پژوهشگاه نیرو

Niroo Research Institute

NRI-ER-738-PEAPN13-1-00-L

بررسی و مطالعه کیفیت توان شبکه‌های توزیع با حضور ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی و تعیین محدوده مجاز استاندارد



DOI: 10.30503/nripress.2020.216


بسم الله الرحمن الرحيم

بررسی و مطالعه کیفیت توان شبکه‌های توزیع با حضور ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی و تعیین محدوده مجاز استاندارد

مدیر پروژه:

محمد احمدی

مجری:

محمد اسکویی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۰

کد گزارش: NRI-ER-738-PEAPN13-1-00-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.216

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. مرکز توسعه فناوری خودروبرقی

بررسی و مطالعه کیفیت توان شبکه‌های توزیع با حضور ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی و تعین محدوده مجاز استاندارد/ مدیر پروژه: محمد احمدی. ویراستار: . کارفرما: پژوهشگاه نیرو ، ۱۴۰۰.

۱۲۸ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. آزاد فارسانی، احسان، همکار پروژه. ۲. عبدالمحمدی، حمیدرضا، همکار پروژه.

۳. اسکویی، محمد، مجری .

انتشارات پژوهشگاه نیرو

مرکز توسعه فناوری خودرو برقی

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران،شهرک‌غرب،انتهای‌بلوارشهیددادمان،پژوهشگاه‌نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: *www.nri.ac.ir*

پست الکترونیک انتشارات: *publications@nri.ac.ir*

فرم تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب احسان آزاد فارسانی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب و همکاران به شرح زیر است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

همکاران :

۱. حمیدرضا عبدالمحمدی

۲.

۳.

۴.

مقدمه

نگارش پیش رو گزارش نهایی پروژه با عنوان « برر سی و مطالعه کیفیت توان شبکه‌های توزیع با ح ضور ای ستگاههای شارژ خودرو برقی و تعیین محدوده مجاز ا ستاندارد » می با شد که با جمع بندی مطالب ارائه شده در فازهای ۲،۱ و۳ پروژه تهیه و تدوین شده است.

هدف این گزارش بررسی و مطالعه کیفیت توان شبکه‌های توزیع در حضور ایستگاههای شارژ خودرو برقی با در نظر گرفتن موارد زیر می باشد:

- ✓ مشخص کردن شاخص‌های کیفیت توان متاثر از ورود خودروهای برقی.
- ✓ بررسی اثرات سطوح مختلف ایستگاه های شارژ بر روی شاخص‌های شناسایی شده کیفیت توان.
- ✓ استخراج استانداردهای مرتبط با کیفیت توان در حضور ایستگاههای شارژ مختلف و محدوده مجاز شاخص‌ها و پارامترهای کیفیت توان.
- ✓ بررسی انواع روش‌های ارائه شده در بهبود کیفیت توان شبکه در حضور خودروهای برقی و استخراج الگوریتم نهایی.

این گزارش در تیر ۱۳۹۹ تو سط دان شگاه فنی و مهند سی گلپایگان و با مدیریت پروژه آقای دکتر اح سان آزاد فار سانی تهیه و تدوین گردیده است.

فهرست مطالب

۱-فصل اول : مقدمه ۱۲

۱-۱- ضرورت مطالعه کیفیت توان شارژر خودروهای برقی و تعیین محدوده مجاز استاندارد..... ۱۲

۱-۲- مشکلات کیفیت توان ناشی از حضور وسایل نقلیه برقی..... ۱۳

۱-۲-۱. ترانسفورماتور..... ۱۳

۱-۲-۲. کابلهای برق..... ۱۴

۱-۲-۳. خازن..... ۱۴

۱-۲-۴. رله ۱۴

۱-۲-۵. اثر هارمونیک بر فیوزها :..... ۱۶

۱-۲-۶. اثر هارمونیک‌ها بر سیستم‌های مخابراتی :..... ۱۷

۱-۲-۷. اثر هارمونیک‌ها بر عایق‌ها:..... ۱۷

۱-۲-۸. اثر هارمونیک بر ماشین‌های آسنکرون :..... ۱۸

۲- فصل دوم : فناوری های شارژر خودرو برقی ۱۹

۲-۱- انواع سیستم‌های شارژ..... ۱۹

۲-۱-۱. شارژر هدایتی..... ۱۹

۲-۱-۲. شارژر القایی..... ۲۰

۲-۱-۳. تعویض باتری..... ۲۰

۲-۲- فناوریهای شارژ خودرو برقی..... ۲۰

۲-۲-۱. سطوح شارژ و زیر ساختها..... ۲۰

۲-۳- شارژینگ AC سطح ۱:..... ۲۱

۲-۴- شارژینگ AC سطح ۲:..... ۲۱

۲-۵- شارژینگ DC سطح ۳ (شارژینگ سریع):..... ۲۱

۲-۵-۱. زیرساخت شارژر..... ۲۲

۲-۶- شارژرهای یکطرفه و دوطرفه..... ۲۳

۲-۶-۱. شارژر یکطرفه..... ۲۵

۲-۶-۲. *شارژ دوطرفه*..... ۲۵
۲-۶-۳. *اجزاء اصلی شارژر*..... ۲۶
۲-۷- شارژر یکطرفه با مبدل افزاینده [۳۰]..... ۲۶
۲-۸- شارژر یکطرفه چند سطحی..... ۲۷
۲-۹- شارژر دوطرفه چند سطحی..... ۲۷
۲-۱۰- شارژر دوطرفه نیمپل تکفاز..... ۲۸
۲-۱۱-شارژر دوطرفه تمامپل..... ۲۸

۳ فصل سوم: بررسی استانداردهای مرتبط با کیفیت توان شبکه برق در حضور خودروهای برقی ۲۹

۳-۱- استانداردهای مربوط به کیفیت توان شبکه های برق..... ۲۹
۳-۱-۱- استانداردهای IEEE..... ۲۹
۳-۱-۲- استاندارد IEEE std ۵۱۹..... ۳۰
۳-۱-۳- استاندارد IEEE std ۱۱۵۹..... ۳۰
۳-۱-۴- استاندارد IEEE std ۱۵۴۷..... ۳۰
۳-۱-۵- استاندارد IEEE std ۲۰۳۰..... ۳۰
۳-۲- استاندارد IEC..... ۳۰
3-2-1- استاندارد ۲-۳-۶۱۰۰۰ IEC..... ۳۱
3-2-2- استاندارد ۴-۳-۶۱۰۰۰ IEC..... ۳۱
3-3- استاندارد صنعت برق ایران..... ۳۱
۳-۳-۱- مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت اول: کلیات کیفیت برق تحویلی به مشترکین. ۳۲
۳-۳-۲- مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت دوم: حدود مجاز هارمونیکها ۳۲
۳-۳-۳- مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت سوم: فلش (افتادگی ولتاژ) و قطعی ولتاژ. ۳۲

۳-۳-۴- *مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت چهارم: تغییرات ولتاژ و فرکانس.* ۳۲
۳-۳-۵- *مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت پنجم: پدیدههای گذرا*.....۳۳
۳-۳-۶- *مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت ششم: زمین کردن.*.....۳۳
۳-۳-۷- *مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت هفتم: مشخصات فنی وسایل اندازه گیری و معیار انتخاب آنها*.....۳۳
۳-۳-۸- *مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت هشتم: دستورالعمل اندازه گیری کیفیت برق، بازرسی و اطمینان از کیفیت آن*.....۳۳
۳-۴- استانداردهای مربوط به کیفیت توان شارژرخودروهای برقی.....۳۳
۳-۴-۱- *استاندارد SAE (استانداردهای جامعه مهندسین خودرو)*.....۳۴
۳-۴-۲- *استاندارد SAE J ۱۷۷۲*.....۳۵
۳-۴-۳- *استاندارد SAE J ۱۷۷۳*.....۳۵
۳-۴-۴- *استاندارد SAE J ۲۲۹۳*.....۳۵
۳-۴-۵- *استاندارد SAE J ۲۸۴۷*.....۳۵
۳-۴-۶- *استاندارد SAE J ۲۸۹۴*.....۳۵
۳-۵- جمعبندی استانداردها.....۳۵

۴ فصل چهارم :شاخصهای کیفیت توان شبکه برق در حضور خودروهای برقی و محدوده مجاز آنها ۳۶

۴-۱- شاخصهای کیفیت توان شبکه برق.....۳۷
۴-۱-۱- *پدیدههای گذرا*.....۳۷
۴-۱-۲- *تغییرات ولتاژ*.....۳۸
۴-۱-۲-۱- تغییرات بلند مدت ولتاژ.....۳۸
۴-۱-۲-۲-تغییرات کوتاه مدت ولتاژ.....۳۸
۴-۱-۳- *عدم تعادل ولتاژ*.....۳۹
۴-۱-۴- *تغییرات فرکانس*.....۴۰
۴-۱-۵- *نوسان ولتاژ (فلیکر)*.....۴۰

۴-۱-۵-۱- حدود مجاز فلیکر در سطوح مختلف ولتاژ ۴۱
۴-۱-۶- هارمونیکها ۴۲
۴-۱-۶-۱- مقادیر موثر و اعوجاج هارمونیکی کل ۴۲
۴-۱-۶-۲- هارمونیکهای مرتبه سه ۴۳
۴-۱-۶-۳- منابع تولید هارمونیک ۴۳
۴-۱-۶-۴-حدود مجاز هارمونیکها ۴۴
۴-۲- محدوده شاخصهای کیفیت توان شبکهی برق ۴۶
۴-۳- شاخصهای کیفیت توان شارژر ۴۶
۴-۳-۱- ضریب توان ۴۶
۴-۳-۲- راندمان تبدیل انرژی ۴۷
۴-۳-۳- اعوجاج هارمونیکی کل (THD) جریان ۴۸
۴-۳-۴- جریان هجومی ۴۹
۵ فصل پنجم : بررسی روشهای بهبود کیفیت توان شبکه در حضور خودروهای برقی ۵۰
۵-۱- تاثیر وضعیت شارژ باتری بر THD ۵۰
۵-۲- تاثیر سطح نفوذ خودرو برقی بر THD ۵۱
۵-۳- تاثیر سطح شارژ بر THD ۵۲
۵-۴- مقایسه تاثیر انواع خودروهای برقی بر کیفیت توان ۵۳
۵-۴- تاثیر شارژرهای سریع بر شبکه قدرت ۵۵
۶ فصل ششم : بررسی تاثیر خودروهای برقی بر کیفیت توان شبکه برق ۶۱
۶-۱- مدلسازی خودروهای برقی در نرم افزار DIGSILENT ۶۲
۶-۲- بررسی تعداد ایستگاههای شارژ خودروی برقی بر کیفیت توان شبکه ۶۳
۶-۳- بررسی مکان ایستگاههای شارژ بر کیفیت توان شبکه ۱
۶-۴- بررسی زمان شارژ در ایستگاههای شارژ بر کیفیت توان شبکه ۲
۷ فصل هفتم : ارائه الگوریتم بهبود کیفیت توان شبکه در حضور ایستگاههای شارژ ۴
۷-۱- متغیرهای کنترلی مسئله بهبود کیفیت توان شبکه در حضور خودروهای برقی ۴

۷-۲- معرفی تابع هدف مجموع اعوجاجات هارمونیکی، پیاده سازی آن در محیط نرم افزار و فرمول بندی تابع هدف ۵

۷-۲-۱- معرفی تابع هدف مجموع اعوجاجات هارمونیکی [۴۴]..... ۵

۷-۲-۲- معرفی تابع هدف تغییرات ولتاژ..... ۶

۷-۳- قیود مسئله..... ۷

۷-۴- الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات..... ۸

۷-۵- لینک نرم افزار متلب و DIGSILENT..... ۹

۸ فصل هشتم : نتایج شبیه سازی اعمال الگوریتم برروی شبکه توزیع برق ۱۱

۸-۱- شبکه توزیع نمونه..... ۱۲

۸-۱-۱- حل مسئله با تابع هدف تغییرات ولتاژ..... ۱۳

۸-۱-۲- حل مسئله با تابع هدف THD..... ۱۴

۸-۱-۳- حل مسئله با توابع هدف تغییرات ولتاژ و THD بصورت همزمان..... ۱۵

۸-۲- شبکه توزیع واقعی..... ۱۵

۸-۲-۱- حل مسئله با تابع هدف تغییرات ولتاژ..... ۱۹

۸-۲-۲- حل مسئله با تابع هدف THD..... ۲۰

۸-۲-۳- حل مسئله با توابع هدف تغییرات ولتاژ و THD بصورت همزمان..... ۲۰

۹ فصل نهم : دستورالعمل اتصال ایستگاههای شارژ خودروی برقی به شبکه ۲۱

۹-۱- دستورالعمل استخراج اطلاعات شبکه، شارژر و شاخص های کیفیت توان..... ۲۱

۹-۱-۱- اطلاعات مورد نیاز شبکه برای اعمال الگوریتم..... ۲۱

۹-۱-۲- اطلاعات مورد نیاز شارژر برای اعمال الگوریتم در جدول (۳-۹) آمده است:..... ۲۵

۹-۱-۳- دستورالعمل اجرای الگوریتم اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه..... ۲۶

۹-۱-۳-۱- راه اندازی نرم افزار متلب:..... ۲۷

۹-۱-۳-۱- راه اندازی نرم افزار دیگسایلنت:..... ۲۸

پیوست ها: ۳۱

۱۰-۱-پیوست ۱: کدهای متلب:..... ۳۱

۱۰-۲-پیوست ۲: کدهای دیگسایلنت: ۴۰
۱۰-۳-پیوست ۳: اطلاعات شبکه توزیع ۳۳ شینه IEEE: ۴۶
۱۰-۴-پیوست ۴: اطلاعات قیدرهای توزیع دانشگاه و بازار از شبکه توزیع کرمان: ۴۷
مراجع ۵۳

فهرست اشکال

شکل (۱-۱).کوپلاژ و القاءاز خطوط قدرت روی خطوط مخابرات..... ۱۷

شکل(۱-۲). شماتیک شارژ هدایتی..... ۱۹

شکل(۲-۲). شماتیک شارژ القایی..... ۲۰

شکل(۳-۲). اتصال اجزاء انتقال توان در شارژر سوار بر خودرو..... ۲۲

شکل(۴-۲). اتصال اجزاء انتقال توان در شارژر خارج از خودرو..... ۲۲

شکل(۵-۲). ایستگاه شارژ سریع توان بالا..... ۲۴

شکل(۶-۲). ایستگاه شارژ سریع توان بالا پانتوگراف..... ۲۴

شکل (۷-۲). اجزاء اصلی شارژر باتری..... ۲۶

شکل (۸-۲). ساختار شارژر یک طرفه با مبدل افزاینده متعارف..... ۲۶

شکل (۹-۲). ساختار شارژر یک طرفه با مبدل افزاینده بهبودیافته..... ۲۷

شکل (۱۰-۲). ساختار یک نوع شارژر یک طرفه چندسطحی..... ۲۷

شکل (۱۱-۲). ساختار شارژر دو طرفه چندسطحی..... ۲۷

شکل (۱۲-۲). ساختار شارژر دو طرفه نیمپل تکفاز..... ۲۸

شکل (۱۳-۲). ساختار شارژر دوطرفه تمامپل. (الف) تکفاز، (ب) سهفاز..... ۲۸

شکل(۱-۴). اعوجاج جریان که به دلیل یک مقاومت غیر خطی ایجاد شده است..... ۴۲

شکل(۱-۵). شکل موج جریان شارژر در دو وضعیت شارژ متفاوت..... ۵۰

شکل(۲-۵). مشخصه توان یک شارژر نوعی..... ۵۱

شکل (۳-۵). THD در دوباس یک شبکه نمونه برای سطوح نفوذ ۳۰، ۵۰ و ۸۰ درصد..... ۵۱

شکل(۴-۵). میزان THD ولتاژ و جریان برای یک شارژر سطح ۲..... ۵۲

شکل(۵-۵). میزان THD ولتاژ و جریان برای یک شارژؤ سطح ۳..... ۵۳

شکل (۶-۵). بلوک دیاگرام شارژر..... ۵۳

شکل (۷-۵). مدار معادل شارژر..... ۵۴

شکل(۸-۵). شکل موج و ولتاژ و جریان شارژر..... ۵۵

شکل (۹-۵). مولفه هارمونیکی جریان ورودی خودروهای برقی..... ۵۵

شکل (۱۰-۵). هارمونیک جریان برای خودروی EV160..... ۵۶

شکل (۱۱-۵). هارمونیک جریان برای خودروی EV200 ..... ۵۶
شکل (۱-۶). دیاگرام تک خطی شبکه توزیع ۳۳ باس IEEE ۶۲
شکل (۲-۶). مکان ایستگاههای شارژ سطح ۳ برای بررسی اثر تعداد ایستگاههای شارژ ۶۵
شکل(۳-۶). منحنی تغییرات بار [۴۳] ۲
شکل (۱-۷): تعریف پخش بار هارمونیکی در DPL ۶
شکل (۲-۷): اساس کار الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات ۸
شکل (۳-۷). فلوچارت مربوط به لینک نرم افزارهای متلب و دیگسایلنت ۱۱
شکل (۱-۸). ناحیه بندی شبکه توزیع ۳۳ شینه IEEE برای جایابی ایستگاههای شارژ ۱۲
شکل(۲-۸). پروفیل ولتاژ شبکه برای سه سطح شارژ مختلف در جدول (۱-۸) ۱۴
شکل(۳-۸). THDدر باس های شبکه برای سه سطح شارژ مختلف در جدول (۲-۸) ۱۵
شکل (۴-۸) شبکه20KV دانشگاه ۱۶
شکل (۵-۸): شبکه20KV بازار ۱۷
شکل (۶-۸). ناحیه بندی شبکه توزیع برای جایابی ایستگاههای شارژ ۱۸
شکل(۷-۸). پروفیل ولتاژ شبکه قبل و بعد از نصب ایستگاه شارژ ۱۹
شکل(۸-۸). THD باسهای شبکه قبل و بعد از نصب ایستگاه شارژ ۲۰
شکل(۱-۹). اطلاعات وورودی الگوریتم در نرم افزار متلب ۲۷
شکل(۲-۹). بخش اول راه اندازی الگوریتم در نرم افزار دیگسایلنت ۲۹
شکل(۴-۹). بخش دوم راه اندازی الگوریتم در نرم افزار دیگسایلنت ۳۰
شکل(۴-۹). بخش سوم راه اندازی الگوریتم در نرم افزار دیگسایلنت ۳۱

فهرست جداول

جدول (۱-۲). مشخصات سطوح شارژ مختلف در استاندارد SAE J1772 ..... ۲۳

جدول (۲-۲). مشخصات ایستگاه شارژ توان بالا ۲۴

جدول (۳-۲). مشخصات ایستگاه شارژ توان بالاپانتوگراف ۲۵

جدول (۱-۳): لیست استانداردهای IEEE مرتبط با کیفیت توان و خودروهای الکتریکی ۲۹

جدول (۲-۳): لیست استانداردهایIEC مرتبط با کیفیت توان و خودروهای الکتریکی ۳۰

جدول (۳-۳): لیست استانداردهای صنعت برق ایران در مورد کیفیت توان شبکههای الکتریکی ۳۱

جدول (۴-۳). استانداردهای شارژ خودروهای برقی ۳۴

جدول (۵-۳): لیست استانداردهای SAE مرتبط با کیفیت توان و خودروهای الکتریکی ۳۴

جدول (۱-۴). حدود مجاز تغییرات ولتاژ در استاندارد IEEE STD 1250 ..... ۳۹

جدول (۲-۴). حدود مجاز درصد عدم تعادل ولتاژ در استاندارد IEC ۳۹

جدول (۳-۴). حدود مجاز درصد عدم تعادل جریان هر مشترک ۴۰

جدول (۴-۴). حدود مجاز فلیکر در شبکه های مختلف ۴۱

جدول(۵-۴). حداکثر هارمونیک ولتاژ مجاز در شینههای با ولتاژهای مختلف به درصد نسبت به ولتاژ نامی با فرکانس ۵۰ هرتز ۴۴

جدول (۶-۴). حدود مجاز مولفههای هارمونیکی جریان در شارژرهای سطح ۱ مطابق با استاندارد ۴۴

۲-۳-IEC ۶۱۰۰۰ ..... ۴۴

جدول (۷-۴). حدود مجاز مولفههای هارمونیکی جریان در شارژرهای سطح ۲ و۳ مطابق با استاندارد ۴۵

۴-۳-IEC۶۱۰۰۰ ..... ۴۵

جدول (۸-۴). حدود مجاز شاخصهای کیفیت توان شبکه برق ۴۶

جدول (۸-۴). حداقل مقدار توصیه شده برای ضریب توان در سطوح مختلف شارژ ۴۷

جدول(۹-۴). حداقل مقدار توصیه شده برای راندمان تبدیل توان شارژر در سطوح مختلف شارژ ۴۸

جدول(۱۰-۴). محدوده اعوجاجات ولتاژ [IEEE 519] ۴۸

جدول(۱۱-۴). حداقل مقدار توصیه شده برای THDجریان شارژر در سطوح مختلف شارژ ۴۹

جدول(۱۲-۴). حداکثر مقدار توصیه شده برای جریان هجومی شارژر در سطوح مختلف شارژ ۴۹

جدول (۱-۵). اطلاعات هارمونیکی یک شارژر سطح ۱ ..... ۵۱

جدول (۲-۵). تقسیمبندی خودروهای برقی..... ۵۳
جدول (۳-۵). مقدار پارامترهای مدار معادل شارژر..... ۵۴
جدول (۴-۵). هارمونیک فیدرهای شبکه با درنظر گرفتن ظرفیت 1000KVA برای ایستگاه شارژ سریع..... ۵۹
جدول (۵-۵). هارمونیک فیدرهای شبکه با درنظر گرفتن ظرفیت 3000KVA برای ایستگاه شارژ سریع..... ۵۹
جدول (۱-۶). طیف هارمونیکی شارژرهای سطح ۱ و ۲..... ۶۲
جدول (۱-۶). طیف هارمونیکی شارژرهای سطح ۳..... ۶۳
جدول (۳-۶). مشخصات انواع شارژر خودروی برقی در استاندارد SAE J1772..... ۶۳
جدول (۴-۶). میزان THD شبکه برای تعداد مختلف شارژر در ایستگاههای شارژ خودرو برقی..... ۱
جدول (۵-۶). میزان THD و ولتاژ شینه های شبکه برای مکان های مختلف ایستگاههای شارژ..... ۱
جدول (۶-۶). میزان THD و ولتاژ شینه های شبکه برای زمان های مختلف شارژ..... ۲
جدول(۱-۸). نتایج اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه ۳۳ باس با هدف کمترین تغییرات ولتاژ..... ۱۳
جدول(۲-۸). نتایج اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه ۳۳ باس با هدف کمترین THD..... ۱۴
جدول(۳-۸). نتایج اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه ۳۳ باس با اهداف کمترین THD و کمترین تغییرات ولتاژ..۱۵
جدول(۴-۸). نتایج اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه واقعی با هدف کمترین تغییرات ولتاژ..... ۱۹
جدول(۵-۸). نتایج اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه واقعی با هدف کمترینTHD..... ۲۰
جدول(۶-۸). نتایج اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه واقعی با هدف کمترین تغییرات ولتاژ و THD..... ۲۰
جدول (۱-۹): اطلاعات مورد نیاز شبکه..... ۲۲
جدول (۲-۹). حدود مجاز تغییرات ولتاژ در استاندارد IEEE STD 1250..... ۲۲
جدول(۳-۹). حداکثر هارمونیک ولتاژ مجاز در شینههای با ولتاژهای مختلف به درصد نسبت به ولتاژ نامی با
فرکانس ۵۰ هرتز..... ۲۳
جدول (۴-۹). حدود مجاز مولفههای هارمونیکی جریان در شارژرهای سطح ۱ مطابق با استاندارد..... ۲۳
IEC ۶۱۰۰۰-۳-۲..... ۲۳
جدول (۵-۹). حدود مجاز درصد عدم تعادل ولتاژ در استاندارد IEC..... ۲۳
جدول (۶-۹). حدود مجاز فلیکر در شبکه های مختلف..... ۲۴
جدول (۲-۹): محل اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه..... ۲۴
جدول (۳-۹): : اطلاعات مورد نیاز شارژر..... ۲۵
جدول(پ-۱). اطلاعات شبکه ۳۳ شینه IEEE..... ۴۶

جدول(پ-۲): اطلاعات هادی ها..... ۴۷
جدول(پ-۳): اطلاعات خطوط..... ۴۷
جدول(پ-۴): اطلاعات ترانس ها..... ۵۱

۱- فصل اول : مقدمه

در این فصل ضرورت مطالعه کیفیت توان شبکه‌های توزیع با حضور ایستگاههای شارژ خودرو برقی تبیین می گردد.

۱ ۱ ضـرورت مطالعه کیفیت توان شـارژر خودروهای برقی و تعیین محدوده مجاز استاندارد

تو سعه و پی شرفت شبکه‌های الکتریکی همگام ا ست با گ سترش ادوات غیرخطی در شبکه، ادواتی همچون منابع تغذیه سوئیچینگ، درایوهای فرکانس متغیر، شارژرها و باتری‌ها. ورود ادوات غیرخطی به شبکه‌های الکتریکی موجب افزایش سطح نگرانی‌ها در مورد تاثیر آنها بر کیفیت توان شبکه شده ا ست. نگرانی‌های بوجود آمده بخاطر یکی از سه مورد زیر ا ست [۱-۴]:

حساسیت بالای دستگاه‌های میکروپروسسوری به تغییرات توان.

افزایش تعداد دستگاه‌های غیرخطی که منجر به افزایش هارمونیک‌ها در سیستم قدرت می‌شوند و متعاقباً قابلیت اطمینان شبکه را پایین می‌آورند.

با اتصال بیشتر تجهیزات به شبکه، پیامدهای ناشی از وقوع خطا هم بیشتر و بدتر خواهد بود.

می‌توان گفت، تا حدود زیادی موفقیت در اسـتفاده از خودروهای برقی در حجم وسـیع، به کیفیت توان و قابلیت اطمینان شبکه الکتریکی و شارژ خودرو بـستگی دارد. برای رفع نیازهای اپراتورهای خودرو برقی، شارژرهای خودرو بایـستی به اندازه کافی قوی، قابل اعتماد و مقرون به صـرفه باشـند. به منظور دسـتیابی به این هدف، تولیدکنندگان خودرو برقی و تجهیزات مربوطه و همچنین شرکت‌های برق بایـستی اطلاعات کافی از م شخ صات شبکه برق که شارژر به آن مت صل می شود، و همچنین اثراتی که شارژر می‌تواند برروی شبکه و کیفیت سرویس‌دهی بگذارد، دا شته با شند. با توجه به وجود مبدل‌های الکترونیک‌قدرت در شارژر باتری، توان الکتریکی کشیده شده از سیستم توزیع دارای اعوجاجات بالایی ا ست و کیفیت توان سیستم توزیع به دلیل وجود این اعوجاجات می‌تواند د ستخوش م شکلاتی شود. عملکرد شارژر همچون کانالی ا ست که از طریق آن انرژی از خط AC به سـمت باتری خودرو حرکت می کند، و می‌توان گفت که این شـارژر اسـت که کیفیت توان مبادله شده را کنترل می کند.

با توجه به تو ضیحات بالا مبنی بر تاثیر شارژر خودروهای برقی برروی کیفیت توان، اهداف ا صلی این پروژه بـصورت زیر می‌باشند:

تعیین پارامترهایی از شارژر که برای حفظ کیفیت توان بایستی کنترل شوند.

تعیین شاخص‌های کیفیت توان شبکه برق که تحت تاثیر عملکرد شارژرها هستند.

تعیین محدوده و مقادیر مجاز برای شاخص‌های کیفیت توان.

ارائه الگوریتم بهبود کیفیت توان شبکه در حضور ایستگاههای شارژ

برای نیل به اهداف بالا، در این گزارش به موارد زیر پرداخته می‌شود:

بررسی اثرات شارژرهای خودروی برقی بر کیفیت توان
معرفی استانداردهای بین‌المللی معتبر در ارتباط با کیفیت توان شبکه‌های الکتریکی و خودروهای برقی.
معرفی شاخص‌های مهم کیفیت توان که حضور ایستگاه‌های شارژ برروی آنها تاثیر می‌گذارد.
معرفی مقدار و محدوده مجاز شاخص‌های کیفیت توان برای سطوح مختلف توان شارژرها با بررسی استانداردهای معتبر. این مقادیر باید از لحاظ فنی قابل اجرا و مقرون به صرفه برای پیاده سازی در شارژرها باشند.
بررسی مراجع و اقدامات صورت گرفته در آنها.
ارائه الگوریتم بهبود کیفیت توان در حضور ایستگاههای شارژ.
ارائه دستورالعمل نهایی

۲ ۱ مشکلات کیفیت توان ناشی از حضور وسایل نقلیه برقی

ورود خودروهای برقی به شبکه‌های برق و شارژ باتری آنها می‌تواند منشا مشکلات زیادی در شبکه برق باشد. مهمترین مسائلی که در این راستا ممکن است بوجود آید عبارتند از: وقوع افت ولتاژ در شبکه و اضافه بار در فیدرها و ترانسفورماتورها [۱-۶]. در کنار مسائل فوق، کیفیت توان شبکه تحت تاثیر اتصال خودروها به شبکه خواهد بود [۷]. در ارتباط با کیفیت توان، مشکلات شبکه در زمان بارگیری باتری‌های قدرت بزرگ رخ می‌دهد. از آن‌جایی که باتری خودروهای برقی معمولاً جریان نسبتاً بالایی از شبکه جهت شارژ دریافت می‌کنند، لذا جزء باتریهای متوسط و بزرگ به حساب می‌آیند و می‌توانند منشا مشکلات جدی در ارتباط با کیفیت توان شبکه باشند. به طور کلی چون باتری در سطح DCکار می‌کند، یکسوسازی (مبدل ACبهDC) مورد نیاز است. برای این منظور لازم است که سیگنال AC با یکسوسازی DC شود و همچنین به وسیله یک مبدل DC/DC به سطح ولتاژ DCدیگری تبدیل شود. هر دوی این فرآیندها اغتشاش هارمونیکی تولید می‌کنند [۸].

برای بررسی اثرات خودروهای برقی برروی کیفیت توان شبکه‌های برق، مطالعات زیادی در قالب مقاله و استاندارد صورت گرفته است [۹-۱۷]. در مطالعات فوق در مورد اثرات اعوجاجات هارمونیکی برروی تجهیزات شبکه برق شامل ترانسفورماتور، کابل برق، خازن، دستگاههای اندازه گیری، رله و تابلوهای برق صحبت شده است. اعوجاجات هارمونیکی بارهای مجاور، به ویژه دستگاه های الکترونیکی قدرت و موتورها را هم تحت تاثیر قرار می دهند [۱۶-۱۷].

در ادامه اثرات اعوجاجات هارمونیکی برروی تجهیزات مهم شبکه برق شامل ترانسفورماتور، کابل برق، خازن، رله و سایر تجهیزات تشریح خواهند شد.

۱ ۲ ۱. ترانسفورماتور

هارمونیک‌های جریان برای ترانسفورماتورهای قدرت بسیار مشکل‌زا هستند. یک مثال از تلفات ناشی از مولفه‌های مرتبه بالای هارمونیک در سیستم، تلفات RI^2 است. این تلفات به علت مولفه‌های مرتبه بالای جریان درون سیم پیچ ترانسفورماتور است. اگر مقدار موثر جریان شارژر با توجه به مولفه‌های هارمونیک افزایش یابد، تلفات RI^2 هم زیاد می‌شود. در نتیجه، ترانسفورماتور قدرت حقیقی بیشتری را نسبت به پیش بینی مصرف خواهد کرد و کارایی آن در انتقال قدرت به مشتریان پایین خواهد آمد.

یکی دیگر از نگرانی های ناشی از افزایش هارمونیک‌ها ، تلفات ناشی از جریان‌هی گردابی در هسته ترانسفورماتور است. این جریان ها موجب افزایش غیرطبیعی دمای سیم‌پیچی ترانسفورماتور می شوند. این افزایش دما باعث تسریع در از بین رفتن عایق در ترانسفورماتور می شود و در نهایت منجر به کاهش طول عمر تجهیزات می‌گردد [۳]. چونکه جریان‌های گردابی و تلفات هسته با فرکانس رابطه مستقیم دارند، هارمونیک‌های مرتبه بالا باعث بروز مشکلات جدی برای ترانسفورماتورها می‌شوند.

دیگر تلفات ناشی از افزایش مولفه‌های هارمونیکی، تلفات ناشی از شار سرگردان است، که در هسته، تانکر و سایر اجزای آهنی ترانسفورماتور رخ می‌دهد. تلفات فوق می تواند دمای روغن و در نتیجه دمای نقطه داغ[1] ترانسفورماتور را افزایش دهد، که نتیجه آن تخریب زودگذر عایق و روغن ترانسفورماتور می‌باشد.

۱ ۲ ۲. کابل‌های برق

اثر اولیه هارمونیک‌ها بر روی کابل های برق ایجاد گرمای اضافی ناشی از افزایش تلفات RI[2] است. این را می‌توان به دو پدیده شناخته شده به عنوان اثر پوستی[2] و اثر مجاورتی[3] نسبت داد. که هر دو تابعی از فرکانس و همچنین اندازه هادی و فاصله هادی‌ها هستند. همچنین کابل هایی که در معرض رزونانس سیستم قرار می‌گیرند، ممکن است تحت تنش‌های ولتاژ و پدیده کرونا قرار گیرند که می تواند منجر به شکست عایقی کابل شود [۱۸].

۱ ۲ ۳. خازن

از مهم ترین تجهیزاتی که تحت تأثیر هارمونیک ولتاژ قرار می گیرند خازن های مورد استفاده در شبکه به منظور تصحیح ضریب قدرت می باشند. یکی از مواردی که باعث آسیب رسیدن به خازن ها می گردد گرم شدن خازن ناشی از اضافه جریان شدید خازن می باشد. بالا بودن جریان ورودی به خازن حتی در صورت کم بودن هارمونیک ولتاژ امکان پذیر است. زیرا امپدانس خازن با عکس فرکانس در ارتباط است.

مسئله دیگری که در عملکرد خازن ها ممکن است پدید آید مشکل عایقی است. زیرا اضافه ولتاژ ناشی از هارمونیک ها ممکن است به حدی برسد که بر خازن تاثیر بگذارد زیرا عموماً خازن‌ها حساس‌ترین عنصر در شبکه می باشند و اضافه ولتاژ آن ها معمولا نباید از 20 در صد ولتاژ پیک نامی بیشتر گردد. هارمونیک ولتاژ باعث می شود تا خازن با جریان و ولتاژی که متناسب با فرکانس هارمونیک می باشد تحریک شود و این جریان سبب تلفات می شود. استاندارد IEC 60831-1 اعلام می کند که جریان هارمونیکی عبوری از خازن نباید بیشتر از 1.3 جریان نامی باشد [۱۹]. لذا در این صورت بایستی خازن با ظرفیت بالاتر نصب گردد. خازن ها مولد هارمونیک نیستند ولی به کارگیری خازن در شبکه هایی که دارای هارمونیک جریان یا ولتاژ است موجب بروز تشدید در شبکه برق می شود.

راکتانس خازنی با افزایش فرکانس کاهش و راکتانس سلفی با افزایش فرکانس افزایش می یابد. در نتیجه در فرکانس خاصی تشدید رخ می دهد. هنگام بروز پدیده تشدید دامنه جریان سلف یا ولتاژ دو سر خازن ممکن است بسیار زیاد شود.

۱ ۲ ۴. رله

به طور کلی رله‌ها و سایل حفاظتی هستند که بخشی از سیستم را که خطا در آنجا رخ داده است از بقیه شبکه ایزوله می‌نمایند بطوریکه بقیه سیستم به طور عادی کار خود را دنبال نماید. تحت چنین عملکردی سیستم حفاظتی باید قادر به تشخیص حالت عادی و وجود خطا در سیستم باشد و به نحوی طراحی شده باشد که فقط در مقابل وجود خطا عکس العمل نشان دهد. با چنین دیدی از عملکرد رله‌ها هر عاملی که سبب تاخیر و تسریع بی مورد عملکرد رله‌ها گردد مشکلات زیادی را برای شبکه های توزیع به همراه خواهند داشت.

---

[1] . Hot spot

[2] . Skin effect

[3] . Proximity effect

عوامل تاثیر گذار بر عملکرد نا مناسب رله‌ها :

- ✓ **تنظیم نامناسب رله**
- ✓ **تنظیم نامناسب رله در ارتباط با دیگر رله‌ها**
- ✓ **تاثیر هارمونیک‌ها بر روی رله‌ها**

اثر هارمونیک بر روی رله یا هارمونیک ولتاژ بوده یا هارمونیک جریان می‌با شد. رله‌ها با توجه به سیستم عملکرد شان به یک نوع هارمونیک و یا هر دو نوع هارمونیک حساس می‌باشند. هر کجا که هارمونیک جریان وجود داشته باشد این هارمونیک جریان به علت عبور از امپدانس مسیر تولید هارمونیک ولتاژ می‌نماید و هر جا نیز هارمونیک ولتاژ وجود داشته باشد در بارها هارمونیک جریان ایجاد می‌کند.

ا ستانداردهایی که به منظور تست رله ا ستفاده می شوند معمولا موج سینو سی بدون هارمونیک را پیشنهاد می‌کنند. رله های ا ستاتیکی که بایستی به مقدار موثر جریان حساس با شند معمولا بر ا ساس اندازه گیری پیک موج جریان کار می‌کنند یعنی با توجه به سینو سی بودن موج مقدار موثر آن را محا سبه می‌نمایند. اگر شکل موج جریان دارای هارمونیک با شد مقدار موثری را که محاسبه می‌کند صحیح نمی‌باشد و دارای خطای عملکرد خواهند بود. عکس العمل رله‌ها در مقابل هارمونیک به طور کلی به صورت موارد زیر می‌با شد: در برخی رله های ا ضافه جریان عملکرد رله بستگی به شکل موج جریان دارد و تنها در صد میزان هارمونیک موثر نیست. به عبارت دیگر اگر موجی که دارای میزان هارمونیک یکسانی با شد ولی شکل موج آن متفاوت با شد به اینگونه رله‌ها اعمال شود پا سخهای رله متفاوت خواهد بود. بنابراین نمی‌توان تنها با ا ستفاده از در صد میزان هارمونیک‌ها عملکرد رله را مورد برر سی قرار داد. رله های ا ضافه جریان مانند رله ا ضافه ولتاژ از نمونه رله های القایی بوده که از مدل اصلاح شده گشتاور میسون تبعیت می‌کند. بنابراین این رله نیاز به گشتاور مثبت جهت عملکرد دارد ایجاد نیرو در رله های دیسکی الکترومکانیکی گشتاور متحرک در دیسک ایجاد می‌کند. در دو زمان متغیر فلو های ایجاد شده در فرکانس یکسان با اختلاف فاز θ به صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$\phi_1 = \phi_{1m} Sin(\omega t) \qquad (۱-۱)$$

$$\phi_2 = \phi_{2m} Sin(\omega t + \theta) \qquad (۱-۲)$$

در رله های الکترو مغناطیسی هر فلو سبب القای ولتاژ در اطراف خود می‌گردد و گردش جریان در رتور چرخان تحت تأثیر دو ولتاژ می‌باشد فلو ایجاد شده توسط جریان در برابر گردش جریانهای دیگر عکس العمل نشان می‌دهد موجب عملکرد نا مناسب می‌شود که سبب عملکرد دیسک می‌شود. با عنایت به اینکه جریان دیسک اندوکتانس خودی ناچیز تولید می‌کند، جریان و ولتاژ را هم فاز در نظر می‌گیریم.

نیروی مکانیکی در جهت خالف بین هم به وجود می‌آورد که نیرو وارد بر دیسک به صورت اختلاف در نیرو به صورت زیر بدست می‌آید:

$$F \propto \phi_{1m} \phi_{2m} Sin\theta \qquad (۱-۳)$$

اختلاف فاز θ فلوی سبب ایجاد نیرو می‌کند. موارد بالا در حالت فرکانس اصلی بدست آمده است. لذا در صورت وجود هارمونیک فلوی ایجاد شده ناشی از بارهای غیر خطی در فرکانسهای مختلف که با اختلاف فاز θ به صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$\phi_1 = \sum_{h=1}^{h=h_{max}} \phi_{1mh} \sin(h\omega t) \quad (۴-۱)$$

$$\phi_2 = \sum_{h=1}^{h=h_{max}} \phi_{2mh} \sin(h\omega t + h\theta) \quad (۵-۱)$$

$$i_{\phi 1} \propto \frac{d\phi_1}{dt} \propto \sum_{h=1}^{h=h_{max}} h\omega.\phi_{1_{mh}} \cos(h\omega t) \quad (۶-۱)$$

$$i_{\phi 2} \propto \frac{d\phi_2}{dt} \propto \sum_{h=1}^{h=h_{max}} h\omega.\phi_{2_{mh}} \cos(h\omega t + h\theta) \quad (۷-۱)$$

$$F = F_2 - F_1 \propto (\phi_2.i_{\phi 1} - \phi_1.i_{\phi 2}) \quad (۸-۱)$$

نتیجه نیرو متناسب با ضرب دوسری بدست می‌آید که عمال نشان می‌دهد نیروی وارد بر دیسک تغییر می‌کند.

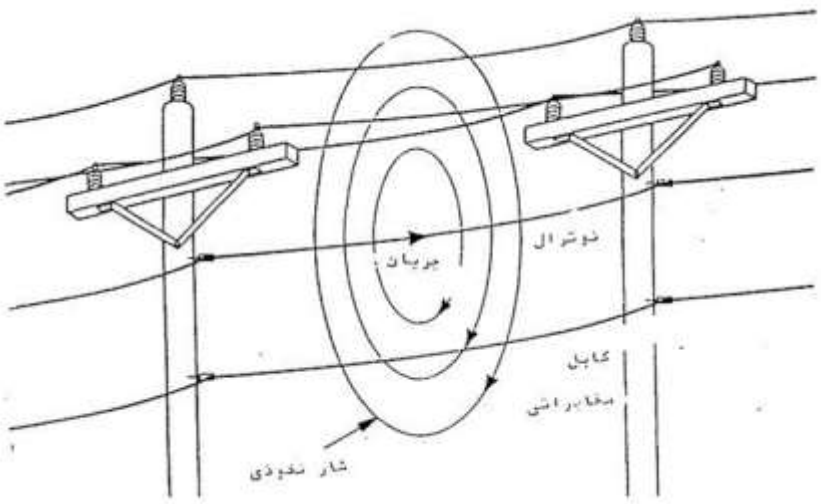
- ✓ در رله های سریع مقدار جریان لازم برای عملکرد رله در صورت وجود هارمونیک‌ها کمتر و یا بیشتر از مقدار نامی می‌گیرد ولی این تغییرات برای هارمونیک‌های زیاد نیز کمتر از 15 درصد است.
- ✓ رله‌هایی که دارای تاخیر زمانی هستند زمان عملکرد آن‌ها شدیدا تحت تأثیر هارمونیک‌ها قرار دارند.
- ✓ در رله‌ها بستگی به نوع هارمونیک ممکن است گشتاور عمل کننده رله معکوس شود.
- ✓ رله های استاتیکی فرکانسی کم تحت تأثیر هارمونیک و ولتاژ قرار دارند، بنحویکه وجود 10 درصد هارمونیک ولتاژ ممکن است زمان عملکرد آن‌ها را به دو برابر افزایش دهد از طرف دیگر اینگونه رله‌ها خیلی به هارمونیک‌های ولتاژ کسری کمتر از 50HZ حساس هستند و برای عملکرد مناسب آن‌ها بایستی اینگونه هارمونیک‌ها در کمتر از 5 درصد محدود گردند.
- ✓ وجود هارمونیک‌هایی با زوایای خاص نسبت به موج اصلی سبب می‌شود که در شکل موج ولتاژ هنگام عبور از نقطه صفر که مورد استفاده رله های فرکانسی هستند اغتشاش‌های خاصی بوجود آید بطوریکه عملکرد اینگونه رله‌ها شدیدا تغییر دهد.
- ✓ هارمونیک‌ها عملکرد خیلی سریع رله های دیفرانسیل را از بین می‌برند.
- ✓ وجود توالی صفر جریان ناشی از هارمونیک‌های مرتبه 3 جریان بر رله های جریان زمین تاثیر می‌گذارند و باعث دادن فرمان قطع اشتباه می‌گردد.

