

# راه کارهای افزایش میزان تاب آوری و توانایی بازگشت پذیر شبکه توزیع برق مازندران در مقابل حوادث طبیعی

۰۳۲۰۶ کد مقاله

میثم کرمی خارکشی  
شرکت توزیع نیروی برق مازندران

واژه‌های کلیدی — اتوماسیون؛ بازگشت پذیری شبکه؛ تاب آوری شبکه توزیع برق؛ مدیریت شاخه زنی

## ۱. مقدمه

با توجه به اینکه کشور ما کشوری حادثه‌خیز است که حوادث طبیعی زیادی چون سیل، زلزله و طوفان در آن رخ می‌دهد و از طرفی با تغییرات جوی اخیر و هشدارهای سازمان هواشناسی، بازنگری در روشهای مقاوم سازی شبکه های توزیع و افزایش تمهیدات لازم در بازگشت پذیری شبکه بعد از بروز حوادث طبیعی امری ضروری به نظر می رسد. و در صورتیکه این تهدیدها مدیریت نشوند ممکن است تبدیل به بحران گردد. شبکه توزیع برق مازندران در حال حاضر با بیش از ۱/۳ میلیون مشترک در منطقه شمال کشور مشتمل بر ۱۶ امور مختلف میباشد و با تعداد ۵۷ پست فوق توزیع و ۴۳۰ فیدر فشار متوسط، برق رسانی به مناطق مرکز و شرق استان مازندران را بر عهده دارد. از نظر جغرافیایی شامل مناطق کوهستانی و جنگلی متعددی می باشد که همواره تحت تاثیر طوفانها و حوادث طبیعی گوناگون بوده است.

با توجه به افزایش میزان حوادث طبیعی طی سالهای اخیر و هشدارهای اخیر سازمان هواشناسی که مناطق تحت پوشش شبکه توزیع برق مازندران

چکیده — بروز شرایط نامساعد آب و هوایی و حوادث طبیعی همواره منجر به تحمیل خسارات و خاموشی های گسترده در سطح شبکه های توزیع گشته است، که تعداد و شدت این رخدادها در سالهای اخیر عمدتا رو به فزونی بوده است. این خاموشی ها تعطیلی مدارس، مختل شدن سرویس رسانی در مراکز اورژانسی، خسارت عظیم مالی به صنایع و اقتصاد، و مشکلات عدیده دیگری را به دنبال خواهد شد. لذا افزایش مقاومت شبکه و توانایی بازگشت پذیری آن در مقابل شرایط نامساعد جوی، کاهش میزان تاثیر پذیری شبکه توزیع برق در مقابل رخداد حوادث قهری و بهبود زمان رفع خاموشی می بایستی جزو اولویتهای برنامه ریزی جهت طراحی و بهره برداری از شبکه قرار گیرد. در این مقاله ضمن بررسی روند گسترش بروز خاموشی های شبکه توزیع ناشی از شرایط بد جوی، نقاط ضعف شبکه شناسایی و راهکارهای افزایش تاب آوری و توانایی بازگشت پذیری شبکه در مقابل شرایط بد جوی مورد مطالعه قرار گرفته است. شبکه مورد مطالعه در این مقاله، شبکه توزیع برق مازندران می باشد و همواره سعی بر آن بوده است که بررسی ها منطبق با شرایط خاص طبیعی منطقه صورت گیرد.

آخرین طوفان سهمگین در منطقه مازندران در تابستان ۱۳۹۵ با سرعت باد بیش از ۱۳۰ کیلومتر در ساعت و به همراه باران شدید به وقوع پیوست.



شکل ۳: سقوط درخت بر روی شبکه فشار متوسط در طوفان تابستان ۹۵

در حالیکه استان شاهد سایر حوادث طبیعی نیز بوده که به شدت شبکه توزیع برق را تحت تاثیر قرار داده است. نمونه ای دیگر از حوادث مربوط به بحران بارش برف سنگین در دی ماه سال ۱۳۹۵ به همراه تداوم سرمای شدید طی چندین روز پس از بارش بوده است بنحویکه ارتفاع برف در برخی مناطق به بیش از سه متر رسیده بود و با توجه به پوشش جنگلی سنگین منطقه به شدت شبکه توزیع را به واسطه نشست شاخ و برگ و سقوط درختان از فواصل دوردست بر روی شبکه تحت تاثیر قرار داد.



