

## امکان‌سنجی و ارائه طرح تامین انرژی مصارف داخلی یک پست نمونه انتقال بوسیله منابع انرژی تجدید پذیر

12-F-REN-1481

محمود کامل<sup>۱</sup>، محمد منفرد<sup>۲</sup>، مجید مهدی زاده<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> شرکت برق منطقه‌ای خراسان، <sup>۲</sup> دانشگاه فردوسی مشهد  
ایران

واژه‌های کلیدی: پست، مصارف داخلی، کاهش مصرف، انرژی‌های تجدید پذیر

### چکیده

ضرورت استفاده از منابع تجدید پذیر در تامین بخشی از انرژی مصرف کنندگان، روز به روز بیشتر احساس می‌گردد. رشد قیمت سوخت‌های فسیلی و پایان یافتن منابع این انرژی‌ها نیز لزوم استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی را افزایش می‌دهد. در این مقاله نتایج تحلیل و امکان‌سنجی استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی در تامین بخشی از مصارف داخلی یک پست نمونه در شرکت برق منطقه‌ای خراسان ارائه گردیده است. در ابتدا مصارف داخلی پست مشخص گردیده سپس به معرفی انرژی‌های تجدید پذیر و راهکارهای کاهش مصرف پرداخته شده است. در بخش بعد سیستم پیشنهادی برای تامین مصرف داخلی پست از انرژی‌های تجدید پذیر معرفی گردیده است و در ادامه این سیستم مورد تحلیل فنی و اقتصادی قرار گرفته است.

### ۱- مقدمه

بهره‌مندی از منابع انرژی تجدیدپذیر و تقویت پتانسیل‌های داخلی در راستای ترویج استفاده از

فن‌آوری‌های تولید پراکنده ( $DG^1$ )، مانند سیستم‌های فتوولتاییک و توربین‌های بادی کوچک امروزه بسیار پراهمیت به شمار می‌آید و امکان‌سنجی استفاده از این منابع برای تامین انرژی مصرف کنندگان عمومی و مصرف کنندگان خاص باید بررسی و مورد تحلیل قرار گیرد [۱-۴]. در این راستا طرح تامین بخشی از مصرف داخلی پست‌ها بوسیله منابع برق بادی و یا خورشیدی در برق منطقه‌ای خراسان به عنوان یک نمونه از مصرف‌کنندگان خاص به عنوان یک طرح تحقیقاتی مورد بررسی قرار گرفته است. در کنار این موضوع بحث شناسایی نوع مصرف‌کننده‌ها و ارائه راهکارهای کاهش مصرف با انتخاب روش‌های جایگزین نیز مورد تحلیل قرار گرفته است. در واقع، پروژه بهره‌مندی از انرژی‌های تجدیدپذیر، جزئی از راه حل بزرگتر مدیریت انرژی و فن‌آوری در جهت کاهش وابستگی به منابع غیرتجدیدپذیر است. در این مقاله در مرحله اول، نوع مصرف‌کننده‌های داخلی پست و سهم آن‌ها از مصرف کل انرژی شناسایی می-

<sup>1</sup> Distributed Generation

## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

خط ۴۰۰ kV و روی خطوط ۱۳۲ kV در حالت عادی روشن هستند.

به هر حال، آمار مجزای دقیقی از مصرف‌کننده‌های داخلی مختلف پست در دسترس نیست، لیکن، آمار تجمیعی، مصرف میانگین سالانه حدود ۲۹۰ kWh/Day (کیلووات ساعت در روز) را نشان می‌دهند. یعنی انرژی، بطور متوسط با نرخ حدود ۱۲ kW مصرف می‌شود. این ارقام قابل ملاحظه، ضرورت استفاده از سیستم‌های تامین انرژی بادی و/یا خورشیدی از یک سو و کاهش مصرف با استفاده از راه‌حل‌های نوین را از سوی دیگر، نشان می‌دهند.

