

ارزش گذاری خطوط سامانه های توزیع برق جهت تسریع روند بازیابی و بهبود شاخص تاب آوری با در نظر گرفتن تولیدات پراکنده

حمیدرضا شریف مقدم^۱، رضا دشتی^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد، ۲- استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران

(دریافت: ۹۸/۰۴/۳۰، پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۹)

چکیده

برای افزایش میزان تاب آوری سامانه توزیع در برابر مخاطرات باید قبل از حادثه، ارزش دارایی های سامانه تحت کنترل با در نظر گرفتن فاکتورهای مختلف مشخص باشد تا در زمان بحران بازیابی بارهای ازدست رفته با سرعت و کیفیت بهتری انجام پذیرد. در این مقاله اساس مدل سازی بر مبنای قیمت است که در آن ارزش بار، جهت در نظر گرفتن اهمیت سمت تقاضا؛ نرخ خرابی، جهت بررسی دسترس پذیری خط؛ ارزش ذاتی خطوط، جهت در نظر گرفتن هزینه سرمایه گذاری و همچنین فاکتور توپولوژی، جهت تأکید بر آرایش شبکه مدنظر قرار داده شد. همچنین برای مشاهده تأثیر DG در ارزش گذاری خطوط شبکه، در دو حالت شبکه با DG و بدون DG مورد بررسی قرار گرفته شد. نتایج حاصل علاوه بر نشان دادن حساسیت شبکه به عوامل اثرگذار، نشان می دهد اضافه کردن تولیدات پراکنده این پتانسیل را دارا است تا رتبه بندی ارزش گذاری را تغییر دهد و در بهبود روند بازیابی شبکه توزیع مفید واقع شود.

کلیدواژه ها: تاب آوری، سامانه های توزیع، ارزش گذاری دارایی ها، پدافند غیرعامل، تولیدات پراکنده

Valuation of Distribution System Lines to Improve the Restoration Process and Enhance the Resilience Index with Considering DGs

H. Sharifmoghadam, R. Dashti*

Iran University of Science and Technology.

(Received: 21/07/2019; Accepted: 09/03/2020)

Abstract

In order to increase the resilience of distribution system against natural disaster and human attacks, before the events, the value of the monitored system assets should be identified according to different factors so that during the crisis, restoring of lost loads be done faster and qualitatively better. This paper is based on price-based modeling in which load value, to consider the importance of demand side; failure rate, line availability; intrinsic value of lines, to consider investment cost, as well as topology factor, to emphasize The configuration of grid was taken into consideration. In order to observe the impact of DG on the grid lines evaluation, it was investigated in two states: with and without DGs. The results, in addition to demonstrating the network sensitivity to the influential factors, show that distributed generation has a potential to change ranking of valuation and to help improve the process of restoring the distribution system.

Keywords: Resilience, Distributed Networks, Asset Evaluation, Passive Defense, Distributed Generation.

۱. مقدمه

کارکنان می‌توانند تا حد قابل توجهی بر زمان برآورد شده تا بازسازی (ETR^۲) تأثیر بگذارند، همچنین پارامترهای دیگر مانند مکان شروع به کار کارکنان و سرعت جابه‌جایی، تأثیرات جزئی بر روی ETR داشتند.

این مرجع [۱۲] یک استراتژی تقویت تاب‌آوری سامانه پس از رخداد شدید را با توجه به تعمیر قطعات آسیب‌دیده و دیسپاچینگ عملیاتی سامانه پیشنهاد می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی میزان آسیب وظایف مربوط به تعمیر، خروجی واحد و برنامه کلید زنی طراحی می‌شود. با ترکیب مسئله مسیریابی خودرو (VRP^۳) و مدل پخش بار DC به‌منظور کاهش تلفات خاموشی و ذخیره سریع منابع تأمین بار یک مسئله بهینه‌سازی صحیح-مختلط پیشنهاد می‌دهد.

اهمیت زمان در هنگام وقوع حادثه برای مدیریت هر چه بهتر بحران‌های آب و هوایی و تلاش برای به حداقل رساندن آسیب‌ها به مشترکین با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی بر کسی پوشیده نیست. این مقاله اولویت دادن به خطوط شبکه‌های توزیع را مورد هدف قرار داده است تا با در نظر گرفتن پارامترهای فنی و اقتصادی اقدام به ارزش‌گذاری خطوط در دو حالت شبکه بدون تولیدات پراکنده و شبکه با تولیدات پراکنده کند. پیشرفت و حضور غیرقابل اجتناب تولیدات پراکنده نیز انگیزه‌ای بود تا تأثیرگذاری این تولیدات در ارزش‌گذاری خطوط به نمایش گذارده شود.

۲. روش تحقیق

اساس مدل‌سازی در اینجا بر مبنای قیمت است تا به هر خط ارزشی داده شود، این ارزش‌گذاری حاوی فاکتورهایی است که در ادامه به هر یک اشاره می‌شود.

