یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

پیش‌بینی عملکرد شبکه توزیع در هنگام وقوع سیل با استفاده از هوش مصنوعی

بهداد آرندیان[1]، محمدرضا رفیع منزلت[2] (نویسنده مسئول)

[1] گروه برق، واحد دولت آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران b.arandian@iauda.ac.ir

[2] گروه برق، واحد دولت آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران mr.rafimanzelat@iauda.ac.ir

چکیده

بهره برداری از سیستم‌های قدرت معمولا بر پایه مفهوم کلیدی قابلیت اطمینان صورت می‌گیرد و تاب‌آوری یکی از اصلی ترین مفاهیم در این زمینه است. تاب‌آوری به معنای توانایی پیش‌بینی رویدادهای با تأثیر زیاد و امکان وقوع کم و برنامه ریزی جهت بازگشت سریع از این رویدادهای تأثیرگذار می‌باشد. در این مطالعه، جهت افزایش تاب‌آوری شبکه توزیع در هنگام وقوع سیل، وضعیت شبکه با استفاده از روش یادگیری ماشین مشخص می‌گردد. بر اساس این روش، نقاط مهم شبکه تعیین و متناسب با هر نقطه شش ویژگی اصلی آن مشخص می‌شود. پس از آن، از بین ویژگی‌های مشخص شده ویژگی‌های متناسب با آسیب‌دیدگی پس از سیل انتخاب و به دنبال آن به کمک الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM)، وضعیت نقاط پر اهمیت شبکه تعیین می‌گردند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از این روش منجر به دقت پیش‌بینی ۹۸/۵۹ درصد برای نقاط سالم و ۹۴/۴۴ درصد برای تعیین نقاط ناسالم شبکه می‌شود. همچنین نقاط آسیب دیده شبکه توزیع استاندارد ۳۳ شینه IEEE مشخص می‌گردد تا برای افزایش تاب‌آوری تمهیدات لازم جهت جبران و بازگردانی خطوط به وضعیت فعال اندیشیده شود.

واژه‌های کلیدی

بلایای طبیعی، سیل، شبکه توزیع، قابلیت اطمینان، هوش مصنوعی.

۱. مقدمه

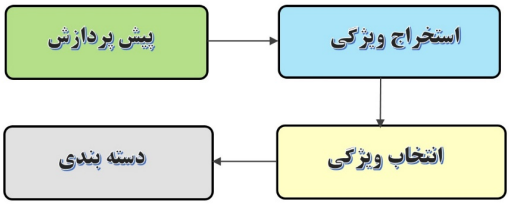
بهره برداری سیستم‌های قدرت معمولا بر پایه مفهوم کلیدی قابلیت اطمینان صورت میگیرد [۱]. مطالعات قابلیت اطمینان به دو محور کفایت و امنیت متمرکز می‌گردد. کفایت سیستم به توانایی تأمین پیوسته‌ی بارهای سیستم گفته می‌شود و امنیت سیستم به توانایی ایستادگی در برابر اختلالات ناگهانی همانند از دست رفتن پیش‌بینی نشده‌ی اجزای سیستم، مربوط می‌شود. در شرایط عادی هنگام وقوع خطا در شبکه‌های توزیع، معمولا با جداسازی محل خطا به کمک کلیدهای دستی یا اتوماتیک و تغییر آرایش شبکه توزیع از طریق خطوط مانور، حداکثر بار ممکن بازیابی می‌شود. بروز رخدادها و حوادث غیرمترقبه مانند طوفان می‌تواند عملکرد شبکه برق را به کلی تحت الشعاع قرار دهد. با توجه به احتمال پایین رخداد این حوادث، مطالعات قابلیت اطمینان و معیارهای مربوطه نمی‌توانند تضمین کنند که یک زیرساخت انرژی می‌تواند به خوبی در مقابل این حوادث واکنش نشان دهد. بررسی توانایی زیرساختهای انرژی در مقابله با این پدیده‌ها در قالب مطالعات تاب‌آوری انجام می‌گردد.

