ارزیابی تأمین برقBTS با استفاده از سیستم فتوولتائیک

فرشاد خاوری [۱]، معین شیرازی [۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۳/۱۷

چکیده:

این مقاله به امکان‌سنجی استفاده از سیستم فتوولتائیک در صنعت مخابرات برای تأمین برق مصرفی BTSها می‌پردازد. شرکت مخابرات برای افزایش دامنه پوشش تلفن‌های همراه نیازمند نصب BTS در مناطق مختلف است و تأمین برق مصرفی BTS، در مناطق دور از شبکه برق از مشکلات پیش رو در توسعه شبکه مخابراتی است. در این مقاله ابتدا راه‌های تأمین انرژی مورد نیاز BTS معرفی شده و سپس اقلیم آب و هوایی یک منطقه خاص در نظر گرفته شده و بر مبنای آن سیستم فتوولتائیک مورد نیاز با توجه به بار مصرفی BTS طراحی شده است. در ادامه، سیستم طراحی شده در چند سناریوی مختلف توسط نرم‌افزار HOMER شبیه‌سازی و از نظر اقتصادی با سایر تأمین‌کننده‌های انرژی نظیر دیزل ژنراتور و شبکه برق سراسری مقایسه گردیده است.

کلمات کلیدی:

سیستم فتوولتائیک، دیزل ژنراتور، شبکه سراسری برق، مطالعه امکانسنجی، BTS

۱) کارشناس جهاد دانشگاهی صنعتی شریف (نویسندهٔ مسئول) farshad_khavari@yahoo.com
۲) کارشناس جهاد دانشگاهی صنعتی شریف mn_shrz@yahoo.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]

مقدمه

برای دریافت امواج از شبکه‌های ارتباطی و ارسال آن به گوشی‌های تلفن همراه نیاز به نصب آنتن‌هایی است که آنها را BTS[1] می‌نامند. یک BTS اولین بخشی است که مستقیما با گوشی تلفن همراه در ارتباط است. هدف از نصب آنتن‌های BTS، تأمین پوشش رادیویی در جاده‌ها یا مناطق با سیگنال ضعیف و از بین بردن ترافیک شبکه است.

یافتن راه حلی مطمئن و اقتصادی برای تأمین برق مصرفی BTSهای نصب شده در مناطق روستایی و دور از شبکه برق تبدیل به چالشی برای اپراتورهای تلفن همراه شده است. لذا بررسی گزینه‌های موجود برای تأمین برق مصرفی BTS، در صنعت مخابرات حیاتی جلوه می‌کند. اخیرا استفاده از فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر مانند سیستم‌های بادی، فتوولتائیک و ترکیبی باد و فتوولتائیک با توجه به دسترسی آسان ، پایان‌ناپذیر بودن و عدم تولید آلودگی این منابع طبیعی برای تأمین برق در مناطق دور از شبکه برق به طرز چشمگیری افزایش یافته است. بالا بودن هزینه اولیه در فناوری انرژی تجدیدپذیر، سدی در برابر توسعه این سیستم‌هاست[۸] و [۲].

این مقاله شامل چهار بخش است: در بخش اول، گزینه‌های موجود برای تأمین برق سایت BTS معرفی می‌شود. در بخش دوم، بر اساس بار الکتریکی مصرفی BTS و اقلیم آب و هوایی منطقه مورد بررسی، سایزینگ اجزای سیستم فتوولتائیک انجام شده و سپس در بخش سوم، سیستم فتوولتائیک طراحی شده از نظر اقتصادی با دیگر گزینه‌های موجود برای تأمین برق مقایسه می‌گردد و در نهایت، بخش چهارم به نتیجه‌گیری اختصاص داده شده است.