۱-۲. ارزش بار

$$v_i = L(i) \times 8760 \times l_f(i) \times voll \quad (۱)$$

در رابطه فوق L میزان بار مصرفی باسی است که به خط i متصل است، l_f شاخص ضریب بار است و $voll$ ارزش بار از دست رفته است.

۲-۲. نرخ خرابی یا تعمیر

خطوط توزیع برق از منظر دسترس‌پذیری نیز می‌بایست موردتوجه قرار گیرند. احتمالات مربوط به تعمیرات برنامه‌ریزی‌شده و

در دهه‌های گذشته پیشرفت‌های قابل توجهی در پیشبرد روش‌های تحلیل مسائل مرتبط با بلایای طبیعی در سامانه‌های قدرت انجام شده است. هم‌زمان، به سبب پیچیدگی و ماهیت بین‌رشته‌ای مسئله، فعالیت‌های تحقیقاتی پراکنده‌ای در حوزه‌های مختلف انجام شده است. مدل‌های مختلفی برای کاهش تأثیرگذاری شدید رویدادهای آب و هوایی بر سامانه‌های قدرت ارائه شده است؛ عملیات اصلاحی و پاسخ اضطراری، مقاوم‌سازی و مدل‌های آماده‌سازی قبل از طوفان و مدل‌های بازیابی که فعالیت‌های در حین و بعد از وقوع حوادث طبیعی را سازمان‌دهی می‌کند از این دست مدل‌ها هستند. ارزیابی تاب‌آوری یک سامانه توزیع قدرت برای اندازه‌گیری توانایی آن سامانه در پاسخ کارآمد و مؤثر، پس از هر رویداد شدید آب و هوایی است. این رویدادهای شدید احتمالی و غیرقابل پیش‌بینی و دینامیک، عواقب پیچیده و دینامیکی نیز به دنبال خواهند داشت [۲-۱]. با این حال رسیدن به یک اجماع در مورد تعریف و محدوده مفهوم تاب‌آوری مشکل است [۳]. طیف وسیعی از حوزه‌های که در آن مفهوم تاب‌آوری بررسی شده است، در منابع [۵-۴] آمده است.

در به‌کارگیری شاخص تاب‌آوری در شبکه‌ها، هر دو ویژگی توپولوژی شبکه و روند اولویت‌بندی بازیابی سامانه‌های توزیع، بر تاب‌آوری سامانه تأثیرگذار است [۷-۶]. علاوه بر این، پس از رخ دادن حادثه شدید، در بازیابی سامانه‌های توزیع و اولویت‌بندی تعمیر، تمایل به سمتی است که استراتژی بازیابی به دنبال جست‌وجوی بهترین گزینه، هم از منظر فنی و هم از دیدگاه اقتصادی باشد [۹-۸]. در مرجع [۱۰]، یک معیار وابسته به زمان از تاب‌آوری ارائه شده است که چندین طرح اولویت‌بندی بازیابی را موردبررسی قرار می‌دهد، این معیارهای تاب‌آوری برای ارزیابی رویه‌های کاهش شدت حادثه، تطبیق و یا استراتژی‌های مقاوم‌سازی در سامانه‌های توزیع قدرت در برابر حوادث شدید آب و هوایی به‌کاربرده شده است، در مرجع ذکرشده به‌منظور ارزش‌گذاری و انتخاب بهترین استراتژی بازیابی و سایر سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی از یک مسئله بهینه‌سازی صحیح-مختلط بهره برده شده است. این مطالعه [۱۱] یک رویکرد مدل‌سازی عامل (ABM^۱) برای بهینه‌سازی روند بازیابی پس از طوفان است. ABM قادر به بازیابی پس از طوفان است و می‌تواند سناریوهای آینده را آزمایش کند. نویسندگان این مقاله دریافتند که پارامترهایی مانند تعداد قطع، محدوده زمانی تعمیر و تعداد

