پنجمین کنفرانس ملی نیروگاه‌های بـرق
اهواز : ۲۵-۲۴ بهمن۱۳۹۱

آنالیز کیفیت توان نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه، مورد مطالعه: نیروگاه 20kW دانشگاه شهید چمران اهواز

علی سفیدگر دزفولی[۱] محمود جورابیان[۱] محسن ارفاق[۲] صادق امانی‌بنی[۳]

۱- دانشگاه شهید چمران اهواز، گروه برق قدرت
۲- شرکت برق منطقه‌ای استان خوزستان، دفتر مدیریت انرژی
۳- دانشگاه تربیت مدرس تهران، گروه برق قدرت

چکیده:

یکی از مهمترین منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی است، اما یکی از دغدغه های استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی در سطح ولتاژ پایین، که معمولا متصل به مصرف کننده‌های خانگی، اداری و یا صنعتی کوچک هستند، مناسب بودن پارامترهای کیفیت توان است. در صورت مناسب نبودن کیفیت توان، ممکن است به مصرف کننده‌های متصل به نیروگاه آسیب بزند، که اثر این آسیب‌ها ممکن است در کوتاه مدت نمایان شود یا بلند مدت. از طرفی آنالیز کیفیت توان منابع انرژی‌های نو به طور کلی از لوازم مسیر توسعه این منابع است. لذا در این مقاله به بررسی کیفیت توان نیروگاه خورشیدی می‌پردازیم. نیروگاه مورد مطالعه، نیروگاه 20kW دانشگاه شهید چمران اهواز است که از نوع متصل به شبکه می‌باشد.

واژه های کلیدی: نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه، کیفیت توان، مولفه هارمونیکی، نیروگاه 20kW دانشگاه شهید چمران اهواز

۱- مقدمه

امروزه باتوجه به نیاز روز افزون جهان به انرژی و همچنین باتوجه به محدود بودن منابع انرژی فسیلی و همچنین ایجاد آلودگی گسترده توسط این منابع، ضرورت استفاده از منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر به امری انکارناپذیر مبدل گشته است. یکی از مهمترین منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی است، اما یکی از دغدغه های استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی در سطح ولتاژ پایین، که معمولا متصل به مصرف کننده‌های خانگی، اداری و یا صنعتی کوچک هستند، مناسب بودن پارامترهای کیفیت توان است. در صورت مناسب نبودن کیفیت توان، ممکن است به مصرف کننده-های متصل به نیروگاه آسیب بزند، که اثر این آسیب‌ها ممکن است در کوتاه مدت نمایان شود یا بلند مدت. البته در این میان نقش اینورتر بسیار مهم و تاثیر گذار بر کیفیت توان می‌باشد لذا باید نوع، جنس و حتی شرکت سازنده اینورتر موردتوجه قرار گیرد. در این بررسی پارامترهای کیفیت توان نیروگاه نمونه به مدت یک هفته اندازه‌گیری شده‌اند و هدف این بررسی دست‌یابی به اطلاعات واقعی درمورد کیفیت توان یک نیروگاه خورشیدی ظرفیت پایین از نوع متصل به شبکه(Grid Connected) واقعی است، این اطلاعات آنالیز شده و با استانداردهای مربوطه مقایسه میشوند، و همچنین در پایان نیز نتیجه میشود که نیروگاه‌های خورشیدی علاوه بر مزایای زیادی که دارند، اگر از اینورتر مناسبی استفاده شود، ازنظر کیفیت توان هم در سطح بسیار قابل قبولی هستند بلکه کیفیت توان شبکه را نیز می‌توانند بهبود دهند. نیروگاه مورد مطالعه، نیروگاه 20kW دانشگاه شهید چمران اهواز است که از نوع متصل به شبکه می‌باشد.

۲- استفاده از انرژی خورشیدی

به طور متوسط خورشید در هر ثانیه $۱.۱*۱۰^{۲۰}$ کیلووات ساعت انرژی ساطع می‌کند. از کل انرژی منتشر شده توسط خورشید، تنها در حدود ۴۷٪ آن به سطح زمین می‌رسد. این بدان معنی است که زمین در هر ساعت تابشی در حدود ۶۰ میلیون Btu دریافت می‌کند.یعنی انرژی ناشی از سه روز تابش خورشید به زمین برابر با تمام انرژی ناشی از احتراق کل سوخت‌های فسیلی در دل زمین است و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در اثر تابش خورشید به مدت چهل روز، می‌توان انرژی مورد نیاز یک قرن را ذخیره نمود. بنابراین با به کارگیری کلکتورهای خورشیدی می‌توان تا حدودی از این منبع انرژی بی‌پایان، پاک و رایگان استفاده کرد و تا حد بسیار زیادی در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه جویی نمود.

موقعیت کشور ایران از نظرمیزان دریافت انرژی خورشیدی

کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار گرفته است و در منطقه‌ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد. میزان تابش خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده شده است که البته بالاتر از میزان متوسط جهانی است. در ایران به طور متوسط سالیانه بیش از ۲۸۰ روزآفتابی گزارش شده است که بسیار قابل توجه است.

ویژگی‌های استفاده از انرژی خورشیدی:

۱. پاک و بدون آلودگی (حذف انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسید کربن)
۲. امن و بی‌خطر
۳. بی‌پایان
۴. رایگان و دردسترس
۵. کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی

نیروگاه های تولید برق که از انرژی خورشید استفاده می‌کنند در دو گروه قرار می گیرند:

۱- غیر مستقیم (استفاده از کلکتورها برای تولید حرارت و سپس از انرژی بخار برای به حرکت درآوردن توربین ها) : معمولا از این روش در نیروگاه های ظرفیت بالا استفاده می شود اما نیاز به اپراتور با دانش فنی بالا دارد و در مناطق دور افتاده که سطح آموزش فنی نیروهای محلی پایین است ، توصیه نمی شود .

۲- مستقیم (استفاده از انرژی فوتون های خورشید برای تحریک سلول های فتو ولتاییک)

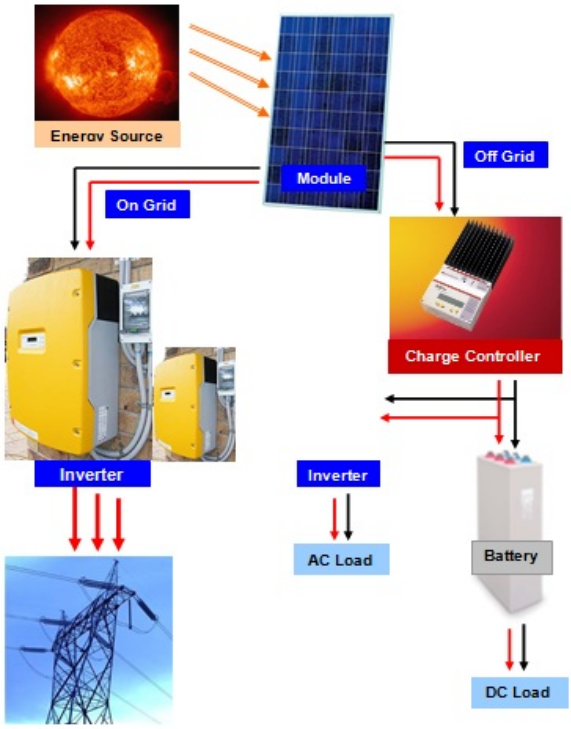
این روش در کلیه مناطق قابل استفاده است و کاربرد آن مخصوصا در مناطقی که به برق شبکه دسترسی ندارند توصیه می شود .