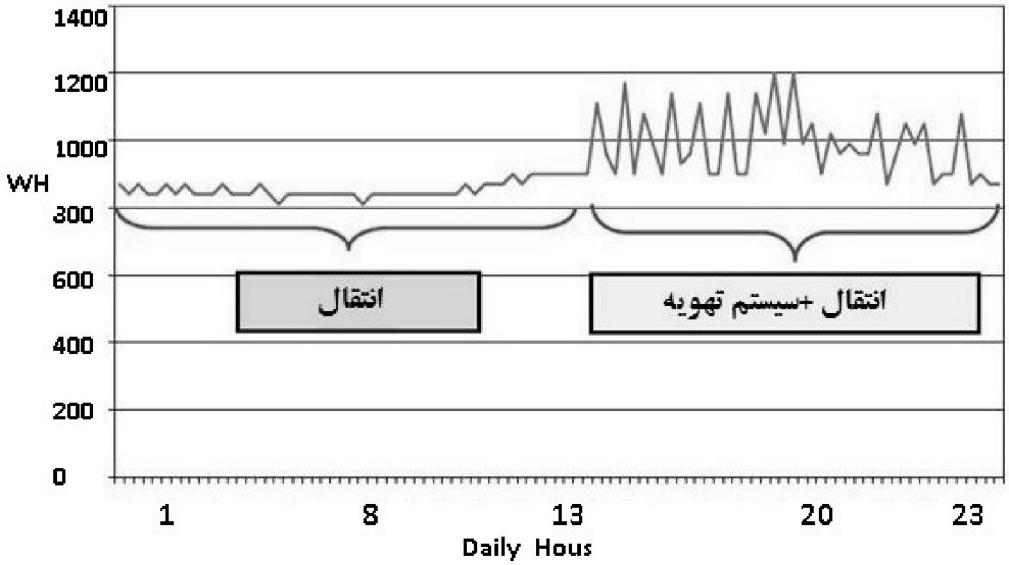
روش‌های تامین برق BTS

میزان برق مصرفی سالانه یک سیستم BTS، ۳۵/۵۰۰ کیلووات ساعت است. این عدد برابر با میانگین مصرف برق ۱۰ خانواده ایتالیایی در سال است. با توجه به اینکه تعداد آنتن‌های BTS در ایتالیا (در سال ۲۰۰۷)، ۶۰۰۰ واحد بوده است، متوسط برق مصرفی سالانه کل BTSها ۰/۲۱تریلیون وات ساعت تخمین زده شده که معادل ۰/۶ درصد برق مصرفی ایتالیاست. از منظر اقتصادی و زیست محیطی، این امر منجر به ۳۰۰ میلیون یورو هزینه برق و انتشار سالانه ۱/۲ میلیون تن دی‌اکسیدکربن در هوا می‌شود[۸]. پروفایل مصرف برق روزانه یک BTS در شکل (۱) نشان داده است. همان طور که در شکل مشخص است، توان مصرفی برای انتقال اطلاعات درBTS در طول شبانه روز تقریبا ثابت و برابر ۸۰۰ وات است. بخش اول نمودار مربوط به عملکرد انتقال اطلاعات است. در ساعات گرم روز، مصرف سیستم تهویه نیز به عملکرد انتقال اضافه می‌شود. بخش دوم نمودار به این امر اشاره دارد. نوسان‌های شدید مشاهده شده در بخش دوم نمودار به دلیل کلیدزنی سیستم تهویه است. لازم به ذکر است که مصرف برق BTS در فصل تابستان بیشتر از فصل زمستان خواهد بود.

---

1) Base Tranceiver Station

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]



شکل ۱) پروفایل مصرف برق روزانه یکBTS [۱]

در این بخش به سه روش رایج برای تأمین برق مورد نیاز BTS اشاره شده است که عبارتند از: شبکه سراسری برق، دیزل ژنراتور، انرژی‌های تجدید پذیر. برای واحدهایی‌های که در نزدیکی خطوط توزیع و فوق توزیع قرار دارند، تأمین برق سایت از طریق برق شبکه نیاز به توسعه شبکه تا محل مورد نظر و استفاده از ترانس ۴۰۰ به ۲۰ کیلو ولت و نیز یک یکسوکننده است. از مزایای این روش می‌توان به پایداری و بالا بودن قابلیت اطمینان سیستم (درصورت پایدار بودن شبکه برق و کم بودن دفعات قطع برق در محل مورد نظر) اشاره کرد. از معایب این روش، سختی اجرا و هزینه‌های بالای آن برای مناطق صعب‌العبور است. از منظر پدافند غیرعامل نیز وابستگی به شبکه سراسری برق، امتیازی منفی تلقی می‌گردد.

روش دوم برای تأمین برق BTS در مناطق دور از شبکه، استفاده از دیزل ژنراتور است. مهمترین مشکل بکارگیری دیزل ژنراتور، تأمین سوخت مصرفی آن است. همچنین سرقت ادوات دیزل، مشکلات سوخت‌رسانی در مناطق صعب‌العبور و نیز قابلیت اشتعال بالای گازوییل از دیگر معایب استفاده از این روش است. شکل (۲) نمایی از بکارگیری دیزل ژنراتور برای تأمین برق BTS را نشان می‌دهد.

در روش سوم برای تأمین برق مصرفی مانند روش قبل، تولید برق در محل سایت است. با توجه به کم بودن بار مصرفی، استفاده از منابع انرژی نو نظیر نیروگاه‌های کوچک باد و خورشید، راه حلی منطقی برای تأمین برق است. با توجه به پتانسیل انرژی باد و خورشید در محل سایت، توربین‌های بادی یا ماژول‌های فتوولتائیک و یا حتی نیروگاه ترکیبی بادی و خورشیدی می‌تواند برای تأمین برق مورد استفاده قرار گیرد. با وجود اینکه این روش از منظر پدافند غیرعامل، نسبت به سایر روشهای پیشین برتری دارد، ولی سرمایه‌گذاری اولیه و حفاظت از تجهیزات در برابر دستکاری و سرقت از معایب

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]

بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر است. شکل (۳) نمایی از بکارگیری سیستم فتوولتائیک بـرای تـأمین بـرق BTS را نشـان می‌دهد.



شکل ۲) بکارگیری دیزل ژنراتور برای تأمین برق BTS



شکل ۳) بکارگیری سیستم فتوولتائیک برای تأمین برق BTS

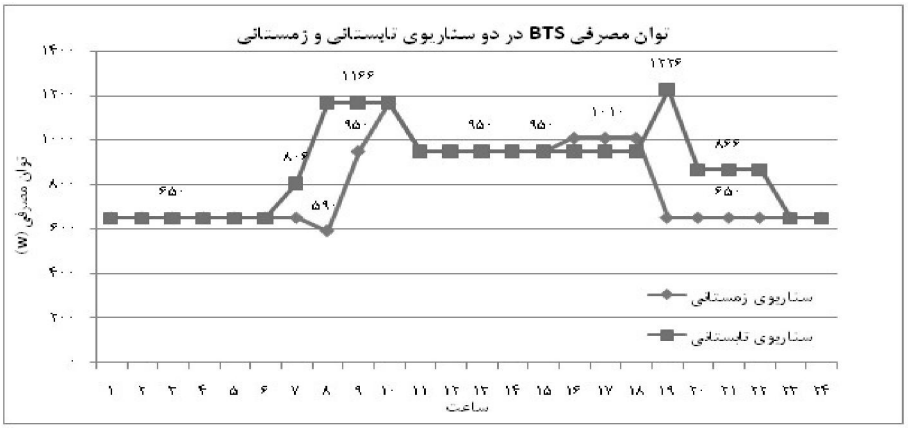
سایزینگ اجزای نیروگاه فتوولتائیک

داده‌های هواشناسی استفاده شده در این مقاله استخراجی از داده‌های هواشناسی کشور و به طور نمونه برای شـهر بـم است. میانگین تابش خورشید در شهرستان بم، ۵/۴۳ KWh/m2 بـرای هـر روز اسـت. در طراحـی سیسـتم فتوولتائیـک، الزامات استاندارد مشخصات فنی سلول‌های خورشیدی (تهیه شده توسط شرکت ارتباطات سیار)اسـتفاده شـده اسـت. ولتـاژ کاری همه اجزای مصرف‌کننده برق در سیستم BTS، ۴۸ ولت DC است. در این بخش علاوه بر معرفی اجـزای سیسـتم فتوولتائیک، به سایزینگ اجزای اصلی سیستم نیز پرداخته می‌شود[۳].