^۲ Estimated Time to Restoration

^۳ Vehicle Routing Problem

^۱ Agent Based Modeling

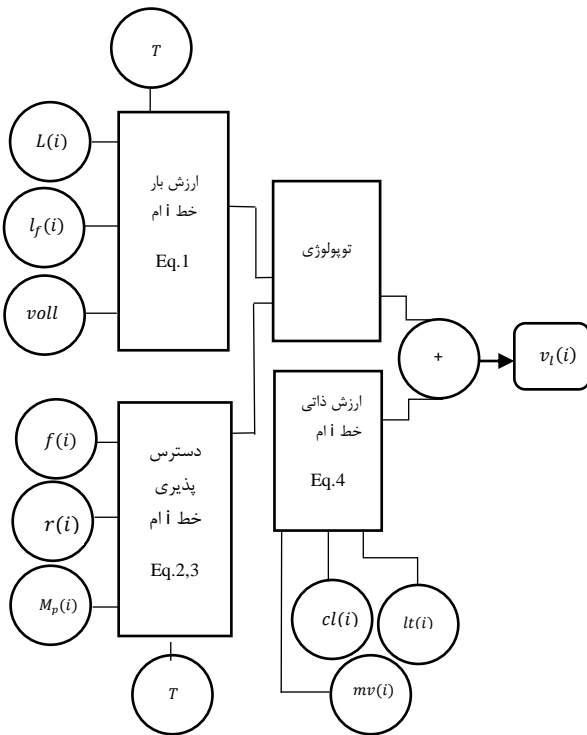
۶-۲. شاخص تاب آوری خطوط

ارزش خطوط به عنوان معیاری از حساسیت شبکه نسبت به هر مخاطره ای در نظر گرفته می شود. هر چه خطوط شبکه در این ارزش گذاری، مقدار کمتری به خود اختصاص دهند، این حساسیت به درجه پایین تری نزول می کند و به تعبیری، خطوط در رتبه بندی تاب آوری، تاب آوری بیشتری خواهند داشت. از این رو این مفهوم در رابطه (۶) نمایش داده شد و به عنوان شاخصی برای قیاس تاب آوری خطوط شبکه ها در نظر گرفته می شود.

$$R_G = \sum_{i=1}^{n_G} v_l(i) \quad (6)$$

که در آن، R_G شاخص تاب آوری خطوط شبکه، و n_G تعداد خطوط شبکه است.

۷-۲. فلوچارت مدل پیشنهادی



شکل ۱. فلوچارت مدل پیشنهادی

۸-۲. مطالعات عددی

در یک سامانه استاندارد ۳۳ شینه IEEE بررسی و ارزش گذاری خطوط صورت می پذیرد، اثربخشی حضور DG در شبکه، برای دو حالت: (آ) شبکه بدون تولید پراکنده و (ب) شبکه با تولید پراکنده بررسی می شود.

خطاهای سالانه در این بخش مورد توجه قرار می گیرد. مجموعه این عوامل در رابطه (۲) نشان داده شده است، که دسترس ناپذیری یک خط با U_A نشان داده می شود.

$$U_A = \frac{f(i) \times r(i) + M_p(i)}{8760} \quad (2)$$

در این رابطه، f نرخ خرابی در یک دوره یک ساله است، r مدت زمان میانگین تعمیر بر حسب ساعت در طول یک دوره یک ساله و M_p مدت زمان تعمیرات برنامه ریزی شده بر حسب ساعت است. با توجه به رابطه فوق دسترس پذیری خطوط از رابطه (۳) به دست می آید:

$$U_d = 1 - U_A \quad (3)$$

۳-۲. ارزش ذاتی خطوط

ارزش ذاتی خطوط یا میزان سرمایه گذاری جهت احداث خط، یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در ارزش گذاری خطوط است. رابطه (۴) عوامل مؤثر بر این شاخص را به نمایش می گذارد.

$$int(i) = \frac{mv(i) \times cl(i)}{lt(i)} \quad (4)$$

که در آن، int ارزش ذاتی خط، mv هزینه سرمایه گذاری به ازای هر کیلومتر خط، cl طول هر خط بر حسب کیلومتر و lt طول عمر خط بر حسب ساعت است.

۴-۲. توپولوژی

می توان ادعا کرد که در این مقاله اساسی ترین شاخص در تعیین ارزش گذاری خطوط موقعیت خط در یک شبکه است، طبق مدل سازی، خطوطی که در بالادست قرار دارند ارزش تمامی خطوط پایین دستی خود را نیز دارا هستند و از این جهت توپولوژی شبکه بسیار تأثیرگذار است.

۵-۲. فرمول پیشنهادی

با استفاده از فرمول پیشنهادی زیر ارزش هر خط به دست می آید.

$$v_l(i) = v_i + \sum_{j \in A} (U_d(j) \times v_j) + int(i) \quad (5)$$

که در آن A مجموعه خطوطی است که در صورت قطعی خط i از دسترس خارج می شوند و در واقع حیات این خطوط و ارزش آن ها در گرو در دسترس بودن خط i است.

جدول ۲. مشخصات خطوط شبکه

Num.l	l_f	$voll$	f	r	M_p	cl	mv	lt
۱	.۸	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۲	.۹	۳۲۰۰	.۰۵	۵	۶	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۳	.۸۵	۳۲۰۰	.۰۵	۶	۴	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۴	.۸۸	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۶	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۵	.۸۹	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۷	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۶	.۹۱	۳۲۰۰	.۰۵	۶	۷	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۷	.۸	۳۲۰۰	.۰۵	۵	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۸	.۹	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۶	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۹	.۸۵	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۴	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۱۰	.۸۸	۳۲۰۰	.۰۵	۵	۶	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۱۱	.۸۹	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۱۲	.۹۱	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۱۳	.۸	۳۲۰۰	.۰۵	۶	۴	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۱۴	.۹	۳۲۰۰	.۰۵	۵	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۱۵	.۸۵	۳۲۰۰	.۰۵	۷	۶	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۱۶	.۸۸	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۱۷	.۸۹	۳۲۰۰	.۰۵	۶	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۱۸	.۸	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۱۹	.۹	۳۲۰۰	.۰۵	۵	۶	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۲۰	.۸۵	۳۲۰۰	.۰۵	۶	۴	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۲۱	.۸۸	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۶	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۲۲	.۸۹	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۷	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۲۳	.۹۱	۳۲۰۰	.۰۵	۶	۷	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۲۴	.۸	۳۲۰۰	.۰۵	۵	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۲۵	.۹	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۶	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۲۶	.۸۵	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۴	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۲۷	.۸۸	۳۲۰۰	.۰۵	۵	۶	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۲۸	.۸۹	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۲۹	.۹۱	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۳۰	.۸	۳۲۰۰	.۰۵	۶	۴	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۳۱	.۹	۳۲۰۰	.۰۵	۵	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۳۲	.۸۵	۳۲۰۰	.۰۵	۷	۶	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰
۳۳	.۸۸	۳۲۰۰	.۰۵	۴	۵	۲۰	۵۰	۱۷۵۲۰۰

