Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
P.P 26-37

Vol. 11/ No. 2/ Summer 2022
ISSN 2322-2344
eISSN 2717-1639

Analysis and enhancement of resilience of the electricity distribution network of Ardabil province using interruption data

Kamel Sabahi [1], **Masoud Hamedi** [2]

1-Assitant Professor, Department of Engineering Sciences, Faculty of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Namin, Iran.
k.sabahi@uma.ac.ir
2- Ph.D. Student, Ardabil Province Power Distribution Network, Ardabil, Iran.
hamedi_its@yahoo.com

Abstract:

In this paper, the resilience of the Ardabil province power distribution network was investigated at the level of medium voltage feeders by studying the interruptions of the feeders caused by weather conditions. To do this, the weighted sum of the "number of failures due to weather condition (NFW)", "failure time duration due to weather condition (FTW)", and "energy not supplied due to weather condition (ENSW)" were used as an index to assess the resilience of the network. Considering the power interruptions of the last five years, for the interruptions caused by the weather conditions, the numerical value of the defined index for the electricity distribution network of Ardabil province resulted in about 20%, which indicates that the resilience of this network is about 20% less than its ideal value (it is about 80%). To reduce the defined index (increase the resilience), one of the preventive methods is to harden the equipment used in the distribution network for which the feeders that have the highest impact on the defined index were extracted as high-risk feeders to be hardened. Also, to increase the resilience of the Ardabil electricity distribution network, some suggestions have been made to harden high-risk feeders. For this purpose, a number of high-risk feeders were visited to determine possible design discrepancies (contrary to the standard design announced by Tavanir) or their incorrect implementation. By comparing the current status of the studied feeders with the design standards, solutions were provided to correct and increase the strength of these feeders (preventive action to increase resilience). The implementation of the proposed hardening methods is expected to reduce the number of interruptions (due to weather conditions), which will decrease the obtained index and increase the resilience of the network. Moreover, based on this study, it was found that wind, severe storms, rain, thunderstorms, and snow are the most common causes of outages at the level of medium voltage feeders, respectively.

Keywords: **Resilience, Ardabil province power distribution network, energy not supplied, high-risk feeders, and weather condition**

Submit date: 2021/12/29
Accepted date: 2022/06/01

Corresponding author Name: Kamel Sabahi
Corresponding author address: Department of Engineering Sciences, Faculty of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Namin, Iran

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]

Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
ص.ص ۳۷-۲۶

Vol. 11 / No. 2/ Summer 2022
ISSN 2322-2344
eISSN 2717-1639

ارزیابی میزان تاب‌آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل با استفاده از آمار قطعی‌های رخ‌داده و ارائه راهکارهایی جهت تاب‌آورسازی آن

نوع مطالعه: پژوهشی

کامل صباحی[۱] و مسعود حامدی[۲]

۱- گروه علوم مهندسی، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه محقق اردبیلی، نمین، ایران
k.sabahi@uma.ac.ir

۲- شرکت توزیع نیروی برق استان اردبیل، اردبیل، ایران
Hamedi_its@yahoo.com

چکیده: امروزه بررسی اثر عوامل جوی از قبیل باد و طوفان شدید، بارش‌های ناگهانی، سیل و زلزله بر عملکرد سیستم قدرت و مقاوم‌سازی این زیرساخت حیاتی در مقابل این بلایا دارای اهمیت دو چندان می‌باشد. در چنین شرایطی، حفظ امنیت بهره‌برداری یک سیستم قدرت در شرایط رخداد حوادث با اثر کم و احتمای زیاد دیگر کافی نبوده و بایست یک ویژگی دیگر از این سیستم که رفتار آن حوادث با اثر زیاد و احتمای کم را منعکس می‌نماید مدنظر قرار گیرد. این ویژگی که از آن به عنوان تاب‌آوری یاد می‌شود، میزان استقامت، آسیب‌پذیری و برگشت‌پذیری یک سیستم زیرساختی را نشان می‌دهد. در این مقاله با آنالیز آماری قطعی‌های رخ‌داده در سطح فیدرهای فشار متوسط شبکه توزیع برق استان اردبیل، شاخصی وزن‌دار که شامل مجموع درصدهای انرژی توزیع نشده، مدت زمان قطع شبکه و تعداد قطعی‌های رخ داده ناشی از عوامل جوی می‌باشند، جهت ارزیابی میزان تاب‌آوری این شبکه تعریف شده است. همچنین، باتوجه به هزینه مالی زیاد جهت مستحکم‌سازی همه فیدرهای شبکه توزیع برق استان، در این مقاله فیدرهایی که بیشترین سهم را در شاخص تعریف شده دارند تحت عنوان فیدرهای پرمخاطره جهت مستحکم‌سازی با هدف اقدام پیشگیرانه استخراج شده است. در نهایت با مطالعه میدانی تعدادی از فیدرهای پرمخاطره، مغایرت‌های طراحی و اجرایی این فیدرهای شناسایی شده و راهکارهای لازم جهت مستحکم‌سازی این فیدرها براساس استانداردهای طراحی شرکت توانیر پیشنهاد شده است که با اجرای آن‌ها انتظار می‌رود تاب‌آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل در سطح فیدرهای فشار متوسط به ازای قطعی‌های رخ‌داده افزایش یابد.

کلمات کلیدی: تاب‌آوری، شرکت توزیع برق استان اردبیل، انرژی توزیع نشده، فیدرهای پرمخاطره و شرایط جوی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱

نام نویسنده‌ی مسئول: کامل صباحی

نشانی نویسنده مسئول: گروه علوم مهندسی، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه محقق اردبیلی، نمین، ایران

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]

۱- مقدمه

امروزه سیستم‌های زیرساختی از جمله شبکه‌های برق و مخابراتی نقشی حیاتی در زندگی بشریت ایفا می‌کنند و می‌بایست بحث افزونگی[1] در طراحی و بهره‌برداری این سیستم‌ها مورد نظر قرار گیرند. در بحث افزونگی، به عنوان مثال، شبکه توزیع برق می‌تواند توسط دو ترانسفورماتور موازی تغذیه شوند و این ترانسفورماتورها به تنهایی قادر به تامین بار فیدرهای توزیع بوده تا در شرایط خرابی، تعمیر و یا تست ترانسفورماتور دیگر، مصرف‌کنندگان با خاموشی مواجه نگردند. به‌همین منظور و در جهت حفظ امنیت این سیستم‌ها و رضایت مشترکین، مطالعات تحلیل پیشامد بصورت دوره‌ای صورت می‌پذیرد. به عبارت دیگر، حفظ امنیت سیستم‌های گفته شده و مقاوم ساختن عملکرد آن در برابر حوادث با اثر کم و احتمال وقوع زیاد به عنوان یک ضرورت بهره‌برداری از گذشته مرسوم بوده است. اما امروزه باتوجه به شرایط اقلیمی دنیا، مطالعه یک ویژگی دیگر از این سیستم که رفتار آن به حوادث با اثر زیاد و احتمال کم را منعکس می‌نماید مدنظر قرار گیرد. این ویژگی که از آن به عنوان "تاب‌آوری[2]" یاد می‌شود، میزان استقامت، آسیب‌پذیری و برگشت‌پذیری یک سیستم زیرساختی را نشان می‌دهد (Ebadat-Parast et al., 2022; Ghasemi et al., 2022; Raoufi et al., 2021).