مهمترین اجزای سیستم فتوولتائیک مستقل از شـبکه بـرای تـأمین بـرق DC مـورد نیـاز تجهیـزات BTS، مـاژول فتوولتائیک، جعبه اتصالات، شارژکنترلر مجهز به ردیاب توان بیشینه، باتری و پایه ماژول هستند. با توجه بـه اینکـه فاصـله زمان‌های بازدید و بازرسی سایت طولانی است، استفاده از ردیاب خورشیدی برای این سایت توصیه نمی‌شود. در ادامـه، بـه سایزینگ واحد خورشیدی نصب شده، بانک باتری و شارژ کنترلر پرداخته می‌شود.

تخمین بار مصرفی :اولین گام در طراحی سیستم‌های فتوولتائیک، تخمین برق مصرفی بار به صورت روزانـه و ماهانـه است. پروفایل بار مصرفی یکی از پارامترهای تعیین‌کننده ظرفیت اجزای سیستم فتوولتائیک است. بار مصرفی بـرای یـک BTS نوعی و پروفایل مصرف برق BTS در دو سناریوی تابستانی (ماه‌های بهار و تابستان) و زمستانی (ماه‌هـای پـاییز و زمستان) در جدول (۱) ارائه شده است. نمودار برق مصرفی روزانه BTS در سـناریوی تابسـتانی و زمسـتانی در شـکل (۴) نشان داده شده است. ولتاژ کاری کلیه مصرف‌کننده‌های الکتریکی سیستم ۴۸ ولت است. انرژی مصـرفی روزانـه BTS در سناریوی تابستانی، ۲۰/۹۲۸ وات ساعت و در سناریوی زمستانی ۱۸/۹۳۶ وات ساعت است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]



شکل ٤) نمودار برق مصرفی روزانه یک BTS نوعی در دو سناریوی تابستانی و زمستانی

سایزینگ باتری: استفاده از یک واحد ذخیره‌ساز به منظور ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی و تأمین پیوسته بار در طول شبانه‌روز ضروری است. به طور معمول، از باتری‌های سربی اسیدی[1] به عنوان واحد ذخیره سیستم خورشیدی استفاده می‌شود. سه فرض زیر در سایزینگ باتری در نظر گرفته شده است: تعداد ساعات ابری متوالی ، ۲ روز فرض شده است. میزان مجاز دشارژ باتری تا ۸۰ درصد در نظر گرفته شده است. ضریب دمایی باتری و ضریب استهلاک باتری بترتیب ۱/۱ و ۱/۲۵ در نظر گرفته شده است. انرژی مصرفی سایت در دو روز متوالی، ۴۱/۸۵۶ وات ساعت (۸۷۲ آمپرساعت) است و درنتیجه ظرفیت باطری لازم با در نظر گرفتن ضریب دمایی، استهلاک باتری و ظرفیت کل باتری ۱۵۰۰ آمپرساعت در نظر گرفته شده است.

جدول ۱)توان مصرفی تجهیزات BTS در دو سناریوی تابستانی و زمستانی

اجزای سایت	توان مصرفی (w)	دوره کار روزانه در سناریوی زمستانی (٪)	دوره کار روزانه در سناریوی تابستانی (٪)
تجهیزات مخابراتی	۵۲۰	۱۰۰	۱۰۰
شارژ کنترلر	۱۵	۱۰۰	۱۰۰
تهویه مطبوع اتاق تجهیزات	۳۶۰	۴۱,۷	۵۰
تهویه مطبوع اتاق باتری	۲۱۶	۴۱,۷	۳۳
بادبزن مکنده اتاق باتری	۳۰	۱۰۰	۱۰۰
روشنایی	۶۰	۶۶	۵۰
بار متفرقه	۲۵	۱۰۰	۱۰۰

1) Lead acid

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]

سایزینگ آرایه خورشیدی: با فرض لزوم تأمین پیوسته بار، ظرفیت آرایه خورشیدی به گونه ای انتخاب می‌شود که واحد خورشیدی در ۱۰ روز آفتابی متوالی بعد از ۲ روز ابری متوالی، توانایی شارژ کامل باتری علاوه بر تأمین بار را داشته باشد.

شش فرض زیر در سایزینگ واحد فتوولتائیک در نظر گرفته شده است:

فرض اول) معمولا بعد از دو روز ابری متوالی، حداقل ۱۰ روز آفتابی متوالی وجود دارد.

فرض دوم) ساعات آفتابی روز ۵ ساعت فرض می‌شود.

فرض سوم) ضریب بازده شارژ باتری ۱/۱۵ فرض می‌شود.

فرض چهارم) ضریب اثر تمیزی ماژول بر بازده آن، ۱/۲ فرض می‌شود.

فرض پنجم) ضریب اثر افزایش عمر ماژول بر بازده آن ۱/۱ فرض می‌شود.

فرض ششم) ضریب افزایش بار مصرفی در آینده نیز، ۱/۱ فرض می‌شود.

