خازن گذاری در شبکه های فشار ضعیف
با توجه به توزیع تجمعی مشترکین

محمود اصغری فرد **کامبیز زینالی خامنه**

شرکت توزیع نیروی برق تبریز **شرکت پرتو خازن**

کلمات کلیدی: شبکه فشار ضعیف، توان راکتیو، توزیع تجمعی، پروفیل ولتاژ

۱ – چکیده:

جاری شدن توان راکتیو در شبکه افزایش تلفات ، ظرفیت مفید بهره برداری خطوط و ترانسفورماتورها را کاهش داده و موجب کاهش کیفیت توان تحویلی نیز می گردند. با تولید محلی توان راکتیو می توان ضمن کاهش تلفات و آزادسازی ظرفیت شبکه سبب افزایش کیفیت توان نیز گردید، اما اگر در میزان جبران سازی توان راکتیو دقت لازم بعمل نیاید اضافه ولتاژهای ایجاد شده موجب صدمه دیدن تجهیزات مشترکین خواهد شد.

در برخی نقاط خازن های منصوبه و تعدادی از مشترکین دچار حادثه شده بودند و این موضوع جای سوال برای بهره برداران ایجاد نموده بود، بررسی بعمل امده نشان می دهد که اگر تعداد مشترکین شاخه های فرعی قابل توجه باشد استفاده از دستورالعمل خازن گذاری معمول در شرکت های توزیع دارای خطای زیاد بوده و امکان وارد اوردن خسارت نیز دارد.

در این مقاله یک یک روش نظری ساده و کاربردی جهت خازن گذاری شبکه های فشار ضعیف مبتنی بر توزیع تجمعی مشترکین ارائه گردید که نتایج حاصل از ان و روشهای تحلیلی نظیر جستجوی کامل بسیار یه هم نزدیک می باشد لذا روش ارائه شده می تواند جایگزین مناسبی برای دستورالعمل خازن گذاری معمول در شرکت های توزیع باشد.

۲ – مقدمه

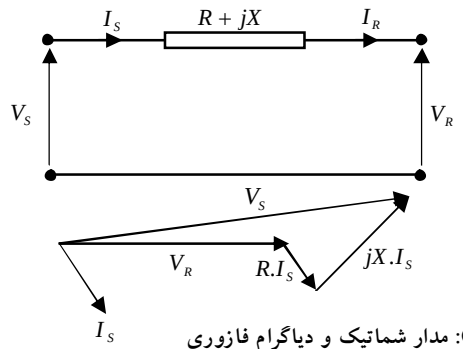
چگونگی بهره برداری از شبکه های الکتریکی یکی از مسایل قابل توجه مهندسین برق است و همواره تلاش طراحان و بهره برداران شبکه بر آنست که با طراحی و بهره برداری مناسب از شبکه موجب ارائه خدمات بهتر گردیده و رضایت مشترکین را فراهم آورند. ضریب قدرت پائین مشترکین یکی نگرانی های بهره برداران شبکه های توزیع است به نحوی که ضمن افزایش تلفات شبکه ها، ظرفیت مفید بهره برداری خطوط و ترانسفورماتورها را کاهش داده و موجب کاهش کیفیت توان تحویلی نیز می گردند. با تولید محلی توان راکتیو می توان ضمن کاهش تلفات و آزادسازی ظرفیت شبکه سبب افزایش کیفیت توان نیز گردید، اما اگر در میزان جبران سازی توان راکتیو دقت لازم بعمل

نیاید اضافه ولتاژهای ایجاد شده موجب صدمه دیدن تجهیزات مشترکین خواهد شد. در این مقاله روشی مبتنی بر توزیع تجمعی مشترکین جهت جبران سازی مناسب توان راکتیو در شبکه های فشار ضعیف ارایه شده است.

