

مطالعه موردی سیستم انرژی در خط تولید شرکت آردداران: ارزیابی اولیه، ارائه راهکارهای بهینه سازی، طراحی و استفاده از نیروگاه خورشیدی

طیبه زارعی نژاد^{۱*}، محمد ظفری^۲، امیر حکیمی آسیابر^۳

۱- سرپرست واحد تضمین کیفیت شرکت تولیدی آردداران. Zareinezhad44@gmail.com

۲- مدیر سیستم ها و روش های شرکت تولیدی آردداران. Mzafari.pasco@gmail.com

۳- مدیر کیفی آزمایشگاه آکرودیته شرکت تولیدی آردداران. Amir.asiabar64@gmail.co

خلاصه

روند رو به افزایش مصرف انرژی چه در بخش خانگی و چه در بخش صنعتی، اثر تحریم های گسترده زیر ساختی بالادستی انرژی، نیاز روز افزون کشور را نسبت به بهینه سازی مصرف انرژی بیش از پیش می طلبد. الگوهای مختلفی در صنعت بالاخص صنایع غذایی به صورت مطالعات موردی جهت بهینه سازی وجود دارند که سیاق های مختلفی را برای این منظور الگو قرار داده اند. اما به جهت ارزیابی عملکرد و حتی الگوبرداری یکی از بهترین روش ها استفاده از استانداردهای سری ایزو ۵۰۰۰ می باشد. در مطالعه حاضر که روی سیستم انرژی شرکت آردداران صورت پذیرفته، جهت ارزیابی از استاندارد مذکور استفاده شد و در ادامه سناریوهای مختلف مختلفی به جهت بهینه سازی به کار گرفته شده است. از میان این راهکارها می توان به نوسازی سیستم های توزیع انرژی، استفاده از لامپ های کم مصرف، بالا بردن راندمان مصرف از طریق اصلاح برخی روش های مصرف و در نهایت استفاده از پنل های خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی تجدید پذیر نام برد.

کلمات کلیدی: بهینه سازی مصرف انرژی، استانداردهای سری ۵۰۰۰، پنل خورشیدی.

۱. مقدمه

این مقاله با روش پیمایش استاندارد و ارائه راه حلی عملی، به صورت مطالعه موردی در سازمان آردداران با هدف بهینه سازی مصرف انرژی به نگارش در آمده. طبق گزارش ((شرکت توزیع برق کشور)) در سال جاری (شهریور ۱۴۰۴) شاهد کاهش ۳۵ درصدی مصرف انرژی در جهان طی ۳۵ سال اخیر هستیم با این وجود این شاخص در مدت زمان مشابه در کشور ما با افزایش ۷۵ درصدی همراه است.

با توجه به فاصله بیش از ۶۰ درصدی با میانگین جهانی، نیازمند به روزرسانی فن آوری دستگاه ها و ماشین آلات فعال در فرایندهای صنعتی-تولیدی ایران هستیم تا بتوانیم شدت مصرف انرژی را حداقل به متوسط جهانی برسانیم.

با توجه به چند مرحله ای بودن فرایند تولید کالا نیاز است تا فناوری هایی که در تولید آن کالا یا خدمت به کار برده می شوند از نظر فن آوری به روز رسانی شوند. همچنین در این راستا فن آوری به کار برده شده در دستگاه های تولیدی و کیفیت مواد اولیه نیز بر روی شدت مصرف انرژی تاثیر می گذارند. گاه نیاز است تا مراحل به کار رفته در فرایند تولید کالا

ادغام و یا از نظر تکنولوژیک به روز رسانی شوند. تورم، تحریم های ظالمانه در حوزه ورود تکنولوژی و ... از مواردی هستند که بر افزایش شدت مصرف انرژی در ایران تاثیر داشته اند.

برای تفهیم بهتر می توان به عنوان مثال عنوان کرد که مصرف انرژی برق برای تولید هر تن فولاد در لهستان تا ۴۳۲.۵ کیلووات ساعت برآورد می شود و میانگین مصرف برق برای تولید هر تن فولاد در جهان نیز ۴۵۰ کیلووات ساعت است، اما این رقم در ایران حدود ۹۰۰ کیلووات ساعت است که دو برابر میانگین جهانی است [۱].

دو علت عمده مصرف بالای انرژی در ایران را می توان به استفاده از آن در بخش های غیر مولد و استفاده از تجهیزات و تکنولوژی ها و فرآیندهای غیر بهینه در بخش های مولد می باشد. با کمی بررسی بیشتر می توان دریافت که عامل دوم نقش بیشتری در بالا رفتن شاخص شدت انرژی داشته است که این عمر در عین بی توجهی کامل به زبان های اقتصادی در دراز مدت برای بخش های تولیدی و نیز برای کشور مشکلات عدیده ای ایجاد خواهد کرد.

متأسفانه در ایران به دلیل عدم استفاده و طراحی استانداردهای مناسب و آگاهی کافی از سیستم های نوین نگهداری و تعمیرات تجهیزات و تکنولوژی های مورد استفاده در صنایع انرژی بر در شرایط استاندارد قرار ندارد. از سوی دیگر محدودیت منابع فسیلی و رشد بالای سرانه مصرف انرژی در ایران باعث می شود که در صورت عدم برنامه ریزی و پیش بینی های لازم، روند توسعه کشور و بخش های تولیدی بطور جدی تحت تاثیر قرار بگیرند که در این میان تنها راه برون رفت کشورهای در حال توسعه از تنگناهای فوق الذکر، همانا برنامه ریزی همه جانبه به منظور ارتقای بهره وری در کلیه فعالیت های تولیدی، صنعتی و خدماتی می باشد. لذا افزایش بهره وری انرژی و تغییر ساختار مصرف انرژی در جهت تقویت این بخش ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

مدیریت و بهینه سازی مصرف انرژی در یک واحد صنعتی شامل بهسازی فرآیندها، افزایش راندمان تجهیزات از طریق ارتقای سطح کیفی کارکرد و یا تغییر آن ها، ایجاد سیستم مدیریت انرژی و ... با توجه به استانداردها و میزان انرژی لازم برای تولید یک محصول مشخص می باشد. بنابراین با مدیریت و ممیزی انرژی یک واحد صنعتی می توان به اهداف زیر دست یافت:

- تعیین شاخص های شدت مصرف انرژی و شناخت سیستم از نظر انرژی مصرف انرژی در بخش های مختلف.
- تعیین انحراف از استاندارد و محاسبه میزان پتانسیل کاهش مصرف انرژی.
- ارائه راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی و کاهش میزان شاخص شدت مصرف انرژی.
- استقرار سیستم مدیریت انرژی جهت پایش اطلاعات انرژی بخش های مختلف سازمان و راهبری آن در جهت بهینه در طول کارکرد سیستم.

