بررسی و بهبود قابلیت اطمینان در شبکه توزیع شهرهای زنجان و قزوین با استفاده از نرم‌افزار DIgSILENT

بابک قلی‌زاد
شرکت سرمایه گذاری کارکنان صنعت برق در منطقه زنجان - قزوین

علی اصغر امجدی
شرکت برق منطقه‌ای زنجان
مدیر عامل شرکت برق منطقه‌ای

مجتبی نعمتی
شرکت برق منطقه‌ای زنجان
معاونت نظارت بر توزیع

پرویز رمضان‌پور
مرکز توسعه و بهره‌وری نیرو
دانشگاه صنعت آب و برق

چکیده :

قابلیت اطمینان یکی از مباحث مهم در طراحی و بهره‌برداری سیستم‌های مختلف می‌باشد. از آنجا که اغلب مشترکین شبکه برق با شبکه‌های توزیع در ارتباط هستند و از این شبکه تغذیه می‌کنند و نیز بنابر آمار بیشتر قطعی‌های مشترکین ناشی از قطعی‌های شبکه توزیع می‌باشد, اهمیت بررسی قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع بیش از پیش آشکار می‌گردد. قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع شهرهای زنجان و قزوین در قالب پروژه تهیه طرح جامع توزیع شهرهای زنجان و قزوین به عنوان یکی از بخش‌های مهم پروژه مورد مطالعه قرار گرفت و راه‌حلهای ممکن برای بهبود وضعیت قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع این شهرها بررسی گردید. در اجرای این بخش از پروژه تهیه طرح جامع توزیع شهرهای زنجان و قزوین از نرم‌افزار DIgSILENT که قابلیت انجام محاسبات شبکه‌های توزیع را نیز دارد, استفاده گردید.

کلمات کلیدی : قابلیت اطمینان, شبکه‌های توزیع, پارامترهای اساسی, اندیس‌ها و شاخص‌های اساسی قابلیت اطمینان, نرم‌افزار DIgSILENT

1- مقدمه

در جامعه مدرن مهندسان و مدیران فنی مسئول برنامه‌ریزی, طراحی, ساخت و بهره‌برداری از ساده‌ترین محصولات تا پیچیده‌ترین سیستم‌ها هستند مصرف‌کنندگان نیز انتظار دارند که سیستم‌ها پایا, ایمن و اطمینان بخش باشند. قابلیت اطمینان یک سیستم عبارتست از احتمال عملکرد رضایت بخش آن سیستم تحت شرایط کار مشخص برای مدت زمان معین. اولین بخش؛ احتمال با یک عدد بیان می‌شود که همان شاخص ارزیابی قابلیت اطمینان می‌باشد. و اما سه بخش دیگر شامل عملکرد رضایت بخش, زمان و شرایط کار معین که همگی پارامترهای مهندسی هستند, و تئوری احتمال هیچ کمکی نمی‌کند. فقط مهندسین و متخصصین قادر به تامین

اطلاعات مربوط به آنها می‌باشند[1]. شیوه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان از نظر تاریخچه پیدایش, ابتدا در ارتباط با صنایع هوا فضا و کاربردهای نظامی شکل گرفت, ولی سریعا توسط سایر صنایع مانند صنایع هسته‌ای که تحت فشار شدید جهت تضمین ایمنی و قابلیت اطمینان راکتورهای هسته‌ای در تامین انرژی الکتریکی می‌باشند مورد توجه و کاربرد قرار گرفت.[2]

طبق آمار به دست آمده از شرکت‌های توزیع برق حدود 80٪ درصد از قطع برق و عدم اطمینان بخشی سیستم‌های الکتریکی ناشی از قطع برق در سیستم‌های توزیع می‌باشد. سیستم‌های توزیع به علت گستردگی, پایین بودن کیفیت تجهیزات به کار رفته در شبکه‌های توزیع, تاثیر شرایط جوی بر روی شبکه توزیع ونیز تصادفات و عوامل انسانی تاثیر گذار بر روی آن دارای قطعی‌های زیادی می‌باشد.[1,3و4] لذا, مطالعات قابلیت اطمینان اهمیت بالایی برای شرکت‌های توزیع برق دارد تا از این رهگذر هم رضایتمندی مشترکین حاصل شود و هم میزان انرژی توزیع نشده شرکت‌های توزیع کاهش یابد.