تاب‌آوری به معنای توانایی پیش‌بینی رویدادهای با تأثیر زیاد و امکان وقوع کم، بازگشت سریع از این رویدادهای تأثیرگذار و کسب دانش به منظور تغییر در بهره برداری و طراحی برای بازداشتن و یا کم کردن تأثیر رویدادهای مشابه در آینده می‌باشد [۲]. در این راستا، حوادث ممکن را می‌توان بر حسب شدت اثرگذاری و احتمال (یا امکان وقوع) به سه دسته زیر طبقه‌بندی نمود [۳]. دسته اول، حوادثی هستند که احتمال وقوع مشخص دارند و اثرات آنها نیز محدود بوده و به راحتی قابل برآورد است مانند نرخ خروج خطوط اضطراری یک واحد تولید یا واحد طول یک تیپ معین از خطوط شبکه توزیع و انتقال معلوم بوده و مقادیر آنها به صورت سالیانه بروزرسانی می‌شود. دسته دوم حوادثی را شامل می‌شوند که به ندرت رخ می‌دهند مانند وقوع سیل در شبکه توزیع. دسته سوم حوادث تجربه نشده‌ای می‌باشند که طبیعتاً عواقب رخداد آنها نامشخص است مانند وقوع زلزله [۳].

بر این اساس، مفهوم تاب‌آوری برای سیستم هنگام رخدادهایی با اثر زیاد و احتمال کم می‌باشد. آنچه در این امر مهم و ضروری بنظر می‌رسد، پیش‌بینی وضعیت شبکه توزیع در هنگام وجود رخدادهایی مانند طوفان و سیل می‌باشد تا بتوان نقاط قطعی شبکه را سریعاً شناسایی و برای آنها تمهیداتی اندیشید. در این مقاله، پیش‌بینی نقاط قطعی شبکه بر اساس شاخص‌های ذکر شده در بخش دوم، در هنگام وقوع سیل با استفاده از روش یادگیری ماشین ارائه می‌گردد.

۲. یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی در شبکه توزیع

برای تعیین وضعیت شبکه پس از وقوع سیل دو راه‌کار کلی می‌توان اتخاذ کرد. راه‌کار اول شبیه‌سازی کل شبکه توزیع و تعیین آسیب‌های پس از وقوع سیلاب است. این روش هرچند می‌تواند وضعیت تمامی قسمت‌های شبکه را مشخص کند، لیکن نیاز به پیاده‌سازی شبیه-سازی‌های سنگین و زمان‌بر دارد و نتیجه حاصله، مستقیماً به کیفیت مدل‌سازی و به دنبال آن شبیه‌سازی انجام شده دارد. لذا عملاً چنین روشی نمی‌تواند یک روش بهینه باشد. ضمن آنکه با تبیین روش مورد نظر، سرعت تخمین حالت شبکه از اهمیت بالایی برخوردار است. چرا که با وقوع سیل، در کمترین زمان لازم است بخش‌های مختلف شبکه تعیین وضعیت شوند. در روش دوم می‌توان نقاط مهم شبکه را تعیین و متناسب با هر نقطه ویژگی‌های آن را مشخص نمود. پس از آن، از بین ویژگی‌های مشخص شده ویژگی‌های متناسب با آسیب‌دیدگی پس از سیل را انتخاب کرده و به دنبال آن به کمک یکی از الگوریتم‌های طبقه‌بند، وضعیت نقاط پر اهمیت شبکه را تعیین وضعیت کرد [۴]. شکل ۱ مراحل بیان شده برای روش دوم را به صورت بلوک‌دیاگرام مشخص می‌کند. روش مورد نظر هرچند از نظر تعداد نقاط تعیین وضعیت نسبت به روش اول تعداد نقاط کمتری را تعیین وضعیت می‌کند، اما با توجه به اینکه مهم‌ترین نقاط شبکه جهت تعیین وضعیت انتخاب شده‌اند، می‌توان با همین تعداد نقاط نیز وضعیت کل شبکه را تا حد مطلوبی تخمین زد. مزیت آن مدلسازی و شبیه‌سازی ساده‌تر است که تعیین وضعیت در این حالت به مراتب ساده‌تر از حالت اول اتفاق می‌افتد.