آمپرلازم برای شارژ باتری از ۲۰ درصد تا ۱۰۰ درصد ظرفیت نامی در روزهای آفتابی متوالی از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. با اعمال فرض‌های اول، دوم و سوم، صورت این رابطه حاصلضرب آمپرساعتی که باتری بایستی شارژ شود در ضریب بازده بوده و مخرج آن مدت زمان شارژ را مشخص می‌کند:

$$\text{جریان شارژ باتری از ۲۰ درصد تا ۱۰۰ درصد ظرفیت} = \frac{0.8\times 1500Ah\times 1.15}{10\times 5h} = 27.6A \qquad (۱)$$

آمپر–ساعت مورد نیاز برای تأمین بار و نیز شارژ باتری و نهایتا مجموع آمپر–ساعت در طول شبانه‌روز برای تأمین بار و شارژ باتری برای سناریوی تابستانی بترتیب برابر ۴۳۶ ، ۱۳۸ و ۵۷۴ آمپرساعت قابل محاسبه است. با در نظر گرفتن اثر تمیزی و عمر ماژول بر روی بازده آن و لحاظ کردن افزایش احتمالی بار مصرفی در آینده، آرایه فتوولتائیک باید قادر باشد انرژی متناسب با آمپرساعت مطابق با رابطه (۲) را در یک روز جذب کند: آمپرساعت متناسب با انرژی تأمین شونده توسط آرایه فتوولتائیک در طول روز در سناریوی تابستانی در ولتاژ ۴۸ ولت با اعمال فرض‌های چهارم، پنجم و ششم به صورت رابطه (۲) می‌باشد.

$$= 574\times 1.1\times 1.2\times 1.1 = 833.448Ah \qquad (۲)$$

در نتیجه، با توجه به مدت زمان ساعات آفتابی روز، آرایه فتوولتائیک باید قادر به تأمین ۴۰۰۰۵ Wh در ساعات آفتابی باشد. به منظور کاهش تعداد ماژول‌ها و در نتیجه کاهش متعلقات و در نتیجه کاهش هزینه تعمیرو نگهداری، مساحت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]

اشغال شده کمتر و آسان‌تر کردن عیب‌یابی ماژول‌ها، از ماژول‌های با توان بالاتر موجود در بازار استفاده می‌گردد. ماژول پیشنهادی TSM-180DA01محصول شرکت Trina solar است. مشخصات این ماژول در شرایط آزمون استاندارد در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲) مشخصات ماژول فتوولتائیک استفاده شده

توان بیشینه (w)	۱۸۰
ولتاژ در توان بیشینه (v)	۲۴
جریان در توان بیشینه (A)	۴/۹
ولتاژ مدار باز (v)	۴۴/۲
جریان اتصال کوتاه (A)	۵/۳۵

تعداد رشته‌های موازی با توجه به جریان تأمینی هر رشته در شرایط استاندارد (A ۴/۹)، ۲۲ رشته تعیین می‌گردد. با توجه به ولتاژ شارژ کنترلر، ۲ ماژول در هر رشته قرار می‌گیرد. بنابراین، ماژول‌ها به صورت ۲ × ۲۲ آرایش می‌یابند و ظرفیت آرایه فتوولتائیک ۷۹۲۰ وات محاسبه می‌گردد.

سایزینگ شارژ کنترلر: جریان نامی شارژ کنترلر با توجه به رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$\text{جریان نامی شارژ کنترلر} = \text{جریان شارژ باتری از ۲۰ تا ۱۰۰ درصد جریان نامی} + \text{جریان تابستانی} \times \text{ضریب تصحیح} = (25.54 + 27.6) \times 1.1 = 58.454A \quad (۳)$$

شارژ کنترلر انتخابی (FLEX-max 60) جریان نامی A ۶۰ در ولتاژ ۴۸ ولت را دارد. همچنین این شارژ کنترلر مجهز به ردیاب توان بیشینه است.

شبیه سازی

این قسمت به شبیه‌سازی و بررسی فنی و اقتصادی سیستم تأمین برق BTS با استفاده از نرم‌افزار HOMER پرداخته و امکان‌سنجی استفاده از سیستم فتوولتائیک برای تأمین برق BTS در دو حالت مختلف مورد بررسی قرار داده است. در حالت اول، استفاده از دیزل ژنراتور و سیستم فتوولتائیک برای تولید برق در منطقه‌ای خارج از دسترس شبکه برق مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در حالت دوم، تأمین برق به وسیله شبکه سراسری برق و سیستم فتوولتائیک بررسی می‌شود. ظرفیت ماژول‌های فتوولتائیک رشته‌های در نظر گرفته شده برای بررسی توسط نرم‌افزار، ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ کیلووات است. مشخصات واحد فتوولتائیک در جدول (۳) آمده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]

جدول ۳) مشخصات واحد فتوولتائیک

هزینه برای هر کیلووات ظرفیت واحد خورشیدی نصب شده	هزینه اولیه ($)	۶۰۰۰
	هزینه تعویض ($)	۵۰۰۰
	هزینه تعمیر و نگهداری ($/Year)	۰
مشخصات واحد فتوولتائیک	عمر سیستم	۲۵ سال
	ضریب استهلاک	۸۰
	شیب (درجه)	۳۰
	سمت الرأس (درجه)	۰
	بازتاب زمین (٪)	۲۰
	ضریب دما (%/°C)	-۰/۵
	دمای نامی کار سلول (°C)	۴۷
	بازده سلول (٪)	۱۳

در جدول (۳) منظور از هزینه جایگذاری، هزینه‌ای است که سرمایه‌گذار در صورت تعویض کامل سیستم فتوولتائیک (به دلیل پایان عمر مفید تجهیزات الکتریکی سیستم نظیر پنل، اینورتر) باید بپردازد. از آنجا که دوره سود آوری برخی طرح‌ها ممکن است بیش از طول عمر تجهیزات مصرفی سیستم باشد، این عامل در نظر گرفته می‌شود. در سیستم فتوولتائیک هزینه‌های عملیات زیر بنایی (مانند زیرسازی محل نصب سیستم و سازه‌های مکانیکی نصب پنل) تنها در یک دوره محاسبه می‌شود و این امر باعث می‌شود طرحی که در یک دوره اقتصادی به نظر نرسد، در دوره‌های بعد اقتصادی باشد. همچنین ضریب دما نشاندهنده مقدار وابستگی توان خروجی آرایه فتوولتائیک نسبت به دما می‌باشد[۴].