با توجه به اهمیت محاسبات قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع, این موضوع به عنوان یکی از بخش‌های کاری پروژه تهیه طرح جامع توزیع شهرهای زنجان و قزوین مورد توجه قرار گرفته و برای بهبود وضعیت آینده شبکه از این منظر مطالعاتی در شبکه‌های توزیع زنجان و قزوین صورت گرفت و طرح‌های اصلاحی در این زمینه ارائه گردید. مطالعات قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع در تهیه طرح جامع شهرهای زنجان و قزوین توسط نرم‌افزار DIgSILENT مورد بررسی قرار گرفت.

در ادامه ابتدا روند مطالعه و بهبود قابلیت اطمینان مورد بررسی قرار می‌گیرد که در مراجع [5,6و7] به تفضیل بیان شده‌اند و سپس روند مدل‌سازی خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد [2,8,9و10] و در انتها نتایج حاصل محاسبات و استفاده از روندهای بهبود قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع شهرهای زنجان و قزوین آورده می‌شود.

2- روند محاسبه اثر خطا و بهبود قابلیت اطمینان

روندها محاسبات قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع شامل سه روند کلی می‌باشد که عبارتند از :

روش مدل احتمالی[1]

روش وضعیت‌های متوالی (شبیه‌سازی مونت کارلو MCS)[2]

روش محاسبه اثر خطا[3]

روند محاسبه اثر خطا یکی از مرسومترین روندهای محاسبات قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع می‌باشد که توانمندیهای مناسبی در محاسبات قابلیت اطمینان و یافتن اندیس‌های مختلف نقاط بار دارد. روند محاسبه در این روش به صورت مرحله به مرحله در ذیل می‌آید:

گام اول: اطلاعات توپولوژیکی سیستم, درصد بارگذاری نقاط بار (پست‌های توزیع), امپدانس خط یا کابل, اطلاعات مربوط به قابلیت اطمینان اجزای سیستم, اطلاعات سیستم حفاظتی, محل و نمودار قطع ادوات حفاظتی جمع‌آوری می‌شود. و برای هر خط شبکه تجهیزات حفاظتی قطع کننده شناسایی می‌شود.

گام دوم: رابطهای بین نقاط بار و همچنین خط بین نقاط بار و مراکز تغذیه مشخص می‌شود.

گام سوم: مدل خطای هر قطعه i از سیستم در مسیر تغذیه نقطه مورد نظر محاسبه می‌شود و مقادیر سه اندیس اساسی قابلیت اطمینان در خطاهای چندگانه که باعث قطع آن نقطه بار به صورت گذرا و یا ماندگار شده‌اند محاسبه می‌شود.

گام چهارم : اندیس‌های مربوط به بار و انرژی و اندیس‌های مربوط به مشترکین محاسبه می‌شود. و نقاط بار بر اساس اندیس‌های حدی قابلیت اطمینان تعریف شده مرتب می‌شود.

گام پنجم : اگر اندیس‌های یک نقطه بار از نظر فرکانس ایجاد خطا مشکل داشته باشد از کاهش طول فیدر استفاده می‌شود یا اینکه مسیر تغذیه نقطه بار تا حد امکان زمینی می‌شود. اگر اندیس‌های نقطه بار از نظر زمان قطع مشکل داشته باشد از سوئیچ اتوماتیک یا ایجاد نقاط مانور جدید برای آن نقطه بار و مسیر تغذیه آن استفاده می‌شود.