۱ ۲ ۵. اثر هارمونیک بر فیوزها :

با توجه به اینکه فیوزها عناصری هستند که گرم شدن آن‌ها سبب سریع‌تر عمل نمودن آنها می‌گردد، لذا وجود هارمونیک زیاد در شبکه باعث تغییر دادن منحنی مشخصه جریان – زمان فیوزها به دلیل گرم شدن اضافی آنها می‌شود.این مسئله به خصوص در جریان‌های پایین اتصال گوتاه بیشتر نمایان می‌گردد.

۱ ۲ ۶. اثر هارمونیک‌ها بر سیستم‌های مخابراتی :

از مهم‌ترین مسائلی که هارمونیک جریان ایجاد می‌نماید تداخلات مخابراتی است. جریان‌های هارمونیکی در صورت القا و یا هدایت مستقیم، وارد سیستم‌های مخابراتی می‌شوند. شکل زیر کوپلاژ و عمل القا توسط خطوط قدرت روی خطوط مخابراتی را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۱).کوپلاژ و القاءاز خطوط قدرت روی خطوط مخابرات

این نوع تداخل زمانی که در سیستم‌های مخابراتی از سیم‌های معمولی استفاده می‌شد بسیار زیاد بوده و لیکن با توجه به اینکه در حال حاضر از سیم‌های تلفنی که دارای شیلد هستند و یا سیمهای تلفنی که به صورت زوج به هم پیچیده شده‌اند استفاده می‌شود اثر کوپلاژ القایی کمتر شده است.

۱ ۲ ۷. اثر هارمونیک‌ها بر عایق‌ها:

اضافه ولتاژ ناشی از هارمونیک‌ها می‌تواند بر توانایی عایق‌ها تاثیر بگذارد و سبب شکست آن‌ها گردد و با توجه به اینکه عایق‌ها تقریباً در تمامی تجهیزات مورد استفاده در صنعت برق وجود دارند لذا بررسی تاثیر هارمونیک بر عایق‌ها لازم به نظر می‌رسد. ازمیان تجهیزات مورد استفاده خازن‌ها حساس‌ترین عنصر به حساب می‌آیند و اضافه ولتاژ آن‌ها معمولا نباید از 20% ولتاژ نامی بیشتر گردد.

اضافه ولتاژ قابل تحمل موتورهای الکتریکی از دیدگاه عایقی برابر یا بیشتر از دو برابر ولتاژ نامی موتور است. با توجه به چنین شرطی دیده می شود که هارمونیک‌ها تاثیر زیادی بر عایق‌های موتورها نخواهد گذاشت و هارمونیک‌ها بر تلفات موتور تاثیر بیشتری دارند.

همچنین هارمونیک‌ها بر عملکرد تجهیزاتی مانند برقگیرها که از فواصل هوایی استفاده می‌کنند تاثیر می‌گذارند در ضمن هارمونیک‌ها باعث گرم شدن اضافی تجهیزاتی که در آن‌ها از نیمه هادی‌ها استفاده می‌گردد می شوند. ازدیگر عناصری که هارمونیک‌ها بر عایق آن‌ها تاثیر می‌گذارند کابل‌ها می‌باشند که این مسئله احتمال شکست عایقی در کابل‌ها را به علت افزایش ولتاژ زیاد می‌کند.

۱ ۲ ۸. اثر هارمونیک بر ماشین‌های آسنکرون :

هارمونیک‌ها میزان امپدانس ما شین سنکرون را تغییر می‌دهند در صورتیکه موج جریان دارای هارمونیک با شد امپدانس ماشین در برابر هر هارمونیکی برابر با امپدانس زیرگذاری ماشین ضربدر شماره هارمونیک خواهد بود.

مسـئله دیگری که هارمونیک جریان ایجاد می‌نماید تاثیر مکانیکی بر توربین و ژنراتور می‌باشـد. در این حالت نوسـانات مکانیکی بدلیل گشتاور پالسی نا شی از تداخل بین جریانهای هارمونیکی و مولفه میدان اصلی ایجاد می‌گردد که باعث آسیب رسیدن به محورها می‌گردد. از طرف دیگر در صورتیکه فرکانس موج هارمونیکی به نحوی باشد که تولید نوسانات پالسی کند و فرکانس این نو سانات با فرکانسهای طبیعی مکانیکی ترکیب ژنراتور توربین برابر شود آنگاه شرایط تشدید فراهم می‌آید و باعث اشکالات عمده ای بر محور توربین ژنراتور می‌گردد.

DOI:

۲-فصل دوم : فناوری های شارژر خودرو برقی

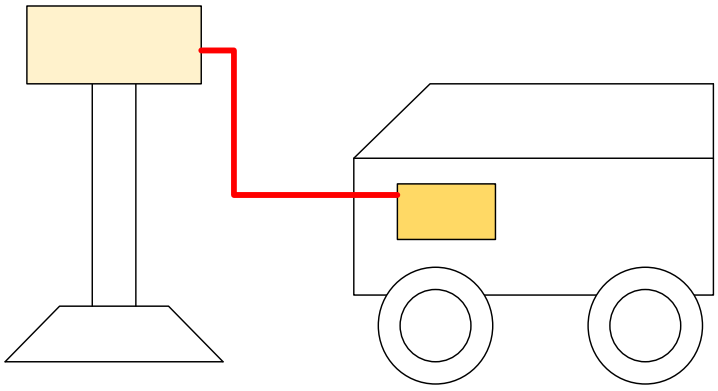
باتوجه به هدف اصلی گزارش پیش‌رو که بررسی کیفیت توان شبکه برق و شارژر خودرو برقی می‌باشد، در این فصل به توضیحات کاملی در مورد شارژرهای خودرو برقی از جهت سطوح شارژ و زیرساخت‌های شارژ، اجزاء اصلی شارژر و مبدل‌های مورد استفاده در شارژرها، تاثیر شارژ خودروهای برقی بر کیفیت توان شبکه و... پرداخته می‌شود.

۲ ۱ انواع سیستم‌های شارژ

یک وسیله الکتریکی که انرژی جریان AC را به جریان DC قابل تنظیم تبدیل می‌کند، و از آن برای شارژ ذخیره سازهای انرژی مثل باتری‌ها و یا تغذیه سایر سیستم‌های الکتریکی استفاده می‌شود. در ادامه انواع سیستم‌های شارژ معرفی می‌شوند.

۲ ۱ ۱. شارژر هدایتی

در این روش شارژ، انتقال انرژی به باتری خودرو بصورت مستقیم صورت می‌گیرد. این روش بسیار ساده و موثر است، و به دو صورت سوار برخودرو[1] و خارج از خودرو[2] عمل شارژ را انجام می‌دهد. در شکل (۱-۲) شماتیک این روش شارژ ارائه شده است.



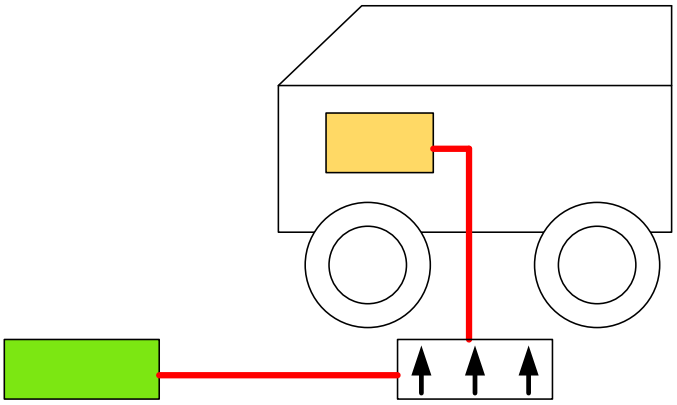
شکل(۱-۲). شماتیک شارژ هدایتی

[1] . On-Board

[2] . Off-Board

۲ ۱ ۲. شارژر القایی

در شارژ القایی که به شارژ بی سیم هم معروف ا ست، با ا ستفاده از یک میدان الکترومغناطیسی عمل انتقال انرژی به باتری خودرو برقی صورت می‌گیرد. از مزایای این روش شارژ می‌توان به ایمنی بالا در شرایط آب و هوایی مختلف اشاره کرد و از معایب آن تلفات انرژی و کیفیت پایین انتقال انرژی است. در شکل (۲-۲) شماتیک شارژ به روش القایی نشان داده شده است.



شکل(۲-۲). شماتیک شارژ القایی

۲ ۱ ۳. تعویض باتری

در این روش، صاحب خودرو باتری خالی خودرو را در جایگاه تعویض باتری با یک باتری پر تعویض می‌کند. از مزیت‌های این روش می‌توان به افزایش طول عمر باتری، اتلاف وقت کمتر برای صاحب ماشین و کاهش هزینه‌ها اشاره کرد.

۲ ۲ فناوری‌های شارژ خودرو برقی

در این بخش سطوح مختلف شارژ خودروهای برقی، و اجزاء شارژر بررسی می‌شوند.

۲ ۲ ۱. سطوح شارژ و زیر ساخت‌ها

تجهیزات تامین برق خودرو برقی (EVSE[1]) زیرساخت‌های تامین انرژی الکتریکی از یک منبع برق به شارژر خودرو برقی هستند و به عنوان یک نقطه شارژ الکتریکی شناخته می‌شوند [۲۰]. تجهیزات فوق شامل: کابل ها، اتصالات هستند که با اتصال به همدیگر و سپس شبکه برق، انرژی را به باتری خودرو منتقل می‌کنند. رابط بین EVSE و شبکه برق به طور مستقیم و از طریق کابل به یک دستگاه کنترل یا پریز برق متصل خواهد بود [۲۱]. آرایش‌های شبکه‌های برق در هر کشور با توجه به عواملی چون فرکانس، ولتاژ، اتصال شبکه برق و استانداردهای انتقال متفاوت است. موسسه تحقیقاتی برق (EPRI)، که نقش ا صلی را ایفا می کند، و انجمن مهند سان خودرو (SAE) سطوح شارژ را به عنوان سطح ۱ شارژینگ

[1] . Electrical Vehicle Supply Equipment

AC، سطح ۲ شارژینگ AC، و شارژ سریع DC (DCFC) سطح ۳ طبقه بندی می کند [۲۲]. با این حال، در بازنگری‌های صورت گرفته در استانداردهایSAE ، DCFC را به شارژینگ DC سطح ۱ و سطح ۲ طبقه بندی می کند. [۲۳]. همچنین در استانداردهای IEC 61851-1 نیز چهار حالت شارژر خودرو برقی تعریف شده است که عبارتند [۲۴] :

AC Mode 1 (آهسته)
AC Mode 2 (آهسته)
AC Mode 3 (آهسته/سریع)
DC Mode 4 (سریع)

همچنین مطالعات EPRI نشان می‌دهد که اکثر صاحبان خودرو برقی انتظار دارند یک شبانه روز برق خود را در خانه شارژ کنند. بنابراین، AC Level 1 و AC Level 2 شایع ترین سطح شارژ برای آنها هستند. تبدیل از AC به DC برای این سطوح شارژ در شارژر داخلی خودرو رخ می دهد.
در ادامه توضیحات کامل سطوح شارژ در EPRI ارائه شده است.

۲ ۳ شارژینگ AC سطح۱:

سطح ۱شارژینگ AC ، کندترین روش برای شارژ می‌باشد. در کشور آمریکا، شارژرهای سطح۱ از یک استاندارد با ولتاژ ۱۲۱ولت و جریان ۱۱آمپر زمین شده از قبیل NEMA 5-15R استفاده می‌کنند. شارژرهای سطح ۱به هیچگونه تجهیزات اضافی در خانه و مکان‌های اداری نیاز ندارند [۲۳-۲۶].

۲ ۴ شارژینگ AC سطح ۲:

این سطح شارژر برای مکان‌های عمومی و خصوصی مناسب است. ساختار شارژر سطح ۲ می‌تواند به منظور اجتناب از بکارگیری تجهیزات الکترونیک قدرتی اضافی سوار بر خودرو طراحی شود. این سطح شارژینگ در مکان‌های خصوصی با سطح ولتاژ ۲۴۰ولت و حداکثر جریان ۴۰ آمپر، و در مکان‌های عمومی برای شبکه‌های سه‌فاز با سطح ولتاژ ۴۰۰ولت و ظرفیت جریانی ۸۰ آمپر مورد استفاده قرار می‌گیرد. تجهیزات موجود در شارژرهای سطح ۲، امکان شارژ با حداکثر جریان ۳۲آمپر را فراهم می‌کند. این سطح شارژ توانایی تامین توان ۲۵-۷/۷ کیلووات را در مدت زمان ۴-۸ ساعت فراهم می‌کند [۲۳-۲۶].

اکثر خانه‌هایی که در کشور آمریکا وجود دارند دارای سطح ولتاژ ۲۴۱ولت هستند و با استفاده از شارژر سطح ۲ خودروها می‌توانند در طول شب شارژ شوند. دارندگان خودرو برقی امکان شارژ با استفاده از سیستم شارژ سطح ۲را به علت شارژ سریعتر و نوع اتصال استاندارد شده ترجیح می‌دهند.

۲ ۵ شارژینگ DC سطح ۳ (شارژینگ سریع[1]):

سیستم شارژینگ سطح۳ امکان شارژ کمتر از یک ساعت را فراهم می‌کند. این سیستم شارژینگ به صورت خارج از خودرو بوده و می‌تواند در بزرگراهها و ایستگاههای شارژ در شهرها مانند پمپ بنزینها، مراکز فروش، رستوران‌ها و مراکز خرید

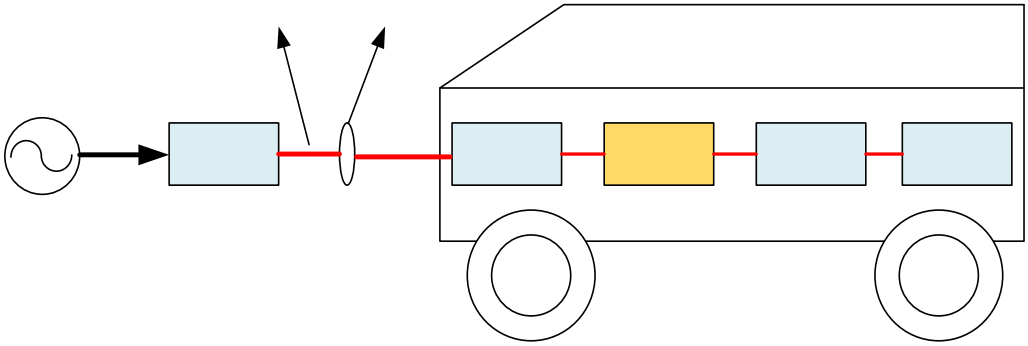
[1] . Fast Charging

نصب شوند، چراکه صاحب خودرو در زمان شارژ باتری می‌تواند به کارهای دیگر بر سد. در شارژینگ سطح۳، ۸۰ در صد ظرفیت باتری در زمان ۱۰تا ۱۵ دقیقه پر می شود و ۲۰ در صد باقیمانده در زمان خیلی طولانی‌تری پر می شود. همانطور که گفته شد، در شارژینگ سطح ۳ تبدیل جریان AC به DC توسط یک شارژر خارج از خودرو صورت می‌گیرد و توان DC وارد خودرو می‌گردد. یک شارژر خارج از خودرو شامل یک مدار سه فاز با ولتاژ AC ۲۰۸-۶۰۰ ولت که می‌تواند جریان تا ۲۰۰ آمپر را برای شارژ خودرو پشتیبانی کند [۲۳-۲۶].

۲ ۵ ۱. زیرساخت شارژر

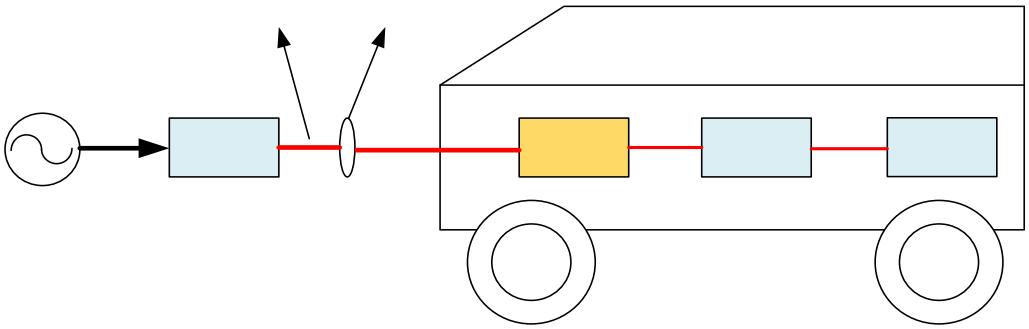
همانطور که در قسمت‌های قبل هم اشاره شد، موقعیت شارژر خودروهای برقی نسبت به خودرو به دو صورت سوار بر خودرو و خارج از خودرو می‌باشد :

- **شارژر سوار بر خودرو:** شارژری که در داخل خودرو قرار می‌گیرد و از آن برای تحویل توان DC به باطری خودرو استفاده می شود. همچنین این شارژر دارای یک ورودی AC جهت اتصال به سایر ادوات شارژ می‌باشد. در شکل (۳-۲) دیاگرام اتصال اجزاء انتقال توان در این نوع شارژر نشان داده شده است.



شکل(۳-۲). اتصال اجزاء انتقال توان در شارژر سوار بر خودرو

- **شارژر خارج از خودرو:** شارژری که در خارج از خودرو قرار می‌گیرد و از آن برای تحویل توان DC به باطری خودرو استفاده می‌شود. همچنین این شارژر دارای یک ورودی AC جهت اتصال به سایر ادوات شارژ موجود در ایستگاه شارژ می‌باشد. در شکل (۴-۲) دیاگرام اتصال اجزاء انتقال توان در این نوع شارژر نشان داده شده است.



شکل(۴-۲). اتصال اجزاء انتقال توان در شارژر خارج از خودرو

در جدول (۱-۲) اطلاعات ارائه شده در استاندارد SAE J1772 از سطوح شارژ مختلف برای شارژهای سوار بر خودرو و خارج از خودرو ارائه شده است [۲۷].

جدول (۱-۲). مشخصات سطوح شارژ مختلف در استاندارد SAE J1772

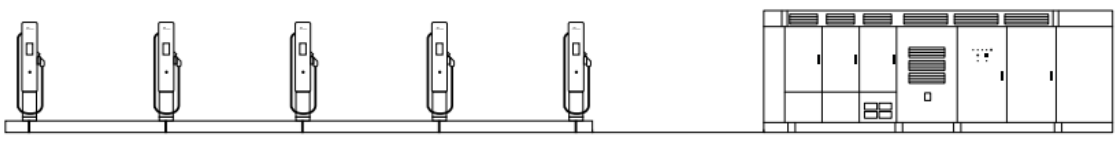
زمان شارژ	اندازه باتری (kWh)	ماکزیمم توان (kW)	موقعیت شارژر	جریان و ولتاژ ورودی	سطح شارژ	
۱۰-۱۳	۲۴ انرژی در دسترس ۱۹/۲	۱/۴۴	سوار بر خودرو تکفاز	۱۲۰ VAC ۱۵ A (قابل استفاده ۱۲ A)	AC سطح ۱	
		۱/۹۲		۱۲۰ VAC ۲۰ A (قابل استفاده ۱۶ A)		
۱-۳	۲۴ انرژی در دسترس ۱۹/۲	۷/۷	سوار بر خودرو تکفاز و سه فاز	۲۴۰ VAC ۴۰ A (قابل استفاده ۳۲ A)	AC سطح ۲	
		۲۵/۶		۴۰۰ VAC ۸۰ A (قابل استفاده ۶۴ A)		
۰/۵-۱/۴۴	۲۴ انرژی در دسترس ۱۹/۲	۱۳/۳	خارج از خودرو سه‌فاز	۲۰۸ VAC ۸۰ A (قابل استفاده ۶۴ A)	DC سطح۱	سطح ۳ شارژینگ
		۳۸/۴		۶۰۰ VAC ۸۰ A (قابل استفاده ۶۴ A)		
۰/۲-۰/۵۸	۲۴ انرژی در دسترس ۱۹/۲	۳۳/۳	خارج از خودرو سه‌فاز	۲۰۸ VAC ۲۰۰ A (قابل استفاده ۱۶۰ A)	DC سطح ۲	
		۹۶		۶۰۰ VAC ۲۰۰ A (قابل استفاده ۱۶۰ A)		

۲ ۶ شارژرهای سریع توان بالا

علاوه بر شارژرهای بررسی شده در قسمت قبل کخه عموما توان پایین بودن، ایستگاههای شارژ توان بالا (توان بالاتر از 1000 kW هم در شبکه های برق وجود دارد که بواسطه توان بالایی که در زمان کمی از شبکه دریافت می کنند تاثیر قابل ملاحظه ای بر روی کیفیت توان شبکه برق می گذارند. بطور کلی ایستگاههای شارژ توان بالا به دو شکل در شبکه وجود دارند.

ایستگاه شارژ توان بالا

در شکل (۵-۲) یک نمونه از ایستگاههای شارژ توان بالا نشان داده شده است؛ همچنین در جدول (۲-۲) مشخصات الکتریکی این نوع ایستگاههای شارژ ارائه شده است:



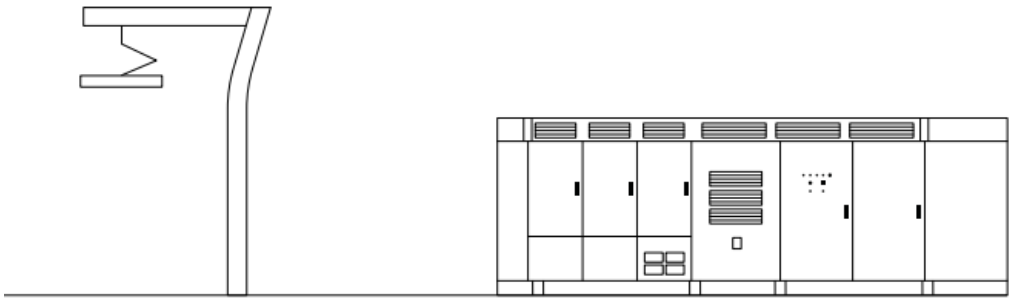
شکل(۵-۲). ایستگاه شارژ سریع توان بالا

جدول (۲-۲). مشخصات ایستگاه شارژ توان بالا

-		IEC	US
خروجی (DC)	توان پست (kW)	1000/1500/2000	
	توان شارژ (kW)	200/350/500	
	محدوده ولتاژ (V)	150-1000	
	ماکزیمم جریان شارژ (A)	375/500/500	
خروجی (AC)	توان پست (kW)	22.2	6.7-7.7
	محدوده ولتاژ (V)	400 ± 10 %	208 - 240 ± 10 %
	جریان شارژ (A)	32	
ورودی (AC)	توان پست (kVA)	400/360	
	ولتاژ (kV)	15/20/25	
	ضریب توان	>0.99	
	فرکانس	50/60	
	راندمان	>96%	

- ایستگاه شارژ توان بالا بهمراه پانتوگراف[1]

در شکل (۶-۲) یک نمونه از ایستگاههای شارژ توان بالا نشان داده شده است؛ همچنین در جدول (۳-۲) مشخصات الکتریکی این نوع ایستگاههای شارژ ارائه شده است:



شکل(۶-۲). ایستگاه شارژ سریع توان بالا پانتوگراف

[1] STATION PLUS + PANTOGRAPH

جدول (۳-۲). مشخصات ایستگاه شارژ توان بالا پانتوگراف

-		IEC	US
خروجی (DC)	توان پست (kW)	1000/1500/2000	
	توان شارژ (kW)	200/350/500/700	
	محدوده ولتاژ (V)	150-1000	
	ماکزیمم جریان شارژ (A)	375/500/500/700	
خروجی (AC)	توان پست (kW)	22.2	6.7-7.7
	محدوده ولتاژ (V)	400 ± 10 %	208 - 240 ± 10 %
	جریان شارژ (A)	32	
ورودی (AC)	توان پست (kVA)	1250/2000/2500	
	ولتاژ (kV)	15/20/25	
	ضریب توان	>0.99	
	فرکانس	50/60	
	راندمان	>96%	

۲ ۷ شارژرهای یکطرفه و دوطرفه

مطابق با مسیر عبور توان در شارژرها، دو نوع شارش توان بین خودرو و شبکه الکتریکی امکانپذیر است که توسط شارژرهای یک‌طرفه و شارژرهای دوطرفه شناخته می‌شود. در ادامه توضیحاتی مختصر برای هرکدام آورده شده است.

۲ ۷ ۱. شارژر یک‌طرفه

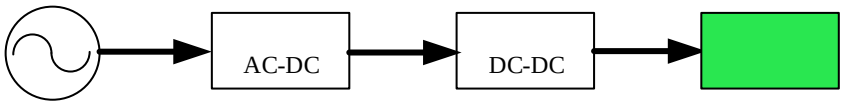
در شارژرهای یک‌طرفه، خودروها تنها می‌توانند شارژ شوند اما نمی‌توانند به شبکه انرژی تزریق کنند. این نوع شارژرها معمولاً از پل‌های دیودی به همراه یک فیلتر و یک مبدل DC-DC تشکیل شده‌اند. این مبدل‌ها می‌توانند به‌صورت تک‌مرحله‌ای یا چندمرحله‌ای (اغلب دومرحله‌ای) باشند. سادگی کنترل شارژرهای یک‌طرفه، امکان مدیریت فیدرها با بارگذاری سنگین را آسان می‌کند [۲۸].

۲ ۷ ۲. شارژ دوطرفه

یک شارژر دوطرفه معمولاً دارای دو مرحله می‌باشد؛ یک یکسوساز AC-DC دوطرفه که ضریب قدرت را تنظیم می‌کند و یک مبدل DC-DC برای تنظیم جریان باتری. این شارژرها می‌توانند به‌صورت ایزوله یا غیر ایزوله استفاده شوند. وقتی‌که این شارژرها در حالت شارژ کار می‌کنند، جریان سینوسی را با زاویه فاز مشخص به‌منظور کنترل توان اکتیو و راکتیو از شبکه می‌کشند. در حالت دشارژ، شارژر جریان را به همان فرم سینوسی برمی‌گرداند. امروزه شبکه‌های الکتریکی دارای ناکارآمدیهای زیادی هستند که هم پرهزینه و هم موجب بروز تلفات هستند. تعدادی از این ناکارآمدی‌ها ناشی از تغییرات بار است که هرروز اتفاق می‌افتند و بهره‌بردار را ملزم به تنظیم فرکانس و ولتاژ می‌کنند. نفوذ افزایش یافته بازار خودروهای برقی با امکان تزریق به شبکه(V2G) امکان شارژینگ هماهنگ شده خودروها را به‌منظور کاهش مشکلات مذکور فراهم می کند. این پتانسیل عظیم که برای بهبود بازده شبکه با استفاده از ظرفیت انرژی ذخیره‌شده در خودرو وجود دارد از طریق شارژرهای دوطرفه که امکان انتقال توان در هر دو طرف را امکانپذیر می‌کند، مورداستفاده قرار می‌گیرد [۲۸].

۲ ۷ ۳. اجزاء اصلی شارژر

در شکل (۷-۲) اجزاء اصلی شارژ نشان داده شده است. مطابق با شکل فوق دو جزء اصلی شارژر عبارتند از یکسو ساز AC-DC و مبدل DC-DC .



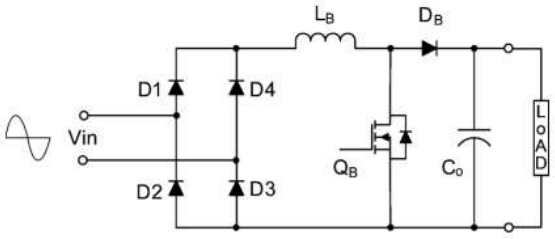
شکل (۷-۲). اجزاء اصلی شارژر باتری

با توجه به نوع یکسو ساز و مبدل و اتصال آنها به هم و همچنین یک‌طرفه و یا دوطرفه بودن شارژر، شارژرها با ساختارهای بسیار متنوعی وجود دارد [۲۹]، که در این بخش انواع شارژرهای پرکاربرد تشریح می شوند. شارژرهای پرکاربرد مورد بحث در این بخش عبارتند از :

شارژر یک‌طرفه با مبدل افزاینده [۳۰].
شارژر یک‌طرفه چند سطحی [۳۱].
شارژر دوطرفه چند سطحی [۳۱].
شارژر دوطرفه نیم پل تکفاز [۲۹].
شارژر دوطرفه تمام‌پل [۲۹].

۲ ۸ شارژر یک‌طرفه با مبدل افزاینده [۳۰].

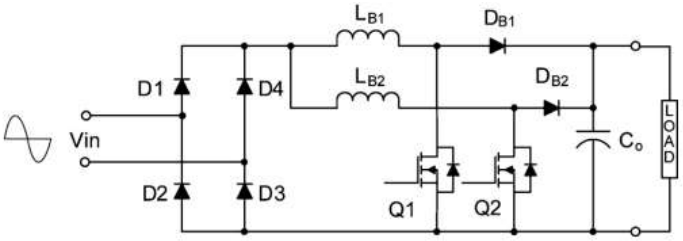
در این شارژر که در شکل (۸-۲) نشان داده شده است، از یک یکسوساز تمام پل دیودی به همراه یک مبدل افزاینده استفاده می‌شود. در این شارژ ریپل جریان خازن خروجی خیلی زیاد است، و از سوی دیگر با افزایش قدرت خروجی میزان تلفات در دیودهای یکسوساز افزایش می‌یابد، و ازاینرو استفاده از ساختار فوق در شارژ خودروهای برقی توصیه نمی‌شود.



شکل (۸-۲). ساختار شارژر یک طرفه با مبدل افزاینده متعارف

برای بهبود عملکرد این شارژر تغییراتی در ساختار آن صورت گرفته است، که با اعمال آنها می توان از شارژهای یک‌طرفه با مبدل افزاینده در خودروهای برقی استفاده کرد. ساختار بهبود یافته شارژرهای فوق در شکل (۹-۲) نشان داده شده است. در ساختار بهبود یافته از دو مبدل DC-DC استفاده می‌شود که بصورت موازی باهم و با اختلاف فاز ۱۸۰ به هم متصل شده‌اند. در این ساختار با توجه به اینکه جریان ورودی مجموع جریان دو سلف است که با هم ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند، ریپل جریان آنها هم با هم ۱۸۰ درجه اختلاف فاز داشته و در نتیجه ریپل جریان مجموع کمتر خواهد شد. با کاهش ریپل جریان از فیلتر

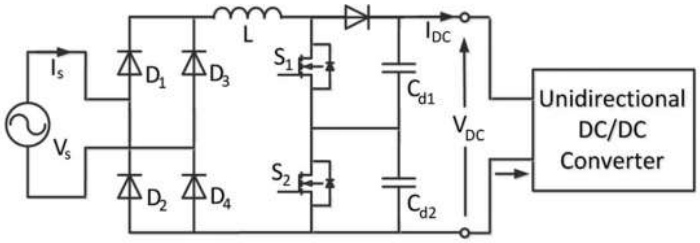
تداخل الکترومغناطیسی کوچکتری استفاده می‌شود. همچنین با توجه به محدودیت‌های گرمایی پل ورودی شارژر، توان این شارژر حداکثر ۳,۵کیلووات می‌تواند باشد [۳۲].



شکل (۹-۲). ساختار شارژر یک طرفه با مبدل افزاینده بهبودیافته

۲ ۹ شارژر یک‌طرفه چند سطحی

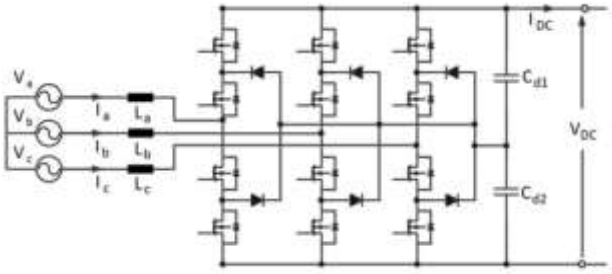
شارژرهای یک‌طرفه چند سطحی با ساختارهای متنوعی وجود دارد که در شکل (۱۰-۲)، یک نمونه آن نشان داده شده است. شارژ شکل (۱۰-۲)، یک شارژر تکفاز دو سطحی است که برای شارژینگ سطح ۱ و ۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از مبدل‌های موجود در این شارژرها و همچنین روش‌های کنترل آنها، می‌توان به ضریب توان بالاتر، THD کمتر در جریان ورودی و ریپل کمتر در ولتاژ DC خروجی دست یافت [۳۳].



شکل (۱۰-۲). ساختار یک نوع شارژر یک طرفه چندسطحی

۲ ۱۰ شارژر دوطرفه چند سطحی

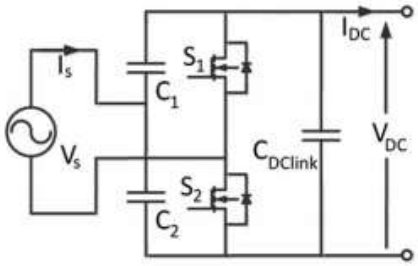
شارژرهای دوطرفه چندسطحی سه فاز برای استفاده در شارژینگ سطح ۳ توصیه می‌شوند. با استفاده از مبدل‌های موجود در این شارژر می‌توان به سطح بالایی از کیفیت توان با مقدار پایین THD در جریان ورودی، ضریب توان بالا، ریپل کم ولتاژ DC و تداخلات الکترومغناطیسی پایین رسید. در شکل (۱۱-۲)، ساختار شارژر دوطرفه چندسطحی سه‌فاز نشان داده شده است.



شکل (۱۱-۲). ساختار شارژر دو طرفه چندسطحی

۲ ۱۱ شارژر دوطرفه نیم‌پل تکفاز

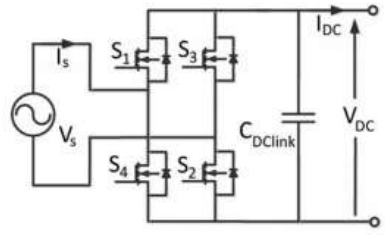
شارژرهای دوطرفه نیم‌پل تکفاز به علت سادگی ساختارشان کم‌هزینه و پرکاربرد هستند. از سوی دیگر ساختار ساده این شارژرها باعث بروز تنش‌های بالا و همچنین هارمونیک‌های جریان و ولتاژ می شود که در صورت عدم ا ستفاده از فیلترهای منا سب، هارمونیک‌های فوق برای شبکه م شکل ایجاد می‌کنند. در شکل (۱۲-۲) یک نمونه شارژر دوطرفه نیم پل تکفاز نشان داده شده است.



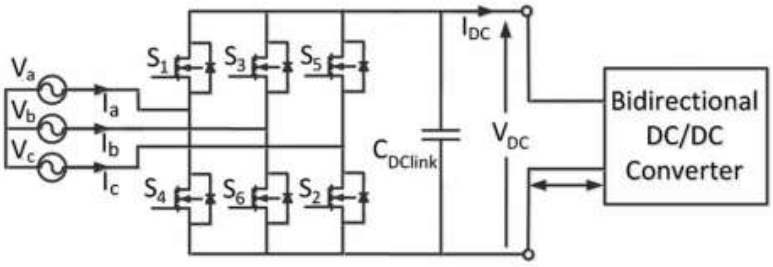
شکل (۱۲-۲). ساختار شارژر دو طرفه نیم‌پل تکفاز

۲ ۱۲ شارژر دوطرفه تمام‌پل.

از دیگر شارژرهای پرکاربرد می‌توان به شارژرهای دوطرفه تمام پل اشاره کرد. در شارژرهای تمام‌پل در مقایسه با شاژرهای نیم‌پل تنش کمتری برروی قطعات وجود دارد و هارمونیک کمتری تولید می‌کنند. هر چند هارمونیک شارژرهای تمام پل از نیم‌پل کمتر ا ست، باید توجه کرد که در صورت ا ستفاده از فیلتر نامنا سب، هارمونیک‌های بوجود آمده برای کیفیت توان شبکه مضر خواهند بود. در شکل (۱۳-۲) ساختار شارژرهای دوطرفه تمام‌پل تکفاز و سه‌فاز نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۱۳-۲). ساختار شارژر دوطرفه تمام‌پل. (الف) تکفاز، (ب) سه‌فاز

DOI:

۳- فصل سوم: بررسی استانداردهای مرتبط با کیفیت توان شبکه برق در حضور خودروهای برقی

در این فصل به‌منظور استخراج شاخص‌های مهم کیفیت توان شبکه برق و شارژر خودرو برقی، مراجع معتبر موجود بررسی می‌شوند و در انتها با جمع بندی آنها، مراجع مرتبط برای استخراج شاخص‌ها معرفی می‌گردند.

استانداردهای مختلفی در رابطه با کیفیت توان شبکه‌های برق و همچنین بارگیری و شارژ خودروهای برقی وجود دارد. با توجه به تحولات زیاد این زمینه، این استانداردها ممکن است با اصلاحاتی به روز شوند یا با استانداردهای جدید در آینده نزدیک عوض شوند.

در این بخش استانداردهای معتبر بین‌المللی مرتبط با موضوع پروژه در دوبخش زیر معرفی می‌شوند:

استانداردهای مربوط به کیفیت توان شبکه‌های برق.

استانداردهای مربوط به کیفیت توان خودروهای برقی.

در ادامه پروژه، با استناد به استاندردهای فوق، ابتدا شاخص‌های مهم کیفیت توان، و سپس مقادیر و محدودیت‌های مجاز شاخص‌های فوق برای شبکه‌های الکتریکی و شارژر خودروهای برقی ارائه می‌شوند.

۳ ۱ استانداردهای مربوط به کیفیت توان شبکه‌های برق.

با توجه به اینکه خودروهای برقی یا به شکل مصرف کننده و یا یک منبع به شبکه‌های برق متصل می شوند، مطالعه و بررسی استانداردهای کیفیت توان شبکه‌های برق در ارتباط با اتصال بارها و منابع تغذیه بایستی بررسی گردد. در واقع با توجه به استانداردهای فوق و همچنین تقسیم‌بندی خودروهای برقی (از دید بار یا منبع بودن، نوع شارژر و توان مبادله شده با شبکه و...) به استخراج شاخص‌ها و محدوده مجاز آنها پرداخته شود.

۳ ۱ ۱ استانداردهای IEEE

در جدول (۱-۳) لیست استانداردهای IEEE که با کیفیت توان شبکه الکتریکی در حضور خودروهای الکتریکی مرتبط است، ارائه شده است:

جدول (۱-۳): لیست استانداردهای IEEE مرتبط با کیفیت توان و خودروهای الکتریکی

عنوان/توصیف	استاندارد
مشخصات هارمونیکی	IEEE std۱۵۱۹
توصیه های عملی برای مانیتورینگ کیفیت توان	IEEE std ۱۱۵۹
استانداردهای اتصال تولیدات پراکنده به شبکه برق	IEEE std ۱۵۴۷
مشخصات فنی شارژرهای DC برای خودروهای برقی	IEEE std ۲۰۳۰

در ادامه توضیحات مختصری برای هریک از استانداردهای جدول (۱-۳) ارائه شده است:

۳ ۱ ۲ استاندارد IEEE std ۵۱۹

عنوان این استاندارد "اقدامات و الزامات کنترل هارمونیک سیستم‌های قدرت" می‌باشد و در آن اهداف طراحی شبکه‌های الکتریکی در حضور بارهای خطی و غیرخطی معرفی می شود. همچنین با توصیف شکل‌موج‌های ولتاژ و جریان سیستم، اعوجاجات شکل موج‌های فوق بررسی شده است.

در این استاندارد با بیان محدودیت‌های حالت ماندگار سیستم، پدیدهای گذرایی که ممکن است از محدوده‌های فوق تجاوز کنند معرفی شده‌اند. همچنین این استاندارد شامل کیفیت‌توان تحویلی به مصرف کننده در نقطه اتصال مصرف‌کننده به شبکه هم می‌شود.

۳ ۱ ۳ استاندارد IEEE std ۱۱۵۹

عنوان این استاندارد "مانیتورینگ کیفیت توان" می‌باشد و شامل مانیتورینگ مشخصه‌های الکتریکی سیستم–های قدرت در حالت تکفاز و چندفاز می شود. در این استاندارد به توصیف شرایط نامی سیستم قدرت، انحراف از شرایط نامی، و دلایل انحراف که می‌تواند ناشی از منبع تغذیه یا مصرف کننده و یا هر دو آنها باشد، پرداخته شده است. همچنین در آن در مورد وسایل مانیتورینگ کیفیت توان، تکنیک‌های کاربردی و تفسیر نتایج مانیتورینگ به تفصیل پرداخته شده است.

۳ ۱ ۴ استاندارد IEEE std ۱۵۴۷

عنوان این استاندارد "مطالعه اثرات اتصال تولیدات پراکنده در شبکه" می‌باشد و در آن به توصیف معیارها، اهداف و محدوده مطالعات مهندسی برای بررسی اثرات اتصال تولیدات پراکنده بصورت مجزا و تجمیع شده در شبکه‌های توزیع الکتریکی پرداخته شده است.

۳ ۱ ۵ استاندارد IEEE std ۲۰۳۰

عنوان این استاندارد "مشخصات شارژر DC سریع برای استفاده در خودروهای الکتریکی" می‌باشد. با توجه با اینکه در شارژ DC، شارژر بصورت خارج از ماشین می‌باشد، و در نتیجه کنترل توان در مقایسه با شارژ AC دشوارتر است، این استاندارد با ارائه مشخصات شارژر DC درصدد تسهیل کار سازندگان و اپراتورهای سیستم می‌باشد.

۳ ۲ استاندارد IEC

در جدول (۳–۲) لیست استانداردهای IEC که با کیفیت توان شبکه الکتریکی در حضور خودروهای الکتریکی مرتبط است، ارائه شده است:

جدول (۲–۳): لیست استانداردهای IEC مرتبط با کیفیت توان و خودروهای الکتریکی

عنوان/توصیف	استاندارد
محدودیت جریان هارمونیکی برای تجهیزات با جریان کمتر از ۱۶ آمپر	IEC ۶۱۰۰۰-۳-۲
استاندارد تجهیزات ولتاژ پایین و با جریان بیشتر از ۱۶ آمپر	IEC ۶۱۰۰۰-۳-۲

در ادامه توضیحات مختصری برای هریک از استانداردهای جدول (۲–۳) ارائه شده است:

۳ ۲ ۱ استاندارد IEC ۶۱۰۰۰ ۳ ۲

عنوان این اســـتاندارد "محدودیت‌های آلودگی‌های جریان هارمونیکی برای تجهیزات با جریان ورودی تا ۱۶آمپر در فاز" می‌باشد و در آن در مورد محدودیت‌های جریان هارمونیکی تزریقی به سیستم‌ها صحبت شده است. در این استاندارد محدوده مولفه‌های هارمونیکی جریان که می‌تواند ناشی از تجهیزات متصل به شبکه در شرایطی مشخص باشد، ارائه شده است.