با توجه به اینکه، در هر شب، حدود ۵۰ نورافکن ۴۰۰ وات نامی (که بعضاً تا بیش از ۵۰۰ وات مصرف می‌کند)، به مدت حدود ۱۱ ساعت، محوطه را روشن می‌کنند، لذا تقریباً، ۲۲۰ kWh/Day یا معادل ۷۵٪ مصرف داخلی پست ابوطالب، بوسیله سیستم‌های روشنایی محوطه مصرف می‌شود.

### ۳- انرژی‌های تجدیدپذیر

انرژی‌های قابل استفاده جهت تامین مصارف داخلی پست می‌تواند از میان گزینه‌های انرژی خورشیدی، انرژی بادی و یا سیستم‌های هایبریدی بادی و خورشیدی انتخاب گردد.

### ۳-۱ ارزیابی پتانسیل انرژی خورشید/باد در

#### استان خراسان

در تیرماه سال ۱۳۹۰، به ابتکار شرکت برق منطقه‌ای خراسان و با استفاده از امکانات پتانسیل سنجی شرکت معتبر 3TIER، نقشه‌های جدید و با رزولوشن بالا برای اطلس خورشیدی و اطلس سرعت باد استان‌های خراسان تهیه شد.

با تکیه بر داده‌های این دو اطلس که در شرکت برق منطقه‌ای خراسان موجود است، پتانسیل بادی و

شوند. در مراحل بعد، با توجه به معیارهای فنی و اقتصادی، راه‌کارهای مناسب کاهش مصرف، ارائه می‌شوند.

### ۲- بررسی مصرف‌کننده‌های داخلی پست نمونه

همواره، در کنار پروژه‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر، بحث شناسایی نوع مصرف‌کننده‌ها و ارائه راه‌کارهای کاهش مصرف با انتخاب روش‌های جایگزین مطرح می‌شود. لذا، مناسب است که در مرحله اول، نوع مصرف‌کننده‌های داخلی پست و سهم آن‌ها از مصرف کل انرژی شناسایی شوند. برای مطالعات امکان‌سنجی و در نهایت اجرای پروژه پست ۴۰۰/۱۳۲/۲۰ kV ابوطالب، که در فاصله تقریبی ۱۲ کیلومتری مشهد که از پست‌های جدیدالاحداث شرکت برق منطقه‌ای خراسان می‌باشد، به عنوان پست نمونه (پایلوت) انتخاب شده است. مصرف‌کننده‌های داخلی پست، از طریق شبکه LVAC و بوسیله دو ترانسفورماتور ۲۰/۰.۴ kV، Dyn5، 400kVA تغذیه می‌شوند. بعلاوه، شبکه ذخیره انرژی (باتری‌خانه) ۱۱۰ VDC و ۴۸ VDC برای تامین برق اضطراری و مصارف DC و تغذیه سیستم مخابراتی موجود هستند که بوسیله مبدل الکترونیک قدرت (شارژر) تغذیه می‌شوند. عمده مصرف‌کننده‌های داخلی پست، شامل سیستم‌های گرمایش (بخاری برقی، به سبب اینکه استفاده از سیستم‌های احتراقی مجاز نیست)، سرمایش (کولر گازی) و روشنایی محوطه هستند. سایر مصارف نیز متعلق به سیستم‌های روشنایی، تهویه و تغذیه داخلی تابلوهاست. برای روشنایی محوطه و تجهیزات از نورافکن‌های بخار سدیم استفاده می‌شود. به عنوان نمونه، در پست ابوطالب، پنج برج روشنایی در محوطه وجود دارند که روی هر کدام، ۱۸ نورافکن ۴۰۰ وات نصب شده است. بعلاوه، دو نورافکن نیز درب اصلی ورودی را روشن می‌کنند. برای کاهش مصرف، اغلب از پنج برج محوطه، تنها سه برج روشن‌کننده‌ی روی ترانس، سمت

## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

### ۴-۱- سیستم‌های تامین روشنایی

تکنیک‌های متعددی برای تامین روشنایی ارائه شده که هر یک دارای ویژگی‌های خاص خود است. این تکنیک‌ها را از منظر  $lm/W$  و کارایی با هم متفاوتند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که لامپ‌های مبتنی بر LED، سدیم و متال هالید بیشترین کارایی را ارائه می‌کنند. در این بین منابع روشنایی مبتنی بر LED دارای ویژگی‌های خاص و منحصر به فردی است که موجب شده جاذبه‌ای بیش از دیگر منابع داشته باشد. در مجموع، بکارگیری لامپ‌های مبتنی بر LED برای تامین روشنایی پست‌ها به عنوان جایگزین لامپ‌های فعلی امری منطقی بنظر می‌رسد.

### ۴-۲- سیستم‌های سرمایشی/گرمایشی خورشیدی

با توجه به اینکه پس از سیستم روشنایی محوطه، سیستم گرمایش و سرمایش ساختمان، مصرف کننده اصلی برق در پست مورد مطالعه است، استفاده از سیستم‌های نوین گرمایش و سرمایش خورشیدی که با استفاده از این منبع پاک تولید گرما و سرما می‌کنند، توصیه می‌شود.

### ۵- سیستم پیشنهادی

در ادامه سیستم مورد نظر جهت نصب معرفی می‌گردد.

#### ۵-۱- مقدمه

همانگونه که قبلاً اشاره شد، پست ۲۰/۱۳۲/۴۰۰ kV ابوطالب، به عنوان پست نمونه (پایلوت) برای مطالعات امکان‌سنجی و در نهایت اجرای پروژه انتخاب شده است. مصرف داخلی پست، بطور میانگین سالانه، حدود ۲۹۰ kWh/Day (کیلووات ساعت در روز) می‌باشد که ۷۵٪ آن صرف تامین روشنایی محوطه بوسیله سیستم‌های روشنایی ناکارآمد بخار سدیم می‌شود. راه حل پیشنهادی، کاهش توان مورد نیاز برای روشنایی محوطه و تامین این انرژی، بوسیله پانل‌های فتوولتائیک می‌باشد. این پست، به

خورشیدی پست‌های ۴۰۰ kV و ۲۳۰ kV خراسان‌های شمالی، رضوی و جنوبی در جدول ۱، تخمین زده شده‌اند.

جدول ۱- تخمین پتانسیل بادی و خورشیدی پست‌های ۴۰۰ kV و ۲۳۰ kV خراسان‌های شمالی، رضوی و جنوبی

نام پست	پتانسیل خورشیدی	سرعت باد میانگین سالانه (m/s)
فردوسی	خوب	3.5
توس	خوب	4
سربداران	خوب	4
شهید کاوه	عالی	6.5
قائنات	عالی	5
شیروان	خوب	5
اسفراین	خوب	3.5
بیرجند	عالی	5
ابوطالب	خوب	3.5
مدرس	خوب	4
شاده‌مهر	خوب	4
ترت جام	خوب	5
نیشابور	خوب	3
جاجرم	خوب	4
سرخس	خوب	4

### ۴- راه کارهای کاهش مصرف

همانگونه که در بخش ۲ اشاره شد، همواره، در کنار پروژه‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر، پروژه‌های مدیریت و کاهش مصرف نیز وجود دارند. اکثر راه‌کارهای کاهش مصرف، حاصل جایگزینی تجهیزات کم بازده موجود با امکانات نوینی است که راندمان بسیار بالایی در تبدیل انرژی الکتریکی دارند. با توجه به نتایج، سهم اعظم مصرف انرژی در یک پست، بوسیله سیستم‌های روشنایی است و مابقی آن نیز، عمدتاً سهم سیستم‌های گرمایش و سرمایش است.

## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

### ۳-۵- تامین انرژی بوسیله ماژول‌های

#### فتوولتائیک

برای تامین انرژی مورد نیاز سیستم روشنایی LED از پانل‌های خورشیدی استفاده می‌شود. پیشنهاد می‌گردد که کلیه پانل‌ها (که در ادامه ظرفیت و سطح نصب مورد نیاز آن‌ها محاسبه شده است) همگی بصورت مجتمع و بر روی پشت بام ساختمان اتاق فرمان نصب گردند و باتری‌ها (که ظرفیت آن‌ها نیز محاسبه شده) بصورت مجتمع (یک بانک باتری یکپارچه) و در محل باتری‌خانه فعلی مستقر گردند. سپس از محل این باتری‌خانه، کابل کشی DC تا نقطه نصب نورافکن‌های LED صورت گیرد. برخی از مزایای این تجمیع عبارتند از: فضای کافی برای نصب، سرویس آسان، شکل ظاهری بهتر و طول عمر بیشتر باتری‌ها به دلیل فضای مناسب قرارگیری.

سطح ولتاژ سیستم فتوولتائیک و بانک باتری، ۴۸ VDC انتخاب شده است. عمده دلایل این انتخاب به شرح زیر است:

- ۱- تعداد ماژول‌های سری شده به گونه‌ای است که استفاده موثری از ظرفیت ولتاژی آن‌ها شده است.
- ۲- عموم سیستم‌های هایبرید بادی/خورشیدی تجاری در سطح ولتاژ ۴۸ VDC کار می‌کنند؛ لذا این انتخاب، امکان گسترش احتمالی آتی سیستم به سایر منابع تجدیدپذیر را فراهم می‌کند و یک یکپارچگی در پروژه‌های مشابه، در پست‌های مختلف بوجود می‌آورد.
- ۳- مدار قدرت تجاری مناسب برای نورافکن‌های LED، محدوده ولتاژ ورودی ۱۲ VDC تا ۶۰ VDC را پوشش می‌دهد و لذا نیازی به مبدل اضافی نیست. باتری‌های با شارژ کامل، ولتاژی اندکی کمتر از ۶۰ VDC دارند و با احتساب تخلیه باتری‌ها و تلفات کابل‌ها، ولتاژ در محل نورافکن‌ها، هیچگاه کمتر از ۱۲ VDC نخواهد بود.
- ۴- تجهیزات صنعتی استاندارد فراوانی در این سطح ولتاژ وجود دارند.
- ۵- تلفات انتقال کاهش می‌یابد.

لحاظ بهره‌مندی از پتانسیل خورشیدی در وضعیت بسیار مطلوبی قرار داشته، لیکن، پتانسیل بادی قابل قبول نیست. جدول ۱ و همینطور داده‌برداری میدانی (ثبت سرعت باد در زمان‌های مختلف) نشان از سرعت باد میانگین کمتر از ۴ متر بر ثانیه دارد. لذا استفاده از توربین بادی پیشنهاد نمی‌گردد.

پس از بررسی‌های مختلف، راه حل پیشنهادی، شامل مراحل زیر است:

- ۱- جایگزینی سیستم روشنایی بخار سدیم با روشنایی LED
  - ۲- تامین برق سیستم روشنایی بوسیله ماژول‌های PV
- سیستم پیشنهادی، به لحاظ تامین توان، تامین روشنایی و کنترل، کاملاً مستقل از سیستم موجود است و لذا در این مرحله، سیستم روشنایی موجود نیز حفظ می‌گردد.

### ۲-۵- تامین روشنایی بوسیله LED

همانگونه که اشاره شد، بزرگترین پتانسیل کاهش مصرف داخلی پست و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، جایگزینی سیستم‌های روشنایی فعلی (که حدود ۷۵٪ مصرف داخلی پست را شامل می‌شوند) با سیستم‌های روشنایی LED است. بر این اساس، استفاده از ۴۸ الی ۵۰ عدد نورافکن LED با توان نامی هرکدام ۲۴ W برای تامین روشنایی مورد نیاز محوطه پست پیشنهاد می‌گردد. استفاده از نورافکن‌های ۲۴ W به این سبب است که ابعاد هیت‌سینک مورد نیاز چندان بزرگ نیست و خنک‌سازی موثری فراهم می‌گردد.