نیروگاه های برق فتوولتاییک بر دو دسته‌اند:

الف: متصل به شبکه: نیروگاه های متصل به شبکه (Grid Connected) بدون نیاز به باتری خانه ، در طول روز از انرژی خورشید استفاده کرده و برق DC تولیدی خود را به کمک Inverter به برق AC تبدیل کرده و به شبکه تزریق می کنند . این نیروگاه در کشورهایی که یارانه برق مصرفی ندارند از نظر اقتصادی بسیار به صرفه است .

ب: نیروگاه های مستقل از شبکه (Stand – Alone): کاربرد این نیروگاه ها در تامین برق مناطق دورافتاده ای است که به برق شبکه دسترسی ندارند و تامین برق آنها از طریق شبکه بسیار هزینه‌بر است .این نیروگاه‌ها دارای اجزا اصلی به شرح ذیل هستند:

۱- ماژول (تولید انرژی)
۲- شارژ کنترلر (تثبیت ولتاژ و جریان)
۳- باتری (ذخیره انرژی)
۴- اینورتر (تبدیل DC به AC - فقط در مواقعی که مصرف کننده AC وجود دارد)



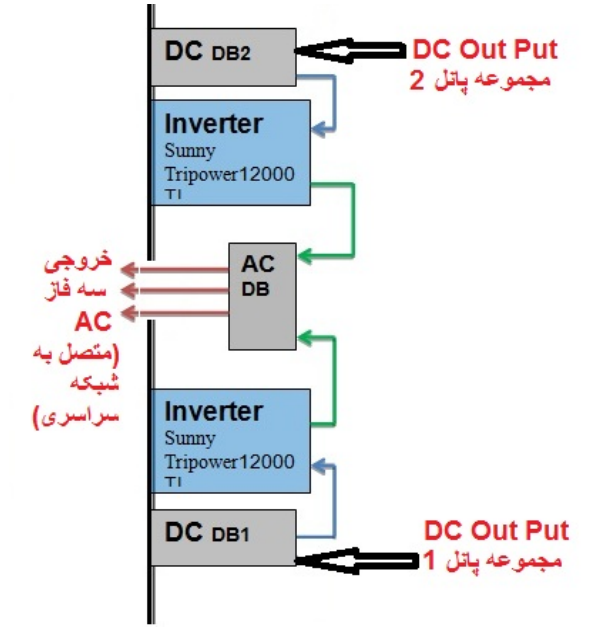
شکل ۱: نمایش شماتیک نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه و مستقل از شبکه

۳- نگاهی گذرا بر نیروگاه خورشیدی 20kW دانشگاه شهید چمران اهواز

این نیروگاه که نمایی از آن در شکل ۲ قابل مشاهده است، با حمایت معاونت تحقیقات و فناوری ریاست جمهوری و توسط دانشگاه شهید چمران در بهمن ماه سال ۱۳۹۰ راه‌اندازی شده است و تاکنون بیش از ۱۲مگاوات ساعت انرژی پاک تولید کرده است که این انرژی مستقیما به شبکه برق دانشکده مهندسی دانشگاه شهید چمران اهواز تزریق شده است و تولید ادامه دارد.

شکل ۲: نمایی از نیروگاه خورشیدی **20kW** دانشگاه شهید چمران اهواز

این نیروگاه از ۱۱۰ عدد آرایه فتوولتاییک تشکیل شده است که به دو گروه ۵۵ تایی تقسیم میشوند که هر گروه از ۵ دسته موازی که هرکدام شامل ۱۱ مدول سری است تشکیل میشود. همانطور که در شکل ۳ مشاهده میشود، ابتدا خروجی DC هر گروه وارد تابلو برق‌های (DBهای) مربوطه میشود و از آنجا وارد اینورتر شده و خروجی اینورترها نیز وارد تابلو برق AC میشوند و خروجی نهایی به شبکه سراسری متصل میشود. اطلاعات اینورترها و آرایه‌ها در ضمیمه آمده است.



شکل ۳: نحوه اتصال خروجی آرایه‌ها به اینورترها

اطلاعات محیطی توسط سیستمی بنام sunny sensor box دریافت میشوند. این سیستم شامل ۴ سنسور شدت تابش، رطوبت، دمای پنل و سرعت باد است که این اطلاعات

به همراه میزان تولید و تغییرات آن، از طریق کابل به شبکه داخلی دانشکده مهندسی منتقل شده و در اختیار اساتید و دانشجویان قرار می گیرند.

سازه این نیروگاه، اولا به عنوان استراکچر پنل ها و ثانیا به عنوان پارکینگ، ایفای نقش می نماید. این پارکینگ ظرفیت ۹ دستگاه خودرو را داشته و از روشنایی کافی در شب برخوردار است. این سازه دارای فونداسیون بتون مسلح و اجزای فلزی با قابلیت مقاومت در مقابل توفان با سرعت ۱۳۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. سقف این سازه جهت افزایش راندمان نیروگاه خورشیدی، در راستای شمالی جنوبی و از زاویه ۸ تا ۵۵ درجه قابلیت حرکت را دارد. ۳۸ پنل ردیف جنوبی و ۱۷ پنل شرقی ردیف وسط ، هر کدام با یک جک ، به یک اینورتر وصل بوده و دارای حرکت یکسان هستند. ۳۸ پنل ردیف شمالی و۱۷ پنل غربی ردیف وسط ، هر کدام با یک جک ، به اینورتر دوم وصل بوده و دارای حرکت یکسان هستند. تفکیک حرکت دو مجموعه به جهت پروژه های تحقیقاتی آتی صورت گرفته است .

۴- کیفیت توان در نیروگاه‌های خورشیدی

چنانچه نیروگاه‌های محلی به صورت متصل به شبکه سراسری کار کنند، علاوه بر تامین بخشی از بار، اثرات مختلفی بر شبکه خواهند گذاشت که یکی از آنها بهبود مسائل و مشکلات کیفیت توان شبکه سراسری می‌باشد. تقریبا ۷۰ تا ۸۰ درصد مسائل مرتبط با کیفیت توان را می-توان به سیم‌کشی و اتصالات نامناسب نسبت داد[1]. اغتشاشات فرکانس تولیدی، پارازیت های الکترومغناطیسی، حالات گذرا، هارمونیک‌ها و ضریب توان پایین و دیگر مسائل کیفیت توان که به منبع تغذیه و نوع بار بستگی دارند در [2] آمده‌اند. در میان این موارد مسائل هارمونیک‌ها مهم‌تر هستند، تاثیرات هارمونیک‌ها بر کیفیت توان به طور ویژه در [3] آمده است. طبق استاندارد IEEE، هارمونیک‌ها از دو جنبه مورد بررسی قرار میگیرند، جنبه اول محدوده هارمونیک جریانی است که از طرف بار به تولیدکننده تحمیل میشود و محدوده دوم، هارمونیک ولتاژی است که تولیدکننده باید به مشتریان تحویل بدهد، جزئیات بیشتر در این زمینه در [4] آمده‌است. همچنین استانداردهای مربوط به اتصال منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن مسائل کیفیت توان، حفظت و پایداری در در [5] آمده‌است.