۳ ۲ ۲ استاندارد IEC ۶۱۰۰۰ ۳ ۴

عنوان این استاندارد "محدودیت‌های آلودگی‌های جریان هارمونیکی در سیستم‌های تامین توان ولتاژ پایین برای تجهیزات با جریان نامی بیشتر از ۱۶آمپر در فاز" می‌باشد. این استاندارد در مورد اختلالات نا شی از هارمونیک‌ها صحبت می‌کند، و محتوای آن قابل استفاده برای تجهیزات الکتریکی است که جریان نامی آنها بیشتر از ۱۶آمپر در فاز است و به سیستم‌های ولتاژ پایین لیست زیر وصل می‌شوند:

- ولتاژ نامی تا ۲۴۰ولت در سیستم‌های تکفاز.
- ولتاژ نامی تا ۶۰۰ولت در سییستم‌های سه‌فاز.
- فرکانس نامی ۵۰ یا ۶۰ هرتز.

۳ ۳ استاندارد صنعت برق ایران

در جدول (۳-۳) لیست استانداردهای صنعت برق ایران که با کیفیت توان شبکه الکتریکی در حضور خودروهای الکتریکی مرتبط است، ارائه شده است:

جدول (۳-۳): لیست استانداردهای صنعت برق ایران در مورد کیفیت توان شبکه‌های الکتریکی

استاندارد	عنوان/توصیف
صنعت برق ایران- مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت اول	کلیات کیفیت برق تحویلی به مشترکین
صنعت برق ایران- مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت دوم	حدود مجاز هارمونیک‌ها
صنعت برق ایران- مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت سوم	فلش (افتادگی ولتاژ) و قطعی ولتاژ
صنعت برق ایران- مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت چهارم	تغییرات ولتاژ و فرکانس
صنعت برق ایران- مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت پنجم	پدیده‌های گذرا
صنعت برق ایران- مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت ششم	زمین کردن

صنعت برق ایران- مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت هفتم	مشخصات فنی وسایل اندازه گیری و معیار انتخاب آنها
صنعت برق ایران- مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت هشتم	دستورالعمل اندازه گیری کیفیت برق، بازرسی و اطمینان از کیفیت آن

در ادامه توضیحات مختصری برای هریک از استانداردهای جدول (۳-۳) ارائه شده است:

۳ ۳ ۱ مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ــ قسمت اول: کلیات کیفیت برق تحویلی به مشترکین.

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه حدودمجاز پدیده‌های مهم کیفیت برق می‌باشد تا با رعایت آنها توسط شرکت‌های برق و همچنین مشترکین آنان، وضعیت برق تحویلی به انواع مشترکین از کیفیت مناسب و مشخصی برخوردار باشد. همچنین در مورد پدیده‌های که امکان ارائه حدود مجاز برای آنها وجود ندارد، توصیه‌های اجرایی و دستورالعمل‌های فنی ارائه می‌گردد.

۳ ۳ ۲ مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ــ قسمت دوم: حدود مجاز هارمونیک‌ها

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه حدود مجاز هارمونیک‌ها در سطوح مختلف ولتاژ می‌باشد. همچنین، این استاندارد بررسی مقادیر مجاز هارمونیک‌ها، سطوح سازگاری، مصونیت تجهیزات و روش‌های محاسبه و انتقال هارمونیک در یک شبکه الکتریکی را دربر می‌گیرد و به کمک آن می‌توان کیفیت برق در یک شبکه الکتریکی را از دیدگاه هارمونیک‌ها استاندارد نمود.

۳ ۳ ۳ مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـ قسمت سوم: فلش (افتادگی ولتاژ) و قطعی ولتاژ.

هدف از تدوین این استاندارد، شناخت و بررسی مفهوم فلش ولتاژ، تخمین مشخصات و بررسی اثرات آن بر پایداری تجهیزات می‌باشد. این استاندارد شناخت مفهوم فلش ولتاژ، روش‌های تخمین مشخصات فلش ولتاژ و اثرات آن بر پایداری تجهیزات را در بر می‌گیرد.

۳ ۳ ۴ مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـــ قسمت چهارم: تغییرات ولتاژ و فرکانس.

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه حدود مجاز برای تغییرات مختلف ولتاژ و فرکانس می‌باشد. این استاندارد تغییرات بلند مدت ولتاژ، عدم تعادل ولتاژ، فلیکر ولتاژ، سطوح نامی ولتاژ و تغییرات فرکانس را در کلیه سطوح ولتاژ در بر می‌گیرد.

۳ ۳ ۵ مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـــ قسمت پنجم: پدیده‌های گذرا

هدف از تدوین این استاندارد، ایجاد دانش فنی و ارائه دستورالعمل‌هایی در خصوص امواج گذرا در شبکه‌های فشار ضعیف می‌باشد. با این اطلاعات، طراحان تجهیزات، مهندسین برق و استفاده‌کنندگان تجهیزات برقی می‌توانند شرایط عملکرد مناسب تجهیزات خود را از دیدگاه کیفیت برق مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند و نیاز به وسایل حفاظتی را در جهت بهبود و ضعیت موجود درک نمایند. همچنین، این ا ستاندارد برر سی شرایط عملکرد منا سب تجهیزات در برابر امواج گذرا از دیدگاه کیفیت برق در سیستم‌های توزیع و فشار ضعیف تکفاز، سه فاز، مسکونی، تجاری و صنعتی را در بر می‌گیرد.

۳ ۳ ۶ مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـــ قسمت ششم: زمین کردن.

هدف از این استاندارد، ارائه اطلاعات لازم در مورد وضعیت سیستم زمین و تاثیر آن بر کیفیت برق تحویلی به مشترکین می‌باشد. همچنین، این استاندارد در ایجاد ایمنی شبکه‌های الکتریکی کاربرد دارد.

۳ ۳ ۷ مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـــ قسمت هفتم: مشخصات فنی وسایل اندازه گیری و معیار انتخاب آنها.

هدف از تدوین این استاندارد، راهنمایی استفاده‌کنندگان در انتخاب مناسب دستگاههای اندازه‌گیری مورد استفاده در رابطه با کیفیت برق می‌با شد. همچنین، این ا ستاندارد م شخ صات ا صلی د ستگاههای مختلف اندازه‌گیری کیفیت برق و همچنین نیازها و امکانات ضروری آن د ستگاه‌ها را در بر می‌گیرد. این ا ستاندارد، دیگر تجهیزات قابل کاربرد در صنعت برق را که با کیفیت برق ارتباط ندارند، شامل نمی‌شود.

۳ ۳ ۸ مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) ـــ قسمت هشتم: دستورالعمل اندازه گیری کیفیت برق، بازرسی و اطمینان از کیفیت آن.

هدف از تدوین این استاندارد، بررسی مانیتورینگ کیفیت برق در شبکه‌های برق، اثرات کیفیت نامناسب برق بر تجهیزات شرکت‌های برق و مصرف‌کنندگان، تغییر مقادیر اندازه‌گیری شده، انتخاب مبدل مناسب و چگونگی کاربرد اندازه‌گیری کیفیت برق می‌باشد.

۳ ۴ استانداردهای مربوط به کیفیت توان شارژرخودروهای برقی

در جدول (۴-۳)، مهمترین استانداردهای خودروهای برقی در اتصال به شبکه‌های برق ارائه شده است. اما در همه استانداردهای فوق به مسئله کیفیت توان پرداخته نشده است. در ادامه این بخش، استانداردهایی که به بررسی مسئله کیفیت توان شبکه‌های برق در حضور خودروهای برقی پرداخته‌اند مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

جدول (۴-۳). استانداردهای شارژ خودروهای برقی

عنوان/توصیف	استاندارد	
تعریف کابل‌ها و اتصالات	IEC 61851-1	IEC 61851: conductive charging systems
تعریف ایمنی الکتریکی، هارمونیک‌ها، اتصالات شبکه برای شارژرهای سریعDC	IEC 61851-23	
ارتباطات دیجیتال برای کنترل شارژینگ DC	IEC 61851-24	
تشریح ملزومات اساسی اتصالات خودرو الکتریکی	IEC 62196-1	IEC 62196: Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and inlets
توصیف انواع کوپلر برای مودهای مختلف شارژ	IEC 62196-2	
تعریف اتصالات در شارژر سریع DC	IEC 62196-3	
تشریح ملزومات اساسی ایستگاههای شارژ	IEC 60309-1	IEC 60309- Plugs, socket-outlets and couplers
تشریح تاسیسات الکتریکی مربوط به شارژ در خانه	IEC 60364	
تعریف اتصالات الکتریکی در شارژ AC	SAE J1772: conductive charging systems	
شارژ القایی خودروهای الکتریکی	SAE J1773	
توصیف محیط ارتباطی و ضوابط مربوطه در اتصال خودروهای برقی به سطوح شارژ ۱ و ۲ AC	SAE J2847-1	SAE J2847: Communication
تعاریف مربوط به شارژ DC	SAE J2847-2	
توصیف سیستم انتقال انرژی در خودروی برقی و	SAE J2293	
تشریح دستورالعمل ایمنی در خودروهای برقی	SAE J2344	
شارژ القایی	SAE J2954: inductive charging	
الزامات کیفیت توان در خودروهای الکتریکی متصل به شبکه	SAE J 2894-2	

در میان استانداردهای ارائه شده در جدول (۴-۳)، تنها برخی از استانداردهای SAE به کیفیت توان شارژر ارتباط دارد، که در ادامه این بخش به تشریح استانداردهای مرتبط با کیفیت توان SAE پرداخته می‌شود.

۳ ۴ ۱ استاندارد SAE (استانداردهای جامعه مهندسین خودرو)

در جدول (۵-۳) لیست استانداردهای SAE که با کیفیت توان شبکه الکتریکی در حضور خودروهای الکتریکی مرتبط است، ارائه شده است:

جدول (۵-۳): لیست استانداردهای SAE مرتبط با کیفیت توان و خودروهای الکتریکی

عنوان/توصیف	استاندارد
شارژ پلاگین خودروهای الکتریکی و خودروهای الکتریکی هیبریدی	SAE J۱۷۷۲
شارژ القایی خودروی برقی	SAE J۱۷۷۳
سیستم انتقال انرژی خودروی برقی	SAE J۲۲۹۳
ارتباط بین خودروهای الکتریکی متصل به شبکه و شبکه الکتریکی	SAE J ۲۸۴۷
ملزومات کیفیت توان خودروهای برقی	SAE J ۲۸۹۴

در ادامه توضیحات مختصری برای هریک از استانداردهای جدول (۵-۳) ارائه شده است:

۳ ۴ ۲ استاندارد SAE J ۱۷۷۲:

این استاندارد با عنوان "شارژ پلاگین خودروهای الکتریکی و خودروهای الکتریکی هیبریدی"، با بررسی سطوح مختلف شارژ و همچنین تجهیزات شارژر باتری، این امکان را فراهم کرده است که با توجه به الزامات وسیله نقلیه بتوان مناسب‌ترین شارژر را از دید فنی و اقتصادی انتخاب کرد.

۳ ۴ ۳ استاندارد SAE J۱۷۷۳:

عنوان این استاندارد "شارژ القایی خودروهای برقی" می‌باشد، و هدف آن حداقل رساندن الزامات سیستم مورد استفاده در شارژ القایی خودروهای الکتریکی است.

۳ ۴ ۴ استاندارد SAE J۲۲۹۳:

عنوان این استاندارد "سیستم انتقال انرژی در خودروهای الکتریکی" می‌باشد. این استاندارد در دو بخش ارائه شده است، و با در نظرگیری همه روش‌های شارژ شامل شارژ پلاگین، شارژ القایی، شارژ با تجهیزات سوار بر خودرو و خارج از خودرو و ... الزامات انتقال انرژی از شبکه الکتریکی به باتری خودرو را معرفی می‌کند. در بخش اول این استاندارد مشخصات مهم سیستم انتقال انرژی برای اطمینان از عملکرد خودروهای الکتریکی در اتصال به شبکه‌های الکتریکی مختلف ارائه شده است. در بخش دوم این استاندارد به الزامات مخابراتی و معماری‌های مختلف شبکه پرداخته شده است.

۳ ۴ ۵ استاندارد SAE J۲۸۴۷:

عنوان این استاندارد "ارتباط بین خودروهای الکتریکی متصل به شبکه و شبکه الکتریکی" می‌باشد. در این استاندارد الزامات و مشخصات مهم برای برقرای ارتباط بین خودرو الکتریکی متصل به شبکه و شبکه الکتریکی به‌منظور سهولت در انتقال انرژی و کاربردهای دیگر ارائه شده است.

۳ ۴ ۶ استاندارد SAE J۲۸۹۴:

عنوان این استاندارد "الزامات کیفیت توان در خودروهای الکتریکی متصل به شبکه " می‌باشد. هدف این استاندارد معرفی شاخص‌های کیفیت توان متاثر از اتصال خودرو الکتریکی به شبکه و سپس ارائه مقادیر و محدوده‌های مجاز شاخص‌ها می باشد.

۳ ۵ جمع‌بندی استانداردها

با بررسی استانداردهای ارائه شده در این فصل مشخص شد که استانداردهای زیادی در ارتباط با کیفیت توان شبکه‌های برق وجود دارد که در این میان از استانداردهای زیر برای استخراج شاخص‌های کیفیت توان در شبکه‌ی برق استفاده خواهد شد:

- IEEE std ۱۲۵۰-
- I EC ۶۱۰۰۰-۲-۲ -
- I EC ۶۱۰۰۰-۳-۲ -
- I EC ۶۱۰۰۰-۳-۴ -

از سوی دیگر، در ارتباط با کیفیت توان شارژر می‌توان گفت که تنها استاندارد SAE J ۲۸۹۴ به طور مستقیم به مسئله فوق پرداخته است. البته در تدوین استاندارد SAE J ۲۸۹۴ از محتوای سایر استانداردها استفاده شده است. در استاندارد SAE J ۲۸۹۴، با جمع بندی سایر استانداردهای مربوط به کیفیت توان شبکه‌های برق و همچنین شارژر خودروهای برقی، مطالب زیر ارائه گردیده است:

معرفی پارامترهای مهم کیفیت توان شارژر خودروهای برقی.

ارائه محدوده مجاز پارامترهای کیفیت توان شارژر خودروهای برقی.

در فصل بعد با محوریت استاندارد های ذکر شده در بالا، به تشریح پارامترهای مهم کیفیت توان متاثر از حضور خودروهای برقی در شبکه و شارژر خودروی برقی و همچنین ارائه محدوده مجاز آنها پرداخته خواهد شد.

۴- فصل چهارم : شاخص‌های کیفیت توان شبکه برق در حضور خودروهای برقی و محدوده مجاز آنها

در فصل قبل استانداردهای معتبر بین‌المللی به انضمام استانداردهای شبکه برق ایران مورد مطالعه دقیق واقع شد و با جمع بندی صورت گرفته برروی آنها، استانداردهای مرتبط با کیفیت توان شبکه برق در حضور خودروهای برقی استخراج گردید. همچنین، در ارتباط با کیفیت توان شارژر، تنها استاندارد SAE J2894 به مطالعه کیفیت توان شارژر خودروهای برقی پرداخته است. از اینرو در این فصل برای نیل به هدف استخراج شاخص‌های کیفیت توان شبکه برق در حضور خودروهای برقی و شارژر خودروهای برقی و همچنین محدوده مجاز آنها، به دو صورت زیر مطالعه انجام و نتایج ارائه می‌گردد:

- به‌منظور استخراج شاخص‌های کیفیت توان شبکه برق متاثر از حضور خودروهای برقی، ابتدا شاخص‌های مهم کیفیت توان شبکه برق معرفی و با بررسی منشا شاخص‌ها مشخص می‌کنیم که آیا حضور خودروهای برقی تاثیری برروی شاخص‌های فوق دارند و یا خیر. در ادامه با استناد به استانداردها، محدوده مجاز شاخص‌های تاثیر پذیر از خودروهای برقی ارائه می‌گردد.

به‌منظور تعمیق تحقیق، علاوه بر شاخص‌های کیفیت توان شبکه، شاخص‌های کیفیت توان شارژر هم بایستی بررسی و ارائه شوند. از اینرو در ادامه این فصل با تمرکز برروی مطالب استاندارد SAE J2894 ،

به بررسی هدف پرداخته می‌شود. در این راستا ابتدا شاخص‌های ارائه شده در استاندارد SAE J2894 معرفی می‌شوند و سپس محدوده مجاز آنها برای سطوح مختلف شارژ ارائه می‌گردد.

۱۴ شاخص‌های کیفیت توان شبکه برق

مطابق با استاندارد IEC انواع شاخص‌های کیفیت توان را می‌توان به موارد زیر تقسیم کرد:

گذراها (موج ضربه گذرا، موج ضربه نوسانی)،
فلش و قطعی ولتاژ،
عدم تعادل ولتاژ،
اعوجاج ها (هارمونیک ها، هارمونیکهای میانی، نویز، پدیده برش)،
فلیکر ولتاژ ،
تغییرات فرکانس.

در ادامه این بخش، هریک از شاخص‌های فوق معرفی و با بیان عوامل بوجود آورنده آنها برر سی می‌کنیم که آیا ح ضور خودروهای برقی در شبکه برروی آنها تاثیر دارد و یا خیر.

۱۱۴ پدیده‌های گذرا

پدیده‌های گذرا اشاره به بخشی از تغییرات یک متغیر که در طی انتقال از یک شرایط کاری ماندگار به حالت ماندگار دیگر از بین می رود، دارند.

واژه دیگری که اغلب به عنوان مترادف کلمه گذرا استفاده می شود، واژه موج ضربه ای است. موج ضربه در شبکه های متناوب را می توان بصورت پدیده‌ای که با یک تابع زمانی مشخص می شود معرفی نمود. گذراها عمدتاً به دو دسته گذراهای ضربه‌ای و گذراهای نوسانی تقسیم می‌شوند.

۱) گذرای ضربه ای :

گذرای ضربه ای تغییر بسیار سریع و شدید ولتاژ با یک پلاریته است و دارای رنج زمانی میکرو و میلی ثانیه‌ای است. (امواج صاعقه و کلیدزنی)

۲) گذرای نوسانی :

گذرای نوسانی یک ولتاژ سوار بر مولفه اصلی است که اندازه آن با سرعت بالایی تغییر پلاریته می‌دهد و به سه دسته فرکانس کم (کوچکتر از ۵ کیلوهرتز) فرکانس متوسط (بین ۵ تا ۵۰۰ کیلو هرتز) و فرکانس زیاد (بین نیم تا ۵ مگاهرتز) تقسیم میشود.

عوامل ایجاد کننده پدیده‌های گذرا عبارتند از:

صاعقه
کلید زنی
برقدار کردن خازنها
برقدار کردن کابلها
فرورزنانس ها
جریان هجومی ترانس

در میان عوامل فوق تنها مورد کلید زنی را می‌توان به حضـــور خودروهای برقی مرتبط دانســـت. در واقع، کلیدزنی های ایستگاههای شارژ در هر سیکل و در هنگام کموتا سیون در مبدلهای الکترونیک قدرت شارژر باعث ایجاد پدیده‌های گذرا می‌شود. همچنین، با توجه به تعاریف مربوط به گذراهای ضربه‌ای و نوسانی می‌توان گفت که کلیدزنی ایستگاههای شارژر در حیطه پدیده‌های گذرای ضربه‌ای قرار می‌گیرد.

بدلیل طبیعت آماری پدیده‌های گذرا، ســـطوح مجازی را در مورد ولتاژها و جریان‌های گذرا نمی‌توان مشـــخص نمود. همچنین، در استاندارد کیفیت توان شبکه برق ایران پیشنهاد شده است که از سطوح عایقی پست‌ها می‌توان بعنوان مبنا و معیار جهت برآورد دامنه امواج گذرا استفاده کرد.

۲ ۱ ۴ تغییرات ولتاژ

۱ ۲ ۱ ۴ تغییرات بلند مدت ولتاژ

تغییرات بلندمدت ولتاژ به هرگونه انحراف در مقدار موثر ولتاژ در فرکانس‌های نامی اطلاق می‌شـــود که برای مدت زمان بیشتر از یک دقیقه ادامه داشته باشد و به یکی از سه صورت زیر می‌باشد:

اضافه ولتاژ بلند مدت

کاهش ولتاژ بلند مدت

قطعی ولتاژ بلند مدت

مهمترین علل وقوع تغییرات بلندمدت ولتاژ عبارتند از:

بی باری یا کم باری

وجود بانک‌های خازنی زیاد از حد

تنظیم غلط تپ چنجر ترانس‌ها

۲ ۲ ۱ ۴ تغییرات کوتاه مدت ولتاژ

تغییرات کوتاه مدت ولتاژ به هرگونه انحراف در مقدار موثر ولتاژ در فرکانس نامی اطلاق می‌گردد که برای مدت یک دقیقه و یا کمتر از دقیقه باشد و به یکی از سه صورت زیر رخ می‌دهد:

برآمدگی ولتاژ کوتاه مدت: افزایش ولتاژ موثر به اندازه ۱۰٪ تا ۸۰٪

۲) فلش (افتادگی) ولتاژ : کاهش ولتاژ موثر به اندازه ۱۰٪ تا ۹۰٪

- ۳) قطعی ولتاژ کوتاه مدت : ولتاژ موثر کمتر از ۱۰٪

مهمترین دلیل وقوع تغییرات کوتاه مدت ولتاژ عملکرد رله‌ها و ریکلوزرها می‌باشد، و می‌توان گفت که حضور خودروهای برقی در شبکه تاثیر چندانی برروی پدیده فوق ندارد.

در اســـتاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۲-۲ با توجه به تاثیر تغییرات ولتاژ در بهره‌برداری و ایمنی شـــبکه، محدوده ولتاژی مجاز در شرایط عادی شبکه به صورت ذیل اعلام می‌گردد:

- افزایش تا ۵ درصد
- کاهش تا ۱۰ درصد

مقادیر فوق برای ولتاژ تغذیه ۴۰۰ولت اســـت. برای دیگر ســـطوح ولتاژ، تغییرات مجاز در شـــرایط عادی در محدوده ۵ ± درصد می‌باشد. در شرایط برقدار کردن خطوط و پست‌ها و یا بصورت اتصال کوتاه مدت (حدود ۱۵ دقیقه) ولتاژ می‌تواند تا ۱۰ ± درصد نیز تغییر کند.

در خصوص افتادگی ولتاژ باتوجه به خصوصیات آماری آن، نمی‌توان سطوح مجازی را برای هر سطح ولتاژ تعیین کرد. ولی اگر مشترک و بخصوص مشترک صنعتی خواستار تعیین میزان افتادگی ولتاژ احتمالی در نقطه اتصال به شبکه باشد، شرکت‌های برق بایستی در قبال دریافت هزینه مطالعه را برروی شبکه انجام دهند.

همچنین در استاندارد IEEE std ۱۲۵۰ محدوده مجاز تغییرات ولتاژ بصورت جدول (۱-۴) می‌باشد:

جدول (۱-۴). حدود مجاز تغییرات ولتاژ در استاندارد IEEE std 1250

نوع تغییرات ولتاژ	حدود مجاز تغییرات
تغییرات بلند مدت (شرایط عادی)	- ٪۵ ± برای ولتاژهای کمتر از ۶۰۰ولت - ٪۵+ تا ٪۲,۵− برای ولتاژهای کمتر از ۶۰۰ولت
تغییرات کوتاه مدت (شرایط غیر عادی)	- ٪۵,۸+ تا ٪۸,۳−

۳ ۱ ۴ عدم تعادل ولتاژ

عدم تعادل ولتاژ به شرایطی اطلاق می شود که مقادیر ولتاژ سه فاز با یکدیگر متفاوت بوده و یا اختلاف زاویه ۱۲۰ درجه بین فازها وجود نداشته باشد. هردو حالت فوق نیز می تواند به طور همزمان اتفاق بیافتد. عدم تعادل ولتاژ با استفاده از مولفه های متقارن تعریف می شود.

منشأ اصلی ایجاد عدم تعادل ولتاژ، وجود بارهای تک فاز در شبکه است. این پدیده همچنین می تواند در نتیجه قطع یکی از فازهای یک بانک خازنی سه فاز ایجاد گردد اصولاً در شبکه های توزیع که دارای بارهای متنوع صنعتی، خانگی و تجاری می باشند، سهم عمده ای از بارها را بارهای تک فاز تشکیل می دهند و لذا رسیدن به حالت تعادل بسیار مشکل و حتی غیرممکن است. ذکر این نکته نیز ضروری است که مساوی کردن بار فازها و متعادل نمودن آن برای صفرکردن یا کاهش جریان نول کافی نخواهد بود و ضریب قدرت هر فاز تأثیر بسزایی در جریان نول دارد. همچنین عدم تعادل امپدانس سیستم بخصوص در خطوط توزیع و انتقال خود باعث عدم تعادل ولتاژ می شود.

حدود مجاز درصد عدم ولتاژ در اســتاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۲-۲ برای شـینه‌های مختلف طبق جدول (۲-۴) توصـیه می‌شود:

جدول (۲-۴). حدود مجاز درصد عدم تعادل ولتاژ در استاندارد IEC

ولتاژ شبکه	۴۰۰ولت و ۲۰ و ۳۳ کیلوولت	۶۳، ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت
درصد عدم تعادل ولتاژ	۲	۱

مجموع عدم تعادل جریان‌های هر مشترک سه فاز باید به‌نحوی باشد که میزان عدم تعادل ولتاژ شینه از حد مجاز (جدول (۲-۴)) بالاتر نرود. بنابراین درصد عدم تعادل جریان هر مشترک (y) نبایستی از مقداری که از جدول زیر بدست می‌آید بیشتر باشد.

جدول (۳-۴). حدود مجاز درصد عدم تعادل جریان هر مشترک

ولتاژ شبکه	۴۰۰ولت و ۲۰ و ۳۳ کیلوولت	۶۳، ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت
درصد عدم تعادل جریان (y)	$\frac{2(1-Z_1)}{Z_0}$	$\frac{(1-Z_1)}{Z_0}$

که در جدول فوق، Z_1 امپدانس توالی مثبت شبکه از دید مشترک (می‌تواند با توجه به ظرفیت اتصال کوتاه شینه بدست آید) برحسب پریونیت؛ و Z_0 امپدانس توالی صفر شبکه از دید مشترک (می‌تواند با توجه به ظرفیت اتصال کوتاه تک فاز شینه بدست آید) برحسب پریونیت؛ و y درصد عدم تعادل جریان مجاز هر مشترک می‌باشد.

همچنین در استاندراد IEEE std ۱۲۵۰ حدود مجاز عدم تعادل ولتاژ ۲درصد در نظر گرفته شده است.

۴ ۱ ۴ تغییرات فرکانس

تغیرات فرکانس قدرت عبارت است از انحراف فرکانس شبکه نسبت به فرکانس نامی ۵۰ هرتز. فرکانس شبکه قدرت با سرعت گردش ژنراتورهایی که شبکه را تغذیه می کنند رابطه مستقیم و با تعداد قطبهای آن رابطه معکوس دارد. در شبکه های بهم پیوسته، فرکانس یکی از شاخص‌های اصلی پایداری و تعادل بین میزان تولید و مصرف برق است. در شبکه برق ایران، فرکانس عادی بهره برداری برابر ۵۰ هرتز می باشد.

نوسان فرکانس شبکه در هر لحظه به تعادل بین توان مکانیکی ورودی به محرکه ژنراتورها و توان الکتریکی مصرفی بستگی دارد.

مطابق با استاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۲-۲ ، میزان تغییرات فرکانس در حالت عادی شبکه در محدوده ۰/۵ ± هرتز قرار خواهد داشت. در شرایط استثنایی فرکانس شبکه ممکن است تا ۵۲ هرتز بالا رفته یا به ۴۷هرتز کاهش یابد. تجهیزات مشترکین می‌بایستی قادر به عملکرد دائم در محدوده ۵۲–۴۷/۵ هرتز و عملکرد ۲۰ ثانیه‌ای در محدوده ۵۲/۵–۴۷ هرتز باشد.

همچنین در استاندارد IEEE std۱۲۵۰ ، تغییرات فرکانسی ۰/۰۱۵ ± هرتز در نظر گرفته شده است.

۵ ۱ ۴ نوسان ولتاژ (فلیکر)

مشترکین صنعت برق عموماً انتظار یک منبع ولتاژ با کیفیت بالا را از شرکت‌های برق دارند. اما به دلایل مختلف ممکن است نوسان‌ها و اعوجاجاتی در ولتاژ تغذیه آنها به وجود بیاید و باعث نارضایتی و احیاناً صدمه دیدگی تجهیزاتشان گردد. در سال‌های اولیه اختراع برق و استفاده از این انرژی برای روشنایی، مردم کم و بیش با پدیده سوسوزدن نورلامپ‌ها برخورد می کردند ولی به علت نوبودن انرژی الکتریکی توجه چندانی به آن نداشتند با پیشرفت تکنولوژی و اختراع دستگاهها و تجهیزات مختلف برقی مسئله فوق باعث نارضایتی مشترکین گردید. لذا مسئله بررسی نوسانات ولتاژ و چگونگی جبران آنها و بهبود کیفیت برق مورد توجه شرکت‌های برق قرارگرفت.

از عوامل ایجاد نوسان ولتاژ در شبکه می توان به تغییرات ناگهانی در جریان وسایلی نظیر کوره های الکتریکی، دستگاههای نورد، حفاری و جوشکاری و همچنین جریان راه اندازی موتورهای الکتریکی اشاره نمود.

هنگامی که بارهای مختلف توسط مشترکین برق به مدار وارد و یا از آن خارج می شوند تغییر ولتاژی در شبکه خواهیم داشت ولی اولاً این تغییرات معمولاً کوچک و بسیار آرام می باشند در ثانی توسط رگولاتورهای ولتاژ می توان این تغییرات را جبران نمود. در مقابل تجهیزات و دستگاههای الکترکیی نظیر موتورهای بزرگ، دستگاههای جوش و کوره ها که به صورت

تکی و یا جمعی وارد شبکه می شوند نوساناتی را در ولتاژ بوجود می آورند که باعث ایجاد نوسان در ولتاژ مشترکین می شود. علت این پدیده آن است که با ورود این دستگاهها به شبکه، جریان مصرفی تغییرات ناگهانی خواهد داشت.

اثر نو سانات ولتاژ را می توان در کم و زیاد شدن و سو سوزدن نور لامپ‌ها و همچنین برش در ت صاویر تلویزیونی و اثر روی سیستمهای ICU و CCU بیمارستانی ملاحظه کرد (این تجهیزات برحسب دامنه های متفاوت ولتاژ تغذیه گزارشهای متفاوتی از و ضع بیماران ارائه می کنند) در مقایسه با انواع و سائل الکتریکی و الکترونیکی، لامپ‌های رو شنایی بیشتر از بقیه ادوات به تغییرات ولتاژ حساس هستند.

در ارتباط با عوامل به وجود آورنده فلیکر ولتاژ می‌توان گفت، هر پدیده ای که باعث تغییرات مقدار موثر ولتاژ شـــود به عنوان عامل ایجادکنده فلیکر شناخته می شود. راه اندازی موتورها یکی از منابع معمول و ا صلی ایجاد فلیکر در شبکه های قدرت می باشـد. ترکیب جریان هجومی بالا و ضـریب قدرت پایین در طی زمان راه اندازی می تواند باعث ایجاد فلیکر ولتاژ شـود. این دسته بندی کلی شامل انواع فنها، پمپها، کمپرسورها،یخچالها، آسانسورها و غیره می باشد.

۴ ۱ ۵ ۱ حدود مجاز فلیکر در سطوح مختلف ولتاژ

مطابق با اسـتاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۲-۲ ، حد مجاز فلیکر ولتاژ برای شـینه های واقع در سـطوح ولتاژی مختلف طبق جدول زیر می‌باشد:

جدول (۴-۴). حدود مجاز فلیکر در شبکه های مختلف

نوع شاخص	نوع شبکه		
	شبکه فشار ضعیف	شبکه فشار متوسط	شبکه فشار قوی و فوق فشار قوی
شاخص کوتاه مدت فلیکر Pst	۱	۰/۹	۰/۸
شاخص بلند مدت فلیکر Plt	۰/۸	۰/۷	۰/۶

در ارتباط با ایستگاههای شارژ، در صورتی که جریان کشیده شده از شبکه کمتر از ۷۵ آمپر با شد بایستی با ا ستفاده از اسـتانداردهای IEC ۶۱۰۰۰-۳-۰ و IEC ۶۱۰۰۰-۳-۵ به آزمون میزان هارمونیک تجهیزات ایسـتگاه شـارژ پرداخت. همچنین مطابق با استاندارد IEC برای مصرف کننده‌های با دیماند بیشتر از ۵۰کیلووات، ابتدا مقادیر شاخص‌های کوتاه مدت و بلند مدت فلیکر (Pst , Plt) با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند و سپس با استفاده از جدول (۴-۴) حدود مجاز بررسی می‌گردد.

$$P_{st} = \left(\frac{S_L}{S_{MV/LV}}\right)^3 \quad (۴-۲)$$

$$P_{lt} = 0.65 P_{st} \quad (۴-۳)$$

که در رابطه بالا، SL دیماند یا توان ای ستگاه شارژ برح سب کیلووات؛ و SMV/LV ظرفیت نامی تراز سفورماتوری که شبکه فشار ضعیف مورد استفاده ایستگاه شارژ را تغذیه می‌کند و بر حسب کیلوولت آمپر می‌باشد.

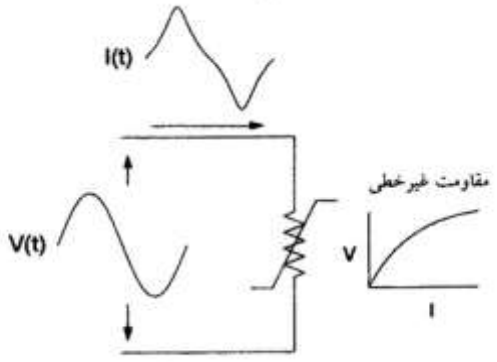
همچنین مطابق با استاندارد IEEE std۱۲۵۰ ، مقدار Pst، یک در نظر گرفته شده است.

۴ ۱ ۶ هارمونیک‌ها

یکی از مسائل و مشکلات کیفیت برق در سیستم‌های توزیع و انتقال، مسئله هارمونیک‌ها می باشد. که توجه زیادی را به خود جلب نموده است. بطوریکه مطالب بسیاری را در این خصوص می توان در کتب و مقالات گوناگون جستجو نمود.

اعوجاجها هارمونیکی باعث ایجاد مشکلات خاصی در شبکه های قدرت می شوند. از جمله این مشکلات می توان به عدم عملکرد مناسب تجهیزات و نیز کاهش عمر و پایین آمدن راندمان دستگاهها اشاره نمود. در چنین حالتی مطالعه هارمونیک ها و ارائه یک سری قواعد و مقررات اجتناب ناپذیر خواهد بود. محدود نمودن اعوجاج هارمونیکی هم از نظر شرکت‌های برق و هم از نظر مشترکین لازم می باشد. شرکت‌های برق باید محدودیت‌هایی را ارائه نمایند تا از آسیب دیدگی تجهیزات مشترکین، اعم از مشترکین خانگی و صنعتی جلوگیری شود. از طرف دیگر با توجه به اینکه ایجاد یک موج کاملاً سینوسی از طرف شرکت‌های برق نمی تواند تضمین شود، لذا مشترکین باید اعوجاجهای تولید شده توسط تجهیزات خودرا محدود نمایند.

اعوجاج هارمونیکی در شبکه‌های قدرت ناشی از عناصر غیرخطی است. عنصر غیرخطی عنصری است که جریان آن متناسب با ولتاژ اعمالی نمی باشد. شکل (۱-۴) جریان غیرسینوسی یک مقاومت غیرخطی در حالی که ولتاژ سینوسی به آن اعمال شده است نشان می دهد. افزایش چنددرصدی ولتاژ ممکن است باعث شود که جریان دو برابر شده و نیز شکل موج جریان فرم دیگری به خود بگیرد. این حالت، مورد ساده ای از تولید اعوجاج در سیستم قدرت می‌باشد.



شکل(۱-۴). اعوجاج جریان که به دلیل یک مقاومت غیر خطی ایجاد شده است.

۴ ۱ ۶ ۱ مقادیر موثر و اعوجاج هارمونیکی کل

چندین معیار عددی برای نشان دادن مقادیر هارمونیکی یک موج وجود دارد . از معروف ترین آنها می توان به اعوجاج هارمونیکی کل (THD) که برای ولتاژ و جریان قابل محاسبه است اشاره نمود.

(۱-۴)

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h\max} M_h^2}}{M_1}$$

که در آن Mh مقدار موثر مولفه هارمونیک h ام کمیتM می باشد. THD معیار اندازه گیری مقدار موثر مولفه هارمونیکی یک موج اعوجاجی است .

اعوجاج هارمونیک کل یا THD یک پارامتر کیفی بوده و نمایانگر آن ا ست که یک شکل موج یا سیگنال تا چه حد به شکل موج سینو سی نزدیک می‌باشد. مقدار THD بر حسب درصد بیان شده و هرچه میزان THD کمتر با شد شکل موج سینوسی دارای کیفیت بهتری است [۱۸].

با توجه به اینکه تنها مولفه ا صلی جریان در تولید توان حقیقی نقش دارد و سایر مولفه‌های هارمونیکی جریان نق شی در توان حقیقی ندارند، بایستی تا می‌توان مقدار THD را کم کرد و جریان خط هم فقط دارای فرکانس ا صلی (۵۰ یا ۶۰ هرتز) باشد. سایر مولفه‌های جریان (جریان‌های هارمونیکی) نه تنها نقشی در تولید توان حقیقی ندارند بلکه باعث گرم شدن سیم‌ها و اتلاف انرژی می‌شوند.

هارمونیک‌های جریان همچنین می‌توانند سبب ایجاد اعوجاج در ولتاژ خط AC شوند. میزان اعوجاجات ولتاژ تابعی از امپدانس خط و همچنین اثر رزونانس بدلیل ظرفیت خازنی و سلفی خط می‌باشد. در صورتی که میزان اعوجاج ولتاژ قابل ملاحظه باشد، ممکن است آسیب جدی به تجهیزات شبکه وارد شود.

همانطور که می دانیم مقدار موثر کل یک موج (RMS) برابر با جمع مولفه های آن نمی باشد بلکه از مجذور جمع مربعات تک تک مولفه های آن موج بدست می آید . THD را می توان توسط رابطه زیر به مقدار موثر شکل موج ارتباط داد:

$$RMS = \sqrt{\sum_{h=1}^{h\max} M_h^2} = M_1\sqrt{1+.\mathrm{THD}^2} \qquad (۲-۴)$$

THD کمیتی مفید برای بسیاری از کاربردها می باشد و لیکن محدودیت های آن را نیز باید مورد لحاظ قرار داد. این کمیت می تواند ایده خوبی از حرارت اضافی ایجاد شده در یک بار مقاومتی هنگامیکه ولتاژ اعوجاجی به آن اعمال شده است ارائه دهد. همچنین می تواند نشانه ای برای تلفات اضافی ناشی از جریان عبوری از یک هادی نیز باشد.

۲ ۶ ۱ ۴ هارمونیکهای مرتبه سه

هارمونیکهای مرتبه سه ضرایب فردی از هارمونیک سوم ه ستند (h = ۳ ، ۹ ، ۱۵، ۲۱، ...) این هرمونیک ها احتیاج به بررسی های ویژه ای دارند زیرا پاسخ سیستم در برابر این هارمونیکها متفاوت از پاسخ آن در برابر دیگر هارمونیکها می باشد. هارمونیکهای مرتبه سه یکی از مهم ترین موضوعات در شبکه های با ستاره زمین شده است که در نوترال آنها جریان وجود دارد. دو مشکل عمده، اضافه بار نوترال و تداخلات تلفنی می باشد. همچنین بعضی از دستگاهها به دلیل اینکه ولتاژ خط به نوترال (به علت افت ولتاژ هارمونیکهای مرتبه سه در هادی نوترال) آنها کاملاً اعوجاجی شده درست عمل نمی کنند. برای یک سیستم کاملاً متعادل متشکل از بارهای تک فاز فرض کنید که مولفه های هارمونیک سوم و ا صلی هردو وجود دا شه با شند. با جمع جریانها در گره نوترال (گره N) جریان مؤلفه ا صلی صفر می شود. ولی به دلیل هم فاز بودن مؤلفه های فاز هارمونیک سوم، مقدار این مؤلفه ها سه برابر جریان فاز هارمونیک سوم خواهد بود.

۳ ۶ ۱ ۴ منابع تولید هارمونیک

از عوامل تولید هارمونیک می توان به موارد زیر اشاره کرد:

تولید موج غیر سینوسی توسط ماشینهای سنکرون ناشی از وجود شیارها و عدم توزیع یکنواخت سیم پیچی های استاتور

عدم یکنواختی در رلوکتانس ماشینهای سنکرون

توزیع غیرسینوسی فوران مغناطیسی در ماشین‌های سنکرون

جریان مغناطیسی ترانسفورماتورها
بارهای غیرخطی مانند مبدل‌های الکترونیک قدرت (شارژر خودروهای برقی)
کوره های قوس الکتریکی و القایی

۴ ۶ ۱ ۴ حدود مجاز هارمونیک‌ها

حدود مجاز هارمونیک‌های ولتاژ برای شینه‌های با سطوح مختلف ولتاژ طبق جدول (۴-۵) می‌باشد:

جدول(۵-۴). حداکثر هارمونیک ولتاژ مجاز در شینه‌های با ولتاژهای مختلف به درصد نسبت به ولتاژ نامی با فرکانس ۵۰ هرتز

ولتاژ شینه	اعوجاج تکی ولتاژ		اعوجاج کل ولتاژ (THD)
	فرد	زوج	
۴۰۰ولت، ۲۰ و ۳۳ کیلوولت	۲	۱,۵	۳
۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت	۱,۵	۰,۷	۲,۵
۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت	۱	۰,۵	۱,۵

ا ستاندارد IEC اطلاعات کاملی برای حدود اعوجاجات جریان هارمونیکی نا شی از تجهیزات شبکه ارائه کرده ا ست. در اسـتاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۳-۲ حدکثر مقدار مجاز جریان‌های هارمونیکی در یک مولفه فرکانسـی خاص برای تجهیزات با جریان کمتر از 16A امده است. همچنین در استاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۳-۴ حدود جریان‌های هارمونیکی بصورت درصدی از مولفه اصلی جریان برای تجهیزات با جریان بیشتر از ۱۶آمپر ارائه شده است.

در استاندارد IEC، برای ارائه حدود اعوجاجات هارمونیکی، تجهیزات به چهار کلاس : A، B، C و D تقسیم شده‌اند، که باتوجه به تعریف هر دسته می‌توان گفت که شارژرهای خودروی برقی در کلاس A قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، استاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۳-۲ مربوط به تجهیزات با جریان کمتر از ۱۶ آمپر است که شامل شارژرهای سطح ۱ می‌شود. در نتیجه حدود مجاز جریانهای هارمونیکی در شارژرهای سطح ۱ با توجه به استاندارد در جدول (۴-۶) ارائه شده است.