۳- نقش جبران سازی توان راکتیو در بهره برداری مناسب از شبکه های فشار ضعیف[3]

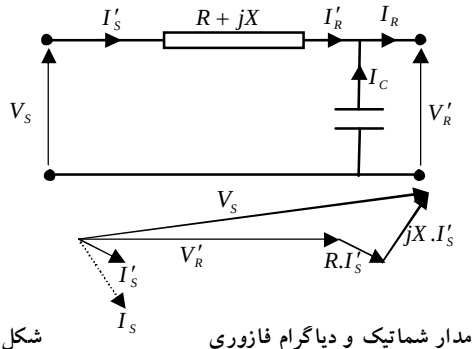
جایابی بهینه مکان و ظرفیت خازن در شبکه های الکتریکی یکی از مسایل قدیمی مطالعات سیستم است.در اغلب روشهای تحلیلی ارایه شده از فرضیات ساده کننده غیر واقعی نظیر استفاده از مدل شعاعی ساده فیدر بدون شاخه فرعی، توزیع یکنواخت بار در طول فیدر، سطح مقطع یکسان هادی در طول فیدر و... استفاده شده است که این فرضیات می تواند موجب به دست آوردن نتایج غیرواقعی و بعضاً معکوس در شبکه گردد.

در شکل(۱- الف) و(۱- ب) دیاگرام شماتیک شبکه قبل و بعد از نصب خازن موازی نشان داده شده است:



شکل (۱-الف): مدار شماتیک و دیاگرام فازوری شبکه قبل از نصب خازن

$$\Delta V \cong RI_S \cos\varphi + XI_S \sin\varphi$$
$$P_{loss} = R\left|I_S\right|^2$$



شکل (۱- ب): مدار شماتیک و دیاگرام فازوری شبکه پس از نصب خازن

$$\Delta V \cong RI_S \cos\varphi + X(I_S \sin\varphi - I_C)$$
$$P_{loss} = R[(I_S \cos\varphi)^2 + (I_S \sin\varphi - I_C)^2]$$

میزان کاهش تلفات و افزایش تقریبی ولتاژ ناشی از نصب خازن از رابطه (۱) قابل تعیین است:

$$\Delta V_C = X.I_C$$
$$\Delta P_{loss} = P_{loss} - P'_{loss} = R(-I_C{}^2 + 2I_C I_S \cos\varphi) \qquad (۱)$$

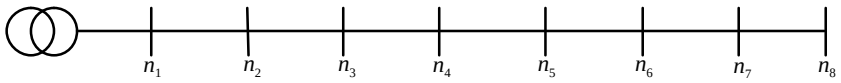
همانگونه که از رابطه (۱) قابل ملاحظه است اگر میزان جبران سازی توان راکتیو مناسب اختیار نگردد اضافه ولتاژ قابل توجه و اثر معکوس در کاهش تلفات را خواهد داشت.

در شبکه های فشار ضعیف جبران سازی توان راکتیو با توجه به توزیع غیریکنواخت بار نیازمند یک بررسی جامعی می باشد.

۴- خازن گذاری در شبکه های فشار ضعیف بر مبنای توزیع تجمعی مشترکین[2]

توزیع غیریکنواخت بار در شبکه فشار ضعیف مطالعه و بررسی آن را پیچیده نموده است از طرفی با توجه به تعداد قابل توجه مشترکین یک فیدر فشار ضعیف امکان دست یابی به الگوی مصرف تک مشترکین امکان پذیر نیست لذا بایستی با استفاده از **تقریب های مهندسی قابل**

قبول و جمع آوری حداکثر اطلاعات قابل دستیابی نسبت به بررسی، مطالعه و اصلاح شبکه فشار ضعیف اقدام نمود. شکل (۲) یک فیدر فشار ضعیف شعاعی ساده را نشان می دهد.



شکل (۲): فیدر فشار ضعیف نمونه

در این شبکه مفروضات زیرا را داریم:

الف: از عدم تعادل بار در این شبکه صرفنظر می گردد زیرا چنانچه شبکه دارای عدم تعادل بار قابل توجه باشد نصب جبران ساز توان راکتیو اثر معکوس دارد لذا اگر شبکه دارای عدم تعادل بار باشد ابتدا بایستی نسبت به اصلاح عدم تعادل بار اقدام و سپس به جبران سازی آن پرداخته خواهد شد.

ب: توزیع مشترکین در طول فیدر غیریکنواخت فرض می گردد به طوری که تعداد مشترکین در پایه ها با هم برابر نخواهند بود.

ج: از خازنهای $12.5\,[KVAR]$ جهت جبران سازی توان راکتیو استفاده خواهد شد.

د: حداقل توان راکتیو ابتدای فیدر مشخص می باشد.

