ (خورشیدی، آهن چادری، و پلی‌کربنات) محاسبه و مقایسه می‌شود. هزینه‌ها بر اساس متر مربع محاسبه شده‌اند تا مقایسه بین گزینه‌ها به راحتی انجام شود.

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

۱-۶-۳. محاسبه اقتصادی پارکینگ با پوشش سولر سیستم

جزییات قیمت ها در جدول شماره 5 ذکر گردیده است که هزینه تقریبی و مجموعی سولر سیستم ۱۰۸۹۵۵۰ افغانی میشود که میزان هزینه هر متر مربع پارکینگ خورشیدی مساوی میشود به (۳۳۰۱.۷) افغانی.

جدول شماره ۵ (BOQ) پوشش پارکینگ با سولر پنل یا سیستم خورشیدی

Bill of Quantities (BOQ) for 41.3kW Solar Parking System						
No	Items name	Items description	Quantity	Unite Price $	Total Price $	The equivalent price in Afghanis
1	Solar Module	580 W +3%	72	60	4320	302400
2	Inverter	15000 W	3	2500	7500	525000
3	Fuse AC	fuse AC three phase for output of inverter	3	25	75	5250
4	Fuse DC	Fuse DC 32A with DC voltage of 600 VDC for solar string	9	30	270	18900
5	combiner box		2	200	400	28000
6	Installations cost				2000	140000
5	Miscellaneous items				1000	70000
					15565	1089550

۲-۶-۳. محسابه اقتصادی پارکینگ با پوشش آهن چادر

چون در این نوع پوشش فقط آهن چادر استفاده میشودقیمت هر متر مربع آهن چادر ۵۲۰ افغانی است با هزینه نصب ۵۶۰ افغانی در نظر گرفته شده است . فقط پوشش آهن چادری مساوی به (۱۸۴۸۰۰) افغانی میشود.

۳-۶-۳. محاسبه اقتصادی پارکینگ با پوشش پولی کاربنیت

قیمت هر متر مربع پولی کاربنیت در بازار ۲۰۰ افغانی می باشد که با هزینه نصب ۲۳۰ افغانی در نظر گرفته شده است فقط پوشش پولی کاربنیت مساوی میشود به (۷۵۹۰۰) افغانی.

جدول شماره ۶ هزینه اقتصادی پوشش پارکینگ با گزینه های متفاوت را نشان میدهند.

گزینه ها	پولی کاربنیت	آهن چادر	سولر پنل
قیمت هر متر مربع به افغانی	۲۳۰	۵۶۰	۳۳۰۱.۷
هزینه پوشش مجموعی بر حسب افغانی	۷۵۹۰۰	۱۸۴۸۰۰	۱۰۸۹۵۵۰

با این حساب از نظر سرمایه گزاری اولیه پر هزینه ترین نوع پوشش پارکینگ پوشش سیستم خورشیدی هست که در هر متر مربع به ۳۳۰۱.۷ افغانی هزینه نیاز دارد که تقریبا ۶ برابر هزینه بیشتر نسبت به پوشش آهن چادر و ۱۴ برابر هزینه بیشتر نسبت به پوشش نوع پولی کاربنیت است، ولی برای اماکن عمومی و تجارتی این نوع سیستم نه تنها که ضرر نیست بلکه به یک منبع عایداتی یا تأمین کننده برق تبدیل میشود که میتواند به کوتا ترین مدت هزینه سرمایه گزاری شده بازگشت کرده و متباقی سال ها منحیث عاید خالص از آن استفاده کرد.قابل یاد آوری است که هزینه های فوق فقط برای پوشش محاسبه شده در حالیک هزینه پایه ها و استاند برای هر سه گزینه یکسان در نظر گرفته شده است.