ورودی مدار قدرت این ماژول‌ها DC است و یک مدار قدرت تجاری مناسب، محدوده ولتاژ ورودی ۱۲ VDC تا ۶۰ VDC را پوشش می‌دهد که نیاز به مبدل اضافی را مرتفع می‌سازد.

### بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

۶- در این سطح ولتاژ، به لحاظ ایمنی پرسنل و بهره‌بردار، نیاز به تمهید ویژه‌ای نیست.

#### ۵-۴- محاسبه ظرفیت پانل‌های مورد نیاز

توان حداکثر سیستم به طریق زیر قابل محاسبه است: کل مصرف روزانه بر ۰/۷۵ که راندمان عمومی سیستم است تقسیم شده تا مجموع وات-ساعتی که باید در یک روز، بوسیله پانل‌های فتوولتائیک تامین گردد، بدست می‌آید. عدد حاصل از مرحله قبل مجدداً بر ضریب تولید پانل تقسیم می‌شود. این عدد، تعداد ساعات متوسط دریافت انرژی خورشیدی در یک روز و در بدترین ماه سال است و به موقعیت جغرافیایی سایت وابسته است و برای مناطق خراسان شمالی حدود ۳ تا ۴ و برای مناطق خراسان جنوبی حدود ۴ تا ۵ است. حاصل تقسیم در این مرحله، حداکثر توانی است (بر حسب وات) که سیستم فتوولتائیک باید بتواند تامین کند.

در سیستم پست فعلی، تعداد ۵۰ عدد نورافکن ۲۴ W هستند که به مدت حدود ۱۱ ساعت در یک شبانه روز روشن خواهند بود: با توجه به الگوریتم بالا توان پانل‌ها برابر ۵ kW خواهد بود. با ضرب این عدد در ۱.۵ توان توصیه شده ۸ kW برای پانل‌ها بدست می‌آید. بدینگونه و با انتخاب مناسب ظرفیت باتری، می‌توان از تامین انرژی مورد نیاز، طی روزهای غیرآفتابی مطمئن بود. سطح مورد نیاز برای نصب این پانل‌ها، در حدود ۸۰-۹۰ متر مربع است.

#### ۵-۵- محاسبه ظرفیت باتری‌های مورد نیاز

ظرفیت باتری‌ها به نحوی انتخاب می‌گردد که در صورت عدم تابش آفتاب برای دو روز متوالی، سیستم قادر به تامین انرژی مورد نیاز از طریق باتری‌های شارژ شده، با عمق دشارژ مجاز باشد. ظرفیت باتری‌ها از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$C = \left( \frac{L}{\mu_b \times D \times V_n} \right) \times N \quad (1)$$

که در آن  $C$  ظرفیت باتری (Ah)،  $L$  کل مصرف روزانه بارها (Wh)،  $\mu_b$  راندمان عمومی باتری،  $D$  عمق تخلیه مجاز باتری‌ها،  $V_n$  ولتاژ نامی باتری (V) و  $N$  تعداد روزهای عملکرد مستقل باتری است. با جاگذاری مصرف روزانه ۱۵ کیلو وات ساعت، راندمان ۰.۸، عمق تخلیه ۰.۶، ولتاژ نامی ۴۸ ولت و ۲ روز مستقل کاری ظرفیت باتری ۱۲۰۰ (Ah) می‌شود که توصیه می‌شود مقدار ۱۵۰۰ (Ah) در نظر گرفته شود. با این افزایش ظرفیت، در حالت عملکرد عادی، تخلیه مجاز باتری‌ها کاهش یافته و لذا طول عمر آن‌ها افزایش می‌یابد. بعلاوه، امکان تامین انرژی مورد نیاز بار برای سه روز متوالی و بدون دریافت توان از منبع خورشیدی و تنها از باتری شارژ شده فراهم می‌شود.

#### ۵-۶- عملکرد سیستم طراحی شده

در این قسمت به مقایسه عملکرد سیستم بهینه (محاسبه شده) و سیستم دست بالا طراحی شده (توصیه شده) می‌پردازیم. مسلماً، انتخاب بین این دو گزینه، مصالحه‌ای بین قیمت سرمایه‌گذاری اولیه و قابلیت اطمینان و در دسترس بودن سیستم است.