باتری مورد استفاده در شبیه‌سازی، USB US-250 (۶ ولت و ۲۵۰ آمپر ساعت) می‌باشد. در هر رشته، ۸ باتری سری شده و عمر کمینه باتری ۵ سال در نظر گرفته شده است. تعداد رشته‌های در نظر گرفته شده برای بررسی توسط نرم‌افزار ۰، ۲، ۵ و ۶ است. جدول (۴) هزینه‌های واحد باطری را نشان می‌دهد.

جدول ٤) هزینه‌های هرواحد باتری USB US-250

تعداد	هزینه اولیه ($)	هزینه تعویض ($)	هزینه تعمیر و نگهداری ($/Year)
۱	۱۵۰	۱۵۰	۱/۵

در محاسبات اقتصادی دوره عمر سیستم ۲۵ سال و نرخ تورم سالانه ۲۲ درصد در نظر گرفته شده است.مشخصات واحدهای فتوولتائیک در تمام حالت‌های شبیه‌سازی به قرار فوق است.

حالت اول مقایسه با دیزل ژنراتور: در این حالت دو سناریوی عملکردی برای دیزل ژنراتور در نظر گرفته شده است. در سناریوی اول، محدودیت عملکردی بر محدوده زمان کار دیزل‌ژنراتور اعمال می‌گردد و در سناریوی دوم، محدودیت زمان کار برای دیزل ژنراتور در نظر گرفته نمی شود. پارامترهای حساسیت سیستم قیمت گازوییل و میانگین شدت تابش سالانه خورشید در نظر گرفته می‌شوند. میانگین شدت تابش خورشیدی عاملی برای تعیین و یا ارزیابی پتانسیل خورشیدی محل نصب است و قیمت گازوییل نیز پارامتر اصلی در تعیین قیمت برق تولیدی دیزل است. هزینه‌های یک دیزل ژنراتور به ازای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]

هر کیلووات ظرفیت تولید برق در جدول (۵) آمده است. ظرفیت‌های در نظر گرفته شده برای دیزل ژنراتور ۰ و ۵ کیلـووات فرض شده است. قیمت گازوییل در این شبیه‌سازی بر اساس مرجع [۵]، از ۰/۸ تا ۳ دلار بر لیتر در نظر گرفته شده است.

جدول۵) مشخصات واحد دیزل ژنراتور

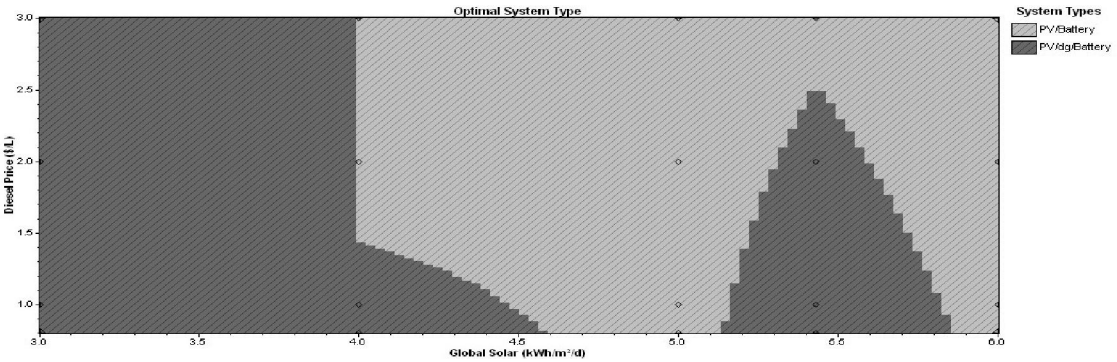
تعداد	هزینه اولیه ($)	هزینه تعویض ($)	هزینه تعمیر و نگهداری ($/hour)
۱	۶۰۰	۵۰۰	۰/۲

حالت اول سناریوی اول (اعمال محدودیت برای کار دیزل ژنراتور): در این سناریو، دیزل ژنراتور در ساعات آفتـابی روز خاموش است و تنها در بازه زمانی ۸ شب تا ۸ صبح مشغول به تولید است. جدول (۶) نتایج شـبیه‌سـازی سـناریوی اول را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، افزایش قیمت گازوییل و نیز افزایش شدت تابش خورشیدی سبب اقتصـادی شدن تأمین برق به وسیله برق خورشـیدی نسـبت بـه تـأمین بـرق توسـط دیـزل ژنراتـور مـی‌شـود. بـرای شـدت تـابش ۵/۴۳ KWh/m2/day و حتی شدت تابش ۴KWh/m2/day تا وقتی که قیمت گازوییل بیشتر از ۰/۸ دلار برای هـر لیتـر باشد، استفاده از سیستم فتوولتائیک از نظر اقتصادی مقرون بصرفه‌تر از استفاده از دیزل ژنراتور اسـت. بـرای شـدت تـابش ۳ KWh/m2/day، مستقل از قیمت گازوییل، استفاده از سیستم فتوولتائیک به تنهایی مقـرون بصـرفه نیسـت. شـکل (۵) نمودار تحلیل حساسیت سناریوی اول را نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشخص شده، در بازه شدت تابش ۴ تـا ۵ KWh/m2/day استفاده از فتوولتائیک به‌تنهایی حتی با در نظر گرفتن قیمت ۰/۸ دلار برای هر لیتـر گازوییـل بـاز هـم مناسب ترین روش ارزیابی می‌شود(این مسئله با رنگ روشن در شکل (۵) مشخص شده است).