ه : میزان مصرف مشترکین را یکسان فرض می کنیم.

سهم هر مشترک از حداقل توان راکتیو ابتدای فیدر از رابطه (۲) تعیین میگردد:

$$q_{cr} = \frac{Q^{F}_{\min}}{\sum_{i=1}^{n} n_i} \qquad (۲)$$

که در آن:

q_{cr}: حداقل توان راکتیو مصرفی هر مشترک

$Q^{F}_{\min}$: حداقل توان راکتیو فیدر

n_i: مجموع تعداد مشترکین پایه iام

n: تعداد کل پایه ها

می باشد.

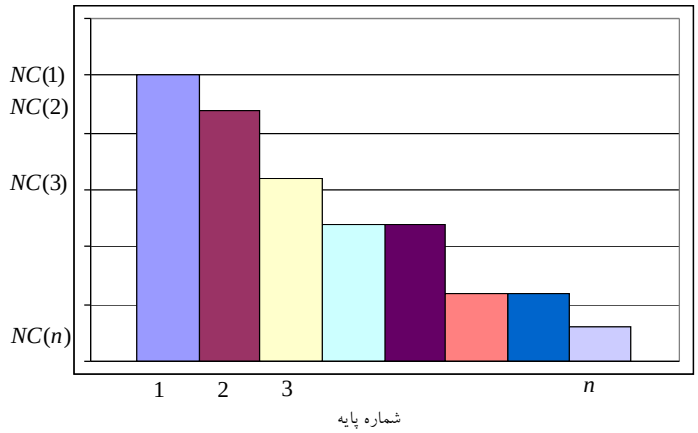
نمودار تجمعی توزیع مشترکین در طول فیدر **مطابق** شکل (۳) ترسیم می کردد که در آن محور افقی شماره پایه ها و محور عمودی بیانگر مجموع مشترکین پس از هر پایه است.

که در آن :

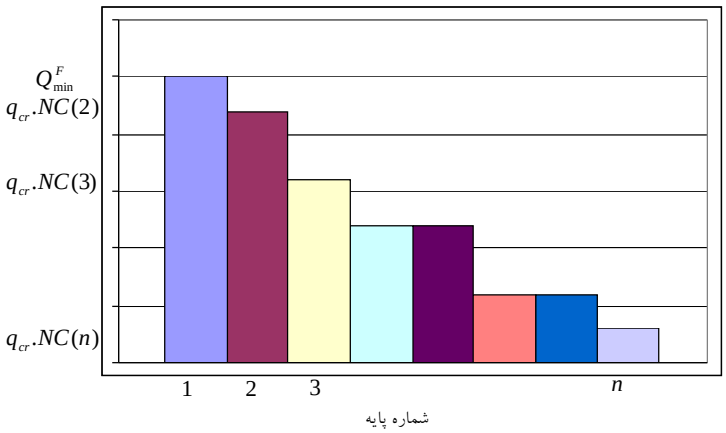
$$NC(i) = \sum_{j=i}^{n} n_j \qquad (۳)$$

می باشد.

از ضرب محور عمودی شکل (۳) در q_{cr} منحنی توان راکتیو تجمعی فیدر قابل دستیابی است:



شکل (۳): نمودار تجمعی مشترکین در طول فیدر



شکل (۴): منحنی توان راکتیو تجمعی فیدر

حال به شرح زیر نسبت به انتخاب محل نصب جبران سازی های توان راکتیو $12.5[KVAR]$اقدام می کنیم:

الف: از انتهای فیدر به سمت ابتدای فیدر حرکت نموده اولین نقطه ای (نقطه حساس) که توان راکتیو آن بزرگتر یا مساوی $12.5[KVAR]$است را تعیین می کنیم.

ب: پس از تعیین نقطه حساس، میانگین مشترکین نقطه حساس تعیین شده تا انتهای فیدر محاسبه و به کمک آن نقطه میانی محدوده قوق تعیین می گردد، این نقطه به عنوان اولین گزینه جهت نصب خازن می باشد.