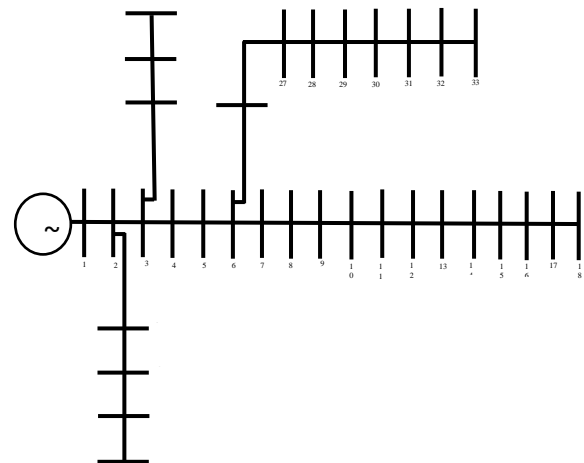
با توجه به رابطه (۵) و با در نظر گرفتن توپولوژی شبکه، شبیه سازی با استفاده از نرم افزار متلب صورت گرفت و نتایجی به دست آمد که این نتایج به ترتیب ارزش بیشتر در جدول (۳) به نمایش در آمده است.

۳. نتایج و بحث

در این بخش با توجه به مدل پیشنهادی و در نظر گرفتن دو حالت شبکه بدون تولیدات پراکنده و در حضور تولیدات پراکنده نتایج و مشاهدات به بحث گزارده می شود.

۳-۱. شبکه بدون DG

شکل (۲) شبکه موردنظر را نشان می دهد.

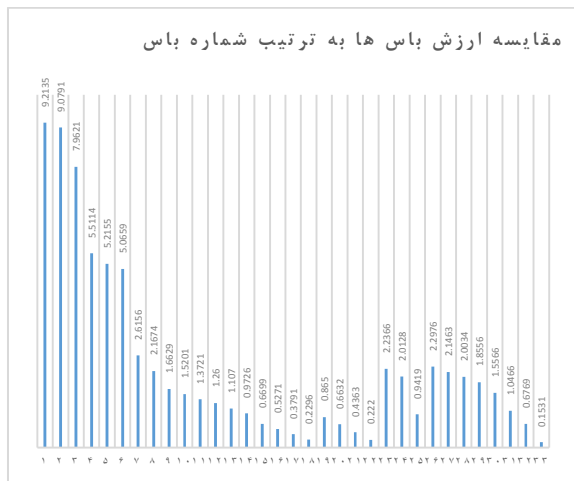


شکل ۲. شبکه استاندارد IEEE ۳۳ شینه

مشخصات توان حقیقی دریافتی سامانه فوق در جدول (۱) شرح داده شد. سایر مشخصات مورد نیاز ۳۳ خط مورد ارزیابی در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات توان دریافتی شین ها

S. bus	R. bus	L	S. bus	R. bus	L	S. bus	R. bus	L
۱	۲	۱۰۰	۱۲	۱۳	۶۰	۲۳	۲۴	۴۲۰
۲	۳	۹۰	۱۳	۱۴	۱۲۰	۲۴	۲۵	۴۲۰
۳	۴	۱۲۰	۱۴	۱۵	۶۰	۶	۲۶	۶۰
۴	۵	۶۰	۱۵	۱۶	۶۰	۲۶	۲۷	۶۰
۵	۶	۶۰	۱۶	۱۷	۶۰	۲۷	۲۸	۶۰
۶	۷	۲۰۰	۱۷	۱۸	۹۰	۲۸	۲۹	۱۲۰
۷	۸	۲۰۰	۲	۱۹	۹۰	۲۹	۳۰	۲۰۰
۸	۹	۶۰	۱۹	۲۰	۹۰	۳۰	۳۱	۱۵۰
۹	۱۰	۶۰	۲۰	۲۱	۹۰	۳۱	۳۲	۲۱۰
۱۰	۱۱	۴۵	۲۱	۲۲	۹۰	۳۲	۳۳	۶۰
۱۱	۱۲	۶۰	۳	۲۳	۹۰	-	-	-



شکل ۳. مقایسه ارزش باس‌ها به ترتیب شماره باس

در این شبکه با توجه به رابطه (۶) تاب‌آوری خطوط به قرار زیر به‌دست می‌آید.