ارائه راهکارهای صرفه جویی انرژی و متد اندازه گیری از مهمترین دستاوردهای اجرای سیستم مدیریت انرژی بشمار می روند. چرا که عدم انتخاب نقاط و یا دقت مناسب در اندازه گیری اغلب منجر به ارائه راهکار و پیشنهاد نادرست می گردد که این موضوع ممکن است علاوه بر ایجاد هزینه های ناشی از عدم دقت، موجب عدم تخمین مناسب از ارزیابی پتانسیل صرفه جویی و پیش بینی در عملکرد انرژی شود.

۲- متد ممیزی انرژی بر اساس استاندارد ISO 50002:2014

ممیزی انرژی در واقع یک آنالیز تفصیلی از عملکرد انرژی یک سازمان، تجهیز، سیستم و یا فرآیند است که می تواند بر پایه اندازه گیری و مشاهده استفاده، بازده و مصرف انرژی تعیین شود. مهمترین دستاورد ممیزی انرژی، شناسایی و اولویت بندی فرصت های بهبود عملکرد انرژی است. مطابق با متن استاندارد ممیزی انرژی انجام شده در ارتباط با عملکرد انرژی، به کار گرفته می شود. اشکال انرژی به کار رفته در انواع مختلف سازمان هایی که مایل به استفاده از استاندارد مربوطه می باشند را در بر می گیرد. حداقل الزامات را در بر می گیرد و برای هر نوع ممیزی انرژی اجرایی به منظور شناسایی فرصت ها در جهت

بهبود عملکرد انرژی به کار گرفته می شود .

چارچوب طراحی شده جهت انجام پروژه ممیزی انرژی در شرکت آردداران، توسعه پذیر و متفاوت است بدین معنا که در گزارش فعلی، مرز ممیزی انرژی فعالیت های بخش تولیدی است ولیکن فعالیت های ممیزی براساس نیاز قابل توسعه به سایر حوزه ها خواهد بود. ممیزی انرژی بر اساس توصیه های استاندارد ISO 50002:2014 سه سطح از ممیزی را به شرح ذیل تعریف می نماید.

الف) سطح ۱

ب) سطح ۲

ج) سطح ۳

کاربر انرژی یا می تواند تصمیم بر ممیزی فقط در یک سطح را داشته باشد یا می تواند با ممیزی سطح یک شروع کرده و از نتایج آن جهت اتخاذ تصمیم به جریان کار در یکی از سایر سطوح استفاده نماید. مضمون و زمان لازم جهت ممیزی مرتبط با اندازه محل و هزینه سالانه استفاده انرژی، متغیر خواهد بود. درآمدهای حاصل از صرفه جویی ها می تواند در گزارش هر سطح از ممیزی تعیین و مطرح شوند. عمده ترین موانع موجود در انجام ممیزی انرژی عبارتند از :

۱- عدم اطلاع کافی در مورد ممیزی انرژی و فواید آن

۲- محدودیت های منابع انسانی، فنی و مالی

نکات مهمی که می بایست پیرامون ممیزی انرژی مدنظر قرار گیرند عبارتند از :

۱- گروه ممیزی باید شامل تخصص های فنی لازم و مربوطه باشد

۲- تکرار و تداوم اجرای ممیزی انرژی متناسب به تاثیر فعالیت ها و اقدامات برنامه مدیریت انرژی

۳- موفقیت ممیزی انرژی بستگی به آمادگی ها و پیش زمینه هایی دارد که قبل از انجام اقدامات عملی فراهم شده است.

۴- فهرست محدودی از اقدامات باید تهیه شود، تهیه خلاصه فهرستی از اقدامات الزامی می باشد.

۵- گزارش ممیزی باید در مدت زمان مشخص تهیه و تکمیل گردد.

۶- توصیه و پیشنهاد های ارائه شده بر اساس اولویت های هزینه ای و زمانی طبقه بندی می شوند.

۷- باید توجه داشت که زمانیکه اقدامات پیشنهادی و توصیه ها اجرا نشوند، تغییر مهمی در عملکرد انرژی ملاحظه نخواهد شد.

مصرف انرژی یکی از هزینه های قابل کنترل در اغلب سازمان ها است و پتانسیل قابل توجهی در کاهش مصرف حامل های انرژی و در نتیجه هزینه های مربوطه وجود دارد. صرفه جویی های متنوعی را می توان بدون افزایش هزینه های قابل توجه به سرمایه گذاری اندک کسب کرد. حال آنکه صرفه جویی افزوده تر معمولاً با سرمایه گذاری بیشتر قابل اکتساب است که نرخ بازگشت سرمایه مناسبی به همراه دارد. از این رو سرمایه گذاری در خصوص بهره وری انرژی می تواند به سودآوری بیشتر منجر شود. ممیزی انرژی از جمله فعالیت های موثر هر سازمان است که مایل به کنترل هزینه های انرژی و خدمات خود می باشد. این ممیزی مشخص می نماید که چگونه انرژی خریداری، مدیریت و مصرف شود تا هزینه تولید حداقل و سود حاصل از آن حداکثر شود.

صفحه ۴

۴- بسته بندی و تحویل کالا

تجهیزات با کاربری های انرژی بارز در واحدهای تولیدی شرکت آردداران از طریق تکمیل فرم های بازنگری انرژی شناسایی شده است. کاربری های انرژی به تفکیک حامل های انرژی دسته بندی شده و تجهیزات با کاربری های انرژی بارز بر اساس الزام استاندارد در دو معیار مصرف قابل ملاحظه و پتانسیل بهبود در عملکرد انرژی تعیین شده اند. همچنین برای تشخیص مصرف قابل توجه، معیار قانون پارتو (که بیان می کند تقریباً ۸۰ درصد مصارف متعلق به ۲۰ درصد تجهیزات است) بکار گرفته شده و برای تعیین پتانسیل بهبود از تجزیه و نظر اعضای کمیته انرژی استفاده شده است. مجموع انرژی اولیه ورودی به شرکت آردداران از جنس گاز و انرژی الکتریکی است که انرژی برق ورودی به مجتمع (به عنوان انرژی اساسی) به منظور استفاده در بخش های مختلف تولید استفاده می شود که بخش اساسی بررسی شرایط ممیزی بر روی این حامل انرژی است.

۱-۳- بررسی نحوه توزیع برق شرکت آردداران

تغذیه برق مصارف صنعتی و غیرصنعتی مجتمع آردداران توسط یک پست با سه ترانسفورماتور کاهنده قدرت ۴KV. ۲۰/۰ با ظرفیت ۲۰۰۰ KVA و تابلوهای مختلف (شامل تابلوهای اصلی و توزیع) در سطح ۴۰۰ ولت صورت می گیرد (عکس- های شماره شکل ۲ و ۳)

با توجه به اینکه سطح اول ممیزی در این مطالعه مدنظر می باشد، اطلاعات کلی سیستم برق و شبکه توزیع برق رسانی مورد بازدید قرار گرفت و یک نمونه اندازه گیری از الکتروفن (فن جت) انجام گردید. از مصارف بارز الکتریکی واحد تولیدی می توان به فن جت واحد B با توان ۱۱۰ کیلووات، دو عدد فن جت واحد A و یک عدد فن جت واحد B با توان ۱۱۰ کیلووات، ۳ عدد کمپرسور هوا با توان ۹۰ کیلووات، سه عدد پیلر ۵۵ کیلوواتی، بلوئر ارسال آرد با توان ۵۵ کیلووات، دو عدد والس واحد A با توان ۴۵ کیلووات نام برد.