#### ۵-۶-۱- سیستم بهینه (۵ kW پانل و ۱۲۰۰

#### Ah باتری)

با فرض باتری کاملاً شارژ و عدم دریافت هرگونه انرژی از منبع خارجی (عدم وجود آفتاب و یا قطع سیستم PV):

- با عمق تخلیه ۳۵٪، انرژی مورد نیاز ۱ روز تامین می‌گردد.
- با عمق تخلیه ۶۰٪، انرژی مورد نیاز ۲ روز تامین می‌گردد. تامین انرژی روز سوم با مشکل مواجه می‌شود. اگر باتری‌ها تا عمق ۶۰٪ دشارژ شده باشند (دو روز متوالی بدون آفتاب)، آنگاه با پنج روز آفتابی متوالی (با حداقل تابش زمستانی که حدود ۴ ساعت میانگین است)،

### بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

اگر باتری‌ها تا عمق ۷۰٪ تخلیه شده باشند (سه روز متوالی بدون آفتاب)، آنگاه با سه روز آفتابی متوالی (با حداقل تابش زمستانی که حدود ۴ ساعت میانگین است)، علاوه بر اینکه بار همان روزها تامین می‌شود، باتری‌ها نیز بطور کامل شارژ می‌شوند.

علاوه بر اینکه بار همان روزها تامین می‌شود، باتری‌ها نیز بطور کامل شارژ می‌شوند.

#### ۵-۶-۲- سیستم توصیه شده (۸ kW پانل و ۱۵۰۰ Ah باتری)

با فرض باتری کاملاً شارژ و عدم دریافت هرگونه انرژی از منبع خارجی (عدم وجود آفتاب و یا قطع سیستم PV):

- با عمق تخلیه ۲۵٪، انرژی مورد نیاز ۱ روز تامین می‌گردد.
- با عمق تخلیه ۴۵٪، انرژی مورد نیاز ۲ روز تامین می‌گردد.
- با عمق تخلیه ۷۰٪، انرژی مورد نیاز ۳ روز تامین می‌گردد.

#### ۵-۷- برآورد تقریبی هزینه سیستم پیشنهادی

هزینه‌های سیستم پیشنهادی بصورت تقریبی به شرح جدول ۲ می‌باشند.

#### ۶- ارزیابی اقتصادی

برای آنالیز اقتصادی طرح، هزینه سیستم تامین روشنایی از دو منظر سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های جاری مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

جدول ۲ - برآورد تقریبی هزینه سیستم پیشنهادی

هزینه تقریبی (ریال)		شرح	ردیف
سیستم بهینه	سیستم توصیه شده		
۲۲۰/۰۰۰/۰۰۰	۳۵۰/۰۰۰/۰۰۰	پانل PV	۱
۱۶۰/۰۰۰/۰۰۰	۲۰۰/۰۰۰/۰۰۰	باتری	۲
۷۰/۰۰۰/۰۰۰	۹۰/۰۰۰/۰۰۰	کنترلر شارژ خورشیدی	۳
۷۰/۰۰۰/۰۰۰	۷۰/۰۰۰/۰۰۰	نورافکن LED (۵۰ عدد 24 W)	۴
۲۰/۰۰۰/۰۰۰	۲۰/۰۰۰/۰۰۰	کابل بطول تقریبی 500 m	۵
۱۱۰/۰۰۰/۰۰۰	۱۲۰/۰۰۰/۰۰۰	سایر هزینه‌ها	۶
۶۵۰/۰۰۰/۰۰۰	۸۵۰/۰۰۰/۰۰۰	مجموع	

#### ۶-۲- هزینه‌های جاری

هزینه‌های جاری از اقلام مختلفی تشکیل شده‌اند که در ادامه به شرح هر یک پرداخته می‌شود.