شکل ۴: تاثیر پذیری شبکه در زمان بارش برف سنگین پاییز ۹۵

در این مقاله ضمن جمع بندی مشاهدات صورت گرفته در زمان بروز حوادث نادر طبیعی، به منظور مقاوم سازی شبکه در مقابل حوادث و افزایش توانایی بازگشت پذیری پس از بروز، نقاط ضعف شبکه شناسایی و راهکارهایی جهت مقاوم سازی شبکه قبل از بروز حادثه و همچنین افزایش توانایی بازگشت پذیری شبکه در زمان بروز حادثه ارائه شده است. این راه حل ها در حوزه های بهره برداری از شبکه، طراحی، نظارت و رعایت استانداردها، بازنگری استانداردها و پهنه بندی آلودگی با توجه به شرایط جدید آب و هوایی، مدیریت بهینه بحران، بازنگری بسترهای امن مخابراتی،

را نیز شامل می شود، الزامی است تا در خصوص مقاوم سازی شبکه قبل از بروز طوفان و توانایی بازگشت پذیری آن پس از بروز طوفان و حوادث طبیعی اقدامات جدی به عمل آید. علاوه بر گزارش سازمان هواشناسی می توان به مراجعه به علل خاموشی های ثبت شده در نرم افزار ثبت حوادث و خاموشی های شرکت توزیع برق مازندران (محصول شرکت تذر و افزار) و مشاهده گزارشات مربوط به خاموشی های ناخواسته با علت شرایط نامساعد جوی موید این مطلب میباشد که بروز خاموشی های از این دست رو به افزایش بوده است. نمودار ذیل عدد مربوط به تعداد خاموشی هایی که منجر به قطع فیدر فشار متوسط از پست فوق توزیع گردیده است را نسبت به تعداد کل فیدر های همان سال به صورت نرم شده نشان می دهد.

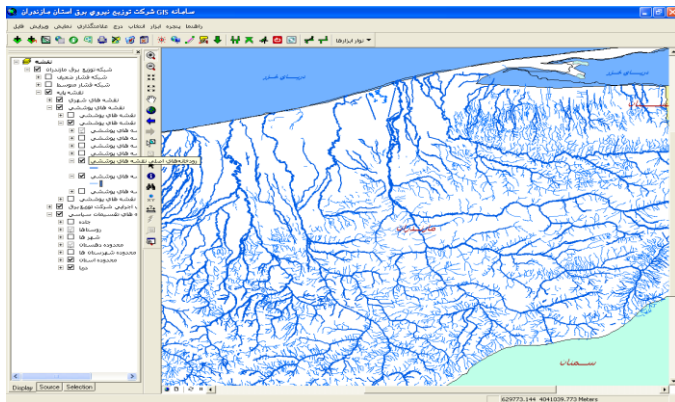


شکل ۱: نرخ تعداد قطعی فیدری ناشی از شرایط نامساعد جوی به تعداد کل فیدر (گزارش نرم افزار ثبت حوادث ۱۳۹۱)

مطابق آمارهای موجود طی دوره مورد مطالعه مناطق مختلف امورهای ۱۶ گانه شبکه توزیع برق مازندران تاثیر پذیری های متفاوتی از شرایط نامساعد جوی داشته اند. شکل زیر میزان تاثیر پذیری هر امور از امورهای ۱۶ گانه شرکت توزیع برق مازندران از شرایط نامساعد جوی را طی سالهای ۱۳۸۸-۱۳۹۵ نشان می دهد.



شکل ۲: میزان تاثیرپذیری مناطق ۱۶ گانه توزیع برق مازندران از شرایط نامساعد جوی



شکل ۵: شناسایی شبکه الکتریکی در مسیر رودخانه با استفاده از GIS

همچنین با استفاده از اطلاعات موجود در بانک اطلاعات مکانی شرکت توزیع برق مازندران و تجدید ارزیابی صورت گرفته در سطح شرکت عمر تمامی تجهیزات به تفکیک موقعیت مکانی و نوع تجهیز استخراج شده و تجهیزاتی که عمر مفید خود را پشت سر گذاشته اند به عنوان نقاط ضعف شبکه شناسایی و مورد توجه ویژه و در اولویت اصلاح و ترمیم قرار گرفتند. در شکل زیر قدمت پایه های مورد استفاده در شبکه توزیع برق مازندران به تفکیک طیف رنگی نشان داده شده است که جزو نتایج تجدید ارزیابی صورت گرفته در بستر GIS بوده است. این نتایج در مورد تک تک امورها و به تفکیک تمامی تجهیزات قابل استحصال می باشد.



