

بررسی طرح های توسعه شبکه انتقال کشور از دیدگاه قابلیت اطمینان شبکه

حبیب قراگوزلو	ساعد راعی	محمود رضا حقی فام
دانشجوی مقطع دکتری برق-قدرت	کارشناس ارشد برق-قدرت	دکتری برق-قدرت
دانشگاه تربیت مدرس	دانشگاه صنعتی شریف	دانشگاه تربیت مدرس
Gharagozloo@modares.ac.ir	Raie@Tavanir.org.ir	haghifam@modares.ac.ir

چکیده: برنامه ریزی توسعه سیستمهای قدرت یکی از مهمترین و حساسترین بخشهایی است که مهندسین این رشته با آن مواجه می باشند. بدلیل هزینه بسیار زیاد طرح های توسعه در بخشهای تولید و انتقال دقت در این طرح ها می تواند از نظر اقتصادی نیز بسیار مقرون به صرفه باشد. یکی از مسائلی که همواره در طرح های توسعه شبکه مورد اهمیت می باشد حفظ و یا ارتقاء قابلیت اطمینان سیستم در اجرای این طرح ها است. در این مقاله سعی شده است تا با بررسی چند طرح توسعه در شبکه تولید و انتقال ایران تاثیر هر یک از آنها بر روی قابلیت اطمینان شبکه مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت راهکارهای مناسب جهت توسعه شبکه از دیدگاه قابلیت اطمینان مورد مطالعه قرار گیرد.

کلمات کلیدی: سیستمهای قدرت، طرح های توسعه، قابلیت اطمینان

۱- مقدمه

مهمترین وظیفه یک سیستم قدرت تامین برق مورد نیاز مشترکین با حداقل قیمت و سطح قابل قبولی از قابلیت اطمینان می باشد. بنابراین مطالعات قابلیت اطمینان در سیستمهای قدرت یکی از مهمترین وظایف تعریف شده در برنامه ریزی توسعه این سیستمها می باشد. این مطالعات به دو دسته اصلی به شرح زیر تقسیم می گردند [۱-۲]:

الف- مطالعات قابلیت اطمینان درخصوص کفایت^۱ سیستم ب- مطالعات قابلیت اطمینان درخصوص امنیت^۲ سیستم

در مطالعات دسته اول به بررسی کفایت تجهیزات و ساختار شبکه جهت تامین سطح مشخصی از قابلیت اطمینان در سیستم پرداخته شده و معمولاً در برنامه ریزی شبکه های تولید و انتقال هر سیستم برای سالیان آینده از نتایج این نوع مطالعات استفاده می شود.

در مطالعات دسته دوم قابلیت اطمینان سیستم برای بهره برداری از آن مورد توجه قرار گرفته و بیشتر به وضعیت قابلیت اطمینان سیستم برای بهره برداری از آن پرداخته می شود.

جهت مقایسه طرحها ی مختلف با یکدیگر از دو نوع شاخص قابلیت اطمینان استفاده می شود. نوع اول شاخصهای قابلیت اطمینان کل سیستم می باشند که نشان دهنده وضعیت کلی شبکه بوده و بیشتر در تصمیم گیریهای کلان

¹ Adequacy

² Security

شبکه بکار می روند. نوع دوم شاخصهای نقاط بار می باشند که حساسیت زیادی به طرحهای اجرا شده داشته و در این گزارش سعی شده است تا با استفاده از آنها به تاثیر هر طرح بر روی قابلیت اطمینان منطقه مورد مطالعه پراخته شود [۳-۴]. طبیعتاً در طرح های توسعه شبکه تولید و انتقال برخی از طرحها می توانند در شاخصهای قابلیت اطمینان کل شبکه تاثیر عمده ای داشته باشند ولی شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار را در مناطق خاصی از شبکه تحت تاثیر قرار ندهند و بالعکس. در این مقاله با ارائه چند طرح پیشنهادی در شبکه تولید و انتقال کشور برای سال ۱۳۸۴، سعی شده است تا با استفاده از مطالعات قابلیت اطمینان بر روی این طرحها، مزایا و معایب هر یک مورد بررسی قرار گیرد.