روندهای گفته شده در بالا جهت محاسبات قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع به کمک روش محاسبه اثر خطا می‌باشد و در محاسبات قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع شهرهای زنجان و قزوین توسط نرم‌افزار DIgSILENT از این روش استفاده شده‌است. همچنین مدل خطای قطعات j ام به کمک اطلاعات حوادث جمع‌آوری شده در شرکت‌های توزیع محاسبه می‌شود.

3- محاسبه پارامترهای اساسی قابلیت اطمینان

پارامترهای اساسی قابلیت اطمینان به کمک اطلاعات حوادث شهرهای زنجان و قزوین محاسبه شدند. برای محاسبه پارامترهای اساسی قابلیت اطمینان در شهرهای زنجان و قزوین که در مطالعات تهیه طرح جامع مورد بررسی قرار گرفت, روش‌های زیر به کار گرفته شد.

ابتدا قطعی‌های ایجاد شده در شبکه تقسیم بندی شدند, این تقسیم بندی به صورت نمودار درختی در شکل (1) نشان داده شده‌است. فیدرهای شبکه توزیع نیز به دو گروه بزرگ فیدرهای هوایی و زمینی تقسیم بندی شدند. در زیر روند استفاده شده برای محاسبه پارامترهای اساسی قابلیت اطمینان از اطلاعات حوادث همراه با تعریف این پارامترها بیان می‌شود.

3-1- نرخ خرابی متوسط :

نرخ خرابی متوسط برای فیدرها با متوسط گیری تعداد خطاها برای هر کیلومتر فیدر در سال‌های سابقه اطلاعات حوادث به دست می‌آید. برای محاسبه مقدار متوسط نرخ خرابی مراحل زیر به کار گرفته شد

برای هر دو گروه فیدرها نرخ خرابی هریک از انواع قطعی‌ها در هر فیدر محاسبه گردید.

نرخ خرابی معادل برای هر فیدر در شبکه فشار متوسط با جمع کردن نرخ انواع قطعی‌ها در هر فیدر از رابطه زیر محاسبه شده‌است.

$$\lambda_{eq} = \lambda_f^1 + \lambda_f^2 + \lambda_f^* + \lambda_m^1 + \lambda_m^2 \qquad (1)$$

که در آن

λ_f^1: نرخ قطعی اتصالی قابل کلید زنی, λ_f^2: نرخ قطعی اتصالی غیر قابل کلید زنی, λ_f^*: نرخ قطعی گذرا, λ_m^1: نرخ قطعی طبق برنامه قابل کلید زنی و λ_m^2: نرخ قطعی طبق برنامه غیر قابل کلید زنی می‌باشد.

برای افزایش دقت و نیز رسیدن به نرخ خرابی متوسط برای دو نوع فیدر زمینی و هوایی، میانگین نرخ خرابی در تمام فیدرهای هوایی و زمینی موجود در شبکه به صورت جداگانه محاسبه شد. فیدرهایی را که نرخ خرابی آنها از مقدار میانگین به دست آمده برای نوع فیدر مورد بررسی (هوایی یا زمینی) به اندازه کمتر از دو برابر انحراف معیار تفاوت داشتند را انتخاب شده و بقیه فیدرها (هوایی یا زمینی) از محاسبات کنار گذاشته شدند. نرخ خرابی معادل نهایی از میانگین گیری در فیدرهای انتخاب شده برای نوع فیدر مورد بررسی (هوایی یا زمینی) بدست آمد.

برای بقیه فیدرها نرخ خرابی به دست آمده از همان فیدر, مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج حاصل از محاسبات نرخ خرابی متوسط در شهرهای زنجان و قزوین در جدول (1) آورده شده‌است.

3-2- زمان تعمیر :

به مدت زمانی که از ابتدای زمان شروع قطعی تا رفع کامل قطعی طول می‌کشد زمان تعمیر گفته می‌شود. برای زمان تعمیر متوسط در فیدرهای مختلف مراحل زیر به کار گرفته شد :

1-برای هر دو گروه فیدرها متوسط مدت زمان تعمیر انواع قطعی‌های ماندگار اتصالی و طبق برنامه قابل کلید زنی و غیر قابل کلید زنی محاسبه شد.