شکل ۶: شناسایی میزان فرسودگی پایه های موجود به تفکیک امورها مخففها

استفاده از تکنولوژی های جدید و غیره می باشد. که در نهایت موجب اعمال تغییراتی در فعالیتهای جاری شرکت توزیع برق مازندران شده است. همچنین با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی و انجام تجدید ارزیابی به شناسایی شبکه فرسوده پرداخته و با در نظر گرفتن لایه های مربوط به گسل ها و رودخانه و سیلابها به شناسایی شبکه های در مسیر گسل، رودخانه و سیلاب پرداخته و برنامه ریزی لازم جهت ترمیم شبکه های شناسایی شده صورت گرفته است. به علاوه جهت تقویت ارتباط مخابراتی در هنگام بروز بحرانها با استفاده از لایه های ارتفاعی به شناسایی نقاط کور شبکه پرداخته و با جایابی بهینه و نصب تکرارکننده های مخابراتی به تکمیل پوشش مخابراتی شبکه پرداخته شده است.

## ۲. شناسایی نقاط ضعف شبکه در شرایط نامساعد جوی

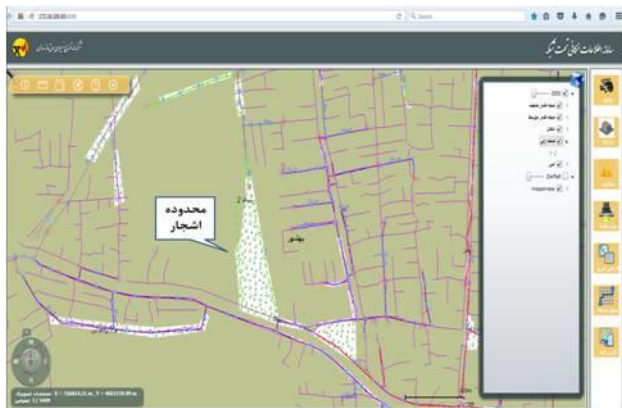
با جمع آوری گزارشات واصله از امورهای ۱۶ گانه شرکت و همچنین بازدیدهای میدانی از محل های بروز حادثه همواره تلاش بر این بوده است که ضمن دسته بندی علل حوادث بوقوع پیوسته نسبت به ارائه راه حل های کارشناسی جهت جلوگیری از بروز حوادث مشابه پرداخته شود. در جمع بندی نهایی علل حوادث رخ داده در طوفانهای منطقه مازندران به شرح ذیل میباشد:

- سقوط درختان و برخورد شاخه ها با شبکه هوایی
- شکستن و سقوط پایه
- اتصالی و به هم پیچیدن فازها و پارگی سیم در اثر باد شدید
- پایین بودن استاندارد طراحی با توجه به شرایط جوی جدید

از طرفی همواره قسمت هایی از شبکه به دلیل عمر بالای تجهیزات و فرسودگی آنها و همچنین قرار گیری در مسیر سیلابها، گسل ها، مسیر زلزله و ... از پتانسیل بالای آسیب پذیری قرار دارند.

در راستای شناسایی نقاط ضعف شبکه به کمک ابزارهای مختلف من جمله سامانه اطلاعات مکانی شبکه توزیع برق مازندران، مطالعاتی صورت گرفته مناطق درگیر شبکه توزیع برق با مسیرهای حادثه خیز طبیعی (مسیر سیلابها، گسلها و ...) به عنوان نقاط ضعف شبکه شناسایی و در دستور کار اصلاح و جابجایی شبکه به منظور مقاوم سازی قرار گرفت.

در این خصوص ضمن عقد تفاهم نامه هایی با شهرداری های و ارگانهای ذیربط همکاری های خوبی در خصوص انجام عملیات شاخه زنی توسط امورهای شرکت توزیع برق مازندران صورت گرفته و در حال انجام می باشد.