$$R_{G_1} = \sum_{i=1}^{33} v_i(i) = 75.644638 \times 10^{10}$$

۲-۳. شبکه با DG

در این بخش از دو DG جهت بررسی اثر حضور تولیدات پراکنده در ارزش‌گذاری خطوط شبکه استفاده شده است. در مورد مکان تولیدات پراکنده، روش‌های متنوعی برای مکان‌یابی وجود دارد [۱۳] که مورد بحث در اینجا نیست. در این مقاله با استفاده از ترکیب احتمال، این دو DG در ۳۳ شین موجود در تمامی حالات ممکن قرار داده و در هر حالت ارزش کل خطوط موجود محاسبه شد و سپس در یک جدول به ترتیب از کمترین ارزش خطوط به بیشترین ارزش خطوط مرتب شد. واضح است که حالت‌هایی که ارزش مجموع خطوط در میزان کمتری قرار می‌گرفت، اثر حضور تولیدات پراکنده پررنگ‌تر بود. در مجموع ۵۲۸ حالت برای قرار گیری تولیدات پراکنده وجود داشت که پنج سناریوی برتر و بدترین سناریو را در جدول (۴) مشاهده می‌کنید.

جدول ۴. سناریوهای مکان قرار گیری تولیدات پراکنده

سناریو	ارزش ($\times 10^{10}$)	مکان قرار گیری DG ها
سناریو ۱ (برتر)	۷۵/۶۴۱۷۰۵	باس‌های ۱۴ و ۲۵
سناریو ۲	۷۵/۶۴۱۷۴۴	باس‌های ۱۸ و ۲۵
سناریو ۳	۷۵/۶۴۱۷۷۹	باس‌های ۸ و ۲۵
سناریو ۴	۷۵/۶۴۲۱۰۸	باس‌های ۷ و ۲۵
سناریو ۵	۷۵/۶۴۲۲۴۲	باس‌های ۲۲ و ۲۵
بدترین سناریو	۷۵/۶۴۴۴۶۵	باس‌های ۱ و ۲

جدول ۳. نتایج شبیه‌سازی در حالت اول

شماره خط	ارزش (X) (10^{10})	رتبه ارزش‌گذاری	شماره خط	ارزش (X) (10^{10})	رتبه ارزش‌گذاری	شماره خط	ارزش (X) (10^{10})	رتبه ارزش‌گذاری
۲۵	-۰/۹۴۱۹	۲۳	۲۴	۲/۰۱۲۸	۱۲	۱	۹/۲۱۳۵	۱
۱۹	-۰/۸۶۵۰	۲۴	۲۸	۲/۰۰۲۴	۱۳	۲	۹/۰۷۹۱	۲
۳۳	-۰/۶۷۶۹	۲۵	۲۹	۱/۸۵۵۶	۱۴	۳	۷/۹۶۲۱	۳
۱۵	-۰/۶۶۹۹	۲۶	۹	۱/۶۶۲۹۳	۱۵	۴	۵/۵۱۱۴	۴
۲۰	-۰/۶۶۳۲	۲۷	۳۰	۱/۵۵۶۶	۱۶	۵	۵/۳۱۵۵	۵
۱۶	-۰/۵۲۷۱	۲۸	۱۰	۱/۵۲۰۱	۱۷	۶	۵/۰۶۵۹	۶
۲۱	-۰/۴۶۲۴	۲۹	۱۱	۱/۳۲۲۱۱	۱۸	۷	۲/۶۱۵۶	۷
۱۷	-۰/۳۷۹۱	۳۰	۱۲	۱/۲۶۰۰	۱۹	۸	۲/۱۹۷۶	۸
۱۸	-۰/۳۲۶۶	۳۱	۱۳	۱/۱۰۷۰	۲۰	۹	۲/۱۳۶۶	۹
۳۲	-۰/۲۲۲۰	۳۲	۳۱	۱/۰۴۶۶	۲۱	۱۰	۲/۱۶۷۵	۱۰
۳۳	-۰/۱۵۳۱	۳۳	۱۴	-۰/۹۷۲۶	۲۲	۱۱	۲/۱۴۶۲	۱۱

با دانستن این نکته که شماره باس دریافت‌کننده، نشان‌دهنده شماره خط موردنظر است، موارد مطرح‌شده در ادامه چالش‌برانگیز است:

خطوط شماره ۱ تا ۷ به خاطر موقعیت توپولوژیکی خود دارای بیشترین ارزش می‌باشند، هرچند که به‌خودی‌خود بار زیادی را تأمین نمی‌کنند، حتی در این بین خط شماره ۷ از خط شماره ۲۳ که ۲ بار ۴۲۰ کیلوواتی را تأمین می‌کند دارای ارزش بالاتری است.