شکل ۱. مراحل استخراج و دسته‌بندی ویژگی‌ها

در صورتی‌که ویژگی‌های انتخاب شده هم از نظر تعداد و هم از نظر نوع ویژگی در حالت بهینه باشد، می‌توان انتظار داشت کیفیت تخمین در حد قابل قبولی بدست آید. لذا انتخاب ویژگی‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است و و اگر ویژگی خوبی استخراج نشود، الگوریتم تصمیم گیرنده هرچقدر هم که دقیق باشد، نمی‌تواند عملکرد خوبی داشته باشد [۵]. در ادامه، ویژگی‌هایی که در این پژوهش جهت طبقه‌بندی انتخاب شده‌اند معرفی می‌گردند.

۱) **فاصله از ساختمان بلند:** ساختمان بلند می‌تواند نقش مانع در برابر حرکت امواج سیلاب را برای شبکه ایفا کند. هر چه ساختمان بلندتر و عریض‌تر باشد و یا به نقطه مورد نظر نزدیک‌تر باشد، احتمال آسیب کاهش می‌یابد.

۲) **فاصله از درخت:** درخت برعکس ساختمان می‌تواند خود عامل ویرانی شبکه باشد. به طوری که در صورتیکه سیل توانایی آسیب به درخت را داشته باشد و در حالتی که درخت به اندازه کافی بزرگ بوده و نزدیک خطوط شبکه قرار گرفته باشد، می‌تواند به شبکه آسیب برساند.

۳) **فاصله از مسیر اصلی عبور سیل**: هر سیلابی یک دامنه محدود دارد و در آن دامنه حرکت می‌کند. اما در همین دامنه نیز در مسیرهایی شدت آن بیشتر است که به این مسیرها اصطلاحاً کانال اصلی سیلاب اطلاق می‌گردد. وقوع سیلاب بسته به جنس آن می‌تواند تک یا چند کاناله باشد. هر چه نقطه انتخابی به مرکز یا کانال سیلاب نزدیک‌تر باشد، احتمال آسیب‌دیدگی آن بالا می‌رود.

۴) **سرعت حرکت سیلاب:** در کنار فاصله از مرکز، سرعت حرکت سیلاب نیز در آسیب‌دیدگی شبکه موثر است. به طوری که سرعت از حد مشخص کمتر باشد، عملاً توانایی آسیب به شبکه را نخواهد داشت و هر چه سرعت بالاتر رود، احتمال آسیب تقویت می‌شود.

۵) **شیب زمین**: یکی از ویژگی‌های مهم در تعیین میزان خسارت سیلاب، شیب زمین و تفاوت آن در نقاط مختلف مسیر حرکت سیلاب است که می‌توان به عنوان یک شاخص کلیدی انتخاب نمود.

۶) **جنس خاک**: نوع جنس خاک در میزان نفوذ پذیری آب تاثیر دارد و می‌تواند خسارات سیل به شبکه را تغییر دهد. لذا جنس خاک به عناون یکی دیگر از شاخص‌های کلیدی انتخاب می‌شود.

پس از استخراج ویژگی‌ها، لازم است بر اساس یکی از روش‌های پیش‌بینی، دسته‌بندی را انجام و نتیجه نهایی پیش‌بینی را مشخص نمود. در این مقاله از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شده است. این روش، دو کلاس را توسط یک ابر صفحه جدا می‌کند. بهترین صفحه، صفحه‌ای است که بیشترین فاصله را بین دو کلاس ایجاد کند. مدل ریاضی به صورت زیر بیان می‌شود. یک دیتاست m بعدی با N داده آموزشی به صورت رابطه (۱) است.

$$\left\{\begin{array}{l}(x_n, y_n)\,|\,x_n \in R^m, \\ y_n \in \{+1,-1\}, \\ m \in \{1,2,\ldots,M\}\end{array}\right\},\ n = 1,2,\ldots,N \qquad (1)$$

x_n یک بردار m بعدی است که m تعداد ویژگی‌های مورد نظر است. y_n نیز برچسب کلاس هر نمونه x_n است که تعداد کلاس‌ها جهت دسته‌بندی را نشان می‌دهد. یک مرز تصمیم‌گیری خطی را در حالت کلی می‌توان به‌صورت رابطه (۲) نوشت.