شکل ۷: محیط مرتبط با ورود اطلاعات اشجار در Web GIS

### ۳. بررسی راهکارهای افزایش تاب آوری و توانایی بازگشت پذیری شبکه

استراتژی شرکت توزیع برق مازندران در خصوص افزایش تاب آوری و توانایی بازگشت پذیری با توجه به بررسی های صورت گرفته شامل محورهای ذیل میباشد:

- مدیریت شاخه زنی
- بازنگری در ساخت پایه های جدید، تعمیرات و نگهداری پایه ها
- استفاده از تجهیزات آماده به کار
- بازنگری در استانداردهای طراحی
- استفاده از اتوماسیون و تکنولوژی های جدید در افزایش توان بازآرایی شبکه
- بهبود پوشش ارتباطی در مواقع بحران

### ۳.۲. بازنگری در ساخت پایه ها جدید و مقاوم سازی

#### پایه های قدیمی

با توجه به آمار بالای سقوط پایه ها و شکستگی آنها در شرایط جدید طوفانهای اخیر راهکارهای ذیل جهت مقاوم سازی پایه های موجود و افزایش کیفیت پایه های جدید پیش گرفته شده است:

- ارتقای پایه های چوبی به پایه های بتنی مقاوم
- به کارگیری مهار در صورت لزوم در پایه هایی که تحت نیروی کششی قرار دارند.
- استفاده از کلاف های بتنی جهت نصب پایه در تمامی زمینهای سست منطقه مازندران
- نظارت بر استفاده از مواد اولیه با کیفیت بالاتر در ساخت پایه های بتنی

### ۳.۳. استفاده از تجهیزات آماده به کار

با توجه به اینکه در بسیاری از شرایط بد جوی خسارت صد درصدی به تجهیزات شبکه توزیع وارد می شود و ادامه انجام روند برق رسانی با وقفه چند روزه مواجه خواهد شد تنها راه استفاده از تجهیزات آماده به کار از قبیل ژنراتورها، ترانسفوماتورها و تجهیزات مرتبط که به صورت سیار و آماده به کار هستند می باشد.

#### ۳.۱. مدیریت شاخه زنی

با توجه به پوشش گیاهی منطقه مازندران که عمدتاً شامل جنگل و درخت می باشد، اکثر شبکه های توزیع برق در حال حاضر درگیر با درختان بوده و یا پتانسیل بالقوه بالایی در ایجاد آن موجود است. با توجه به گزارش آماری استخراج شده از نرم افزار ثبت حوادث و آنچه در دنیای واقعی از میزان شبکه های توزیع که با درختان درگیر است، میتوان نتیجه گرفت که از اولویتهای شرکت توزیع برق مازندران بررسی مسائل مرتبط با حوادث ناشی از سقوط درختان و برخورد شاخه ها با شبکه است.

جهت ساماندهی عملیات شاخه زنی در شرکت توزیع برق مازندران، در گام اول اقدام به تهیه بانک اطلاعات مکانی و توصیفی از درختان در گیر با شبکه پرداخته شده است.

با افزودن فیلد مربوط به اطلاعات اشجار به تکمیل اطلاعات توصیفی آنها از قبیل: نوع درخت، ارتفاع درخت، میزان حریم ایجاد شده، سابقه شاخه زنی و ... برداشت می شود.

این موضوع ضمن در اختیار قراردادن بانک کاملی از اطلاعات شبکه های درگیر با درختان در برنامه ریزی جهت اقدام به موقع عملیات شاخه زنی و متناسب با فصل شاخه زنی کمک شایانی خواهد کرد.

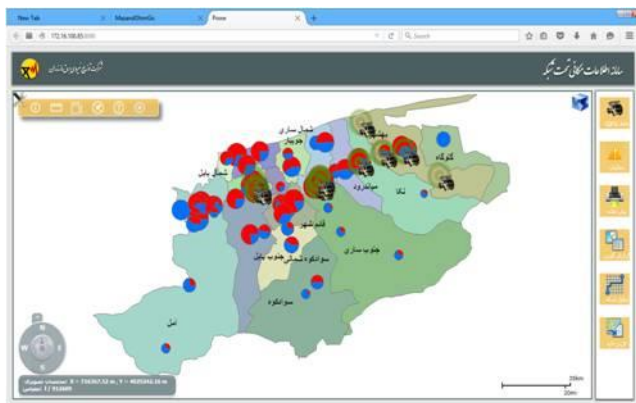


### ۳.۵. استفاده از اتوماسیون و تکنولوژی های جدید در

#### افزایش توان بازآرایی شبکه

با توجه به اینکه افزودن نقاط رینگ به شبکه، استفاده از کلیدهای اتوماسیون، افزایش تعداد فیدهای تغذیه کننده یک ناحیه و استفاده از تکنولوژی های جدید توانایی شبکه را جدا کردن مناطق آسیب دیده و تغذیه آنها از طریق مسیرهای جایگزین ممکن می سازد برنامه توسعه نقاط رینگ و جایابی کلیدها و خطوط رینگ با استفاده از نرم افزار دیگسایلنت و روش PSO در دستور کار شرکت توزیع برق مازندران قرار گرفت. تا با انجام مانورهای به موقع و مناسب از رخداد خاموشی های گسترده و پشت سر هم جلوگیری گردد.

