

## مدلسازی تأثیر اتوماسیون در قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی

تقی بارفروشی\*\*، حسن حبیب پور کاشی\*، محمودرضا حقی فام\*

\*دانشگاه تربیت مدرس - \*\*شرکت برق منطقه ای مازندران

(ایران)

کلمات کلیدی: سیستم های توزیع - اتوماسیون - قابلیت اطمینان

### چکیده:

مقاله، مدلسازی و ارزیابی کمی این تأثیر بر شاخص قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع انجام شده است. همچنین تأثیر خرابی هر یک از بخش‌های یک سیستم اتوماسیون که شامل (کامپیوتر، سیستم مخابراتی و RTU) می‌باشد، مورد مطالعه قرار گرفته است. به منظور مطالعه موردی، فیدری ۲۰ کیلوولت از شبکه توزیع شهر ساری مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج آن در حالت‌های مختلف ارائه شده است.

اتوماسیون توزیع از عوامل مهمی است که نقش قابل ملاحظه‌ای را در کاهش مدت زمان‌های خاموشی ایفا می‌نماید. بطوریکه پس از وقوع خرابی در یکی از بخش‌های سیستم و شناسایی آن، عملیات کلیدزنی و بازیابی بار توسط سیستم‌های کنترل از راه دور انجام می‌شود. بدین ترتیب عملیات کلیدزنی بصورت دستی حذف شده و لذا بهبود قابل توجهی در شاخص‌های قابلیت اطمینان را به همراه خواهد داشت. در این

در این مقاله، مدهای خرابی یک سیستم اتوماسیون که شامل ۳ بخش سیستم کامپیوتری، سیستم مخابراتی و RTU می‌باشد، در مطالعات ارزیابی قابلیت اطمینان فیدرهای فشار متوسط توزیع وارد می‌شود. سایر بخش‌های مقاله بصورت زیر می‌باشند: در بخش (۲) مفهوم اتوماسیون و نحوه عملکرد آن در سیستم توزیع مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش (۳) نحوه مدل‌سازی ارزیابی قابلیت اطمینان ارائه می‌گردد. در بخش (۴) تأثیر مدهای خرابی بخشهای مختلف سیستم اتوماسیون بر قابلیت اطمینان و مدل‌سازی آنها بررسی شده و در بخش (۵) مطالعه موردی بررسی یک فیدر نمونه از شبکه توزیع شهر ساری انجام شده و در بخش (۶) نتایج مربوط به این مقاله آمده است.

## ۲- اتوماسیون توزیع

اتوماسیون توزیع عموماً به معنای کنترل از راه دور تعدادی از وظایف بهره‌برداری شبکه می‌باشد [۲]. تنوع در تعداد فعالیت‌های موجود در بهره‌برداری از سیستم‌های توزیع، سطوح مختلفی از اتوماسیون را به دنبال دارد، که هر یک از سطوح با ملاحظه ارزیابی اقتصادی انتخاب و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. سیستم اتوماسیون توزیع دارای یک سیستم کنترل و مانیتورینگ یکپارچه به منظور انجام وظایف از پیش تعیین شده، می‌باشد. نحوه عملکرد سیستم اتوماسیون در یک فیدر فشار متوسط بدین صورت است که پس از وقوع خرابی یا خطایی در یک بخش از آن فیدر، محدوده

از آنجاییکه مقوله کیفیت در برق یکی از موضوعات مهم در تأمین برق مشتریان است لذا امروزه تأمین انرژی الکتریکی با قابلیت اطمینان مناسب برای مشتریان به عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت برق از جمله اهداف مهم شرکت‌های برق می‌باشد. اتوماسیون توزیع و کنترل از راه دور، با بهره‌گیری از تکنولوژی، روش مناسبی برای کاهش هزینه بهره‌برداری و لذا بهبود قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد. به نحویکه عملیات اتوماسیون و ارزیابی سرویس می‌تواند نیاز به اعزام پرسنل به نقاط کلیدزنی (مانور) را حذف نماید، زیرا زمان لازم برای کلیدزنی، پس از وقوع خرابی و ارزیابی بخشی از شبکه توزیع، تأثیر مهمی در قابلیت اطمینان سیستم دارد. در حال حاضر بسیاری از شرکت‌های برق در صدد استقرار این سیستم در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی برآمده و در سطح جهان سالیان زیادی است که این سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. [1]، اما یکی از مواردیکه در استفاده از این سیستم‌های کنترلی باید مدنظر قرار گیرد، محاسبه کمی تأثیر آن بر شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد تا براساس معیارهای اقتصادی، سطح مورد نظر از اتوماسیون تعیین گردد. بدین منظور ایجاد مدل‌هایی که بواسطه آنها بتوان اثرات اتوماسیون در قابلیت اطمینان را لحاظ نمود، ضروری است. یکی از موضوعات اساسی در پروژه اتوماسیون توزیع، ایجاد مدل‌های مناسبی است که توجیه مناسب‌تری از رفتار اتوماسیون را به همراه داشته باشند.

خطای شبکه را شناسایی و بطور اتوماتیک و کنترل از راه دور، بخش معیوب شبکه را ایزوله نموده و باز یا بسته نمودن سکسیونرهای موجود که به عنوان نقطه رینگ یا مانور در روی خط قرار گرفته‌اند، بارهای قابل بازیابی را تأمین نموده و بدین ترتیب زمان متوسط خاموشی مشترکین را کاهش داده و بنابر این باعث بهبود قابلیت اطمینان سیستم می‌گردند. سیستم اتوماسیون شامل سه بخش سیستم کامپیوتری، سیستم مخابراتی و RTU می‌باشد. ارتباط بین مرکز کنترل و RTU ها از طریق سیستم مخابراتی انجام شده که در نهایت منجر به قطع و وصل کلید، می‌شود. شکل (۱) دیاگرام تک خطی فیدر مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در صورت وقوع خرابی بین نقاط ۳ و ۴ که یک خط هوایی به طول ۱۸۴ متر است، بریکر ابتدای فیدر عمل کرده و فیدر را قطع می‌کند. با وقوع این خطا، سیگنال‌های خطا به مرکز کنترل انتقال یافته و سیستم کامپیوتری مکان خطا را با چک نمودن هر یک از RTU ها مشخص می‌کند. پس از شناسایی محل خطا، کامپیوتر از طریق سیستم مخابراتی، سیگنال‌های کنترلی را برای باز کردن سکسیونر S1 و بستن TS ارسال می‌نماید و بدین ترتیب، برقدار شدن شبکه حد فاصل S1 و TS توسط فیدر مجاور که قبلاً امکانات رینگ با آن ایجاد شده است، امکان پذیر شده و سایر بخش‌های این فیدر پس از انجام تعمیرات خط معیوب، بازیابی خواهند شد. نکته قابل ذکر اینکه، تعداد و محل سکسیونرها از پارامترهای موثر در عملکرد موفق یک سیستم اتوماسیون در بهبود قابلیت اطمینان این فیدر می‌باشد. آنچه در این رویه کنترلی ملاحظه می‌شود این است که در یک سیستم اتوماسیون شده، بازیابی

بار پس از وقوع خرابی بستگی شدیدی به عملکرد سیستم های نظارت و کنترل و مخابراتی دارد. در صورتیکه عملکرد این سیستم‌ها صحیح باشد می‌توان به تعیین مکان خطا و جداسازی آن بصورت خودکار دست یافته و زمان خاموشی را بطور قابل توجهی کاهش داد. اما در صورت عملکرد ناصحیح این سیستم‌ها، کلیدزنی‌های لازم باید بصورت دستی انجام شود که این موضوع باعث افزایش زمان خاموشی مشترکین می‌شود.

### ۳- مدل سازی و ارزیابی قابلیت اطمینان

طبق تعریف، قابلیت اطمینان یک سیستم عبارتست از احتمال سالم بودن سیستم پس از مدت زمان معین به شرط آنکه سیستم در ابتدای زمان سالم بوده باشد [3]. قابلیت اطمینان یک سیستم، متأثر از احتمال خرابی اجزاء آن می‌باشد. بنابراین برای ارزیابی آن، به مدل مناسبی که ویژگیهای سیستم را توصیف نماید، نیاز می‌باشد. در سیستمهای توزیع انرژی الکتریکی، اجزاء از نظر قابلیت اطمینان، سری هستند بطوریکه برای برقراری سرویس یک نقطه بار، کلیه تجهیزاتی که بین منبع و بار قرار دارند باید سالم باشند. در یک سیستم اتوماسیون که مشتمل بر مرکز کنترل، سیستم مخابراتی و RTU است، برای دستیابی به عملکرد موفق این سیستم و کنترل از راه دور تجهیزات شبکه، لازم است اجزاء فوق عملکرد صحیح داشته باشند. به عبارت دیگر، در صورت وقوع خرابی در یکی از آنان، عملیات کنترل از راه

در حالت اول فرض می‌شود که احتمال وقوع خرابی در هر یک از اجزاء سیستم اتوماسیون، صفر است. به عبارت دیگر سیستمهای نظارت، کنترل، و مخابرات صحیح عمل کرده و احتمال عملکرد موفق سکسیونرهای موجود در جداسازی بخش معیوب و بازیابی بار، ۱۰۰ درصد می‌باشد. به عنوان مثال در صورت وقوع اتصال کوتاه در خط هوایی حد فاصل نقاط ۴ و ۵، پس از عملکرد بریکر و شناسایی محل خطا، کلید S1 باز شده و خطا بصورت اتوماتیک از سیستم جدا می‌شود. پس از آن باره‌ای ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ از طریق فیدر اصلی تامین خواهند شد. لذا با توجه به عملکرد موفق سیستم اتوماسیون مدت زمان بازیابی هر یک از نقاط بار، برابر مدت زمان کلیدزنی بطور اتوماتیک بوده که مقدار آن در این مقاله برابر ۵ ثانیه فرض شده است.

### ۳-۲- خرابی مرکز کنترل

مرکز کنترل سیستم اتوماسیون دارای یک کامپیوتر است که پردازش سیگنالهای دریافتی و ارسال علائم کنترلی در آن انجام می‌شود. ارسال علائم کنترلی می‌تواند توسط نرم افزار و یا اپراتور انجام شود. در صورت خرابی در سیستم کامپیوتری، کل سیستم از کنترل خارج شده و در چنین وضعیتی اگر اتصال کوتاهی در سیستم رخ داده باشد، فرآیند بازیابی سرویس بصورت دستی انجام می‌شود. بنابراین زمان بازیابی بار با در نظر گرفتن احتمال خرابی یا احتمال عملکرد ناموفق کامپیوتر از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$r = t_{autos} (1 - U_{comp}) + t_{mans} . U_{comp} \quad (1)$$

که در آن:

شاخصهای ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه های توزیع عبارتند از:

### شاخصهای نقطه بار:

- متوسط نرخ خرابی  $\lambda [f / yr]$
- متوسط زمان بازیابی  $r [hr]$
- متوسط زمان خاموشی سالیانه  $U [hr. / yr.]$
- متوسط انرژی تامین نشده  $ENS [KWH / yr]$

### و شاخصهای سیستم:

- متوسط تعداد قطعی هر مشترک  $SAIFI [int. / cust. yr.]$
- متوسط زمان خاموشی هر مشترک  $SAIDI [hr. / cust. yr.]$
- متوسط زمان خاموشی هر قطعی  $CAIDI [hr. / int.]$
- متوسط انرژی تامین نشده هر مشترک  $AENS [KWH / cust. yr.]$
- متوسط آمادگی سرویس  $ASAI$

برای محاسبه شاخصهای قابلیت اطمینان اشاره شده در بالا از برنامه کامپیوتری که به همین منظور تهیه شده، استفاده گردیده است. این برنامه به زبان C ++ نوشته شده است که با بهره گیری از الگوریتم محاسبه قابلیت اطمینان برای شبکه های توزیع، شاخصهای لازم را برای نقاط بار و سیستم محاسبه می‌نماید. در ادامه تاثیر هر یک از اجزاء اتوماسیون در قابلیت اطمینان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۳-۱- عملکرد موفق سیستم اتوماسیون

$t_{autos}$ : زمان کلید زنی اتوماتیک

$U_{comp}$ : احتمال عملکرد ناموفق کامپیوتر مرکز

کنترل

$t_{mans}$ : زمان کلیدزنی دستی

### ۳-۴- خرابی RTU

در یک سیستم اتوماسیون، علائم نظارتی و کنترل کلیدها توسط RTUها انجام می‌گیرد. در واقع کلیه وظایف مربوط به کلیدهای قابل کنترل از راه دور، توسط کنترل کننده‌های قابل برنامه‌ریزی در این واحدهای انتهایی انجام می‌شود. با وقوع خرابی در RTU، کنترل و نظارت کلیدهای مربوطه غیر ممکن می‌گردد. با توجه به اینکه وقوع خرابی در یکی از آنها در احتمال خرابی سایر RTUها تاثیری ندارد بنابراین از نظر قابلیت اطمینان، این پیشامدها مستقل از یکدیگر می‌باشند.

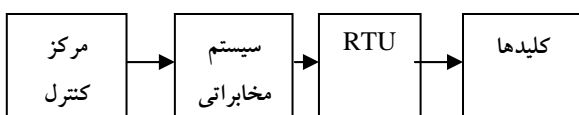
زمان بازیابی سرویس هر نقطه بار در این حالت، از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$r = t_{autos}(1 - U_{RTU}) + t_{mans}.U_{RTU} \quad (3)$$

که در آن  $U_{RTU}$  احتمال خرابی RTU می‌باشد.

### ۳-۵- خرابی مرکز کنترل

از آنجائیکه احتمال خرابی اجزاء مختلف سیستم اتوماسیون، پیشامدهای مستقل از هم بوده و عملکرد موفق آن مستلزم عملکرد صحیح هر یک از آنها است، لذا وقوع همزمان این پیشامدها نیز باعث عملکرد ناموفق سیستم اتوماسیون می‌گردد. شکل (۲) بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان سیستم اتوماسیون را نشان می‌دهد.



شکل (۲) - بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان سیستم کنترل

### ۳-۳- خرابی سیستم مخابراتی

یکی از بخشهای مهم سیستم اتوماسیون، شبکه مخابراتی آن است. در صورت برقراری کانالهای لازم بین مرکز کنترل و اجزاء کنترل شونده، اهداف اتوماسیون محقق می‌گردد. اما یکی از مسائلی که سیستم اتوماسیون با آن مواجه است، خرابی شبکه های مخابراتی می‌باشد. یک سیستم مخابراتی PLC نیز تحت تاثیر مشکلات شبکه های توزیع قرار داشته که باعث خرابی و عملکرد ناصحیح آن می‌گردد. همچنین در سیستمهای اتوماسیونی که از کانالهای مخابراتی رادیویی استفاده می‌کنند این مشکل نیز وجود دارد زیرا سیگنالهای عبوری در معرض اغتشاشات ناشی از صاعقه و سایر امواج رادیویی قرار دارند.

با خراب شدن سیستم مخابراتی، علائم کنترلی ارسالی توسط مرکز کنترل به RTUها نرسیده و لذا بازیابی سرویس باید به صورت دستی انجام گیرد. تحت این شرایط زمان بازیابی هر نقطه بار از رابطه (۲) تعیین می‌گردد.

$$r = t_{autos} \cdot (1 - U_{comm}) + t_{mans} \cdot U_{comm} \quad (2)$$

که در آن  $U_{comm}$  احتمال عملکرد ناموفق سیستم مخابراتی می‌باشد.

احتمال عملکرد ناصحیح سیستم از رابطه (۴) تعیین می‌شود.

$$U_s = 1 - (1 - U_{comp})(1 - U_{comm})(1 - U_{RTU}) \quad (4)$$

#### ۴- مطالعه موردی

به منظور مطالعه موردی از تاثیر ادوات اتوماسیون بر قابلیت اطمینان شبکه های توزیع، فیدر ۲۰ کیلوولت "دیسپاچینگ" از شبکه توزیع شهر ساری در نظر گرفته شد. این فیدر از پست ۶۳/۲۰ کیلوولت ساری ۱ تغذیه می‌شود. شکل (۲) دیاگرام تک خطی این فیدر را نشان می‌دهد. اطلاعات نقاط بار و طول خطوط در روی دیاگرام آمده است. در مطالعه قابلیت اطمینان، از فرضیات زیر مورد توجه بوده است:

- شبکه فوق توزیع دارای قابلیت اطمینان ۱۰۰٪ می‌باشد.
- از احتمال وقوع خرابی در بریکر و فیوزها صرف نظر شده است.
- نقطه رینگ TS با احتمال ۱۰۰٪ در صورت نیاز در دسترس می‌باشد.
- نرخ خرابی خطوط هوایی، کابل و ترانسفورماتورهای توزیع و اجزاء سیستم اتوماسیون در نظر گرفته شده است.
- احتمال خرابی کامپیوتر مرکز کنترل، سیستم مخابراتی و RTU به ترتیب برابر ۲، ۴ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول (۱) اطلاعات مربوط به نرخ خرابی و زمان بازیابی اجزاء فیدر نمونه را نشان می‌دهد.

جداول (۲) و (۳) شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار و سیستم را به ترتیب در دو حالت بدون اتوماسیون و دارای اتوماسیون نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که زمان خاموشی به ازای هر مشترک در فیدر بدون اتوماسیون از ۴/۵۰۱ ساعت در سال به ۳/۰۹۲ ساعت در سال به ازای هر مشترک در حالتی که از اتوماسیون استفاده می‌شود، رسیده که میزان ۳۱/۳ درصد کاهش را نشان می‌دهد.

همچنین کاهش معادل ۳۱/۳ درصد در انرژی توزیع نشده به ازای هر مشترک ملاحظه می‌شود. این نکته ضروری است که شاخصهای مورد بحث، معیارهای مناسبی برای ارزیابی استفاده از سیستم اتوماسیون و سطح آن در شبکه‌های توزیع می‌باشد. به ویژه شاخص انرژی توزیع نشده (AENS) که معیار مناسبی برای تعیین هزینه انرژی توزیع نشده می‌باشد. از طرفی با مقایسه هزینه انرژی توزیع نشده و هزینه‌های سرمایه گذاری برای اتوماسیون می‌توان به مطالعه ارزیابی اقتصادی طرح و تعیین سطح مورد نیاز اتوماسیون پرداخت.

جدول (۴) نتایج محاسبات را با در نظر گرفتن خرابی کامپیوتر نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که شاخصهای SAIDI و AENS نسبت به حالت اتوماسیون کامل، ۰٫۹ درصد افزایش یافته است و لذا همانطوریکه انتظار می‌رفت شبکه از قابلیت اطمینان پایین تری برخوردار می‌باشد.

جدول (۵) شاخصهای قابلیت اطمینان را با فرض احتمال خرابی در سیستم مخابراتی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که مقادیر SAIDI و AENS به میزان ۱/۸ درصد افزایش یافته‌اند و با توجه به اینکه

ملاحظه ای در قابلیت اطمینان سیستم ایجاد می نماید. بطوریکه میزان زمان خاموشی هر مشترک در سال (SAIDI) و میزان خاموشی در سال (EENS) برتیب ۳۱ و ۲۷ درصد کاهش را نشان میدهند.

- وقوع خرابی در اجزای سیستم اتوماسیون باعث کاهش قابلیت اطمینان نسبت به حالتی که شبکه از اتوماسیون برخوردار است، میگردد.
- از آنجاییکه شاخص تعداد قطعی ها به ازای هر مشترک به نرخ خرابی اجزای سیستم توزیع بستگی دارد، لذا وجود اتوماسیون تغییری در میزان این شاخص ایجاد ننموده است.
- شاخص هزینه انرژی توزیع نشده (AENS) معیار مناسبی در ارزیابی استفاده از سیستم اتوماسیون بوده و نقش تعیین کننده ای در سطح مورد نیاز از اتوماسیون دارد.

#### ۶-مراجع

- [1] J.s.Lawler, et al., "Impact of automation on the reliability of the Athenes Utilities Board's Distribution system", IEEE trans.on power Delivery, Vol 4 ,No.1,Jan.1989,PP. 770-778
- [2]-Ying He , Goran Anderson, Ron N. Allan, " Modelling the Impact of Automation and Control on the Reliability of Distribution Systems", Proceeding of IEEE, Summer Meeting 2000.
- [3]-R. Billinton and R. Allan, " Reliability Evaluation of Power Systems" , ISBN 0-306-45259-6, Plenum Press, Second Edition, 1996.

جدول (۶) شاخصهای قابلیت اطمینان را با فرض احتمال خرابی در RTU نشان می دهد. در این حالت نیز کاهش قابلیت اطمینان مشاهده می شود.

جدول (۷) نتایج محاسبات را با فرض احتمال عملکرد ناصحیح حداقل یکی از اجزاء اتوماسیون نشان می دهد. در این حالت نیز به میزان SAIDI و AENS افزوده شده است.

جدول (۸) خلاصه ای از وضعیت شاخصهای قابلیت اطمینان را برای حالت های مطالعه شده نشان می دهد.

لازم به ذکر می باشد که در کلیه حالتها شاخص SAIFI ثابت مانده است و علت آن وابستگی این شاخص به نرخ خرابی اجزاء شبکه بوده که با توجه به ثابت بودن نرخ خرابی در همه حالتها، مقدار آن نیز ثابت مانده است.

#### ۵-نتیجه گیری

در این مقاله، تاثیر اتوماسیون بر قابلیت اطمینان سیستم های توزیع انرژی الکتریکی مورد مطالعه قرار گرفت. برای مطالعه، نیاز به مدلی مناسب از سیستم میباشد که در آن با توجه به ماهیت سیستم اتوماسیون، اثر خرابی هر یک از اجزاء آن ( کامپیوتر مرکز کنترل، سیستم مخابراتی، سیستم RTU ) در شاخص های قابلیت اطمینان مطالعه شده و نتایج زیر حاصل شد:

- اتوماسیون شبکه توزیع، به دلیل اینکه زمان بازیابی بار را در اثر وقوع خطا در سیستم کاهش میدهد، بهبود قابل

۴- بانک اطلاعات نرم افزار محاسبات مهندسی MODEC ،

شبکه توزیع شهر ساری

جدول ۱- اطلاعات نرخ خرابی و زمان بازیابی اجزاء فیدر نمونه

| زمان کلیدزنی<br>(ساعت) | زمان بازیابی (ساعت) |          |            | نرخ خرابی (f/km.yr) |          |            |
|------------------------|---------------------|----------|------------|---------------------|----------|------------|
|                        | تعویض ترانس         | خط هوایی | کابل زمینی | ترانس توزیع         | خط هوایی | کابل زمینی |
| ۱                      | ۸                   | ۲        | ۱۰         | ۰/۰۳                | ۲/۵      | ۰/۶        |

جدول شماره ۲ - شاخص‌های قابلیت اطمینان برای سیستم اتوماسیون نشده

| Load Point          | $\lambda$<br>[f/yr.] | r<br>[hr]           | U<br>[hr./yr.] | ENS<br>[MWh/yr]        |
|---------------------|----------------------|---------------------|----------------|------------------------|
| ۸                   | ۲,۱۱۲                | ۱,۱                 | ۲,۳۲۲          | ۰,۰۲۳۲                 |
| ۹                   | ۲,۱۱۲                | ۳,۲۵                | ۶,۸۶۵          | ۱,۴۷۵۹                 |
| ۱۰                  | ۲,۱۱۲                | ۳,۲۵                | ۶,۸۶۵          | ۱,۵۹۲۶                 |
| ۱۱                  | ۲,۱۱۲                | ۳,۲۵                | ۶,۸۶۵          | ۱,۸۶۰۳                 |
| ۱۲                  | ۲,۱۱۲                | ۱,۱                 | ۲,۳۲۲          | ۰,۳۰۱۹                 |
| ۱۳                  | ۲,۱۱۲                | ۱,۳۳                | ۲,۸            | ۰,۶۰۷۵                 |
| ۱۵                  | ۲,۱۷۸                | ۱,۵۹                | ۳,۴۶           | ۰,۷۶۱۱                 |
| ۱۸                  | ۲,۱۸۸                | ۱,۶۳                | ۳,۵۶۲          | ۱,۴۹۵۹                 |
| ۱۹                  | ۲,۲۱۱                | ۱,۷۱                | ۳,۷۹           | ۰,۴۵۴۸                 |
| ۲۱                  | ۲,۳۳۴                | ۲,۱۵                | ۵,۰۲           | ۱,۱۸۹۷                 |
| SAIDI<br>[hrs/c.yr] | SAIFI<br>[Int/c]     | CAIDI<br>[hrs/Int.] | ASAI           | AENS<br>[MWH/cust.yr.] |
| ۴,۵۰۱               | ۲,۲۰۶                | ۲,۰۴                | ۰,۹۹۹۴۸۶       | ۰,۰۰۸۴۰۹               |



جدول شماره ۳ - شاخص‌های قابلیت اطمینان برای سیستم دارای اتوماسیون

| Load Point          | $\lambda$<br>[f/yr.] | r<br>[hr]           | U<br>[hr./yr.] | ENS<br>[MWh/yr]        |
|---------------------|----------------------|---------------------|----------------|------------------------|
| ۸                   | ۲,۱۱۲                | ۰,۱۱                | ۰,۲۴۲          | ۰,۰۰۲۴                 |
| ۹                   | ۲,۱۱۲                | ۳,۰۲                | ۶,۳۸۷          | ۱,۳۷۳۳                 |
| ۱۰                  | ۲,۱۱۲                | ۳,۰۲                | ۶,۳۸۷          | ۱,۴۸۱۹                 |
| ۱۱                  | ۲,۱۱۲                | ۳,۰۲                | ۶,۳۸۷          | ۱,۷۳۱                  |
| ۱۲                  | ۲,۱۱۲                | ۰,۱۱                | ۰,۲۴۲          | ۰,۰۳۱۵                 |
| ۱۳                  | ۲,۱۱۲                | ۰,۵۷                | ۱,۱۹۷          | ۰,۲۵۹۷                 |
| ۱۵                  | ۲,۱۷۸                | ۰,۸۵                | ۱,۸۵۷          | ۰,۴۰۸۵                 |
| ۱۸                  | ۲,۱۸۸                | ۰,۸۹                | ۱,۹۵۹          | ۰,۸۲۲۶                 |
| ۱۹                  | ۲,۲۱۱                | ۰,۹۹                | ۲,۱۸۷          | ۰,۲۶۲۴                 |
| ۲۱                  | ۲,۳۳۴                | ۱,۴۶                | ۳,۴۱۷          | ۰,۸۰۹۷                 |
| SAIDI<br>[hrs/c.yr] | SAIFI<br>[Int/c]     | CAIDI<br>[hrs/Int.] | ASAI           | AENS<br>[MWH/cust.yr.] |
| ۳,۰۹۲               | ۲,۲۰۶                | ۱,۴۰۲               | ۰,۹۹۹۶۴۷       | ۰,۰۰۵۷۷۷               |

جدول شماره ۴ - شاخص‌های قابلیت اطمینان با فرض خرابی در مرکز کنترل

| Load Point          | $\lambda$<br>[f/yr] | r<br>[hr./f]        | U<br>[hr./yr.] | ENS<br>[MWh/yr]        |
|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|------------------------|
| ۸                   | ۲,۱۱۲               | ۰,۱۳                | ۰,۲۸۴          | ۰,۰۰۲۸                 |
| ۹                   | ۲,۱۱۲               | ۳,۰۳                | ۶,۳۹۷          | ۱,۳۷۵۴                 |
| ۱۰                  | ۲,۱۱۲               | ۳,۰۳                | ۶,۳۹۷          | ۱,۴۸۴۱                 |
| ۱۱                  | ۲,۱۱۲               | ۳,۰۳                | ۶,۳۹۷          | ۱,۷۳۳۶                 |
| ۱۲                  | ۲,۱۱۲               | ۰,۱۳                | ۰,۲۸۴          | ۰,۰۳۶۹                 |
| ۱۳                  | ۲,۱۱۲               | ۰,۵۸                | ۱,۲۲۹          | ۰,۲۶۶۶                 |
| ۱۵                  | ۲,۱۷۸               | ۰,۸۷                | ۱,۸۸۹          | ۰,۴۱۵۵                 |
| ۱۸                  | ۲,۱۸۸               | ۰,۹۱                | ۱,۹۹۱          | ۰,۸۳۶۱                 |
| ۱۹                  | ۲,۲۱۱               | ۱                   | ۲,۲۱۹          | ۰,۲۶۶۲                 |
| ۲۱                  | ۲,۳۳۴               | ۱,۴۸                | ۳,۴۴۹          | ۰,۸۱۷۳                 |
| SAIDI<br>[hrs/c.yr] | SAIFI<br>[Int/c]    | CAIDI<br>[hrs/Int.] | ASAI           | AENS<br>[MWH/cust.yr.] |

|      |       |       |          |          |
|------|-------|-------|----------|----------|
| ۳,۱۲ | ۲,۲۰۶ | ۱,۴۱۴ | ۰,۹۹۹۶۴۴ | ۰,۰۰۵۸۲۹ |
|------|-------|-------|----------|----------|

جدول شماره ۵ - شاخص های قابلیت اطمینان با فرض خرابی در سیستم مخابراتی

| Load Point          | $\lambda$<br>[f/yr] | r<br>[hr./f]        | U<br>[hr./yr.] | ENS<br>[MWh/yr]        |
|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|------------------------|
| ۸                   | ۲,۱۱۲               | ۰,۱۵                | ۰,۳۲۵          | ۰,۰۰۳۳                 |
| ۹                   | ۲,۱۱۲               | ۳,۰۳                | ۶,۴۰۷          | ۱,۳۷۷۴                 |
| ۱۰                  | ۲,۱۱۲               | ۳,۰۳                | ۶,۴۰۷          | ۱,۴۸۶۳                 |
| ۱۱                  | ۲,۱۱۲               | ۳,۰۳                | ۶,۴۰۷          | ۱,۷۳۶۲                 |
| ۱۲                  | ۲,۱۱۲               | ۰,۱۵                | ۰,۳۲۵          | ۰,۰۴۲۳                 |
| ۱۳                  | ۲,۱۱۲               | ۰,۶                 | ۱,۲۶۱          | ۰,۲۷۳۶                 |
| ۱۵                  | ۲,۱۷۸               | ۰,۸۸                | ۱,۹۲۱          | ۰,۴۲۲۶                 |
| ۱۸                  | ۲,۱۸۸               | ۰,۹۲                | ۲,۰۲۳          | ۰,۸۴۹۵                 |
| ۱۹                  | ۲,۲۱۱               | ۱,۰۲                | ۲,۲۵۱          | ۰,۲۷۰۱                 |
| ۲۱                  | ۲,۳۳۴               | ۱,۴۹                | ۳,۴۸۱          | ۰,۸۲۴۹                 |
| SAIDI<br>[hrs/c.yr] | SAIFI<br>[Int/c]    | CAIDI<br>[hrs/Int.] | ASAI           | AENS<br>[MWh/cust.yr.] |
| ۳,۱۴۸               | ۲,۲۰۶               | ۱,۴۲۷               | ۰,۹۹۹۶۴۱       | ۰,۰۰۵۸۸۲               |

جدول شماره ۶ - شاخص های قابلیت اطمینان سیستم با فرض خرابی در RTU

| Load Point | $\lambda$ [f/yr.] | r [hr] | U [hr./yr.] | ENS [MWh/yr] |
|------------|-------------------|--------|-------------|--------------|
| ۸          | ۲,۱۱۲             | ۰,۱۶   | ۰,۳۴۶       | ۰,۰۰۳۵       |
| ۹          | ۲,۱۱۲             | ۳,۰۴   | ۶,۴۱۱       | ۱,۳۷۸۴       |
| ۱۰         | ۲,۱۱۲             | ۳,۰۴   | ۶,۴۱۱       | ۱,۴۸۷۴       |
| ۱۱         | ۲,۱۱۲             | ۳,۰۴   | ۶,۴۱۱       | ۱,۷۳۷۵       |
| ۱۲         | ۲,۱۱۲             | ۰,۱۶   | ۰,۳۴۶       | ۰,۰۴۵        |
| ۱۳         | ۲,۱۱۲             | ۰,۶    | ۱,۲۷۷       | ۰,۲۷۷۱       |
| ۱۵         | ۲,۱۷۸             | ۰,۸۹   | ۱,۹۳۷       | ۰,۴۲۶۱       |
| ۱۸         | ۲,۱۸۸             | ۰,۹۳   | ۲,۰۳۹       | ۰,۸۵۶۳       |
| ۱۹         | ۲,۲۱۱             | ۱,۰۳   | ۲,۲۶۷       | ۰,۲۷۲        |
| ۲۱         | ۲,۳۳۴             | ۱,۵    | ۳,۴۹۷       | ۰,۸۲۸۷       |

| SAIDI[hrs/c.yr] | SAIFI[Int/c] | CAIDI[hrs/Int.] | ASAI     | AENS[MWH/cust.yr.] |
|-----------------|--------------|-----------------|----------|--------------------|
| ۳,۱۶۲           | ۲,۲۰۶        | ۱,۴۳۴           | ۰,۹۹۹۶۳۹ | ۰,۰۰۵۹۰۸           |

جدول شماره ۷ - شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم با فرض خرابی در سیستم کنترلی

| Load_Point      | $\lambda$ [f/yr.] | r[hr]           | U[hr./yr.] | ENS[MWh/yr]        |
|-----------------|-------------------|-----------------|------------|--------------------|
| ۸               | ۲,۱۱۲             | ۰,۲۲            | ۰,۴۶۳      | ۰,۰۰۴۶             |
| ۹               | ۲,۱۱۲             | ۳,۰۵            | ۶,۴۳۸      | ۱,۳۸۴۲             |
| ۱۰              | ۲,۱۱۲             | ۳,۰۵            | ۶,۴۳۸      | ۱,۴۹۳۷             |
| ۱۱              | ۲,۱۱۲             | ۳,۰۵            | ۶,۴۳۸      | ۱,۷۴۴۷             |
| ۱۲              | ۲,۱۱۲             | ۰,۲۲            | ۰,۴۶۳      | ۰,۰۶۰۲             |
| ۱۳              | ۲,۱۱۲             | ۰,۶۵            | ۱,۳۶۷      | ۰,۲۹۶۶             |
| ۱۵              | ۲,۱۷۸             | ۰,۹۳            | ۲,۰۲۷      | ۰,۴۴۵۹             |
| ۱۸              | ۲,۱۸۸             | ۰,۹۷            | ۲,۱۲۹      | ۰,۸۹۴۱             |
| ۱۹              | ۲,۲۱۱             | ۱,۰۷            | ۲,۳۵۷      | ۰,۲۸۲۸             |
| ۲۱              | ۲,۳۳۴             | ۱,۵۴            | ۳,۵۸۷      | ۰,۸۵۰۱             |
| SAIDI[hrs/c.yr] | SAIFI[Int/c]      | CAIDI[hrs/Int.] | ASAI       | AENS[MWH/cust.yr.] |
| ۳,۲۴۲           | ۲,۲۰۶             | ۱,۴۶۹           | ۰,۹۹۹۶۳    | ۰,۰۰۶۰۵۶           |

جدول شماره ۸ - مقایسه شاخص‌های قابلیت اطمینان در حالات مختلف

| حالت                    | SAIDI [hrs/c.yr] | SAIFI [Int/c] | CAIDI [hrs/Int.] | ASAI     | EENS [MWH/yr] | AENS [KWH/cust.yr.] |
|-------------------------|------------------|---------------|------------------|----------|---------------|---------------------|
| بدون اتوماسیون          | ۴,۵۰۱            | ۲,۲۰۶         | ۲,۰۴             | ۰,۹۹۹۴۸۶ | ۹,۷۶          | ۸,۴۰۹               |
| با اتوماسیون            | ۳,۰۹۲            | ۲,۲۰۶         | ۱,۴۰۲            | ۰,۹۹۹۶۴۷ | ۷,۱۸          | ۵,۷۷۷               |
| خرابی سیستم کامپیوتری   | ۳,۱۲             | ۲,۲۰۶         | ۱,۴۱۴            | ۰,۹۹۹۶۴۴ | ۷,۲۳          | ۵,۸۲۹               |
| خرابی در سیستم مخابراتی | ۳,۱۴۸            | ۲,۲۰۶         | ۱,۴۲۷            | ۰,۹۹۹۶۴۱ | ۷,۲۹          | ۵,۸۸۲               |
| خرابی RTU               | ۳,۱۶۲            | ۲,۲۰۶         | ۱,۴۳۴            | ۰,۹۹۹۶۳۹ | ۷,۳۱          | ۵,۹۰۸               |
| خرابی در سیستم کنترلی   | ۳,۲۴۲            | ۲,۲۰۶         | ۱,۴۶۹            | ۰,۹۹۹۶۳  | ۷,۴۶          | ۶,۰۵۶               |