در کشورهای ایالات متحده آمریکا، ژاپن و چین نمونه‌ای از حوادث و بلایای طبیعی که باعث بروز قطعی و در نتیجه واردشدن خسارت به مشترکین گردیده است، در مراجع (Cutter et al., 2013)، (Guerritore, 2013)، (Wang et al., 2016) و (Xia et al., 2020) آورده شده است. در این حوادث و در مناطق درون‌شهری، درصد قابل توجهی از خرابی‌ها و آسیب‌ها به شبکه توزیع وارد شده و علت خاموشی‌های رخداده ناشی از تخریب شبکه توزیع بوده است. در این وقایع، هزاران درخت شکسته و با آسیب به شبکه‌های برق، برخی از شهرها را برای بیش از دو هفته بی‌برق کرده‌اند. در شرایط وقوع یک حادثه و بلای طبیعی، اجزای تشکیل دهنده تاب‌آوری یک سیستم به سه قسمت پیش از حادثه، حین حادثه و پس از حادثه تقسیم‌بندی می‌شوند که عملیاتی از قبیل هوشیاری وضعیتی، آمادگی و استقامت تجهیزات می‌تواند به تاب‌آوربودن سیستم قدرت کمک کند (Panteli et al., 2017). در حین حادثه نیز، سیستمی با قابلیت انطباق (تطابق با وضعیت جدید شبکه) و دوام بهتر، دارای ویژگی‌های تاب‌آوری مناسبی بوده و همچنین بازیابی سریع و سرعت عمل در بازگرداندن شبکه آسیب دیده به حالت عادی از مشخصه‌های مهم یک سیستم با تاب‌آوری مناسب می‌باشد. تا به امروز، روش‌های مختلفی جهت ارزیابی و همچنین افزایش تاب‌آوری شبکه توزیع برق معرفی شده است که در ادامه به مرور تعدادی از آن پرداخته می‌شود. در مرجع (Tari et al., 2021) خرابی تند بادها و طوفان شدید بر شبکه توزیع برق بصورت شکسته‌شدن تیرها و هادی‌ها در اثر سقوط درختان و از کار افتادن اجزای تیرها همانند کراس‌آرم‌ها یا مقره‌ها در اثر طوفان شدید بیان شده است. در مرجع گفته‌شده از "تعداد تیرهای سالم شبکه توزیع" در هنگام وقوع حادثه طوفان به عنوان شاخص تاب‌آوری استفاده شده است و نشان داده شده است که با استراتژی مستحکم‌سازی تجهیزات شبکه می‌توان این شاخص را بهبود داد. در مرجع (Saberi et al., 2020) ارزیابی تاب‌آوری شبکه توزیع برق به دو صورت توانایی تامین بار شبکه و در دسترس بودن منابع تولید پراکنده در هنگام وقوع بلایای طبیعی در نظر گرفته شده است. با توجه به حضور منابع تولید پراکنده در شبکه‌ی توزیع و با توجه به اینکه این منابع به عنوان جایگزین منبع تغذیه اصلی در هنگام وقوع حوادث غیرمترقبه می‌باشند، در دسترس بودن خود این منابع در هنگام وقوع حوادث بر روی تاب‌آوری شبکه تاثیرگذار خواهد بود. در مرجع (Tabatabaei et al., 2018) تاب‌آوری سیستم به دو دسته شامل اقدامات کوتاه مدت و بلند مدت دسته‌بندی شده‌اند که معیارهای کوتاه مدت به اقدامات نسبی قبل، حین و بعد از وقوع بلایای طبیعی اشاره دارند و اقدامات بلند مدت به برنامه‌ریزی طولانی مدت سیستم قدرت اشاره می کنند تا آن را در برابر وقایع بلایای طبیعی شامل وقوع طوفان و یا سیل مقاوم کند. محکم‌سازی تجهیزات شبکه یکی از اقدامات بلند مدت جهت افزایش تاب‌آوری می‌باشد که میزان مقاومت این تجهیزات را در مواجهه با بلایای طبیعی از جمله طوفان و سیل افزایش می‌دهد. در مرجع (Fanucchi et al., 2019) از مجموع دو شاخص جهت ارزیابی تاب‌آوری شبکه توزیع برق در کشور برزیل استفاده شده است. این دو شاخص براساس تعداد تکنسین‌های شرکت توزیع برق و تاثیر این تعداد بر روی مدت زمان بازیابی شبکه استوار است. در این مقاله، با یک گروه تکنسین عملیاتی و با در نظر گرفتن سرعت باد در بازه‌ی ۱۰ الی ۲۰ کیلومتر بر ساعت، به احتمال ۱۰۰٪، زمان انتظار برای تکنسین‌های عملیاتی کمتر از زمان بحران خواهد بود (که باعث رضایت مشتریان می‌باشد). درحالی که برای بادهایی با سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت، این احتمال در حدود ٪۵۰ درصد بدست آمده است، که مطلوب نیست.

در مرجع (alizadeh et al., 2021) با توجه به افزایش روزافزون سطح نفوذ خودروهای برقی و درنظر گرفتن این نکته مهم که مدیریت مناسب شارژ و دشارژ خودروها می‌تواند تأثیر فراوانی در بهبود شاخص تاب‌آوری شبکه توزیع پس از وقوع یک حادثه شدید داشته باشد، از آن‌ها به منظور بهبود شاخص تاب‌آوری شبکه توزیع و حداکثر کردن

[1] Redundancy
[2] Resilience

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]

شاخص بازیابی بار در حضور خودروهای برقی و با درنظرگرفتن حرکت و جابجایی آن‌ها بین پارکینگ‌ها پیشنهاد شده است.

باتوجه به متفاوت بودن شرایط جوی در کشورها و استان‌های یک کشور و با در نظر گرفتن این نکته که موضوع تاب‌آوری به شرایط آب و هوایی مناطق وابسته است، می‌بایست شبکه برق مناطق مختلف با توجه به اقلیم آن منطقه و شاخص‌های تاب‌آوری متناسب آن بررسی گردد (Younesi et al., 2022). با در نظر گرفتن این مسئله، در این مقاله با آنالیز آماری قطعی‌های رخداده در سطح فیدرهای فشار متوسط شبکه توزیع برق استان اردبیل، از شاخصی جدید، که شامل مجموع درصدهای انرژی توزیع نشده، مدت زمان قطع شبکه و تعداد قطعی‌های رخ داده ناشی از عوامل جوی می‌باشند، جهت ارزیابی میزان تاب‌آوری آن تعریف شده است. در این مقاله، جهت رعایت محدودیت‌های اقتصادی شرکت‌های توزیع برق، فیدرهایی که بیشترین سهم را در شاخص تعریف شده داشته‌اند تحت عنوان فیدرهای پرمخاطره جهت مستحکم‌سازی شبکه توزیع برق (باهداف اقدام پیشگیرانه در جهت افزایش تاب‌آوری) استخراج شده‌اند که با مطالعه میدانی تعدادی از این فیدرهای پرمخاطره، مغایرت‌های طراحی و اجرایی آن‌ها شناسایی شده و راهکارهای لازم جهت مستحکم‌سازی این فیدرها براساس استانداردهای طراحی شرکت توانیر پیشنهاد شده است. بخش‌های مختلف این مقاله در ادامه به صورت زیر است: در بخش دوم، باتوجه به آمار قطعی‌های صورت گرفته، میزان تاب‌آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل باتوجه به شاخص تعریف شده بدست آمده است. در بخش سوم، فیدرهایی که بیشترین سهم را در شاخص تعرف شده دارند، تحت عنوان فیدرهای پرمخاطره جهت مستحکم‌سازی استخراج شده‌اند. در بخش چهارم، راهکارهایی جهت افزایش تاب‌آوری شرکت توزیع برق استان اردبیل (با مستحکم‌سازی تعدادی از فیدرهای پرمخاطره) آمده است. نتیجه‌گیری مقاله در بخش پنجم بیان شده است.