#### ۶-۲-۱- هزینه نگهداری

با مقایسه طول عمر ۱۰۰۰۰ ساعت برای لامپ‌های بخار سدیم و ۱۰۰۰۰ ساعت برای لامپ‌های LED و

#### ۶-۱- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه

هزینه‌ی برپایی سیستم روشنایی مبتنی بر LED در دو حالت توصیه شده و بهینه، بترتیب ۸۵۰ و ۶۵۰ میلیون ریال برآورد شد. این درحالی است که این هزینه برای سیستم موجود و با یک حساب سرانگشتی و با در نظر گرفتن قیمت ۸۰۰/۰۰۰ ریال برای هر نورافکن و ۲۵۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال برای هر برج، تقریباً ۱/۳۰۰ میلیون ریال خواهد بود.

## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

سالانه برای تامین برق مورد نیاز روشنایی محوطه پست از منابع فسیلی حدود  $67000 \text{ kg}$  می‌شود. هزینه رفع آلودگی محیط زیست بر اساس آمار ارائه شده توسط مؤسسه EPA حداقل  $0.25 \text{ USD/kg}$  است. لذا، با فرض  $12000$  ریال به ازای هر دلار، هزینه سالانه رفع آلودگی حدود  $13800000$  ریال می‌گردد. در نتیجه اجرای پروژه، سالانه،  $13/800/000$  ریال، صرفه جویی در هزینه آلاینده‌های زیست محیطی در پی دارد.

### ۶-۲-۳- هزینه مصرف

با در نظر گرفتن مصرف  $220 \text{ kWh}$  در روز برای مجموعه لامپهای بخار سدیم و بر مبنای قیمت  $1300$  ریال برای هر کیلووات ساعت برق، هزینه سالانه برق مصرفی برای لامپهای بخار سدیم  $104/390/000$  ریال خواهد بود.

### ۶-۳- جمع‌بندی

با توجه به آنالیز هزینه انجام شده و با در نظر گرفتن طول عمر مفید  $25$  سال برای سیستم روشنایی، در جدول ۳، دو روش "روشنایی مبتنی بر لامپ بخار سدیم" و "لامپ LED و تغذیه PV" به لحاظ هزینه‌های سالیانه، مقایسه شده‌اند. توصیه می‌گردد در پژوهش‌های آتی استفاده از توربین‌های بادی هم مورد تحلیل قرار گیرد.

### ۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله جهت تامین انرژی بخشی از مصارف داخلی یک پست نمونه از انرژی‌های تجدید پذیر راه کارهای قابل استفاده معرفی گشت. راه حل پیشنهادی جهت کاهش توان مورد نیاز برای روشنایی محوطه و تامین این انرژی، بوسیله پانل‌های فتوولتائیک ارائه گردید. جهت کاهش توان سیستم روشنایی از LED تحلیل‌های لازم صورت گرفت و سیستم فتوولتائیک مورد نظر طراحی گردید. سپس با تحلیل‌های اقتصادی مزایای سیستم جدید فتوولتائیک نسبت به سیستم قدیمی نشان داده شد. لامپ-های گازی که از لامپ‌های LED جایگزین می‌شوند می‌توانند در سایر بخش‌های روشنایی شرکت‌های توزیع مجدداً مورد استفاده قرار گیرند.

بکارگیری  $11$  ساعت در روز برای هر یک از منابع نور، هزینه سالانه برای نگهداری لامپ‌ها به شرح زیر است: لامپ‌های بخار سدیم با احتساب محدودیت‌های فوق دارای طول عمری برابر  $2/5$  سال خواهند بود. با در نظر

گرفتن قیمت  $350/000$  ریال برای هر لامپ و هزینه  $100/000$  ریال برای تعویض آن، هزینه‌ای بالغ بر  $9/000/000$  ریال بایستی برای نگهداری در نظر گرفته شود.

لامپ‌های LED با احتساب محدودیت‌های فوق دارای طول عمری برابر  $25$  سال خواهند بود. با در نظر گرفتن طول عمر مفید  $25$  سال برای سیستم روشنایی، تقریباً هیچ هزینه‌ای برای تعویض لامپ‌های LED در طول مدت بهره‌برداری از سیستم نداریم.