اگرچه خروجی آرایه های خورشیدی به میزان تابش و دما بستگی دارد اما کیفیت توان نه تنها به میزان تابش و دما بستگی دارد بلکه به عملکرد اینورتر، نوع آرایه‌ها، فیلترها و مکانیزم‌های کنترلی و نوع بار نیز بستگی دارد. مثلا مطالعات انجام شده در [6] نشان می‌دهد که وقتی که یک بار بزرگ از مدار خارج شود، پدیده بیشبود ولتاژ (Voltage Swell) اتفاق می‌افتد.

در کل کیفیت توان در حضور تولیدات پراکنده مواردی همچون افت ولتاژ، نوسان ولتاژ، هارمونیک‌ها و عدم تعادل را دربر می‌گیرد:

- ✓ نوسانات ولتاژ ناشی از تولیدات پراکنده به دلیل وابستگی این منابع به زمان و شرایط اقلیمی رخ می‌دهد.
- ✓ هارمونیک‌های ناشی از منابع تولیدات پراکنده نتیجه استفاده از ادوات الکترونیک قدرت مورد استفاده جهت اتصال این منابع به شبکه ایجاد می‌شوند.
- ✓ افت ولتاژ به دلایلی همچون استارت موتور، اتصال کوتاه و انفصال بخشی از منابع از شبکه روی می‌دهد.
- ✓ عدم تعادل در نتیجه اتصال منابع تکفاز به شبکه سه فاز رخ می‌دهد. به عنوان مثال اتصال منابع فتوولتاییک تک‌فاز به شبکه‌های توزیع سبب ایجاد عدم تعادل می-شود.

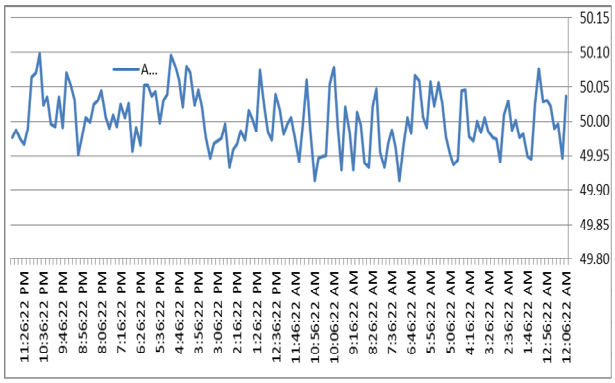
۵- بررسی و آنالیز نتایج اندازه‌گیری شده

اندازه گیری‌ها به مدت یک هفته، از ساعت ۱۲ ظهر روز ۲۰۱۲/۱۰/۷ لغایت ساعت ۱۲ ظهر روز ۲۰۱۲/۱۰/۱۴ ، بوسیله دستگاه PQ Analyzer مدل HIOKI، ثبت شده‌اند.

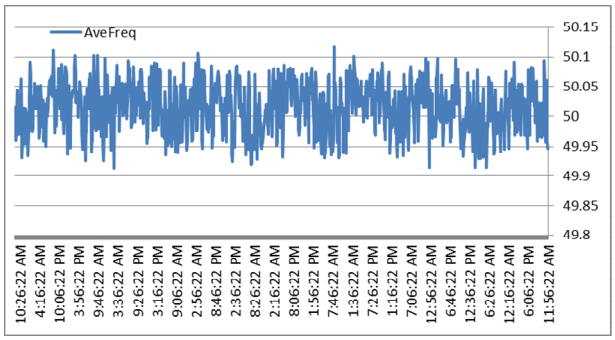
۵-۱- فرکانس

همانطور که از شکل‌های ۴.الف و ۴.ب مشخص است، اگرچه فرکانس خروجی نیروگاه دارای نوسان است ولی حداکثر به

اندازه یک‌دهم از فرکانس پایه ۵۰ هرتز منحرف میشود که بسیار خوب و قابل قبول می‌باشد. طبق استاندارد این انحراف تا سه دهم هم می‌تواند باشد.



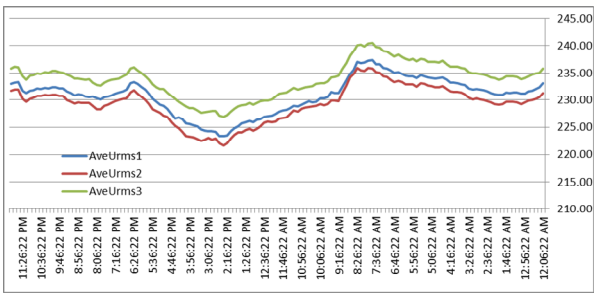
شکل ۴ .الف : فرکانس در مدت یک روز



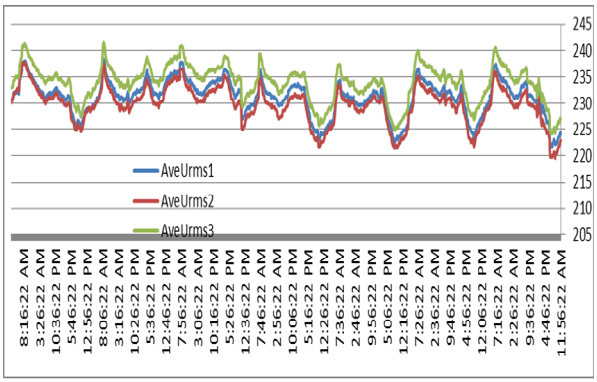
شکل ۴.ب : فرکانس در مدت یک هفته

۵-۲- ولتاژ موثر

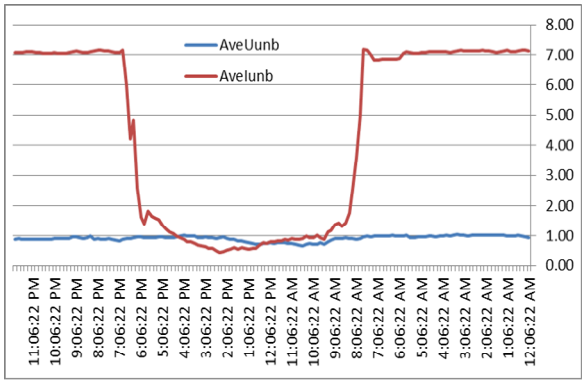
ولتاژ خروجی نیروگاه سه فاز است و از پارامترهای کیفیت توان، یکسان بودن ولتاژ و جریان فازهای مختلف می‌باشد که این اختلاف را با معیاری به نام "آنبالانسی" هم بیان می‌کنند. همانطور که از شکل‌های ۵.الف، ۵.ب و ۵.ج مشخص است، ولتاژ فازهای مختلف الگوی مشابهی را طی می‌کنند و همچنین اختلاف هردو فاز با یکدیگر همواره کمتر از ۳ ولت می‌باشد که در حدود یک درصد از ۲۳۰ ولت است و بسیار قابل قبول است، در شکل ۵.ج نیز این موضوع تصدیق میشود و در ساعاتی که نیروگاه انرژی تولید می‌کند آنبالانسی ولتاژ برابر ۱ درصد است. در ضمن در ساعاتی که نیروگاه تولید ندارد مقدار نشان داده شده مربوط به شبکه برق سراسری می‌باشد که در حدود ۷ درصد می‌باشد.



