

دانشگاه زنجان

دانشکده برق

پایان نامه‌ی کارشناسی

مهندسی برق - قدرت

جایابی و تعیین اندازه بهینه خازن‌های جبران‌ساز توان راکتیو در سیستم‌های توزیع

با در نظر گرفتن آلودگی‌های هارمونیکی

نگارنده:

وحید مظفیری

استاد راهنما:

دکتر امیر باقری

تیر ۱۳۹۶





## چکیده

کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع که بیشترین سهم تلفات را در یک سیستم قدرت به خود اختصاص می‌دهند

همواره مورد توجه بوده است. به کارگیری خازن‌های موازی از متداول‌ترین راه‌های کاهش تلفات و جبران توان

راکتیو می‌باشد. مسئله اصلی در جبران توان راکتیو، تعیین مقدار مورد نیاز خازن و مکان مناسب نصب خازن‌ها

در شبکه است. با افزایش بارهای غیرخطی از جمله ادوات الکترونیک قدرت، وسایل خانگی و الکترومغناطیسی

در شبکه‌های توزیع، هنگام خازن‌گذاری در شبکه باید هارمونیک جریان‌های تزریقی را در نظر گرفت. بنابراین

چنان‌چه در حضور این هارمونیک‌ها مکان و اندازه خازن‌های موازی به‌طور مناسب و صحیح انتخاب نشوند

باعث ایجاد تشدید، افزایش جریان و ولتاژ هارمونیکی و نتیجتاً افزایش تلفات در شبکه خواهند شد.

در این پروژه مسئله خازن‌گذاری بهینه در شبکه توزیع با در نظر گرفتن آلودگی‌های هارمونیکی توسط الگوریتم

ژنتیک مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. همچنین در این پروژه روند کلی برای رسیدن به جواب بهینه این

مسئله که شامل همه پارامترهای تعیینی، قیمت خازن، هارمونیک‌های موجود در شبکه و پخش بار در فرکانس

اصلی و هارمونیکی است، ارائه گردیده است.

**کلمات کلیدی:** شبکه توزیع، هارمونیک، خازن‌گذاری، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی.





انسان	۱-۸-۳- تأثیر DG بر روی توان عبوری از شبکه	۱۸
انسان	۱-۸-۳-۴- تأثیر DG بر روی کاهش تلفات	۱۸
انسان	فصل ۲. خازن گذاری در سیستم های توزیع	۲۰
انسان	۱-۲- مقدمه	۲۱
انسان	۲-۲- خازن های قدرت	۲۲
انسان	۲-۳- تأثیر خازن های موازی بر ولتاژ	۲۲
انسان	۲-۴- تأثیر خازن بر شبکه	۲۴
انسان	۲-۴-۱- آزادسازی ظرفیت و تصحیح ضریب توان	۲۴
انسان	۲-۴-۲- تثبیت و بهبود پروفیل ولتاژ	۲۷
انسان	۲-۴-۳- کاهش تلفات و تلفات پیک	۲۹
انسان	۲-۵- اتصال خازن به شبکه	۳۰
انسان	۲-۵-۱- نحوه ی اتصال خازن به شبکه	۳۰
انسان	۲-۵-۲- اثر نحوه ی اتصال خازن بر مشخصات مجموعه خازنی	۳۱
انسان	۲-۶- کاربرد خازن در شبکه های فشار متوسط	۳۲
انسان	۲-۷- استفاده از خازن های شبکه های فشار ضعیف	۳۳
انسان	۲-۸- اثرات منفی خازن گذاری	۳۴
انسان	۲-۸-۱- اثرات سوء خازن گذاری در سیستم های توزیع	۳۵
انسان	۲-۸-۲- بررسی تأثیرات منفی ناشی از استفاده از بانک های خازنی	۳۷