$$f = \omega^T x + b \qquad (2)$$

که ω بردار m بعدی ضرایب صفحه جدا کننده عمود بر مرز تصمیم‌گیری و x بردار ورودی و b بایاس است. هدف این است که اگر

برچسب y_i=۱ باشد، f_i=۱ و اگر برچسب y_i=-۱ باشد، f_i=-۱ نیز چنین باشد تا دسته‌بندی به درستی انجام شود. طبق معادله زیر، تابع محاسبه دسته‌بندها به صورت رابطه (۳) خواهد بود.

$$y_i = \begin{cases} ۱ & (\omega^T x + b) \geq ۱ \\ -۱ & (\omega^T x + b) \leq -۱ \end{cases} \quad (۳)$$

در این حالت اگر نقطه‌ای در معادله خط مقداری بزرگ‌تر از ۱ داشته باشد، متعلق به کلاس مثبت و در یک طرف مرز قرار می‌گیرند، در غیر این صورت متعلق به کلاس منفی و در طرف دیگر مرز خواهند بود. می‌دانیم که معادله صفحه جدا کننده به صورت f=۰ است. بنابراین بیشترین حاشیه بین دو کلاس بر اساس رابطه (۴) می‌باشد.

$$D = \frac{۲}{\|\omega\|} \quad (۴)$$

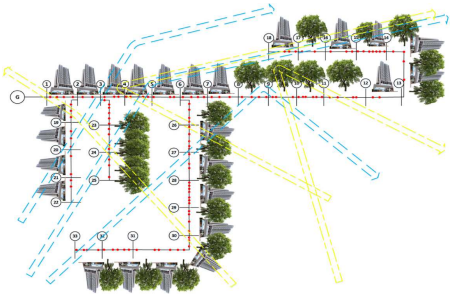
که $\frac{b}{\|\omega\|}$ فاصله مبدا تا مرز تصمیم‌گیری خواهد بود. لذا پارامترهای بهینه صفحه جدا کننده با بیشترین حاشیه را می‌توان از مسأله بهینه سازی مطابق رابطه (۵) یافت.

$$\begin{aligned} &\min_{w,b} \Omega(\omega,\lambda) = \frac{۱}{۲}\|\omega\|^۲ + c\sum_{i=۱}^{n}\lambda_i \\ &s.t \quad y_i(\omega^T x + b) \geq ۱ - \lambda_i \ , \forall i \\ &\lambda_i > ۰ \ , \forall i \end{aligned} \quad (۵)$$

در این رابطه، پارامتر c ضریب جریمه‌ای است که امکان جدا کردن نمونه‌های غیرخطی را فراهم می‌کند و λ ضریب تنظیم وزن‌های نمونه‌های اشتباه طبقه‌بندی شده در ناحیه بین دو مرز است. هنگامی که $c \to \infty$، مرزها طوری تنظیم می‌شوند که هیچ نمونه‌ای به صورت خطا دسته‌بندی نشود که اصطلاحاً به آن حاشیه سخت [۱] گفته می‌شود. هنگامی $۰ < c < \infty$ باشد، در حقیقت مدل ما تعدادی خطا را پذیرفته است که حاشیه نرم [۲] گفته می‌شود.

۳. یافته‌ها

در این بخش، روش ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی سیل در یک شبکه توزیع استاندارد IEEE با ۳۳ گره (شین) پیاده سازی می‌گردد (شکل ۲) [۶و۷]. همچنین برای هرچه بیشتر واقعی شدن داده‌ها، آنها را به نویز با مقدار ۰/۰۳ واریانس و میانگین صفر آغشته کرده و سپس به نسبت ۷۰٪ به ۳۰٪ به ترتیب به عنوان داده آموزشی و آزمایشی تقسیم می‌کنیم. نتایج حاصل از اعمال روش ماشین بردار پشتیبان به صورت جدول (۱) می‌باشد.