شکل ۵.الف: ولتاژ موثر خروجی برای یک روز



شکل ۵.ب: ولتاژ موثر خروجی برای یک هفته

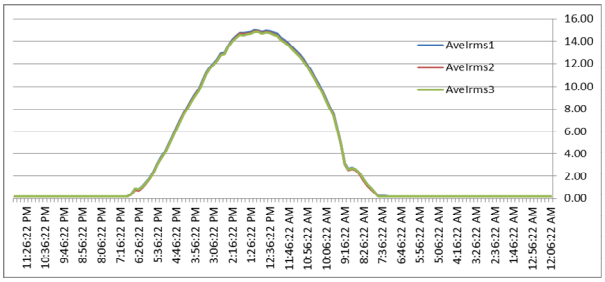


شکل ۵.ج : ولتاژ و جریان آنبالانسی

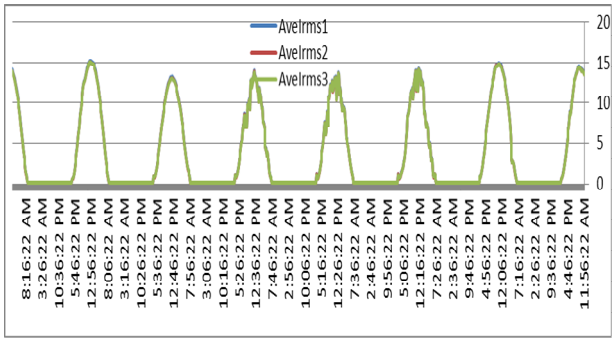
۵-۳- جریان موثر

جریان خروجی نیروگاه مستقیما متاثر از شدت تابش خورشید و همچنین دمای آرایه‌ها است لذا در ساعاتی که شدت تابش بیشتر است میزان جریان و در نتیجه توان خروجی بیشینه است مثلا در روز ۲۰۱۲/۱۰/۸ که در شکل ۶.الف قابل مشاهده است، در ساعت یک و نیم بعد از ظهر بیشینه جریان خروجی حاصل می‌شود. اما نکته قابل توجه این است که تشابه زیاد مقدار جریان در فازهای مختلف است

و تقریبا می‌توان گفت که هر سه فاز جریان‌های یکسانی دارند.



شکل ۶.الف: جریان موثر خروجی برای یک روز

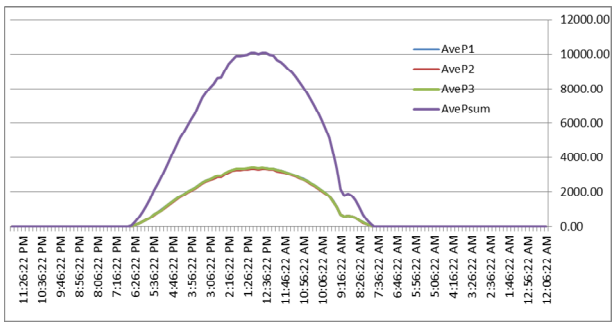


شکل ۶.ب: جریان موثر خروجی برای یک هفته

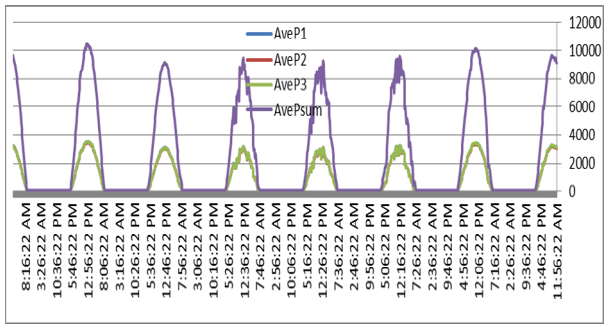
۵-۴- توان اکتیو، راکتیو و ضریب توان

هدف اصلی نیروگاه خورشیدی تولید انرژی پاک می‌باشد، با توجه به اینکه ولتاژ خروجی نیروگاه DC است (و البته ازطریق اینورتر به AC تبدیل می‌شود) انتظار میرود که فقط توان اکتیو تولید کند و البته در عمل هم تقریبا همینگونه است و همانطور که در شکل ۹ مشخص است در ساعات تولید، ضریب توان تقریبا برابر با یک است. از شکل ۷.الف و ۷.ب برداشت می‌شود که میزان توان تولیدی فازهای مختلف در تمام ساعات تولید یکسان است، همچنین مجموع توان سه فاز هم نشان‌داده شده است.

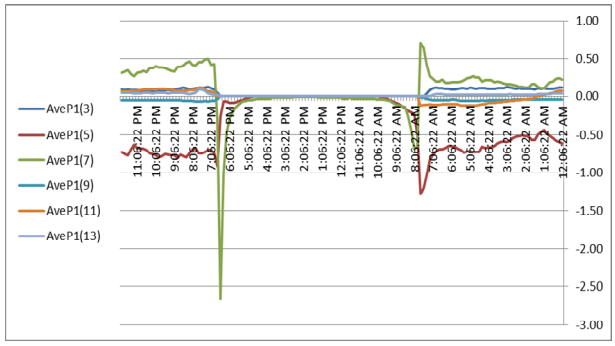
در شکل ۷.ج هارمونیک‌های توان اکتیو آمده‌اند که بیانگر حضور ناچیز و کمرنگ مولفه‌های هارمونیکی در توان اکتیو در ساعات تولید هستند.