انرژی‌های تجدیدپذیر	۳-۹-۲- اثرات خازن‌ها بر روی هارمونیک موجود در شبکه	۶۱
انرژی‌های تجدیدپذیر	۳-۱۰-۱- راه‌های کاهش اثر هارمونیک در شبکه	۶۴
انرژی‌های تجدیدپذیر	۳-۱۰-۱- کاهش جریان‌های هارمونیکی در بارها	۶۴
انرژی‌های تجدیدپذیر	۳-۱۰-۲- فیلتر گذاری	۶۵
انرژی‌های تجدیدپذیر	۳-۱۰-۳- اصلاح پاسخ فرکانسی سیستم	۶۵
انرژی‌های تجدیدپذیر	۳-۱۰-۴- در فیدرهای توزیع	۶۶
انرژی‌های تجدیدپذیر	فصل ۴. خازن گذاری بهینه در سیستم توزیع هارمونیکی توسط الگوریتم ژنتیک	۶۷
انرژی‌های تجدیدپذیر	۴-۱- مقدمه	۶۸
انرژی‌های تجدیدپذیر	۴-۲- الگوریتم ژنتیک	۶۸
انرژی‌های تجدیدپذیر	۴-۲-۱- عملگرهای الگوریتم ژنتیک	۷۱
انرژی‌های تجدیدپذیر	۴-۲-۱-۱- کدگذاری و کدگشایی	۷۱
انرژی‌های تجدیدپذیر	۴-۲-۱-۲- ارزیابی	۷۱
انرژی‌های تجدیدپذیر	۴-۲-۱-۳- تزیج یا آمیزش	۷۱
انرژی‌های تجدیدپذیر	۴-۲-۱-۴- جهش	۷۲
انرژی‌های تجدیدپذیر	۴-۲-۱-۵- انتخاب و تولید نسل جدید	۷۲
انرژی‌های تجدیدپذیر	۴-۲-۲- کاربرد کلی الگوریتم ژنتیک	۷۳
انرژی‌های تجدیدپذیر	۴-۳- بیان و فرمول بندی مسئله	۷۳
انرژی‌های تجدیدپذیر	۴-۳-۱- مدل بار	۷۳

انشا و زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	انشا و زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	انشا و زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	انشا و زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق
۴-۳-۲- تابع هدف خازن گذاری	۷۴	۷۴	۷۴
۴-۴- شرایط و قیود مسئله	۷۶	۷۶	۷۶
۴-۴-۱- قیود ظرفیت خازن ها	۷۶	۷۶	۷۶
۴-۴-۲- قید و لتاز	۷۶	۷۶	۷۶
۴-۴-۳- قید حداکثر THD	۷۷	۷۷	۷۷
۴-۵- محاسبات پخش بار	۷۷	۷۷	۷۷
۴-۶- روش حل مسئله مبتنی بر الگوریتم ژنتیک	۷۹	۷۹	۷۹
۴-۶-۱- ساختار کروموزوم	۷۹	۷۹	۷۹
۴-۶-۲- عملگرهای ژنتیک	۸۰	۸۰	۸۰
۴-۶-۳- معیار همگرایی	۸۰	۸۰	۸۰
۴-۶-۴- پیاده سازی الگوریتم ژنتیک در حل مسئله	۸۰	۸۰	۸۰
۴-۷- مورد مطالعاتی	۸۲	۸۲	۸۲
نتیجه گیری و پیشنهادات	۹۰	۹۰	۹۰
فهرست مراجع	۹۱	۹۱	۹۱



صنعت برق یکی از حیاتی‌ترین صنایع یک کشور محسوب می‌شود. در این میان، شبکه‌های توزیع انرژی

الکتریکی، محل تلاقی مشترکین صنعت برق می‌باشد و اشکالات سیستم در این صنعت، از دید مصرف

کنندگان، مشکل کلیه صنعت برق قلمداد خواهد شد. توسعه روز افزون، عدم پیش‌بینی صحیح این روند، عقب

ماندگی تکنولوژی، همواره مشکلاتی را در سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی به همراه داشته است. با توجه

به این که ۳۵ درصد از سرمایه گذاری‌های صنعت برق، به بخش توزیع مربوط است، عدم طراحی صحیح،

هدایت سیستم بدون برنامه‌ریزی و تعیین اهداف بدون کنترل پروژه‌ها، موجبات ایجاد ضرر به سرمایه ملی،

اتلاف انرژی و عدم رضایت و بدبینی مشترکین را به دنبال داشته است، بنابراین آموزش و انتقال دانش، نوآوری،

رعایت نکات فنی و استانداردها، نظارت، کنترل و ارزیابی در سیستم‌های توزیع شدیداً احساس می‌شود.