2- از مدت زمان‌های بدست آمده در مرحله دوم نسبت به تعداد خرابی‌ها در هر فیدر طبق رابطه زیر میانگین گیری وزنی به عمل آمد.

$$r_{m_1}^{eq} = \frac{\lambda_f^* \times r_f^t + \lambda_f^1 \times \left(r_k^f + r_{m_1}^f\right) + \lambda_m^2 \times r_{m_2}^f + \lambda_m^1 \times \left(r_k^m + r_{m_1}^m\right) + \lambda_m^2 \times r_{m_2}^m}{\lambda_{eq}} \qquad (2)$$

که در آن r_f^t زمان خطای گذرا, r_k^f زمان کلید زنی در قطعی‌های اتصالی قابل کلید زنی, $r_{m_1}^f$ زمان تعمیر بعد از انجام کلید زنی, $r_{m_2}^f$ زمان تعمیر قطعی‌های اتصالی غیر قابل کلید زنی, r_k^m زمان کلید زنی قطعی‌های طبق برنامه قابل کلید زنی, $r_{m_1}^m$ زمان تعمیر پس از انجام کلید زنی در قطعی‌های طبق برنامه قابل کلید زنی و $r_{m_2}^m$ زمان تعمیر قطعی‌های طبق برنامه غیر قابل کلید زنی می‌باشد. میانگین به دست آمده را به عنوان مدت زمان تعمیر در شبکه در نظر گرفته شد.

نتایج حاصل از محاسبات مدت زمان متوسط تعمیر در شهرهای زنجان و قزوین در جدول (2) آورده شده‌است.

3-3- زمان کلید زنی :

به مدت زمانی که از اول قطعی تا انجام مانور (باز شدن سکسیونر و جمپر و یا فیوز کات اوت) در شبکه طول می‌کشد, زمان کلید زنی گویند. برای محاسبه این مدت زمان مراحل زیر به کار گرفته شد:

1- برای هر دو گروه فیدرها مدت زمان کلید زنی در شبکه برای انواع قطعی‌های قابل کلید زنی محاسبه شدند.

2- متوسط زمان کلید زنی معادل از رابطه زیر بدست آمد:

$$r_k^{eq} = \frac{\lambda_f^* \times r_f^t + \lambda_f^1 \times r_k^f + \lambda_f^2 \times r_{m_2}^f + \lambda_m^1 \times r_k^m + \lambda_{m_2}^m}{\lambda_{eq}} \qquad (3)$$

میانگین وزنی به دست آمده به عنوان متوسط زمان کلید زنی فیدرهای مورد بررسی در نظر گرفته شد.

نتایج حاصل از محاسبات مدت زمان متوسط تعمیر در شهرهای زنجان و قزوین در جدول (3) آورده شده‌است.

پس از محاسبه مقادیر متوسط پارامترها این مقادیر به عنوان ورودی نرم‌افزار DIgSILENT برای انواع خطوط هوایی و زمینی, جهت محاسبات نرم‌افزار داده شد.

4- بررسی نتایج محاسبات قابلیت اطمینان در شهرهای زنجان و قزوین با استفاده از نرم‌افزار DIgSILENT