سیستم راهبری شبکه و مدیریت خاموشی در بستر GIS شامل تجمیع اپلیکیشن هایی از قبیل خطایاب های پیام رسان، مکان یابهای خودروهای عملیاتی، مانیتورینگ پستهای فوق توزیع و فیدهای فشار متوسط توسط واحدهای جمع آوری داده در بستر Web GIS از دیگر امکانات نوینی است که در شرکت توزیع برق مازندران جهت مدیریت خاموشی مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۱۰: نمایشی از سیستم راهبری شبکه در بستر Web GIS

از طرفی استفاده از منابع ذخیره ساز انرژی، منابع تولید پراکنده، منابع تولید همزمان انرژی، حرارت و برودت، تکنولوژی های موجود در شبکه هوشمند و... راهکارهای هستند که در لحظات بروز خاموشی و زمانهایی که حداکثر درخواست (دیماند) از طرف مصرف کننده وجود دارد کمک شایانی به کاهش بار از روی شبکه آسیب دیده خواهد داشت. و به نوعی کمک به حفظ پایداری فرکانس شبکه و برقراری تعادل در میزان تولید و درخواست شبکه خواهد داشت. به عبارتی دیگر راه اندازی ریز شبکه ها این امکان را به شبکه می دهد تا در زمان بروز خاموشی یک بخش به تنهایی به تغذیه

با بازنگری در تعداد تجهیزات آماده به کار تا حدودی قابلیت تامین برق اضطراری در شرایط بحران تقویت شده است که البته با توجه محدودیت های مالی امکان کار و توسعه فراوان در این زمینه وجود دارد.

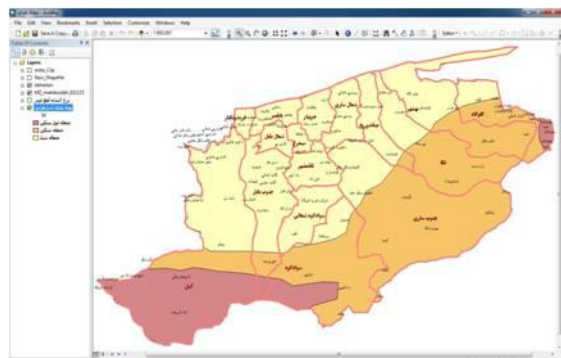


شکل ۸: نمایشی از تجهیزات آماده به کار

از طرفی در شرکت توزیع برق مازندران منطبق با سیستم ایمنی Ohas کليه دستورالعمل های مواجهه با طوفان، سيل، زلزله و... سایر دستورالعملهای در خصوص شاخه زنی و موارد مرتبط تهیه و بروز رسانی گردید.

### ۳.۶. بازنگری و ارتقای استانداردهای طراحی

با عنایت به اینکه بعضی از شهرهای استان به طور کامل در حاشیه منطقه ساحلی بوده و آلودگی های شن و نم ساحل بر روی تجهیزات موثر واقع می شود و مناطق دیگری در پهنه دشت و یا مناطق کوهستانی و جنگلی قرار دارند ضروری است نقشه آلودگی به تفکیک شهرهای استان با شرایط اقلیمی جدید مد نظر قرار گیرد که می تواند منجر به افزایش سطح استاندارد طراحی خطوط گردد و شرایط سخت گیرانه تری را به طراحی خطوط اعمال کند. همچنین ضروری است بازنگری ویژه ای در خصوص اعمال ضرایب اضافه بار ناشی از یخ، باد و طوفان مطابق استاندارد IEC60826 در بخش طراحی داشت. در شکل زیر تفکیک مناطق مختلف استان جهت انتخاب ضرایب بارگذاری خطوط به ترتیب رنگ جهت مناطق فوق سنگین، مناطق سنگین و مناطق سبک نشان داده شده است.