انرژی الکتریکی در نیروگاه‌های حرارتی توسط سوخت‌های فسیلی، یا پس از صرف هزینه‌های سنگین، با بهره‌برداری

استفاده از پتانسیل آب سدها در توربین‌های آبی تولید شده از طریق خطوط انتقال انرژی، به مراکز مصرف

انتقال می‌یابند. در این مراکز، ایستگاه‌های تبدیل، سطح ولتاژ را کاهش می‌دهند. این ولتاژ متوسط به وسیله‌ی

شبکه‌های توزیع به محل مصرف‌کننده خواهد رسید. در محل مصرفی نیز، به کمک ایستگاه‌های ترانسفورمتری

توزیع، ولتاژ به حد قابل استفاده برای مصارف خانگی، صنعتی، تجاری، عمومی، کشاورزی و ... تبدیل شده و

به مصرف می‌رسد [۱].

## ۱-۲-۲ دید اجمالی بر سیستم قدرت مدرن

یک سیستم قدرت الکتریکی شامل ۴ قسمت اصلی است: نیروگاه‌های تولید قدرت، خطوط انتقال، سیستم فوق توزیع و سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی که خطوط انتقال، انرژی الکتریکی را با سطح ولتاژ بالا از نیروگاه‌ها تحویل گرفته و در نزدیکی مراکز مصرف توسط پست‌های فوق توزیع به شبکه توزیع تحویل می‌دهند. شبکه توزیع نیز با تغییر ولتاژ، متناسب با نوع تقاضای مشترک، انرژی الکتریکی را به مصرف‌کننده می‌رساند.

### ۱-۲-۱- نیروگاه

ژنراتورهای سه فاز متناوب امروزی ژنراتور سنکرون هستند و این آلترناتورها به‌عنوان اجزای اصلی سیستم قدرت به حساب می‌آیند. این ژنراتورهای سنکرون شامل دو میدان چرخان و سنکرون هستند. یکی از این میدان‌ها توسط سیم پیچ‌های استاتور و به وسیله‌ی جریان‌های سه فاز آرمیچر تولید می‌شود. میدان دوم به وسیله تحریک در سرعت سنکرون با تحریک‌کننده جریان مستقیم تولید می‌شود. یکی از المان‌های اصلی

ژنراتورهای سیستم قدرت، یکسان‌کننده دوار می‌باشد که به آن‌ها جاروبک سیستم‌های تحریک می‌گویند. سیستم تحریک ژنراتور، توان راکتیو و ولتاژ سیستم را کنترل می‌کند. ژنراتورهای سیستم‌های قدرت، ولتاژ بالا

و قدرت بالا تولید می‌کنند (حدود ۳۰ کیلو ولت). در نیروگاه‌های قدرت اندازه ژنراتورها از ۳۰ مگاوات تا ۱۵۰۰ مگاوات تغییر می‌کنند. منابع توان مکانیکی برای به حرکت درآوردن اولیه ژنراتورها توسط انواع مختلف توربین‌ها صورت می‌گیرد. این منابع قدرت مکانیکی شامل توربین‌های هیدرولیکی، آبشاری، بخاری که انرژی آن‌ها از سوزاندن زغال سنگ، گاز، سوخت‌های هسته‌ای انرژی بالا، انرژی باد و سوخت بیومس تأمین می‌شود. در یک نیروگاه چندین ژنراتور به‌صورت موازی عمل می‌کنند تا توان مورد نیاز را تولید کنند [۲].

## ۱-۲-۲- سیستم انتقال و فوق توزیع

الکتريسيته توليدي توسط نيروگاه‌ها بايد به محل‌هاي مصرف انتقال يابد. انتقال نيروي الكتريسيته به نقاط مصرف از طريق خطوط انتقال صورت مي‌گيرد. جهت پايداري بيشتري و تلفات كمتر كه در اثر جريان زياد به وجود مي‌آيد، بايد ولتاژ سيستم بالا باشد. ولتاژ توليدي نيروگاه‌ها از ۳۰ كيلو ولت تجاوز نمي‌كند، به همين خاطر در نزديكي هر نيروگاه، پست‌هاي نيروگاه و انتقال با استفاده از ترانسفورماتورهاي بزرگ، ولتاژ را تا حدود ۴۰۰ كيلو ولت (در ايران) افزايش مي‌دهند.