جدول ٦) خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی حالت اول سناریوی اول مقایسه با دیزل ژنراتور

حالت‌های طراحی	پارامترهای حساسیت		اجزای سیستم تأمین برق			هزینه های سیستم			سهم انرژی نو در تأمین برق (٪)	مدت زمان تغذیه پیوسته مستقل به وسیله باتری (ساعت)
	متوسط سالانه تابش خورشیدی (KWh/m2/d)	قیمت گازوییل ($/L)	آرایه خورشیدی (KW)	باتری (USB US-250)	دیزل ژنراتور (KW)	مجموع هزینه خالص فعلی ($)	هزینه تراز شده انرژی ($/KWh)	هزینه بهره برداری ($/year)		
۱	۵/۴۳	۳	۶	۴۰ عدد	۰	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۱۰۰	۴۳/۴
۲	۵/۴۳	۲	۶	۴۰ عدد	۰	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۱۰۰	۴۳/۴
۳	۵/۴۳	۱	۶	۴۰ عدد	۰	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۱۰۰	۴۳/۴
۴	۵/۴۳	۰/۸	۵	۴۰ عدد	۵	۴۶،۴۴۵	۱/۴۱۷	۱،۰۹۶	۹۷	۴۳/۴
۵	۴	۳	۷	۴۸ عدد	۰	۵۳،۷۱۱	۱/۶۳۹	۷۷۸	۱۰۰	۵۲/۱
۶	۴	۲	۷	۴۸ عدد	۰	۵۳،۷۱۱	۱/۶۳۹	۷۷۸	۱۰۰	۵۲/۱
۷	۴	۱	۷	۴۸ عدد	۰	۵۳،۷۱۱	۱/۶۳۹	۷۷۸	۱۰۰	۵۲/۱
۸	۴	۰/۸	۷	۴۸ عدد	۰	۵۳،۷۱۱	۱/۶۳۹	۷۷۸	۱۰۰	۵۲/۱

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]



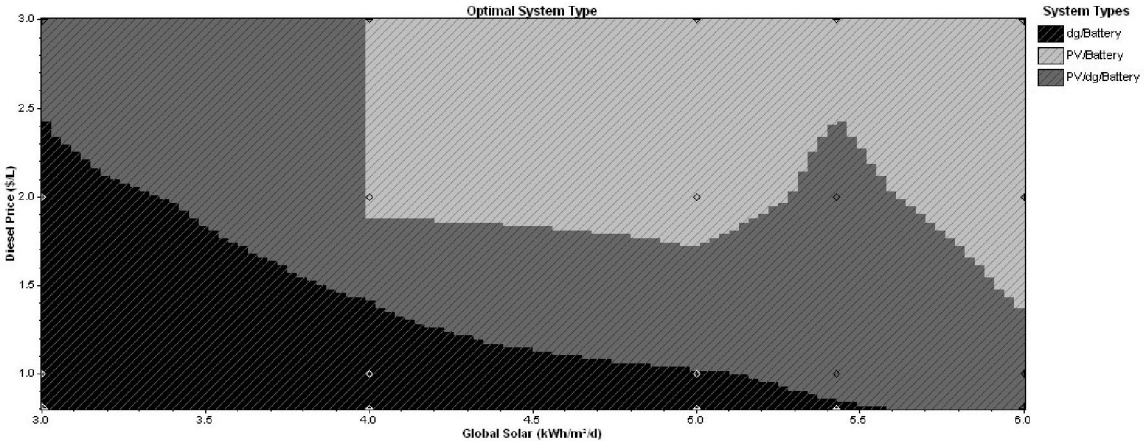
شکل ۵) نمودار تحلیل حساسیت در سناریو اول مقایسه با دیزل ژنراتور

حالت اول سناریوی دوم (عدم اعمال محدودیت برای کار دیزل ژنراتور): در این سناریو تنها محدودیت اعمالی بر دیزل ژنراتور، محدودیت‌های ناشی از بهینه‌سازی است و هیچگونه قیدی بر زمان کار دیزل ژنراتور اعمال نمی‌شود. جدول ۷ نتایج شبیه‌سازی سناریوی دوم را نشان می‌دهد. نمودار آنالیز حساسیت سناریوی دوم در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود استفاده از فتوولتائیک به تنهایی فقط زمانی که قیمت گازوییل بیش از ۲ دلار بر لیتر و شدت تابش بیشتر از KWh/m2/day ۴ مناسب ارزیابی شده است(این مسئله با رنگ روشن در شکل ۶ مشخص شده است).

جدول ۷) خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی حالت اول سناریوی دوم مقایسه با دیزل ژنراتور

حالت‌های طراحی	پارامترهای حساسیت		اجزای سیستم تأمین برق			هزینه های سیستم			سهم انرژی نو در تأمین برق (٪)	مدت زمان تغذیه پیوسته مستقل به وسیله باتری (ساعت)
	متوسط سالانه تابش خورشیدی (KWh/m2/d)	قیمت گازوییل ($/L)	آرایه خورشیدی (KW)	باتری (US-250 USB)	دیزل ژنراتور (KW)	مجموع هزینه خالص فعلی ($)	هزینه تراز شده انرژی ($/KWh)	هزینه بهره برداری ($/year)		
۱	۵/۴۳	۳	۶	۴۰ عدد	۰	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۱۰۰	۴۳/۴
۲	۵/۴۳	۲	۴	۴۰ عدد	۵	۴۵،۶۴۰	۱/۳۹۲	۲،۲۴۶	۸۲	۴۳/۴
۳	۵/۴۳	۱	۲	۴۰ عدد	۵	۴۱،۳۹۵	۱/۲۶۳	۳۹۶۴	۲۵	۴۳/۴
۴	۵/۴۳	۸/۰	۰	۴۰ عدد	۵	۳۸،۹۵۱	۱/۱۸۸	۶،۰۸۱	۰	۴۳/۴
۵	۴	۳	۷	۴۸ عدد	۰	۵۳،۷۱۱	۱/۶۳۹	۷۷۸	۱۰۰	۵۲/۱
۶	۴	۲	۷	۴۸ عدد	۰	۵۳،۷۱۱	۱/۶۳۹	۷۷۸	۱۰۰	۵۲/۱
۷	۴	۱	۰	۴۰ عدد	۵	۴۱،۹۹۰	۱/۲۸۱	۶۷۷۵	۰	۴۳/۴
۸	۴	۰/۸	۰	۴۰ عدد	۵	۳۸،۹۵۱	۱/۱۸۸	۶،۰۸۱	۰	۴۳/۴