جدول (۶-۴). حدود مجاز مولفه‌های هارمونیکی جریان در شارژرهای سطح ۱ مطابق با استاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۳-۲

ماکزیمم جریان هارمونیکی مجاز A	**مرتبه هارمونیک** *n*
هارمونیک‌های فرد	
۲/۳۰	۳
۱/۱۴	۵

۰/۷۷	۷
۰/۴۰	۹
۰/۳۳	۱۱
۰/۲۱	۱۳
۰/۵۱×۱۵/n	$۱۵ \leq n \leq ۳۹$
هارمونیک‌های زوج	
۱/۰۸	۲
۰/۴۳	۴
۰/۳۰	۶
۰/۲۳× ۸/n	$۸ \leq n \leq ۴۰$

همانطور که گفته شد استاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۳-۴ حدود جریان‌های هارمونیکی بصورت درصدی از مولفه اصلی جریان برای تجهیزات با جریان بیشتر از ۱۶ آمپر ارائه شده است. مطابق با جدول (۲-۱)، شارژهای سطح ۲و ۳ دارای جریان بیشتر از ۱۶ آمپر هستند، از اینرو از اطلاعات استاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۳-۴ می‌توان برای استخراج حدود مجاز مولفه‌های هارمونیکی جریان در شارژرهای سطح ۲ و ۳ استفاده کرد، که در جدول (۷-۴) ارائه شده است.

جدول (۷-۴). حدود مجاز مولفه‌های هارمونیکی جریان در شارژرهای سطح ۲ و۳ مطابق با استاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۳-۴

مقدار مجاز I_n/I_1 %	مولفه هارمونیکی	مقدار مجاز I_n/I_1 %	مولفه هارمونیکی
≤۰/۶	۲۱	۲۱/۶	۳
۰/۹	۲۳	۱۰/۷	۵
۰/۸	۲۶	۷/۲	۷
≤۰/۶	۲۷	۳/۸	۹
۰/۷	۲۹	۳/۱	۱۱
۰/۷	۳۰	۲	۱
≤۰/۶	≥۳۳	۰/۷	۱۵
		۱/۲	۱۷
≤۸/n or ≤۰/۶	هارمونیک‌های زوج	۱/۱	۱۹

همچنین، در استاندارد IEEE std۱۲۵۰ حدود مجاز THD و هارمونیک های تکی بترتیب ۵٪ و ۳٪ در نظر گرفته شده است.

۴ ۲ محدوده شاخص‌های کیفیت توان شبکه‌ی برق

در قسمت قبل، شاخص‌های کیفیت توان شبکه برق بطور کامل معرفی گردید. در این بخش محدوده مجاز شاخص‌ها در جدول (۸-۴) بطور خلاصه ارائه شده است.

جدول (۸-۴). حدود مجاز شاخص‌های کیفیت توان شبکه برق

شاخص	حدود مجاز در استانداردها	
	IEEE	IEC
۱-گذرا	-	-
۲-تغییرات ولتاژ	جدول (۱-۴)	- افزایش تا ۵ درصد - کاهش تا ۱۰ درصد
۳-عدم تعادل ولتاژ	۲درصد	جدول (۲-۴)
۴-نوسانات ولتاژ (فلیکر)	شاخص کوتاه مدت برابر با ۱	جدول (۴-۴)
۵-هارمونیک‌ها	THD- تا ۵ درصد - هارمونیک های تکی تا ۳ درصد	جداول (۵-۴) و (۶-۴)
۶-تغییرات فرکانسی	±۰/۰۱۵Hz	±۰/۵Hz

۴ ۳ شاخص‌های کیفیت توان شارژر

در این بخش شاخص‌های مهم کیفیت توان شارژر خودروهای برقی با توجه به استاندارد SAE J ۲۸۹۴ تشریح می‌شوند.

۴ ۳ ۱ ضریب توان

ضریب توان (ضریب توان جابجایی) عبارتست از نسبت توان حقیقی (وات) به توان ظاهری(ولت آمپر) و بصورت رابطه زیر بیان می شود [۳۸]:

$$PF_d = \frac{P, real\ power}{|S|, apparent\ power} \quad (۴-۳)$$

زمانی که در شبکه برق هارمونیک وجود داشته باشد، رابطه بالا مقدار واقعی ضریب توان را نشان نمی‌دهد. اگر از اعوجاج ولتاژ صرفنظر شود و فقط اعوجاج جریان در نظر گرفته شود، آنگاه مقدار واقعی ضریب توان از تقسیم ضریب توان جابجایی (۳-۴) به ضریب توان اعوجاج بدست می‌آید:

$$PF_t = \frac{PF_d}{DPF} \quad (۴-۴)$$

$$DPF = \frac{1}{\sqrt{1+THD^2}} = \frac{I_{1,rms}}{I_{rms}} \qquad (۵-۴)$$

در رابطه (۲-۴)، PF_t ضریب توان واقعی و DPF ضریب توان اعوجاج ا ست. در رابطه (۳-۴) نحوه محا سبه ضریب توان اعوجاج ارائه شـده اسـت؛ در این رابطه THD اعوجاج هارمونیکی کل، $I_{1,rms}$ مولفه اصـلی جریان و I_{rms} مقدار کل جریان می‌باشد.

اعوجاج جریان معمولاً بخاطر بارهای غیرخطی در شبکه می‌با شد. اغلب منابع تغذیه سوئیچینگ، بجز آنهایی که شامل تصحیح کننده ضریب توان هستند، از یکسوسازهای پل تمام موج بهمراه فیلتر ورودی خازنی برای تبدیل موج AC به DC ا ستفاده می کنند. در این یکسو سازی علیرغم ا ستفاده از فیلتر خازنی، ولتاژ یکسو شده ریپل دارد و جریان بوجود آمده دارای اعوجاج زیادی خواهد بود.

در شبکه‌های هارمونیکی، بالا نگه‌داشتن ضریب توان به دو دلیل زیر اهمیت دارد:

بالا نگه داشتن ضریب توان باعث کم شدن مولفه راکتیو جریان خط و جریان‌های هارمونیکی می‌گردد. از سوی دیگر مدار شکن‌ها مقدار کل جریان خط را محدود می‌کنند؛ بنابراین با کم شدن مولفه راکتیو جریان خط و جریان‌های هارمونیکی می‌توان مولفه اکتیو جریان خط را زیاد کرد بدون اینکه مدارشکن‌ها مدار را قطع کنند. از سویی دیگر مولفه اکتیو جریان متناسب است با توان حقیقی مورد نیاز مصرف کننده و با بالا نگه‌داشتن ضریب توان، توان حقیقی بیشتری به مصرف کننده می‌توان تحویل داد.

کاهش مولفه راکتیو جریان و جریانهای هارمونیکی باعث کاهش حرارت تجهیزات شبکه در تحویل توان می‌شود، که خود عاملی برای استفاده بهینه از تجهیزات شبکه و عدم نیاز به توسعه تجهیزات شبکه است.

در جدول (۸-۴) حداقل مقدار توصیه شده در استاندارد SAE J ۲۸۹۴ برای ضریب توان در سطوح مختلف شارژ ارائه شده است؛ لازم به ذکر است که مقادیر جدول برای توان نامی شارژر می‌باشد.

جدول (۸-۴). حداقل مقدار توصیه شده برای ضریب توان در سطوح مختلف شارژ

مقدار توصیه شده ضریب توان		
سطح یک AC	سطح دو AC	سطح سه DC
%۹۵	%۹۵	%۹۵

۲ ۳ ۴ راندمان تبدیل انرژی

راندمان تبدیل انرژی معیاری است برای سنجش کارایی تجهیزات شارژ در تحویل توان از ترمینال ورودی و انتقال آن به ترمینالهای خروجی شارژر [۳۹].

راندمان تبدیل انرژی را می توان با متو سط گیری از یک سیکل شارژ، و یا ب صورت لحظه‌ای محا سبه کرد. با توجه به پروفیل شارژ یک باطری، راندمان شارژ در پایان هر سیکل (زمان تحویل مینیمم توان) بشدت کاهش می‌یابد. راندمان شارژ زمانی اهمیت می‌یابد که شارژر در حال تحویل ماکزیمم توان به بار با شد؛ چرا که راندمان پایین در زمان تحویل بار کامل به معنای تلفات بالای شارژر است.

راندمان تبدیل توان بصورت نسبت توان خروجی شارژر به توان ورودی آن تعریف می‌شود:

$$\eta = \frac{P_{DC}^{out}}{P_{AC}^{in}} \times 100 \quad (۶-۴)$$

P_{DC}^{out}: توان DC خروجی شارژر.

P_{AC}^{in}: توان AC ورودی شارژر.

در رابطه بالا اگر شـارژر در بار نامی خود کار کند، راندمان بار کامل بدسـت می‌آید. راندمان بار کامل به دو دلیل زیر حائز اهمیت می‌باشد:

استفاده از یک شارژر با راندمان بالا باعث کاهش زمان مورد نیاز برای شارژ باطری از خط AC می‌شود. از آنجا که همه وسایل برقی محدودیت جریانی دارند، کاهش تلفات شارژر معادل است با تحویل توان بیشتر به باطری و در نتیجه کاهش زمان شارژ.

همزمان با افزایش راندمان تبدیل توان، میزان آلودگی ناشی از تولید توان الکتریکی هم کم می‌شود. در واقع، یک شارژر راندمان بالا باعث می‌شـود انرژی تولیدی مورد نیاز جهت انتقال به باطری‌ها کاهش یابد که در نتیجه آن نیاز به تولید انرژی در نیروگاهها کمتر شده و گازهای گلخانه ای منتجه هم کم می‌شوند.

در جدول (۹-۴)، حداقل مقدار توصیه شده برای راندمان تبدیل توان شارژرها در استاندارد SAE J ۲۸۹۴ ارائه شده است. همچنین اطلاعات جدول فوق برای شارژ در بار کامل یک شارژر است.

جدول(۹-۴). حداقل مقدار توصیه شده برای راندمان تبدیل توان شارژر در سطوح مختلف شارژ

مقدار توصیه شده راندمان		
سطح یک AC	سطح دو AC	سطح سه DC
۹۰%	%۹۰	%۹۰

۴ ۳ ۳ اعوجاج هارمونیکی کل (THD) جریان:

در استاندارد IEEE std ۵۱۹ توصیه‌هایی برای محدود سازی اعوجاجات هارمونیکی جریان و ولتاژ مصرف کننده ارائه شده است و در جدول (۱۰-۴) حدود THD برای سطوح مختلف ولتاژ ارائه شده است. مطابق با این استاندارد، THD ولتاژ برای ولتاژهای در بازه 1kv- 69kV نباید از ۵ درصد بیشتر شود. همچنین هیچ‌یک از مولفه‌های هارمونیکی ولتاژ هم نباید از ۳ درصد بیشتر شود.

جدول(۱۰-۴). محدوده اعوجاجات ولتاژ [IEEE 519]

ولتاژ در نقطه اتصال	هارمونیک تکی(%)	THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
1 kV < $V \leq$ 69 kV	3.0	5.0
69 kV < $V \leq$ 161 kV	1.5	2.5
161 kV < V	1.0	1.5[a]

در استاندارد IEEE std۵۱۹ حدود هارمونیک‌های جریان هم بصورت نسبت جریان اتصال کوتاه به جریان کل بار ارائه شـده اسـت. از لحاظ عملی، اسـتاندارد IEEE std۵۱۹ تنها قابل پیاده سـازی برروی تعداد زیادی از بارها بصـورت مجتمع

می‌باشد؛ و از سوی دیگر، چونکه استاندارد فوق برمبنای جریان اتصال کوتاه نقاط مختلف شبکه است که مقداری متغیری دارند، از آن نمی‌توان به‌عنوان معیاری مناسب برای تجهیزات تکی مثل شارژر خودروهای برقی استفاده کرد.

برای کاهش اثرات مخرب هارمونیک‌ها در شبکه، مقادیر توصیه شده برای THD جریان تولید شده توسط شارژرها در استاندارد SAE J ۲۸۹۴ در جدول (۴-۴) آمده است. اطلاعات جدول (۴-۱۱) برای شارژر که با توان نامی کار می‌کند ارائه شده است.

جدول(۴-۱۱). حداقل مقدار توصیه شده برای THDجریان شارژر در سطوح مختلف شارژ

مقدار توصیه شده THD		
سطح یک AC	سطح دو AC	سطح سه DC
۹۰%	%۹۰	%۹۰

۴ ۳ ۴ جریان هجومی

جریان هجومی شارژر عبارتست از موج جریان ورودی که در لحظه اتصال شارژر به خط AC بوجود می‌آید. این جریان در نتیجه شارژ خازن ورودی شارژر ایجاد می‌شود.

دامنه جریان هجومی با توجه به دامنه ولتاژ خط AC و مقاومت سری با خازن‌های ورودی تعیین می‌شود. مقاومت سری شامل مقاومت سیم، کانکتورها، یکسوسازها و دیگر المان‌های شارژر که بصورت سری با خازن‌های ورودی هستند، می‌باشد. معمولاً مقدار مقاومت سری پایین است. ماکزیمم مقدار جریان هجومی زمانی رخ می‌دهد که خازن‌های ورودی کاملاً د شارژ شده‌اند و شارژر در لحظه‌ای که ولتاژ خط در مقدار پیک است به خط AC متصل شده است. مدت زمان جریان هجومی معمولاً در حدود نیم سیکل ولتاژ AC است، و بعد از نیم سیکل خازن‌های ورودی تا مقدار پیک ولتاژ شارژ می‌شوند.

به سه دلیل زیر کنترل و محدودسازی جریان هجومی اهمیت دارد:

جریان‌های هجومی کنترل نشده می توانند سبب عملکرد ناخواسته ادوات حفاظتی مثل فیوزها و کلیدهای قدرت شوند.

جریان‌های هجومی بالا می‌توانند سبب خرابی زودرس بخش‌هایی از شارژر شود که جریان از آنها عبور می‌کند (بخش‌هایی چون یکسوسازها و خازن‌ها).

جریان‌های هجومی بالا می‌توانند سبب فرورفتگی شدید ولتاژ خط AC شوند.

در جدول (۴-۱۲) حدود توصیه شده برای جریان هجومی در استاندارد SAE J ۲۸۹۴ با توجه به استاندارد IEC ۵۵۵-۳ ارائه شده است.

جدول(۴-۱۲). حداکثر مقدار توصیه شده برای جریان هجومی شارژر در سطوح مختلف شارژ

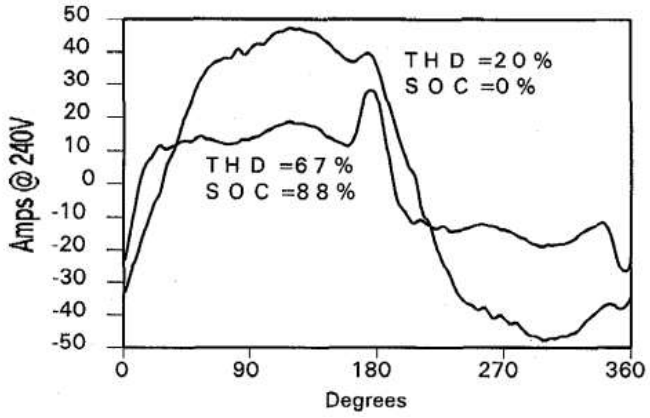
سطوح شارژ		
سطح یک AC	سطح دو AC	سطح سه DC
۱۲۰% در $100\mu s$	۱۲۰% در $100\mu s$	۱۲۰% در $50ms$

۵ فصل پنجم : بررسی روش‌های بهبود کیفیت توان شبکه در حضور خودروهای برقی

در این فصل به بررسی مراجعی که تاثیر شارژرها بر کیفیت توان شبکه را مطالعه کرده اند می‌پردازیم. به‌طور کلی مرجعی که به‌شکل جامع در مورد تاثیر کمی شارژرهای خودروی برقی برروی کیفیت توان شبکه صحبت کرده باشد، وجود ندارد. اما، مراجع مختلف بصورت موردی به مطالعه موضوع فوق پرداخته‌اند [۳۴-۳۹]، که در ادامه نتایج آنها تشریح می‌شود.

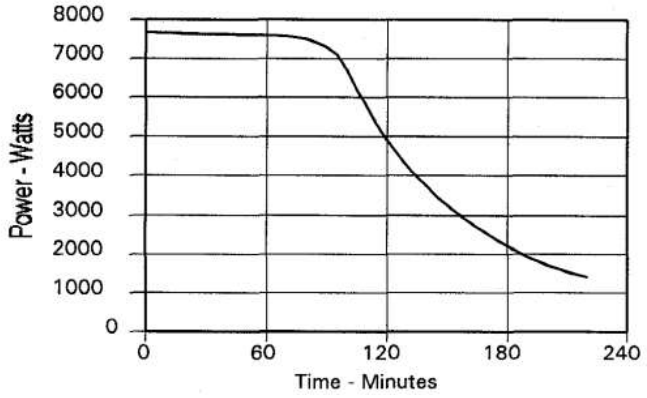
۵ ۱ تاثیر وضعیت شارژ باتری بر THD

در مرجع [۳۴] روشی برای پیش بینی زمان اتصال خودرهای برقی به شبکه و همچنین وضعیت شارژ (SOC[1]) آنها ارائه شده است که منجر به بهره برداری بهتر از شبکه و همچنین بهبود کیفیت توان شبکه می‌شود. به‌طورکلی میزان هارمونیک تزریقی به شبکه توسط شارژرهای خودرو برقی به عواملی چون روش شارژ، سطح انرژی باتری خودرو برقی، تعداد خودروهای متصل به شبکه در هر زمان و ... بستگی دارد [۳۴]. در شکل (۱-۵) شکل موج جریان شارژر خودرو برقی در دو وضعیت شارژ متفاوت نشان داد شده است [۳۴]. با توجه به شکل (۱-۵)، برای باتری کاملاً خالی THD=۲۰٪ و برای باتری با SOC=۸۸٪ مقدار THD=۶۷٪ می‌باشد، که نشان دهنده تاثیر SOC بر میزان هارمونیک تولیدی در شبکه است. شارژر مورد بررسی در این مورد دارای مشخصه توانی شکل (۲-۵) می‌باشد. با توجه به حداکثر توان شارژر در شکل (۲-۵) که تقریباً ۷٫۵کیلووات است، شارژر فوق یک شارژر سطح ۲ می‌باشد.



شکل(۱-۵). شکل موج جریان شارژر در دو وضعیت شارژ متفاوت

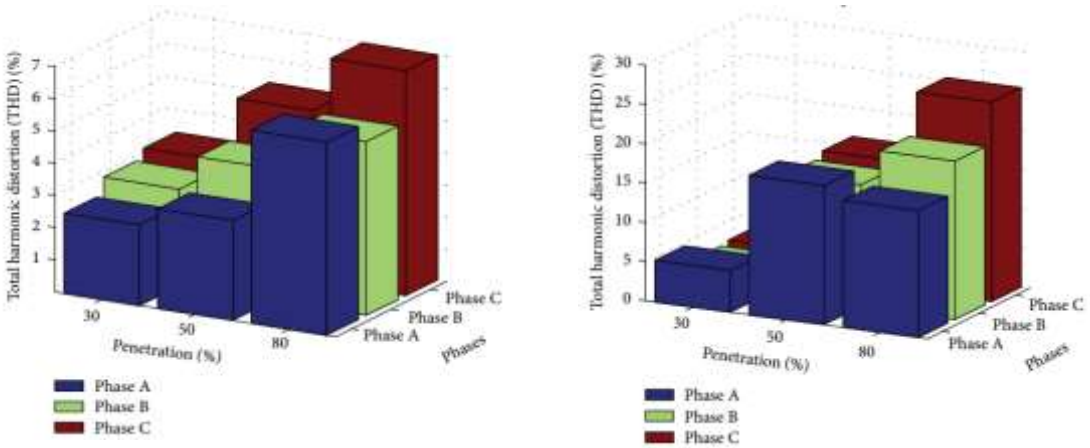
[1] . State Of Charge



شکل(۲-۵). مشخصه توان یک شارژر نوعی

۵ ۲ تاثیر سطح نفوذ خودرو برقی بر THD

در مرجع [۳۵] حضور خودروهای برقی در شبکه برای زمانهای کم باری و پرباری شبکه بررسی شده است و این نتیجه حاصل شده که در زمان کم باری توان خیلی بیشتری می توان به خودروهای برقی منتقل کرد بدون اینکه کیفیت توان شبکه کاهش یابد. به عبارتی نشان داده شد که سطح نفوذ خودروهای برقی تاثیر قابل ملاحظه‌ای برروی THD دارد [۳۵]. در شکل (۳-۵) میزان THD در دوباس متفاوت یک شبکه نمونه برای میزان نفوذهای متفاوت خودروهای برقی نشان داده شده است [۳۵]. در شکل‌های فوق سه سطح نفوذ ۳۰، ۵۰ و ۸۰ درصد درنظر گرفته شده است و از شارژر سطح ۱ با مشخصات هارمونیکی ارائه شده در جدول (۱-۵) استفاده شده است. واضح است که با افزایش سطح نفوذ خودروهای برقی در شبکه میزان THD ایجاد شده برای هر سه فاز افزایش می‌یابد، و با توجه به استانداردهای مربوط بایستی سطح نفوذ را محدود کرد تا THD از مقدار مجاز بیشتر نشود.



شکل (۳-۵). THD در دوباس یک شبکه نمونه برای سطوح نفوذ ۳۰، ۵۰ و ۸۰ درصد.

جدول (۱-۵). اطلاعات هارمونیکی یک شارژر سطح ۱

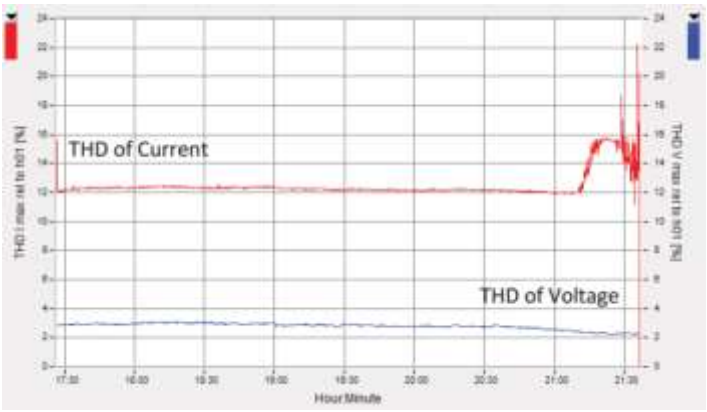
مرتبه هارمونیک	دامنه (٪)	فاز (deg)
۱	۱۰۰	۳۰۵
۳	۹,۲	۱۲۰
۵	۶۲,۲۰	۲۵۵

۳۳۲	۴۱,۸۰	۷
۳۵۷	۱,۴۸	۹
۳۵۸	۷,۰۸	۱۱
۲۸۴	۳,۱۲	۱۳
۶۹	۰,۴۸	۱۵

۵ ۳ تاثیر سطح شارژ بر THD

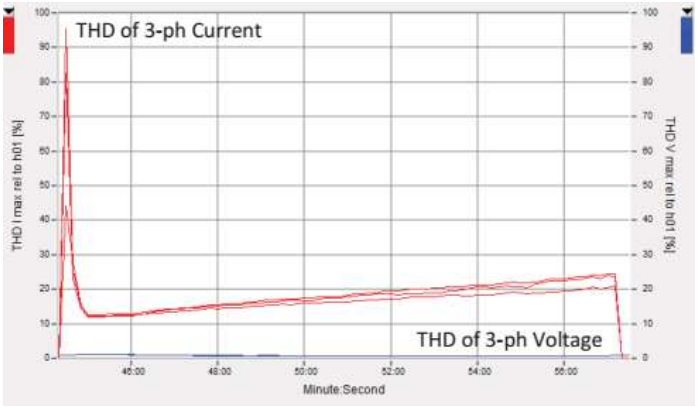
در مرجع [۳۶] تاثیر ورود خودروهای برقی در شبکه برق کشور پرتقال بررسی شده است. در این مرجع برای مقایسه تاثیر شارژینگ سطح ۲ و ۳ برروی کیفیت توان شبکه، در یک آزمایش میزان THD تولیدی ولتاژ و جریان توسط دوشارژر سطح ۲ و ۳ اندازه‌گیری و در شکل های (۴–۵) و (۵–۵) نشان داده شده است [۳۶].

در شکل (۴–۵) میزان THD جریان و ولتاژ یک شارژر سطح ۲ برای یک خودرو الکتریکی با باتری به ظرفیت ۲۴kWh ارائه شده است که باتری خودرو به مدت ۴ساعت و ۱۰دقیقه به شارژر متصل است. مطابق با شکل فوق، در مدت شارژ، مقدار THD ولتاژ در محدوده ٪۳–٪۲ قرار دارد، ولی THD جریان در طی ۳ساعت و ۴۴ دقیقه اول ثابت و برابر با ۱۲٪ ، و در ۱۶ دقیقه آخر به ۱۶٪ افزایش می‌یابد.



شکل(۴–۵). میزان THD ولتاژ و جریان برای یک شارژر سطح ۲

در شکل (۵–۵) میزان THD جریان و ولتاژ یک شارژر سطح ۳ برای یک خودرو الکتریکی با باتری به ظرفیت kWh۱۶ ارائه شده است که باتری خودرو به مدت ۱۳دقیقه به شارژر متصل است و در این زمان به میزانkwh ۴ شارژ شده و سطح شارژ آن از ۵۷٪ به ۸۲٪ افزایش می‌یابد. مطابق با شکل فوق، در مدت شارژ، مقدار THD ولتاژ کمتر از ۱٪ است، ولی THD جریان در ابتدای شارژ به‌دلیل جریان ورودی لحظه‌ای به مقدار ۹۵٪ رسیده و سریعاً کاهش پیدا کرده و ظرف چند ثانیه به ۱۲٪ می‌رسد. پس از اتمام این حالت گذرا، مجددا THD جریان در مدار صعود قرار می‌گیرد و به مقدار ۲۴٪ می‌رسد.



شکل(۵-۵). میزان THD ولتاژ و جریان برای یک شارژؤ سطح ۳

با مقایسه دوشکل (۴-۵) و (۵-۵) واضح است که در شارژینگ سطح ۳ میزان THD جریان بیشتر از شارژینگ سطح ۲ است.

۵ ۴ مقایسه تاثیر انواع خودروهای برقی بر کیفیت توان

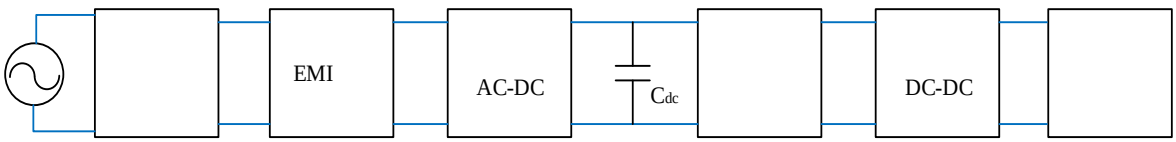
برای بررسی تاثیر انواع خودروهای برقی برروی کیفیت توان شبکه، ابتدا بایستی یک تقسیم‌بندی برروی آنها صورت گیرد و سپس با ارائه یک مدل واحد برای آنها مقایسه را انجام داد [۳۷]. در این راستا، انواع خودروهای برقی به پنج دسته تقسیم می‌شوند که اطلاعات آنها در جدول(۲-۵) ارائه شده است.

جدول (۲-۵). تقسیم‌بندی خودروهای برقی

مشخصه	نوع خودرو برقی				
	I	II	III	IV*	V
	توان پایین		توان بالا		
	دوچرخه برقی	موتور برقی	خودرو برقی	خودرو برقی	خودرو برقی
توان نامی (kw)	۰/۰۷-۰/۱۱	۰/۲-۰/۴۲	۲-۳/۵	۲-۳/۵	۷/۵-۱۱
اتصال	تکفاز	تکفاز	تکفاز	تکفاز	سه فاز
ظرفیت باتری (kwh)	۰/۲۲-۰/۳۳	۰/۷۲-۳/۶	۱۰-۱۵	۱۰-۵۵	۱۰-۵۵

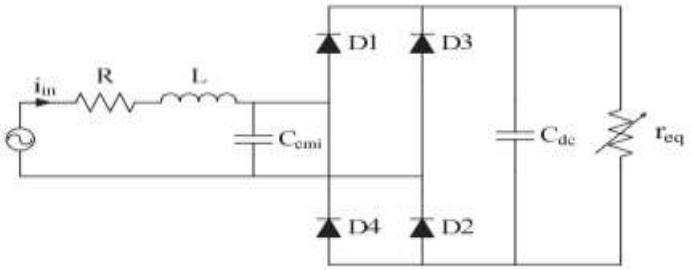
*تفاوت خودروهای برقی نوع III و IV در استفاده خودروهای نوع IV از کنترلر ضریب توان است.

به‌منظور ارائه یک مدل دقیق برای شارژر، بایستی قسمت‌های مختلف شارژ را مدلسازی کرده و سپس به هم متصل کنیم. در شکل (۶-۵)، قسمت‌های مختلف شارژر تحت مطالعه در این بخش ارائه شده است [۳۷].



شکل (۶-۵). بلوک دیاگرام شارژر

بلوک دیاگرام شکل (۶-۵) را می‌توان با مدار معادل شکل (۷-۵) مدل کرد که دارای دقت بالای می‌باشد .



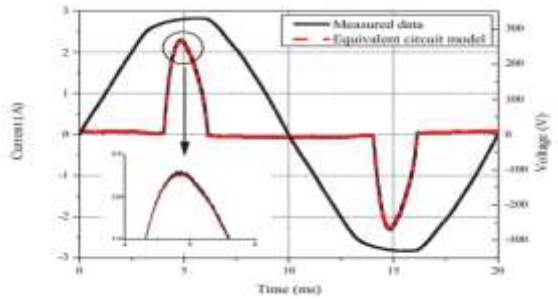
شکل (۷-۵). مدار معادل شارژر

مدار معادل شکل (۶-۵) شامل: یکسوساز تمام پل دیودی، امپدانس ورودی (R, L)، لینک خازنی DC (C_{dc}) ، فیلتر خازنی برای تداخلات مغناطیسی (C_{emi}) و مقاومت معادل (r_{eq}) می‌باشد. مقدار پارامترهای شارژر برای انواع خودروهای برقی در جدول (۳-۵) ارائه شده است.

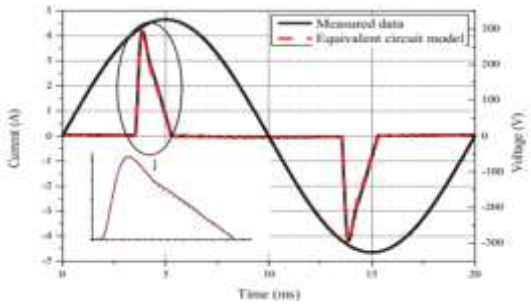
جدول (۳-۵). مقدار پارامترهای مدار معادل شارژر

پارامتر (pu)	نوع خودرو برقی				
	I	II	III	IV	V
C_{dc}	۰/۰۲۵۸	۰/۰۸۳۴	۰/۰۷۹۶	۰/۰۷۹۶	۰/۴۴۷
C_{emi}	۹/۱۹۸	۱۲/۵۸	۹۰/۲۶	۹۰/۲۶	۶۰۱
X_L	۱۷/۳e −۶	۶/۸۳e −۵	۶/۰۱e −۴	۶/۰۱e −۴	۷/۷۲e −۴
R	۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۲۸	۰/۰۱۷۹	۰/۰۱۷۹	۰/۰۳۵۶

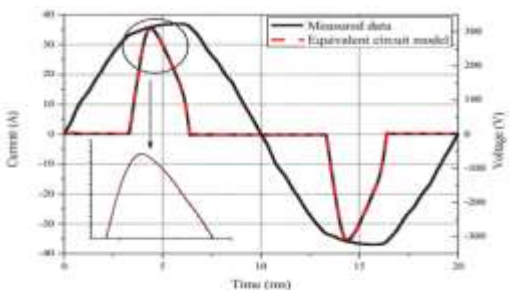
در شکل (۸-۵) شکل موج ولتاژ دو سر شارژر و همچنین جریان ورودی به شارژر خودروهای مورد مطالعه در این بخش نشان داده شده است. برای نشان دادن دقت مدل ارائه شده در شکل (۸-۵)، نتایج بدست آمده با استفاده از مدل فوق با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شده است، که نتایج موید دقت بالای مدل است [۳۶]. با توجه به شکل موج جریان، واضح است که جریان اعوجاج دارد و در همه شارژرها مولفه‌های هارمونیکی بوجود می‌آید.

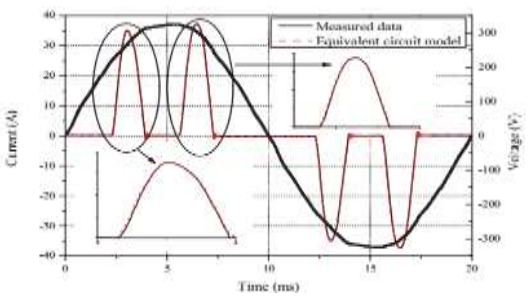


الف) خودرو نوع I



ب) خودرو نوع II

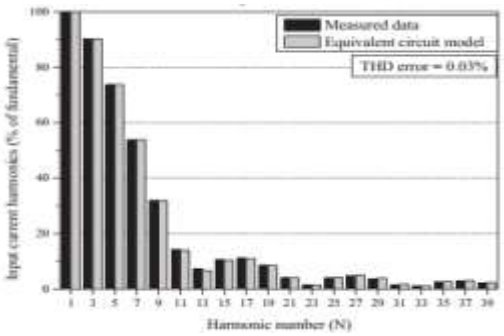




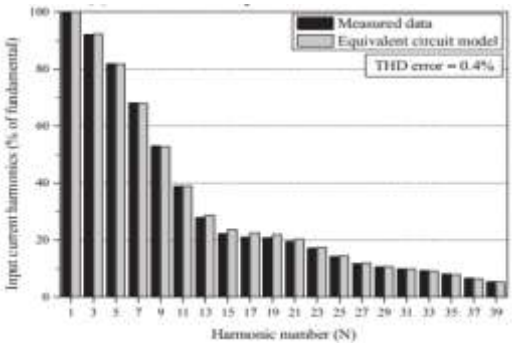
د) خودرو نوع V ج) خودرو نوع III و IV

شکل(۸-۵). شکل موج و ولتاژ و جریان شارژر

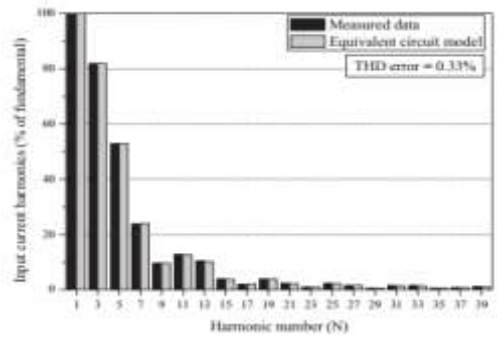
در شکل (۹-۵) مقدار هارمونیک تولیدی توسط خودروهای مورد مطالعه در این بخش نشان داده شده است. همچنین برای نشان دادن دقت مدل ارائه شده در شکل (۹-۵)، نتایج بدست آمده با استفاده از مدل فوق با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شده است، که نتایج موید دقت بالای مدل است [۳۶]. با توجه به شکل‌های فوق می توان گفت که میزان هارمونیک خودروهای نوع I بیشتر از سایر خودروها است و همچنین در خودروهای نوع V، به‌دلیل اتصال خودروها به شبکه سه‌فاز، مولفه‌های هارمونیکی متفاوتی بوجود آمده است که در آن دامنه مولفه هارمونیکی مرتبه ۳ و مضرب‌های آن کوچکتر هستند.



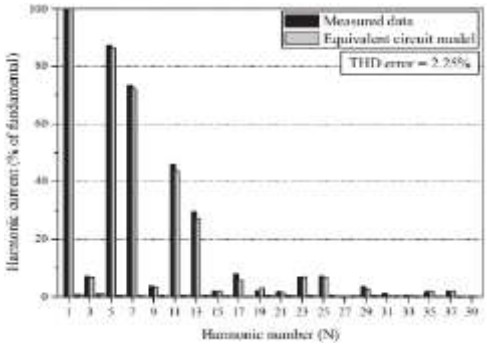
الف) خودرو نوع I



ب) خودرو نوع II



ج) خودرو نوع III و IV



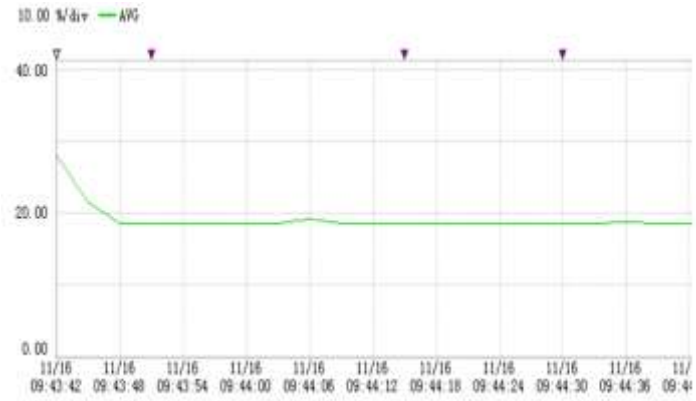
د) خودرو نوع V

شکل (۹-۵). مولفه هارمونیکی جریان ورودی خودروهای برقی

۵ ۵ تاثیر شارژرهای سریع بر شبکه قدرت

با توجه به اهمیت زمان شارژ، اقدامات زیادی برای توسعه شارژرهای سریع صورت گرفته و همگام با آنها مطالعات زیادی جهت بررسی تاثیر شارژرهای سریع در شبکه برق انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌کنیم:

در مرجع [۳۸]، اثرات هارمونیکی شارژهای سریع در شبکه برق مورد مطالعه قرار گرفته شده است و با بررسی سه نوع خودروی برقی که از شارژر سریع استفاده کرده اند نتایج نشان داده شده در شکل های زیر بدست آمده است:



شکل (۱۰-۵). هارمونیک جریان برای خودروی EV160



شکل (۱۱-۵). هارمونیک جریان برای خودروی EV200



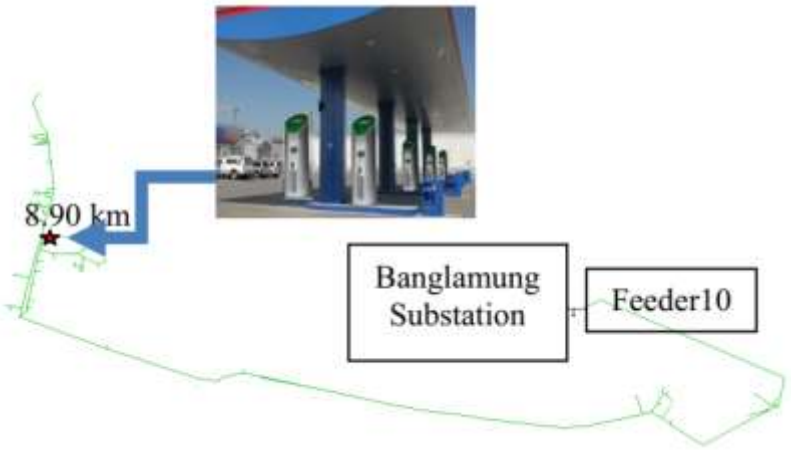
شکل (۱۲-۵). هارمونیک جریان برای خودروی EV260

با توجه به شکل های (۱۰-۵ تا۱۲-۵) واضح است که پس از زمان خیلی کوتاه مقدار هارمونیک جریان در هر سه خودرو به مقداری یک سان ر سیده ا ست، لذا می توان گفت از لحاظ هارمونیکی تاثیر یک سانی برروی شبکه می‌گذارند. همچنین در مرجع فوق با بررسی مولفه های هارمونیکی تولید برای سناریوهای مختلف نتایج زیر بدست آمده است:

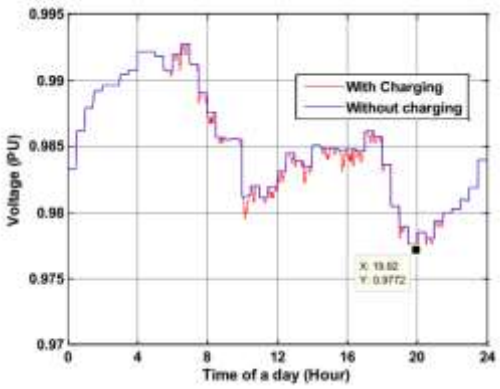
هر چقدر مقدار ظرفیت ایستگاههای شارژ بزرگتر باشد هارمونیک بیشتری وارد شبکه می شود.

هر جقدر محل ایستگاههای شارژ به باس تغذیه شبکه نزدیکتر باشد تاثیر کمتری برروی هارمونیک شبکه می گذارد.