از طرفی سیستم مبتنی بر لامپ بخار سدیم هیچ‌گونه باتری بکار نگرفته، در حالیکه سیستم پیشنهادی باتری‌هایی با طول عمر محدود را بکار می‌گیرد. هزینه نگهداری باتری بر اساس جدول بالا و طول عمر  $5$  سال برای دو سیستم توصیه شده و بهینه، برتیب  $40/000/000$  ریال و  $32/000/000$  ریال است.

پانل‌های فتوولتائیک در مدت عمر مفید، هیچ هزینه نگهداری ندارند و فقط باید با شستشوی مرتب، از کاهش راندمان دریافت توان جلوگیری کرد.

### ۶-۲-۲- هزینه رفع آلودگی محیط زیست

میزان انتشار آلاینده‌ها بر حسب کیلوگرم، به ازای تولید هر کیلووات ساعت برق از نیروگاه‌های سیکل ترکیبی گاز طبیعی که عمده منابع تولید برق در ایران هستند و کمترین میزان آلودگی را نیز دارند، بیش از  $0.6 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$  است. این عدد، به جز دی اکسید کربن، شامل گازهای گلخانه‌ای دیگر همچون متان، اکسید نیتروژن و ... نیز هست که به دی اکسید کربن معادل خود تبدیل شده‌اند. عدد انتخاب شده برای ایران کاملاً خوش بینانه است. به عنوان مثال، این عدد با مقدار مورد تایید در کشور انگلستان، یکسان است. بر این اساس میزان آلودگی

### بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول ۳- مقایسه هزینه‌های سیستم روشنایی بخار سدیم و سیستم روشنایی LED و تغذیه PV

سیستم روشنایی LED و تغذیه PV		سیستم روشنایی بخار سدیم	شرح	ردیف
سیستم بهینه	سیستم توصیه شده			
۲۶/۰۰۰/۰۰۰	۳۴/۰۰۰/۰۰۰	۵۲/۰۰۰/۰۰۰	هزینه سرمایه‌گذاری بر سال (با احتساب عمر مفید ۲۵ سال)	۱
۰	۰	۹/۰۰۰/۰۰۰	هزینه نگهداری سالانه لامپ	۲
۳۲/۰۰۰/۰۰۰	۴۰/۰۰۰/۰۰۰	۰	هزینه نگهداری سالانه باتری	۳
۰	۰	۱۳/۸۰۰/۰۰۰	هزینه رفع آلودگی محیط زیست	۴
۰	۰	۱۰۴/۳۹۰/۰۰۰	هزینه برق مصرفی	۵
۵۸/۰۰۰/۰۰۰	۷۴/۰۰۰/۰۰۰	۱۷۹/۱۹۰/۰۰۰	جمع هزینه سالانه (ریال)	

### ۸- مراجع

- [1] A. Aslani, M. Naaranoja, B. Zakeri, The prime criteria for private sector participation in renewable energy investment in the Middle East (case study: Iran), Renewable and Sustainable Energy Reviews, V. 16, No. 4, May 2012, 1977-1987.
- [2] S. M. Mousavi, M. B. Ghanbarabadi, N. B. Moghadam, The competitiveness of wind power compared to existing methods of electricity generation in Iran, Energy Policy, V. 42, March 2012, 651-656.
- [3] N. Moghaddam, S. M. Mousavi, E. A. Moallemi, M. Nasiri, Formulating directional industry strategies for renewable energies in developing countries: The case study of Iran's wind turbine industry, Renewable Energy, V. 39, No. 1, March 2012, 299-306.
- [4] H. Bakhoda, M. Almassi, N. Moharamnejad, R. Moghaddasi, M. Azkia, Energy production trend in Iran and its effect on sustainable development, Renewable and Sustainable Energy Reviews, V. 16, No. 2, February 2012, 1335-1339.