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

با استفاده از فرمول (۶) میتوان زمان باز گشت سرمایه را حساب کرد:

$$Payback\ Period = \frac{Total\ Initial\ Investment\ (CAPEX)}{Annual\ Savings\ or\ revenue} \quad (6)$$

بازگشت سرمایه با در نظر گرفتن تعرفه رهایشی (۲.۵ افغانی هر کیلووات ساعت انرژی)

$$\text{Payback Per}iod = \frac{1089550}{135360.75} = 8\ year$$

اما بازگشت سرمایه با در نظر گرفتن تعرفه تجارتی (۱۲ افغانی هر کیلووات ساعت انرژی)

$$\text{Payback Period} = \frac{1089550}{676803.8} = 1.6\ \ year$$

محاسبه نرخ بازگشت سرمایه (ROI) برای دریافت نرخ بازگشت سرمایه (چند برابر مفاد) از فرمول (۷) استفاده می کنیم

$$ROI = \frac{Total\ Profit\ Over\ Lifetime}{Initial\ Investment\ (CAPEX)} \times 100 \quad (7)$$

برای تعرفه تجارتی

$$ROI = \frac{(676803.8*25)-1089550}{1089550} \times 100 = \frac{15830545}{1089550} \times 100 = 1452.9\ \%\ \ or 14.53\ times$$

برای تعرفه رهایشی

$$ROI = \frac{(135360.75*25)-1089550}{1089550} \times 100 = \frac{2294470}{1089550} \times 100 = 210.6\%\ \ or\ 2\ \ \ times$$

عاید خالص در مدت ۲۵ سال برا تعرفه تجارتی.

$$Net_{income} = (Annual\ revenue * Lifetime) - Initial\ Investment$$

$Net_{income} = (676803.8 * 25) - 1089550 = 15830545$ افغانی

نظر به محاسبات که در قسمت نرخ باز گشت سرمایه انجام شد محاسبات نشان میدهد که این پارکینگ در صورت که برای تعرفه تجارتی در نظر گرفته شود تقریبا ۱۴.۵ برابر هزینه سرمایه گزاری خود را در مدت ۲۵ سال مفاد میکندیا مفاد خالص آن مساوی میشوده به ۱۵.۸ میلیون افغانی و اما برای تعرفه های رهایشی ۲ برابر مفاد دارد چون مطالعه موردی ما برای پارکینگ دانشگاه خاتم النبیین(ص) است که از تعرفه تجاری استفاده می کند بنأ پارکینگ خورشیدی برای اماکن عمومی مانند پوهنتون ها، ادارات دولتی، مؤسسات، کارخانه ها و شفاخانه ها یک گزینه فوق العاده عالی به شمار می رود.

۷. توضیح روش های تحلیل

برای تحلیل و اولویت بندی نوعیت پوشش پارکینگ (پوشش سولر سیستم، پوشش آهن چادر و پوشش پولی کاربنیت) از دو روش تحلیل چند معیاره، سلسه مراتبی (AHP) و پرامتی (PROMETHEE) استفاده گردیده است که جزییات و نتایج کلی آن محاسبه و تحلیل شده است.

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

۱-۷. روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

یک تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره است که توسط "توماس ال. ساعتی" توسعه داده شده است. این روش تحلیل از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[1](MCDM) است که برای حل مسائل پیچیده طراحی شده و به دلیل شفافیت، انعطاف‌پذیری، و سادگی محاسباتی بسیار محبوب است. بر اساس فرمول (۸) ذیل برای هر سطح از سلسله مراتب، یک متریکس مقایسه زوجی (A) تشکیل می‌شود. عناصر متریکس بیانگر اهمیت عنصر i نسبت به j هستند[23].

(8)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \frac{1}{a_{13}} & \frac{1}{a_{23}} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \frac{1}{a_{3n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

در ادامه مقایسه های زوجی برای تعیین اهمیت نسبی هر کدام از معیارها انجام میشود. در چنین مقایسه هایی، یک معیار نسبی از 1 تا 9 برای مقایسه ی دو عامل به کار میرود که در جدول شماره ی ۷ نشان داده شده است. امتیاز 1 نشان دهنده ی برابری دو عامل و امتیاز 9 برتری کامل یک عامل بر عامل دیگر را نشان میدهد.

جدول شماره ۷ امتیازات یا مقدار اهمیت معیار ها نسبت با یکدیگر

شدت اهمیت	توضیح اهمیت
1	اهمیت برابر
3	اهمیت متوسط
5	اهمیت زیاد
7	اهمیت خیلی زیاد
9	اهمیت فوق العاده زیاد

۱-۷-۱. تعیین معیار ها و گزینه ها

در این مقاله سه گزینه را برای پوشش پارکینگ در نظر گرفته ایم که عبارت اند از پارکینگ خورشیدی(پارکینگ با پوشش صفحات فتوولتاییک) ، پارکینگ با پوشش های آهن چادر و پولی کاربنیت در نظر گرفته شده است که برای تحلیل آن بروش AHP شش معیار را در نظر گرفته ایم که آن شش معیار عبارتند از: قابلیت بازیافتی مواد، هزینه مواد، طول عمر مواد، اثرات زیست محیطی، پذیریش عمومی و باز گشت سرمایه. که با انجام مقایسه های زوجی معیارها مقادیر اهمیت نسبی معیارها طور ذیل بدست آمده است.

[1] Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

جدول شماره ۸ متریکس مقایسه زوجی معیار ها

معیار	بازیافتی	هزینه	زیست محیطی	بازگشت سرمایه	پذیریش عمومی	طول عمر
بازیافتی	1.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
هزینه	7.0	1.0	7.0	0.2	4.0	7.0
زیست محیطی	9.0	0.1	1.0	3.0	5.0	3.0
بازگشت سرمایه	7.0	6.0	0.3	1.0	7.0	5.0
پذیریش عمومی	5.0	0.3	0.2	0.1	1.0	6.0
طول عمر	7.0	0.1	0.3	0.2	0.2	1.0
مجموع	36.0	7.7	9.0	4.7	17.4	22.1

۲-۷-۱. وزن دهی معیار ها به روش AHP

وزن دهی (ارزش دهی) معیارها به روش AHP در این قسمت وزن هر یک از معیارها را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و متریکس مقایسات زوجی بدست آمده است برای نارمل سازی متریکس از فرمول شمار (۹) و برای وزن دهی یا ترجیح دهی گزینه ها از فرمول شماره (۱۰) استفاده می کنیم ، طوری که در جدول (۹) دیده میشود بیشترین وزن (ارزش) را معیار باز گشت سرمایه ۳۱٪ بعد به ترتیب هزینه ۲۸٪ اثرات زیست محیطی ۲۴٪ پذیریش عمومی ۹٪ طول عمر ۶٪ و بالاخره باز یافتی سرمایه ۲٪ وزن دهی گردیده است.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^{n} a_{kj}} \quad (۹)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} a'_{ij}}{n} \quad (۱۰)$$

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

جدول شماره ۹ وزن دهی معیار ها به روش AHP

معیار	بازیافتی	هزینه	زیست محیطی	بازگشت سرمایه	پذیریش عمومی	طول عمر	وزن نهایی
بازیافتی	0.03	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	2%
هزینه	0.19	0.13	0.78	0.04	0.23	0.32	28%
زیست محیطی	0.25	0.02	0.11	0.64	0.29	0.14	24%
بازگشت سرمایه	0.19	0.78	0.04	0.21	0.40	0.23	31%
پذیریش عمومی	0.14	0.03	0.02	0.03	0.06	0.27	9%
طول عمر	0.19	0.02	0.04	0.04	0.01	0.05	6%
مجموع				100%			

تحلیل به روش پرامتی PROMETHEE

۳-۷. معرفی روش پرامتی

روش تحلیل پرامتی PROMETHEE روش های گوناگونی برای تصمیم گیری وجود دارند که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارد و تصمیم گیرنده با توجه به علاقه خود و نوع مساله یکی از این روشها را انتخاب میکند. یکی از این روشها، روش پرامتی است که آقای "برنس "در سال 1982میلادی آن را معرفی کرده و در سالهای بعد با همکارانش گسترش داده است. روش تحلیل پرامتی یک تکنیک چند معیاره تصمیم‌گیری MCDM است که برای ارزیابی و اولویت بندی گزینه‌ها یا پروژه‌ها با توجه به معیارهای مختلف استفاده می‌شود. این روش به طور خاص برای شرایطی مناسب است که تصمیم گیرنده باید چندین معیار را برای انتخاب بهترین گزینه در نظر بگیرد. روش PROMETHEE به خصوص در مسائل پیچیده‌ای که نیاز به مقایسه گزینه‌ها از جنبه‌های مختلف دارند، کاربرد دارد[24]. بنأ برای انتخاب بهترین گزینه بین پارکینگ خورشیدی، آهن چادر و پلی کاربنیت از روش تحلیل PROMETHEE نیز در این مقاله استفاده گردیده است. این روش دارای جریان مثبت (Φ+)، جریان منفی (Φ−) و جریان خالص (Φ) است.

۱-۷-۲. معیارها و وزن (ارزش) ارزیابی

جدول شماره (۱۰) معیار ها و ارزش(وزن) معیار ها را نشان میدهد که به روش تحلیل پرامتی در اکسیل فرمول بندی و تهیه گردیده است.

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

جدول شماره (۱۰) معیار ها و ارزش معیار ها

ارزش دهی	2%	28%	24%	31%	9%	6%
گزینه / معیار	بازیافتی	هزینه (افغانی)	زیست محیطی	بازگشت سرمایه	پذیریش عمومی	طول عمر/ سال
آهن‌چادر	7.0	560.0	7.0	1.0	4.0	35.0
پولی کاربنیت	1.0	220.0	3.0	1.0	3.0	15.0
پنل خورشیدی	3.0	3293.0	8.0	9.0	7.0	25.0

۲-۷-۲. محاسبه شاخص های پرامتی

۲-۷-۲-۱. جریان مثبت (Phi+)

میزان برتری یک گزینه بر سایر گزینه ها را نشان میدهد که توسط فرمول (۱۱) محاسبه میشود که ما به کمک اکسیل فرمول بندی و محاسبه کرده ایم[24].

$$\varphi^{+}_{(a)} = \frac{1}{n-1}\sum_{b\neq a}\pi(b.a) \qquad (11)$$

۲-۷-۲-۲. جریان منفی (Phi-)

میزان ضعف یک گزینه بر سایر گزینه ها را نشان میدهد که توسط فرمول (۱۲) محاسبه میشود که ما به کمک اکسیل فرمول بندی و محاسبه کرده ایم. که نتایج جریان مثبت و منفی در جدول شماره (۱۱) به وضاحت نشان داده شده است [24].

$$\varphi^{-}_{(a)} = \frac{1}{n-1}\sum_{b\neq a}\pi(b.a) \qquad (12)$$

جدول شماره (۱۱) مقادیر جریان مثبت و منفی گزینه ها

گزینه ها	آهن‌چادر	پولی کاربنیت	خورشیدی	φ+
آهن‌چادر	0.00	0.29	0.17	0.47
پولی کاربنیت	0.03	0.00	0.14	0.17
خورشیدی	0.30	0.50	0.00	0.80
φ-	0.17	0.40	0.16	

۲-۷-۲-۳. جریان خالص پرامتی (Phi Net)

توسط فرمول (۱۳) محاسبه میگردد که نیتجه کامل در جدول شماره ۸ نشان داده شده است پس از انجام محاسبات، گزینه ها رتبه‌بندی می‌شوند. معمولاً گزینه‌ای که بالاترین مقدار (Phi Net) را دارد، بهترین گزینه محسوب می‌شود[24]. بنأ طوری که در جدول شماره

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

(۱۲) دیده میشود بهترین گزینه برای پوشش پارکینگ سیستم خورشیدی می باشد رتبه دوم آهن چادر و رتبه سوم پولی کاربنیت می باشد.

$$\boldsymbol{\varphi_{(a)} = \varphi^{+}_{(a)} - \varphi^{-}_{(a)}} \qquad \textbf{(13)}$$

جدول شماره (۱۲) رتبه بندی گزینه ها

گزینه ها	φ-	φ+	φ	رتبه بندی
آهن‌چادر	0.17	0.47	0.30	2
پولی کاربنیت	0.40	0.17	-0.22	3
خورشیدی	0.16	0.80	0.65	1

۸. نتایج و بحث

۸-۱. هزینه‌ها

۱.۸.۱. هزینه اولیه: پارکینگ خورشیدی در مقایسه با پارکینگ سنتی هزینه اولیه بالاتری دارد. این هزینه‌ها شامل نصب پنل‌های خورشیدی و دگر تجهیزات مرتبط است. با این حال، این هزینه‌ها در بلندمدت به دلیل کاهش هزینه‌های انرژی جبران می‌شوند.

۱.۸.۲. هزینه‌های عملیاتی و نگهداری :پارکینگ خورشیدی هزینه‌های عملیاتی کمتری دارد، زیرا نیاز به تعمیر و نگهداری کمتری نسبت به پارکینگ سنتی دارد.

۱.۸.۳. صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی :پارکینگ خورشیدی با تولید انرژی پاک، هزینه‌های برق را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. این امر به ویژه در بلندمدت، صرفه‌جویی قابل توجهی را برای دانشگاه به همراه خواهد داشت.

۸-۱. مزایای محیط زیستی

۲.۸.۱. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای :استفاده از انرژی خورشیدی به جای سوخت‌های فسیلی، انتشار گازهای گلخانه‌ای را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. این امر به کاهش اثرات تغییرات اقلیمی کمک می‌کند.

۲.۸.۲. استفاده بهینه از فضا: پارکینگ خورشیدی با استفاده از سقف پارکینگ برای نصب پنل‌های خورشیدی، بهینه‌سازی فضا را به همراه دارد و نیازی به اختصاص زمین اضافی برای تولید انرژی نیست

۹. نتیجه گیری

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، پارکینگ‌های خورشیدی به‌عنوان یک راهکار نوین و پایدار در مقایسه با پارکینگ‌های سنتی، مزایای متعددی را ارائه می‌دهند. این پارکینگ‌ها علاوه بر تأمین سایه و محافظت از موترها، قادر به تولید انرژی پاک و تجدیدپذیر هستند که می‌تواند در کاهش هزینه‌های انرژی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود بهره‌وری اقتصادی مؤثر باشد.مقایسه اقتصادی بین پارکینگ خورشیدی و پارکینگ سنتی نشان داد که اگرچه هزینه اولیه ساخت پارکینگ خورشیدی بالاتر است، اما با توجه به درآمد حاصل

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

از فروش برق تولیدی، کاهش هزینه‌های انرژی در بلندمدت از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر خواهد بود. همچنین، افزایش آگاهی عمومی و پیشرفت فناوری‌های مرتبط می‌تواند به کاهش هزینه‌های نصب و افزایش بازدهی این سیستم‌ها منجر شود. در نهایت، توسعه و استفاده از پارکینگ‌های خورشیدی نه‌تنها از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است، بلکه به دلیل کاهش اثرات زیست‌محیطی و وابستگی کمتر به سوخت‌های فسیلی، می‌تواند نقش مهمی در تحقق اهداف توسعه پایدار ایفا کند. بنابراین، سیاست‌گذاری‌های حمایتی و سرمایه‌گذاری در این حوزه می‌تواند مسیر را برای گسترش بیشتر این فناوری در آینده هموار سازد.

این تحقیق در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر و مدیریت فضاهای شهری قرار می‌گیرد و به بررسی یک راهکار نوین برای ترکیب تولید انرژی خورشیدی با مدیریت فضاهای پارکینگ می‌پردازد. جایگاه علمی این تحقیق را می‌توان در چند محور اصلی خلاصه کرد

۱) توسعه پایدار پارکینگ‌های خورشیدی به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند، که همسو با اهداف توسعه پایدار است.
۲) اقتصاد انرژی این تحقیق نشان می‌دهد که چگونه سیستم‌های خورشیدی می‌توانند در بلندمدت به عنوان یک سرمایه‌گذاری مقرون‌به‌صرفه عمل کنند.
۳) فناوری‌های نوین استفاده از فناوری‌های پیشرفته در حوزه انرژی خورشیدی و کاربرد آن‌ها در فضاهای شهری مورد بررسی قرار گرفته است.
۴) مدیریت فضاهای شهری این تحقیق نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از فضاهای بدون استفاده (مانند سقف پارکینگ‌ها) برای تولید انرژی استفاده کرد.

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]

References

[1] Rezvani, Gholami, Aslan, Gog-Saz Ghouchani, & Zandi. (2023). A Review on the Effect of Dust Characteristics on the Performance of Solar Photovoltaic Panels. Renewable and New Energy Journal, 10(1), 198-211. (in Persian)

[2] Medved, D., Bena, L., Oliinyk, M., Dzmura, J., Mazur, D., & Martinko, D. (2023). Assessing the effects of smart parking infrastructure on the electrical power system. Energies, 16(14), 5343.

[3] Eltez, Ege Batu, and Koray Ulgen. "The Parametric Design of a Photovoltaic Power System over a Parking Lot." Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology 11, no. 1 (2023): 55-67.

[4] R. E. D. o. t. E. a. W. M. a. GIZ, "Afghanistan Solar Resource Potential Map," Kabul, 2014.

[5] Rahmani-Andebili, M. (2016). Canopying plug-in electric vehicles parking lots with photovoltaic panels. 1–4. https://doi.org/10.1109/EPDC.2016.7514774

[6] Pantić, A., Petković, A., & Aleksić, S. (2024). Design and optimization of solar parking canopy as a part of energy efficient urban planning. Facta Universitatis, 23(2), 111. https://doi.org/10.22190/fuacr241028008p

[7] Nunes, P., Figueiredo, R., & Brito, M. (2016). The use of parking lots to solar-charge electric vehicles. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 66, 679–693. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.08.015

[8] Philip, P. C., Subaihi, F., Musgun, S., Ghebretatios, S., & Alnajjar, F. (2022). Solar Car Parking for Maximum Power Utilization at the United Arab Emirates University: Case Study (pp. 454–464).https://doi.org/10.1007/978-3-031-14054-9_42

[9] Lautkankare, R., Salomaa, N., Martinkauppi, B., & Slobodenyuk, A. (2020). Underground parking lot at Turku market square - Zero energy parking hall and the biggest solar energy storage in the world. 172, 16008. https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202017216008

[10] Xie, Y., Song, J., Li, R., Xu, Y., Liu, N., Zhu, Y., & Xin, S. (2017). Solar energy photovoltaic parking shed.

[11] Rezaei, Y., Khan, T., Lee, S., & Mossé, D. (2023). Solar-powered Parking Analytics System Using Deep Reinforcement Learning. ACM transactions on sensor networks, 19(4), 1-27.

[12] Rosenberg, E., Lind, A., & Espegren, (K. A.). The impact of future energy demand on renewable energy production–Case of Norway. Energy, 61, 419-431.

[13] Wu, Y., Yang, M., Zhang, H., Chen, K., & Wang, Y. (2016). Optimal site selection of electric vehicle charging stations based on a cloud model and the PROMETHEE method. Energies, 9(3), 157.

[14] Boxwell, Michael. The Solar Electricity Handbook-2017 Edition: A simple, practical guide to solar energy–designing and installing solar photovoltaic systems. Greenstream Publishing, 2017.

[15] Allouhi, A., Rehman, S., Buker, M. S., & Said, Z. (2022). Up-to-date literature review on Solar PV systems: Technology progress, market status and R&D. Journal of Cleaner Production, 362, 132339.

[16] Deshmukh, S. S., & Pearce, J. M. (2021). Electric vehicle charging potential from retail parking lot solar photovoltaic awnings. Renewable Energy, 169, 608-617.

[17] Eltez, Ege Batu, and Koray Ulgen. "The Parametric Design of a Photovoltaic Power System over a Parking Lot." Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology 11, no. 1 (2023): 55-67.

[18] G. S. E. S. Pty.ltd, Gride-connected PV systems Degsighn and Installation, 2017.

[19] I. D. f. E. i. A. (. Programme, Enabling PV Afghanistan, Kabul: GIZ, Augest 2017.

[20] Obi, M., & Bass, R. (2016). Trends and challenges of grid-connected photovoltaic systems–A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58, 1082-1094.

[21] Friedlingstein, P., O'sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A., ... & Zaehle, S. (2020). Global carbon budget 2020. Earth System Science Data Discussions, 2020, 1-3.

[22] Safari, Ali, Abbaspour, Majid, Javid, Amirhossein, & Aghajani, Dardaneh. (2022). Application of Multi-Criteria Decision-Making Methods (AHP-PROMETHEE) in the Selection and Prioritization of Available Water Resources for Green Space Irrigation (Case Study: Buin Zahra). Retrieved from https://civilica.com/doc/1541132. (in Persian)

[23] Bakhtiari, Es'haq, Monjazeb, Mohammadreza, Momen Taifeh, Alireza, & Arab Salari, Ali. (2016). Performance Evaluation and Ranking of Banks Using the PROMETHEE Technique (Case Study: Iranian State-Owned Commercial and Specialized Banks). International Conference on Modern Developments in Management, Economics, and Accounting. Retrieved from https://sid.ir/paper/845717/fa. (in Persian)

[24] Safari, Ali, Abbaspour, Majid, Javid, Amirhossein, & Aghajani, Dardaneh. (2022). Application of Multi-Criteria Decision-Making Methods (AHP-PROMETHEE) in the Selection and Prioritization of Available Water Resources for Green Space Irrigation (Case Study: Buin Zahra). Retrieved from https://civilica.com/doc/1541132. (in Persian).

[Downloaded from jots.knu.edu.af on 2026-07-12]