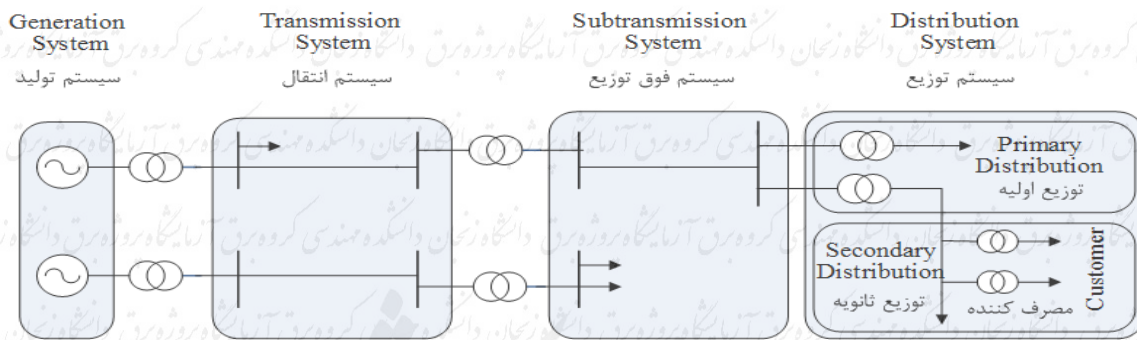
خطوط انتقال ولتاژ بالا، توان توليد شده در مراكز توليد را به سيستم فوق توزيع در ولتاژ پايين‌تر تحويل مي‌دهند. سيستم فوق توزيع به عنوان واسطه‌اي بين دو سيستم انتقال و توزيع، انرژي الكتريكي را در سطح ولتاژي پايين‌تري در پست‌هاي فوق توزيع به سيستم توزيع مي‌رساند [۲]. مدارهاي فوق توزيع ممكن است

به صورت مدارهاي ساده، شعاعي، حلقوي يا به هم پيوسته باشند كه در نهايت به پست فوق توزيع ختم مي‌شود.

## ۱-۲-۳- سيستم توزيع

سيستم توزيع را مي‌توان به دو بخش سيستم توزيع اوليه و ثانويه تقسيم‌بندي كرد. سيستم توزيع اوليه شامل پست‌هاي HV/MV و فيدرهاي MV است. در سيستم توزيع ثانويه، فيدرهاي MV ترانسفورماتورهاي MV/LV را تغذيه مي‌نمايند. اين ترانسفورماتورها توسط فيدرهاي LV انرژي الكتريكي را به مصرف‌كنندگان نهايي تحويل مي‌دهند. شبكه‌هاي توزيع عموماً به صورت شعاعي هستند و داراي شاخه‌هاي فراوان و متعدد مي‌باشند.

با توجه به اينكه در ادامه فصل به تفصيل در مورد شبكه‌هاي توزيع بحث خواهد شد، در اين قسمت توضيح مختصري ارائه گرديد. شكل ۱-۱، شمائي كلي سيستم قدرت را از توليد تا توزيع نشان مي‌دهد [۱].



شکل ۱-۱- ساختار پایه‌ای سیستم قدرت

### ۱-۳- آرایش سیستم توزیع

پروژه برق دانشگاه با توجه به سطح ولتاژ سیستم، شرایط جغرافیایی و تمرکز یا عدم تمرکز بار مصرفی، می‌توان از انواع مختلف آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان شبکه‌های توزیع برای تأمین نیازهای مشترکین استفاده کرد. شبکه‌های توزیع به‌طور کلی دارای ساختار غربالی آزمایشگاه پروژه برق

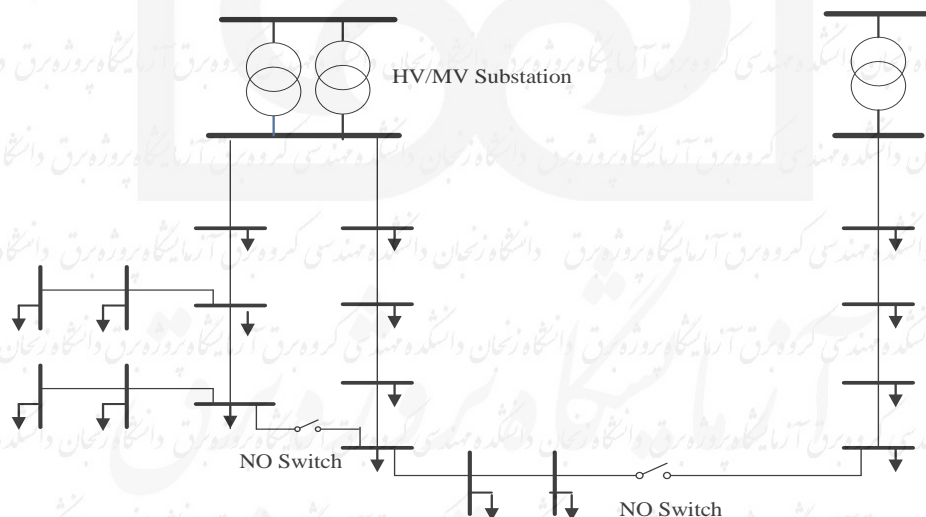
دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه

ضعیف می‌باشند ولی به خاطر مسائل حفاظتی از جمله پایین آوردن سطح اتصال کوتاه، ساده‌تر شدن هماهنگی‌ها بین رله‌ها و همچنین حفاظت بهتر در شبکه به صورت شعاعی بهره‌برداری می‌شوند. به همین

دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

خاطر تعدادی کلید در حالت باز (NO) در شبکه می‌باشند و تعدادی نیز در عادی بسته (NC) در شبکه می‌باشند که می‌توان با باز و بست کردن آن‌ها پیکربندی شبکه توزیع را تغییر داد [۳].

دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

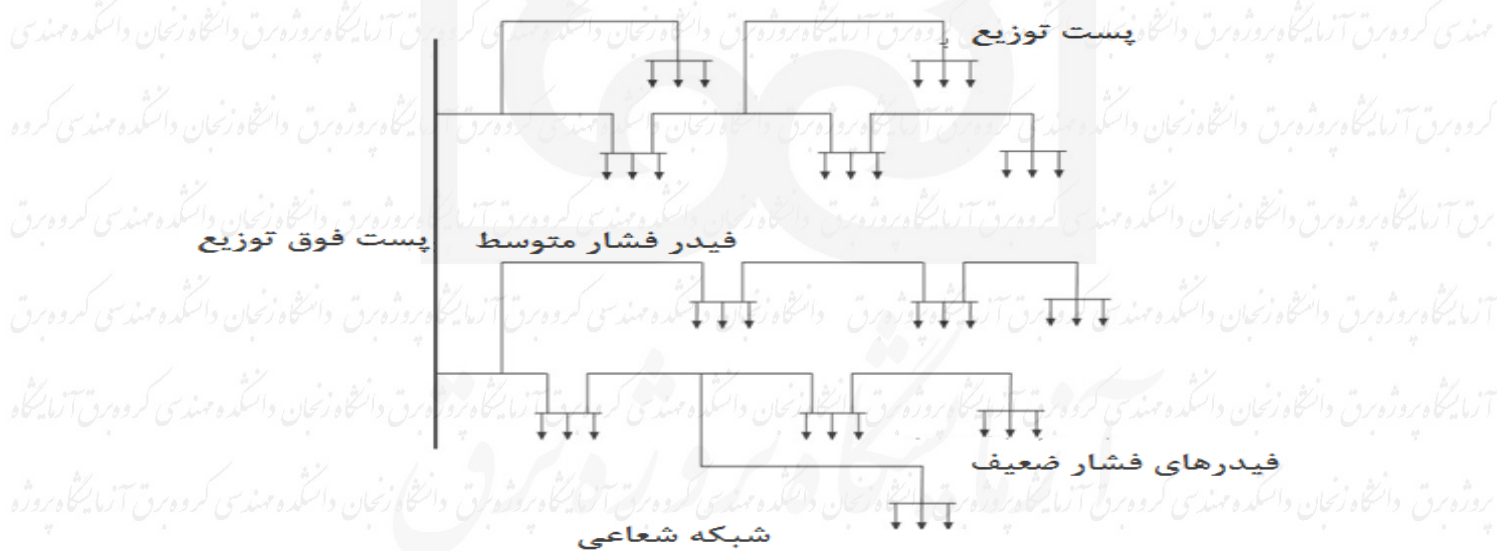


شکل ۱-۲- آرایش شعاعی و حلقه‌ای سیستم توزیع

دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان  
بنابراین شبکه‌های توزیع می‌توانند هر نوع ساختاری را داشته باشند، ولی در حالت استاندارد برای شبکه‌های توزیع می‌توان سه ساختار کلی را معرفی کرد [۵۰۴].