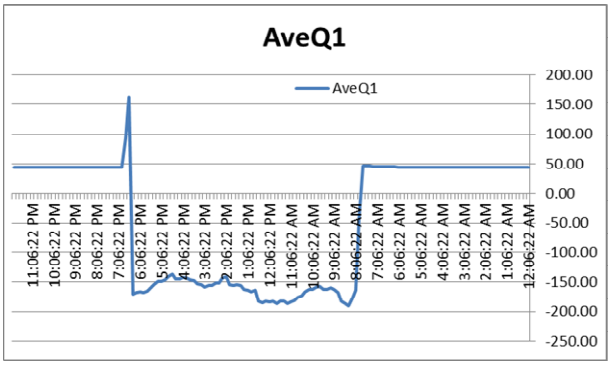
شکل ۷.الف: توان اکتیو خروجی برای یک روز



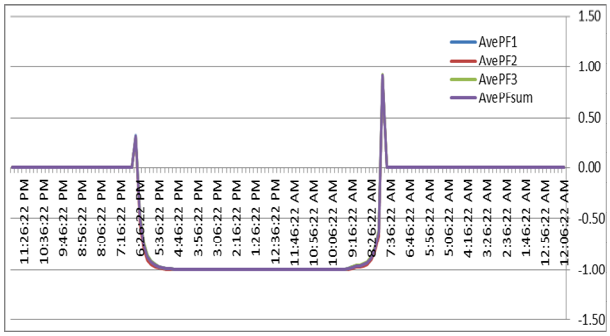
شکل ۷.ب: توان اکتیو خروجی برای یک هفته



شکل ۷.ج: مقدار متوسط هارمونیک‌های فرد توان اکتیو برای یک روز



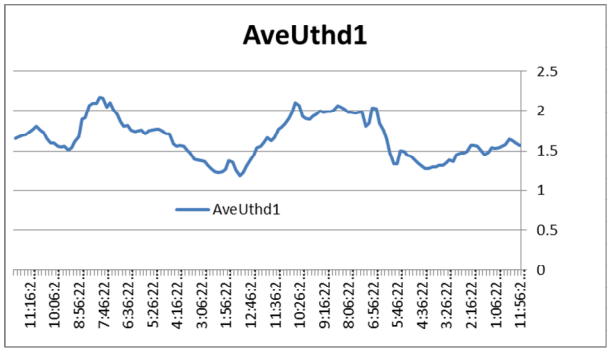
شکل ۸: توان راکتیو نیروگاه برای یک روز



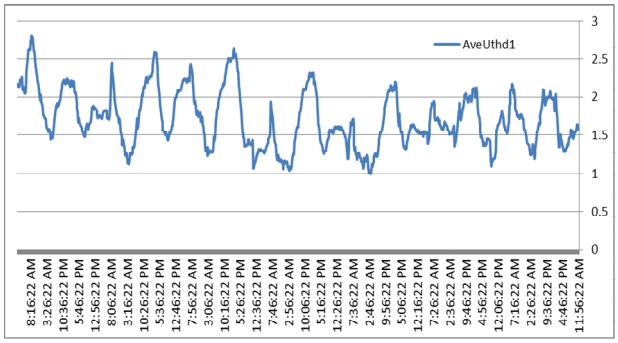
شکل ۹: ضریب توان برای یک روز

۵-۵- هارمونیک های ولتاژ

ابتدا به بررسی ضریب اعوجاج هارمونیکی (THD) میپردازیم، همانطور که در شکل ۹.الف و ۹.ب مشخص است، مقدار متوسط THD برای فاز اول همواره بین ۱ تا ۲.۵ در صد است و باتوجه به اینکه طبق استاندارد، تا ۵ درصد هم قابل قبول است لذا نیروگاه از نظر THD در وضعیت بسیار مناسبی می‌باشد.