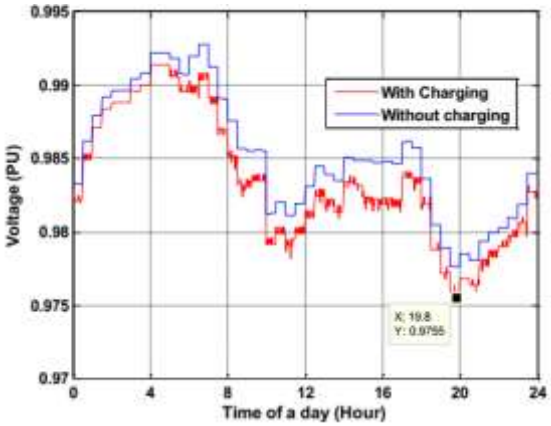
در مرجع [39] تاثیر شارژرهای سریع برروی بروفیل ولتاژ شبکه برق بررسی شده است. در این مرجع با استفاده از یک شبکه واقعی (شکل (۱۳-۵)) و نصب ایستگاه شارژ سناریوهای مختلفی بررسی شده است که نتایج آنها در ادامه آمده است:



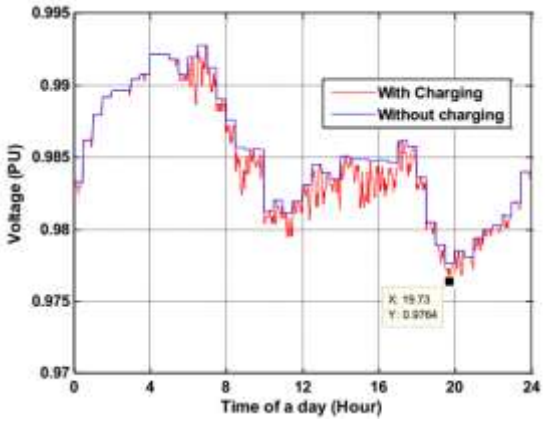
شکل (۱۳-۵). شبکه واقعی و محل نصب ایستگاه شارژ



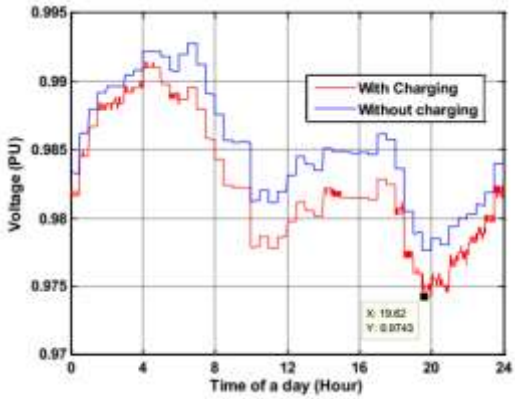
شکل (۱۴-۵). پروفیل ولتاژ شبکه در حضور ۵۰۰ خودروی برقی



شکل (۱۵-۵). پروفیل حداقل ولتاژ شبکه در حضور ۵۰۰ خودروی برقی



شکل (۱۶-۵). پروفیل ولتاژ شبکه در حضور ۲۵۰۰ خودروی برقی



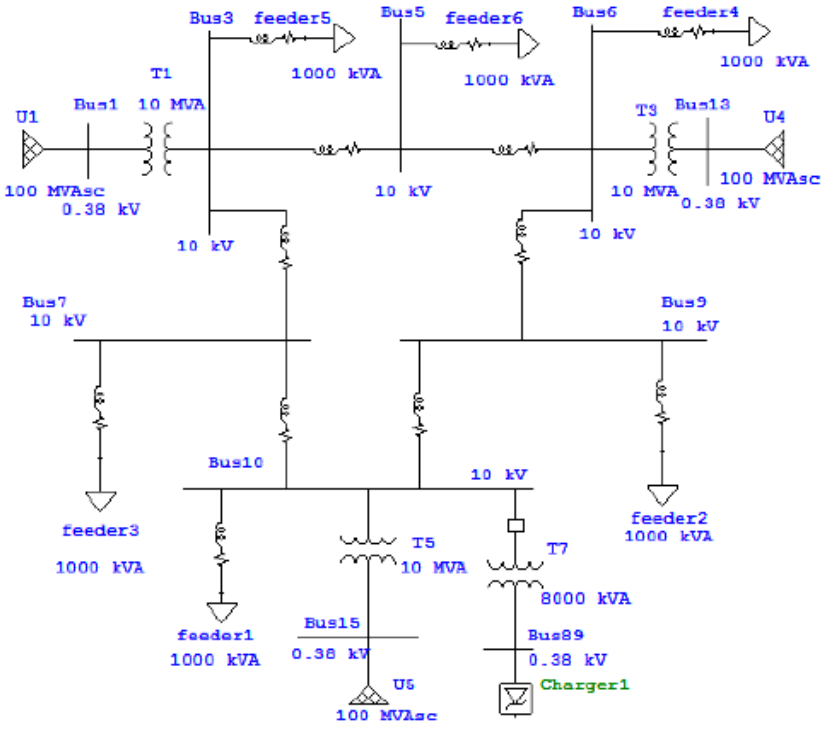
شکل (۱۷-۵). پروفیل حداقل ولتاژ شبکه در حضور ۲۵۰۰ خودروی برقی

با بررسی شکل های (۱۴-۵ تا ۱۷-۵) واضح است که حضور خودروهای برقی و ایستگاههای شارژ سریع تاثیر زیادی بر پروفیل ولتاژ شبکه دارد و تغییرات ناگهانی ولتاژ را ایجاد می کنند که برای بارهای حساس شبکه مضر می باشد. همچنین با توجه به شکل های بالا واضح است که افزایش تعداد خودروها باعث تغییرات بیشتر ولتاژ شبکه شده است و افت ولتاژ بیشتری را هم بدنبال داشته است.

۵ ۶ تاثیر شارژرهای سریع توان بالا در شبکه

برای برر سی اثر شارژرهای سریع توان بالا در شبکه های برق، یک شبکه توزیع 10kV مطابق شکل (۱۸-۵) مورد برر سی قرار گرفت. در شبکه مورد نظر دو سطح توان ایستگاه شارژ (1000 kVA و 3000kVA) در نظر گرفته شد که نتایج بدست آمده در جداول (۴-۵) و (۵-۵) ارائه گردیده است:

DOI:



شکل (۱۸–۵). شبکه توزیع ۱۰ باس برای بررسی اثر شارژرهای سریع توان بالا

جدول (۴–۵). هارمونیک فیدرهای شبکه با درنظر گرفتن ظرفیت 1000kVA برای ایستگاه شارژ سریع

فیدر	جریان (A)	THD (%)	مقدار مجاز/5^{th} (A)	مقدار مجاز/17^{th} (A)	مقدار مجاز/19^{th} (A)
1	58.2	1.88	0.7/3.4	0.41/1.02	0.64/0.92
2	58.3	1.41	0.64/10.74	0.17/3.22	0.29/2.9
3	58.3	1.41	0.64/10.74	0.17/3.22	0.29/2.9
4	58.4	1.42	0.52/12.2	0.34/3.64	0.23/3.27
5	58.4	1.42	0.64/10.74	0.34/3.64	0.23/3.27
6	58.3	1.98	0.58/10.74	0.52/3.22	0.64/2.9

جدول (۵–۵). هارمونیک فیدرهای شبکه با درنظر گرفتن ظرفیت 3000kVA برای ایستگاه شارژ سریع

فیدر	جریان (A)	THD (%)	مقدار مجاز/5^{th} (A)	مقدار مجاز/17^{th} (A)	مقدار مجاز/19^{th} (A)
1	58.2	6.15	2.25/3.4	1.27/1.02	2.07/0.92
2	58.3	4.51	2.02/10.74	0.46/2.9	0.87/2.9
3	58.3	4.51	2.02/10.74	0.46/2.9	0.87/2.9
4	58.4	4.52	1.74/12.12	1.10/3.64	1.34/3.27
5	58.4	4.52	1.74/12.12	1.1/3.64	1.34/3.27
6	58.3	6.32	1.80/10.74	1.63/2.9	2.27/2.9

با بررسی جداول بالا نتایج زیر استخراج می‌گردد:

- فیدر ۱ بیشـــترین هارمونیک را دارد و ســـپس فیدرهای ۲و۳ و کمترین هارمونیک هم مربوط به فیدرهای ۴و۵ است. بنابراین هارمونیک در باسهای نزدیک ایستگاه شارژ بیشتر خواهد بود.
- THD جریان همگام با افزایش ظرفیت ایستگاه شارژ افزایش می‌یابد، به شکلی که با افزایش ظرفیت ایستگاه شارژ به 3000kVA میزان THD در فیدر ۱ از محدوده مجاز خارج شده است و اگر بازهم ظرفیت ایستگاه شارژ را افزایش دهیم در سایر فیدرها هم میزان THD از مقدار مجاز بیشتر خواهد شد.

۵ ۷ بهبود کیفیت توان شبکه در حضور ایستگاههای شارژ سریع توان بالا

در ارتباط با شارژرهای سریع توان بالا بایستی تمهیدات زیر در راستای کاهش اثرات مخرب شارژ بر شبکه برق سنجیده شود:

- ✓ با توجه به کاهش تقاضای انرژی الکتریکی در ساعات آخر شب تا صبح، بهتر است که از شارژرهای سریع توان بالا در این ساعات استفاده کرد. مطابق با مطالعه صورت گرفته در مرجع [۴۰]، بهره برداری از شارژرهای سریع توان بالا در ساعات مذکور تاثیر کمتری برروی شبکه می‌گذارد.
- ✓ مطابق با مطالعه صورت گرفته در مرجع [۴۱]، استفاده از ذخیره سازهای انرژی در باس های متصل به ایستگاه شارژ باعث کاهش اثرات مخرب شارژ در شبکه می‌شود.
- ✓ استفاده از فیلترها برای کاهش هارمونیک در مرجع [۴۲] پیشنهاد شده است.
- ✓ در مرجع [۴۳] تجدید آرایش شبکه با هدف بهبود کیفیت توان به عنوان روشی موثر پیشنهاد شده است.

۶- فصل ششم : بررسی تاثیر خودروهای برقی بر کیفیت توان شبکه برق

در این فصل تاثیر خودروهای برقی بر کیفیت توان شبکه از زوایای زیر بررسی می‌شود:

مکان ایستگاههای شارژ

سطح نفوذ

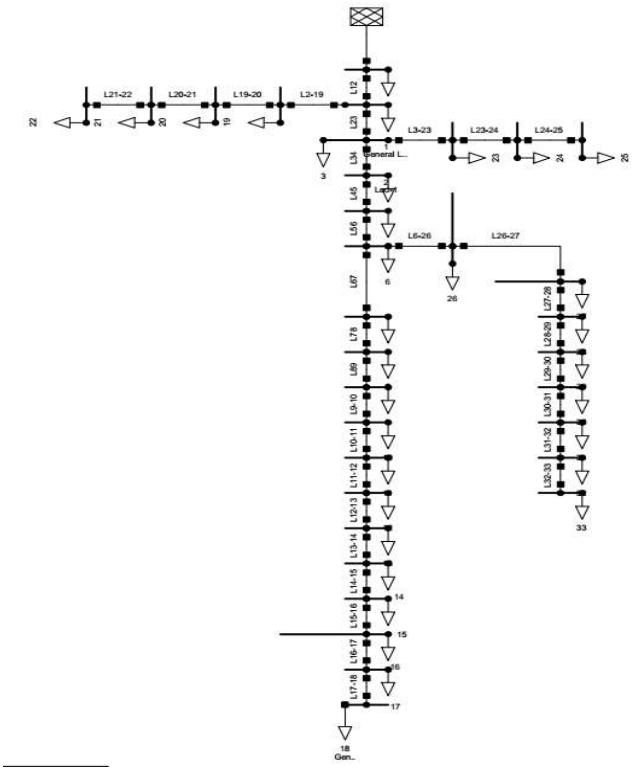
تعداد ایستگاههای شارژ

زمان شارژ

نوع ایستگاههای شارژ

برای رسیدن به هدف فوق، سناریوهای مختلفی در نظر گرفته شده و از یک شبکه نمونه برای بررسی سناریوها استفاده می شود. شبکه نمونه مورد نظر در این فصل، شبکه ۳۳ باس IEEE می‌باشد که دیاگرام تک خطی آن در شکل(۱-۶) ارائه شده است، میزان توان اکتیو و راکتیو مصرفی در این شبکه به‌ترتیب ۳۷۴۵ کیلووات و ۲۴۲کیلووار می‌باشد. همچنین اطلاعات کامل مربوط به شبکه ۳۳ باس در مرجع [۴۴]، و پیوست گزارش ارائه شده است. برای انجام شبیه سازی از نرم افزار دیگسایلنت[1] استفاده می‌شود که جزء دقیق‌ترین نرم افزارهای شبیه‌ساز سیستم‌های قدرت می‌باشد.

[1] . Digsilent



شکل (۱-۶). دیاگرام تک خطی شبکه توزیع ۳۳ باس IEEE

۱ ۶ مدلسازی خودروهای برقی در نرم افزار Digsilent

در نرم افزار دیگسایلنت ایستگاههای شارژ خودرو برقی به عنوان یک بار درنظر گرفته می‌شوند. باتوجه به اینکه هدف این پروژه بررسی مسئله کیفیت توان می‌باشد، بایستی بارهای متناظر با ایستگاههای شارژ بصورت بارهای هارمونیکی وارد شبکه شوند. در نرم افزار دیگسایلنت بارهای هارمونیکی بصورت منبع جریان هارمونیکی مدل می‌شوند. بدیهی است که در این حالت ولتاژ هم بصورت هارمونیکی مدل خواهد شد، چراکه ولتاژ برابر است با حاصلضرب جریان هارمونیکی در امپدانس معادل بار. در ارتباط با هارمونیک ولتاژ، در شبیه سازی‌های صورت گرفته در این پروژه تنها ایستگاههای شارژ بصورت منبع جریان مدلسازی سازی می‌شوند، و در سایر شین‌ها، بار متصل به شین بصورت امپدانسی مدل می‌شود که به این شکل هارمونیک ولتاژ در آنها قابل اندازه‌گیری می‌باشد. در واقع با ورود جریان هارمونیکی به بارهای با امپدانس مشخص ولتاژ هارمونیکی ایجاد می‌گردد.

برای مدلسازی هارمونیکی ایستگاههای شارژ، طیف هارمونیکی ایستگاههای شارژ سطح ۱و ۲ از مراجع معتبر استخراج و در جدول (۱-۶) ارائه شده است [۴۵و ۴۶]. همچنین در ارتباط با طیف هارمونیکی ایستگاههای شارژ سطح ۳ در استانداردها اطلاعاتی ارائه نشده است و از اینرو از اطلاعات موجود در جدول (۲-۶) که از مرجع [۴۶] استخراج شده است، استفاده می‌شود.

جدول (۱-۶). طیف هارمونیکی شارژرهای سطح ۱ و ۲

شارژر	سطح ۱	سطح ۲

ولتاژ	۱۲۰V		۱۲۰V	
مرتبه هارمونیکی	دامنه (٪)	زاویه (deg)	دامنه (٪)	زاویه (deg)
اول	۱۰۰	۱۵,۱	۱۰۰	۱۵,۵
سوم	۹,۱۲۵	۱۴۴,۹	۸,۸۶۴	۱۱۱,۸
پنجم	۳,۲۳۰	۳۰,۹	۲,۴۵۲	– ۷۳,۴
هفتم	۰,۹۴۷	–۱۲۶,۲	۰,۸۹۱	۳۸,۶
نهم	۱,۵۲۰	۷۶,۵	۰,۹۱۱	– ۱۱۴,۵
یازدهم	۱,۳۲۹	– ۸۵,۱	۰,۸۷۰	– ۶۹,۵

جدول (۱-۶). طیف هارمونیکی شارژرهای سطح ۳

ولتاژ	۱۲۰V	
مرتبه هارمونیکی	دامنه (٪)	زاویه (deg)
اول	۱۰۰	۱
سوم	۲,۰	۱۵۶
پنجم	۱,۴۲	– ۱۴۹
هفتم	۰,۹۲	۵۵
نهم	۰,۴۱	۳۳
یازدهم	۰,۳۰	– ۱۱۰

۶ ۲ بررسی تعداد ایستگاههای شارژ خودروی برقی بر کیفیت توان شبکه

به منظور بررسی تاثیر تعداد شارژرهای خودرو برقی، ابتدا بایستی سطح ولتاژ و ظرفیت هر شارژر را مشخص کنیم. مطابق با استاندارد SAE J1772 ظرفیت انواع شارژرها در جدول (۳-۶) ارائه شده است.

جدول (۳-۶). مشخصات انواع شارژر خودروی برقی در استاندارد SAE J1772

نوع شارژر	ولتاژ ورودی (V)	توان ماکزیمم (kW)
سطح ۱	۱۲۰	۱,۴۴
سطح۲	۲۰۸ –۲۴۰	۱۱,۵
سطح۳	۲۰۸ –۲۴۰	۹۶

برای انجام مطالعه در این بخش، سه سناریو زیر را در نظر می‌گیریم:

سناریو اول: در این سناریو از شارژرهای سطح ۱ در شبکه استفاده می‌شود. با توجه به اینکه شارژرهای سطح ۱ دارای ظرفیت پایین می‌باشند و با اتصال مستقیم شارژر سوار بر خودروی برقی به شبکه عمل شارژ را انجام می‌دهند، فرض می‌کنیم

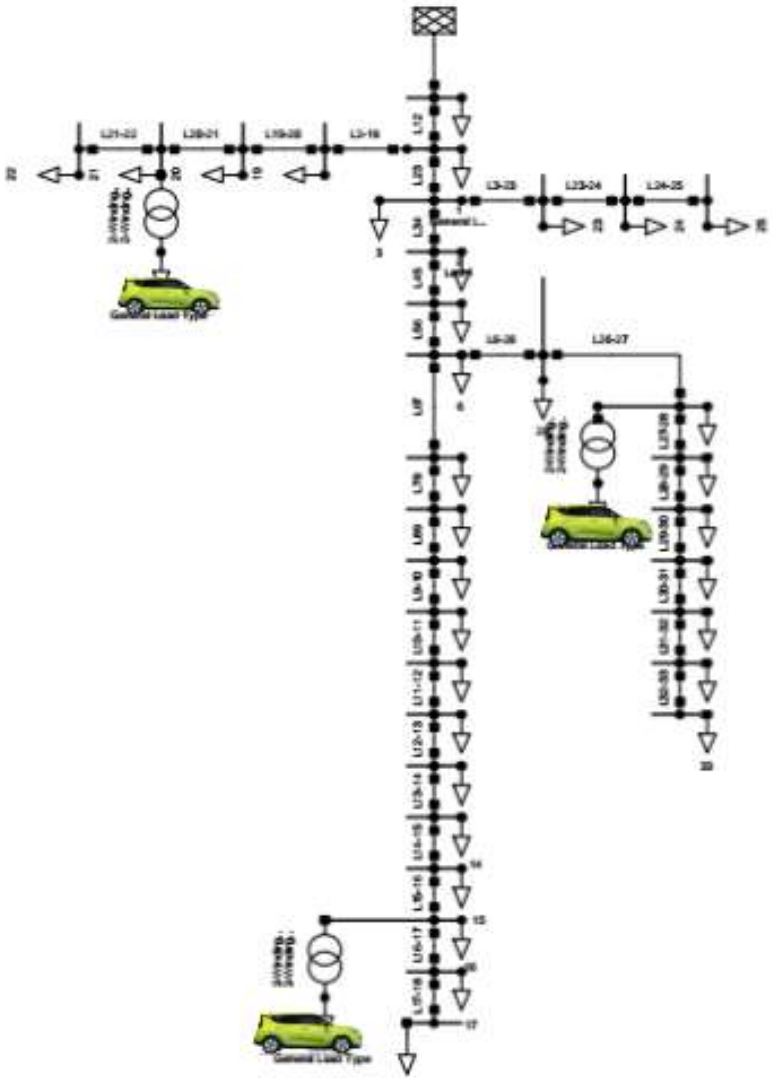
که در همه شـینه‌های شـبکه وجود دارند و سـه حالت را برای آن بررسـی می کنیم. حالت اول ۳۰۰ شـارژر، حالت دوم ۸۰۰ شارژر و در حالت سوم ۲۰۰۰ شارژر سطح ۱ را در شبکه درنظر می‌گیریم.

سناریو دوم: در این سناریو از شارژرهای سطح ۲ در شبکه استفاده می‌شود. با توجه به اینکه شارژرهای بصورت سوار بر خودرو به شبکه متصل می شوند و در مراکز عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرند به تعداد کمتری از شارژرهای سطح ۱ در شبکه موجود می باشند. از اینرو، فرض می‌کنیم که در ۱۰ شینه از شبکه تحت مطالعه وجود و سه حالت را برای آن بررسی می کنیم. حالت اول ۴۰ شارژر، حالت دوم ۱۰۰ شارژر و در حالت سوم ۲۰۰ شارژر سطح ۲ را در شبکه درنظر می‌گیریم.

سناریو سوم: در این سناریو از شارژرهای سطح ۳ در شبکه استفاده می‌شود. با توجه به اینکه شارژرهای سطح ۳ دارای ظرفیت بالایی هستند و بصورت خارج از خودرو در مراکز عمومی مثل مراکز تجاری، پمپ بنزین‌ها و ... عمل شارژ را انجام می‌دهند، تعداد کمتری به نسبت ایستگاههای سطح ۱و ۲ خواهند داشت که در سه شینه شبکه تحت مطالعه واقع شده‌اند (شکل ۲-۶). در این راستا سه حالت را برای آنها در نظر می‌گیریم که در حالت اول از ۵ ایستگاه، حالت دوم ۱۲ ایستگاه و حالت سوم ۲۵ ایستگاه شارژ سطح ۳ در شبکه موجود باشد.

نتایج مربوط سناریوهای بالا در جدول (۴-۶) ارائه شده است.

لازم به ذکر است که در بررسی سناریوهای بالا فقط حالت شارژ ایستگاههای شارژ را مد نظر قرار داده ایم. در حالت برگشـت توان از شـارژرها به شـبکه افت ولتاژ کمتری رخ خواهد داد ولی از لحاظ کیفیت توان باز هم به شـبکه جریانهای هارمونیکی وارد خواهند شد. همچنین در نرم افزار دیگسایلنت برای مدلسازی حالت برگشت توان به شبکه بایستی میزان توان مبادله شده با شبکه با علامت منفی وارد نرم افزار شود.



شکل (۲-۶). مکان ایستگاههای شارژ سطح ۳ برای بررسی اثر تعداد ایستگاههای شارژ

لازم به ذکر است که در جدول (۴-۶)، تعداد شارژرها برای سطوح مختلف بگونه‌ای انتخاب شده است که در حدود ۱۰، ۳۰ و ۶۰ درصد میزان بار متصل به شبکه ، ظرفیت ایستگاههای شارژ واقع شده در شبکه باشد. برای مثال در جدول عددهای ۳۰۰ ، ۸۰۰ و ۲۰۰۰ برای شارژرهای سطح ۱، متناظر با توان های ۴۳۲، ۱۱۵۲ و ۲۸۸۰ کیلووات می باشد که با توجه به میزان کل بار مصرفی شبکه (۳۷۴۵ کیلوولت) در نظر گرفته شده است. در واقع تعداد شارژرها بگونه ای در نظر گرفته شده است که تقریباً معادل ۱۰ ، ۳۰ و ۶۰ درصد توان مصرفی در شبکه، ظرفیت ایستگاههای شارژ شبکه باشد.

DOI:

جدول (۴-۶). میزان THD شبکه برای تعداد مختلف شارژر در ایستگاههای شارژ خودرو برقی

پارامتر	شارژر	سطح ۱			سطح ۲			سطح ۳		
	تعداد ایستگاه	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
	تعداد شارژرها	۳۰۰	۸۰۰	۲۰۰۰	۴۰	۱۰۰	۲۰۰	۵	۱۲	۲۵
هارمونیک	بیشترین THD شبکه (٪)	۳,۱۷	8.9	24.1	3.08	7.97	17.06	2.93	7.35	16.7
	کمترین THD شبکه (٪)	۰,۰۲	0.05	0.14	0.017	0.045	0.09	0.016	0.038	0.07
	میانگین THD شبکه (٪)	۱,۵	4.1	11.08	1.15	3.61	7.5	1.15	2.85	6.22
ولتاژ	کمترین ولتاژ (pu)	0.9	0.87	0.81	0.89	0.87	0.83	0.89	0.86	0.81
	بیشترین ولتاژ (pu)	1	1	1	1	1	1	1	1	1

۶ ۳ بررسی مکان ایستگاههای شارژ بر کیفیت توان شبکه

به منظور بررسی تاثیر مکان ایستگاههای شارژ بر کیفیت توان شبکه سه حالت زیر برای مکان ایستگاههای شارژ خودروی برقی در نظر می‌گیریم.

حالت اول: ایستگاه شارژ در ابتدای فیدر اصلی شبکه قرار گیرد

حالت دوم: ایستگاه شارژ در وسط فیدر اصلی شبکه قرار گیرد.

حالت سوم: ایستگاه شارژ در انتهای فیدر اصلی شبکه قرار گیرد.

همچنین در این قسمت بررسی برروی شارژرهای سطح ۳ انجام می‌شود، و برای هر سه حالت بالا، از اطلاعات جداول (۱-۶ و ۶-۲) برای مدلسازی هارمونیکی ایستگاههای شارژ استفاده می شود. نتایج بدست آمده برای همه حالات در جدول (۵-۶) خلاصه شده است.

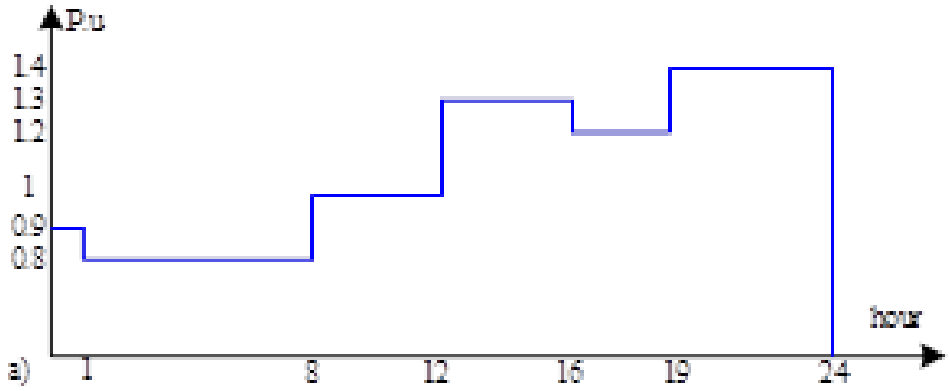
جدول (۵-۶). میزان THD و ولتاژ شینه های شبکه برای مکان های مختلف ایستگاههای شارژ

شماره باس	حالت اول		حالت دوم		حالت سوم	
	THD (%)	ولتاژ (pu)	THD (%)	ولتاژ (pu)	THD (%)	ولتاژ (pu)
1	0.020678	1	0.020733	1	0.021627	1
2	0.076188	0.996577	0.076398	0.996518	0.079695	0.99646
3	0.379209	0.972586	0.612048	0.970243	0.638826	0.969646
4	0.379255	0.965215	0.858044	0.960825	0.895819	0.95999
5	0.376333	0.946878	1.772884	0.937458	1.852223	0.936007
6	0.373235	0.943404	2.589752	0.931913	2.706617	0.930166
7	0.37372	0.938577	2.927017	0.923615	3.060484	0.921483
8	0.372707	0.93233	3.969992	0.911554	4.154472	0.908731
9	0.37189	0.926535	3.960874	0.905624	5.281911	0.896385
10	0.371989	0.925678	3.961979	0.904747	5.388476	0.894472
11	0.372156	0.924184	3.963834	0.903217	5.592346	0.890972
12	0.371028	0.918092	3.951243	0.896981	7.422082	0.875484
13	0.369995	0.915833	3.93971	0.894669	8.556583	0.86912
14	0.369494	0.914426	3.934119	0.893228	9.42124	0.863857
15	0.369453	0.913063	3.933657	0.891833	10.34986	0.857913
16	0.369338	0.911043	3.932364	0.889765	13.2796	0.846316
17	0.369583	0.910438	3.9351	0.889145	14.31073	0.841194
18	0.378722	0.976468	0.37989	0.97609	0.396412	0.97572
19	0.377513	0.969819	0.378676	0.969439	0.395145	0.969066
20	0.376918	0.966506	0.378079	0.966123	0.394521	0.96575
21	0.376397	0.944955	1.773193	0.935515	1.852549	0.934061
22	0.376498	0.9424	1.773674	0.932934	1.853057	0.931474
23	0.375534	0.931001	1.769039	0.921413	1.848215	0.919932
24	0.375023	0.922811	1.766574	0.913136	1.845642	0.91164
25	0.375236	0.919267	1.767599	0.909554	1.846723	0.908051
26	0.374117	0.91512	1.762212	0.905363	1.841081	0.903852
27	0.37382	0.914208	1.760785	0.904441	1.839586	0.902928
28	0.373745	0.913925	1.760424	0.904155	1.839208	0.902642
29	0.076156	0.996052	0.076367	0.995993	0.079662	0.995935
30	0.075961	0.992496	0.076171	0.992436	0.079457	0.992378
31	0.075904	0.991795	0.076114	0.991735	0.079398	0.991677
32	0.075845	0.991161	0.076054	0.991102	0.079336	0.991043
33	0.379141	0.980042	0.38031	0.979665	0.396851	0.979297

با توجه به نتایج جدول (۵-۶) مشخص است که هر چقدر ایستگاه شارژ از محل تغذیه شبکه دورتر باشد میزان THD و افت ولتاژ بیشتر خواهد بود.

۶ ۴ بررسی زمان شارژ در ایستگاههای شارژ بر کیفیت توان شبکه

به‌منظور بررسی اثر زمان شارژ برروی کیفیت توان شبکه، از منحنی تغییرات بار روزانه در شکل (۱-۳) استفاده می‌کنیم.



شکل(۳-۶). منحنی تغییرات بار [۴۳]

در این قسمت برای بررسی تاثیر زمان شارژ خودروهای برقی بر کیفیت توان شبکه، با توجه به شکل (۳-۶)، سه ساعت خاص را بررسی می‌کنیم. در شکل (۳-۶) منحنی تغییرات روزانه در یک شبکه نوعی ارائه شده است، مطابق با شکل فوق در ساعت ۷ بار مصرفی شبکه ۰٫۸ بار مبنا، در ساعت ۱۴بار مصرفی شبکه ۱٫۳ بار مبنا و در ساعت ۲۲ بار مصرفی شبکه ۱٫۴ بار مبنا می باشد. بنابراین در این قسمت شبیه سازی در ساعات ۷، ۱۴ و ۲۲ انجام می‌شود که در شبکه بارگذاری متفاوتی رخ می‌دهد. همچنین بدلیل اینکه چگونگی سطح شارژ در این قسمت تفاوتی در تحلیل نتایج ایجاد نمی‌کند، شبیه سازی تنها برای شارژرهای سطح ۳ انجام می‌شود.

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول (۶-۶) واضح است که در ساعت کم باری افت ولتاژ کمتری در شبکه رخ می‌دهد ولی میزان THD تولیدی در شبکه در ساعات پر باری کاهش می‌یابد. در واقع بدلیل آنکه در هر سه ساعت مورد مطالعه توان کشیده شده از شبکه برای شارژ خودرها ثابت است، در ساعت کم باری هارمونیک بیشتری وارد شبکه می‌شود.

جدول (۶-۶). میزان THD و ولتاژ شینه های شبکه برای زمان های مختلف شارژ

شماره باس	ساعت ۸	ساعت ۱۴	ساعت ۲۲

THD(%)	ولتاژ باس (pu)	THD(%)	ولتاژ باس (pu)	THD(%)	ولتاژ باس (pu)	
0.036617	1.000000	0.037781	1.000000	0.041373	1.000000	1
0.135176	0.995031	0.139426	0.995288	0.152459	0.996529	2
0.761393	0.959648	0.784543	0.961795	0.863290	0.972083	3
1.053927	0.946925	1.084684	0.949726	1.188906	0.963122	4
2.149835	0.916186	2.207316	0.920403	2.398386	0.940507	5
2.637505	0.910403	2.707762	0.914822	2.940756	0.935866	6
2.850818	0.901043	2.924233	0.905979	3.165290	0.929478	7
3.521344	0.888186	3.601195	0.893738	3.857899	0.920141	8
4.227815	0.875920	4.310321	0.882044	4.568179	0.911150	9
4.295740	0.874006	4.378151	0.880226	4.634553	0.909783	10
4.425864	0.870555	4.507998	0.876944	4.761289	0.907297	11
5.597533	0.856013	5.676304	0.863016	5.902397	0.896258	12
6.328935	0.850314	6.403979	0.857524	6.607677	0.891736	13
6.890546	0.845815	6.960919	0.853183	7.140483	0.888135	14
7.502541	0.840889	7.565058	0.848416	7.707068	0.884115	15
7.486473	0.838118	7.552932	0.845812	7.708742	0.882301	16
7.494101	0.837265	7.560055	0.845015	7.713385	0.881769	17
0.486196	0.967655	0.502078	0.969429	0.556058	0.977983	18
0.481836	0.958966	0.498415	0.961252	0.555351	0.972318	19
0.479671	0.954633	0.496599	0.957174	0.555009	0.969496	20
2.239118	0.912964	2.297527	0.917331	2.490811	0.938153	21
2.366494	0.908642	2.425890	0.913206	2.621156	0.934972	22
2.345903	0.894327	2.409121	0.899586	2.619296	0.924655	23
2.333365	0.884076	2.399083	0.889825	2.618772	1.000000	24
2.333029	0.879474	2.399315	0.885477	2.620703	0.996529	25
2.314235	0.873965	2.383495	0.880297	2.616879	0.972083	26
2.309491	0.872771	2.379472	0.879171	2.615793	0.963122	27
2.308290	0.872417	2.378454	0.878834	2.615517	0.940507	28
0.255013	0.993744	0.260522	0.994040	0.276247	0.935866	29
1.333043	0.983654	1.340294	0.984213	1.360038	0.929478	30
1.719324	0.981138	1.726655	0.981746	1.746156	0.920141	31
1.716279	0.980335	1.724077	0.980984	1.745378	0.911150	32
0.487968	0.972361	0.503536	0.973851	0.55621	0.909783	33

۷- فصل هفتم : ارائه الگوریتم بهبود کیفیت توان شبکه در حضور ایستگاههای شارژ

در این فصل به‌منظور ارائه الگوریتمی کارامد برای بهبود کیفیت توان شبکه برق در حضور خودروهای برقی به استخراج و معرفی متغیرهای کنترلی مسئله، قیود فنی مسئله، تابع هدف بهبود کیفیت توان و معرفی روش حل و الگوریتم مورد نظر می‌پردازیم. در این راستا ابتدا فرمولاسیون مسئله ارائه می‌شود و در قالب آن متغیرهای کنترلی، قیود و تابع هدف معرفی می‌شوند. و در نهایت هم با معرفی الگوریتم حل مسئله اجزاء اصلی الگوریتم تشریح می‌شود.

۷ ۱ متغیرهای کنترلی مسئله بهبود کیفیت توان شبکه در حضور خودروهای برقی

هر سیستم یا عنصر مهندسی با مجموعه‌ای از کمیت‌ها بیان می‌شود که برخی از آنها به صورت مجموعه ای از متغیرها در فرآیند طراحی تحت عنوان متغیرهای طراحی یا تصمیم گیری ظاهر می‌شوند. این متغیرها را با نام $\mathbf{X}=\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_n \end{bmatrix}$ نشان داده و مجموعه متغیرهای طراحی به صورت بردار طراحی $x_i \ , (i=1,2,...n)$ ارائه می‌شود.

قبل از بیان توابع هدف و قیود مسئله، بردار کنترلی $\mathbf{X}$ بایستی تعریف شود. در این پروژه به خاطر اینکه می‌خواهیم مسئله بهبود کیفیت توان شبکه در حضور ایستگاههای شارژ خودرو برقی حل کنیم، بایستی بردار کنترلی $\mathbf{X}$ به گونه‌ای تعریف شود که شامل مکان ایستگاه شارژ و تعداد شارژرهای موجود در هر ایستگاه باشد. بردار کنترلی مورد نظر بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\mathbf{X}=[x_{s,1}, x_{s,2}, ..., x_{s,Ns}, x_{ch,1}, x_{ch,2}, ..., x_{ch,Ns}]_{2\times Ns} \qquad (۱-۷)$$

که در رابطه ی فوق:

$x_{s,i}$ مکان ایستگاه شارژ iام را در شبکه مشخص می‌کند (شماره شینه ای که ایستگاه به آن وصل می‌شود).

$x_{ch,i}$ تعداد شارژرهای موجود در ایستگاه شارژ iام را مشخص می‌کند.

Ns تعداد ایستگاههای شارژ در شبکه می‌باشد.

در هر مسئله ای اگر هدف، تنها بدست آوردن یک طرح قابل قبول باشد، با استفاده از روش های معمول می توان به هدف فوق رسید. اما در بسیاری از موارد تنها قابل قبول بودن طرح موردنظر نیست و هدف بهینه‌سازی، انتخاب بهترین طرح از بین طرحهای موجود است. بنابراین باید معیاری برای مقایسهٔ طرحهای قابل قبول مختلف و انتخاب بهترین آنها تعیین شود که بصورت تابعی از متغیرهای طراحی بیان شده و تابع معیار، تابع مزیت یا تابع هدف نام می‌گیرد. در این پروژه از دو تابع هدف پراهمیت در مسئله کیفیت توان شبکه برق برای حل مسئله استفاده می‌شود که عبارتند از مجموع اعوجاجات هارمونیکی و انحراف ولتاژ باس‌های شبکه که در قسمت‌های بعد تشریح می‌شوند.

۲ ۷ معرفی تابع هدف مجموع اعوجاجات هارمونیکی، پیاده سازی آن در محیط نرم افزار و فرمول بندی تابع هدف

۱ ۲ ۷ معرفی تابع هدف مجموع اعوجاجات هارمونیکی [۴۷]

مجموع اعوجاجات هارمونیکی، که البته هم در رابطه با جریان و هم در رابطه با ولتاژ معرفی می شود، یکی از فاکتورهای مهم کیفیت توان در سیستم های قدرت است. در رابطه با این تابع هدف ذکر چند نکته حائز اهمیت است. اول اینکه مجموع اعوجاجات هارمونیکی هم می تواند به عنوان تابع هدف و هم می تواند به عنوان قید در روابط حل مسئله در نظر گرفته شود. در اکثر مقالات مجموع اعوجاجات هارمونیکی به عنوان قید در نظر گرفته می شود. از سوی دیگر مالکان ایستگاههای شارژ نیز از طرف بهره برداران سیستم ملزم به رعایت حدود اعوجاجات هارمونیکی در زمان نصب و بهره برداری از آن هستند. زمانی که مجموع اعوجاجات هارمونیکی در یک مسئله جایابی به عنوان قید در نظر گرفته شود، ممکن است برخی از ظرفیت های ایستگاههای شارژ در جهت کاهش هارمونیک های شبکه از دست برود چرا که تنها رعایت قید در دستور کار است و نه کمینه کردن میزان اعوجاجات هارمونیکی.

با محاسبه ولتاژ هارمونیکی برای باس های مختلف شبکه، مجموع اعوجاجات هارمونیکی باس های شبکه بر اساس ولتاژ حالت عادی شینه های مختلف توسط رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$\%THD_V = \frac{1}{V_1}\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2} \times 100 = \left(\sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{1rms}}\right)^2 - 1}\right) \times 100 \qquad (۲-۷)$$

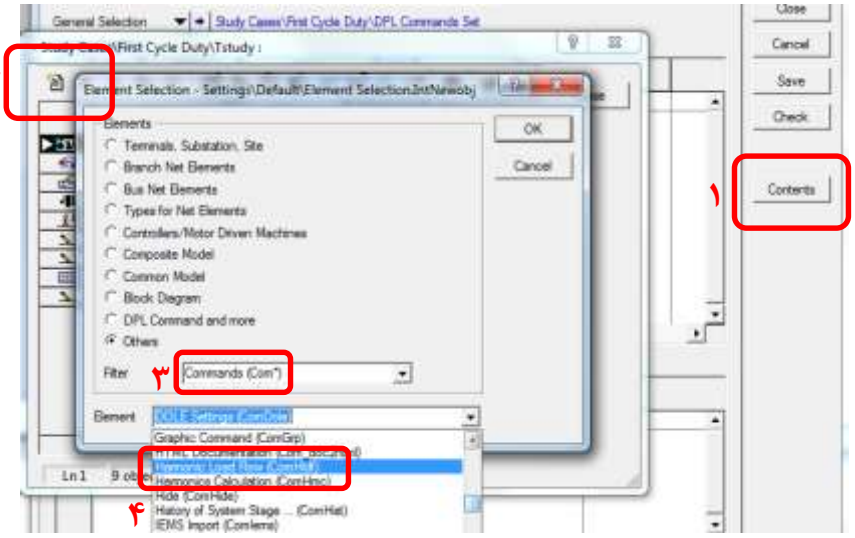
بطور مشابه مجموع اعوجاجات هارمونیکی جریان نیز بصورت زیر قابل محاسبه است:

(۳-۷)

$$\%THD_I = \frac{1}{I_1}\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} \times 100 = \left(\sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{1rms}}\right)^2 - 1}\right) \times 100$$

۱-۲-۱- پیاده سازی تابع هدف مجموع اعوجاجات هارمونیکی در محیط نرم افزار **DIgSILENT**

بمنظور انجام محاسبات هارمونیکی، باید از شبکه پخش بار هارمونیکی گرفته شود. انجام مراحل پخش بار هارمونیکی ب صورت د ستی کار ساده‌ای ا ست ولی بمنظور ا ستفاده از پخش بار هارمونیکی در DPL باید این د ستور در محیط برنامه نویسی تعریف شود. مراحل تعریف این دستور در شکل (۱-۷) نشان داده است.



شکل (۱-۷): تعریف پخش بار هارمونیکی در DPL

با تعریف د ستور محا سبه پخش بار هارمونیکی در شبکه می توان به تمامی ویژگی های شبکه در ح ضور هارمونیک ها دست یافت. از اینرو تابع هدف مربوط به کاهش هارمونیک های شبکه امکان پذیر می شود.

۱-۲-۲- فرمول بندی تابع هدف مجموع اعوجاجات هارمونیکی [۴۸]

$$\min \quad f$$

$$f = THD_{total} = \sum_{i=1}^{N_{bus}} THD_{bus_i} \Big/ N_{bus} \qquad (۴-۷)$$

در رابطه بالا THD_{total} مجموع اعوجاجات هارمونیکی شبکه و THD_{bus_i} اعوجاج هارمونیکی مربوط به باس i را نشان می دهد.

۲ ۲ ۷ معرفی تابع هدف تغییرات ولتاژ

یکی از مهم ترین توابع هدفی که می توان برای جایابی و بهره‌برداری از ایستگاههای شارژ خودروی برقی در نظر گرفت تابع هدف تغییرات ولتاژ است. حضور ایستگاههای شارژ در شبکه می تواند منجر به کاهش توان عبوری از خطوط شبکه شده (در زمان شارژ خودروها) و همچنین افزایش توان عبوری از شبکه (در زمان دشارژ) شود که در هر دوحالت تغییرات ولتاژ باس های شبکه را بدنبال خواهد داشت.

به منظور محاسبه تغییرات ولتاژ در شبکه می بایست ابتدا معادلات پخش بار شبکه حل شود و سپس میزان تغییرات ولتاژ هر یک از باس های شبکه محا سبه شده و سپس بی‌شترین تغییرات ا ستخراج شود. برای محا سبه تغییرات ولتاژ شبکه در محیط نرم افزار DIgSILENT می بایست در گام از شبکه پخش بار گرفت. افزودن دستور پخش بار به DPL دقیقاً شبیه دستور پخش بار هارمونیکی است با این تفاوت که در آخرین مرحله باید دستور Load Flow Calculation (ComLdf) فراخوانی شود. از این طریق می توان از شبکه پخش بار گرفت و سپس ولتاژ باس های شبکه را محاسبه کرد.

۱-۲-۳- فرمول بندی تابع هدف تغییرات ولتاژ [۴۹]

مینیمم سازی میزان انحراف ولتاژ باس ها از مقدارنامی یکی از مهمترین مسایل در شبکه‌های توزیع می‌باشد که با هدف حداقل نمودن تابع هدف تعریف شده (بعنوان اهداف ثانویه) و اصلاح پروفیل ولتاژ و بهره برداری ایمن در شبکهٔ توزیع در نظر گرفته می‌شود.

برای مینیمم سازی انحراف ولتاژ باس ها از رابطه ی زیر استفاده می کنیم:

$$f_2(\mathbf{X}) = d_{voltage}(\mathbf{X}) = \max\left[\left|1-V_{\min}\right| \quad and \quad \left|1-V_{\max}\right|\right] \qquad (۵-۷)$$

که در رابطه ی فوق:

$V_{\min}$: مقدار مازیمم ولتاژ باس

$V_{\max}$: مقدار مینیمم ولتاژ باس

.

پس از آشنایی با توابع هدف مختلف، فرمول بندی آنها و نحوه پیاده سازی آنها در محیط نرم افزار DIgSILENT باید به سراغ شبیه سازی واحدهای تجدید پذیر انرژی در نرم افزار مربوطه برویم. در ادامه به بررسی این موضوع می پردازیم.