خطوط ۲۶ و ۲۳ در رتبه‌های ۸ و ۹ ارزش‌گذاری قرار دارند، این در حالی است که با وجود اینکه خط شماره ۸ باعث دسترس‌پذیر بودن تعداد خطوط بیشتری است، در جایگاه دهم قرار دارد که نشان‌دهنده ارجحیت بار تأمین‌شده در برابر توپولوژی شبکه است. در ادامه خط شماره ۸ در رقابت با خط شماره ۲۷ ارزش بالاتری را از شبیه‌سازی‌ها می‌گیرد و در واقع در اینجا توپولوژی بر تأمین بار ترجیح داده می‌شود. ارزش‌گذاری نسبتاً پراکنده در بیشتر اوقات بر لزوم توجه به اکیپ‌های تعمیراتی اشاره دارد که می‌بایست به سرعت جابه‌جا شوند تا روند بازیابی بار برای رسیدن به سطح تاب‌آور اولیه با سرعت بیشتری انجام پذیرد. شکل (۳) مقایسه‌ای از ارزش‌گذاری صورت گرفته روی باس‌ها را نشان می‌دهد، از این نمودار به وضوح می‌توان به چالش برنامه‌ریزی صحیح برای تعمیرات در حین و پس از حوادث غیرقابل‌پیش‌بینی را مشاهده کرد.

جدول ۶. نتایج شبیه‌سازی در حالت دوم (شبکه با DG)

رتبه خط	ارزش (X) (10 ¹⁰)	شماره خط	رتبه ارزش گذاری	ارزش (X) (10 ¹⁰)	شماره خط	رتبه ارزش گذاری	ارزش (X) (10 ¹⁰)	شماره خط
۱۹	۰/۸۶۵۰	۲۵	۲۸	۲/۰۰۳۴	۲۸	۱۳	۹/۲۱۳۱	۱
۲۲	۰/۶۷۶۹	۲۶	۲۹	۱/۸۵۵۶	۲۹	۱۴	۹/۰۷۸۷	۲
۱۵	۰/۶۶۹۹	۲۷	۹	۱/۶۶۲۸	۹	۱۵	۷/۹۶۱۷	۳
۲۰	۰/۶۶۲۲	۲۸	۳۰	۱/۵۵۶۶	۳۰	۱۶	۵/۵۱۱۲	۴
۱۶	۰/۵۲۷۱	۲۹	۱۰	۱/۵۱۹۹	۱۰	۱۷	۵/۲۱۵۳	۵
۲۱	۰/۴۳۲۳	۳۰	۱۱	۱/۳۷۲۰	۱۱	۱۸	۵/۰۶۵۷	۶
۱۷	۰/۳۷۹۱	۳۱	۱۲	۱/۲۵۹۸	۱۲	۱۹	۲/۶۱۵۴	۷
۲۵	۰/۳۰۲۶	۳۲	۱۳	۱/۱۰۶۸	۱۳	۲۰	۲/۲۹۷۶	۸
۱۸	۰/۲۲۹۶	۳۳	۳۱	۱/۰۴۶۶	۳۱	۲۱	۲/۲۲۶۳	۹
۲۲	۰/۲۲۲۰	۳۴	۱۴	۰/۹۷۲۴	۱۴	۲۲	۲/۱۶۷۳	۱۰
۲۳	۰/۱۵۲۱	۳۵	۲۵	۰/۹۴۱۶	۲۵	۲۳	۲/۱۴۶۳	۱۱
-	-	-	۲۶	۰/۹۴۱۴	۲۶	۲۴	۲/۰۱۲۵	۱۲

چنان‌که از نتایج برمی‌آید خطوطی که در آن بودن یا نبودن تولیدات پراکنده در ارزش‌گذاری آن‌ها بی‌تأثیر است، نسبت به حالت قبل ثابت ماندند. از سوی دیگر، حضور تولیدات پراکنده در تمامی خطوطی که ارزش آن‌ها با توجه به توپولوژی شبکه مرتبط با خطوطی است که تولیدات پراکنده به آن متصل شده است، کاهش ارزش خط را به همراه داشته است.

این شبکه با توجه به رابطه (۶) تاب‌آوری خطوط به قرار زیر به‌دست می‌آید:

$$R_{G_2} = \sum_{i=1}^{33} v_l(i) = 75.641705 \times 10^{10}$$

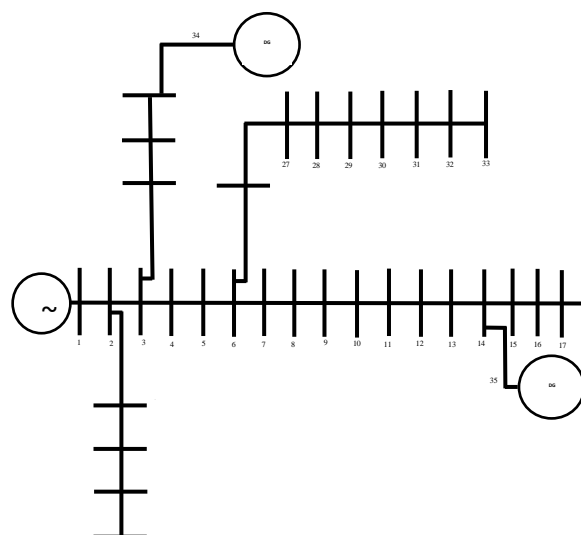
۴. نتیجه‌گیری

ارزش‌گذاری دارایی‌ها و در این مقاله ارزش‌گذاری خطوط جهت واکنش سریع به رویدادهای شدید آب و هوایی در بازیابی از حالت بحرانی امری اجتناب‌ناپذیر و ضروری است.