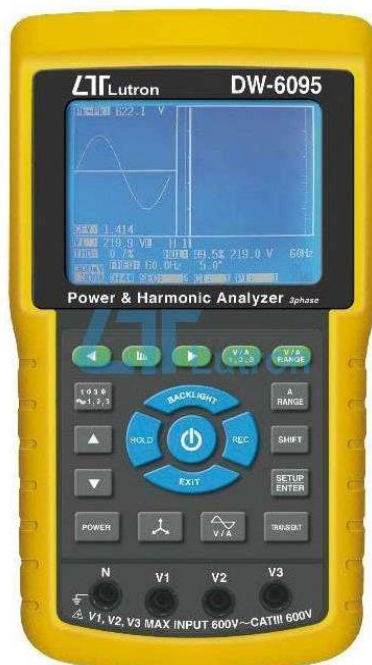


شکل ۲- نمایی از چیدمان داخلی ترانس های پست شرکت آردداران

بدین ترتیب برای بررسی بار فن جت ۴۰۰ ولت از دستگاه پاور آنالایزر سه فاز LUTRON DW-6095 استفاده گردید تا بر اساس اهمیت این بارها مطالعه دقیق و جامعی در خصوص پارامترهای برقی آن انجام گیرد.



شکل ۳- پلاک یکی از سه ترانسفورماتور پست شرکت آرداران



شکل ۴- دستگاه پاور آنالایزر سه فاز مدل Lutron DW - 6095

در بررسی اولیه مشخص گردید که در حالیکه سه خط کارخانه از مدار خارج می باشد (به دلیل عدم تولید محصول) سطح ولتاژ در تابلوهای توزیع بعد از ترانسفورماتورها پایین تر از ۴۰۰ ولت می باشد. در حالیکه خروجی ترانسفورماتورها در حالت

بی بار (Noload) می بایست ۴۲۰ ولت باشد. طبق گفته مسئول برق کارخانه، ولتاژ در زمان در مدار بودن خطوط تولید کارخانه در تابلوهای اصلی تا ۳۸۰ ولت و در تابلوهای توزیع بارها تا ۳۶۵ ولت افت می نماید و بنابراین در ترمینال باکس تجهیزات از این عدد پایین تر می باشد.

بر اساس استاندارد بین المللی مانند (IEC) و محلی همچون نشریه ۱۱۰ سازمان برنامه و مقررات ملی ساختمان مبحث سیزدهم (طرح و اجرای تاسیسات برقی ساختمان ها) مقدار افت ولتاژ می تواند تا ۵ درصد یعنی حداقل ۳۸۰ ولت در محل ترمینال تجهیز باشد (جدول های ۱ و ۲). پایین تر بودن ولتاژ از این حد علاوه بر ایجاد تلفات بیشتر به دلیل افزایش در جریان بارهای موتوری، می تواند راه اندازی آن ها را با مشکل ایجاد نموده و به سیم پیچ های موتورها در طول زمان آسیب وارد نماید. ضمن اینکه ولتاژ نامی بارهای موجود بر اساس پلاک روی تجهیزات ۴۰۰ ولت می باشد.

جدول ۱- حداکثر افت ولتاژ مجاز در مدارهای تاسیسات برقی مطابق با مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمان

نوع مدار	نوع مصرف یا لوازم وصل شده	افت ولتاژ مجاز
توزیع (مدارهای اصلی) (D)	تابلوی اصلی یا ورودی سرویس مشترک (DB)	5%
تاسیسات مدارهای نهایی (F)	روشنایی (E)	3%
	تجهیزات (E)	5%

Type of installation	Lighting %	Other uses %
A – Low voltage installations supplied directly from a public low voltage distribution system	3	5
B – Low voltage installation supplied from private LV supply ^a	6	8

^a As far as possible, it is recommended that voltage drop within the final circuits do not exceed those indicated in installation type A.

شکل ۵ – حداکثر افت ولتاژ مجاز براساس IEC 60364-5 – 52 Annex G [3]

۳-۲- بررسی پارامترهای الکتریکی الکتروفن (فن جت) واحد B

فن جت واحد B با توان ۵۵ کیلووات در زمان کار خط B معمولاً بصورت مداوم کار می نماید. تغذیه این بار از تابلوی توزیع راه اندازی تجهیزات در اتاق برق ساختمان تولید تغذیه می شود . برای راه اندازی این فن از درایو Altivar 61 شرکت اشنایدر انجام می شود . تغییرات جریان هر سه فاز در زمان در مدار بودن الکتروپمپ به خوبی مشهود می باشد. در این حالت متعادل بودن توزیع جریان در سه فاز خصوصاً در فاز سوم (A3) مشاهده می شود.. با توجه به ولتاژ سه فاز فن جت، ولتاژ نامی شبکه ۴۰۰ ولت می باشد. ولتاژ تابلو افت معناداری با ولتاژ نامی (بیش از ۶ درصد) خصوصاً در فاز سوم (V3) دارد و با احتساب حداقل ۱ درصد افت ولتاژ کابل ارتباطی تا تجهیز مقدار افت ولتاژ بیش از ۵ درصد برای تمام فازها می باشد ضمن اینکه این اندازه گیری فقط این بار در مدار بوده است و در صورت در مدار بودن سایر تجهیزات مقدار افت بیشتر خواهد شد. این امر می تواند به افزایش جریان در مدارها و تلفات در کابل ها شود. فرکانس فن جت در محدوده مجاز (فرکانس بین ۴۹.۶ تا ۴۹.۸) بر اساس استاندارد IEC 60034-1 می باشد. در این استاندارد

محدوده مجاز فرکانس و ولتاژ برای الکتروموتورها در دو محدوده A برای افزایش طول عمر موتورها و عدم صدمه به سیستم عایقی آنها توصیه شده است.

در جریان متناوب و عادی شبکه‌های قدرت، ولتاژ سینوسی در یک فرکانس خاص، معمولاً ۵۰ هرتز است زمانی که یک بار الکتریکی خطی به سیستم متصل می‌شود، در این حالت جریان سینوسی با همان فرکانس ولتاژ شکل می‌گیرد. در زمانی که یک بار غیر خطی مانند یکسوکننده‌ها به سیستم قدرت متصل می‌شود باعث به وجود آمدن جریانی می‌شوند که دقیقاً سینوسی نیست. شکل موج جریان می‌تواند بسته به نوع بار و در اثر متقابلش با دیگر اجزاء سیستم بکلی پیچیده شود. صرف نظر از پیچیدگی‌ها شکل موج جریان که از طریق تجزیه و تحلیل سری فوریه توضیح داده می‌شود، این امکان وجود دارد که موج را به یک موج ساده تجزیه کرد که در فرکانس سیستم قدرت، در مضر صحتی از فرکانس اصلی رخ دهد. نمونه‌های بیشتری از بارهای غیرخطی شامل تجهیزات دفتری و اداری معمول، مانند رایانه‌ها و پرینترها و همچنین کولرهای گازی هستند. مهمترین پارمتر اندازه‌گیری هارمونیک‌ها در شبکه قدرت THD است.