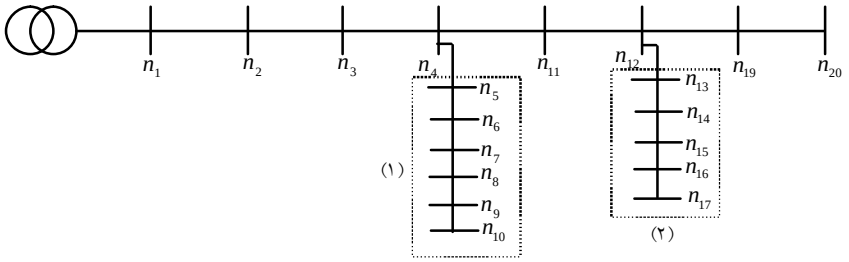
ج: نمودار توان راکتیو تجمعی اصلاحی فیدر را پس از نصب جبران فاز توان راکتیو از اولین نقطه ترسیم می گردد.

د: از آخرین نقطه مماس تعیین شده به سوی ابتدای فیدر حرکت می کنیم و مشابه حالت قبل اولین نقطه ای که نمودار تجمعی توان راکتیو آن بزرگتر یا مساوی $12.5[KVAR]$ گردد بعنوان نقطه حساس بعدی معرفی می شود. میانگین تعداد مشترکین بین این نقطه حساس و نقطه حساس قبل به عنوان محل نصب خازن بعدی است.

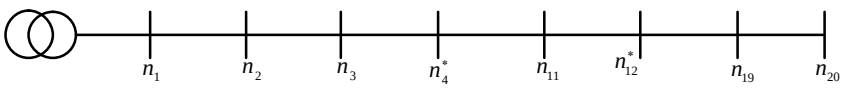
هـ: نمودار تجمعی اصلاحی فیدر را پس از نصب جبران ساز توان راکتیو در نقطه حساس تعیین شده ترسیم می کنیم و سپس الگوریتم را از بند د تکرار می کنیم.

این روش در عین سادگی مفاهیم مهمی را رعایت می نماید از جمله با این روش به حداکثر کاهش تلفات دست خواهیم یافت و پروفیل ولتاژ مناسب ترین وضعیت را خواهد داشت.

حال اگر فیدر مورد مطالعه مطابق شکل (۵) باشد، بخشهای (۱) و (۲) مطابق روش بیان شده، بررسی و در صورت امکان هر یک از بخشهای (۱) و (۲) به صورت مستقل جبران سازی گردیده و مشترکین مازاد جبران سازی نشده بعنوان مشترکین متمرکز مطابق شکل (۶) در ابتدای انشعاب لحاظ گردیده و با استفاده از روش بیان شده فیدر مورد مطالعه قرار می گیرد.



شکل (۵) : فیدر فشار ضعیف مورد مطالعه با انشعاب فرعی



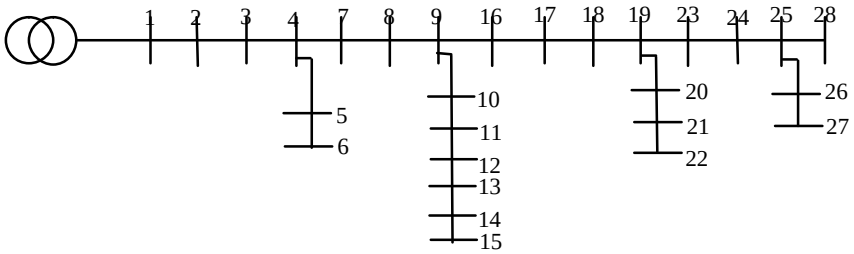
شکل (۶): فیدر فشار ضعیف پس از جبران سازی فیدرهای فرعی

تذکر: تعداد مشترکین شین **۴**ام در شکل (۶) برابر است با مشترکین **۴**ام در شکل (۵) بعلاوه مشترکین جبران سازی نشده شاخه فرعی (۱)

تعداد مشترکین شین **۱۲**ام در شکل (۶) برابر است با مشترکین **۱۲**ام در شکل (۵) بعلاوه مشترکین جبران سازی نشده شاخه فرعی(۲)

۵- جایابی بهینه خازن در یک فیدر فشار ضعیف نمونه واقعی در شهر تبریز

بخشی از شبکه فشار ضعیف شهر تبریز به روش بیان شده مورد مطالعه قرار گرفته است که در اینجا یک فیدر نمونه از ان اورده شده است. شکل (۷) فیدر نمونه واقعی مورد مطالعه را نشان می دهد که در جدول (۱) اطلاعات مربوط ان اورده شده است.