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]



شکل ٦) نمودار تحلیل حساسیت در سناریو دوم مقایسه با دیزل ژنراتور

حالت دوم: تأمین برق در منطقه تحت پوشش شبکه برق سراسری: در این حالت نیز دو سناریوی عملکردی برای شبکه برق سراسری در نظر گرفته شده است. در سناریوی اول، شبکه برق در دسترس فرض شده است و در سناریوی دوم، محدودیت دسترسی به شبکه سراسری در نظر گرفته شده است.

حالت دوم سناریوی اول(شبکه برق در دسترس): در این حالت، شدت تابش خورشید، قیمت خرید برق از شبکه و قیمت فروش برق به شبکه به عنوان پارامترهای حساسیت در نظر گرفته شده است. با توجه به مراجع [۶] و [۷]، هزینه برق خریداری شده ۰/۵۰ دلار برای هر کیلووات ساعت لحاظ شده است. (در این شبیه‌سازی بیشترین قیمت برای خرید برق از شبکه در نظر گرفته شده تا تفاوت هزینه تأمین برق از شبکه سراسری نسبت به احداث سیستم فتوولتائیک نمود پیدا کند.)

نتایج شبیه‌سازی این حالت در جدول(۸) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، مساعدترین حالت برای استفاده از انرژی واحد فتوولتائیک، حالت ۵ است که در آن بالاترین شدت نور خورشید، بیشرین قیمت برای خرید برق از شبکه و فروش برق به شبکه در نظر گرفته شده است. حتی در این حالت نیز استفاده از برق شبکه بصرفه‌تر از استفاده از واحد فتوولتائیک یا ترکیب واحد فتوولتائیک و شبکه برای تأمین برق مصرفی BTS است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]

جدول ۸) خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی حالت دوم سناریوی اول سیستم با شبکه برق در دسترس

حالت‌های طراحی	پارامترهای حساسیت			اجزای سیستم تأمین برق			هزینه های سیستم			سهم انرژی نو در تأمین برق (٪)
	متوسط سالانه تابش خورشیدی (KWh/m2/d)	قیمت فروش برق به شبکه ($/KWh)	قیمت خرید برق از شبکه ($/KWh)	آرایه خورشیدی (KW)	باتری (USB US-250)	شبکه برق(KW)	مجموع هزینه خالص فعلی ($)	هزینه تراز شده انرژی ($/KWh)	هزینه بهره برداری ($/year)	
۱	۵/۴۳	۰/۰۴۳	۰/۰۵	۰	۰	۱۰۰	۶،۰۸۱	۰/۱۸۵	۷۹۳	۰
۲	۵/۴۳	۰/۰۸۷	۰/۰۵	۰	۰	۱۰۰	۶،۰۸۱	۰/۱۸۵	۷۹۳	۰
۳	۵/۴۳	۰/۱۲	۰/۰۵	۰	۰	۱۰۰	۶،۰۸۱	۰/۱۸۵	۷۹۳	۰
۴	۵/۴۳	۰/۰۴۳	۰/۵	۰	۰	۱۰۰	۲۳،۴۳۹	۰/۷۱۵	۴،۶۳۹	۰
۵	۵/۴۳	۰/۰۸۷	۰/۵	۰	۰	۱۰۰	۲۳،۴۳۹	۰/۷۱۵	۴،۶۳۹	۰
۶	۵/۴۳	۰/۱۲	۰/۵	۰	۰	۱۰۰	۲۳،۴۳۹	۰/۷۱۵	۴،۶۳۹	۰
۷	۴	۰/۰۴۳	۰/۰۵	۰	۰	۱۰۰	۶،۰۸۱	۰/۱۸۵	۷۹۳	۰
۸	۴	۰/۰۸۷	۰/۰۵	۰	۰	۱۰۰	۶،۰۸۱	۰/۱۸۵	۷۹۳	۰

حالت دوم سناریوی دوم (عدم دسترسی به شبکه برق و احداث خط): حال اگر شبکه سراسری از واحد BTS فاصله داشته باشد، یکی از راه‌حل‌های موجود برای تأمین برق مصرفی واحد BTS، در این مناطقِ دور دست از شبکه برق، گسترش شبکه تا محل مصرف است. در این قسمت به مقایسه اقتصادی دو روش گسترش شبکه توزیع تا محل مصرف و احداث سیستم فتوولتائیک برای تأمین برق پرداخته می‌شود. در شبیه‌سازی انجام شده در این بخش، هزینه احداث خطوط توزیع ۲۰۰۰، ۵۰۰۰، ۸۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۲۵۰۰۰ دلار برای هر کیلومتر در نظر گرفته شده است. هزینه تعمیر و نگهداری خط ۱۶۰ دلار در سال برای هر کیلومتر در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی مقایسه هزینه توسعه شبکه و احداث سیستم فتوولتائیک برای تأمین برق BTS در جدول (۹) آمده است. به عنوان نمونه، در حالت طراحی ۲، اگر فاصله واحد BTS از شبکه توزیع بیشتر از ۷/۸۳ کیلومتر باشد، احداث سیستم فتوولتائیک برای تأمین برق بصرفه‌تر از توسعه خط توزیع تا محل BTS است. همان طور که در این جدول دیده می‌شود، حتی اگر خط انتقالی با حداقل استانداردهای ممکن برای تامین برق سایت احداث شود و طول این خط انتقال بیش از ۱۹/۱ کیلومتر باشد(حالت ۱۱)، استفاده از سیستم فتوولتائیک مقرون بصرفه‌تر خواهد بود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]