۲- بررسی تاب‌آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل

استان اردبیل از لحاظ وقوع حوادث طبیعی همانند بارش‌های ناگهانی برف و باران، سرما و وزش طوفان‌های شدید جزو استان‌های پرخطر بوده و این بلایای طبیعی باعث آسیب به شبکه توزیع برق استان شده و باعث قطعی‌هایی در فیدرهای فشار متوسط و ضعیف می‌گردند. به عنوان مثال، بارش سنگین برف در تاریخ ۵ و ۴ آبان ماه سال ۱۳۹۵ که مناطق شمالی و شمال‌غرب کشور را در برگرفت، باعث قطعی در خطوط شبکه توزیع فشار متوسط و فشار ضعیف هوایی در شهرهای اردبیل، سرعین، نیر و نمین گردید که نارضایتی مشترکین را در برداشت. علاوه بر بارش ناگهانی برف و یخزدگی هادی‌ها در اثر افت شدید دما، باد با سرعت بالا نیز، که در بعضی مواقع شدت آن به ۱۵۰ کیلومتر بر ساعت نیز می‌رسد، یکی از رخدادهای طبیعی رایج در استان اردبیل می‌باشد که می‌تواند باعث قطع فیدرها گردد. در این بخش جهت مطالعه میزان تاب‌آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل در سطح فیدرهای فشار متوسط، آمار قطعی‌های مربوط به این فیدرها (که به تعداد ۵۰ عدد می‌باشند) در پنج سال منتهی به سال ۱۴۰۰ جمع‌آوری گردیده است که این قطعی‌ها، به دو دسته **قطعی‌های ناشی از عوامل جوی** (بارش شدید برف و باران، وزش شدید باد و طوفان، مه و طوبت شدید، رعد و برق) و **قطعی‌های ناشی از سایر عوامل** از قبیل عیب‌های گذرا، برخورد پرندگان، شکستن مقره و ... تقسیم‌بندی شده است. براساس این قطعی‌های رخداده، سه شاخص جهت بررسی میزان تاب‌آوری شبکه توزیع برق انتخاب شده‌اند که شامل میزان انرژی توزیع نشده، مدت زمان و تعداد قطع فیدرها می‌باشند. با این بررسی، میزان استحکام شبکه توزیع برق در مواجهه با عوامل جوی اشاره شده، که از آن می‌توان به عنوان یکی از اجزای تاب‌آوری شبکه تحت عنوان اقدام پیشگیرانه نام برد، نیز مورد محاسبه قرار گرفته است. بعبارتی دیگر، بعد از محاسبه سه شاخص گفته شده به ازای کل قطعی‌های رخداده در سالهای مورد اشاره، درصدهای میزان انرژی توزیع نشده ناشی از عوامل جوی[1] (ENSW)، مدت زمان قطع ناشی از عوامل جوی[2] (FTW) و تعداد قطعی‌های ناشی از عوامل جوی[3] (NFW) در فیدرهای فشار متوسط استان اردبیل بدست آمده است. این معیارهای بدست آمده برای شاخص‌ها به نوعی بیانگر میزان استحکام شبکه توزیع برق را به ازای عوامل جوی را می‌تواند نشان دهد که مستحکم‌سازی تجهیزات استفاده شده در فیدرهای فشار متوسط باعث کم‌شدن کاهش تعداد قطعی خواهد شد که این کاهش به نوبه خود کاهش میزان انرژی توزیع نشده و مدت زمان قطع ناشی از عوامل جوی را نتیجه خواهد داشت. در نهایت، کاهش میزان

[1] Energy not supplied due to weather condition (ENSW)
[2] Failure time duration due to weather condition (FTW)
[3] Number of failure due to weather condition (NFW)

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

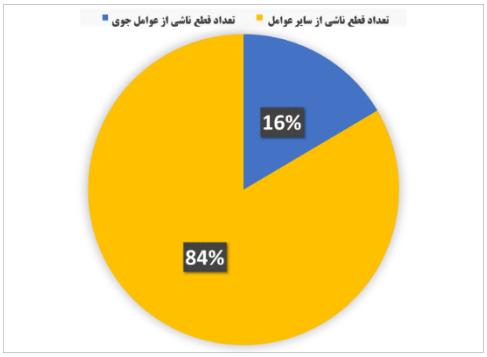
[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]

شاخص‌های گفته شده نیز باعث افزایش تاب‌آوری شبکه توزیع خواهد شد.

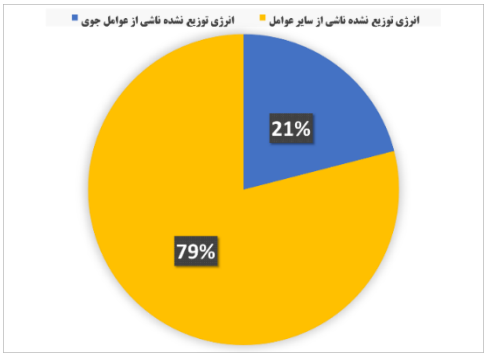
۲-۱- شاخص‌های انرژی توزیع نشده، تعداد قطع و مدت زمان قطع

همانطور که گفته شد، در حالت کلی حوادث رخداده منجر به قطعی در شبکه‌های توزیع برق را می‌توان به دو دسته حوادث ناشی از عوامل جوی و عواملی به‌غیر از عوامل جوی تقسیم‌بندی کرد که در بررسی شاخص‌های تاب‌آوری، دسته اول یعنی قطعی‌های ناشی از عوامل جوی مدنظر قرار می‌گیرند و سعی می‌شود شبکه توزیع برق در مواجهه با این حوادث مستحکم‌سازی شده تا تاب‌آوری آن افزایش یابد. به‌همین منظور و براساس داده‌های جمع‌آوری شده مربوط به قطعی‌های رخداده در فیدرهای فشار متوسط شرکت، میزان انرژی توزیع نشده و مدت زمان قطع این فیدرها نیز بدست آمده است. در این مطالعه، تعداد قطعی‌ها فیدر، مدت زمان قطع فیدر و میزان انرژی توزیع نشده آن به عنوان شاخص در نظر گرفته شده اند. همانطور که گفته شده این سه شاخص می‌تواند ناشی از عوامل جوی و سایر عوامل (به غیر از عوامل جوی) باشند که جهت بررسی تاب‌آوری شبکه، میزان این شاخص‌ها براساس این عوامل از هم تفکیک و درصد تعداد قطعی، انرژی توزیع نشده و مدت زمان قطع هر فیدر (ناشی از عوامل جوی و سایر عوامل) بدست آمده است. برای این کار، ابتدا کل تعداد قطعی، انرژی توزیع نشده و مدت زمان قطع فیدرهای فشار متوسط برای سال‌های مورد مطالعه بدست آمده و درصد این سه شاخص به ازای شرایط نامساعد جوی (و به غیر از عوامل جوی) مورد محاسبه قرار گرفته است. در **شکل ۱** براساس کل تعداد قطعی رخداده در فیدرهای فشار متوسط، میزان تعداد قطعی رخداده ناشی از عوامل جوی و سایر عوامل (بغیر از شرایط جوی) به درصد نشان داده شده است. باتوجه به شکل مشخص است که از میزان تعداد کل قطعی‌های رخداده در فیدرهای فشار متوسط شبکه توزیع استان اردبیل، در حدود ٪۱۶ قطعی‌های ناشی از عوامل جوی بوده و در حدود ٪۸۴ قطعی‌های رخداده ناشی از عواملی به غیر از عوامل جوی می‌باشند.

در **شکل ۲** و براساس تعداد کل قطعی رخداده در فیدرها در سال‌های مورد مطالعه، میزان انرژی توزیع نشده ناشی از عوامل جوی و سایر عوامل (بغیر از شرایط جوی) به درصد نشان داده شده است. باتوجه به شکل مشخص است که از کل انرژی توزیع نشده در فیدرهای فشار متوسط استان اردبیل (به ازای کل قطعی‌های رخداده)، در حدود ٪۲۱ انرژی توزیع نشده ناشی از عوامل جوی بوده و در حدود ٪۷۹ آن ناشی از عواملی به غیر از عوامل جوی می‌باشند.



شکل ۱: تفکیک درصد تعداد قطع فیدرها براساس عوامل جوی و غیرجوی



شکل ۲: تفکیک درصد انرژی توزیع نشده فیدرها براساس عوامل جوی و غیرجوی



شکل ۳: تفکیک درصد مدت زمان قطع فیدرها براساس عوامل جوی و غیرجوی

در شکل ۳ میزان مدت زمان قطع ناشی از عوامل جوی و سایر عوامل به درصد نشان داده شده است. باتوجه به شکل مشخص است که از کل مدت زمان قطعی فیدرهای فشار متوسط توزیع استان اردبیل (به ازای کل قطعی‌های رخداده)، در حدود ٪۲۵ آن ناشی از عوامل جوی بوده و در حدود ٪۷۵ ناشی از عواملی به غیر از عوامل جوی می‌باشند. همانطور که در قبل بیان گردید، یکی از موارد تاب‌آورسازی شبکه‌های توزیع برق اقدام پیشگیرانه می‌باشد که به مفهوم افزایش استحکام تجهیزات شبکه توزیع برق (در این مطالعه منظور تجهیزات فیدرهای فشار متوسط می‌باشد) در مواجهه با بلایای طبیعی می‌باشد. با افزایش استحکام تجهیزات شبکه توزیع می‌توان مطمئن شد که تعداد قطعی‌های ناشی از عوامل جوی کم شده و این مسئله منجر به کاهش میزان انرژی توزیع نشده و مدت زمان قطع ناشی از عوامل جوی