شکل ۹: استاندارد بارگذاری استان بر اساس منطقه آب و هوایی

- افزایش توانایی بازگشت پذیری شبکه و جلوگیری از گسترش دامنه خطا در زمان بروز خاموشی
- افزایش قابلیت اطمینان شبکه و بهبود شاخص های بهره برداری
- کاهش خسارات اقتصادی ناشی از بروز خاموشی های متاثر از حوادث طبیعی
- افزایش رضایت مندی مشترکین شبکه توزیع

### قدر دانی

با توجه به گسترده بودن عملیات جمع آوری داده و انجام مطالعات لازم در خصوص موضوع مقاله، در اینجا از مساعدت تمامی همکاران محترم در امورهای ۱۶ گانه شرکت توزیع برق مازندران و همچنین همکاران محترم ستادی کمال تشکر و قدر دانی را دارم.

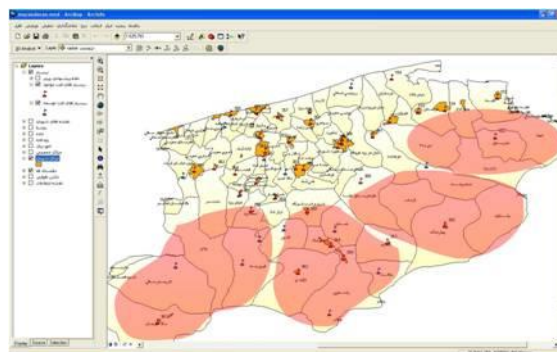
### منابع

- [1] Campbell, Richard J. "Weather Related Power Outages and Electric System Resiliency." Congressional Research Service. August 28, 2012. Website.
- [2] Hines, Paul, Jay Apt, and Sarosh Talukdar. "Trends in the History of Large Blackouts in the United States." University of Vermont. 2008.
- [3] Lawton, Leora et al. "Characteristics and Trends in a National Study of Consumer Outage Costs." Center for Research in Regulated Industries, 16th Annual Western Conference. June 25-27, 2003.
- [4] Mendelsohn, Robert et al. "The Impact of Climate Change on Global References 289 Tropical Cyclone Damage." Nature Climate Change Vol. 2. Pages 205-209. 2012.
- [5] Mills, Evan. "Electric Grid Disruptions and Extreme Weather." Lawrence Berkeley National Laboratory. August 30, 2012. Website.
- [6] Paladino, Joe. "Results and Findings from the ARRA Smart Grid Projects." U.S. Department of Energy, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability. Remarks at the 2013 MARC Annual Conference. June 12, 2013.
- [7] U.S. Department of Energy (2011b). "Recovery Act Smart Grid Programs: Description of Benefits." May 2011.

مناطق بی برق بپردازد و با رفع عیب خطوط به طور سنکرون به شبکه سراسری متصل گردد. این بخش شامل تکنولوژی های جدید ارتباطی و کنترلی خواهد بود که در شرکت توزیع برق مازندران تحت بررسی و تحقیق قرار دارد [۵-۷].

### ۳.۶. بهبود پوشش ارتباطی در مواقع بحران

با عنایت به اینکه مناطق تحت پوشش شبکه توزیع برق مازندران از نظر اختلاف ارتفاعی و وجود کوه ها و درختان جزو مناطقی است که نقاط کور ارتباطی متعددی را شامل می گردد که در هنگام بروز خاموشی اهمیت موضوع چندین برابر خواهد شد. لذا در طرح جامعی با استفاده از ابزار موجود در سامانه اطلاعات مکانی و با در اختیار گرفتن پروفیل ارتفاعی مناطق مختلف نقاطی که نیاز به نصب تقویت کننده های بی سیم داشت شناسایی شده و مراحل انجام مناقصه لازم جهت انتخاب مجری و تهیه تجهیزات لازم در حال انجام می باشد.



شکل ۱۱ : استفاده از لایه های ارتفاعی در جایابی تقویت کننده های بی سیم

### نتیجه گیری

با توجه به ویژگی اقلیمی شرکت توزیع برق مازندران، در ابتدا نقاط ضعف شبکه در تاب آوری مقابل حوادث طبیعی شناسایی شده و راهکارها و اقدامات لازم جهت دستیابی به اهداف تعیین شده و افزایش توانایی بازگشت پذیری شبکه در حداقل زمان ممکن ارائه گردید. پیشنهاد می گردد هر با توجه به شرایط جغرافیایی خاص هر یک از شرکت های توزیع مطالعات مجزایی صورت گرفته و نقاط قابل بهبود آن شناسایی گردد.

در نهایت با اجرایی شدن کامل راهکارهای عنوان شده اهداف ذیل قابل دستیابی خواهد بود:

- افزایش میزان تاب آوری شبکه های توزیع در مقابله با شرایط نامساعد جوی