### ۱-۳-۱- شبکه شعاعی

در این سیستم مدار از شینه اصلی (پست فوق توزیع) به ترانس‌های توزیع کشیده شده و به انتهای فیدر می‌رود. از مزایای این سیستم می‌توان به ساده بودن شکل و ارزان بودن ساخت این شبکه اشاره کرد. بزرگ‌ترین عیب شبکه شعاعی که استفاده از آن را در کشورهای بخصوص پیشرفته با کاهش مواجهه ساخته، بی‌برق شدن قسمت معیوب (قسمتی که دچار خطا شده) تا انتهای فیدر است که باعث افزایش هزینه انرژی فروخته نشده به مشترکین، کاهش قابلیت اطمینان سیستم و نارضایتی مصرف‌کنندگان خواهد شد. امروزه برای رفع این مشکل از خطوط مانور برای برقرار کردن قسمت بی‌برق توسط فیدرهای مجاور استفاده می‌شود. انتخاب تعداد خطوط مانور برای یک فیدر، همچنین انتخاب مهم‌ترین نقاط برای انجام مانور (طول بهینه کابل یا خط مانور)، ملاحظات عایقی فیدرها و حداکثر جریان قابل تحمل کابل‌ها و خطوط (که فیدرهای مجاور تا چه حد می‌توانند بار فیدر معیوب را تحمل کنند) از جمله مواردی است در این نوع شبکه‌ها باید مدنظر قرار گیرند.



شکل ۱-۳- آرایش شبکه شعاعی





## نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه مطالب ارائه شده و مطالعاتی در این پایان‌نامه انجام شد می‌توان نتایج زیر را بیان کرد:

۱- یکی از اهداف جبران توان راکتیو قرار گرفتن ولتاژ شین‌ها در محدوده مجاز است. منتهی ممکن است افت

ولتاژ ناشی از توان راکتیو به میزانی باشد که حتی اگر تمام توان راکتیو جبران گردد، ولتاژ شین‌ها در محدوده

مجاز قرار نگیرند.

۲- در مطالعاتی که در این تحقیق انجام شد، سود حاصل از کاهش تلفات انرژی تنها مربوط به شبکه مورد

مطالعه در نظر گرفته شد. در صورتی که کاهش تلفات انرژی در شبکه‌های بالا دست نیز باید لحاظ گردد. به

عبارتی لازم است مشخص باشد که اگر مقدار مشخصی در سیستم توزیع تلفات کاهش داده می‌شود، در کل

سیستم قدرت چه میزان تلفات کاهش داده شده‌است.

۳- در بررسی شبکه مورد مطالعه مشاهده شد که اعوجاج هارمونیکی کل و همچنین اعوجاج هارمونیکی ولتاژ

برخی از باس‌ها در اثر خازن‌گذاری بهینه افزایش جزئی پیدا کردند. البته با توجه ارزش اقتصادی منافع بدست

آمده (کاهش تلفات انرژی و سود حاصل از خازن‌گذاری) و بهبود پروفیل ولتاژ باس‌ها می‌توان از اثرات این

موضوع چشم‌پوشی کرد. البته اگر در شبکه‌ای اعوجاج هارمونیکی پارامتری تأثیرگذار و مهم باشد می‌توان با

تغییر مقدار  $K_n$  در تابع هدف، مسئله را حل کرد که در این حالت احتمال دارد که منافع بدست آمده فوق در

حد مقدار قبلی خود نباشد.

۴- الگوریتم ارائه شده برای شبکه‌های فوق توزیع مناسب است. در شبکه‌های فشار ضعیف این الگوریتم مناسب

نیست. چرا که شبکه‌های فشار ضعیف را نمی‌توان متعادل فرض کرد (به دلیل الگوی مصرف مشترکین)، که

پیشنهاد می‌شود برای شبکه‌های فشار ضعیف این موضوع مد نظر قرار گیرد.