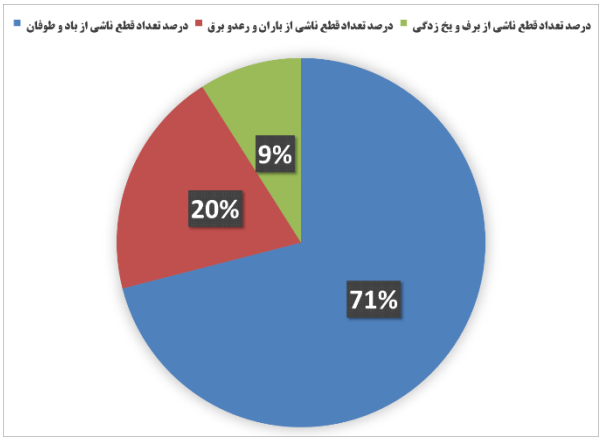
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]

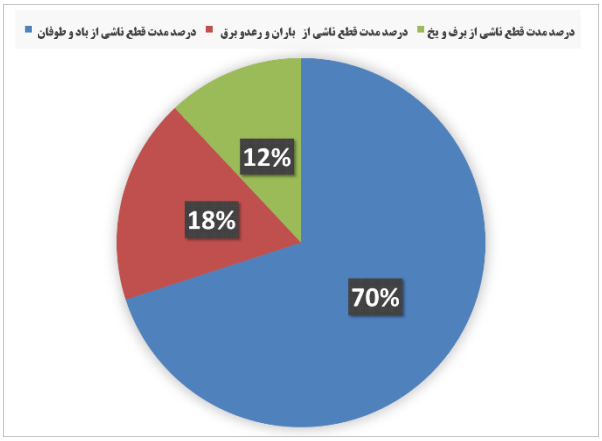
خواهد گردید که این نیز به نوبه خود منجر به افزایش تاب‌آوری شبکه توزیع برق می‌شود.

۲-۲- تفکیک میزان شاخص‌های تاب‌آوری بدست آمده براساس عوامل جوی معمول استان

براساس عوامل جوی معمول در استان اردبیل، درصد تاثیر هرکدام از این عوامل جوی در قطعی‌های رخداده در سطح فیدرهای فشار متوسط و در نتیجه تاثیر آن‌ها بر سه شاخص ENSW، FTW و NFW قابل بحث می‌باشد. در **شکل ۴** میزان NFW بدست آمده براساس سه عامل جوی معمول یعنی باد و طوفان، برف و یخزدگی و همچنین باران و رعد و برق نشان داده شده است.

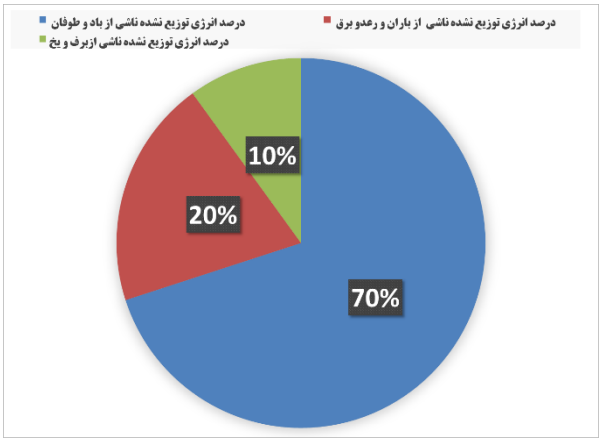


شکل ۴: تفکیک درصد NFW فیدرها براساس سه عامل جوی معمول در استان اردبیل



شکل ۵: تفکیک درصد FTW براساس سه عامل جوی معمول در استان اردبیل

باتوجه به شکل مشخص است که از میزان NFW بدست آمده (که ۱۶٪ از کل قطعی‌های شبکه می‌باشد)، ۷۱٪ آن ناشی از وقوع طوفان و باد شدید می‌باشد که براساس اقلیم استان اردبیل این نتیجه قابل پیش‌بینی می‌باشد. درصد تعداد قطعی‌های ناشی از بارش باران و رعد و برق و همچنین برف و یخزدگی در سطح فیدرهای فشار متوسط نیز به ترتیب ۲۰٪ و ۹٪ می‌باشند. همچنین در شکل ۵ میزان FTW براساس سه عامل جوی معمول گفته شده در استان اردبیل نشان داده شده است. باتوجه به شکل مشخص است که ۷۰٪ از میزان مدت زمان قطع فیدرهای فشار متوسط (ناشی از عوامل جوی) مربوطه به وزش باد و طوفان‌های رخداده در سطح استان می‌باشد. لازم به ذکر است که ۱۸٪ این مدت زمان قطعی مربوط به بارش باران و رعد و برق و ۱۲٪ آن ناشی از بارش برف و یخزدگی در سطح فیدرهای فشار متوسط می‌باشند. در **شکل ۶** میزان ENSW در شبکه توزیع برق اردبیل به ازای سه عامل جوی اشاره شده نشان داده شده است که مشخص است که وزش باد و طوفان شدید دارای بیشترین مقدار بوده (در حدود ۷۰٪) و نقش باراش باران و رعد و برق در حدود ۲۰٪ و بارش برف و یخزدگی نیز به میزان ۱۰٪ در میزان ENSW در شبکه توزیع تاثیر داشته‌اند.



شکل ۶: تفکیک درصد انرژی توزیع نشده(جوی) براساس سه عامل جوی معمول در استان اردبیل

۲-۳- ارزیابی تاب‌آوری شرکت توزیع برق براساس مجموع وزن‌دار سه شاخص

همانطور که در قبل بیان شد، جهت ارزیابی میزان تاب‌آوری شرکت توزیع برق استان اردبیل (به ازای تعداد کل قطعی‌های رخداده) در سطح فیدرهای فشار متوسط، سه شاخص ENSW، FTW و NFW تعریف شدند. بنابه اهمیت هرکدام از این شاخص‌ها، از مجموع وزن‌دار آن‌ها به عنوان یک شاخص نهایی جهت ارزیابی میزان تاب‌آوری شبکه توزیع برق به ازای قطعی‌های رخداده استفاده شده است. این شاخص وزن‌دار بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$RI = w_1 \times NFW + w_2 \times FTW + w_3 \times ENSW \qquad (۱)$$

که در آن RI بیانگر میزان شاخص تاب‌آوری بوده (که هرچقدر به صفر نزدیکتر باشد، مطلوب‌تر بوده و شبکه توزیع برق دارای تاب‌آوری مناسب می‌باشد) و همچنین w_1، w_2 و w_3 به ترتیب ضرایب وزنی شاخص‌های ناشی از شرایط جوی می‌باشند. لازم به ذکر است که که مجموع این ضرایب وزنی یک بوده و در این مقاله $w_1 = 0.4$، $w_2 = 0.3$ و $w_3 = 0.3$ انتخاب شده‌اند (اولویت هر کدام در ارزیابی شاخص نهایی تاب‌آوری تقریبا یکسان در نظر گرفته شده است).

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]

بنابراین، با این انتخاب و براساس مقادیر ٪۱۶ ، ٪۲۵ و ٪۲۱ به ترتیب برای شاخص‌های تعداد قطعی‌ها، مدت زمان قطع و میزان انرژی توزیع نشده ناشی از شرایط جوی و باتوجه به رابطه بالا، مقدار شاخص وزن‌دار جهت ارزیابی تاب‌آوری شبکه در حدود ٪۲۰ بدست می‌آید.

به عبارت دیگر براساس تعداد قطعی‌ها رخداده در سطح فیدرهای فشار متوسط، تاب‌آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل به میزان ٪۲۰ از مقدار ایده‌آل خود پایین‌تر بوده و هرگونه مستحکم‌سازی با هدف اقدام پیشگیرانه در سطح فیدرهای فشار متوسط شبکه توزیع برق استان اردبیل منجر به کاهش میزان شاخص بدست آمده در رابطه ۱ شده که این مسئله نیز افزایش میزان تاب‌آوری را نتیجه خواهد داد.

در این میان و در اغلب موارد، مستحکم‌سازی همه فیدرهای شبکه توزیع برق باتوجه به تحمیل هزینه مالی زیاد برای شرکت‌های توزیع، مورد استقبال واقع نمی‌شود و این شرکت‌ها ترجیح می‌دهند که نقاط ضعف شبکه توزیع برق شناسائی شده، به‌عنوان مثال فیدرهای پرمخاطره که بیشترین سهم را در میزان شاخص بدست آمده دارند، تا باتوجه به این نقاط ضعف و با تقویت آن‌ها نسبت به مستحکم‌سازی زیرساخت‌ها در جهت افزایش تاب‌آوری اقدام کنند. با این کار بهبود شاخص در تعریف شده صورت خواهد گرفت که این امر نیز در نهایت منجر به افزایش تاب‌آوری شبکه توزیع برق می‌شود.

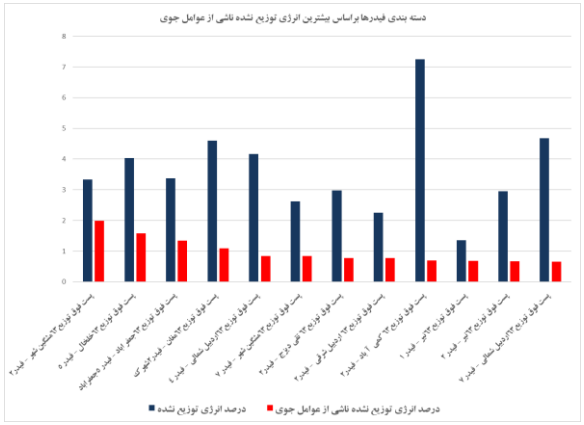
۳- انتخاب فیدرهای پرمخاطره

همانطور که گفته شده، در بررسی میزان تاب‌آوری (و همچنین تعیین شاخص کمّی برای آن) در شبکه توزیع برق، قطعی‌های ناشی از شرایط جوی دارای اهمیت بوده و سعی می‌شود شبکه توزیع برق در مواجهه با این نوع بلایای طبیعی مستحکم‌سازی شوند تا شاخص تعریف شده جهت ارزیابی تاب‌آوری بهبود یابد. جهت مستحکم‌سازی شبکه توزیع برق، همانطور که گفته شد، فیدرهای پرمخاطره که بیشترین سهم را در شاخص تعریف شده دارند، به‌عنوان کاندیداهای مستحکم‌سازی انتخاب می‌شوند.

شاخص ارزیابی تاب‌آوری مطابق با رابطه ۱ از مجموع وزن‌دار سه شاخص ENSW، NFW و FTW تشکیل شده است که بیانگر اهمیت تک‌تک این شاخص‌ها می‌باشد. در ادامه برای نشان دادن این موضوع سعی شده است با در نظر گرفتن جداگانه این سه شاخص فیدرهای پرمخاطره استخراج و سپس در مرحله نهایی براساس شاخص کلی تعریف شده در رابطه ۱ این فیدرها تعیین شوند.

۳-۱- انتخاب فیدرهای پرمخاطره براساس بیشترین میزان ENSW

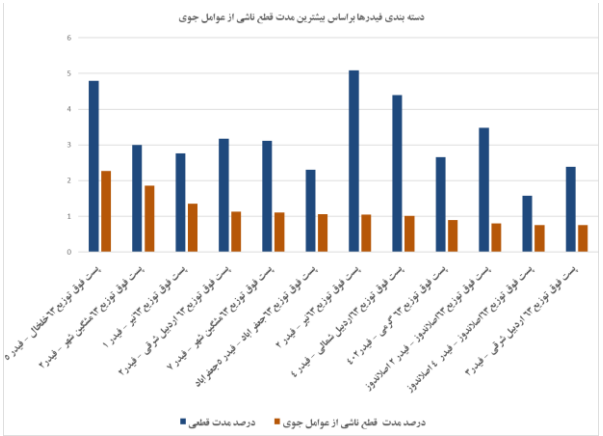
با در نظر گرفتن شاخص بیشترین ENSW، فیدرهای پرمخاطره استخراج شده در **شکل ۷** نشان داده شده است. همانطور که مشخص است **فیدر ۲ از پست فوق توزیع ۶۳ مشکین شهر** به عنوان پرمخاطره‌ترین فیدر (به لحاظ تاب‌آوری) با در نظر گرفتن شاخص بیشترین ENSW انتخاب شده است که در آن ٪۳.۲ از کل مقدار انرژی توزیع نشده شبکه مورد مطالعه (در اثر قطعی‌های رخداده) به این فیدر تعلق دارد که از این مقدار انرژی توزیع نشده نیز در حدود ٪۲ ناشی عوامل جوی می‌باشد. همچنین در این شکل مشخص است که **فیدر ۲ از پست فوق توزیع ۶۳ کمی‌آباد** دارای بیشترین انرژی توزیع نشده از کل می‌باشد (در حدود ٪۷.۱) که در حدود ٪۰.۸ از آن ناشی از شرایط جوی می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت که در میان فیدرهای پرمخاطره به درستی در جایگاه نهم قرار دارد (بعبارتی جزو فیدر پرمخاطره از نظر مسئله تاب‌آوری نمی‌باشد).



شکل ۷: انتخاب فیدرهای پرمخاطره با در نظر گرفتن بیشترین ENSW

۳-۲- انتخاب فیدرهای پرمخاطره براساس بیشترین میزان FTW

با در نظر گرفتن شاخص بیشترین میزان FTW، فیدرهای پرمخاطره انتخاب شده در شکل ۸ نشان داده شده است. با در نظر گرفتن این شاخص، مشخص است که **فیدر ۵ از پست فوق توزیع ۶۳ خلخال** به عنوان پرمخاطره‌ترین فیدر انتخاب شده است که در آن٪۴.۹ از کل مقدار مدت زمان قطعی شبکه مورد مطالعه (در اثر قطعی‌های رخداده) به این فیدر تعلق دارد که از این مقدار نیز در حدود ٪۲.۲ ناشی عوامل جوی می‌باشد.



شکل ۸: انتخاب فیدرهای پرمخاطره با در نظر گرفتن بیشترین FTW

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]

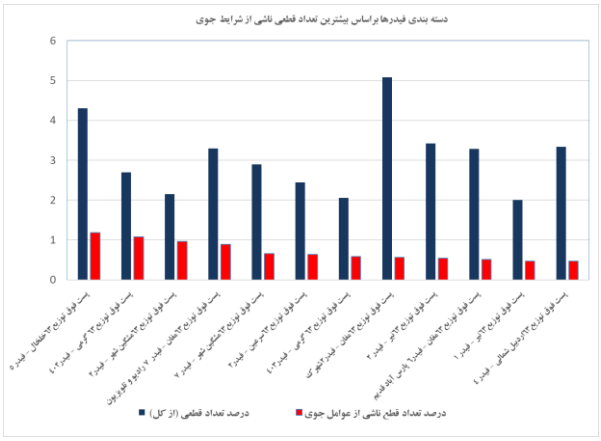
همچنین در این شکل مشخص است که فیدر ۲ از پست فوق توزیع ۶۳ نیر دارای بیشترین مدت زمان قطع از کل می‌باشد (در حدود ٪۵) که در حدود ٪۱ از آن ناشی از شرایط جوی می‌باشد که در میان فیدرهای پرمخاطره در جایگاه هفتم قرار دارد. لازم بذکر است که فیدرهای پرمخاطره انتخاب شده براساس شاخص‌های بیشترین ENSW و بیشترین FTW در تعداد ۸ فیدر باهم اشتراک دارند که در شکل‌های مربوطه قابل رویت می‌باشند.

۳-۳- انتخاب فیدرهای پرمخاطره براساس بیشترین NFW

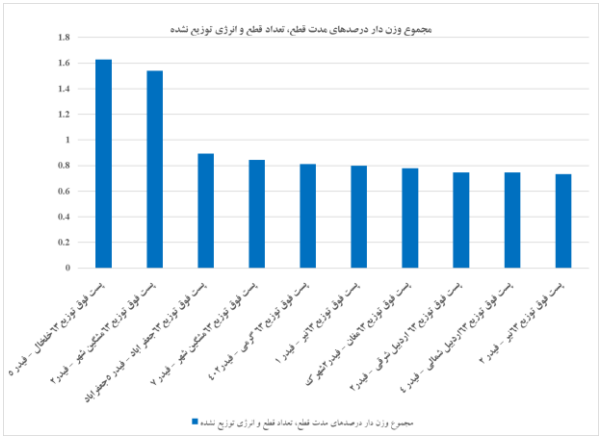
با در نظر گرفتن شاخص بیشترین NFW، فیدرهای پرمخاطره انتخاب شده در **شکل ۹** نشان داده شده است. با در نظر گرفتن این شاخص مشخص است که **فیدر ۵ از پست فوق توزیع ۶۳ خلخال** به عنوان پرمخاطره‌ترین فیدر انتخاب شده است که در آن ٪۴.۲ از کل مقدار تعداد قطعی شبکه مورد مطالعه به این فیدر تعلق دارد که از این مقدار نیز در حدود٪۱.۲ آن ناشی عوامل جوی می‌باشد. همچنین در این شکل مشخص است که **فیدر ۲ شهرک از پست فوق توزیع ۶۳ مغان** دارای بیشترین تعداد قطع از کل قطعی‌ها می‌باشد (در حدود٪۵) که در حدود٪۰.۶ از آن ناشی از شرایط جوی می‌باشد که در میان فیدرهای پرمخاطره در جایگاه هشتم قرار دارد. لازم بذکر است که فیدرهای پرمخاطره انتخاب شده براساس شاخص‌های بیشترین تعداد تعداد قطعی ناشی از شرایط جوی و بیشترین مدت زمان قطع ناشی از شرایط جوی در تعداد ۷ فیدر و تعداد تعداد قطعی ناشی از شرایط جوی و بیشترین ENSW در تعداد ۷ فیدر باهم اشتراک دارند که در شکل‌های مربوطه قابل مشاهده است.

۴-۳- انتخاب فیدرهای پرمخاطره براساس شاخص وزن‌دار رابطه ۱

در قسمت‌های قبلی انتخاب فیدرهای پرمخاطره جهت مستحکم‌سازی، با استفاده از سه شاخص "بیشترین FTW"، "بیشترین ENSW" و "بیشترین NFW" مورد مطالعه قرار گرفت و فیدرهای استخراج شده در هر سه شاخص در ۸ الی ۷ مورد باهمدیگر اشتراک داشتند. بعبارتی دیگر با در نظر گرفتن این شاخص‌ها، این تعداد فیدر به‌عنوان فیدر پرمخاطره مشترک برای هر سه شاخص می‌توانند نتیجه شوند که بیانگر مناسب بودن شاخص‌های در نظر گرفته شده جهت استخراج فیدرهای پرمخاطره جهت افزایش تاب‌آوری باشند. در این قسمت باتوجه به اهمیت تک‌تک شاخص‌های گفته شده، از مجموع وزن‌دار سه شاخص گفته شده (طبق رابطه ۱) جهت استخراج فیدرهای پرمخاطره نهایی استفاده شده است. فیدرهای پرمخاطره با در نظر گرفتن این شاخص وزن‌دار در **شکل ۱۰** نشان داده شده است. باتوجه به شکل مشخص است که **فیدر ۵ از پست فوق توزیع ۶۳ خلخال** و همچنین **فیدر ۲ از پست فوق توزیع ۶۳ مشکین‌شهر** به عنوان پرمخاطره‌ترین فیدرهایی هستند که می‌بایست در بحث تاب‌آورسازی شبکه توزیع برق استان اردبیل در اولویت قرار گیرند.



شکل ۹: انتخاب فیدرهای پرمخاطره با در نظر گرفتن بیشترین NFW



شکل ۱۰: انتخاب فیدرهای پرمخاطره با در نظر گرفتن مجموع وزن‌دار سه شاخص

همچنین باتوجه به شکل، فیدر ۵ جعفرآباد از پست فوق توزیع۶۳جعفرآباد، فیدر ۷ از پست فوق توزیع ۶۳ مشگین‌شهر، فیدر ۴۰۲ از پست فوق توزیع ۶۳ گرمی، فیدر ۱ از پست فوق توزیع ۶۳ نیر، فیدر ۲ شهرک از پست فوق توزیع ۶۳ مغان، فیدر ۲ از پست فوق توزیع ۶۳ اردبیل شرقی، فیدر ۴ از پست فوق توزیع ۶۳ اردبیل شمالی و فیدر ۲ از پست فوق توزیع ۶۳ نیر به ترتیب در اولویت‌های بعدی جهت مستحکم‌سازی به منظور افزایش تاب‌آوری شبکه توزیع می‌باشند.

۴- ارائه راهکارهایی جهت افزایش تاب‌آوری شرکت توزیع برق استان اردبیل

در بخش‌های قبلی با استفاده از مجموع درصد وزن‌دار سه شاخص FTW، ENSW و NFW فیدرهای پرمخاطره جهت مستحکم‌سازی انتخاب شدند. به عبارت دیگر، ده فیدر انتخاب شده بیشترین مقدار

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]

را از این شاخص به خود اختصاص داده و مستحکم‌سازی آن‌ها باعث کاهش شاخص تعریف شده در رابطه ۱ شده که در نهایت این امر منجر به افزایش میزان تاب‌آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل به ازای قطعی‌های رخداده (در اثر شرایط جوی) در سطح فیدرهای فشار متوسط خواهد شد. همچنین باتوجه به تحلیل آماری علل قطع رخداده در فیدرهای فشار متوسط شبکه توزیع برق استان اردبیل مشخص گردید که وزش طوفان و بادهای شدید بیشترین قطعی در سطح این فیدرها را باعث شده و عواملی نظیر بارندگی و رعد و برق و همچنین بارش برف و یخزدگی به ترتیب در رده‌های بعدی این قطعی‌ها قرار دارند.

در این میان، طوفان و باد شدید می‌تواند باعث ایجاد اتصالی در فیدرها و حتی باعث پاره‌گی هادی‌ها شده که فلش بیش از حد، کم بودن فاصله فازها (از همدیگر و از پایه‌ها)، عدم یکنواختی خطوط و همچنین نزدیک بودن هادی‌ها به سایر عوامل مثل ساختمان و عدم مراعات حریم از عوامل اصلی این اتصالی‌ها و پاره‌گی هادی‌ها می‌باشد. بایست مدنظر قرار داد که که باد و طوفان با شدت بالا، حتی ممکن است باعث خم شدن پایه‌ها و در نتیجه شکستن آن‌ها شده که منجر به قطعی فیدرها خواهد گردید. یکی از مواردی دیگر که در طراحی هادی‌ها این فیدرها می‌بایست رعایت گردد تا در شرایط طوفان شدید بهم اتصال پیدا نکنند، رعایت فاصله استاندارد اسپن‌های دو پایه مجاور (استاندارد تعیین شده توسط توانیر) می‌باشد.

بارش برف و پدیده یخزدگی نیز در اغلب موراد که با وزش باد نیز همراه می‌باشد، باعث نوسان هادی‌ها بصورت عمودی شده که در صورت نامناسب بودن این فاصله، اتصال فاز به فاز رخ خواهد داد که باعث قطعی شبکه می‌گردد. همچنین، نشست برف در روی هادی و یخزدگی باعث سنگین‌شدن آن شده که می‌تواند منجر به قطع شدن هادی‌ها گردد.

جهت طراحی مناسب خطوط تامین انرژی و با در نظر گرفتن مباحث اقتصادی، شرکت توانیر باتوجه به شرایط اقلیمی منطقه (میزان سرعت باد، حداکثر و حداقل دمای منطقه و میزان بارش برف) دستورالعمل‌هایی جهت رعایت امر تدوین کرده است که در آن طراحی خطوط انتقال انرژی با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی گفته شده و براساس نحوه بارگذاری به چهار منطقه سبک، متوسط، سنگین و فوق سنگین دسته‌بندی شده است. بصورت خلاصه‌تر و براساس این طبقه‌بندی اقلیمی، استانداردهایی جهت میزان قدرت مجاز پایه‌ها، میزان اسپن مجاز به ازای زوایای مختلف پایه‌ها، میزان حد مجاز فلش-کشش هادی‌ها، فاصله مجاز هادی‌ها از همدیگر و حریم مناسب ارائه شده است که رعایت این استانداردها در طراحی خطوط انتقال انرژی باعث کاهش میزان تعداد قطعی‌ها به ازای شرایط اقلیمی منطقه شده که این نیز به نوبه خود منجر به افزایش میزان شاخص تاب‌آوری شبکه خواهد شد.

در این میان، عدم طراحی مناسب و عدم اجرای صحیح از عوامل مهم در کاهش میزان شاخص تاب‌آوری خطوط انتقال انرژی می‌باشد. به عنوان مثال، اسپن‌های طولانی، بی‌توجهی به جداول کشش-فلش سیم، در نظر نگرفتن خصوصیات آب و هوایی مناطق (مثل برف ، باد و یخبندان) مطابق با استاندارد گفته شده، بارگذاری غیر صحیح پایه‌ها در مناطق بادخیز و برفی از جمله موارد مهم در عدم طراحی مناسب می‌باشند. همچنین، نصب و اجرای نامناسب خطوط توزیع انرژی (که عمدتا بدلیل اهمال شرکت‌های پیمانکاری صورت می‌گیرد) از قبیل استفاده غیر صحیح از تجهیزات و اجرای ناقص کار نیز می‌توانند باعث قطعی و در نتیجه کاهش شاخص تاب‌آوری شبکه توزیع برق گردند.

در این میان، باتوجه به توسعه شبکه توزیع برق استان اردبیل در سالیان متمادی و با در نظر گرفتن این نکته که ممکن است در طراحی و اجرای صحیح فیدرهای پرمخاطره نواقصاتی وجود داشته، که این مسئله باعث افزایش قطعی و در نتیجه کاهش شاخص تاب‌آوری شده است، مطالعه میدانی از این فیدرهای پرمخاطره صورت گرفت. در این مطالعه میدانی سعی شده است نحوه طراحی و اجرای نقاطی از فیدرهای پرمخاطره که در اثر شرایط جوی نامناسب دچار قطعی‌های مکرر شده‌اند مورد بررسی و مطالعه قرار گیرند که از این طریق مغایرت‌های طراحی فیدرها با استانداردهای مدنظر شرکت توانیر بدست آمده است. همچنین در این مطالعه میدانی، موارد مربوط به عدم اجرای صحیح این طراحی‌ها نیز بررسی گردیده است. درنهایت باتوجه به مغایرت‌های بدست آمده و همچنین استاندردهای تعیین شده توسط شرکت توانیر، پیشنهاداتی جهت مستحکم‌سازی و افزایش تاب‌آوری فیدرهای پرمخاطره تعیین شده است.

در ادامه به بررسی نمونه‌ای از مغایرت‌های طراحی انجام شده و یا عدم اجرای نامناسب استانداردهای گفته شده در دو نمونه از فیدرهای پرمخاطره پرداخته و پیشنهاداتی جهت اصلاح آن‌ها ارائه خواهیم کرد که انتظار می‌رود با مستحکم‌سازی آن‌ها، تاب‌آوری شبکه بهبود یابد. در جدول ۱ نمونه‌هایی از مغایرت‌های اجرایی و طراحی در تعدادی از نقاط پر عارضه در فیدر ۵ از پست فوق توزیع ۶۳ خلخال، که این مغایرت‌ها در شکل‌های ۱۱ الی ۱۳ نشان داده شده است، و همچنین روش‌های پیشنهادی جهت اصلاح و مستحکم‌سازی آن‌ها آورده شده است.

در جدول ۲، مغایرت‌های گفته شده برای فیدر ۲ از پست فوق توزیع ۶۳ مشگین شهر به همراه روش‌های پیشنهادی جهت اصلاح و مستحکم‌سازی بیان شده است. نمونه‌هایی از مغایرت‌های اجرایی و طراحی در شکل‌های ۱۴ الی ۱۶، که در بازدید میدانی گرفته شده است، نشان داده شده است.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]



شکل ۱۱: استفاده از کراس‌آرم نوع L که در آن نبشی بصورت غیراستاندارد و بالاتر نصب شده است.





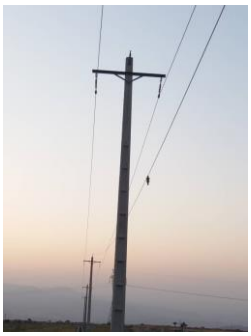
شکل ۱۲: عدم رعایت حریم توسط درختان گردو در مسیر روستاهای خَمَس، اسکستان، اسبو و دِرَو



شکل ۱۳: خط عبوری از مسیر مسیر روستای مجره، گردنه الماس و اسالم به منطقه گردشگری اسالم



شکل ۱۴: استفاده از آرایش نامناسب و اسپن طولانی





شکل ۱۵: عدم استحکام مناسب سرتیری مهره‌خور سیلیکونی استفاده شده



شکل ۱۶: کج شدن پایه‌ها که احتمال شکست آن‌ها در طوفان شدید وجود دارد

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]

جدول ۱ : بررسی مغایرت‌های طراحی و اجرا در فیدر ۵ از پست فوق توزیع ۶۳ خلخال

موقعیت جغرافیایی	مغایرت‌های طراحی و اجرا	راهکارهای پیشنهادی جهت مستحکم‌سازی
روستای طولاش	باتوجه به بادگیر بودن منطقه، بهم‌خوردن فازها بهم‌دیگر از عوامل مهم قطعی در این منطقه می‌باشد. در شکل ۱۱ یک نمونه از اجرای غیراستاندارد کراس‌آرم L نشان داده شده است که نبشی در فاصله ۳۰ سانتی‌متری نصب شده که باعث کاهش چشمگیر فاصله فازها شده است.	طبق استاندارد طراحی مناطق سنگین این پایه می‌بایست با سه مهار تقویت شود. همچنین برای جلوگیری از برخورد فازها (در اثر باد و طوفان شدیدی که در منطقه است) لازمست که از اسپیسر استفاده شود.
مسیر روستاهای خَمَس، اسکستان، اسبو و دِرَو	مطابق با شکل ۱۲در این مسیر درختان گردو زیادی وجود دارد که قسمت اعظمی از فیدر ۵ از آن عبور کرده که حریم آن توسط این درختان رعایت نشده است و در شرایط باد شدید قطعی‌های زیادی در آن رخ می‌دهد.	از مشکلات عمده این مسیر از فیدر، وجود درختان بلند گردو می‌باشد که شرکت توزیع می بایست هرس این درختان را انجام دهد تا از قطعی‌های متعدد در اثر وزش باد و طوفان شدید جلوگیری کند. درصورت عدم هرس درختان، استفاده از هادی‌های روکشدار نیز می‌تواند راهکار مناسبی باشد.
مسیر روستای مجره، گردنه الماس و اسالم به منطقه گردشگری اسالم	در این منطقه (که تغذیه اصلی منطقه گردشگری اسالم را تامین می‌کند) در اغلب اوقات سال سرعت باد به حدود ۱۶۰ کیلومتر بر سرعت نیز می‌رسد که باعث رد شدن سیم‌ها از روی مقره شده و قطعی‌های مکرر را باعث می‌شود. در این منطقه و مطابق شکل ۱۳ پایه‌ها کج شده‌اند. در حدود ۵۰۰ متر از این مسیر باتوجه به برف‌گیر بودن و کولاک شدید از کابل‌های زمینی استفاده شده است.	با توجه به اقلیم منطقه و احتمال قطعی‌های مکرر و همچنین باتوجه به اینکه این قسمت از فیدر برای تغذیه منطقه گردشگری اسالم حیاتی می‌باشد، درصورت تامین بودجه از کابل‌های روکش‌دار استفاده شود. این مسیر از فیدر در حدود ۷ کیلومتر می‌باشد که در ۵۰۰ متر از آن از کابل‌های زمینی استفاده شده است.

جدول ۲: بررسی مغایرت‌های طراحی و اجرا در فیدر ۲ از پست فوق توزیع ۶۳ مشکین‌شهر

موقعیت جغرافیایی	مغایرت‌های طراحی و اجرا	راهکارهای پیشنهادی جهت مستحکم‌سازی
اول شهر قصابه	مطابق با شکل ۱۴، آرایش نامناسب باعث قرار گرفتن فازها در راستای هم (و با فاصله کم) شده که وجود اسپن طولانی (۷۰ متر) نیز می‌تواند مزید بر علت باشد که در طوفان شدید فازها به هم برخورد کرده و باعث قطعی فیدر مربوطه شود.	از آرایش پرچمی استفاده شود تا فازها همراستا نشده و فاصله آن‌هابصورت مناسب حفظ شود. اسپن بایست با تیرگذاری کم شود.
کل فیدر ۲	سرتیری‌های استفاده شده در این فیدر از نوع مهره‌خور سیلیکونی بوده(شکل ۱۵) که در اثر طوفان شدید شکسته و باعث افتادن سیم از روی مقره می‌شود.	باتوجه به عدم استحکام مناسب سرتیری‌های مهره‌خور سیلیکونی، از سرتیری‌هایی با مقره چینی استفاده شود که استقامت خوبی در طوفان‌های شدید دارند.
سد روستای دوشانلو	همانطور که در شکل ۱۶ نشان داده شده است، اجرای نامناسب و عدم رعایت استانداردهای طراحی سبب کج شدن پایه‌ها شده است که درصورت وزش طوفان شدید احتمال شکستن آن‌ها وجود دارد.	مستحکم‌سازی و ترمیم‌سازی بایست براساس دستورالعمل ارائه شده صورت گیرد. می‌توان با استفاده از بتن‌ریزی مناسب این مشکل را حل کرد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله ضمن بررسی مفهوم تاب‌آوری در سیستم‌های قدرت، به اهمیت درنظر گرفتن آن در طراحی سیستم‌های قدرت و بالاخص در شبکه‌های توزیع پرداخته شد. بیان گردید که بحث تاب‌آورسازی شبکه‌های قدرت مفهومی متفاوت از بحث قابلیت اطمینان بوده و در مطالعه آن بر اثرات عوامل جوی از قبیل وزش باد و طوفان‌های شدید، بارش شدید باران و برف، سیل و زلزله بر سیستم قدرت (که باعث آسیب می‌شود) پرداخته می‌شود. در این میان، چگونگی کمّی‌سازی شاخص تاب‌آوری شبکه توزیع نیروی برق از نکات قابل توجه می‌باشد که این مسئله باتوجه به اهداف و تعریف‌های مختلف می‌تواند مقادیر مختلفی بخود بگیرد، که در این مقاله، این شاخص‌ها با جزئیات مناسب مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. لازم به ذکر است که میزان انرژی توزیع نشده، مدت زمان قطع شبکه و میزان آسیب به تجهیزات شبکه که در اثر وقوع بلایای طبیعی و قطع شدن شبکه توزیع برق بوجود می‌آید، از مهم‌ترین شاخص‌های درنظر گرفته می‌باشند که در ارزیابی میزان تاب‌آوری شبکه توزیع برق و در کمی‌سازی آن استفاده می‌شود.

در این مقاله جهت بررسی میزان تاب‌آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل در سطح فیدرهای فشار متوسط، آمار قطعی‌های این فیدرها در اثر عوامل جوی اشاره شده مورد مطالعه قرار گرفت

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]

و از "مجموع وزن‌دار درصدهای انرژی توزیع نشده ناشی از عوامل جوی، تعداد قطعی‌های رخداده ناشی از عوامل جوی و مدت زمان قطعی ناشی از عوامل جوی" به‌عنوان شاخصی جهت ارزیابی میزان تاب‌آوری شبکه توزیع برق استفاده گردید. به ازای قطعی‌های رخداده ناشی از عوامل جوی در سال‌های مورد مطالعه، میزان این شاخص برای شبکه توزیع برق استان اردبیل ٪۲۰ بدست آمده که بیانگر این است، که به ازای این قطعی‌ها تاب‌آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل به میزان ٪۲۰ از مقدار ایده‌آل خود پایین می‌باشد. جهت مستحکم‌سازی شبکه توزیع برق و براساس شاخص بدست آمده، فیدرهایی که مقدار بیشتری از این شاخص بدست آمده را به خود اختصاص داده‌اند نیز تحت عنوان فیدرهای پرمخاطره استخراج گردیدند. همچنین، براساس مطالعه آماری مشخص گردید که وزش باد و طوفان‌های شدید از معمول‌ترین عوامل جوی رخداده در استان اردبیل بوده که منجر به قطعی بیشتر در سطح فیدرهای فشار متوسط بوده و بارش باران و رعد و برق و بارش برف و یخزدگی در رتبه‌های بعدی از علل عوامل قطعی قرار دارند.

همچنین، در جهت کاهش میزان شاخص بدست آمده و در نتیجه افزایش میزان تاب‌آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل، پیشنهاداتی جهت مستحکم‌سازی فیدرهای پرمخاطره پیشنهاد شده است. برای این منظور بازدید میدانی از تعدادی از فیدرهای پرمخاطره جهت تعیین مغایرت‌های طراحی احتمالی (مغایر با طراحی استاندارد اعلامی توسط توانیر) و یا عدم اجرای صحیح آن‌ها صورت گرفت. با مقایسه وضعیت موجود فیدرهای مورد مطالعه با استانداردهای طراحی، راهکارهایی جهت تصحیح و افزایش استحکام این فیدرها (اقدام پیشگیرانه جهت تاب‌آورسازی) ارائه شد. انتظار می‌رود اجرای این پیشنهادات مقاوم‌سازی منجر به کاهش تعداد قطعی‌ها به ازای شرایط جوی شده که در نتیجه منجر به کاهش شاخص بدست آمده و افزایش تاب‌آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل گردد.

۶- مراجع

alizadeh, m., jafari, m., & shahabi, m. (2021). Improving the resilience of active distribution networks by optimal charging/discharging management of electric vehicles in parking lots [Research]. *Iranian Electric Industry Journal of Quality and Productivity*, *10*(2), 57-74.

Cutter, S. L., Ahearn, J. A., Amadei, B., Crawford, P., Eide, E. A., Galloway, G. E., . . . Schoch-Spana, M. (2013). Disaster resilience: A national imperative. *Environment: Science and Sustainable Development, Policy for* .*55*(2), 25-29

Ebadat-Parast, M., Nazari, M. H., & Hosseinian, S. H. (2022). Distribution system resilience enhancement through resilience-oriented optimal scheduling of multi-microgrids considering normal and emergency conditions interlink utilizing multi-objective programming. *Sustainable Cities and* .*Society*, *76*, 103467

Fanucchi, R. Z., Bessani, M., Camillo, M. H., Soares, A. d. S., London Jr, J. B., Desuó, L., & Maciel, C. D. (2019). Stochastic indexes for power systems resilience distribution analysis. *IET Generation, Transmission & Distribution*, *13*(12), .2507-2516

Ghasemi, S., Moshtagh, J., & Abdi, F. (2022). Implementation of Hour-by-Hour Restoration Plan for Electrical Distribution Networks to improve .Network Resiliency *Computational Intelligence in Electrical Engineering*.

Guerritore, W. (2013). Insurance as a Risk Management Instrument for Energy Infrastructure Security and Resilience. In: Nova Science Publishers, Inc.: .Hauppauge, NY, USA

Trakas, D. N., ,.Panteli, M., Mancarella, P Kyriakides, E., & Hatziargyriou, N. D. (2017). Metrics and quantification of operational and infrastructure resilience in power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, *32*(6), .4732-4742

Raoufi, H., Vahidinasab, V., & Mehran, K. Building a Comprehensive .((2021 Conceptual Framework for Power Systems Resilience Metrics. *Iranian Electric Industry Journal of Quality* .*and Productivity*, *10*(2), 28-39

Saberi, R., Falaghi, H., & Esmaeeli, M. (2020). A New Index for Quantitative

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]

Assessment of Distribution Network Resilience in the Presence of Distributed Generations. *Energy Engineering & Management*, *10*(3), 30-43.

Tabatabaei, N. M., Ravadanegh, S. N., & Bizon, N. (2018). *Power Systems Resilience*. Springer.

Tari, A. N., Sepasian, M. S., & Kenari, M. T. (2021). Resilience assessment and improvement of distribution networks against extreme weather events. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *125*, 106414.

Wang, C., Hou, Y., Qiu, F., Lei, S., & Liu, K. (2016). Resilience enhancement with sequentially proactive operation strategies. *IEEE Transactions on Power Systems*, *32*(4), 2847-2857.

Xia, J., Xu, F., & Huang, G. (2020). Research on power grid resilience and power supply restoration during disasters-A review. *Flood Impact Mitigation and Resilience Enhancement*.

Younesi, A., Shayeghi, H., Wang, Z., Siano, P., Mehrizi-Sani, A., & Safari, A. (2022). Trends in modern power systems resilience: State-of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *162*, 112397.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.2.6.0]