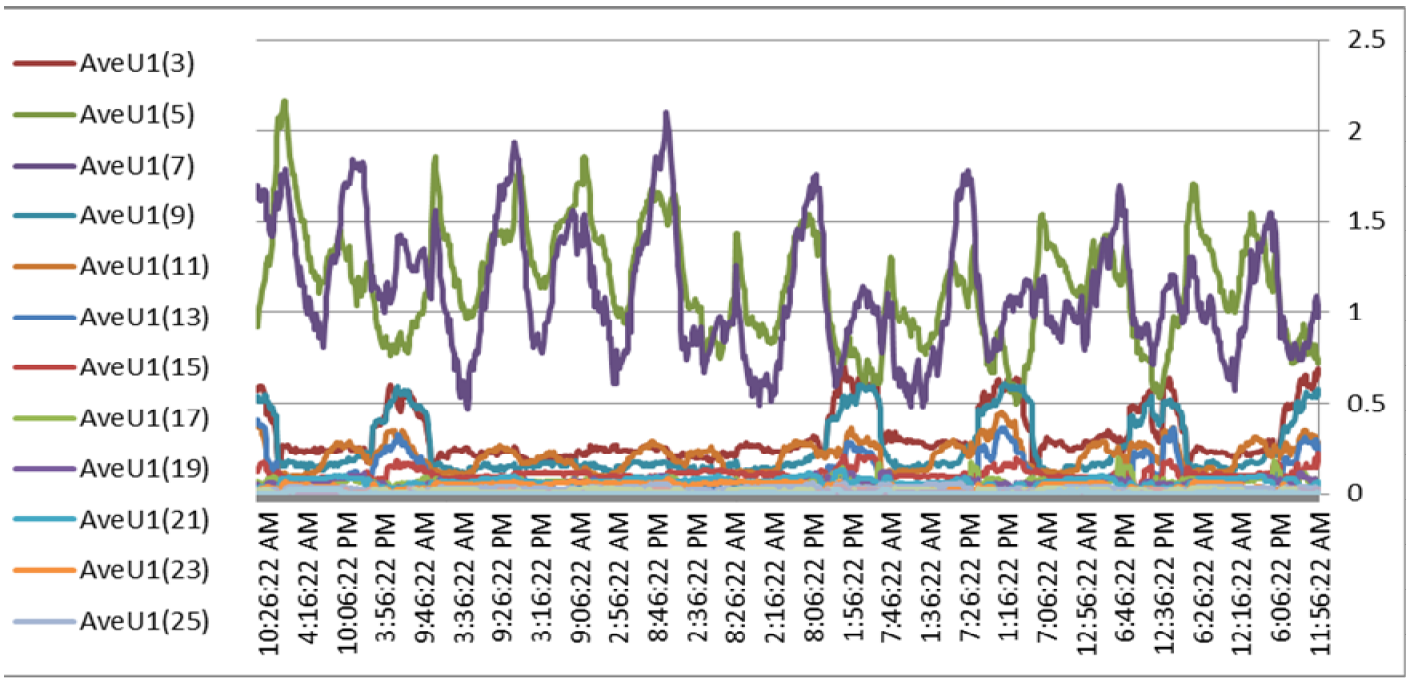


شکل ۹.الف: **THD** ولتاژ فاز اول برای یک روز

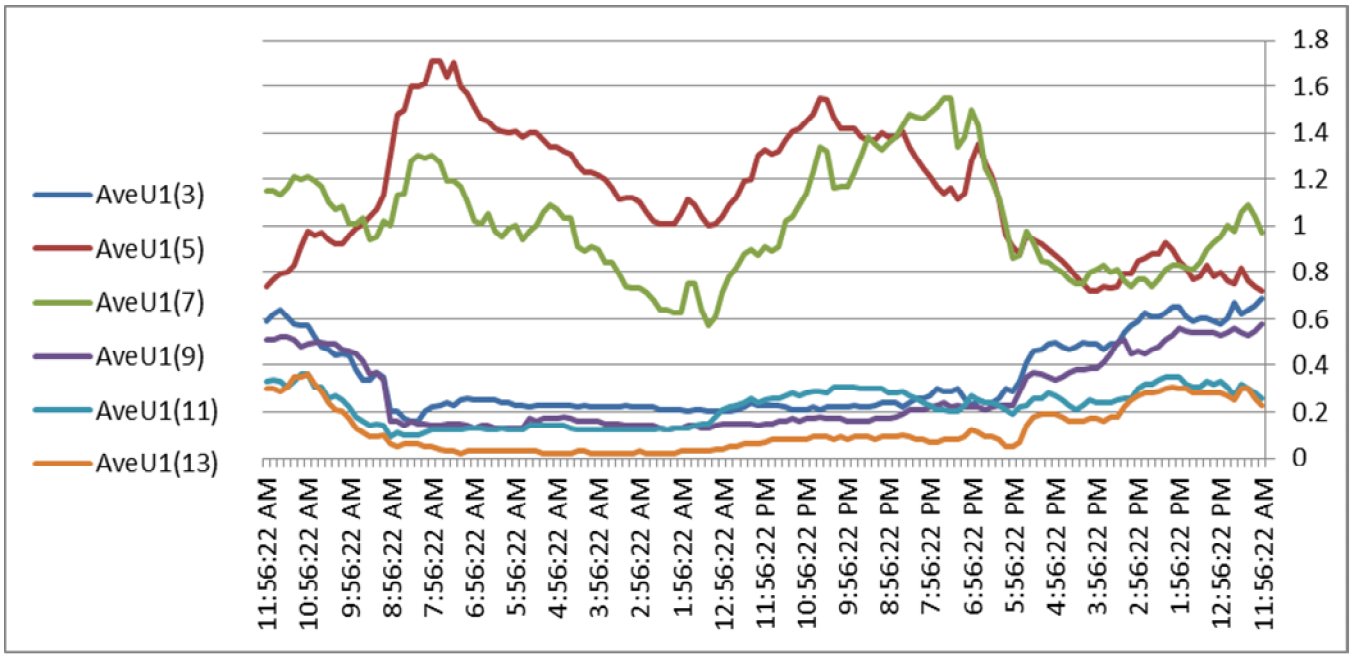


شکل ۹.ب: **THD** ولتاژ فاز اول برای یک هفته

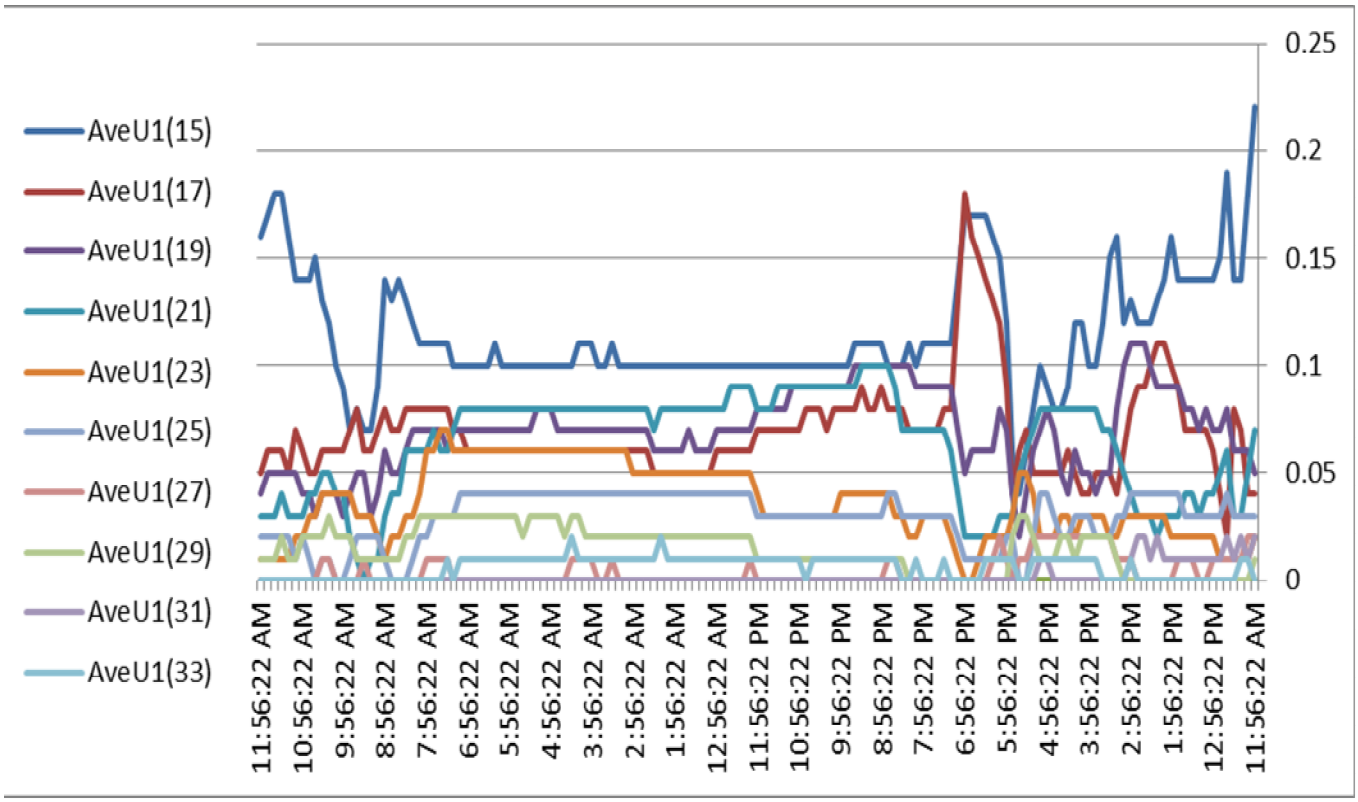
در ادامه به بررسی اختصاصی هارمونیک‌ها می‌پردازیم، شکل ۱۰. الف نمایی کلی از هارمونیک های فرد مرتبه ۳ تا ۲۵ را نمایش می‌دهد. اولین نکته‌ای که جلب توجه می‌کند مقدار کم هارمونیک سوم است که البته از نظر کیفیت توان نکته مثبتی است و همچنین مشاهده می‌شود که هارمونیک های ۵ و ۷ بزرگ‌ترین و موثرترین هارمونیک ها هستند. در شکل‌های ۱۰.ب و ۱۰.ج به ترتیب هارمونیک‌های فرد مرتبه پایین و هارمونیک‌های فرد مرتبه بالا آورده شده‌اند (این تصاویر مربوط به ۲۴ ساعت از ساعت یازده و پنجاه و شش دقیقه ۲۰۱۲/۱۰/۷ تا ساعت از ساعت یازده و پنجاه و شش دقیقه ۲۰۱۲/۱۰/۸ می‌باشند). مشخص است در ساعاتی که نیروگاه تولید ندارد هارمونیک‌های ۵و ۷ یعنی بزرگترین مولفه‌ها، بزرگتر از زمان تولید نیرو گاه هستند پس در واقع نیروگاه خورشیدی موجب بهبود این دو هارمونیک می‌شود و علت بزرگ بودنشان ناشی از شبکه است، برعکس این موضوع در مورد دیگر هارمونیک‌ها صادق است یعنی در ساعات تولید نیروگاه بزرگتر می‌شوند و در واقع نیروگاه خورشیدی موجب بهبود این هارمونیک‌ها می‌شود اما باید به دو نکته هم توجه کرد، اولا اندازه هارمونیک های بالاتر از هارمونیک ۷ در ساعات تولید نیروگاه بسیار کوچک و کمتر از سه دهم درصد مولفه اصلی هستند و ثانیا بعضی از هارمونیک‌های مراتب بالا مثلا هارمونیک بیست‌وسوم نیز مانند هارمونیک‌های ۵و۷ در ساعات تولید نیروگاه بهبود می‌یابند. همچنین از شکل ۱۰.د مشخص می‌شود که مقدار هارمونیک‌های زوج کلا ناچیز بوده و بزرگترین مولفه‌های زوج هم کوچکتر از هفت صدم در صد هستند و البته از هارمونیک ۱۴ به بعد هم به طور کامل صفر می‌شوند.