گرم شدن بیش از حد هادی‌ها، گرم شدن و خرابی بیش از حد ترانسفورماتورها و موتورها، چشمک زدن لامپ‌های گازی، عمل کردن فیوزهای اتوماتیک و... که تلفات انرژی را در بر دارد. همچنین مطابق با استاندارد IEEE 519:2022 ماکزیمم THD مجاز برای ولتاژ و جریان مطابق با جدول ذیل می‌باشد. که در سطح ۴۰۰ ولت THD ولتاژ می‌بایست زیر ۸ درصد و هر کدام از هارمونیک‌های ولتاژ زیر ۵ درصد باشد.

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%) $h \leq 50$	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5 ^a

شکل ۶ - درصد مجاز هارمونیک‌های ولتاژ براساس IEEE 519:2022

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order ^b						
I_{sc}/I_L	$2 \leq h < 11^a$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^\circ$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

شکل ۷ - درصد مجاز هارمونیک‌های جریان براساس IEEE 519:2022 [4]

مقدار درصد هارمونیک مجموع یا THD برای الکتروفن (در حدود ۴.۵ درصد) در حد استاندارد و کمتر از ۸ درصد می باشد .

بر اساس استاندارد IEEE 519:2022 مقدار THD اندازه گیری شده که بالاتر از ۲۱ درصد می باشد از مقدار مجاز بالاتر می باشد. دلیل بالا بودن هارمونیک های جریان عملکرد درایو بدون فیلتر مناسب می باشد.



شکل ۸ - تاثیر هارمونیک ها بر شکل موج سینوسی جریان الکتروفن (عکس از صفحه پاور آنالایزر گرفته شده است)

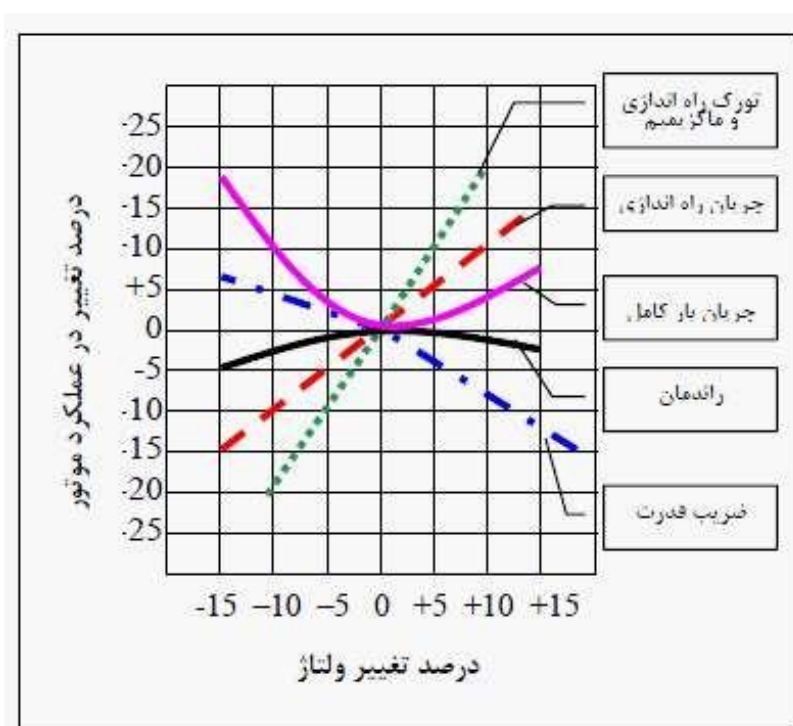
۴. شناسایی و ارزیابی فرصت‌های بهبود

براساس نتایج حاصل از بخش‌های مختلف، استفاده از تجربیات کارشناسان در فرآیند بازنگری انرژی و همچنین ممیزی عبوری و سایت ویزیت، سناریوها و پیشنهادات زیر جهت بهبود وضعیت عملکرد انرژی و همچنین نیاز به بررسی و آنالیز در برخی موارد ارائه شده است.

سناریوی اصلاح و افزایش سطح ولتاژ تابلوهای اصلی و توزیع الکتریکی

در مطالعات مربوط به الکتروفرن واحد B در تابلوی توزیع مشاهده شد که افت ولتاژ در فیدر مربوطه (معادل با باکس تابلو) ۶ درصد و در ترمینال باکس تجهیزات نیز بیش از این مقدار می‌باشد. با توجه به اینکه این تابلو اصلی به صورت مستقیم از ترانسفورماتور مخصوص به خود تغذیه می‌شود مقدار افت ولتاژ عدد بالا باعث می‌شود که کاهش ولتاژ در سر بار به بیش از ۵ درصد رسیده و باعث تلفات انرژی در کابل‌ها و الکتروموتور شود.

مطابق شکل ۹ تغییر ولتاژ موجب افت ضریب قدرت، عمر مفید موتور و راندمان آن می‌گردد. اگر ولتاژ موتور بیش از ۵ درصد تغییر نماید، راندمان بین ۲ تا ۴ درصد کاهش داشته و دمای موتور حدود ۱۵ درجه افزایش می‌یابد که منجر به کاهش عمر مفید موتور می‌گردد.

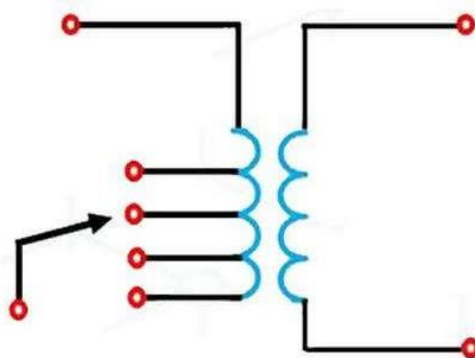


شکل ۹ - تاثیر تغییر ولتاژ اعمالی به موتور بر مشخصه های موتور

یکی از روش‌های موثر در زمانی که تغذیه مستقیم از ترانسفورماتور توزیع انجام می‌شود، تنظیم تپ چنجر (Tap Changer) ترانسفورماتور می‌باشد. جهت تغییر نسبت تبدیل یک ترانسفورماتور تا حدود ۵٪ ولتاژ نامی آن از تپ چنجر استفاده می‌شود. این تغییر باعث می‌شود بسته به نوع ترانس با هر تغییر تپ، تغییر ۲/۵٪ در ولتاژ خروجی ایجاد شود. معمولاً تپ چنجرهای ترانسفورماتورها در این مقدار توان از نوع تغییر بدون بار (No Load Tap Changer) می‌باشد و بنابراین تغییر آن می‌بایست در زمان بی برقی ترانسفورماتور انجام شود و بعد از تغییر حتماً می‌بایست قبل از بسته شدن کلید ورودی تابلوهای اصلی از میزان دقیق سطح ولتاژ خروجی ترانس اطمینان حاصل کرد. در شکل ۳ که پلاک ترانس‌ها نشان می‌دهد، تجهیز ترانسفورماتور به کلید تنظیم ولتاژ (تپ چنجر) را تایید می‌کند. ضمناً لازم است تمامی اتصالات از ثانویه ترانسفورماتورها تا ورودی تابلو از نظر سست بودن چک شود. سست بودن اتصال کابل‌ها می‌تواند باعث کاهش ولتاژ نیز شود.