۷ ۳ قیود مسئله

دومین قدم در تعریف یک مسئله بهینه سازی مشخص کردن قیود مسئله است. قیودی که در این تحقیق برای حل مسئله بهینه سازی در نظر گرفته شده است عبارتند از:

- **محدودیت خطوط توزیع**

با توجه به محدود بودن ظرفیت انتقال توان عبوری از خطوط، لازم است که در هر مسئله ی مربوط به شبکه‌ی قدرت از جمله بهره برداری از ایستگاههای شارژ، قید مربوط به توان عبوری از خطوط رعایت شود. قید فوق که یک قید نامساوی می باشد بصورت زیر بیان می شود:

$$\left|P_{ij}^{Line}\right| < P_{ij,\max}^{Line} \qquad (۶-۷)$$

P_{ij}^{Line}: توان عبوری از خطوط

$P_{ij,\max}^{Line}$: توان عبوری از خطوط

- **معادلات مربوط به توان های عبوری از خطوط توزیع**

توان های اکتیو و راکتیو انتقالی در خطوط به اندازه و زاویه ولتاژهای ابتدا و انتهای خط و امپدانس مسیر بستگی دارد و بصورت رابطه ی(۷-۷) بدست می آیند. در این حالت با یک قید تساوی روبرو هستیم که در هر مرحله از حل مسئله ی تجدیدآرایش بایستی رعایت شود.

$$P_{ij} = \sum_{i=1}^{N_{bus}} V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ii} - \delta_i - \delta_j) \qquad (۷-۷)$$
$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^{N_{bus}} V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ii} - \delta_i - \delta_j)$$

P_i : توان اکتیو تزریقی توسط باس iام

Q_i: توان راکتیو تزریقی توسط باس iام

V_i: اندازه ولتاژ باس iام

δ_i: زاویه ی ولتاژ باس iام

$Y_{i,j}$: اندازه ادمیتانس شاخه ی بین دو باس i و j.

$\theta_{i,j}$: زاویه ی ادمیتانس شاخه ی بین دو باس i و j.

- **محدودیت ترانسفورماتورها**

برای کنترل دامنه ی جریان عبوری از ترانس ها از قید نامساوی زیر استفاده می کنیم:

$$\left|I_{t,i}\right| \le I_{t,i}^{\max} \qquad i = 1,2,...,N_t \qquad (۷-۸)$$

که در رابطه ی فوق

$\left|I_{t,i}\right|$: دامنه ی جریان ترانس ها

$I_{t,i}^{\max}$: ماکزیمم جریان iامین ترانس

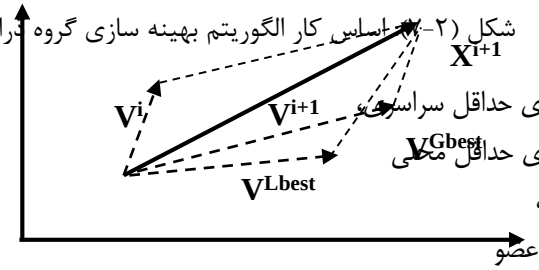
N_t : هم تعداد ترانس هاست.

گام بعدی در حل مسئله بهینه سازی انتخاب یک روش مناسب جهت حل مسئله است. در این تحقیق از الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات برای حل مسئله استفاده شده است که در ادامه به معرفی این روش می پردازیم.

۷ ۴ الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات

روش بهینه‌سازی گروه ذرات یکی از گونه های روش‌های تکاملی است که اولین با توسط Eberhart و Kennedy برای حل مسایل بهینه‌سازی بکار برده شد و تاکنون قابلیت آن برای استفاده در مسائل بهینه‌سازی با توابع پیوسته به اثبات رسیده است[۵۰]. در این روش حرکت به‌سوی نقطهٔ بهینهٔ تابع براساس اطلاعات بهترین نقطه به‌دست آمده از هریک عوامل موجود در جمعیت اولیه و نیز بهترین نقطهٔ پیدا شده توسط نقاط همسایه صورت می‌گیرد. با توجه به شکل (۲-۷) اساس کار الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات را می‌توان چنین توضیح داد:

شکل (۲-۷) اساس کار الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات



$\mathbf{V^{Gbest}}$: جهتگیری به سوی حداقل سراسری

$\mathbf{V^{Lbest}}$: جهتگیری به سوی حداقل محلی

$\mathbf{V^{i+1}}$: جهتگیری هر عضو،

$\mathbf{V^i}$: بردار سرعت اولیه هر عضو

ابتدا در فضای جستجوی موردنظر تعدادی نقطه به‌عنوان جمعت اولیه انتخاب می‌شود:

$$\mathbf{X}_i = [x_{i,1}, x_{i,2}, \ldots, x_{i,n}] \quad (۹-۷)$$
$$V_i = [v_{i,1}, v_{i,2}, \ldots, v_{i,n}]$$

به عنوان مثال دسته i در شکل (۲-۷) شامل سه عامل جستجوکننده است. مقدار تابع به‌ازاء هریک از عوامل موجود در فضای جستجوی محاسبه شده و در هر دسته مشخص می‌گردد که کدام نقطه مقدار تابع را بسته به هدف مورد نظر کمیته یا بیشینه کرده است. به این ترتیب در هر دسته بهترین نقطه مشخص می‌گردد. از طرف دیگر با در دسترس بودن اطلاعات گذشته هر عامل می‌توان بهترین نقطه‌ای که تاکنون توسط آن کشف شده است را مشخص کرد. به این ترتیب اطلاعات نقطه بهینهٔ هر دسته و هر عامل مشخص می‌گردند. دانش اول متناظر با نقطهٔ بهینهٔ سراسری G_{best} در هر گروه و دانش دوم متناظر با نقطهٔ بهینهٔ محلی $P_{best,i}$ می‌باشد. با داشتن این اطلاعات هر عامل را در راستای بردار زیر حرکت می‌دهیم:

$$V_i^{k+1} = \omega * V_i^k + c_1 * rand(.) * (P_{best,i} - \mathbf{X}_i^k) + c_2 * rand(.) * (G_{best} - \mathbf{X}_i^k) \quad (۱۰-۷)$$
$$P_{best,i} = [p_{best,i,1}, p_{best,i,2}, \ldots, p_{best,i,n}]$$
$$G_{best} = [g_{best,1}, g_{best,2}, \ldots, g_{best,n}]$$
$$\mathbf{X}_i^{k+1} = V_i^{k+1} + \mathbf{X}_i^k \quad (۱۱-۷)$$

در رابطهٔ فوق V_i^k سرعت اولیه هر عامل در فضای جستجو می‌باشد که توسط رابطهٔ (۲-۷) تغییر می‌کند. $\mathbf{X}_i$ بردار مکانی هر عامل است که با استفاده از رابطهٔ (۲-۷) مکان بعدی مشخص می‌گردد. C_1 و C_2 ضرایب با مقادیر تصادفی می‌باشند. به این ترتیب الگوریتم PSO قادر است در تکرارهای متوالی نقطهٔ بهینهٔ سراسری تابع مورد نظر را پیدا کند.

۷ ۵ لینک نرم افزار متلب و DIgSILENT

حل مسائل بهینه سازی در شبکه های قدرت به دلیل گستردگی شبکه ها و پیاده سازی آن ها در محیط های پیچیده نرم افزاری همواره یکی از دغدغه ها و چالش های پیش روی بهره‌برداران سیستم های قدرت بوده است. اگرچه انتقال اطلاعات از محیط نرم افزارهایی همچون DIgSILENT به محیط نرم افزاری مانند متلب، نیازمند تلاش و دقت فراوان است، اما از آن جا که بهینه سازی باید در محیط متلب صورت گیرد، تنها راه مورد استفاده توسط محققان در زمان انجام مطالعات شبکه است.

در این پروژه سعی شده است که از امکانات نرم افزارهای DIgSILENT و متلب به طور کامل استفاده کرده تا پاسخ بدست آمده شبیه ترین پاسخ به حالت واقعی شبکه باشد. در این روش که از ارتباط بین دو نرم افزار استفاده شده است، مطالعات پخش بار در محیط نرم افزار DIgSILENT و انجام مراحل بهینه سازی در محیط نرم افزار متلب انجام می گیرد. این شرایط نیازمند هیچ گونه ساده سازی در مورد شبکه مورد مطالعه نمی باشد و تمامی حالت ها ناشی از حالت واقعی شبکه هستند.

مراحل حل مسئله به شرح زیر است:

مرحله اول: تولید جمعیت اولیه برای الگوریتم در محیط نرم افزار متلب

در این مرحله با توجه به متغیرهای کنترلی و حدود مجاز برای تغییرات این آنها، جمعیت اولیه برای الگوریتم PSO تشکیل می شود.

مرحله دوم: ثبت اطلاعات تولید شده در یک فایل واسط

در این مرحله اطلاعات تعیین شده در مرحله قبل در یک فایل واسط بین دو نرم افزار ثبت شده و پیغامی به نرم افزار DIgSILENT ارسال می شود. این فایل واسط، یک فایل Text می باشد که در پوشه با نام temp در درایوی از کامپیوتر که قرار است اطلاعات بین دو نرم افزار رد و بدل شوند، قرار دارد.

مرحله سوم: خواندن اطلاعات در محیط DIgSILENT

در این مرحله اطلاعات ثبت شده در محیط واسط توسط نرم افزار DIgSILENT خوانده شده و در یک بردار از پیش تعبیه شده ذخیره می شود.

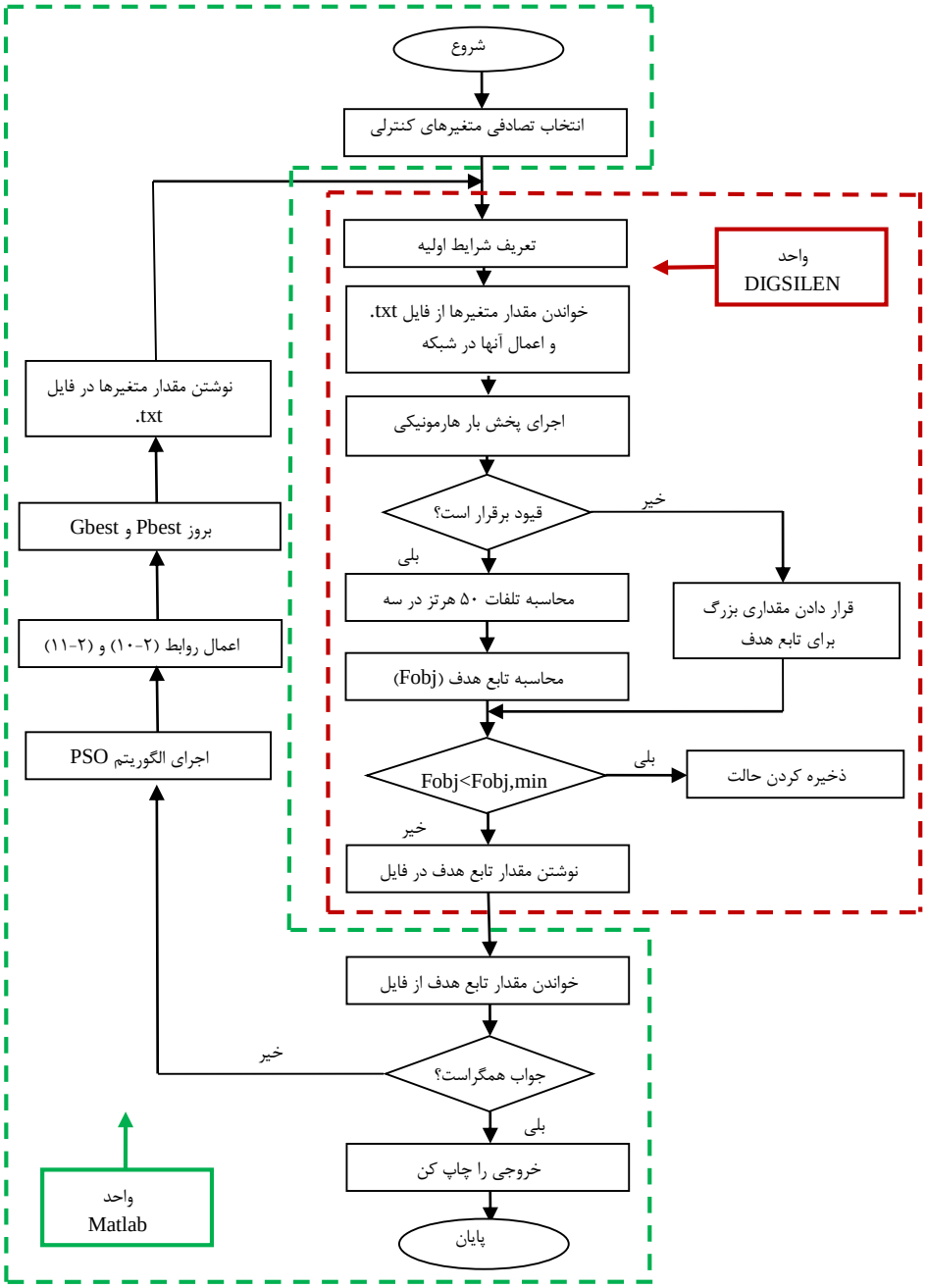
مرحله چهارم: اتصال ایستگاههای شارژ به باس های کاندیدا

در این مرحله با توجه به مشخص بودن تعداد ایستگاههای مورد استفاده در شبکه و همچنین باس های کاندیدا برای نصب، ایستگاهها به باس‌های تعبیه شده در شبکه متصل می شوند. در این مرحله نرم افزار DIgSILENT پیغامی را برای نرم افزار متلب فرستاده و این نرم افزار را در حالت انتظار قرار می دهد.

مرحله پنجم: انجام محاسبات پخش بار هارمونیکی و محاسبه ولتاژ باس‌های شبکه

مرحله ششم: انتقال نتایج پخش بار به محیط نرم افزار متلب

در این مرحله اطلاعات توسط یک فایل واسط به محیط نرم افزار متلب منتقل شده و اجازه ادامه محاسبات به این نرم افزار داده می شود. در اینجا نرم افزارDIgSILENT منتظر می ماند تا دوباره دستور انجام کار را دریافت کند. نتایج پخش بار منتقل شده به محیط نرم افزار متلب، امکان محاسبه میزان توابع هدف را فراهم می آورد. در طی روند حل مسئله بهینه سازی، هر زمان که نیاز به محاسبه تابع هدف باشد، مراحل بالا برای تعیین مقدار تابع هدف طی می شود. شکل (۲-۳) مراحل بیان شده در بالا را به صورت کلی نشان می دهد.



شکل (۳-۷). فلوچارت مربوط به لینک نرم افزارهای متلب و دیگسایلنت

این فصل به بررسی ملزومات حل مسئله پرداخت. اکنون می توان مسئله مورد نظر را حل کرد. فصل بعد به بیان نتایج شبیه سازی مسئله می پردازد.

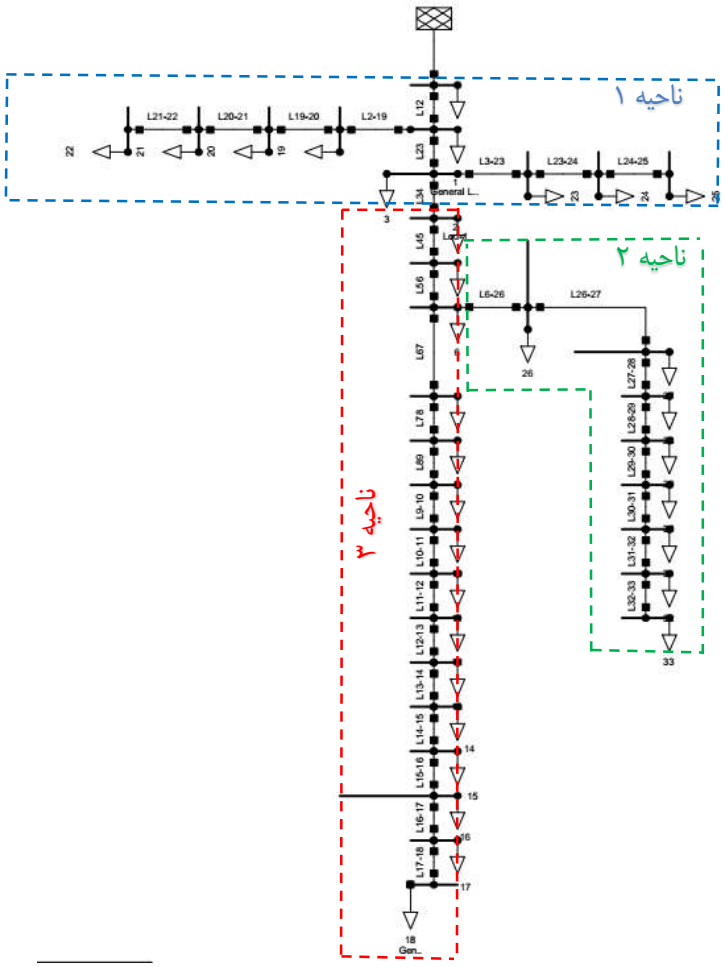
۸- فصل هشتم : نتایج شبیه سازی اعمال الگوریتم برروی شبکه توزیع برق

در این فصل نتایج شبیه سازی مسئله بر روی یک شبکه نمونه و یک شبکه واقعی ارائه می‌شود. لازم به ذکر است که برنامه های نوشته شده در راستای این تحقیق، وابسته به مورد مطالعاتی نیست و به سادگی قابل انتقال به سایر موارد مطالعاتی در شبکه است.

۸ ۱ شبکه توزیع نمونه

شبکه توزیع نمونه که در این بخش نتایج اعمال الگوریتم برروی آن بررسی می شود همان شبکه IEEE ۳۳ شینه است که در فصل اول گزارش معرفی گردید. در این بخش به جایابی ایستگاههای شارژ خودروی برقی در شبکه و تعیین ظرفیت آنها با هدف بهبود کیفیت توان می‌پردازیم. همچنین در این فصل از اطلاعات مربوط به طیف هارمونیکی شارژرها و ظرفیت آنها که در فصل ۱ آمده است استفاده می‌شود.

برای پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی در فصل دوم برروی شبکه نمونه، شبکه را مطابق با شکل (۱–۸) به سه ناحیه تقسیم می‌کنیم. علت تقسیم بندی محدودیت های مکانی می‌باشد، در واقع برای جلوگیری از قرارگیری ایستگاههای شارژ در یک محل و یا نزدیک به هم، تقسیم بندی فوق صورت گرفته است. مطابق با شکل (۱–۸)، شبکه تحت مطالعه به سه ناحیه تقسیم می‌شود و در هر ناحیه یک ایستگاه شارژ سطح ۳ جایابی می‌گردد.



شکل (۱–۸). ناحیه بندی شبکه توزیع ۳۳ شینه IEEE برای جایابی ایستگاههای شارژ

در ادامه نتایج شبیه‌سازی برروی شبکه نمونه برای سه سناریو زیر ارائه می‌شود:

- سناریو اول: حل مسئله بصورت تک هدفه با در نظرگیری تغییرات ولتاژ به عنوان تابع هدف،
- سناریو دوم: حل مسئله بصورت تک هدفه با در نظرگیری THD به عنوان تابع هدف،
- سناریو سوم: حل مسئله بصورت دو هدفه با در نظرگیری تغییرات ولتاژ و THD به عنوان توابع هدف بصورت همزمان.

۸ ۱ ۱ حل مسئله با تابع هدف تغییرات ولتاژ

در این بخش تابع هدف مسئله تنها حداقل سازی تغییرات ولتاژ باس‌ها می با شد. نتایج حل مسئله در جدول (۱-۸) ارائه شده است. با توجه به اینکه ایستگاههای شارژ به عنوان مصرف کننده به شبکه متصل می شوند، هر چقدر که ظرفیت آنها بیشتر با شد افت ولتاژ بیشتری در شبکه ایجاد می‌کنند، بنابراین الگوریتم بهینه سازی پا سخ‌ها را به سمتی پیش می‌برد که ظرفیت ایستگاهها حداقل شود. در ردیف اول جدول (۱-۸) نتایج شبیه سازی با در نظر گرفتن مکان و ظرفیت ایستگاههای شارژ به عنوان متغیرهای کنترلی ارائه شده است که مشاهده می‌شود ظرفیت ایستگاهها حداقل و مکان آنها در ابتدای خطوط پیشنهاد گردیده است. در این حالت مقدار THD شبکه هم ۰,۵۶٪ در صد شده است که مقدار کمی است. علت کم بودن THD ظرفیت پایین ایستگاههای شارژ می‌باشد.

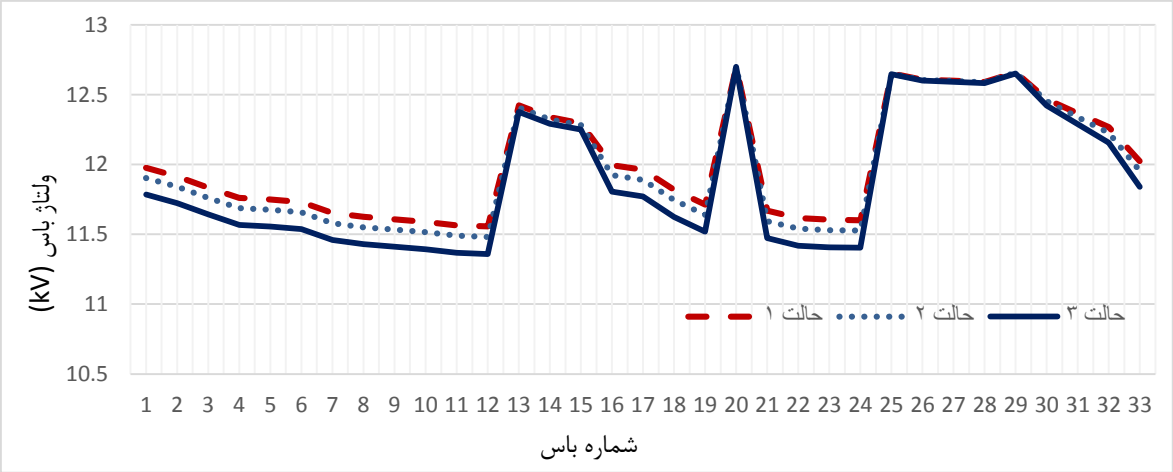
در ردیف‌های دو و سه جدول (۱-۸)، بمنظور بررسی ظرفیت های بالاتر ایستگاههای شارژ، حداقل ظرفیت هر ایستگاه را به ترتیب 96×3 (۳عدد شارژر سطح ۳) و 96×6 (۶ عدد شارژر سطح ۳) در نظر گرفته ایم. در این حالات هم محل اتصال ایستگاهها مطابق با انتظار در ابتدای شاخه‌ها بدست آمده اما میزان THD شبکه افزایش یافته که علت آن افزایش ظرفیت ایستگاههای شارژ می‌باشد.

جدول(۱-۸). نتایج اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه ۳۳ باس با هدف کمترین تغییرات ولتاژ

کمترین ولتاژ شبکه(kV)	میانگین THD شبکه(%)	ظرفیت ایستگاهها (kW)	محل اتصال ایستگاههای شارژ	حالت
۱۱,۵	۰,۵۶	۹۶و ۹۶و ۹۶	باس ۲، ۱۱ و ۱۹	۱
۱۱,۴۸	۱,۲	۹۶۰و ۲۸۸و ۲۸۸	باس ۱، ۱۱ و ۱۹	۲
۱۱,۳۶	۲,۴	۵۷۶و ۵۷۶ ۵۷۶	باس ۱، ۱۱ و ۱۹	۳

در شکل (۲-۸) ولتاژ شینه‌های شبکه بعد از نصب ایستگاههای شارژ برای سه حالت جدول (۱-۸) نشان داده شده است. مطابق با جدول فوق بیشترین میزان انحراف ولتاژ مربوط به باس ۱۲ می‌باشد.

DOI:



شکل(۲-۸). پروفیل ولتاژ شبکه برای سه سطح شارژ مختلف در جدول (۱-۸)

۲ ۱ ۸ حل مسئله با تابع هدف THD

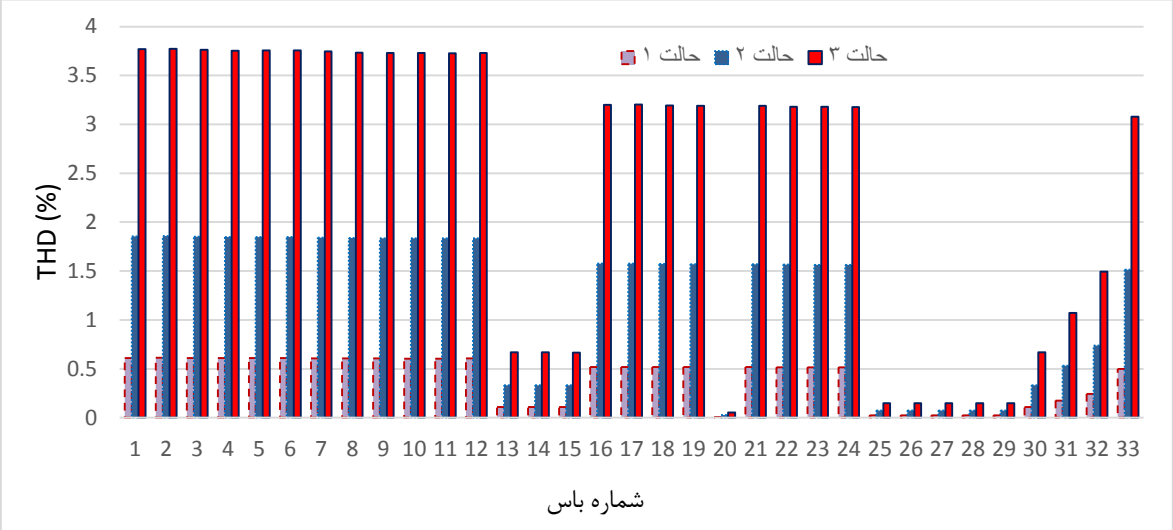
در این بخش تابع هدف مسئله حداقل سازی THD شبکه می باشد. نتایج حل مسئله در جدول (۲-۸) ارائه شده است. همچون حالت قبل که تغییرات ولتاژ به عنوان تابع هدف درنظر گرفته شد و الگوریتم مکان ایستگاههای شارژ را ابتدای خطوط پیشنهاد می‌داد، در این قسمت هم مکان‌ایستگاههای شارژ بیشتر در ابتدای خطوط شبکه می‌باشد. در واقع اگر ایستگاههای شارژ در انتهای خطوط نصب شوند، هارمونیکی که توسط آنها به شبکه وارد می شود باعث هارمونیکی شدن جریان در بقیه خط و ایجاد هارمونیک در ولتاژ سایر باس‌های شبکه می‌شود، با هارمونیکی شدن ولتاژ باس‌های شبکه جریان آنها هم هارمونیکی می‌شود و به این شکل میزان THD شبکه افزایش می‌یابد.

در جدول (۲-۸)، نتایج بهینه سازی برای سه حالت در نظر گرفته شده است. در حالت اول حداقل تعداد شارژر در هر ایستگاه ۱ عدد، در حالت دوم ۳ عدد و در حالت سوم ۳عدد در نظر گرفته شده است.

جدول(۲-۸). نتایج اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه ۳۳ باس با هدف کمترین THD

حالت	محل اتصال ایستگاههای شارژ	ظرفیت ایستگاهها (kW)	میانگین THD شبکه(%)	کمترین ولتاژ شبکه(kV)
۱	باس ۱، ۱۱ و ۱۹	۹۶و ۹۶و ۹۶	۰۳۹	۱۱,۵۶
۲	باس ۱، ۱۱ و ۱۹	۲۸۸و ۲۸۸و ۲۸۸	۱,۱۸	۱۱,۴۸
۳	باس ۱، ۱۱ و ۱۹	۵۷۶و ۵۷۶ ۵۷۶	۲,۴	۱۱,۳۶

در شکل (۳-۸) میزان THD باس‌های شبکه برای سه حالت بررسی شده در جدول (۲-۸) نشان داده شده است. مطابق باشکل واضح است که با افزایش سطح شارژ ایستگاهها میزان THD در کل شبکه زیاد می‌شود.



شکل(۳-۸). THDدر باس های شبکه برای سه سطح شارژ مختلف در جدول (۲-۸)

۳ ۱ ۸ حل مسئله با توابع هدف تغییرات ولتاژ و THD بصورت همزمان

در جدول (۳-۸)، نتایج بهینه سازی مسئله با درنظر گرفتن توابع هدف تغییرات ولتاژ و THD بصورت همزمان ارائه شده است. جواب بدست آمده در این قسمت هم مشابه با بهترین جواب در دو بخش قبلی می‌باشد. علت یکی شدن جواب‌ها در هر سه قسمت، رفتار مشابه توابع هدف تغییرات ولتاژ و THDمی باشد. به عبارتی با بهینه کردن یکی از این دو تابع هدف، تابع دیگر هم بهینه شده و جواب‌های بدست آمده یکسان خواهد بود.

جدول(۳-۸). نتایج اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه ۳۳ باس با اهداف کمترین THD و کمترین تغییرات ولتاژ

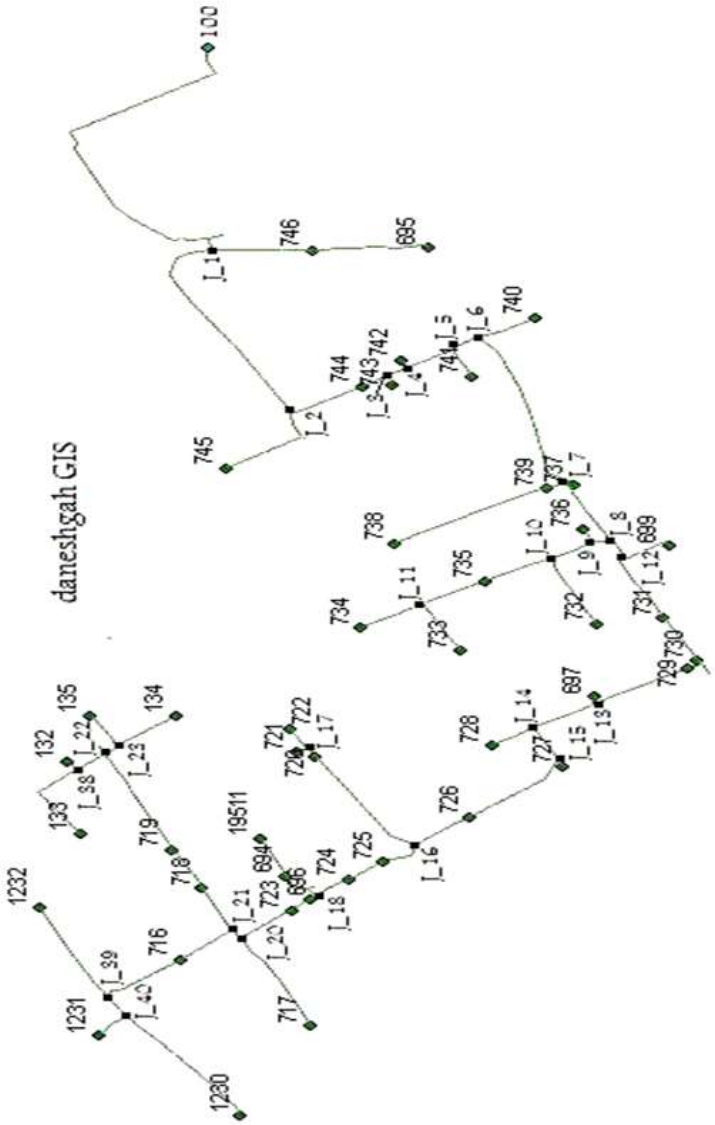
کمترین ولتاژ شبکه(kV)	میانگین THD شبکه(%)	ظرفیت ایستگاهها (kW)	محل اتصال ایستگاههای شارژ	حالت
۱۱,۳۶	۲,۴	۵۷۶و ۵۷۶ ۵۷۶	باس ۱، ۱۱ و ۱۹	۱

شبکه IEEE بررسی شده در این قسمت، یک شبکه شعاعی با تغذیه از یک سو می‌باشد. در شبکه‌های شعاعی با تغذیه از یک سو، هر چقدر بار به محل تغذیه نزدیکتر باشد، افت ولتاژ کمتر و THD کمتری در شبکه ایجاد می‌کند، از اینرو در شبیه سازی‌های صورت گرفته، مکان‌یابی ستگاههای شارژ در ابتدای خطوط قرار گرفت. اما باید توجه کرد که در حال حاضر شبکه‌های توزیع بواسطه تغذیه شدن از چند نقطه (از طریق شبکه بالا ست و یا تولیدات پراکنده) پیچیده تر هستند و نمی توان گفت که بهترین مکان برای نصب یابی ستگاههای شارژ ابتدا خطوط و فیدرها است. در این شبکه‌ها اهمیت استفاده از الگوریتم ارائه شده در این گزارش بیشتر مشخص می‌شود.

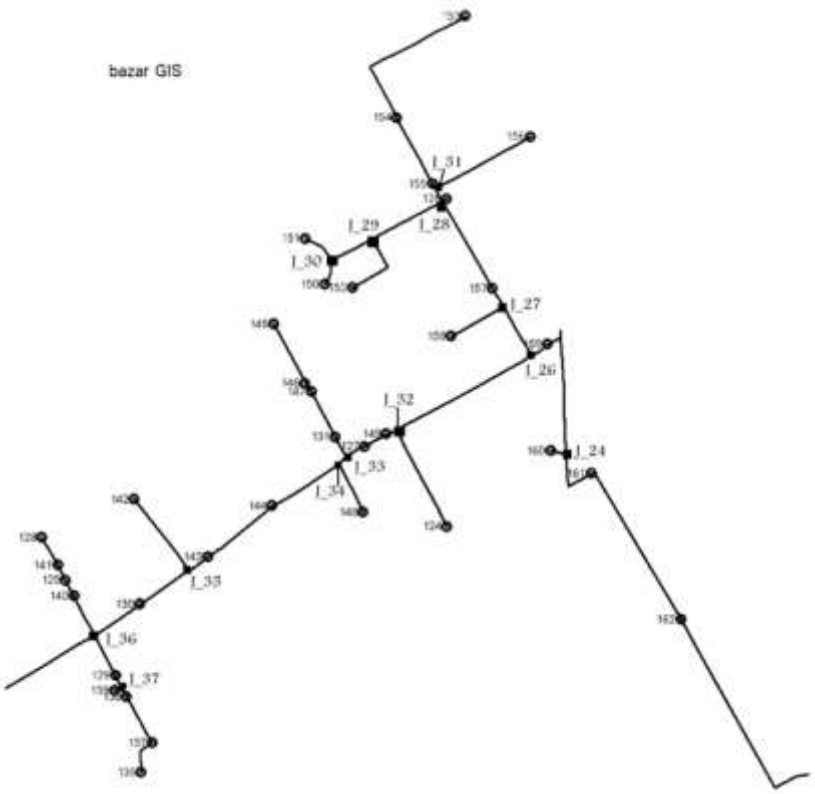
۲ ۸ شبکه توزیع واقعی

در این قسمت به‌منظور پیاده سازی الگوریتم برروی یک شبکه توزیع واقعی، از شبکه توزیع کرمان استفاده می‌کنیم. در این راستا، دو فیدر شبکه توزیع کرمان به نام فیدر دانشگاه (۴-۸) و فیدر بازار (۵-۸) را در نظر می‌گیریم که اطلاعات آنها در پیوست آمده است.

DOI:



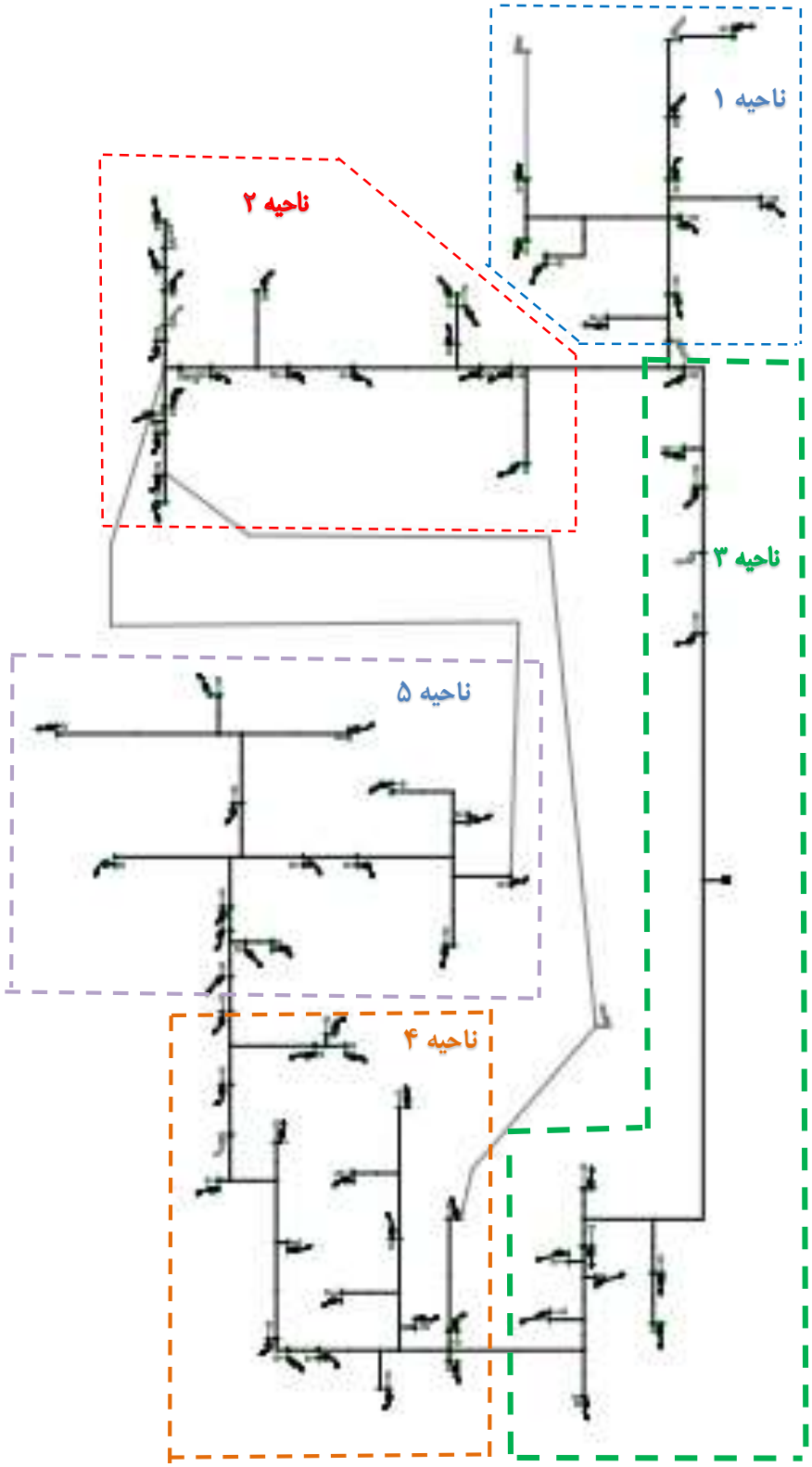
شکل (۴-۸) شبکه20KV دانشگاه



شکل (۵-۸): شبکه20KV بازار

به منظور پیاده سازی الگوریتم، شبکه توزیع را مطابق با شکل (۶-۸) به پنج ناحیه تقسیم می‌کنیم و به جایابی ایستگاههای شارژ در نواحی فوق با هدف بهبود کیفیت توان شبکه می‌پردازیم.

DOI:



شکل (۶-۸). ناحیه بندی شبکه توزیع برای جایابی ایستگاههای شارژ

DOI:

در ادامه نتایج شبیه‌سازی برروی شبکه برای سه سناریو زیر ارائه می‌شود:

- سناریو اول: حل مسئله بصورت تک هدفه با در نظرگیری تغییرات ولتاژ به عنوان تابع هدف،
- سناریو دوم: حل مسئله بصورت تک هدفه با در نظرگیری THD به عنوان تابع هدف،
- سناریو سوم: حل مسئله بصورت دو هدفه با در نظرگیری تغییرات ولتاژ و THD به عنوان توابع هدف بصورت همزمان.

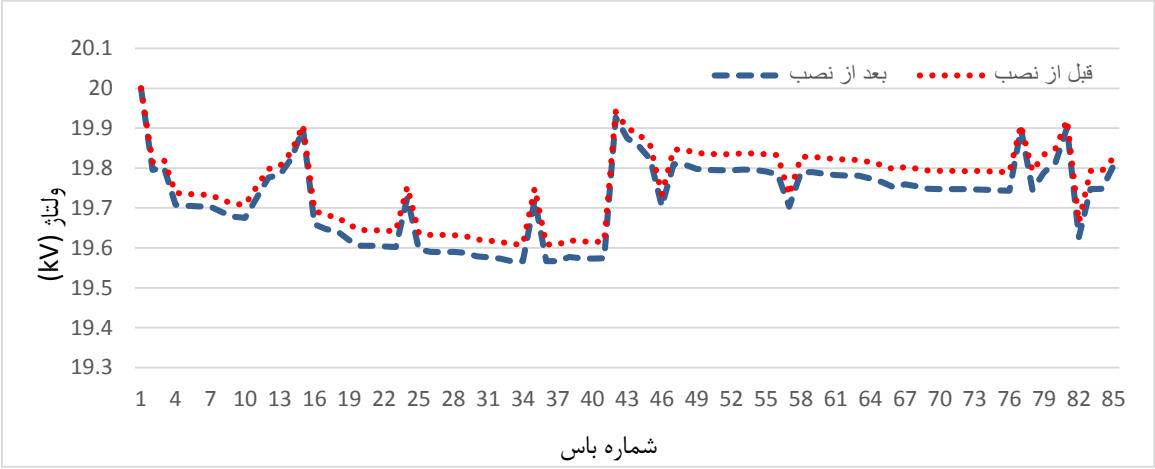
۸ ۲ ۱ حل مسئله با تابع هدف تغییرات ولتاژ

در جدول (۴-۸) با در نظرگرفتن تغییرات ولتاژ به‌عنوان تابع هدف م سئله، مکان بهینه ای ستگاههای شارژ، ظرفیت بهینه آنها، THD شبکه و کمترین ولتاژ در شبکه توزیع دوم ارائه شده است. همچنین، به‌منظور مقایسه وضعیت شبکه بعد از نصب ایستگاهها با قبل از نصب، THD شبکه و کمترین ولتاژ شبکه قبل از نصب ایستگاهها ارائه شده است.

جدول(۴-۸). نتایج اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه واقعی با هدف کمترین تغییرات ولتاژ

حالت	محل اتصال ایستگاههای شارژ	ظرفیت ایستگاهها (kW)	میانگین THD شبکه(%)	کمترین ولتاژ شبکه(kV)
قبل از نصب	–	–	۰,۲۲	۱۹,۶۱
بعد از نصب	باس ۱۵۳، ۱۳۸، ۱۶۰، ۷۳۷ و ۱۹۵۱۱	۳۸۴، ۳۸۴، ۳۸۴، ۲۸۸ و ۲۸۸	۰,۶۵	۱۹,۵۶

در شکل (۷-۸) پرفیل ولتاژ شبکه قبل از نصب ایستگاههای شارژ و بعد از نصب آنها نمایش داده شده است. واضح است که با نصب ایستگاههای شارژ، افت ولتاژ بیشتری در شبکه رخ می‌دهد، ولی جواب ارائه شده در جدول (۸-۴)، بهترین مکان برای نصب ایستگاهها از دید افت ولتاژ می‌باشد.