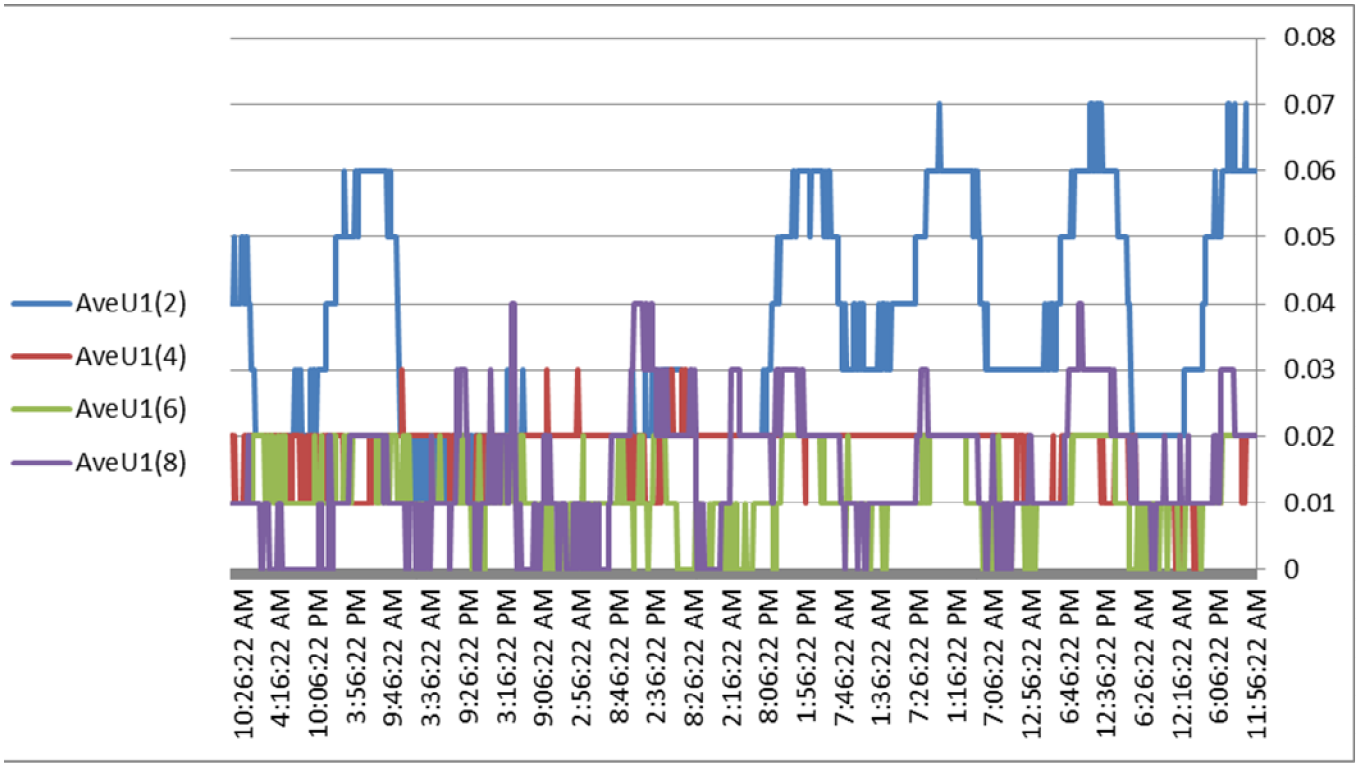
شکل ۱۰.الف: مقدار موثر ولتاژ هارمونیک‌های فرد برای یک هفته



شکل ۱۰.ب: مقدار موثر ولتاژ هارمونیک‌های مرتبه پایین فرد برای یک روز



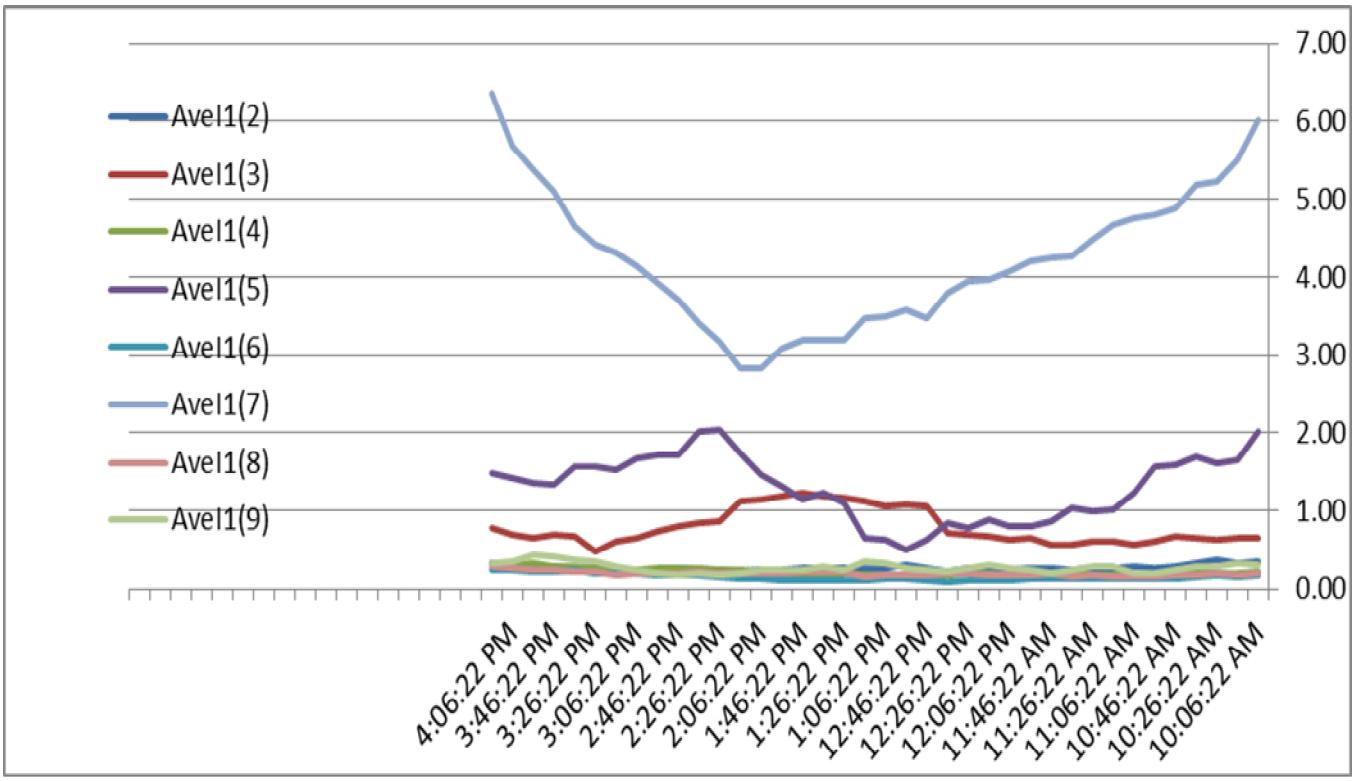
شکل ۱۰.ج: مقدار موثر ولتاژ هارمونیک‌های مرتبه بالا فرد برای یک روز



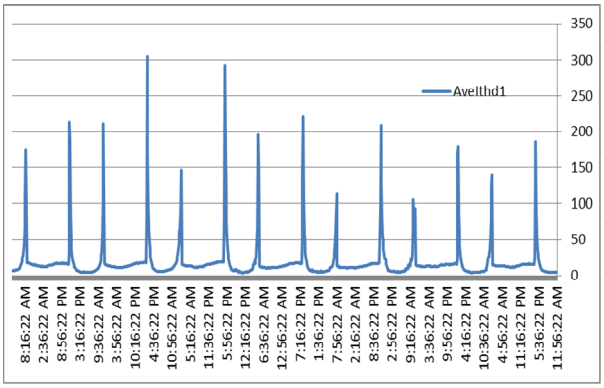
شکل ۱۰.د: مقدار موثر ولتاژ هارمونیک‌های زوج مرتبه پایین برای یک روز