## فهرست مراجع

- [1] X. Wang, J. R. McDonald, "Modern power system planning", New York: McGraw-Hill Publication, 1994.
- [2] H.Saadat, "power system analysis, second edition," Mvgraw Hill, United states of America, 2000.
- [3] روحانی، انسبیه، "تغییر ساختار در شبکه‌های توزیع به کمک الگوریتم ژنتیک به منظور کاهش تلفات با در نظر گرفتن خازن"، موسسه آموزش عالی خاوران، بهمن ۱۳۹۲.
- [4] Willis H L. Power Distribution Planning Reference Book, 2nd Ed. New York: Marcel Dekker, 2004, p. 1217
- [5] Ault G W, Foote C E T, Mcdonald J R, " Distribution system planning in focus " , IEEE Power Eng , Review 2002 , 22(1): 60-62.
- [6] Ng H. N., Salama M. M. A., and Chikhani A. Y., "Classification of Capacitor Allocation Techniques," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 15, No.1, 2000.
- [7] وزارت نیرو، شرکت توانیر، سطوح ولتاژ شبکه‌های توزیع نیروی برق ایران.
- [8] محمودی، عبدالله، حسینیان، سید حسین، بهنیا، فریدون، "پخش بار پسر و پیشرو بهینه شده در شبکه‌های توزیع"، چهاردهمین کنفرانس سراسری توزیع نیروی برق، کرمان ۱۳۸۸.
- [9] حسینیان، سید حسین، وحیدی، بهروز " بهینه کردن تلفات در سیستم‌های توزیع با استفاده از خازن"، اولین های کنفرانس شبکه توزیع ۱۳۷۰.
- [10] P. A. Daly and J. Morrison, "Understanding the Potential Benefits of Distributed Generation on Power Delivery Systems", Rural Electric Power Conference, 2001, pp. A2/1-A2/3.
- [11] H. Lee Willis and Walter G. Scott, Distributed Power Generation: Planning and Evaluation, volume 10 of Power Engineering. Marcel Dekker, 2<sup>nd</sup> Edition, 2000.
- [12] Grainger . JohnJ & Stevenson Wiliam, " Power System Analysis", McGraw-Hill, 1994.
- [13] سایت‌های علمی در مورد خازن گذاری :
- [www.electro-technic.loxblog.com](http://www.electro-technic.loxblog.com)
- [14] حامدنی، حمید، "بررسی اثرات منفی خازن گذاری در شبکه‌های توزیع"، سیزدهمین کنفرانس سراسری شبکه‌های توزیع نیروی برق، گیلان، ۱۳۸۷.
- [15] مهرانگیز کافی، "خازن گذاری بهینه روی فیدرهای نمونه شبکه توزیع فشار متوسط استان هرمزگان به منظور کاهش ولتاژ و کاهش تلفات"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوجه نصیر الدین طوسی، تابستان ۱۳۷۸.
- [16] راجر دوگان، مارک مک گراناها، دپ بیٹی (دکتر جواد روحی، مهندس سید علی نبوی نیایکی، مهندس عبدالرضا شیخ الاسلامی، مهندس حسین محمدیان)، "کیفیت توان سیستم های الکتریکی"، چاپ اول، بابلسر، دانشگاه مازندران، مرداد ۱۳۷۸.

[۱۷] جی سی داس (دکتر بهروز وحیدی، مهندس محمد رضا بانک توکلی، مهندس محمد جواد البرزی، مهندس رضا شریفی نسب)، "بررسی سیستم های قدرت"، نشر گل آفتاب، دقت، چاپ یکم تابستان ۱۳۸۵.

[۱۸] گروه مولفان، "هارمونیک ها"، مجله تکنولوژی دانشگاه صنعتی شریف، نشر دانشگاه صنعتی شریف، صفحات از ۲۲-۲۹، ۱۳۸۴.

[۱۹] دکتر سید حسین صادقی، مهندس آرتین درمیناسیانس، دکتر شهرام کوهساری، "هارمونیک ها در شبکه قدرت"، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تابستان ۱۳۸۲.

[۲۰] وزارت نیرو، شرکت توانیر، "استانداردهای حدود مجاز هارمونیک ها در سیستم برق ایران".

[21] Randy L. Haupt, Sue Ellen Haupt , " Practical Genetic Algorithms, Second Edition, John Wiley and Sons, 2004

[22] H. Xie, M. Zhang, "Parent Selection Pressure Auto-Tuning for Tournament Selection in Genetic Programming", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 17, no. 1, pp. 1-19, Feb. 2013

[۲۳] سید عباس طاهر، علی عبدالعلی پور عدل، سید احمد حسینی، "جایابی و تعیین اندازه خازن ها در سیستم توزیع به منظور کاهش تلفات در حضور بارهای غیرخطی توسط الگوریتم ژنتیک"، بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو، آبان ۱۳۸۶.

[24] M. E Haaron , et al, "Optimal Capacitor Allocation on Radial Feeders using Genetic Algorithm", The 8<sup>th</sup> International Middle East Power system Conference , MEPCON 2001, pp. 783-788.