شکل(۷-۸). پروفیل ولتاژ شبکه قبل و بعد از نصب ایستگاه شارژ

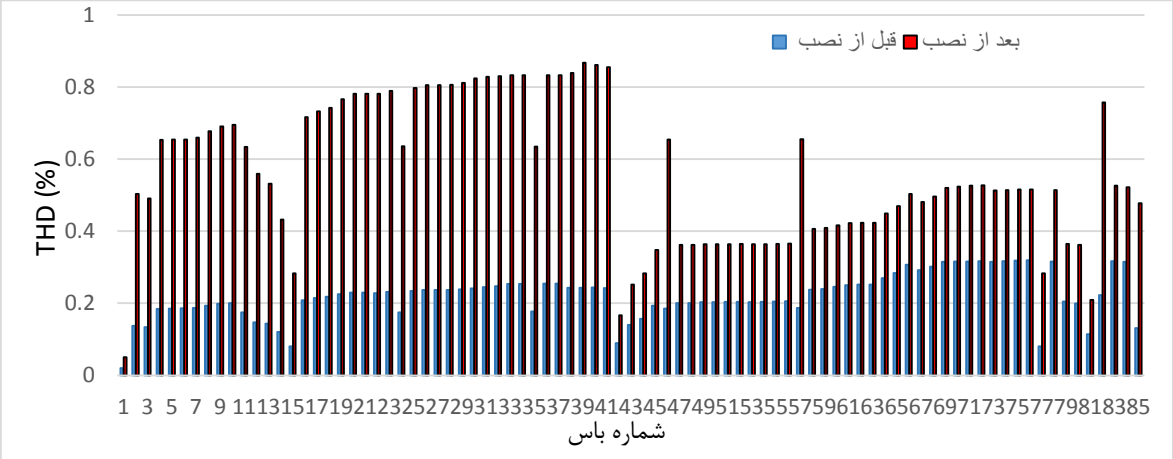
۸ ۲ ۲ حل مسئله با تابع هدف THD

در جدول (۵-۸) با در نظرگرفتن THD شبکه به‌عنوان تابع هدف مسئله، مکان بهینه ایستگاههای شارژ، ظرفیت بهینه آنها، THD شبکه و کمترین ولتاژ در شبکه توزیع دوم ارائه شده است. همچنین، به‌منظور مقایسه وضعیت شبکه بعد از نصب ایستگاهها با قبل از نصب، THD شبکه و کمترین ولتاژ شبکه قبل از نصب ایستگاهها نشان داده شده است.

جدول(۵-۸). نتایج اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه واقعی با هدف کمترین THD

حالت	محل اتصال ایستگاههای شارژ	ظرفیت ایستگاهها (kW)	میانگین THD شبکه(%)	کمترین ولتاژ شبکه(kV)
قبل از نصب	–	–	۰,۲۲	۱۹,۶۱
بعد از نصب	باس ۱۵۹، ۱۴۱، ۷۴۰، ۷۳۷ و ۱۲۳۱	۲۸۸، ۲۸۸، ۲۸۸، ۲۸۸ و ۲۸۸	۰,۶۲	۱۹,۵۶

در شکل (۸-۸) THD در باس های شبکه قبل از نصب ایستگاههای شارژ و بعد از نصب آنها نمایش داده شده است. واضح است که با نصب ایستگاههای شارژ باعث افزایش THD در باس‌های شبکه می‌شود، ولی جواب ارائه شده در جدول (۵-۸)، بهترین مکان برای نصب ایستگاهها از دید حداقل سازی THD می‌باشد.



شکل(۸-۸). THD باس‌های شبکه قبل و بعد از نصب ایستگاه شارژ

۸ ۲ ۳ حل مسئله با توابع هدف تغییرات ولتاژ و THD بصورت همزمان

در جدول (۶-۸)، نتایج بهینه سازی مسئله با درنظر گرفتن توابع هدف تغییرات ولتاژ و THD بصورت همزمان ارائه شده است.

جدول(۶-۸). نتایج اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه واقعی با هدف کمترین تغییرات ولتاژ و THD

حالت	محل اتصال ایستگاههای شارژ	ظرفیت ایستگاهها (kW)	میانگین THD شبکه(%)	کمترین ولتاژ شبکه(kV)
۱	باس ۱۵۹، ۱۴۱، ۷۴۰، ۷۳۷ و ۱۲۳۱	۲۸۸، ۲۸۸، ۲۸۸، ۲۸۸ و ۲۸۸	۰,۶۲	۱۹,۵۶

۹- فصل نهم : دستورالعمل اتصال ایستگاههای شارژ خودروی برقی به شبکه

در این فصل با استفاده از مطالب ارائه شده در بخش‌های قبل پروژه به تدوین دستورالعمل نهایی اتصال ایستگاههای شارژ خودروی برقی به شبکه با هدف بهبود کیفیت توان شبکه می‌پردازیم. بطور کلی مطالب ارائه شده در بخش‌های قبل را در قالب دو موضوع زیر می‌توان تقسیم‌بندی کرد:

- استخراج شاخص‌های کیفیت توان (شبکه و شارژر) و محدوده مجاز آنها در استانداردها،
- الگوریتم اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه با هدف بهبود کیفیت توان.

از اینرو، دستورالعمل ارائه شده در این فصل هم از دو بخش تشکیل شده است؛ در بخش اول اطلاعات مربوط به شبکه، شارژر و شاخص‌های کیفیت توان استخراج می‌شود و در بخش دوم با استفاده از اطلاعات فوق الگوریتم اتصال ایستگاههای شارژ تکمیل و نحوه اجرای آن تشریح می‌گردد.

۹ ۱ دستورالعمل استخراج اطلاعات شبکه، شارژر و شاخص های کیفیت توان

۹ ۱ ۱ اطلاعات مورد نیاز شبکه برای اعمال الگوریتم

اطلاعات مورد نیاز شبکه برای اعمال الگوریتم اتصال ایستگاههای شارژ خودروی برقی در جدول (۱-۹) آمده است:

جدول (1-9). اطلاعات مورد نیاز شبکه

اطلاعات شبکه	ای‌ن ستون توسط کاربر پر شود	استاندارد IEEE	استاندارد IEC	توضی‌حات
۱ سطح ولتاژ شبکه:		-	-	انتخاب شارژ با ولتاژ نامی شبکه
۲ باس های کاندی‌د شبکه برای اتصال ی‌ستگاههای شارژ:		-	-	با درنظرگرفتن محدودی‌ت های جغرافی‌ای‌ی و ... باس های کاندی‌د انتخاب می‌شوند.
۳ تغی‌ی‌رات ولتاژ در باس‌های کاندی‌د:		جدول (۲-۹)	– افزایش تا ۵ درصد – کاهش تا ۱۰ درصد	در صورتی که تغییرات ولتاژ بیشتر از حد مجاز باشد بایستی از راه حل های زید استفاده کرد: – از باس مورد نظر صرفنظر کرد و و یا ظرفیت ایستگاه شارژ را کاهش داد. – تجدید آرایش شبکه. – استفادهاز ذخیره ساز. – شارؤ در ساعات کم مصرف.
۴ هارمونی‌ک در باس‌های کاندی‌د:		– THD تا ۵ درصد – هارمونی‌ک های تکی تا ۳ درصد	جداول (۳-۹) و (۴-۹)	در صورتی که میزان هارمونیک بیشتر از حد مجاز باشد بایستی از باس مورد نظر صرفنظر کرد و یا ظرفیت ایستگاه شارژ را کاهش داد. – با فیلیتر گذاری میزان هارمونیک ها را کاهش داد.
۵ عدم تعادل ولتاژ در باس‌های کاندی‌د:		۲درصد	جدول (۵-۹)	بایستی اتصال ایستگاههای شارژ به فازها بصورتی انجام شود که میزان عدم تعادل از مقدار مجاز بیشتر نشود.
۶ نوسانات ولتاژ (فلی‌کر) در شی‌نه‌های کاندی‌د:		شاخص کوتاه مدت برابر با ۱	جدول (۶-۹)	در صورت وجود دستگاههای حساس در ایستگاه شارژ بایستی باس هایی که در آنها فلیکر از حد مجاز بیشتر است را از مجموعه باس های کاندید حذف کرد.
۷ تغی‌ی‌رات فرکانس در شی‌نه‌های کاندی‌د:		$\pm$۰،۰۱۵ هرتز	$\pm$۰،۵ هرتز	در صورت بالا بودن ظرفیت ایستگاه شارژ و تاثیر برروی فرکانس شبکه بایستی ظرفیت آن را کاهش داد.

جدول (۲-۹). حدود مجاز تغییرات ولتاژ در استاندارد IEEE std 1250

نوع تغییرات ولتاژ	حدود مجاز تغییرات
تغییرات بلند مدت (شرایط عادی)	- $\pm$۵٪ برای ولتاژهای کمتر از ۶۰۰ولت - +۵٪ تا -۲،۵٪ برای ولتاژهای کمتر از ۶۰۰ولت

تغییرات کوتاه مدت (شرایط غیر عادی)	- ۵,۸٪ + تا ۸,۳٪ -

جدول(۳-۹). حداکثر هارمونیک ولتاژ مجاز در شینه‌های با ولتاژهای مختلف به درصد نسبت به ولتاژ نامی با فرکانس ۵۰ هرتز

ولتاژ شینه	اعوجاج تکی ولتاژ		اعوجاج کل ولتاژ (THD)
	فرد	زوج	
۴۰۰ولت، ۲۰ و ۳۳ کیلوولت	۲	۱,۵	۳
۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت	۱,۵	۰,۷	۲,۵
۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت	۱	۰,۵	۱,۵

جدول (۴-۹). حدود مجاز مولفه‌های هارمونیکی جریان در شارژرهای سطح ۱ مطابق با استاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۳-۲

ماکزیمم جریان هارمونیکی مجاز A	مرتبه هارمونیک n
هارمونیک‌های فرد	
۲/۳۰	۳
۱/۱۴	۵
۰/۷۷	۷
۰/۴۰	۹
۰/۳۳	۱۱
۰/۲۱	۱۳
۰/۵۱×۱۵/n	$۱۵ \leq n \leq ۳۹$
هارمونیک‌های زوج	
۱/۰۸	۲
۰/۴۳	۴
۰/۳۰	۶
۰/۲۳× ۸/n	$۸ \leq n \leq ۴۰$

جدول (۵-۹). حدود مجاز درصد عدم تعادل ولتاژ در استاندارد IEC

ولتاژ شبکه	۴۰۰ولت و ۲۰ و ۳۳ کیلوولت	۶۳، ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت
درصد عدم تعادل ولتاژ	۲	۱

جدول (۶-۹). حدود مجاز فلیکر در شبکه های مختلف

نوع شاخص	نوع شبکه		
	شبکه فشار ضعیف	شبکه فشار متوسط	شبکه فشار قوی و فوق فشار قوی
شاخص کوتاه مدت فلیکر Pst	۱	۰/۹	۰/۸
شاخص بلند مدت فلیکر Plt	۰/۸	۰/۷	۰/۶

در ارتباط با جدول(۱-۹)، توضیحات زیر را بایستی مدنظر قرار داد:

ردیف ۱- سطح ولتاژ شبکه: در پیاده‌سازی الگوریتم اتصال ایستگاههای شارژ بایستی سطح ولتاژ شبکه مشخص باشد. در واقع شارژرهای خودروی برقی برای سطوح ولتاژ متفاوت طراحی می‌شوند، لذا با دانستن سطح ولتاژ شبکه می‌توانیم شارژر مناسب و با ترانسفورماتورهای مناسب جهت اتصال شارژرها به شبکه را مشخص کنیم.

ردیف ۲- شینه‌های کاندید شبکه برای اتصال ایستگاههای شارژ: مطابق با جدول (۲-۹)، ایستگاههای شارژ در سطوح متفاوت بایستی در نقاط خاصی از شبکه نصب شوند. همچنین در انتخاب ایستگاههای شارژ سطح ۲و۳ بایستی به سایر مسائل و محدودیت‌های محیطی و جغرافیای مثل ترافیک و ... توجه کرد. لذا در این ردیف جدول (۲-۹)، اپراتور مشخص می‌کند که چه شینه‌های از شبکه دارای پتانسیل نصب ایستگاههای شارژ هستند.

جدول (2-9): محل اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه

سطح شارژ	موقعی‌ت شارژر نسبت به خودرو	محل اتصال شارژر به شبکه
سطح ۱	سوار بر خودرو	مکان های خصوصی (منازل مسکونی، ادارات و ...)
سطح ۲	سوار بر خودرو و خارج از خودرو	مکان‌های عمومی و خصوصی (منازل، مراکز خری‌د و ...)
سطح ۳	خارج از خودرو	بزرگراهها و ایستگاههای شارژ در شهرها مانند پمپ بنزینها، مراکز فروش، رستوران‌ها و مراکز خری‌د بزرگ

ردیف ۳- تغییرات ولتاژ در شینه‌های کاندید: اگر افت ولتاژ شینه نسبت به ولتاژ نامی شبکه بیشتر از مقادیر ارائه شده توسط استانداردها باشد، بایستی شینه فوق را از میان شینه‌های کاندید جهت نصب ایستگاه شارژ حذف کرد.

ردیف ۴- هارمونیک در شینه‌های کاندید: با توجه به اینکه ایستگاههای شارژ در نقش بار هارمونیکی ظاهر می‌شوند، و در نتیجه THD را در شینه متصل به خود افزایش می‌دهند، نباید به شینه از شبکه متصل شوند که در شرایط عادی دارای میزان هارمونیک بیشتر از حد مجاز استانداردها است.

ردیف ۵- عدم تعادل ولتاژ در شینه‌های کاندید: دانستن میزان عدم تعادل ولتاژ در شینه‌ها به اپراتور کمک می‌کند تا در اتصال ایستگاههای شارژ و همچنین بهره‌برداری، به کاهش عدم تعادل ولتاژ کمک کند.

ردیف ۶- نوسانات ولتاژ (فلیکر) در شینه‌های کاندید: اثر نوسانات ولتاژ را می توان در کم و زیاد شدن و سوسوزدن نور لامپ‌ها و همچنین برش در تصاویر تلویزیونی و اثر روی سیستمهای ICU و CCU بیمارستانی ملاحظه کرد، لذا تاثیر چندانی برروی عملکرد شارژرها نخواهد داشت. و پر کردن این ردیف در جدول (۱-۹) برای سایر تجهیزات ایستگاه شارژ حائز اهمیت می‌باشد.

ردیف ۷- تغییرات فرکانس در شینه‌های کاندید: نوسان فرکانس شبکه در هر لحظه به تعادل بین توان مکانیکی ورودی به محرکه ژنراتورها و توان الکتریکی مصرفی بستگی دارد. لذا، دانستن تغییرات فرکانس شبکه به اپراتور کمک می‌کند که آیا حضور ایستگاه شارژ باعث کاهش یا افزایش تغییرات فرکانسی در شبکه می‌شود.

۲ ۱ ۹ اطلاعات مورد نیاز شارژر برای اعمال الگوریتم در جدول (۳ ۹) آمده است:

اطلاعات مورد نیاز شارژر برای اعمال الگوریتم اتصال ایستگاههای شارژ خودروی برقی در جدول (۳-۹) آمده است:

جدول (3-9) : اطلاعات مورد نیاز شارژر

اطلاعات شارژر		ای‌ن ستون توسط کاربر پر شود	استاندارد SAE
۱	سطح شارژ		-
۲	جری‌ان ورودی نامی شارژر:		-
۳	ولتاژ نامی شارژر:		–
۴	ضری‌ب توان شارژر:		٪۹۵
۵	جری‌ان هجومی شارژر:		– برای شارژرهای سطح ۱ و۲: ۱۲۰% در بیش از $100\mu s$ – برای شارژرهای سطح ۳: ۱۲۰% در بیش از $50\mu s$
۶	راندمان تبدی‌ل انرژی:		٪۹۰
۷	THD جری‌ان		٪۱۰
۸	هارمونی‌ک مرتبه ۲ (٪)		–
۹	هارمونی‌ک مرتبه ۳ (٪)		–
۱۰	هارمونی‌ک مرتبه ۴ (٪)		–
۱۱	هارمونی‌ک مرتبه ۵ (٪)		–
۱۲	هارمونی‌ک مرتبه ۶ (٪)		–

۱۳ هارمونی‌ک مرتبه ۷ (٪)		-
۱۴ هارمونی‌ک مرتبه ۸ (٪)		-
۱۵ هارمونی‌ک مرتبه ۹ (٪)		-
۱۶ هارمونی‌ک مرتبه ۱۰ (٪)		-
۱۷ هارمونی‌ک مرتبه ۱۱ (٪)		-
۱۸ هارمونی‌ک مرتبه ۱۲ (٪)		-
هارمونی‌ک مرتبه ۱۳ (٪)		-

در ارتباط با جدول(۳-۹)، توضیحات زیر را بایسنی مدنظر قرار داد:

ردیف ۱: سطح شارژ: با توجه به خ صو صیات متفاوت در سطوح مختلف شارژر، باید ستی نوع شارژر مورد ا ستفاده در الگوریتم مشخص باشد.

ردیف ۲و۳: جریان ورودی نامی و ولتاژ نامی شارژر: دان ستن جریان ورودی و ولتاژ نامی شارژر از این جهت مهم ا ست که می‌توان ظرفیت ترانسفورماتور مورد ا ستفاده جهت اتصال ایستگاه شارژ به شبکه را م شخص می‌کرد و همچنین از بروز مسائلی چون اضافه بار خطوط و ... در زمان بهره‌برداری از ایستگاه شارژ جلوگیری کرد.

ردیف ۴: ضریب توان شارژر: مطابق با ا ستاندارد SAE 1048 ضریب توان شارژرهای خودروی برقی نباید از ۹۵٪ کمتر باشد.

ردیف ۵: جریان هجومی شارژر: مطابق با استاندارد SAE 1048 جریان هجومی برای شارژرهای سطح ۱ و۲ در زمان حداکثر $100\mu s$ کمتر از ۱۲۰% مقدار جریان نامی، و در شـــارژرهای ســـطح ۳ در زمان حداکثر $50\mu s$ کمتر از ۱۲۰% مقدار جریان نامی شارژر باشد.

ردیف ۶: راندمان تبدیل انرژی: مطابق با اسـتاندارد SAE 1048 راندمان تبدیل انرژی در شـارژرهای خودروی برقی نباید از ۹۰٪ کمتر باشد.

ردیف ۷: THD جریان: مطابق با ا ستاندارد SAE 1048 میزان اعوجاجات هارمونیکی جریان در شارژرهای خودروی برقی نباید از ۱۰٪ بیشتر باشد.

ردیف ۸ تا ۱۸: طیف هارمونیکی شارژر: با توجه به اینکه در الگوریتم اتصال ایستگاههای شارژ، ایستگاهها به عنوان بارهای هارمونیکی در نرم افزار دیگسایلنت مدل می‌شوند، دانستن طیف هارمونیکی شارژرها ضروری است.

۳ ۱ ۹ دستورالعمل اجرای الگوریتم اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه

در دو بخش قبل اطلاعات مورد نیاز شبکه و شارژر جهت ورود به الگوریتم اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه معرفی شد. با استفاده از اطلاعات بدست آمده می‌توان الگوریتم را اجرا کرد.

همانطور که در فصل‌های قبل گفته شد الگوریتم اتصال ایستگاههای شارژ به شبکه از دو قسمت زیر تشکیل شده است:

الف) قسمت مربوط به الگوریتم بهینه سازی که در نرم افزار متلب مدلسازی شده است.

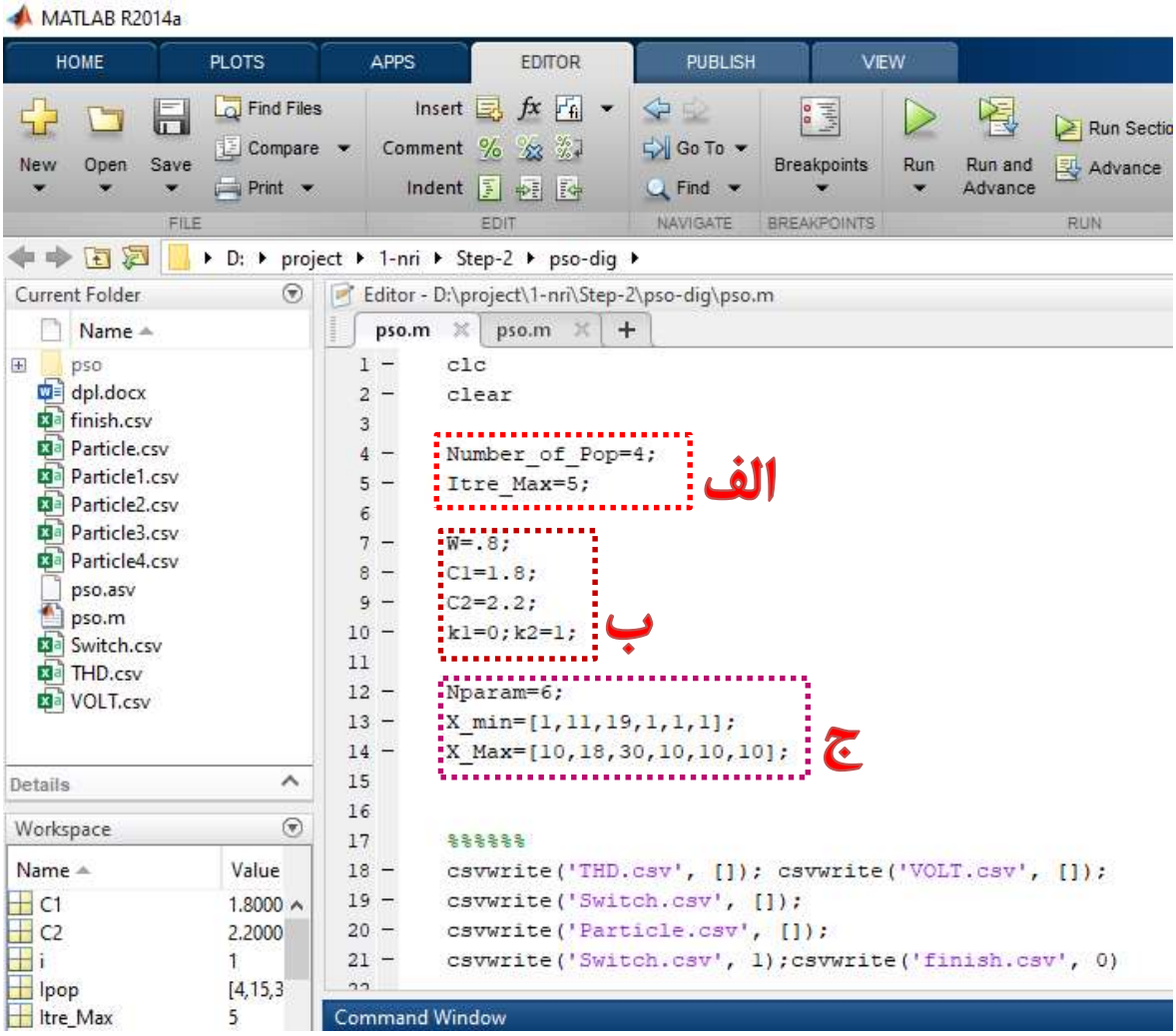
ب) قسمت مربوط به پیاده سازی شبکه توزیع برق که در نرم افزار دیگسایلنت انجام می‌پذیرد.

در شـــکل (۲-۳) فلوچارت مربوط به لینک نرم افزارهای متلب و دیگســـایلنت ارائه شـــد. اما برای راه اندازی هریک از بخش‌های الگوریتم بایستی مطابق با توضیحات زیر عمل کرد:

۱۹۱۳۱ راه اندازی نرم افزار متلب:

کدهای مربوط به نرم افزار متلب در پیوســت آمده اســت. با باز کردن فایل مربوطه صــفحه‌ای مطابق با شــکل زیر باز می‌شود:

قبل از اجرای برنامه فوق بایســتی اطلاعات مشــخص شــده در شــکل (۱-۹) را وارد کرد که توضــیحات مربوط به آنها بصورت زیر می‌باشد:



شکل(۱-۹). اطلاعات وورودی الگوریتم در نرم افزار متلب

در قسمت الف شکل (۱-۹) اطلاعات مربوط به تعداد جمعیت الگوریتم بهینه سازی (Number_of_Pop) و تعداد تکرارهای آن (Itre_Max) وارد می‌شوند. هرچقدر مقدار پارامترهای فوق بزرگتر باشد، زمان اجرای الگوریتم طولانیتر ولی دقت آن هم بیشتر می‌شود.

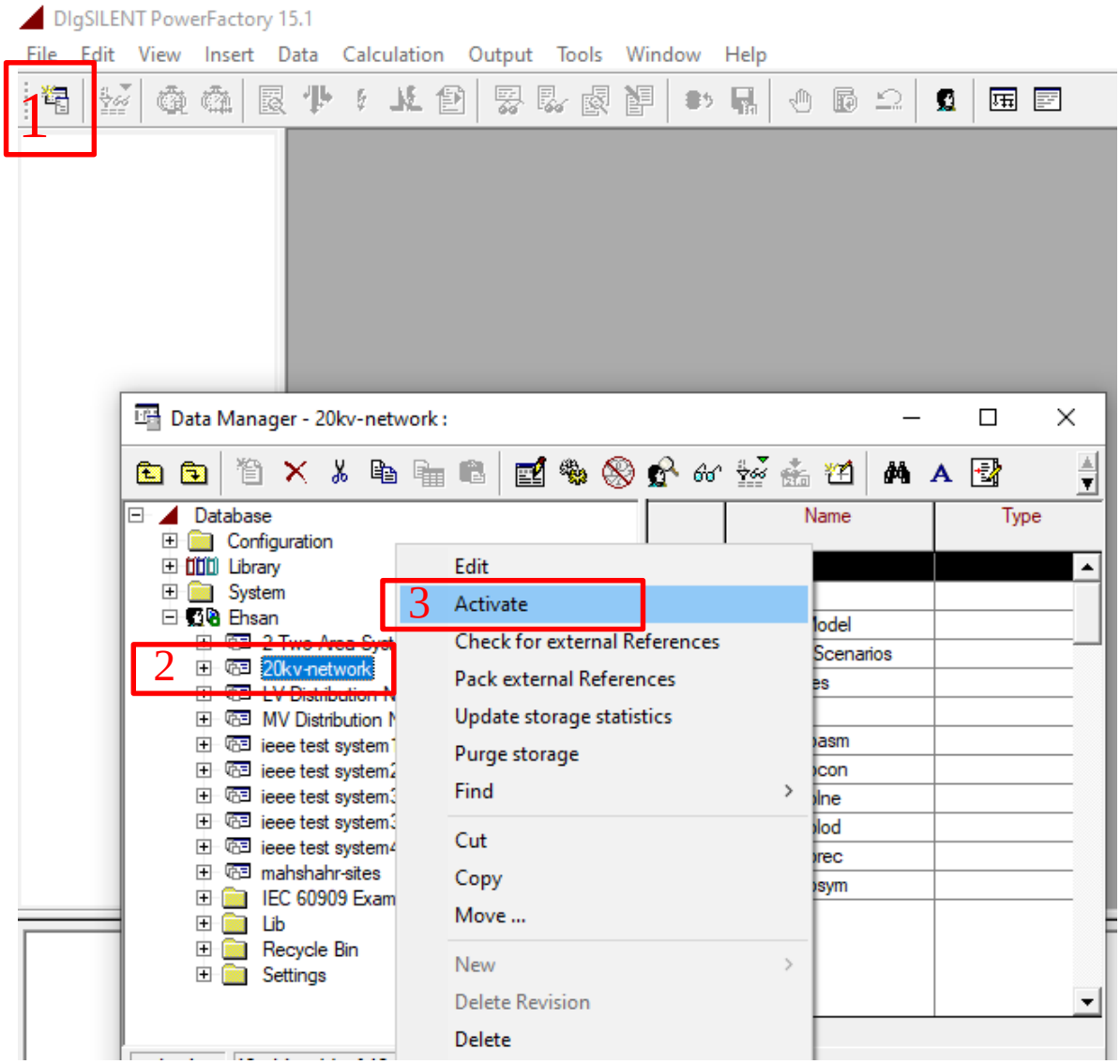
در قسمت ب شکل (۱-۹) اطلاعات مربوط به الگوریتم بهینه سازی وارد می‌شوند که نیاز به تغییر آنها نیست.

در قسمت ج شکل (۱-۹) اطلاعات مربوط به تعداد ایستگاههای شارژ (Nparam) و شینه‌های کاندید نصب ایستگاههای شارژ و حداقل و حداکثر ظرفیت هر ایستگاه وارد شده است. باید توجه داشت که در این قسمت تعداد ایستگاههایی که بایستی در شبکه نصب شوند برابر با نصف Nparam می‌باشد. همچنین X_min نشان دهنده کران پایین متغیرهای کنترلی و X_max کران بالای متغیرهای کنترلی می‌باشند. در رابطه متغیرهای کنترلی الگوریتم (شماره شینه و ظرفیت ایستگاههای شارژ) معرفی گردید.

با وارد کردن موارد فوق می‌توان الگوریتم بهینه سازی را در نرم افزار متلب اجراکرد.

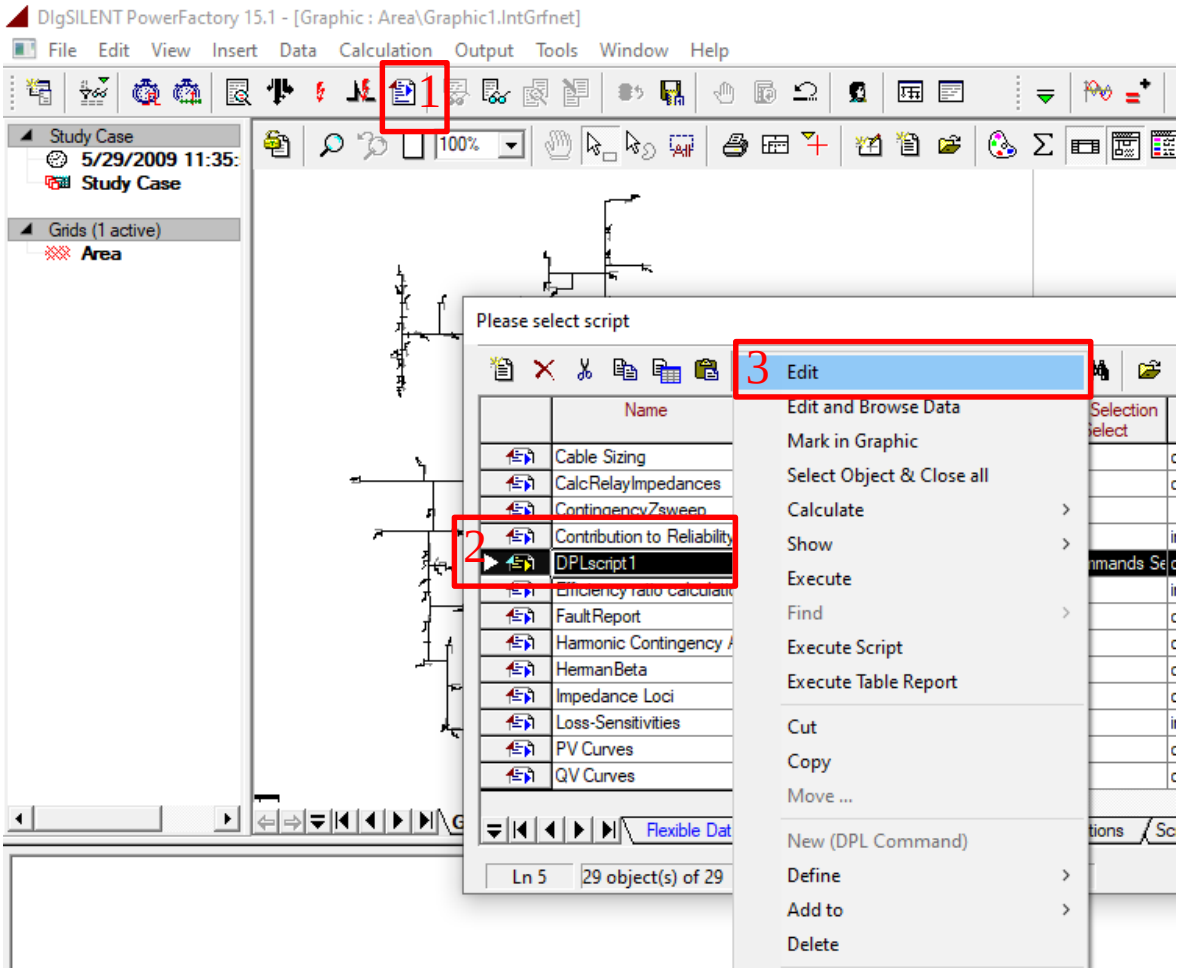
۹ ۱ ۳ ۱ راه اندازی نرم افزار دیگسایلنت:

برای راه اندازی بخش مربوط به نرم افزار دیگسایلنت، ابتدا مطابق با شکل (۲-۹) پروژه را فعال می‌کنیم.



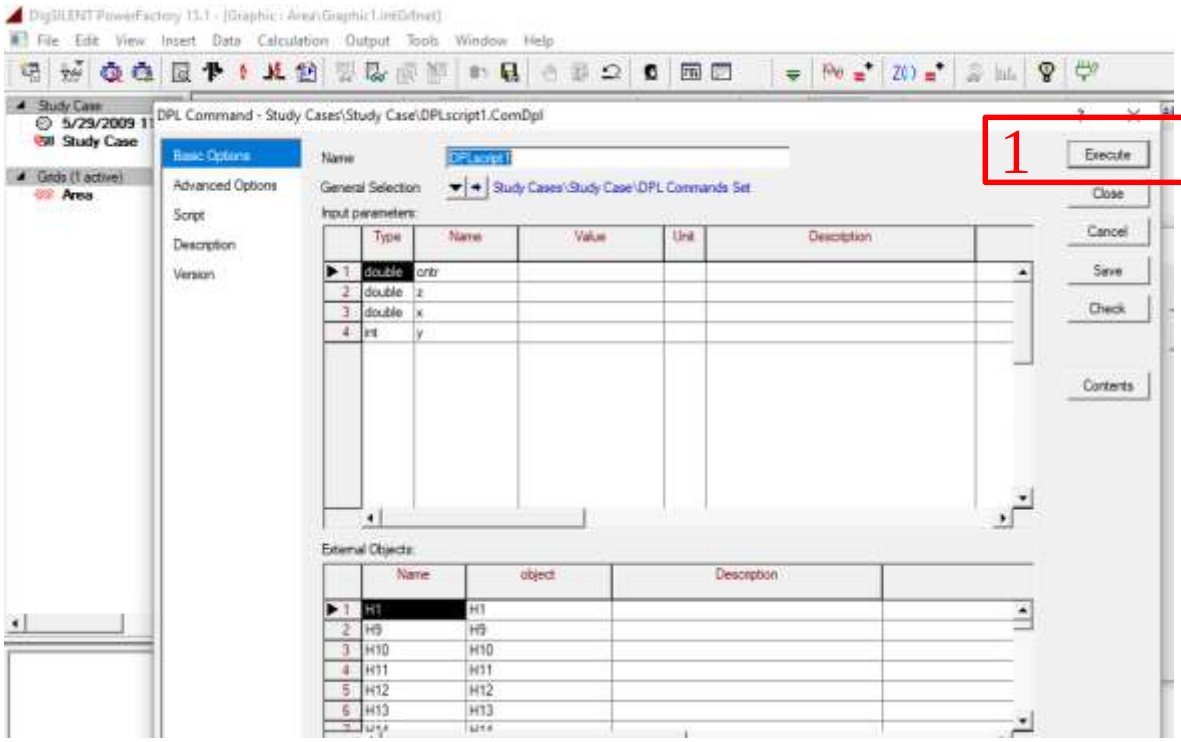
شکل(۲-۹). بخش اول راه اندازی الگوریتم در نرم افزار دیگسایلنت

پس از فعال سازی پروژه باید ستی به ق سمت مربوط به برنامه نوید سی نرم افزار شد و برنامه را به حالت اجرا درآورد. برای این منظور مطابق با مراحل ارائه شده در شکل (۳-۴) عمل می‌کنیم.



شکل(۴-۹). بخش دوم راه اندازی الگوریتم در نرم افزار دیگسایلنت

پس از انتخاب گزینه edit مطابق با شکل (۴-۹)، صفحه مربوط به برنامه پروژه در نرم افزار دیگسایلنت باز می شود که باز زدن گزینه execute مطابق با شکل زیر برنامه اجرا می شود.



شکل(۴-۹). بخش سوم راه اندازی الگوریتم در نرم افزار دیگسایلنت

۱۰- پیوست ها:

۱۰ ۱ پیوست ۱: کدهای متلب:

```
clc
clear

Itre_Max=10;
Number_of_Pop=10;

Nparam=10;
Number_of_load=76;

W=.8;
k1=0;k2=1;
C1=1.8;
C2=2.2;

X_min=[1,12,32,43,62,1,1,1,1,1];
X_Max=[11,31,42,61,76,10,10,10,10,10];
```

```
%%%%%%
csvwrite('THD.csv', []); csvwrite('VOLT.csv', []);
csvwrite('Switch.csv', []);
csvwrite('Particle.csv', []);
csvwrite('finish.csv', 0)

  %%%%%%
for i=1:Number_of_Pop  % tolid jamiat avalie besorat random
    Ipop(i,:)=round(rand(1, Nparam).*(X_Max-X_min)+X_min);
    X=Ipop(i,:);

    for tt=1:Number_of_load
        if tt==X(1)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(6)*.096;
        else
         if tt==X(2)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(7)*.096;
         else
     if tt==X(3)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(8)*.096;
       else
     if tt==X(4)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(9)*.096;
       else
     if tt==X(5)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(10)*.096;
     else
      particleee(tt)=1;
      particleee(tt+Number_of_load)=0;
     end
         end
        end
         end
        end
    end

    particle1=particleee(1:15)';                        %Take every
particle
    csvwrite('Particle1.csv', particle1); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle2=particleee(16:30)';                        %Take every
particle
    csvwrite('Particle2.csv', particle2); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle3=particleee(31:45)';                        %Take every
particle
    csvwrite('Particle3.csv', particle3); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle
```

```
    particle4=particleee(46:60)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle4.csv', particle4); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle5=particleee(61:76)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle5.csv', particle5); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle6=particleee(77:91)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle6.csv', particle6); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle7=particleee(92:106)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle7.csv', particle7); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle8=particleee(107:123)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle8.csv', particle8); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle9=particleee(124:138)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle9.csv', particle9); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle10=particleee(139:152)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle10.csv', particle10); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle


    load Particle1.csv;
    load Particle2.csv;
    load Particle3.csv;
    load Particle4.csv;
    load Particle5.csv;
    load Particle6.csv;
    load Particle7.csv;
    load Particle8.csv;
    load Particle9.csv;
    load Particle10.csv;


 %%%%%% Starting DIGSILENT...

 swc=1;
swit=fopen('switch.txt','w');
fprintf(swit,'%f',swc);
fclose(swit);
```

```
          while swc==1 %The loop which makes Matlab to wait DigSILENT to
compute
                for o=1:400 %The loop for delaying the switch scan
                    %Optimal_Solution=[best_Fobj_ever best_particle_ever]
                end

                swit=fopen('switch.txt','r');
                swc=fscanf(swit,'%f',[1,1]);
                fclose(swit);


                if swc==0 %The condition of breaking out from while loop
                   break
                end
          end

     thdo=load('THD.csv');           %Read the THD from THD.csv file
     volto=load('VOLT.csv');          %Read the Voltages from VOLT.csv
file

     objective(i)=thdo+volto;  %Compute th eObjective Function
 %%%%%%

end
Ipop_Cost=[Ipop,objective'];
Ipop_Sort=sortrows(Ipop_Cost,Nparam+1);
P_Best=Ipop;
P_best_Value=objective';
Gbest=Ipop_Sort(1,[1:Nparam]);
G_best_value(1)=Ipop_Sort(1,Nparam+1);
Veleocity=zeros(Number_of_Pop,Nparam);%rand(Number_of_Pop,Nparam);
for Itre=1:Itre_Max
     for i=1:Number_of_Pop
           Veleocity(i,:)=W*Veleocity(i,:)+C1*rand(1,1)*(P_Best(i,:)-
Ipop(i,:))+rand(1,1)*C2*(Gbest-Ipop(i,:));


              Ipop_New(i,:)=round(Ipop(i,:)+Veleocity(i,:));
            for j=1:Nparam
               if Ipop_New(i,j)>X_Max(1,j)
                 Ipop_New(i,j)=X_Max(1,j);
                end
                if Ipop_New(i,j)<X_min(1,j)
                  Ipop_New(i,j)=X_min(1,j);
                end
                X=Ipop_New(i,:);
  %%%
    for tt=1:Number_of_load
        if tt==X(1)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(6)*.096;
        else
         if tt==X(2)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(7)*.096;
```

```
        else
     if tt==X(3)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(8)*.096;
       else
     if tt==X(4)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(9)*.096;
       else
     if tt==X(5)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(10)*.096;
     else
      particleee(tt)=1;
      particleee(tt+Number_of_load)=0;
     end
         end
        end
         end
        end
    end

    particle1=particleee(1:15)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle1.csv', particle1); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle2=particleee(16:30)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle2.csv', particle2); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle3=particleee(31:45)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle3.csv', particle3); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle4=particleee(46:60)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle4.csv', particle4); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle5=particleee(61:76)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle5.csv', particle5); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle6=particleee(77:91)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle6.csv', particle6); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle7=particleee(92:106)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle7.csv', particle7); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle
```

```
    particle8=particleee(107:123)';                         %Take every
particle
    csvwrite('Particle8.csv', particle8); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle9=particleee(124:138)';                         %Take every
particle
    csvwrite('Particle9.csv', particle9); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle10=particleee(139:152)';                         %Take every
particle
    csvwrite('Particle10.csv', particle10); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    load Particle1.csv;
    load Particle2.csv;
    load Particle3.csv;
    load Particle4.csv;
    load Particle5.csv;
    load Particle6.csv;
    load Particle7.csv;
    load Particle8.csv;
    load Particle9.csv;
    load Particle10.csv;

 %%%%%% Starting DIGSILENT...

 swc=1;
swit=fopen('switch.txt','w');
fprintf(swit,'%f',swc);
fclose(swit);

           while swc==1 %The loop which makes Matlab to wait DigSILENT to
compute
                for o=1:400 %The loop for delaying the switch scan
                    %Optimal_Solution=[best_Fobj_ever best_particle_ever]
                end

                swit=fopen('switch.txt','r');
                swc=fscanf(swit,'%f',[1,1]);
                fclose(swit);


                if swc==0 %The condition of breaking out from while loop
                   break
                end
          end


     load THD.csv;           %Read the THD from THD.csv file
     load VOLT.csv;          %Read the Voltages from VOLT.csv file

     Objective_fun=THD+VOLT;  %Compute th eObjective Function
```

```
%%%%%%%%%%%

                Cost1(i,1)=Objective_fun;
                if P_best_Value(i,1)> Cost1(i,1)
                   P_Best(i,:)= Ipop_New(i,:);
                  P_best_Value(i,1)= Cost1(i,1);
               end

         end
    end
IPop_New1=[Ipop_New,Cost1];
Ipop_new_Sort=sortrows(IPop_New1,Nparam+1);
Ipop=Ipop_New;
if G_best_value(Itre)>Ipop_new_Sort(1,Nparam+1)
    G_best_value(Itre+1)=Ipop_new_Sort(1,Nparam+1);
    Gbest=Ipop_new_Sort(1,[1:Nparam]);
else   G_best_value(Itre+1)= G_best_value(Itre);
end

   k=Itre-k1;
   if k==20
       beh(k2,:)=Gbest;
       X=Gbest;
      beh_v(k2)=Objective_fun;
       k2=k2+1;
       k1=Itre;
    for i=1:Number_of_Pop
    Ipop(i,:)=round(rand(1, Nparam).*(X_Max-X_min)+X_min);
    X=Ipop(i,:);
  %%%
        for tt=1:Number_of_load
        if tt==X(1)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(6)*.096;
        else
         if tt==X(2)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(7)*.096;
         else
     if tt==X(3)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(8)*.096;
       else
     if tt==X(4)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(9)*.096;
       else
     if tt==X(5)
      particleee(tt)=0;
      particleee(tt+Number_of_load)=X(10)*.096;
     else
      particleee(tt)=1;
      particleee(tt+Number_of_load)=0;
     end
         end
        end
```

```
        end
      end
    end

    particle1=particleee(1:15)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle1.csv', particle1); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle2=particleee(16:30)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle2.csv', particle2); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle3=particleee(31:45)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle3.csv', particle3); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle4=particleee(46:60)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle4.csv', particle4); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle5=particleee(61:76)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle5.csv', particle5); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle6=particleee(77:91)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle6.csv', particle6); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle7=particleee(92:106)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle7.csv', particle7); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle8=particleee(107:123)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle8.csv', particle8); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle9=particleee(124:138)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle9.csv', particle9); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle

    particle10=particleee(139:152)';                          %Take every
particle
    csvwrite('Particle10.csv', particle10); %Write Particle.csv file with
the 'i-th' particle
```

```
    load Particle1.csv;
    load Particle2.csv;
    load Particle3.csv;
    load Particle4.csv;
    load Particle5.csv;
    load Particle6.csv;
    load Particle7.csv;
    load Particle8.csv;
    load Particle9.csv;
    load Particle10.csv;

 %%%%%% Starting DIGSILENT...

 swc=1;
swit=fopen('switch.txt','w');
fprintf(swit,'%f',swc);
fclose(swit);

          while swc==1 %The loop which makes Matlab to wait DigSILENT to
compute
                for o=1:400 %The loop for delaying the switch scan
                    %Optimal_Solution=[best_Fobj_ever best_particle_ever]
                end

                swit=fopen('switch.txt','r');
                swc=fscanf(swit,'%f',[1,1]);
                fclose(swit);


                if swc==0 %The condition of breaking out from while loop
                   break
                end
          end


     load THD.csv;           %Read the THD from THD.csv file
     load VOLT.csv;          %Read the Voltages from VOLT.csv file

     Objective_fun=THD+VOLT;  %Compute th eObjective Function

%%%%%%%%%%%


Cost(i,1)=Objective_fun;
end
Ipop_Cost=[Ipop,Cost];
Ipop_Sort=sortrows(Ipop_Cost,Nparam+1);
P_Best=Ipop;
P_best_Value=Cost;

Gbest=Ipop_Sort(1,[1:Nparam]);
G_best_value(k2+1)=Ipop_Sort(1,Nparam+1);
Veleocity=zeros(Number_of_Pop,Nparam);
   end
```

```
end
 csvwrite('finish.csv', 1);

 i=1:1:Itre_Max+1;
 plot(i,G_best_value,'--o');
 hold on
```