این مقاله اساس مدل‌سازی بر مبنای قیمت را در دستور کار خود قرار داد که در آن ارزش بار، جهت در نظر گرفتن اهمیت سمت تقاضا؛ نرخ خرابی، جهت بررسی دسترس‌پذیری خط؛ ارزش ذاتی خطوط، جهت در نظر گرفتن هزینه سرمایه‌گذاری و همچنین فاکتور توپولوژی، جهت تأکید بر آرایش شبکه مدنظر قرار داده شد. در این کار تغییر توپولوژی شبکه با قرار دادن تولیدات پراکنده در شبکه مورد بررسی قرار گرفت و اثربخشی حضور DGها در ارزش‌گذاری و اولویت‌بندی خطوط مشاهده شد. همچنین با ارایه ی معیاری برای سنجش تاب‌آوری خطوط بر مبنای قیمت، شبکه را در دو حالت با DG و بدون DG مقایسه کرد.

جدول (۷) ارزش‌گذاری در دو حالت شبکه را نشان می‌دهد.

با توجه به توضیحات مذکور و جدول (۴) سناریوی برتر یعنی قرارگیری تولیدات پراکنده در باس‌های ۱۴ و ۲۵ در نظر گرفته شد. فرض بر این است که این تولیدات پراکنده همواره قابل‌راه‌اندازی و وصل شدن به شبکه هستند و توانایی تأمین بارهای موردنظر را دارند. برای انجام شبیه‌سازی، خطوط متصل به باس‌های ذکر شده، خطوط شماره ۳۴ و ۳۵ در نظر گرفته می‌شوند.



شکل ۴. شبکه ۳۳ شینه IEEE با در نظر گرفتن تولیدات پراکنده

اطلاعات مربوط به خطوط تولیدات پراکنده در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۵. اطلاعات خطوط تولید پراکنده

Num.l	f	r	M _p	cl	mv	lt
۳۴	۰/۰۵	۲	۲	۲۵	۶۰	۱۷۵۲۰۰
۳۵	۰/۰۵	۳	۳	۲۵	۶۰	۱۷۵۲۰۰

اثر حضور تولیدات پراکنده به این صورت است که در زمان در دسترس نبودن خطوط ۱۴ و ۲۵، وظیفه تأمین بار این خطوط را بر عهده می‌گیرند. با توجه به فرمول ارائه‌شده (۵) ارزش خطوط تولیدات پراکنده (خطوط ۳۴ و ۳۵) به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند:

$$v_l(34) = (U_d(25) \times v_{25}) + int(34) \quad (7)$$

$$v_l(35) = (U_d(14) \times v_{14}) + int(35) \quad (8)$$

دیگر اثر حضور تولیدات پراکنده در خطوط بالادستی آن‌هاست، به‌وقایع حضور ضریب $(U_d(DG) \times V_j)$ (که V_j ارزش بار تأمین‌شده باسی است که DG به آن وصل شده است.) سبب می‌شود ارزش خطوط بالادستی کمتر شود و این کاهش در شبیه‌سازی‌ها نیز به‌دست می‌آید.

نتایج حاصل از ارزش‌گذاری در شبکه جدید در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۷. مقایسه ارزش خطوط در دو حالت

شماره خط	حالت دوم ($\times 10^{10}$)	حالت اول ($\times 10^{10}$)	رتبه ارزش‌گذاری	رتبه ارزش‌گذاری	حالت دوم ($\times 10^{10}$)	حالت اول ($\times 10^{10}$)	شماره خط	رتبه ارزش‌گذاری
۱۲	۱۲۵۹۸	۱۲۴۰۰	۱۹	۱۹	۹/۲۱۳۱	۹/۲۱۳۵	۱	۱۹
۱۳	۱۱۰۶۸	۱۱۰۷۰	۲۰	۲۰	۹/۰۷۸۷	۹/۰۷۹۱	۲	۲۰
۳۱	۱/۰۴۶۶	۱/۰۴۶۶	۲۱	۲۱	۷/۹۶۱۷	۷/۹۶۲۱	۳	۲۱
۱۴	۰/۹۷۲۴	۰/۹۷۲۶	۲۲	۲۲	۵/۵۱۱۲	۵/۵۱۱۴	۴	۲۲
۲۵	۰/۹۴۱۶	۰/۹۴۱۹	۲۳	۲۳	۵/۲۱۵۳	۵/۲۱۵۵	۵	۲۳
۱۹/۲۴	۰/۹۴۱۴	۰/۸۶۵۰	۲۴	۲۴	۵/۰۶۵۷	۵/۰۶۵۹	۶	۲۴
۳۲/۱۹	۰/۸۶۵۰	۰/۵۷۶۹	۲۵	۲۵	۲/۶۱۵۴	۲/۶۱۵۶	۷	۲۵
۱۵/۲۲	۰/۵۷۶۹	۰/۶۶۹۹	۲۶	۲۶	۲/۲۶۷۶	۲/۲۶۷۶	۲۶	۲۶
۲۰/۱۵	۰/۶۶۹۹	۰/۶۶۳۳	۲۷	۲۷	۲/۲۲۶۳	۲/۲۲۶۶	۲۳	۲۷
۱۶/۲۰	۰/۶۶۳۳	۰/۵۲۷۱	۲۸	۲۸	۲/۱۶۲۳	۲/۱۶۲۵	۸	۲۸
۲۱/۱۶	۰/۵۲۷۱	۰/۴۳۶۳	۲۹	۲۹	۲/۱۴۶۳	۲/۱۴۶۳	۲۷	۲۹
۱۷/۲۱	۰/۴۳۶۳	۰/۳۷۹۱	۳۰	۳۰	۲/۰۱۲۵	۲/۰۱۲۸	۲۴	۳۰
۱۸/۱۷	۰/۳۷۹۱	۰/۲۲۹۶	۳۱	۳۱	۲/۰۰۳۴	۲/۰۰۳۴	۲۸	۳۱
۳۳/۲۵	۰/۳۰۲۶	۰/۲۲۲۰	۳۲	۳۲	۱/۸۵۵۶	۱/۸۵۵۶	۲۹	۳۲
۳۳/۱۸	۰/۲۲۹۶	۰/۱۵۳۱	۳۳	۳۳	۱/۶۶۲۸	۱/۶۶۳۲	۶	۳۳
۲۳	۰/۲۲۲۰	-	۳۴	۳۴	۱/۵۵۶۶	۱/۵۵۶۶	۳۰	۳۴
۳۴	۰/۱۵۳۱	-	۳۵	۳۵	۱/۵۱۹۹	۱/۵۲۰۱	۱۰	۳۵
-	-	-	-	-	۱/۳۷۲۰	۱/۳۷۲۱	۱۱	-

۵. مراجع‌ها

[1] Billinton, R.; Wu.; Singh,G. “Extreme adverse weather modeling in transmission and distribution system reliability evaluation”; Power Syst. Comput. Conf.(PSCC), Spain. 2002, 65, p. 66.

[2] Haimes, Y. Y. “On the definition of resilience in systems”; Risk Anal. An Int. J. 2009, 29, 498-501.

[3] Hosseini, S.; Barker.K.; Ramirez-Marquez, J. E. “A review of definitions and measures of system resilience”; Reliab. Eng. Syst. Saf. 2016, 145, 47-61.

[4] Francis, R.; Bekera,B. “A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems”; Reliab. Eng. Syst. Saf. 2014, 121, 90-103.

[5] Righi, A. W.; Saurin, T. A.; Wachs, P. “A systematic literature review of resilience engineering: Research areas and a research agenda proposal”; Reliab. Eng. Syst. Saf. 2015, 141, 142-152.

[6] Maliszewski, P. J.; Perrings, C. “Factors in the resilience of electrical power distribution infrastructures”;Appl. Geogr. 2012, 32, 668-679.

[7] Nan, C.; Sansavini, G. “A quantitative method for assessing resilience of interdependent infrastructures”; Reliab. Eng. Syst. Saf. 2017, 157, 35-53.

[8] Ouyang, M.; Duenas-Osorio, L. “Multi-dimensional hurricane resilience assessment of electric power systems”; Struct. Saf. 2014, 48, 15-24.

[9] Cadini, F.; Agliardi, G. L.; E. Zio. “A modeling and simulation framework for the reliability/availability assessment of a power transmission grid subject to cascading failures under extreme weather conditions”; Appl. Energy. 2017, 185, 267-279.

[10] Figueroa-Candia, M.; Felder, F. A.; Coit, D. W. “Resiliency-based optimization of restoration policies for electric power distribution systems”; Electr. Power Syst. Res. 2018, 161, 188-198.

[11] Walsh, T.; Layton, T.; Wanik, D.; Mellor, J. “Agent based model to estimate time to restoration of storm-induced power outages”. Infrastructures. 2018, 3, p. 33.

[12] Zhang, H.; Bie, Z.; Yan, C.; Li, G. “Post-disaster Power System Resilience Enhancement Considering Repair Process”; 2018 China Int. Conf. Electr. Distrib., 2018, 1550-1554.

[13] Alizade, M.; Khosravi, M. “Provide a practical approach in planning and placement of distributed generation sources based on multi-objective genetic algorithms”. Adv. Defence Sci & Technol, pp. 267-277, 2019.

در جدول (۷) ردیف‌هایی که با رنگ سبز به نمایش در آمده‌اند، نشان‌دهنده تغییر رتبه ارزش‌گذاری در دو حالت است که در ستون مربوط به شماره خط، عدد اول مربوط به شماره خط شبکه اول (بدون تولیدات پراکنده) و عدد دوم مربوط به شماره خط شبکه دوم (با تولیدات پراکنده) است.