شکل (۷) : فیدر فشار ضعیف نمونه مورد مطالعه

جدول (۱): اطلاعات مشترکین فیدر نمونه

شماره پایه	تعداد مشترک فاز R	تعداد مشترک فاز S	تعداد مشترک فاز T
۱	۱	۱	۱
۲	۰	۰	۰
۳	۲	۲	۱
۴	۱	۱	۱
۵	۱	۱	۲
۶	۱	۱	۱
۷	۲	۲	۲
۸	۱	۲	۲
۹	۱	۱	۱
۱۰	۰	۰	۰
۱۱	۱	۱	۱
۱۲	۲	۲	۰
۱۳	۱	۱	۱
۱۴	۱	۱	۲
۱۵	۱	۱	۱
۱۶	۰	۰	۰
۱۷	۱	۱	۲

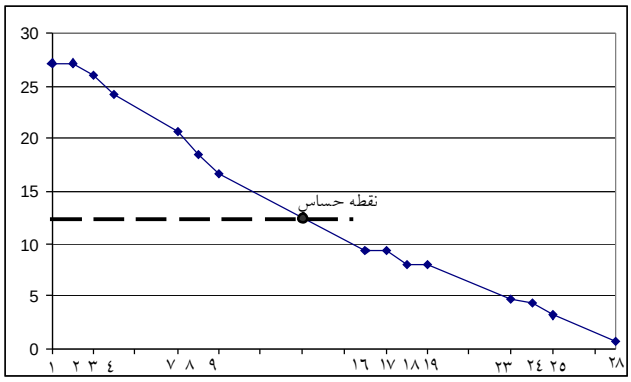
ادامه جدول (۱): اطلاعات مشترکین فیدر نمونه

شماره پایه	تعداد مشترک قاز R	تعداد مشترک قاز S	تعداد مشترک قاز T
۱۸	۰	۰	۰
۱۹	۲	۲	۱
۲۰	۱	۰	۱
۲۱	۰	۰	۰
۲۲	۱	۱	۰
۲۳	۰	۰	۱
۲۴	۱	۱	۱
۲۵	۱	۱	۰
۲۶	۱	۱	۱
۲۷	۰	۱	۱
۲۸	۱	۰	۱

حداقل توان راکتیو ابتدای فیدر برابر با $27.1[KVAR]$ می باشد لذا حداقل توان راکتیو هر مشترک این فیدر عبارت است از:

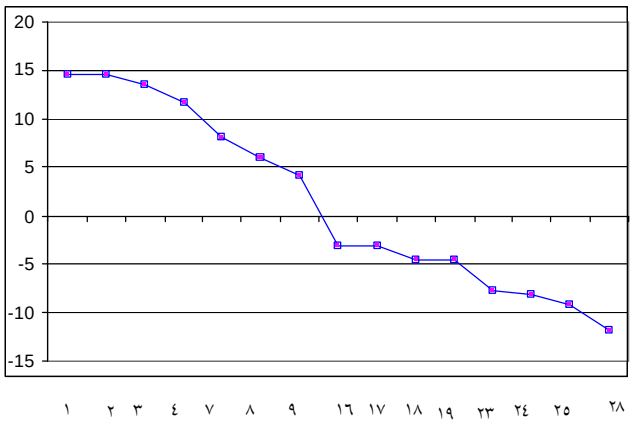
$$q_{cr} = \frac{Q^{F}_{\min}}{\sum_{i=1}^{n} n_i} = \frac{27.1}{75} = 0.3613$$

با توجه به حداقل توان راکتیو هر مشترک، نصب خازن در شاخه های فرعی مقدور نیست و برای یافتن مکان مناسب نصب در شاخه اصلی ابتدا مشترکین شاخه های فرعی را به سر انشعاب منتقل نموده سپس منحنی توریع تجمعی توان راکتیو ان را ترسیم می کنیم:



شکل (۸): منحنی توزیع تجمعی توان راکتیو

اولین نقطه حساس گره ۹ است و محل نصب خازن گره ۱۶ می باشد. منحنی توزیع تجمعی فیدر پس از نصب خازن در گره ۱۶ در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل (۹): منحنی توزیع تجمعی توان راکتیو پس از نصب اولین خازن

به طریق مشابه عمل نموده نقطه حساس دیگر گره ۳ می باشد و محل مناسب نصب خازن گره ۴ می باشد.

اگر در همین فیدر با دستورالعمل خازن گذاری موجود در شرکتهای توزیع اقدام به خازن گذاری می کردیم بایستی در گره های ۸ و ۱۹ خازن نصب می شد که در این صورت اضافه ولتاژ ناشی از عدم استقرار خارن در مرکز ثقل توان راکتیو و اضافه ولتاژ ناشی از نوسانات بار موجب اسیب دیدن خازن و برخی مشترکین خواهد شد که این مساله در چند شرکت توزیع رخ داده است.این فیدر به روش جستجوی کامل[1] مورد بررسی قرار گرفت که نتایج ان با روش ارائه شده، یکسان است.

جدول (۲) : مقایسه نتایج روش متعارف وروش پیشنهادی در فیدر توزیع مورد مطالعه

ردیف	ولتاژقبل ازجبران سازی	ولتاژبعدازجبران سازی بروش معمول درپیک	ولتاژبعدازجبران سازی بروش پیشنهادی درپیک	ولتاژبعدازجبران سازی بروش معمول درحداقل بار	ولتاژبعدازجبران سازی بروش پیشنهادی درحداقل بار
۱	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۸	۲۲۸
۲	۲۱۶/۴۵۲	۲۱۶/۷۵۹۹	۲۱۶/۷۵۹۹	۲۲۷/۴۲۲	۲۲۷/۴۲۲
۳	۲۱۲/۹۰۴۹	۲۱۳/۵۲۰۷	۲۱۳/۵۲۰۷	۲۲۶/۸۴۶۸	۲۲۶/۸۴۶۸
۴	۲۰۹/۷۴۴۵	۲۱۰/۶۶۷۳	۲۱۰/۵۱۱۲	۲۲۶/۳۷۰۴	۲۲۶/۳۷۰۴
۵	۲۰۹/۵۳۹۴	۲۱۰/۴۶۰۳	۲۱۰/۳۰۴۴	۲۲۶/۳۱۸۴	۲۲۶/۳۱۸۴
۶	۲۰۹/۳۹۱۷	۲۱۰/۳۱۲۳	۲۱۰/۱۵۶۵	۲۲۶/۲۸۱۴	۲۲۶/۲۸۱۴
۷	۲۰۶/۹۳۸	۲۰۸/۰۱۲۸	۲۰۷/۸۵۶۳	۲۲۵/۹۸۵۶	۲۲۵/۸۲۶
۸	۲۰۴/۴۲۷۴	۲۰۵/۵۶۴۲	۲۰۵/۴۹۷۵	۲۲۵/۶۷۷۹	۲۲۵/۳۳۶۳
۹	/۲۶۹۴	۲۰۳/۶۵۱۳	۲۰۳/۴۹۳۹	۲۲۵/۲۹۹۶	۲۲۴/۹۷۶۳
۱۰	/۲۹۲۷	۲۰۲/۶۷۴۸	۲۰۲/۵۱۷۳	۲۲۵/۰۵۵۵	۲۲۴/۷۳۲۲
۱۱	۴۰۰/۳۱۶	۲۰۱/۰۹۸۵	۲۰۱/۳۴۰۷	۲۲۱/۰۱۱۵	۲۲۱/۱۸۸۰
۱۲	۱۹۹/۴۸۶۹	۲۰۰/۸۶۹۸	۲۰۰/۷۱۲۲	۲۲۴/۶۰۴۵	۲۲۴/۲۸۱۱
۱۳	۱۹۹/۱۳۴۸	۲۰۰/۵۱۴۲	۲۰۰/۳۵۷	۲۲۴/۵۱۵۱	۲۲۴/۱۹۱۹
۱۴	۱۹۸/۹۳۰۵	۲۰۰/۳۰۶۸	۲۰۰/۱۴۹۹	۲۲۴/۴۶۲۹	۲۲۴/۱۳۹۸
۱۵	۱۹۸/۷۸۲۹	۲۰۰/۱۵۸۸	۲۰۰/۰۰۲	۲۲۴/۴۲۵۸	۲۲۴/۱۰۲۸
۱۶	۲۰۱/۲۳۵۹	۲۰۲/۷۷۳۵	۲۰۲/۴۵۸۱	۲۲۵/۲۰۳۲	۲۲۴/۸۷۸۳
۱۷	۲۰۰/۲۰۲۵	۲۰۱/۸۹۶۱	۲۰۱/۴۲۲۴	۲۲۵/۱۰۷۶	۲۲۴/۶۱۹
۱۸	۱۹۹/۲۲۵۸	۲۰۰/۹۱۹۷	۲۰۰/۴۴۵۸	۲۲۵/۰۲۸۱	۲۲۴/۳۷۵
۱۹	۱۹۸/۲۴۹۱	۱۹۹/۹۴۳۲	۱۹۹/۴۶۹۲	۲۲۴/۹۴۹۶	۲۲۴/۱۳۰۹
۲۰	۱۹۸/۱۵۸۱	۱۹۹/۸۵۵۲	۱۹۹/۳۸۰۴	۲۲۴/۹۲۸	۲۲۴/۱۰۹
۲۱	۱۹۷/۹۱۹۶	۱۹۹/۶۱۹۲	۱۹۹/۱۴۳۷	۲۲۴/۸۶۹۴	۲۲۴/۰۵۰۱
۲۲	۱۹۷/۶۸۱۱	۱۹۹/۳۸۳۲	۱۹۸/۹۰۷	۲۲۴/۸۱۰۷	۲۲۳/۹۹۱۲
۲۳	۱۹۷/۷۴۹۷	۱۹۹/۴۳۹۱	۱۹۸/۹۶۶۳	۲۲۴/۸۲۲۹	۲۲۴/۰۰۴۶
۲۴	۱۹۷/۱۵۹۳	۱۹۸/۸۴۶۹	۱۹۸/۳۷۴۶	۲۲۴/۶۷۴۶	۲۲۳/۸۵۶۵
۲۵	۱۹۶/۷۱۶۵	۱۹۸/۴۰۲۸	۱۹۷/۹۳۰۸	۲۲۴/۵۶۳۴	۲۲۳/۷۴۵۴
۲۶	۱۹۶/۳۶۵	۱۹۸/۰۴۷	۱۹۷/۵۷۶۱	۲۲۴/۴۷۳۷	۲۲۳/۶۵۶۲
۲۷	۱۹۶/۱۶۱۲	۱۹۷/۸۳۹۳	۱۹۷/۳۶۹۵	۲۲۴/۴۲۱۲	۲۲۳/۶۰۴
۲۸	۱۹۶/۰۰۴۰	۱۹۸/۵۵۰۰	۱۹۸/۹۷۸۷	۲۲۴/۶۰۰۴	۲۲۳/۷۸۲۴
درصدکاهش تلفات		٪۱۰/۲	٪۱۱/۷	٪۴/۶	٪۵/۲

۶- نتیجه گیری

یک روش ساده و کاربردی جهت خازن گذاری شبکه های فشار ضعیف مبتنی بر توزیع تجمعی مشترکین ارائه گردید که یکسان بودن نتایج این روش با روش جستجوی کامل موید دقت ان است. در اغلب نقاط خازن های منصوبه و تعدادی از مشترکین دچار حادثه شده بودند و این موضوع جای سوال برای بهره برداران ایجاد نموده بود، بررسی بعمل امده نشان می دهد که اگر تعداد مشترکین شاخه های فرعی قابل توجه باشد استفاده از دستورالعمل خازن گذاری معمول در شرکت های توزیع دارای خطای زیاد بوده و امکان وارد اوردن خسارت نیز دارد لذا روش ارائه شده می تواند جایگزین مناسبی برای ان دستورالعمل باشد.

۷- مراجع

1-M.H. Haque" Capacitor Placement in Radial Distribution Sysrem for Loss Reduction" IEE Proc.Genet.Transm.Distrib..Vol 146.No.6.September 1999

۲- جعفر نصرتیان، علیرضا وهاب زاده، جعفر جعفر زاده- " جایابی بهینه خازن های متعدد به روش جستجوی کامل در شبکه های توزیع" – پنجمین سمینار تخصصی قدرت، دانشگاه صنعت اب و برق – ۱۳۸۲

۳- محمد احمدیان – طراحی و توسعه شبکه های توزیع – انتشارات دانشگاه صنعت اب و برق