۱۰ ۲ پیوست ۲: کدهای دیگسایلنت:

```
set s;
object o ;
double maxd, thd, tthd,j, p, volt, no,
h1,h2,h3,h4,h5,h6,h7,h8,h9,h10,h11,h12,h13,h14,h15,h16,h17,h18,h19,h20,h2
1,h22,h23,h24,h25,h26,h27,h28,h29,h30,h31,h32,h33,h34,h35,h36,h37,h38,h39
,h40,h41,h42,h43,h44,h45,h46,h47,h48,h49,h50,h51,h52,h53,h54,h55,h56,h57,
h58,h59,h60,h61,h62,h63,h64,h65,h66,h67,h68,h69,h70,h71,h72,h73,h74,h75,h
76,p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8,p9,p10,p11,p12,p13,p14,p15,p16,p17,p18,p19,p20
,p21,p22,p23,p24,p25,p26,p27,p28,p29,p30,p31,p32,p33,p34,p35,p36,p37,p38,
p39,p40,p41,p42,p43,p44,p45,p46,p47,p48,p49,p50,p51,p52,p53,p54,p55,p56,p
57,p58,p59,p60,p61,p62,p63,p64,p65,p66,p67,p68,p69,p70,p71,p72,p73,p74,p7
5,p76;
 tthd=0;
 no=1;
 y=1;




fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Switch.txt','r',1)  ;
fscanf(1,'%f\t', x) ;
fclose;(\)

while (x<2){



y=1 ;
while (x=0) { ! DigSILENT waits for Matlab to write
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!Condition of terminating the script if Matlab give an error
if (y=1) {
   cntr=cntr+1;
   if (cntr>=40000){
   output('msg=DPL script stopped by the user');
   output('msg=or due to Matlab algorithm error');
      exit(); !Terminate DPL script
                  }
         }
!!!END Condition of terminating the script if Matlab give an error
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

```
fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Switch.txt','r',7)  ;
fscanf(7,'%f\t', x) ;
fclose  ;(۷)

if (x=1){
break ;
}
}


if (x=1){

!Write your DigSILENT program code here

fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Particle1.csv','r',2)  ;
fscanf(2,'%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t %f\t',h1,h2,h3,h4,h5,h6,h7,h8,h9,h10,h11,h12,h13,h14,h15);
fclose;(۲)

fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Particle2.csv','r',3)  ;
fscanf(3,'%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t
%f\t',h16,h17,h18,h19,h20,h21,h22,h23,h24,h25,h26,h27,h28,h29,h30);
fclose  ;(۳)

fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Particle3.csv','r',4)  ;
fscanf(4,'%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t
%f\t',h31,h32,h33,h34,h35,h36,h37,h38,h39,h40,h41,h42,h43,h44,h45);
fclose;(٤)

fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Particle4.csv','r',5)  ;
fscanf(5,'%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t
%f\t',h46,h47,h48,h49,h50,h51,h52,h53,h54,h55,h56,h57,h58,h59,h60);
fclose;(٥)

fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Particle5.csv','r',6)  ;
fscanf(6,'%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t %f\t
%f\t',h61,h62,h63,h64,h65,h66,h67,h68,h69,h70,h71,h72,h73,h74,h75,h76);
fclose;(٦)

fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Particle6.csv','r',7) ;
fscanf(7,'%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t %f\t',p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8,p9,p10,p11,p12,p13,p14,p15) ;
fclose   ;(۷)

fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Particle7.csv','r',8) ;
fscanf(8,'%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t
%f\t',p16,p17,p18,p19,p20,p21,p22,p23,p24,p25,p26,p27,p28,p29,p30) ;
fclose ;(۸)

fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Particle8.csv','r',9)  ;
```

```
fscanf(9,'%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t
%f\t',p31,p32,p33,p34,p35,p36,p37,p38,p39,p40,p41,p42,p43,p44,p45);
fclose;(۹)

fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Particle9.csv','r',10)  ;
fscanf(10,'%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t
%f\t',p46,p47,p48,p49,p50,p51,p52,p53,p54,p55,p56,p57,p58,p59,p60);
fclose;(۱۰)

fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Particle10.csv','r',11)  ;
fscanf(11,'%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t %f\t
%f\t',p61,p62,p63,p64,p65,p66,p67,p68,p69,p70,p71,p72,p73,p74,p75,p76);
fclose   ;(۱۱)



H1:outserv=h1;
H1:plini=p1;
H2:outserv=h2;
H2:plini=p2;
H3:outserv=h3;
H3:plini=p3;
H4:outserv=h4;
H4:plini=p4;
H5:outserv=h5;
H5:plini=p5;
H6:outserv=h6;
H6:plini=p6;
H7:outserv=h7;
H7:plini=p7;
H8:outserv=h8;
H8:plini=p8;
H9:outserv=h9;
H9:plini=p9;
H10:outserv=h10;
H10:plini=p10;
H11:outserv=h11;
H11:plini=p11;
H12:outserv=h12;
H12:plini=p12;
H13:outserv=h13;
H13:plini=p13;
H14:outserv=h14;
H14:plini=p14;
H15:outserv=h15;
H15:plini=p15;
H16:outserv=h16;
H16:plini=p16;
H17:outserv=h17;
H17:plini=p17;
H18:outserv=h18;
H18:plini=p18;
H19:outserv=h19;
H19:plini=p19;
H20:outserv=h20;
```

```
H20:plini=p20;
H21:outserv=h21;
H21:plini=p21;
H22:outserv=h22;
H22:plini=p22;
H23:outserv=h23;
H23:plini=p23;
H24:outserv=h24;
H24:plini=p24;
H25:outserv=h25;
H25:plini=p25;
H26:outserv=h26;
H26:plini=p26;
H27:outserv=h27;
H27:plini=p27;
H28:outserv=h28;
H28:plini=p28;
H29:outserv=h29;
H29:plini=p29;
H30:outserv=h30;
H30:plini=p30;
H31:outserv=h31;
H31:plini=p31;
H32:outserv=h32;
H22:plini=p32;
H33:outserv=h33;
H33:plini=p33;
H34:outserv=h34;
H34:plini=p34;
H35:outserv=h35;
H35:plini=p35;
H36:outserv=h36;
H36:plini=p36;
H37:outserv=h37;
H37:plini=p37;
H38:outserv=h38;
H38:plini=p38;
H39:outserv=h39;
H39:plini=p39;
H40:outserv=h40;
H40:plini=p40;
H41:outserv=h41;
H41:plini=p41;
H42:outserv=h42;
H42:plini=p42;
H43:outserv=h43;
H43:plini=p43;
H44:outserv=h44;
H44:plini=p44;
H45:outserv=h45;
H45:plini=p45;
H46:outserv=h46;
H46:plini=p46;
H47:outserv=h47;
H47:plini=p47;
H48:outserv=h48;
H48:plini=p48;
H49:outserv=h49;
```

```
H49:plini=p49;
H50:outserv=h50;
H50:plini=p50;
H51:outserv=h51;
H51:plini=p51;
H52:outserv=h52;
H52:plini=p52;
H53:outserv=h53;
H53:plini=p53;
H54:outserv=h54;
H54:plini=p54;
H55:outserv=h55;
H55:plini=p55;
H56:outserv=h56;
H56:plini=p56;
H57:outserv=h57;
H57:plini=p57;
H58:outserv=h58;
H58:plini=p58;
H59:outserv=h59;
H59:plini=p59;
H60:outserv=h60;
H60:plini=p60;
H61:outserv=h61;
H61:plini=p61;
H62:outserv=h62;
H62:plini=p62;
H63:outserv=h63;
H63:plini=p63;
H64:outserv=h64;
H64:plini=p64;
H65:outserv=h65;
H65:plini=p65;
H66:outserv=h66;
H66:plini=p66;
H67:outserv=h67;
H67:plini=p67;
H68:outserv=h68;
H68:plini=p68;
H69:outserv=h69;
H69:plini=p69;
H70:outserv=h70;
H70:plini=p70;
H71:outserv=h71;
H71:plini=p71;
H72:outserv=h72;
H72:plini=p72;
H73:outserv=h73;
H73:plini=p73;
H74:outserv=h74;
H74:plini=p74;
H75:outserv=h75;
H75:plini=p75;
H76:outserv=h76;
H76:plini=p76;
```

```
Harldf.Execute;()

!EchoOn;()
!EchoOff;()

maxd=0;
tthd=0;

 s=SEL.GetAll('ElmTerm') ;
 o=s.First;()
 while (o){
 thd=o:m:THD    ;
 tthd=tthd+thd;
 volt=abs(1-(o:m:Ul)/12.7)  ;

  if (volt>maxd){
  maxd=volt;
  }


 o=s.Next  ;()
 no=no+1;
}
 p=tthd/33 ;

 output('total harmonic distortion=p');


fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\THD.csv','w',3) ;
fprintf(3,'%f\t', p) ;
fclose;(٣)


fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\VOLT.csv','w',4) ;
fprintf(4,'%f\t', volt) ;
fclose;(٤)

}


fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\Switch.txt','w',5) ;
x=0 ;
fprintf(5,'%f\t', x) ;
fclose  ;(٥)


fopen('D:\project\1-nri\Step-2\pso-dig2\finish.csv','r',6)  ;
fscanf(6,'%f\t', z) ;
fclose;(٦)

if (z=2){
x=3;
break;
}

}
```

DOI:

۱۰ ۳ پیوست ۳: اطلاعات شبکه توزیع ۳۳ شینه ieee:

جدول(پ-۱). اطلاعات شبکه ۳۳ شینه ieee

شینه-شینه	مقاومت (اهم)	راکتانس (اهم)	توان حقیقی شینه انتهایی (کیلووات)	توان موهومی شینه انتهایی (کیلووار)
۱-۰	۰,۰۹۲۲	۰,۰۴۷۰	۱۰۰	۶۰
۱-۲	۰,۴۹۳۰	۰,۲۵۱۱	۹۰	۴۰
۲-۳	۰,۳۶۶۰	۰,۱۸۶۴	۱۲۰	۸۰
۳-۴	۰,۳۸۱۱	۰,۱۹۴۱	۶۰	۳۰
۴-۵	۰,۸۱۹۰	۰,۷۰۷۰	۶۰	۲۰
۵-۶	۰,۱۸۷۲	۰,۶۱۸۸	۲۰۰	۱۰۰
۶-۷	۰,۷۱۱۴	۰,۲۳۵۰	۲۰۰	۱۰۰
۷-۸	۱,۰۳۰۰	۰,۷۴۰۰	۶۰	۲۰
۸-۹	۱,۰۴۴۰	۰,۷۴۰۰	۶۰	۲۰
۹-۱۰	۰,۱۹۶۶	۰,۰۶۵۰	۴۵	۳۰
۱۰-۱۱	۰,۳۷۴۴	۰,۱۲۳۸	۶۰	۳۵
۱۱-۱۲	۱,۴۶۸۰	۱,۱۵۵۰	۶۰	۳۵
۱۲-۱۳	۰,۵۴۱۶	۰,۷۱۲۹	۱۲۰	۸۰
۱۳-۱۴	۰,۵۹۱۰	۰,۵۲۶۰	۶۰	۱۰
۱۴-۱۵	۰,۷۴۶۳	۰,۵۴۵۰	۶۰	۲۰
۱۵-۱۶	۱,۲۸۹۰	۱,۷۲۱۰	۶۰	۲۰
۱۶-۱۷	۰,۷۳۲۰	۰,۵۷۴۰	۹۰	۴۰
۱-۱۸	۰,۱۶۴۰	۰,۱۵۶۵	۹۰	۴۰
۱۸-۱۹	۱,۵۰۴۲	۱,۳۵۵۴	۹۰	۴۰
۱۹-۲۰	۰,۴۰۹۵	۰,۴۷۸۴	۹۰	۴۰
۲۰-۲۱	۰,۷۰۸۹	۰,۹۳۷۳	۹۰	۴۰
۲-۲۲	۰,۴۵۱۲	۰,۳۰۸۳	۹۰	۵۰
۲۲-۲۳	۰,۸۹۹۰	۰,۷۰۹۱	۴۲۰	۵۰
۲۳-۲۴	۰,۸۹۶۰	۰,۷۰۱۱	۴۲۰	۲۰۰
۵-۲۵	۰,۲۰۳۰	۰,۱۰۳۴	۶۰	۲۵
۲۵-۲۶	۰,۲۸۴۲	۰,۱۴۴۷	۶۰	۲۵
۲۶-۲۷	۱,۰۵۹۰	۰,۹۳۳۷	۶۰	۲۰
۲۷-۲۸	۰,۸۰۴۲	۰,۷۰۰۶	۱۲۰	۷۰
۲۸-۲۹	۰,۵۰۷۵	۰,۲۵۸۵	۲۰۰	۶۰۰
۲۹-۳۰	۰,۹۷۴۴	۰,۹۶۳۰	۱۵۰	۷۰
۳۰-۳۱	۰,۳۱۰۵	۰,۳۶۱۹	۲۱۰	۱۰۰
۳۱-۳۲	۰,۳۴۱۰	۰,۵۳۰۲	۶۰	۴۰

۱۰ ۴ پیوســت ۴: اطلاعات قیدرهای توزیع دانشــگاه و بازار از شــبکه توزیع کرمان:

- *اطلاعات لازم برای شبیه سازی شبکه*

همان طور که در مقدمه توضیح داده شد، در این قسمت اطلاعات هادی ها، خطوط و ترانس های شبکه آورده می شود. لازم به ذکر است که جداولی که در ادامه آورده خواهد شد، از اطلاعات حاصل از فایل GIS شبکه است که در اختیار مجریان شبکه قرار گرفت.

اطلاعات هادی های شبکه

در این شبکه از ۴ نوع هادی DOG, FOX, MINK و WEZEL در خطوط شبکه استفاده شده که اطلاعات آن ها در جدول(پ-۱) آورده شده است.

جدول(پ-۲): اطلاعات هادی ها

Name	I Rated (KA)	DC resistance (Ω/km)	X (Ω/km)	Diameter (mm)	GMR	Relative Permability
DOG	0.278	0.2723	0.3847	14.15	5.5240	1.2132
FOX	0.147	0.7827	0.4373	8.37	3.0365	1.2832
MINK	0.174	0.5441	0.4094	10.98	3.9834	1.2832
WEZEL	0.134	0.905	0.3897	7.77	2.8140	1.29

اطلاعات خطوط شبکه

جدول(پ-۲) اطلاعات خطوط شبکه را نشان می دهد. این اطلاعات از روی فایل نهایی Digsilent که برای شبیه سازی و محاسبه تلفات استفاده شده، استخراج گردیده است. برای نام گذاری خطوط از نام شی‌نهها و یا Junction هایی که خطوط بین آنها قرار دارد استفاده می شود، به عنوان مثال خطی که بین شی‌نه ۱۲۴ و J_32 قرار دارد با نام L124_J32 مشخص شده است.

ستوان اول نام خط، ستون دوم نوع هادی خط، ستون سوم طول خط، ستون چهارم جریان نامی و ستون پنجم و ششم نیز مقاومت و راکتانس خط را نشان می دهد. به عنوان مثال L125_141 بیانگر خطی است که بین دو پست ۱۲۵ و ۱۴۱ قرار دارد، نوع هادی آن DOG، طول آن 44.3m ، جریان نامی آن 278A و مقدار مقاومت و راکتانس آن نیز برابر ۰/۰۱۲۳ و ۰/۰۱۷۱ اهم می باشد.

جدول(پ-۳): اطلاعات خطوط

NAME	Conductor Typ	Length (Km)	I Rated (KA)	R (ohm)	X (ohm)
L100_162	DOG	0.6200089	0.278	0.170979	0.238553
L100_J1	DOG	0.9838076	0.278	0.271303	0.378527
L1230_J40	MINK	0.3974279	0.174	0.217176	0.162745

L1231_J40	MINK	0.08376618	0.174	0.045774	0.034302
L1232_J39	MINK	0.3186236	0.174	0.174113	0.130475
L124_J32	DOG	0.2930525	0.278	0.080815	0.112754
L125_141	DOG	0.0443464	0.278	0.012229	0.017063
L126_J28	DOG	0.01437927	0.278	0.003965	0.005533
L127_J33	DOG	0.05199284	0.278	0.014338	0.020005
L129_J36	DOG	0.1214301	0.278	0.033487	0.046721
L129_J37	DOG	0.04574523	0.278	0.012615	0.017601
L130_J35	DOG	0.151877	0.278	0.041883	0.058436
L130_J36	DOG	0.1459824	0.278	0.040257	0.056168
L131_147	FOX	0.1373978	0.147	0.107852	0.060096
L131_J33	FOX	0.05901616	0.147	0.046325	0.025813
L132_J38	DOG	0.03525207	0.278	0.009721	0.013564
L133_J38	MINK	0.2701428	0.174	0.147621	0.110622
L134_J23	FOX	0.1659722	0.147	0.130281	0.072594
L135_J23	MINK	0.1153754	0.174	0.063047	0.047246
L137_136	FOX	0.0967626	0.147	0.075955	0.042323
L138_137	DOG	0.1430197	0.278	0.03944	0.055028
L138_J37	DOG	0.01935445	0.278	0.005337	0.007447
L139_J37	WEZEL	0.0228637	0.321	0.00489	0.007684
L140_125	DOG	0.04834213	0.278	0.013331	0.0186
L140_J36	DOG	0.1182537	0.278	0.032611	0.045499
L141_128	DOG	0.08616114	0.278	0.023761	0.033151
L142_J35	FOX	0.2406588	0.147	0.188907	0.105262
L143_J35	DOG	0.1005765	0.278	0.027736	0.038698
L144_143	DOG	0.1896835	0.278	0.052309	0.072982
L144_J34	DOG	0.2105716	0.278	0.058069	0.081019
L146_145	FOX	0.1803644	0.147	0.141579	0.078889
L147_146	FOX	0.02862543	0.147	0.02247	0.01252
L148_J34	MINK	0.1428655	0.174	0.078069	0.058503
L149_127	DOG	0.06725966	0.278	0.018548	0.025879
L149_J32	DOG	0.0292184	0.278	0.008058	0.011242
L150_J30	MINK	0.06831377	0.174	0.03733	0.027974
L151_J30	MINK	0.09301703	0.174	0.05083	0.03809
L152_J29	MINK	0.1954191	0.174	0.106788	0.080023
L154_153	MINK	0.4114815	0.174	0.224856	0.1685
L155_154	MINK	0.2368904	0.174	0.12945	0.097005
L155_J31	DOG	0.01527582	0.278	0.004213	0.005877
L156_J31	MINK	0.2913128	0.174	0.159189	0.119291
L157_J27	MINK	0.05644449	0.174	0.030844	0.023114
L157_J28	MINK	0.2664877	0.174	0.145623	0.109125
L158_J27	MINK	0.1607859	0.174	0.087862	0.065841

L159_J24	DOG	0.3540064	0.278	0.097624	0.136207
L159_J26	DOG	0.05165098	0.278	0.014244	0.019873
L160_J24	WEZEL	0.04053901	0.321	0.00867	0.013624
L161_J24	DOG	0.1638758	0.278	0.045192	0.063052
L162_161	DOG	0.4551803	0.278	0.125524	0.175134
L470_J6	FOX	0.1442145	0.147	0.113202	0.063078
L694_19511	MINK	0.04881749	0.174	0.026677	0.019991
L694_J18	MINK	0.04994798	0.174	0.027294	0.020453
L696_723	MINK	0.05819602	0.174	0.031801	0.023831
L696_J18	MINK	0.01441913	0.174	0.007879	0.005905
L697_J13	DOG	0.02466947	0.278	0.006803	0.009492
L699_J12	FOX	0.1312324	0.147	0.103012	0.0574
L716_J21	MINK	0.1445014	0.174	0.078963	0.059173
L716_J39	MINK	0.2122983	0.174	0.116011	0.086935
L717_J20	FOX	0.3136001	0.147	0.246163	0.137165
L718_719	MINK	0.1366887	0.174	0.074694	0.055973
L718_J21	MINK	0.1437827	0.174	0.078571	0.058878
L719_J22	MINK	0.3278663	0.174	0.179164	0.13426
L720_J16	MINK	0.3542668	0.174	0.193591	0.14507
L720_J17	MINK	0.03407872	0.174	0.018622	0.013955
L721_J17	MINK	0.02347717	0.174	0.012829	0.009614
L722_J17	MINK	0.7167977	0.174	0.391697	0.293525
L723_J20	MINK	0.1416149	0.174	0.077386	0.057991
L724_J18	MINK	0.08973458	0.174	0.049036	0.036746
L725_724	MINK	0.09542417	0.174	0.052145	0.039076
L725_J16	MINK	0.09580912	0.174	0.052355	0.039233
L726_J15	MINK	0.2683191	0.174	0.146624	0.109875
L726_J16	MINK	0.1528386	0.174	0.083519	0.062587
L727_J15	DOG	0.02169541	0.278	0.005983	0.008347
L728_J14	MINK	0.1052522	0.174	0.057516	0.0431
L729_J13	DOG	0.2401625	0.278	0.066229	0.092404
L730_729	DOG	0.04556565	0.278	0.012566	0.017532
L731_730	DOG	0.1506196	0.278	0.041536	0.057952
L731_J12	DOG	0.2012388	0.278	0.055495	0.077428
L732_J10	MINK	0.2264867	0.174	0.123765	0.092745
L733_J11	FOX	0.1682126	0.147	0.13204	0.073574
L734_J11	MINK	0.1552759	0.174	0.084851	0.063585
L735_J10	FOX	0.1614954	0.147	0.126767	0.070636
L735_j11	FOX	0.1551193	0.147	0.121762	0.06784754
L736_J9	FOX	0.04534767	0.147	0.035596	0.019835
L737_J7	DOG	0.02382838	0.278	0.006571	0.009168
L739_738	FOX	0.3763066	0.147	0.295385	0.164593

L739_J7	FOX	0.04226185	0.147	0.033174	0.018485
L741_J5	DOG	0.09134275	0.278	0.025189	0.035145
L742_J4	MINK	0.02908469	0.174	0.015893	0.01191
L743_J3	DOG	0.02644658	0.278	0.007293	0.01017552
L744_J2	DOG	0.1918123	0.278	0.052896	0.073801
L744_J3	DOG	0.0573425	0.278	0.015813	0.022063
L745_J2	MINK	0.2850306	0.174	0.155756	0.116719
L746_695	DOG	0.2601501	0.278	0.071741	0.1000947
L746_J1	DOG	0.2343875	0.278	0.064637	0.090182
LJ13_J14	DOG	0.18	0.278	0.049638	0.069256
LJ14_J15	DOG	0.115117	0.278	0.031746	0.044292
LJ1_J2	DOG	0.6247364	0.278	0.172283	0.240372
LJ20_J21	FOX	0.03261919	0.147	0.025605	0.014267
LJ22_J23	MINK	0.03419356	0.174	0.018685	0.014002
LJ22_J38	MINK	0.07398328	0.174	0.040428	0.030296
LJ26_J27	MINK	0.1400692	0.174	0.076541	0.057358
LJ26_J32	DOG	0.4140417	0.278	0.11418	0.159306
LJ28_J29	MINK	0.2118265	0.174	0.115754	0.086742
LJ28_J31	MINK	0.04001785	0.174	0.021868	0.016387
LJ29_J30	MINK	0.1220014	0.174	0.066668	0.049959
LJ33_J34	DOG	0.03234752	0.278	0.00892	0.012446
LJ39_J40	MINK	0.06989081	0.174	0.038192	0.02862
LJ3_J4	DOG	0.05326949	0.278	0.01469	0.020496
LJ4_J5	DOG	0.115801	0.278	0.031934	0.044555
LJ5_J6	DOG	0.06884334	0.278	0.018985	0.026488
LJ6_J7	DOG	0.5094647	0.278	0.140494	0.1960203
LJ7_J8	DOG	0.2097205	0.278	0.057834	0.080692
LJ8_J12	DOG	0.06777175	0.278	0.018689	0.026076
LJ8_J9	FOX	0.04444903	0.147	0.034891	0.019442
LJ9_J10	FOX	0.1037016	0.147	0.081401	0.045358

اطلاعات ترانس های شبکه

ترانس های موجود در شبکه از نوع ۲۰ کیلوولت به ۴۰۰ ولت بوده و در ۷۹ پست در شبکه نصب شده اند. با توجه به اطلاعات در یافت شده، از استاندارد ایران ترانسفو برای مدل سازی این ترانس ها در نرم افزار استفاده شده است. جدول(پ–۳) اطلاعات این ترانس ها را نشان می دهد. باید دقت شود که ترانس پست های ۱۴۵ و ۱۴۶ (Tr_145 و Tr_146) از مدار خارج شده اند و بار متصل به خود را تغذیه نمی کنند.

باید به این نکته توجه کرد که تلفات مسی ترانس که در جدول زیر ذکر شده است مربوط به زمانی است که جریان نامی از ترانس بگذرد (Loading=100%) و چون در عمل میزان Loading (درصد بار گیری از ترانس) ۱۰۰٪ نیست، پس میزان تلفات مسی ترانس در شبکه کمتر از میزان ذکر شده در جدول زیر است ولی در مورد تلفات بی باری چون به میزان بار بستگی ندارد، در عمل نیز برابر میزان ذکر شده در جدول زیر است.

جدول(پ-۴): اطلاعات ترانس ها

OBJECT ID (DIGSILENT)	Object Address	S Rated (MVA)	UK (%)	Copper Loss At 100% Loading (KW)	No Load Loss At Nominal Voltage (KW)
Tr_1230	خ میرزا رضا روبروی خ شریعتی	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_1231	خ شهدا جنب مدرسه راهنمایی	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_1232	خ میرزا رضا روبروی خ پدر	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_124	میدان آزادی	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_125	روبروی بازار	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_126	روبروی مسکن و شهر سازی	0.2	3.75	3.6	0.57
Tr_127	تامین اجتماعی	0.2	3.75	3.6	0.57
Tr_128	روبروی داروخانه تخت جمشید	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_129	بانک ملت	0.1	3.75	2.15	0.34
Tr_130	پست عمومی جنب پاساژ کندو	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_131	سازمان تامین اجتماعی	0.05	3.75	1.25	0.21
Tr_132	زمینی خیابان ۱۷ شهریور	0.8	6	11	1.45
Tr_133	پمپ آب شاه اسماعیل علی رفعتی و شرکاء	0.1	3.75	2.15	0.34
Tr_134	خیابان ۱۷ شهریور نبش خیابان پوریایی ولی	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_135	روبروی بانک تجارت	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_136	پست میدان گیتی نورد	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_137	پست میدان نبش میدان گیتی نورد	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_138	جنب پاساژ یزدانپناه	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_139	جنب پاساژ طلا	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_140	خیابان بازار	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_141	روبروی مسجد جامع	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_142	کوچه حاج رشید	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_143	چهارراه موحدی	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_144	عمومی بلوار صادقی	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_145	کانون پرورش	0.025	3.75	0.75	0.15
Tr_146	استادیم ورزشی	0.2	3.75	3.6	0.57
Tr_147	هوائی خیابان فرهنگ جنب استادیوم	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_148	کابینت سازی	0.05	3.75	1.25	0.21
Tr_149	عمومی ۴ راه قدس	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_150	پست زمینی فلکه یادبود	0.4	6	6.45	0.85
Tr_151	نبش میدان یادبود	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_152	پست پشت هنرستان آموزش و پرورش اداره آب	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_153	خیابان مجلسی	0.2	3.75	3.6	0.57
Tr_154	عمومی دهخدا	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_155	نبش ۴ راه دهخدا	0.05	3.75	1.25	0.21
Tr_156	جنب ارشاد	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_157	خیابان دهخدا	0.315	3.75	5.4	0.72

Tr_158	کوچه محمود آبادی	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_159	هوائی تقاطع بلوار سید جمال و بلوار دکتر صادقی	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_160	هوائی بلوار سید جمال تقاطع خیابان توحید	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_161	هوائی ابتدای خیابان توحید	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_162	هوائی خیابان نواب صفوی	0.2	3.75	3.6	0.57
Tr_19511	خ – ۱۷ شهریور	0.2	3.75	3.6	0.57
Tr_694	مخابرات ۱۷ شهریور	0.025	3.75	0.75	0.15
Tr_695	دکل مخابرات فاطمیه	0.025	3.75	0.75	0.15
Tr_696	خیابان موسی جعفر نرسیده به دانشگاه	0.2	3.75	3.6	0.57
Tr_697	پست عمومی اواسط خیابان شهید تعویقی	0.16	6	0.48	0.44
Tr_699	پست زمینی داخل گل گهر	0.8	6	11	1.45
Tr_716	خیابان موسی بن جعفر شمالی	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_717	بلوار دکتر صادقی نبش کوچه سلیمانزاده	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_718	جوشکاری پسته علی شهاب الدینی	0.05	3.75	1.25	0.21
Tr_719	بلوار دکتر صادقی نبش خیابان بدر	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_720	روبروی گاراژ میرزاده	0.2	3.75	3.6	0.57
Tr_721	تراشکاری ساوه	0.05	3.75	1.25	0.21
Tr_722	خیابان ابوریحان روبروی کمیته امداد امام	0.2	3.75	3.6	0.57
Tr_723	پست اختصاصی دانشگاه آزاد خیابان جنوبی موسی ابن جعفر	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_724	حمید قرشی	0.05	3.75	1.25	0.21
Tr_725	پمپ آب شهرداری نبش خیابان خلیل	0.16	6	0.48	0.44
Tr_726	اواسط خیابان موسی بن جعفر جنوبی	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_727	خیابان غفاری روبروی خیابان موسی بن جعفر	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_728	انتهای خیابان تعویقی	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_729	اول خیابان شهید تعویقی	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_730	مرکز مخابرات بلوار فاطمیه غربی	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_731	بلوار فاطمیه روبروی سوپرمارکت هزار و یکشب نبش خیابان کوثر	0.05	3.75	1.25	0.21
Tr_732	کوچه گرمابه مهدی	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_733	خیابان غفاری تراشکاری خاکسار	0.025	3.75	0.75	0.15
Tr_734	اواسط خیابان خواجه نظام الملک	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_735	پست عمومی خیابان صائب	0.16	6	0.48	0.44
Tr_736	سید اکبر ترابی	0.05	3.75	1.25	0.21
Tr_737	پست زمینی گل گهر نبش بلوار شماره یک	0.8	6	11	1.45
Tr_738	میدان گل محمدی	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_739	بلوار فاطمیه (فرمانداری)	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_740	پست جنب دبستان پسرانه سعدی	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_741	کوچه جنب فرمانداری	0.05	3.75	1.25	0.21
Tr_742	شهربازی	0.5	6	7.8	1
Tr_743	کوچه جنب فرمانداری آموزش و پرورش_موزائیک سازی	0.05	3.75	1.25	0.21
Tr_744	خیابان فرمانداری جنب شهربازی	0.25	3.75	4.45	0.61
Tr_745	خیابان کافی کوچه شماره۳	0.315	3.75	5.4	0.72
Tr_746	بلوار سید جمال از میدان امام تا تندیس بلال	0.1	3.75	2.15	0.34

۱۱- مراجع

[1]. N.R. Watson, J.D. Watson, R.M. Watson et al, "Impact of Electric Vehicle Chargers on a Low Voltage Distribution System, EEA Conference & Exhibition, 24-26 June 2014, Wellington, 2015

[2]. A. Shortt and M. O'Malley, "Quantifying the Long-Term Impact of Electric Vehicles on the Generation Portfolio," IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 5, no. 1, pp. 71-83, Jan. 2014.

[3]. H. Turker and S. Bacha, "Application of Housing Peak Shaving (HPS) algorithms with Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs): Impacts on the aging rate of low voltage transformer," 2015 IEEE Transportation Electrification Conf. and Expo (ITEC), Dearborn, MI, 2015, pp. 1-6.

[4]. C. H. Tie, C. K. Gan and K. A. Ibrahim, "The impact of electric vehicle charging on a residential low voltage distribution network in Malaysia," 2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA), Kuala Lumpur, 2014, pp. 272-277.

[5]. R. A. Verzijlbergh, Z. Lukszo, J. G. Slootweg and M. D. Ilic, "The impact of controlled electric vehicle charging on residential low voltage networks," 2011 International Conference on Networking, Sensing and Control, Delft, 2011, pp. 14-19.

[6]. L. Pinter, "Statistical analysis of the electric vehicle chargers' impacts on the low-voltage distribution system," 18th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), Lemesos, 2016, pp. 1-6 C. Farmer, et al, "Modeling the Impact of Increasing PHEV Loads on the Distribution Infrastructure," This paper appears in: System Sciences (HICSS), 2010 43rd. Hawaii International Conference, January 2010.

[7]. J. A. Orr, A. E. Emanuel and D. J. Pileggi, "Current Harmonics, Voltage Distortion, and Powers Associated with Electric Vehicle Battery Chargers Distributed on the Residential Power System," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-20, no. 4, pp. 727-734, July 1984. doi: 10.1109/TIA.1984.4504481

[8]. Bass, R., Harley, R., Lambert, F., Rajasekaran, V.& Pierce, J. (2001). Residential harmonic loads and ev charging, Proceedings of Power Engineering Society Winter Meeting, IEEE, Atlanta, USA, pp.803–808.

[9]. Gomez, J. & Morcos, M. (2003). Impact of ev battery chargers on the power quality of distribution systems, IEEE Transactions on Power Delivery Vol. 18 (No.3): 975–981.

[10]. Gomez J.C., Marcos M.M., Impact of EV battery chargers on the power quality of distribution systems. IEEE Trans Power Delivery 18: 975-981 (2003).

[11]. R. Liu, L. Dow, E. Liu, " A Survey of PEV Impacts on Electric Utilities" IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference, CA, USA, January 17-19, 2011.

[12]. IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality, IEEE Std 1159. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality; 1995.

[13]. Kutt L, Saarijärvi E, Lehtonen M, Molder H, Niitsoo J. A review of the harmonic and unbalance effects in electrical distribution networks due to EV charging. 2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Wroclaw; 2013. p. 556-561.

[14]. Orr JA, Emanuel AE, Pileggi DJ. Current harmonics, voltage distortion, and powers associated with electric vehicle battery chargers distributed on the residential power system. IEEE Trans Ind Appl 1984;20(4):727–34.

[15]. Jiang C, Torquato R, Salles D, Xu W. Method to assess the power-quality impact of plug-in electric vehicles. IEEE Trans Power Deliv 2014;29:958–65.

[16]. Moses PS, Deilami S, Masoum AS, Masoum MAS. Power quality of smart grids with plug-in electric vehicles considering battery charging profile.Gothenburg: IEEE Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe); 2010. p. 1–7.

[17]. Nguyen VL, Tuan TQ, Bacha S. Harmonic distortion mitigation for electric vehicle fast charging systems. Proc IEEE Powertech 2013:1–6.

[18]. IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," in IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992) , vol., no., pp.1-29, 11 June 2014, doi: 10.1109/IEEESTD.2014.6826459.

[19]. Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000 V - Part 1: General - Performance, testing and rating - Safety requirements - Guide for installation and operation". IEC 60831-1:2014 ,

[20]. Ramer J. What is EVSE and why it matters to you. EV connects; 2013. p. 1–11.

[21]. SAE electric vehicle and plug-in hybrid electric vehicle conductive charge coupler, SAE J1772, 2010. Available from: ⟨http://standards.sae.org/j1772_ 201210/⟩.

[22]. EV charging infrastructure deployment guidelines BC. Electric Transportation Engineering Corporation; 2009. p. 1–51.

[23]. Installation guide for electric vehicle supply equipment. Massachusetts Division of Energy Resources; 2014. p. 1–26.

[24]. Electric Vehicle Conductive Charging System-part 1: General Requirements. 2.0 Ed., IEC 61851-61851; 2010.

[25]. Rawson M, Kateley S. Electric vehicle charging equipment design and health and safety codes. California Energy Commission; 1999. p. 1-12.

[26]. Metha S. Electric plug-in vehicle/electric vehicle status report. Electr Eng2010:1–15.

[27]. SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler, SAE J1772 .

[28]. احد عابسی، محمد اسکوی، رسول فحقی، عابد باقری، امین بیرامی. . "طراحی شارژر دوطرفه ۳کیلوواتی خودرو و سطح ولتاژ استاندارد ایران" کنفرانس شبکه¬های هوشمند ۵۹ IEC 61851-23 برقی مطابق با استاندارد

[29]. M. Yilmazand, Philip T. Krein, "Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles" IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 28, NO. 5, MAY 2013.

[30]. F. Musavi, M. Edington, W. Eberle, and W. G. Dunford, "Evaluation and efficiency comparison of front end AC–DC plug-in hybrid charger topologies," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 1, pp. 413–421, Mar. 2012.

[31]. B. Singh, B. N. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad, A. Pandey, and D. P. Kothari, "A review of three-phase improved power quality ac–dc converters," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 51, no. 3, pp. 641–660, Jun. 2004.

[32]. F. Musavi, W. Eberle, and W. G. Dunford, "A high-performance singlephase bridgeless interleaved PFC converter for plug-in hybrid electric vehicle battery chargers," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 47, no. 4, pp. 1833– 1843, Jul./Aug. 2011.

[33]. Bhim Singh, Brij N. Singh, Ambrish Chandra,Kamal Al-Haddad, Ashish Pandey, and Dwarka P. Kothari, "A Review of Single-Phase Improved Power Quality AC–DC Converters" IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 50, NO. 5, OCTOBER 2003.

[34]. Manav Giri, Isha T.B, "Comparison of Non-Isolated schemes for EV charging and their effect on Power Quality" 2017 International Conference on circuits Power and Computing Technologies [ICCPCT].

[35]. A. Aljanad and Azah Mohamed, "Harmonic Impact of Plug-In Hybrid Electric Vehicle on Electric Distribution System" Hindawi Publishing Corporation Modelling and Simulation in Engineering Volume 2016, Article ID 5968943, 7 pages.

[36]. N. Melo, F. Mira, A. de Almeida and J. Delgado, "Integration of PEV in Portuguese distribution grid: Analysis of harmonic current emissions in charging points," 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, Lisbon, 2011, pp. 1-6.

[37]. A. J. Collin, S. Z. Djokic, H. F. Thomas and J. Meyer, "Modelling of electric vehicle chargers for power system analysis," 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, Lisbon, 2011, pp. 1-6.

[38]. B. Pea-da and S. Dechanupaprittha, "Impact analysis of fast charging to voltage profile in PEA distribution system by Monte Carlo simulation," 2015 7th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Chiang Mai, 2015, pp. 204-208.

[39]. T. Fujun, X. Ruiheng, C. Dong, R. Lijia, Y. Quanning and Z. Yan, "Research on the harmonic characteristics of electric vehicle fast charging stations," 2017 2nd International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE), Chengdu, 2017, pp. 805-809.

[40]. M. Mohamed, H. Farag, N. El-Taweel, and M. Ferguson, "Simulation of electric buses on a full transit network: Operational feasibility and grid impact analysis," Electr. Power Syst. Res., vol. 142, pp. 163–175, Jan. 2017.

[41]. H. Ding, Z. Hu, and Y. Song, "Value of the energy storage system in an electric bus fast charging station", Appl. Energy, vol. 157, pp. 630–639, Nov. 2015.

[42]. M. Sujith, S. Padma, "Optimization of harmonics with active power filter based on ADALINE neural network" Microprocessors and Microsystems,Volume 73, 2020,

[43]. L. J. S. Damião, W. G. Zvietcovich and F. R. A. C. Baracho, "Optimal Reconfiguration of Power Distribution Network for Stability Voltage and Power Quality Improvements," *2018 International Conference on Smart Grid (icSmartGrid)*, Nagasaki, Japan, 2018, pp. 82-87,+

[44]. Power Factor Correction (PFC) Basics (PDF) (application note) (42047), Fairchild Semiconductor, 2004.

[45]. P. Li, Q. Wang, Yuanliang and S. Lu, "Power conversion efficiency calculation models for electric vehicle fast charger system," 2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Wuhan, 2018, pp. 316-321.
[46]. Taher Niknam, Ehsan Azad Farsani, Majid Nayeripour, "An efficient multi-objective modified shuffled frog leaping algorithm for distribution feeder reconfiguration problem" European Transactions on Electrical Power, 721-739, 2011.
[47]. P. T. Staats, W. M. Grady, A. Arapostathis and R. S. Thallam, "A statistical method for predicting the net harmonic currents generated by a concentration of electric vehicle battery chargers," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 12, no. 3, pp. 1258-1266, July 1997.
[48]. M. A. S. Masoum, P. S. Moses and S. Deilami, "Load management in smart grids considering harmonic distortion and transformer derating," 2010 Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), Gothenburg, 2010, pp. 1-7.
[49]. E.Azad-Farsani, "Loss minimization in distribution systems based on LMP calculation using honey bee mating optimization and point estimate method", Energy , 140, 1-9, 2017.
[50]. DPL tutorial, DIgSILENT Technical Documentation.http://www.digsilent.de