شکل ۲. شبکه ۳۳ باسه استاندارد جهت مطالعات تاب‌آوری در برابر سیل [۶و۷]

1- Hard margin
2- Soft margin

جدول ۱. نتایج حاصل از پیش‌بینی به روش ماشین بردار پشتیبان

		نقاط پیش‌بینی	
		سالم (-)	ناسالم (+)
نقاط واقعی	سالم (-)	TN=140	FP=2
	ناسالم (+)	FN=2	TP=34

بر اساس نتایج حاصل از آموزش و پیش‌بینی به روش ماشین بردار پشتیبان برای ۴۰۰ داده، یافته‌های زیر حاصل شده است:
مثبت درست (TP): این مقدار بیانگر تعداد نقاطی است که ناسالم بوده و توسط مدل به درستی ناسالم تشخیص داده شده است: ۳۴ نقطه
مثبت غلط (FP): این مقدار بیانگر تعداد نقاطی است که واقعا سالم بوده و دسته‌بند به اشتباه آنها را ناسالم تشخیص داده است: ۲ نقطه
منفی درست (TN): این مقدار بیانگر تعداد نقاطی است که سالم بوده و توسط مدل به درستی سالم تشخیص داده شده است: ۱۴۰ نقطه
منفی غلط (FN): این مقدار بیانگر تعداد نقاطی است که واقعا نا سالم بوده و دسته‌بند به اشتباه آنها را سالم تشخیص داده است: ۲ نقطه
بر طبق جدول فوق، از تعداد ۱۴۲ نقطه سالم، ۱۴۰ نقطه به درستی تشخیص داده شده است و به ازای ۳۶ نقطه ناسالم نیز ۳۴ نقطه صحیح تخمین زده شده است، که دقت تشخیص نقاط سالم ۹۸/۵۹ درصد و دقت تشخیص نقاط ناسالم ۹۴/۴۴ درصد است. لذا بر اساس نتایج حاصل از این شبیه‌سازی، در صورت وقوع سیل در این شبکه توزیع، خطوط منتهی به شین‌های ۸، ۱۹ و ۲۷ از مدار خارج می‌گردد و جهت افزایش تاب‌آوری باید تمهیدات لازم جهت جبران و بازگردانی خطوط به وضعیت فعال اندیشیده شود.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، برای تعیین وضعیت شبکه پس از وقوع سیل از روش یادگیری ماشین استفاده گردید. بر اساس این روش، نقاط مهم شبکه تعیین و متناسب با هر نقطه ویژگی‌های موثر در تعیین وضعیت آن مشخص گردید. پس از آن، از بین ویژگی‌های مشخص شده ویژگی-های متناسب با آسیب‌دیدگی پس از سیل انتخاب شده و به دنبال آن به کمک الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان، نقاط پر اهمیت شبکه تعیین وضعیت گردیدند. نتایج نشان داد که استفاده از این روش منجر به دقت پیش‌بینی ۹۸/۵۹ درصد برای نقاط سالم و ۹۴/۴۴ درصد برای تعیین نقاط ناسالم شبکه می‌شود. همچنین نقاط آسیب دیده شبکه توزیع مشخص گردید که باید برای افزایش تاب‌آوری تمهیدات لازم جهت جبران و بازگردانی خطوط به وضعیت فعال اندیشیده شود.

منابع

[1] Billinton, R., "Power system reliability evaluation", 1970: Taylor & Francis.
[2] Arghandeh, R., et al., "On the definition of cyber-physical resilience in power systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews", 2016. 58: p. 1060-1069.
[3] Ding, T., et al., "A new model for resilient distribution systems by microgrids formation". IEEE Transactions on Power Systems, 2017. 32(5): p. 4145-4147.
[4] Shao, C., et al., "Integrated planning of electricity and natural gas transportation systems for enhancing the power grid resilience". IEEE Transactions on Power Systems, 2017. 32(6): p. 4418-4429.
[5] Ottenburger SS, Çakmak HK, Jakob W, et al, "A novel optimization method for urban resilient and fair power distribution preventing critical network states", International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2020. 29:100354.
[6] Arandian B, Hooshmand RA, Gholipour E, "Decreasing activity cost of a distribution company by reconfiguration and power generation control of DGs based on shuffled frog leaping algorithm", Electrical Power and Energy Systems, 2014, vol. 61, pp. 48–55.
[7] Arandian B, Ardehali MM, "Effects of environmental emissions on optimal combination and allocation of renewable and non-renewable CHP technologies in heat and electricity distribution networks based on improved particle swarm optimization algorithm", Energy 2017; 140: 466–480.