اهدافی که در این راهکار بدست می‌آید شامل موارد ذیل می‌باشد:

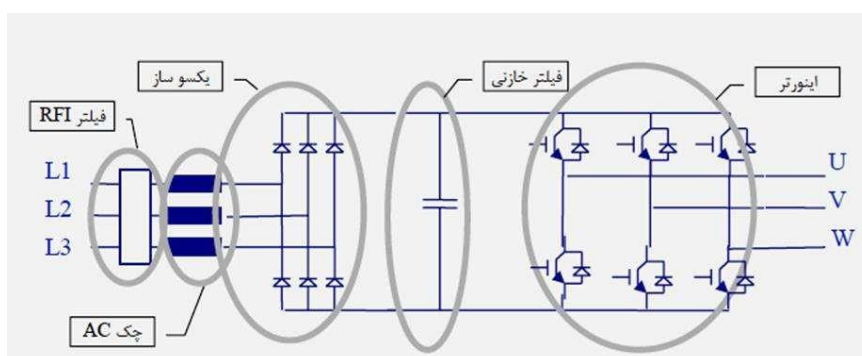
- ۱- بهبود کیفیت و سطح ولتاژ
 - ۲- کاهش هزینه‌های انرژی الکتریکی
 - ۳- کاهش تلفات انرژی در رساناها، (تابلو و کابل‌های ورودی و خروجی، سیم پیچ الکتروموتورها)
- این روش با توجه به اینکه هزینه مستقیم ندارد می‌تواند در زمان در مدار نبودن بویلرها (از جمله در زمان اورهال و تعمیرات) انجام پذیرد.



شکل ۱۰ - نمونه ترانسفورماتور توزیع و دیاگرام تپ چنجر از نوع بدون بار

سناریوی کاهش هارمونیک‌های جریان و ولتاژ در تابلوهای توزیع

در تابلوها جهت کنترل دور فن های سیستم از درایوهای (اینورتر) شرکت اشنایدر استفاده شده است. کنترلرهای AC (جریان متناوب) تنظیم فرکانس (فرکانس متغیر) وسایل پیچیده‌ای بوده و گران قیمت هستند با این حال می‌توانند به راحتی به موتورهای القایی AC استاندارد اضافه شوند. با هزینه تجهیزات کمتر و هزینه‌های الکتریکی بیشتر (با کاهش هزینه تجهیزات و افزایش هزینه‌های الکتریکی) کاربرد این وسایل در اغلب موارد اقتصادی می‌شود. بسیاری از انواع پمپ‌ها، فن‌ها، میکسچرها، نقاله‌ها، خشک کننده‌ها، خرد کننده‌ها، آسیاب‌ها، صافی‌ها، و برخی انواع کمپرسورها، دمنده‌ها و همزن‌ها در سرعت‌های مختلف با وسایل تنظیم سرعت کار می‌کند. اگرچه که درایوها خود جهت مدیریت مصرف انرژی و دورموتورها استفاده می‌گردند. اما با ایجاد هارمونیک شبکه برق را تحت تاثیر قرار می‌دهند و می‌بایست تمهیدات دیگری جهت مقابله با آن در نظر گرفت.

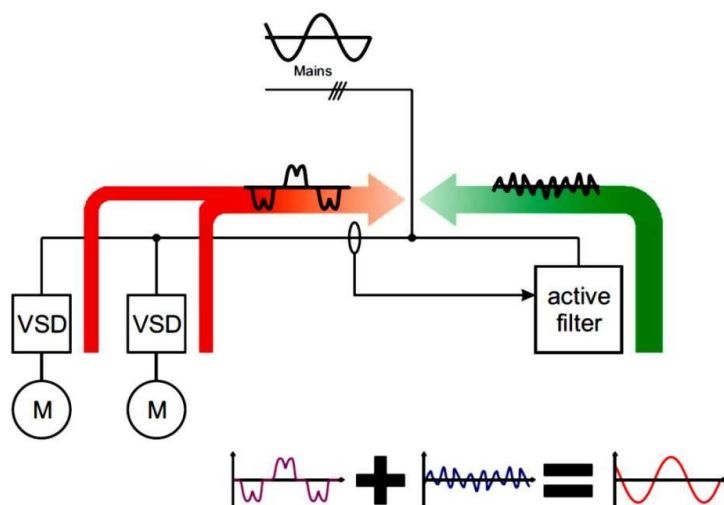


شکل ۱۱ - ساختمان یک درایور (اینورتر) الکتریکی

همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود به دلیل عملکرد تجهیزات الکترونیک قدرت و عملیات سوئیچ‌زنی خصوصاً در قسمت اینورتر، در شبکه برق تولید هارمونیک می‌نماید.

مشکلات عمومی ایجاد شده در شبکه در اثر وجود هارمونیک عبارت است از: گرم شدن بیش از حد هادی‌ها، گرم شدن و خرابی بیش از حد ترانسفورماتورها و موتور ها، چشمک زدن لامپ‌های گازی، عمل کردن فیوزهای اتوماتیک و... می‌شود که تلفات انرژی را در بردارد.

با توجه به اینکه در حال حاضر درایو انتخاب شده و در حال کار است، راه کارهای انتخاب درایو مناسب (از جمله انتخاب درایو ۱۲ پالسه و دارای کم هارمونیک) کارآیی ندارند. در این مرحله انتخاب فیلتر اکتیو بهترین راهکار جهت کنترل هارمونیک‌ها می‌باشد. در شکل ۱۲ دیاگرام عملکرد در مقابله با هارمونیک تولید شده در شبکه نمایش داده شده است. مزیت استفاده از فیلتر اکتیو در مقایسه با فیلتر پسیو در این است که می‌توان از یک فیلتر اکتیو مشترک برای سایر الکتروفن‌های کولینگ استفاده نمود و نیاز نیست فیلتر اختصاصی در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است ابعاد فیلتر اکتیو معمولاً اندازه خود درایو و یا بزرگتر از آن است و هزینه نسبی آن بالاست.