۵-۶- هارمونیک‌های جریان

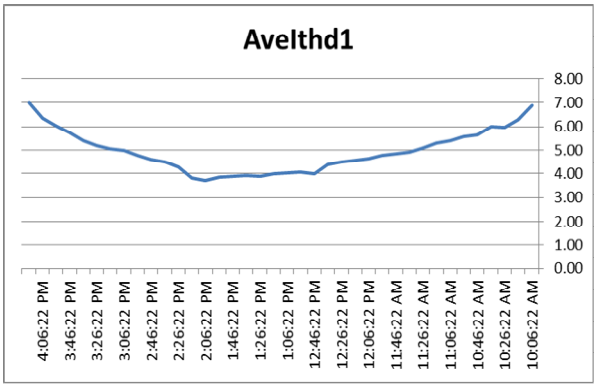
در شکل ۱۱.الف، مقدار متوسط هارمونیک‌های جریان در ساعات تولید نیروگاه آورده شده‌اند، همانطور که مشخص است اولا هارمونیک های زوج بسیار ناچیزاند و ثانیا در میان هارمونیک‌های فرد هم هارمونیک هفتم بزرگتر از بقیه است و بعد از آن هم هارمونیک‌های ۳و ۵ هستند. از شکل‌های ۱۱.ب و ۱۱.ج برداشت می‌شود که اولا THD جریان همواره کمتر از ۷ درصد است و ثانیا در لحظات شروع و پایان تولید اغتشاشات هارمونیکی بسیار زیاد است به نحوی که THDحتی به ۳۰۰ درصد هم می‌رسد. و نکته مهم این است که در حدود بیست دقیقه مقدار THDبیش از ۵۰ درصد است که اغتشاش بسیار بزرگی در جریان محسوب می‌شود.



شکل ۱۱.الف: مقدار متوسط هارمونیک‌های جریان برای ساعات تولید در روز ۲۰۱۲/۱۰/۸



شکل ۱۱.ب: **THD** جریان فاز اول برای یک هفته



شکل ۱۱.ج: **THD** جریان فاز اول برای ساعات تولید در روز ۲۰۱۲/۱۰/۸

۶- نتیجه

در این مقاله، پارامترهای کیفیت توان یک نیروگاه خورشیدی ظرفیت پایین نمونه ازنوع متصل به شبکه (نیروگاه خورشیدی 20kw دانشگاه شهید چمران اهواز) به مدت یک هفته اندازه‌گیری شدند. یکی از اهداف این مقاله ارائه اطلاعات واقعی درمورد کیفیت توان یک نیروگاه خورشیدی ظرفیت پایین از نوع متصل به شبکه است، همچنین این اطلاعات آنالیز شدند و پس از مقایسه با معیارهای استاندارد، نتیجه شد که نیروگاه‌های خورشیدی علاوه بر مزایای زیادی که دارند، اگر از اینورتر مناسبی استفاده شود، ازنظر کیفیت توان، به خصوص از نظر فرکانس، مولفه‌های هارمونیکی و ضریب توان، هم در سطح بسیار قابل قبولی هستند بلکه کیفیت توان شبکه را نیز بهبود می‌دهند.

سپاسگزاری

در اینجا بر خود لازم میدانیم که از شرکت برق منطقه‌ای استان خوزستان و بویژه مهندس شهرام گوهرچین و آقای پنام، برای همکاری در انجام این بررسی تشکر نماییم. و همچنین از معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری و نیز شرکت اندیشه نیروی خوزستان برای حمایت از این پروژه کمال تشکر را داریم.

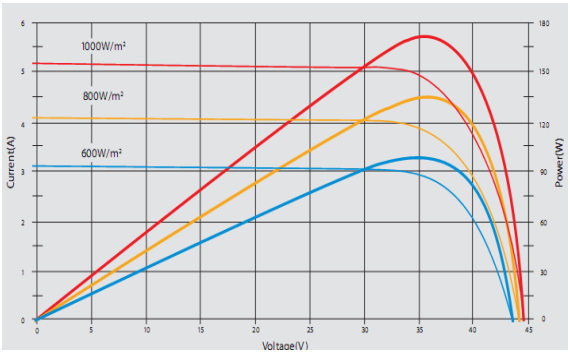
ضمایم

آرایه‌های نیروگاه خورشیدی دانشگاه شهید چمران اهواز از مدل SUNTECH STP185S-24/AC می‌باشند و اطلاعات آنها در شکل‌های الف.۱ و الف.۲ و الف.۳ آمده‌اند.

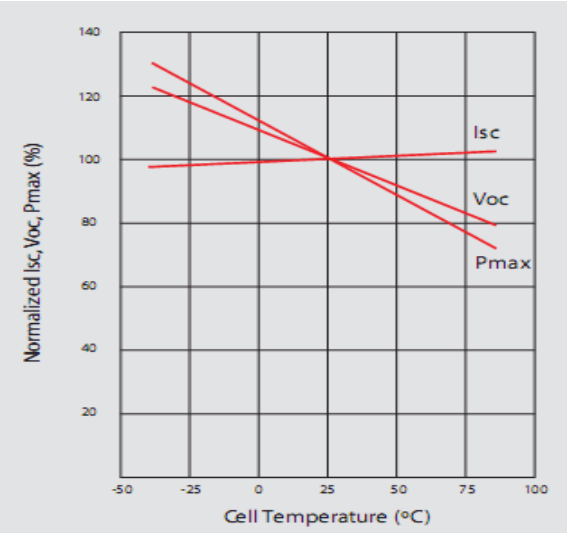
Characteristics	STP185S-24/Ac
Open - Circuit Voltage (Voc)	45. 0V
Optimum Operating Voltage (Vmp)	36. 4V
Short - Circuit Current (Isc)	5.43A
Optimum Operating Current (Imp)	5.09A
Maximum Power at STC (Pmax)	185Wp
Operating Temperature	-40°C to +85°C
Maximum System Voltage	1000V DC
Maximum Series Fuse Rating	8A
Power Tolerance	±3 %

STC: Irradiance 1000W/m², Module temperature 25°C, AM=1.5

شکل الف.۱: مشخصات الکتریکی آرایه



شکل الف.۲: منحنی ولتاژ- جریان آرایه



شکل الف.۳: منحنی جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدارباز، توان ماکزیمم برحسب دما

مراجع

[1] S.M Halpin, L.L. Grigby The Electric Power Engeering Hand book, CRC Press LLC (2001), pp 15.4
[2] . Sankaran, Power Quality, CRC Press (2002), pp. 12-13
[3] R D. Henderson, P J. Rose,"Harmonics: The Effect On Power Quality And Transformers", IEEE Trans Industry Appl, 1994, Vol 30(3), pp 528-532
[4] S.M Halpin, L.L. Grigby The Electric Power Engeering Hand book, CRC Press LLC (2001), pp 15.22-23
[5] IEEE 1547, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, 2003, pp. 8-10
[6] G Chicco, J Schlabbach, F Spertino, "Experimental assessment of the waveform distortion in grid-connected photovoltaic installations", Solar Energy, 2009, Vol. 83, pp 1026-1039
[7] P.A.Lynee,"Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics",Wiley Press,2010