جدول ۹) خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی حالت دوم سناریوی دوم توسعه شبکه برق و احداث سیستم فتوولتائیک

حالت‌های طراحی	پارامترهای حساسیت			اجزای سیستم تأمین برق		هزینه های سیستم			فاصله‌ای که در آن مجموع هزینه خالص فعلی توسعه خط انتقال برق و احداث واحد فتوولتائیک بربر می‌شود (Km)
	متوسط سالانه تابش خورشیدی (KWh/m2/d)	هزینه احداث خط توزیع برق ($/Km)	قیمت خرید برق از شبکه ($/KWh)	آرایه خورشیدی (KW)	باتری (USB US-250)	مجموع هزینه خالص فعلی ($)	هزینه تراز شده انرژی ($/KWh)	هزینه بهره برداری ($/year)	
۱	۵/۴۳	۲،۰۰۰	۰/۰۵	۶	۴۰ عدد	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۱۶/۵
۲	۵/۴۳	۵،۰۰۰	۰/۰۵	۶	۴۰ عدد	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۷/۸۳
۳	۵/۴۳	۱۲،۰۰۰	۰/۰۵	۶	۴۰ عدد	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۳/۵۲
۴	۵/۴۳	۱۵،۰۰۰	۰/۰۵	۶	۴۰ عدد	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۲/۸۵
۵	۵/۴۳	۲۵،۰۰۰	۰/۰۵	۶	۴۰ عدد	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۱/۷۴
۶	۵/۴۳	۲،۰۰۰	۰/۱	۶	۴۰ عدد	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۱۵/۹
۷	۵/۴۳	۵،۰۰۰	۰/۱	۶	۴۰ عدد	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۷/۵۵
۸	۵/۴۳	۱۲،۰۰۰	۰/۱	۶	۴۰ عدد	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۳/۳۹
۹	۵/۴۳	۱۵،۰۰۰	۰/۱	۶	۴۰ عدد	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۲/۷۵
۱۰	۵/۴۳	۲۵،۰۰۰	۰/۱	۶	۴۰ عدد	۴۶،۴۶۲	۱/۴۱۷	۷۶۷	۱/۶۸
۱۱	۴	۲،۰۰۰	۰/۰۵	۷	۴۸ عدد	۵۳،۷۱۱	۱/۶۳۹	۷۸۷	۱۹/۱

نتیجه گیری

با توجه به مطالعات صورت گرفته و نتایج حاصل از شبیه‌سازی، در بهره‌گیری از منابع انرژی (شبکه سراسری، دیزل ژنراتور و سیستم فتوولتائیک)جهت تأمین برق مورد نیاز واحدهایBTS پارامترهای گوناگونی تأثیرگذار خواهد بود. دلایلی که در این تحقیق باعث بهره‌گیری از سیستم فتوولتائیک جهت تأمین انرژی واحدهایBTS شده است عبارتند از: بالا بودن هزینه توسعه شبکه برق: شبیه‌سازی‌های انجام شده بر روی مورد نمونه شهرستان بم نشان داده‌اند که چنانچه فاصله واحد از شبکه سراسری بیش از ۲۰ کیلومتر باشد، حتی حداقل استانداردهای موجود نیز نمی‌تواند طرح توسعه شبکه را نسبت به احداث سیستم فتوولتائیک از لحاظ اقتصادی توجیه نماید. بالا بودن قیمت گازوییل و شدت تابش خورشیدی: اگر هزینه‌های سنگین حمل دیزل ژنراتور، آلودگی زیست محیطی، اشتعال زایی بالای گازوئیل و هزینه تعمیر نگهداری بالای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]

دیزل ژنراتور را قبول کنیم، باز هم نتایج این تحقیق حاکی از آن است که در تابش نور بیشتر از KWh/m2/day ۴ و قیمت گازوییل بالاتر از ۰/۸ دلار، استفاده از سیستم فتوولتائیک مقرون بصرفه‌تر خواهد بود. احداث واحد فتوولتائیک به منظور تأمین برق، بعضا در مناطق صعب‌العبور، تنها راه تأمین برق مصرفی واحد BTS می‌باشد.

منابع

[1] Lubritto, C. , Petraglia, A. , Vetromile, C. , Caterina, F. , D'Onofrio, A. , Logorelli, M. , Marsico, G. and Curcuruto, S. 2008. "Telecommunication Power System: energy saving, renewable sources and environmental monitoring" ,IEEE 30th International Telecommunications Energy Conference, PP. 1-4.

[2] George Koutitas and Panagiotis Demestichas. 2010. "A Review of Energy Efficiency in Telecommunication Networks", Telfor Journal, Vol.2, No.1.

[3] http://ecmweb.com/design/power-dc-rural-telecom-systems.

[4] https://analysis.nrel.gov/homer/, Last seen on 2012 Dec.

[5] http://www.mytravelcost.com/petrol-prices/.

[6] http://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_price.

[7] http://www.viwapa.vi/Home.aspx.

[8] Roy S. N. 2008. "Energy Logic: A Road Map to Reducing Energy Consumption in Telecommunications Networks" ,IEEE 30th International Telecommunications Energy Conference, PP. 90-98.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-23]