شکل ۱۲ - دیاگرام عملکرد فیلتر اکتیو در مقابله با هارمونیک‌ها

سناریوی تعویض کامل لامپ‌ها با نمونه های LED

براساس شواهد و یافته‌های تیم ممیزی بخش عمده‌ای از روشنایی سالن و ساختمان از طریق مهتابی‌های قدیمی تامین می‌شود که توصیه می‌شود با توجه به عملکرد پایین این سیستم روشنایی، پروژه طراحی روشنایی بهینه با استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی همچون دیالوکس انجام و براساس آن خرید صورت پذیرد. لامپ های LED نسل جدید لامپ های پر بازده می‌باشند که از چند LED که به شکل های مختلف در یک مجموعه کنار یکدیگر نصب می‌شود تشکیل شده است. LED ها از تکنولوژی دیودها یا نیمه رساناهای حالت جامد بهره می‌برند که انرژی الکتریکی را به فوتون‌ها (نور روشنایی) و حرارت تبدیل می‌کند. از این رو یکی از قسمت‌ها مهم لامپ‌های LED مبدل‌های حرارتی جهت دفع حرارت می‌باشد. از جمله مزایای لامپ‌های LED می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- ۱- طول عمر این لامپ‌ها در صورت استاندارد بودن به بیش از ۲۰ هزار ساعت می‌رسد.
- ۲- راندمان این لامپ ها بین ۹۰ تا ۱۲۰ لومن بر وات است.
- ۳- این لامپ‌ها مصرف بسیار کمی دارند.
- ۴- ضریب وضوح این لامپ‌ها در حدود ۹۵ می‌باشد.
- ۵- قابلیت استفاده از کنترلرهای تنظیم شدت نور را دارند.
- ۶- این لامپ‌ها در مقایسه با لامپ‌های فلورسنت قابلیت تعداد کلیدزنی بالایی دارند.
- ۷- عدم استفاده از جیوه در ساخت این لامپ‌ها.
- ۸- دوستدار محیط زیست.
- ۹- مرکز شعاع نوری بالا و کاهش آلودگی نوری.

سناریوی استفاده از درایوهای تنظیم سرعت

وقتی تجهیزات بتوانند در سرعت کاهش یافته کار کنند چند گزینه قابل انتخاب است. مثال‌های ذیل نمونه‌های برای همه صنایع هستند:

- موتورهای AC فرکانس متغیر (با قابلیت تنظیم فرکانس)

وقتی پمپ‌های گریز از مرکز، فن‌ها و دمنده‌ها در سرعت ثابت کار می‌کنند و خروجی با استفاده از والوها و مسدود کننده‌ها کنترل می‌شود موتور صرف نظر از مقدار خروجی در نزدیکی بار کامل کار می‌کند که باعث می‌شود انرژی زیادی توسط این مسدودکننده‌ها و والوها تلف شود. اگر این تجهیزات بتوانند همواره در سرعت مورد نیاز کار کنند مقدار زیادی انرژی صرفه‌جویی می‌شود. درایوهای تنظیم سرعت باعث می‌شوند تجهیزات با توجه به نیاز سیستم در حالت بهینه عمل کنند.

- کنترلرهای AC تنظیم فرکانس (فرکانس متغیر)

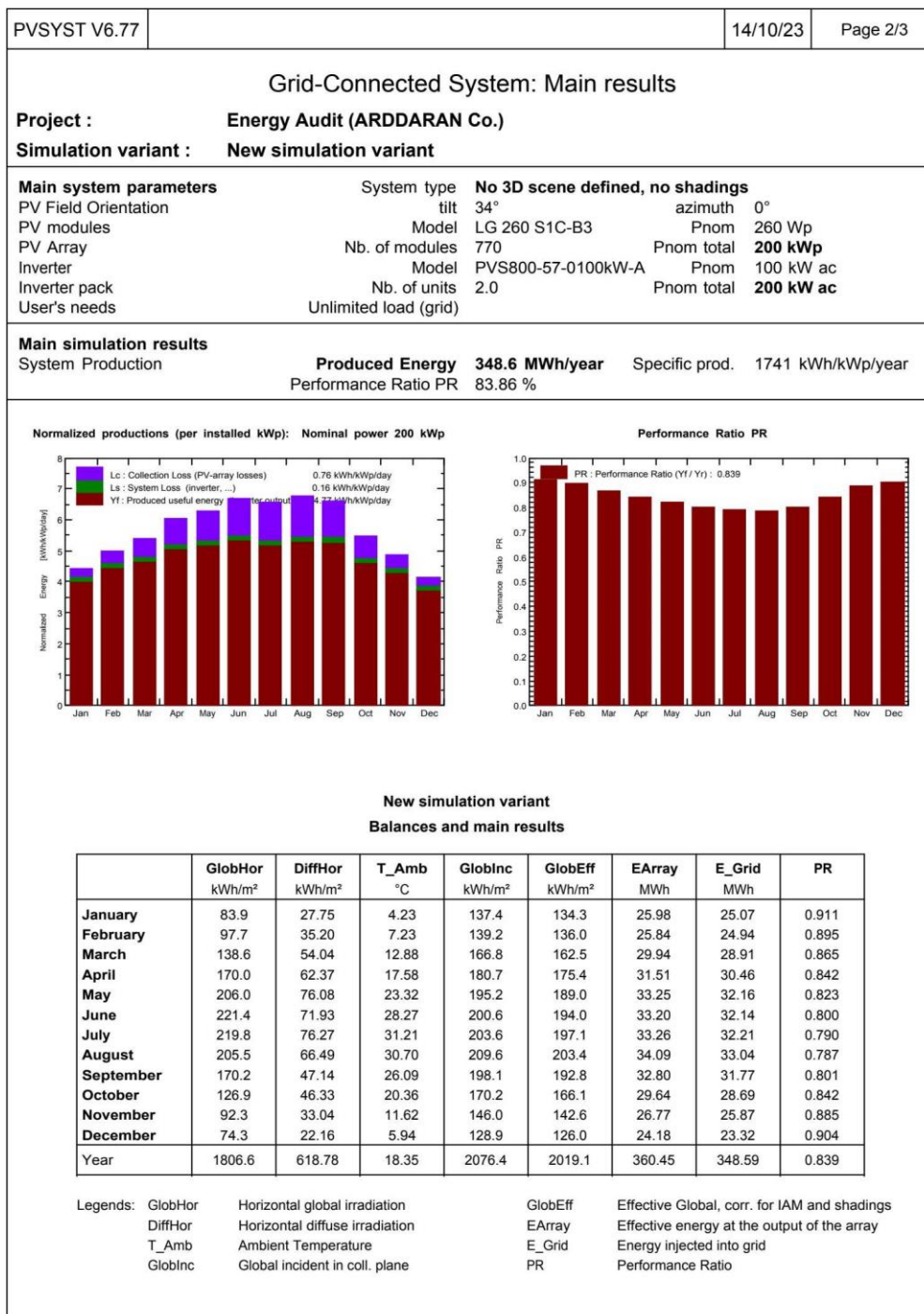
وسایل پیچیده‌ای بوده و گران قیمت هستند با این حال می‌توانند به راحتی به موتورهای القایی AC استاندارد اضافه شوند. با هزینه تجهیزات کمتر و هزینه‌های الکتریکی بیشتر (با کاهش هزینه تجهیزات و افزایش هزینه‌های الکتریکی) کاربرد این وسایل در اغلب موارد اقتصادی می‌شود. بسیاری از انواع پمپ‌ها، فن‌ها، میکسرها، نقاله‌ها، خشک کننده‌ها، خرد کننده‌ها، آسیاب‌ها، صافی‌ها و برخی انواع کمپرسورها، دمنده‌ها و همزن‌ها در سرعت‌های مختلف با وسایل تنظیم سرعت کار می‌کنند. تجهیزات مجهز به تنظیم سرعت کمتر از نصف تجهیزات مجهز به مسدود کننده، انرژی مصرف می‌کنند. در عمل باید برای محاسبه دقیق صرفه‌جویی حاصل براساس کیلووات بازده موتور هم در نظر گرفته شود. بازده موتور تا زیر ۵۰ درصد ظرفیت نامی افت می‌کند.