برای انجام محاسبات قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع شهرهای زنجان و قزوین با استفاده از نرم‌افزار DIgSILENT, فیدرهای شبکه توزیع شهرهای زنجان و قزوین به صورت گرافیکی و الکتریکی به نرم‌افزار معرفی شدند شکل(2) و شکل(3) شمای کلی شبکه توزیع شهرهای زنجان و قزوین را به صورت گرافیکی در نرم‌افزار نشان می‌دهد. شبکه توزیع شهر زنجان شامل 26 فیدر است که از چهار پست فوق توزیع تغذیه می‌شوند و شبکه توزیع شهر قزوین شامل 21 فیدر است که از چهار پست فوق توزیع تغذیه می‌شوند. برای کامل شدن اطلاعات جهت محاسبات قابلیت اطمینان, اطلاعات الکتریکی شامل متراژ هر یک از فیدرها, نوع هادی فیدرها, توان اکتیو و راکتیو هریک از نقاط بار, تعداد مشترکین تغذیه شونده از هر نقطه بار, اطلاعات و پارامترهای اساسی محاسبه شده برای هر قطعه فیدر به عنوان ورودی, وارد نرم‌افزار شدند. برای محاسبه قابلیت اطمینان از روش محاسبه اثر خطا که چگونگی انجام این روش در بند 2 آورده‌شده‌است استفاده گردید.

نتایج حاصل از محاسبات قابلیت اطمینان توسط نرم‌افزار DIgSILENT در دو شهر زنجان و قزوین, اندیس‌های اساسی و اندیس‌های بار و مشترکین هریک از نقاط بار و خروجی نیز شاخص‌های کلی سیستم می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبات در دو شهر زنجان و قزوین حاکی از آن بود که میزان شاخص‌های قابلیت اطمینان در این دو شهر از محدوده پیش بینی شده در پروژه تهیه طرح جامع توزیع فراتر رفته‌بود و این نشانگر ضعف شبکه از نقطه نظر قابلیت اطمینان می‌باشد.

در جدول (4) نمونه‌ای از خروجی نرم افزار نشان داده شده‌است. بر اساس این اندیس‌ها نقاط ضعف نسبی شبکه, از نظر وضعیت قابلیت اطمینان آن نقطه بار, نسبت به وضعیت کلی شبکه مشخص شدند. در شکل (4) خروجی کل سیستم از نظر شاخص‌های قابلیت اطمینان در شهر زنجان ارایه می‌گردد.

جهت افزایش قابلیت اطمینان از نظر نرخ قطعی در شهر زنجان دو فیدر این شهر از نوع فیدرهای هوایی به صورت فیدرهای زمینی تبدیل شدند. در ضمن برای کاهش مدت زمان حضور قطعی در سیستم در شهر زنجان استفاده کلیدهای اتوماتیک سکشنالایزر در شبکه هوایی, نصب فیوز در انشعابات فرعی شبکه هوایی این شهر و ایجاد چهار نقطه مانور جدید در شبکه توزیع این شهر پیشنهاد گردید. بدین ترتیب نقاط ضعف شبکه زنجان اصلاح شد و مقادیر پارامترها به میزان مورد انتظار رسید. همچنین, جهت افزایش قابلیت اطمینان از نظر نرخ قطعی در شبکه توزیع شهر قزوین احداث دو فیدر جدید در شهر قزوین پیشنهاد داده شد تا طول تعدادی از فیدرهای طولانی این شهر کاهش یابد در ضمن برای کاهش مدت زمان حضور قطعی در سیستم توزیع شهر قزوین 5 نقطه مانور جدید به شبکه توزیع این شهر اضافه شد و برای فیدرهای هوایی نیز پیشنهاد شد تا از کلیدهای اتوماتیک سکشنالایزر استفاده گردد و در ضمن در هر شاخه فرعی فیدرهای هوایی پیشنهاد نصب فیوز داده شد. به کمک این تغییرات شبکه توزیع شهر قزوین نیز اصلاح و مقادیر پارامترها به میزان دلخواه رسید.

خروجی نرم‌افزار پس از اصلاحات انجام شده در همان شبکه در شکل (5) نشان داده شده‌است.

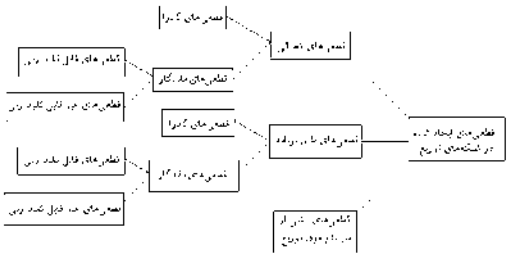
5- نتیجه گیری

محاسبات قابلیت اطمینان در شبکه توزیع شهرهای زنجان و قزوین که در قالب پروژه تهیه طرح جامع توزیع شهرهای زنجان و قزوین که توسط نرم‌افزار DIgSILENT انجام شد نشان داد که استفاده از فیدرهای با شعاع تغذیه کوتاه و استفاده از فیدرهای زمینی – تا حد امکان – در شبکه‌های توزیع باعث کاهش نرخ خرابی سیستم می‌شود. و همچنین ایجاد نقاط مانور در شبکه و استفاده از اتوماسیون شبکه‌های توزیع در کاهش مدت زمان قطعی در سیستم تاثیر بسزایی دارد.

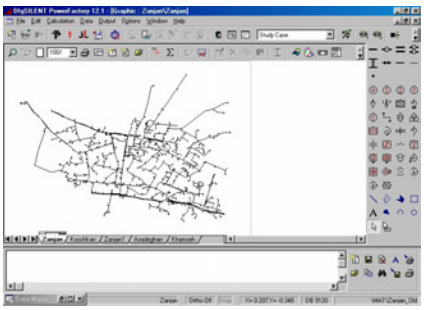
در ضمن باید توجه داشت که توانمندی‌های نرم‌افزارDIgSILENT در انجام سریع محاسبات و ارایه خروجی‌های مختلف امکان مطالعه هر گونه تغییر در شبکه را به راحتی در اختیار برنامه‌ریزان شبکه قرار می‌دهد.

6- زیر نویس‌ها

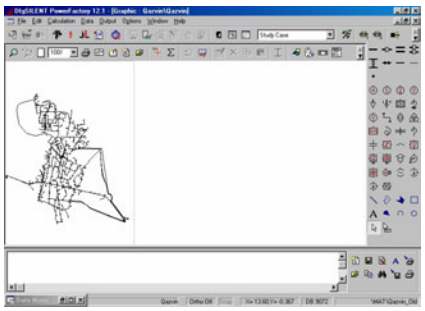
1) Stochastic models
2) State Sequencing methods
3) Failure effect analysis (FEA) methods



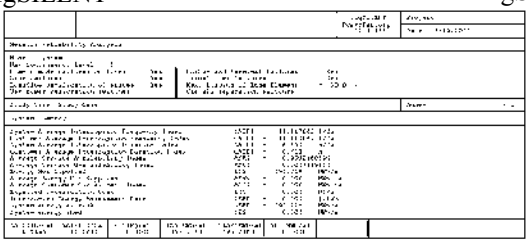
شکل (1) نمودار درختی تقسیم‌بندی قطعی‌ها



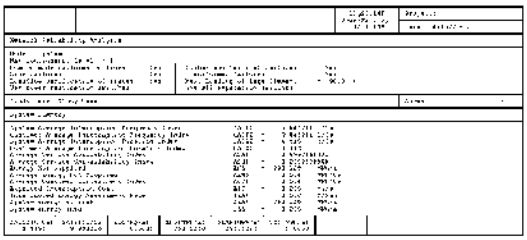
شکل (2) شمای گرافیکی شهر زنجان در نرم افزار DIgSILENT



شکل (3) شمای گرافیکی شهر قزوین در نرم افزار DIgSILENT



شکل (4) نمونه‌ای از خروجی نرم‌افزار DIgSILENT وضعیت موجود



شکل (5) خروجی نرم‌افزار DIgSILENT پس از انجام اصلاحات در شبکه

نام شهر	نوع فیدر	نرخ خرابی متوسط
زنجان	هوایی	2.31
زنجان	زمینی	0.3
قزوین	هوایی	2.41
قزوین	زمینی	0.3

جدول(1) نرخ خرابی متوسط فیدرهای زمینی و هوایی شهرهای زنجان و قزوین

نام شهر	نوع فیدر	متوسط زمان تعمیر
زنجان	هوایی	44/31 دقیقه
زنجان	زمینی	82/3 دقیقه
قزوین	هوایی	45/21 دقیقه
قزوین	زمینی	84/5 دقیقه

جدول(2) متوسط زمان تعمیر در فیدرهای زمینی و هوایی شهرهای زنجان و قزوین

نام شهر	نوع فیدر	نوع سوئیچ	مدت زمان متوسط(دقیقه)
زنجان	هوایی و زمینی	سکسیونر	14
زنجان	هوایی	جمپر	28
زنجان	هوایی	فیوز	16
قزوین	هوایی و زمینی	سکسیونر	16
قزوین	هوایی	جمپر	27
قزوین	هوایی	فیوز	17

جدول(3) مدت زمان کلید زنی در فیدرهای هوایی و زمینی شهرهای زنجان و قزوین

Name	Feeder	Act.Pow. kW	Cts nom	LPIT Ch/a	LPENS MWh/a	ACIF 1/a	ACIT h/a
45158sb00089	Vali	206	277	2176.026	1.61827	14.7919	7.85569
45158sb00086	Vali	131	188	1444.03	1.00621	14.8125	7.68101
45169sp00025	Vali	19	28	210.5086	0.14285	14.8289	7.51817
45157sp00019	Vali	93	138	1204.451	0.8117	14.6939	8.7279
45157sp00018	Vali	59	85	741.6929	0.51482	14.6942	8.7258
45157sb00133	Vali	243	467	4167.529	2.16854	14.6708	8.92405
45157sb00131	Vali	204	370	3235.398	1.78384	14.692	8.74432

جدول (4) نمونه‌ای از خروجی نرم‌افزار DIgSILENT برای نقاط بار روی یک فیدر

7- مراجع :

[1] Warren, Ch. "Distribution Reliability: What Is It?" IEEE Industry Applications Magazine July / August 1996 page 32 – 37

[2] Billinton, R. and Allan R. N. "Reliability Evaluation of Engineering system: Concepts and Techniques" Plenum Press, New York 1984

[3] گونن، توران "مهندسی توزیع برق" ترجمه رضایی ساروی، مصطفی – تهران: مرکز نشر دانشگاهی– چاپ اول 1375 – شمارگان 3000 نسخه

[4] بورک, جیمز "مهندسی سیستم‌های توزیع" ترجمه حقی‌فام، محمودرضا و شیخ‌الاسلامی، محمدکاظم – هرمزگان: شرکت توزیع نیروی برق هرمزگان – دانشگاه هرمزگان، چاپ اول 1380 شمارگان 2000 نسخه

[5] Billinton, R. and Allan R. N. "Reliability Evaluation of Power Systems" Plenum Press, New York And London 1984

[6] Dialynas, E.N. and Papadopoulos, M.P. "Reliability Assessment Studies In Distribution Network Operating And Planning" CIRED 1989

[7] Casteren J. and Bollen M. and Schiemg M. "Reliability Assessment in Electrical Power Systems: The Weibull – Markov Stochastic Model" IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.36, No. 3 May / June 2000

[8] Allan R. N. and Billinton R. and Sjarief I. and Goel L. and So K. S. "A RELIABILITY TEST SYSTEM FOR EDUCATIONAL PURPOSES – BASIC DISTRIBUTION SYSTEM DATA AND RESULTS" IEEE Transactions on Power Systems, Vol.6, No. 2, May 1991

[9] "The IEEE Reliability Test System – 1996 A report prepared by the Reliability Test System Task Force of the Application of Probability Methods Subcommittee" IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 3 August 1999

[10] دوریس لوید گروش، ویلیام "مبانی نظریه قابلیت اعتماد (پایایی)" ترجمه نخکوب مسعود – تهران: موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف – چاپ اول 1381 شمارگان 2000 نسخه