۲- طرحهای پیشنهادی سال ۱۳۸۴

در این بخش به بررسی ۵ طرح مختلف بر روی شبکه تولید و انتقال کشور پرداخته خواهد شد. باتوجه به اینکه شبکه تولید و انتقال کشور برای سال ۱۳۸۴ طراحی شده و موازنه لازم بین منابع تولید و بار شبکه برقرار شده است، طبیعتاً نمی توان از ابتدا طرحها را یک به یک به شبکه اضافه کرد و مطالعات قابلیت اطمینان را انجام داد. بنابراین ساختار شبکه طراحی شده برای سال ۱۳۸۴ بعنوان شبکه مبنا در مطالعات در نظر گرفته شده و سپس هر کدام از طرحهای پیشنهادی زیر بر روی آن اجرا شده اند. در نهایت تاثیر هر کدام از این طرحها و کاهش قابلیت اطمینان شبکه نسبت به حالت مبنا بدلیل عدم تحقق آنها مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه ۵ طرح بصورت زیر ارائه می گردند.

- **طرح اول:** در این طرح توسعه پست ناریوران به ظرفیت 1×200 مگاوات و خط انتقال آمل- ناریوران از شبکه مبنا حذف گردیده و تحقق آنها در سال ۱۳۸۴ در نظر گرفته نشده است.

- **طرح دوم:** در این طرح یک واحد از نیروگاه جنوب اصفهان (چهلستون) و همچنین نیروگاه سنندج از شبکه مبنا حذف شده است.

- **طرح سوم:** با تلفیق دو طرح اول و دوم، در این طرح یک واحد نیروگاه جنوب اصفهان (چهلستون)، نیروگاه سنندج و همچنین پست ناریوران و خط انتقال آمل حذف شده اند.

- **طرح چهارم:** خط دو مداره دو راهی میناب- سرخون در این طرح از شبکه طرح سوم حذف گردیده است.

- **طرح پنجم:** در این طرح خط انتقال نیروگاه کرمان- سرچشمه از مدار خارج و از طرح سوم حذف گردیده است. همانگونه که مشاهده می شود برخی از این طرحها فقط در حد حذف یک خط انتقال می باشند که باتوجه به عدم برهم زدن موازنه بین تولید و بار و بدلیل به هم پیوسته بودن شبکه انتقال، طبیعتاً تاثیر عمده ای بر روی شاخصهای قابلیت اطمینان کل سیستم نخواهند داشت. در این موارد با بررسی شاخصهای نقاط بار به ارزیابی طرحها پرداخته خواهد شد.

جهت انجام مطالعات قابلیت اطمینان شبکه از نرم افزار MECORE استفاده شده است. در این نرم افزار علاوه بر فایلهای مربوط به ساختار شبکه، باید اطلاعات مربوط به قابلیت اطمینان تجهیزات شبکه و همچنین اولویت قطع نقاط بار شبکه نیز به برنامه معرفی شوند [۵]. جهت انجام مطالعات قابلیت اطمینان در سال ۱۳۸۴ فرضیات زیر در نظر گرفته شده اند:

۱- شاخصهای عملکرد واحدهای تولید بر مبنای اطلاعات ۵ سال اخیر (۱۳۷۹-۱۳۸۳) بدست آمده اند. مهمترین شاخص عملکرد واحدهای تولید نرخ خروج اضطراری^۳ این واحدها می باشد که در مطالعات بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است.

۲- نرخ خروج اضطراری خطوط انتقال بر مبنای اطلاعات سالهای (۱۳۸۱-۱۳۸۲) بدست آمده اند.

۳- مطالعات قابلیت اطمینان بر روی شبکه مبنای طراحی شده برای پیک بار شبکه انجام شده و طبیعتاً نتایج دیگر فصول از مقادیر بدست آمده در این مطالعات تاحدی بهتر خواهد بود.

³ -Forced Outage Rate

جدول ۲. در صد کاهش شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار نسبت به حالت مبنا در طرح اول

Bus No.	PLC	ENLC	ELC	EDNS	EENS	Bus Name
2530	4.2440	4.1550	3.6413	3.7073	3.7073	MOSHR2
2550	4.9430	4.7384	5.8766	6.0382	6.0382	ZIARA2
2560	2.5175	2.4435	2.6817	2.7104	2.7104	HASHT2
2570	4.0426	4.0232	4.9190	5.0381	5.0381	KAMAL2
2590	4.3919	4.3254	4.2666	4.3468	4.3468	KAN1 2

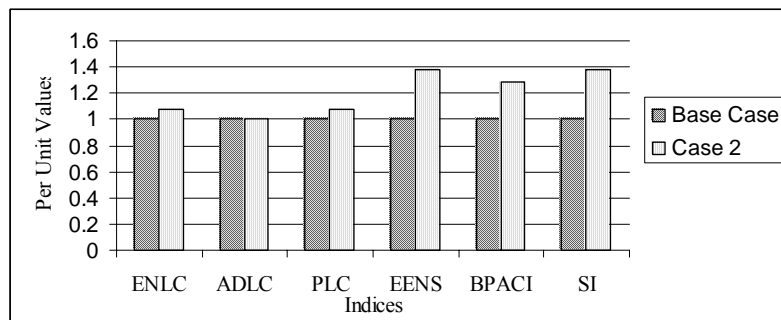
۳-۲- نتایج طرح دوم

شکل ۲. محل نیروگاه جنوب اصفهان در شبکه سراسری شکل ۳. محل نیروگاه سنندج در شبکه سراسری

جدول ۳. شاخصهای کل سیستم در دو حالت مبنا و طرح دوم

SI ¹¹ [SM/yr]	BPACI ¹⁰ [MW/dist.]	EENS [mwh/ yr]	PLC	ADLC [hrs/dist.]	ENLC [Occ./yr]	حالت
10914.04	766.89	5699592.2	0.8590	0.86614	8687.79	مينا
15100.12	985.21	7878115.7	0.9240	0.86885	9315.77	دوم

¹¹ - System Index

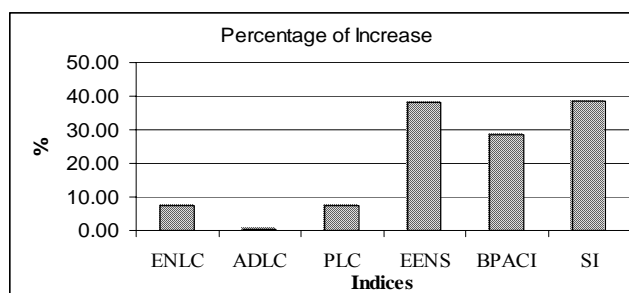


شکل ۴. میزان تغییر شاخصهای کل سیستم در حالت مبنا و طرح دوم برحسب مقادیر P.U.

جهت بررسی تاثیر این طرح در مناطق اصفهان و همچنین سنجش، نقاط بار در اطراف این نیروگاهها مورد توجه قرار گرفته اند. نتایج بدست آمده نشان می دهد که نتایج نقاط بار اطراف مناطق اصفهان و سنجش چندان مورد تغییر قرار نگرفته اند و این طرح بیشتر بر روی شاخصهای سیستم تاثیر داشته است. باتوجه به نتایج بدست آمده در شکل ۵ مشاهده می شود که عدم تحقق این طرح تاثیر بسزائی در قابلیت اطمینان کل سیستم خواهد داشت.

جدول ۴. درصد افزایش شاخصهای قابلیت اطمینان کل سیستم در طرح دوم

SI [SM/yr]	BPACI [MW/dist.]	EENS [mwh/ yr]	PLC	ADLC [hrs/dist.]	ENLC [Occ./yr]	حالت
38.35	28.47	38.22	7.57	0.31	7.23	درصد تغییر



شکل ۵. درصد افزایش شاخصهای کل سیستم در حالت مبنا و طرح دوم

۳-۳- نتایج طرح سوم

در این طرح نیز هر دو مورد طرحهای اول و دوم بر روی شبکه مبنا اعمال شده اند. طبیعتاً شاخصهای قابلیت اطمینان کل سیستم مانند طرح دوم شده و علاوه بر نقاط بار طرح اول، نقاط بار طرح دوم نیز جزء نقاطی که بار آنها قطع می گردد، قرار می گیرند. جدول (۵) نشان دهنده شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار قطع شده در کل کشور در طرح ۳ می باشند که نسبت به طرحهای ۱ و ۳ اضافه شده اند.

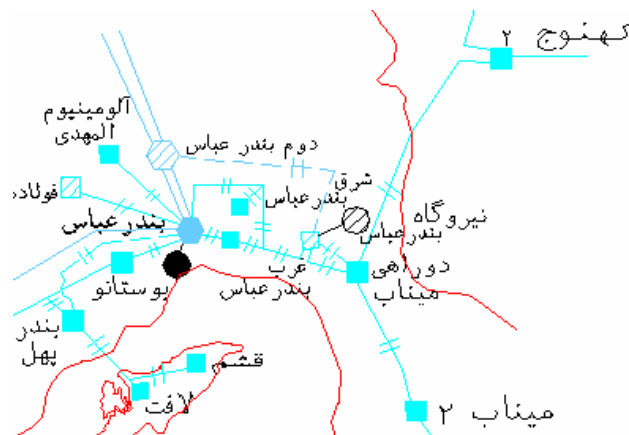
جدول ۵. شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار بعد از اجرای طرح سوم

Bus No.	PLC	ENLC [Occ./yr]	ELC [MW/yr]	EDNS [MW]	EENS [MWh/ yr]	Bus Name
1680	0.001	10.49502	181.659	0.01731	151.627	CHOGH2
2630	0.002	21.25113	791.956	0.07402	648.391	OZGOL2
2635	0.002	21.25113	1275.068	0.12	1051.2	QETAR2
2650	0.015	158.9525	25147.5	2.38788	20917.86	MOSAL2
2780	0.021	218.7968	2579.983	0.24718	2165.286	GILAV2
5775	0.001	10.4665	292.583	0.02795	244.879	TORBJ4
6130	0.004	41.06733	2349.428	0.22814	1998.528	SHADM4
11425	0.107	1118.463	16500.67	1.57822	13825.2	SHAHR2

همانگونه که مشاهده می شود این نقاط بار در کل سیستم پخش شده و قطع آنها تا حد بسیار زیادی به نحوه اعمال اولویت قطع بار دارد. البته همانگونه که مشاهده می شود بجز در یک مورد، سایر نقاط بار دارای شاخصهای پایینی می باشند که نشان دهنده عدم وضعیت بحرانی در آنها است. درنتایج بدست آمده مشاهده می شود که در این حالت علاوه بر تغییر شاخصهای قابلیت اطمینان کل سیستم، شاخصهای نقاط بار نیز تغییراتی داشته اند.

۴-۳- نتایج طرح چهارم

در ادامه باتوجه به اینکه طرح سوم تغییرات عمده ای را در شاخصهای قابلیت اطمینان شبکه بوجود می آورد، سعی شده است تا در طرحهای ۴ و ۵ این شبکه بعنوان مبنا قرار گرفته و تغییرات بعدی بر روی این شبکه اعمال شود. شکل (۶) نشان دهنده منطقه مورد مطالعه در طرح ۴ می باشد. در این طرح خط انتقال دوراهی میناب- سرخون از مدار خارج شده است.



شکل ۶. ساختار منطقه مورد مطالعه در طرح چهارم (خط دوراهی میناب- سرخون)

در این طرح با توجه به حذف خط انتقال دو راهی میناب- سرخون و محدودیت موجود در امکان انتقال توان در خطوط انتقال منطقه، نقاط بار اطراف این ناحیه تحت تاثیر قرار گرفته و شاخصهای قابلیت اطمینان مورد اشاره در آنها افزایش می یابد. لیکن به دلیل اولویت قطع بار خاص اعمال شده به شبکه که جهت فصل تابستان بوده است و قطع بار مناطق گرمسیر در اولویت دوم قرار گرفته است، بنابراین شاخصهای بدست آمده در این قسمت برای نقاط بار منطقه چندان زیاد نبوده و قابل ذکر نمی باشند. با سناریوی تعریف شده برای برنامه، این نرم افزار به قطع بار از نقاط باری که اولویت آنها زودتر تعریف شده خواهد پرداخت. تاثیر قطع این خط انتقال با توجه به ساختار شبکه و نحوه اعمال قطع بار در شبکه تا حدی بر روی منطقه خراسان ملموس بوده است و برخی نقاط بار این منطقه تا حد اندکی تحت تاثیر قرار گرفته اند. جدول (۶) نشان دهنده این نقاط بار می باشند که در این طرح شاخصهای قابلیت اطمینان آنها افزایش یافته است.

جدول ۶. شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار متأثر از طرح چهارم

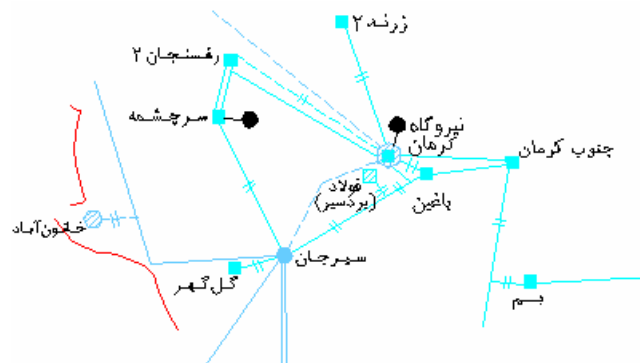
Bus No.	PLC	ENLC [Occ./yr]	ELC [MW/yr]	EDNS [MW]	EENS [MWh/yr]	Bus Name
15008	0.362	3684.80	17544.29	1.7239	15100.98	TOOS11
15010	0.363	3694.62	17711.53	1.7402	15243.83	TOOS13
15012	0.363	3694.62	12395.43	1.2179	10668.49	TOOS15
16035	0.004	41.07	1788.246	0.1742	1525.893	FULKH4

در این حالت نیز شاخصهای کل سیستم تغییر عمده ای نسبت به طرح ۳ نداشته اند. باتوجه به نتایج بدست آمده مشاهده می شود که نقاط بار منطقه هرمزگان تحت تاثیر زیادی قرار نگرفته اند. البته تغییرات عمده ای در شاخصهای کل سیستم نیز مشاهده نمی شود. البته در انتخاب یک طرح باید عوامل دیگری نظیر پایداری دینامیکی سیستم،

عوامل اقتصادی و نیز مورد توجه قرار گیرند که طبیعتاً این گزارش فقط به نتایج این طرح از دیدگاه قابلیت اطمینان پرداخته است.

۳-۵- نتایج طرح پنجم

در این طرح نیز خط دو مداره نیروگاه کرمان- سرچشمه از شبکه طرح ۳ حذف شده است. شکل (۷) نشان دهنده منطقه مورد مطالعه می باشد.



شکل ۷. ساختار منطقه مورد مطالعه در طرح پنجم (خط نیروگاه کرمان- سرچشمه)

باتوجه به خروج فقط یک خط انتقال از کل شبکه همانگونه که انتظار می رود، در نتایج بدست آمده، شاخصهای قابلیت اطمینان کل شبکه تغییر عمده ای نداشته اند. باتوجه به قطع خط انتقال در این منطقه نقاط بار KERMANS و LOTAK و NEISHABOOR تحت تاثیر قرار گرفته و نسبت به طرح سوم که قطعی باری در آنها اتفاق نیافتاده و یا میزان آن کم بوده، دچار قطعی شده اند. جدول (۷) شاخصهای قابلیت اطمینان برای این نقاط بار را نشان می دهد.

جدول ۷. شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار در طرح پنجم

Bus No.	PLC	ENLC [Occ./yr]	ELC [MW/yr]	EDNS [MW]	EENS [MWh/yr]	Bus Name
1110	0.308	3076.317	109757.9	10.99699	96333.62	LOTAK2
2950	0.001	10.91586	91.353	0.00837	73.311	KERMS2
6030	0.004	41.06733	2302.212	0.22363	1959.008	NEISH4

با توجه به قطع خط انتقال دو مداره نیروگاه کرمان- سرچشمه انتظار می رود که نقاط بار این منطقه تحت تاثیر زیادی قرار گیرند. با توجه به اتصال این منطقه از طریق چند خط انتقال به سایر نقاط شبکه و نحوه اعمال اولویت قطع بار به نقاط بار شبکه، مشاهده می شود که در این حالت نیز قابلیت اطمینان کل شبکه و همچنین نقاط بار تحت تاثیر قرار می گیرند. همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد میزان تاثیر پذیری نقاط بار از اعمال طرحهای جدید، ارتباط زیادی به سیاست اعمال شده در قطع بار از نقاط بار در هنگام اعمال خاموشی دارد. با توجه به اینکه در شبکه ایران اولویت قطع بار در پیشامدهای هر منطقه معمولاً قطع بار از نقاط بار همان منطقه می باشد، با اعمال این نوع اولویت قطع بار، در این طرح نیز قابلیت اطمینان نقاط بار منطقه با عدم تحقق این خط انتقال تا حد زیادی کاهش خواهد یافت.

۴- نتایج مطالعات قابلیت اطمینان شبکه سراسری در سال ۱۳۸۴

در این بخش به ارائه نتایج مطالعات قابلیت اطمینان در کل شبکه سراسری پرداخته شده و نتایج بدست آمده برای اندیسهای قابلیت اطمینان کل شبکه ارائه می گردد. جدول ۸ نشان دهنده شاخصهای قابلیت اطمینان کل شبکه در سال ۱۳۸۴ می باشند. لازم به ذکر است که نتایج ارائه شده در این بخش با استفاده از فرضیات زیر بدست آمده اند که طبیعتاً با دقت بخشیدن به آنها می توان میزان صحت نتایج را افزایش داد.

- اولویت قطع بار در کل کشور بر اساس فصل تابستان و مناطق سردسیر و گرمسیر در نظر گرفته شده است.

- نرخ خروج اضطراری خطوط شبکه بر اساس اطلاعات سالهای ۸۱ و ۸۲ بدست آمده اند.
- نرخ خروج اضطراری واحدهای تولید بر اساس نرخ بدست آمده تا سال ۱۳۸۲ بوده است.
- نتایج با استفاده از منحنی بار کل کشور در سال ۱۳۸۲ بدست آمده اند.
- تعداد نمونه های در نظر گرفته شده برای این مطالعات ۳۰۰ نمونه می باشد که می توان با افزایش تعداد نمونه ها دقت نتایج را بهتر نمود.
- البته این مطالعات برای پیک بار شبکه و با تعداد نمونه کم فقط جهت مقایسه دو سال ۸۳ و ۸۴ انجام شده است.

جدول ۸. نتایج قابلیت اطمینان کل سیستم با اعمال اولویت قطع بار فصل تابستان

سال مطالعه	ENLC [Occ./yr]	ADLC [hrs/dist.]	PLC	EENS [MWh/yr]	BPACI [MW/dist.]	SI [SM/yr]
۱۳۸۳	۶۰۲,۴	۸۱۴۰۰	۰,۴۵۰۳	۳۹۷۴۷۵,۱۲	۷۹۸,۷۶	۸۹۰,۴۳
۱۳۸۴	۶۵۸,۲۰	۰,۸۷۸۸۲	۰,۰۶۶۰۳	۴۹۸۰۶۰,۲۵	۸۵۸,۶۴	۹۵۳,۷۲

با مقایسه این نتایج با نتایج بدست آمده در سال ۱۳۸۳ می توان وضعیت قابلیت اطمینان کل کشور را در دو سال مختلف مورد بررسی قرار داد. البته در این مطالعات باید تمام شرایط مطالعه از جمله تعداد نمونه ها با یکدیگر برابر باشد. در این قسمت با مقایسه نتایج با شاخصهای سال ۱۳۸۳ مشاهده می شود که شاخصهای قابلیت اطمینان افزایش یافته اند و وضعیت کل شبکه از لحاظ قابلیت اطمینان بهبود نیافته است.

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

همانگونه که مشاهده شد تغییرات اعمال شده بر روی نیروگاههای شبکه تاثیرات عمده ای بر قابلیت اطمینان کل شبکه و همچنین نقاط بار اطراف خود خواهند داشت. به عبارت دیگر طرحهایی که شامل ورود یا خروج واحدهای نیروگاهی جدید باشند علاوه بر تاثیرات منطقه ای، شاخصهای قابلیت اطمینان کل شبکه را نیز تحت تاثیر قرار می دهند. البته باید در نتایج بدست آمده به این نکته دقت داشت که در صورت بروز هرگونه مشکل در شبکه که منجر به اعمال خاموشی شود، ابتدا خاموشی در منطقه مورد نظراعمال خواهد شد و نقاط بار این منطقه در اولویت اول قرار می گیرند. البته علاوه بر این نقاط باتوجه به نتایج بدست آمده مشاهده می شود که شاخصهای دیگر نقاط بار منطقه نیز با اعمال این طرحها تحت تاثیر قرار می گیرند.

طبیعتاً در طرحهایی که واحدهای نیروگاهی از مدار خارج می گردند علاوه بر شاخصهای نقاط بار اطراف منطقه مورد مطالعه، شاخصهای قابلیت اطمینان کل سیستم نیز تحت تاثیر بیشتری قرار می گیرند.

۶- مراجع

- [۱] Billinton, R. N. Allan and L. G. Salvaderi, "Applied Reliability Assessment of Electric Power Systems", IEEE Press, 1991
- [۲] Billinton and R.N.Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", Pitman Books, 1996.
- [۳] Billinton and W. Li, "Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods", Plenum Press, New York, 1992.
- [۴] R. Billinton and W. Zhang, "Adequacy Equivalent Development of Composite Generation and Transmission Systems", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 74, No. 1, pp. 1-12, October 2001
- [۵] Wenyan Li, User's Manual of MECORE Program, Bc Hydro, Canada. 1996