سناریوی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در شرکت آردداران (نیروگاه خورشیدی)

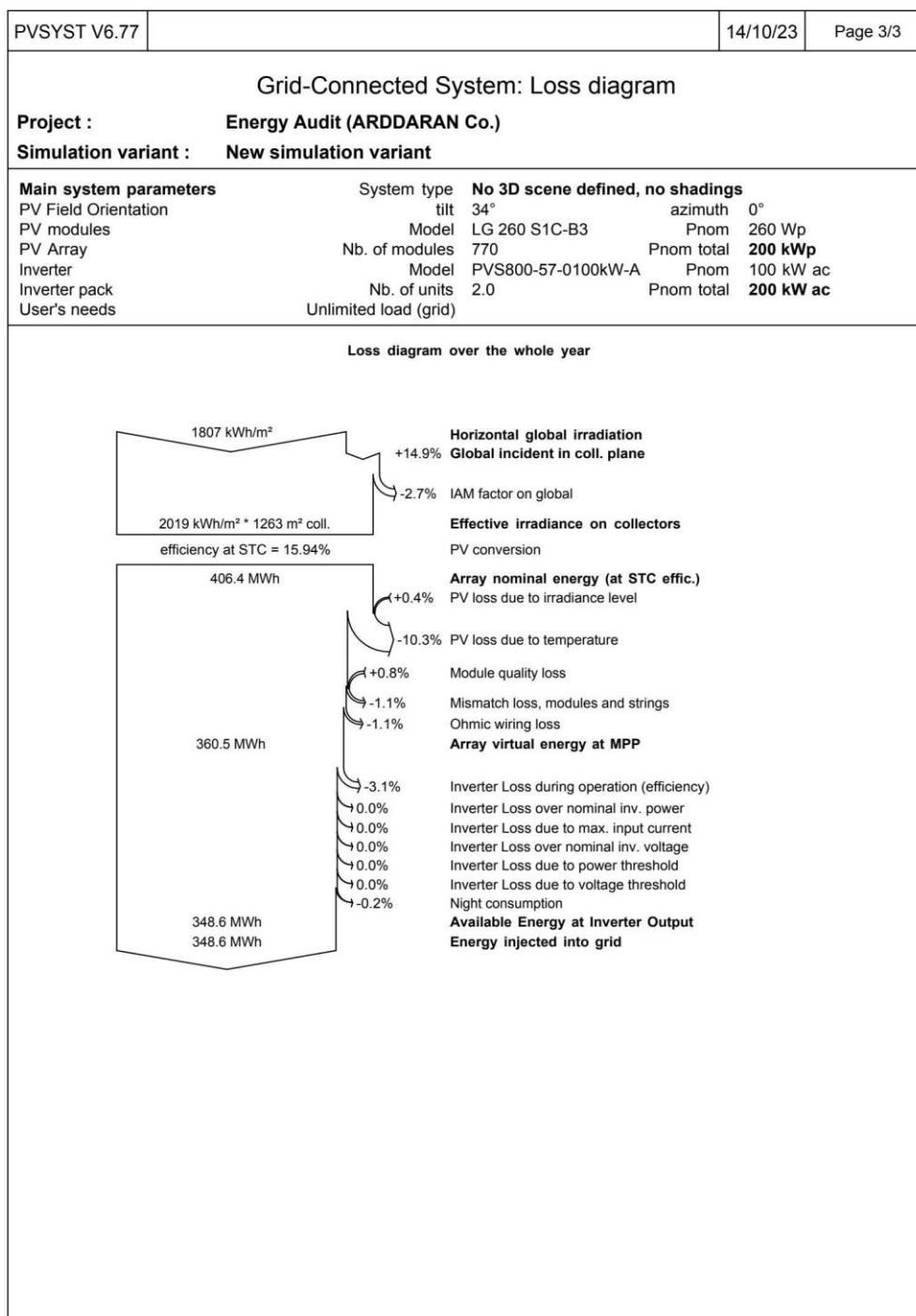
اگرچه طرح استفاده از نیروگاه انرژی تجدیدپذیر به عنوان یک سناریوی بهبود در حوزه مدیریت انرژی به حساب نمی‌آید لیکن اثرات زیست محیطی و فرهنگی آن می‌تواند حائز اهمیت باشد. با توجه به بازدید میدانی و فضای قابل توجه در محوطه به منظور استفاده از انرژی خورشیدی، در این گزارش براساس طول و عرض جغرافیایی محل سایت شرکت آردداران، یک ارزیابی کلی از میزان تابش و انرژی قابل استحصال از یک نیروگاه خورشیدی ۲۰۰ کیلوواتی ارائه شده است. نیروگاه‌های خورشیدی به دو نوع عمده متصل به شبکه و منفصل از شبکه توزیع تقسیم می‌شوند. یک نیروگاه متصل به شبکه توزیع قادر به تولید برق در ساعات آفتابی است که با پشتیبانی شبکه در صورت ابری یا تاریک بودن هوا، برق از جانب شبکه تامین می‌گردد. اما یک نیروگاه منفصل از شبکه قادر تولید برق در طول روز بوده و مازاد تولید خود را در یک باتری ذخیره نموده تا در طول شب از انرژی ذخیره شده در باتری نیز استفاده نماید و تعداد ساعات پشتیبانی باتری منجر به انتخاب نوع و تعداد باتری خواهد شد. به دلیل دسترسی به برق شبکه در شرکت، و همچنین صرف برآورد کلی نیروگاه متصل به شبکه بررسی گردید. یک نیروگاه متصل به شبکه از اجزای اصلی نظیر پنل فوتوولتائیک، اینورتر و سیستم مانیتورینگ جهت کنترل تشکیل می‌گردد. براساس اطلاعات جغرافیایی و همچنین با فرض عدم وجود محدودیت فضایی، یک نیروگاه ۲۰۰ کیلوواتی خورشیدی انتخاب و با استفاده از جدیدترین ورژن نرم افزار PV SYST طراحی شد. نتایج مدل سازی نیروگاه خورشیدی به شرح زیر می‌باشد:

PVSYST V6.77				14/10/23	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters					
Project : Energy Audit (ARDDARAN Co.)					
Geographical Site		Tehran	Country	Iran	
Situation		Latitude	36.00° N	Longitude	51.48° E
Time defined as		Legal Time	Time zone UT+3.5	Altitude	1189 m
		Albedo	0.20		
Meteo data:		Tehran	Meteonorm 7.2 (1985-1998) - Synthetic		
Simulation variant : New simulation variant					
		Simulation date	14/10/23 16h09		
Simulation parameters		System type	No 3D scene defined, no shadings		
Collector Plane Orientation		Tilt	34°	Azimuth	0°
Models used		Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		No Shadings			
User's needs :		Unlimited load (grid)			
PV Array Characteristics					
PV module		Si-mono	Model	LG 260 S1C-B3	
Original PVsyst database			Manufacturer	LG Electronics	
Number of PV modules			In series	22 modules	
Total number of PV modules			Nb. modules	In parallel	35 strings
Array global power			Nominal (STC)	Unit Nom. Power	260 Wp
Array operating characteristics (50°C)			U mpp	At operating cond.	180 kWp (50°C)
Total area			Module area	I mpp	300 A
				Cell area	1104 m²
Inverter					
Original PVsyst database			Model	PVS800-57-0100kW-A	
Characteristics			Manufacturer	ABB	
Inverter pack			Operating Voltage	Unit Nom. Power	100 kWac
			Nb. of inverters	Total Power	200 kWac
				Pnom ratio	1.00
PV Array loss factors					
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	34 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss				Loss Fraction	0.10 %
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

شکل ۱۳ - نتیجه طراحی و شبیه سازی استفاده از نیروگاه خورشیدی در شرکت آرداران (بخش اول)



شکل ۱۴ - نتیجه طراحی و شبیه سازی استفاده از نیروگاه خورشیدی در شرکت آرداران (بخش دوم)



شکل ۱۵ - نتیجه طراحی و شبیه سازی استفاده از نیروگاه خورشیدی (بخش سوم)

سناریوی راندمان سنجی فن جت ها و فن های سیلوی موجود

با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از استفاده‌های انرژی شرکت آرداران از نوع فن جت در بخش تولید و فن‌های هوادهی سیلو است، توصیه می‌شود عملکرد انرژی براساس توصیه‌های استاندارد ISO 5801 انجام شود و این عملکرد به عنوان یک الزام استاندارد ISO 50001 در نظر گرفته شود.

به عنوان یک قاعده کلی در رابطه با فن‌ها می‌توان بیان کرد که:

- ۱- با افزایش یا کاهش ۱ درصدی در سرعت چرخش موتور فن، شدت جریان هوا در خروجی به میزان ۱۰ درصد کاهش یا افزایش می‌یابد.
- ۲- با کاهش ده درصدی در سرعت چرخش موتور فن، فشار استاتیک هوای خروجی از فن در حدود ۱۹ درصد کاهش می‌یابد در صورتیکه با افزایش سرعت چرخش موتور به میزان ۱۰ درصد فشار استاتیک هوای خروجی به میزان ۲۱ درصد افزایش می‌یابد.
- ۳- با کاهش ۱۰ درصدی در سرعت چرخش موتور فن، میزان انرژی مصرفی در حدود ۲۷ درصد کاهش می‌یابد و در صورتیکه با افزایش ۱۰ درصدی در سرعت چرخش موتور فن، انرژی مصرفی موتور به میزان ۳۳ درصد افزایش خواهد داشت.

۵. آنالیز اقتصادی

با توجه به سناریوها و پیشنهادات ارائه شده به منظور بهبود عملکرد انرژی، از نقطه نظر اقتصادی بررسی و تحلیل می‌شوند تا الویت اجرای آن مشخص گردد. بنابراین هر راهکار ارائه شده براساس دو پارامتر ((هزینه اولیه سرمایه گذاری)) و ((نرخ بازگشت سرمایه)) تحلیل شده است. نتایج حاصل در جدول زیر ارائه شده که مطابق با این بررسی مقدار هزینه سرمایه گذاری در سه بازه ((بدون هزینه))، ((کم هزینه)) و ((پر هزینه)) طبقه بندی می‌شود. همچنین دوره بازگشت سرمایه به صورت بازه‌ای در ستون مشخص شده است.

جدول ۲ - تحلیل اقتصادی سناریوها و راهکارهای پیشنهادی

ردیف	عنوان راهکار	هزینه سرمایه گذاری	دوره بازگشت سرمایه
1	سناریوی اصلاح و افزایش سطح ولتاژ تابلوهای اصلی و توزیع الکتریکی	بدون هزینه	1-
2	سناریوی کاهش هارمونیک های جریان و ولتاژ در تابلوهای توزیع	بدون هزینه	-
3	سناریوی تعویض کامل لامپ‌ها با نمونه‌های LED	هزینه متوسط	۲ - ۵ سال
4	استفاده از انرژی تجدید پذیر	پر هزینه	بیش از ۵ سال
5	سناریوی استفاده از درایوهای تنظیم سرعت	هزینه متوسط	۲ - ۵ سال
6	سناریوی راندمان سنجی فن جت ها و فن‌های سیلوهای موجود	بدون هزینه	-
۱- در مواردی که هزینه سرمایه گذاری ((بدون هزینه)) برآورد شده، محاسبه نرخ بازگشت سرمایه بی معنی است			

۶. آنالیز SWOT (نقاط قوت، ضعفها، فرصت ها و تهدیدها)

جدول ۳ - آنالیز SWOT

• توجه به فرهنگ مصرف بهینه انرژی • اثرات محدود زیست محیطی محصولات شرکت • حمایت مدیریت از بهبود عملکرد انرژی
• پایین بودن سطح همکاری سایر واحدها با واحد مدیریت انرژی • ضعف در تایید فرصت های بهبود عملکرد انرژی • عدم کارآمدی سیستم انگیزشی در جهت جلب مشارکت پرسنل در حوزه مدیریت انرژی
• دسترسی به تکنولوژی و دانش فنی روز دنیا • بهره مندی از شرکت های مشاور در حوزه انرژی • همکاری با دانشگاه ها و موسسات علمی
• عدم امکان دریافت تجهیزات و قطعات با توجه به وجود تحریم ها • افزایش قیمت حامل انرژی • بروز شرایط جوی علی الخصوص گرد و غبار هوا در سازمان

۶. مراجع

1. <https://www.mehrnews.com/news/6578769/%D8%B4%D8%AF%D8%AA-%D9%85%D8%B5%D8%B1%D9%81-%D8%A7%D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C-%D8%AF%D8%B1-%D8%AF%D9%86%DB%8C%D8%A7-%D9%BE%D8%A7%DB%8C%DB%8C%D9%86-%D8%A2%D9%85%D8%AF-%D8%AF%D8%B1-%D8%A7%DB%8C%D8%B1%D8%A7%D9%86-%DB%B7%DB%B5-%D8%AF%D8%B1%D8%B5%D8%AF-%D8%A8%D8%A7%D9%84%D8%A7-%D8%B1%D9%81%D8%AA>
2. ISO 50002-1. (2025), "part 1: General Requirements With Guidance for Use. International Organization Standardization".
3. IEC 60364-5 – 52 Annex G. (2009), "Low Voltage Electrical Installation – Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipement – Wiring Systems".
4. IEEE 519. (2022), "IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems".