

تخمین عمر عایقی کابل های فشار قوی XLPE تحت تنش های

حرارتی، الکتریکی و همزمان

سید محمد شهرتاش^۳

احمد غلامی^۲

تقی سامی^۱

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد - دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران و انستیتو مهندسی برق - مجتمع عالی

آموزشی و پژوهشی آذربایجان - تبریز - ایران

taghi.sami@gmail.com

۲- دانشیار دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران - تهران - ایران

gholami@iust.ac.ir

۳- استادیار دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران - تهران - ایران

shahrtash@iust.ac.ir

چکیده: به منظور پیشگیری از خرابیهای ناگهانی، تخمین و پیش بینی عمر سپری شده و باقیمانده در کلیه سیستمهای عایقی به عنوان یک ضرورت غیر قابل انکار شناخته شده و در هر سیستمی با روشهای مختلفی مورد بررسی قرار می گیرد. در دهه های اخیر، با توجه به ویژگیهای الکتریکی، حرارتی، مکانیکی و شیمیایی مناسبتر، کابلهای با عایق پلی اتیلن کراسلینک بطور گسترده جایگزین کابل های روغنی شده اند. اگر چه قابلیت اطمینان شبکه های زیر زمینی به مراتب بیشتر از شبکه های هوایی است، ولی تنش های مختلفی مثل حرارتی، الکتریکی، الکتریکی - حرارتی و تغییرات بار، عمر مفید بهره برداری کابل های مذکور را کاهش می دهند. در این مقاله برای تخمین عمر عایقی کابل های XLPE از شبکه های عصبی مصنوعی استفاده شده و ورودی های شبکه عصبی، دما، شدت میدان الکتریکی، مقاومت حرارتی خاک و مقاومت حرارتی دیگر لایه های کابل انتخاب شده است. با استفاده از شبکه های عصبی، در شرایط مختلف با ورودی های متنوع، عمر عایق و کابل پیش بینی می شود.

کلمات کلیدی: کابل XLPE، تنش حرارتی، تنش الکتریکی، تخمین عمر، شبکه های عصبی

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۸۷/۰۶/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۸۹/۰۳/۱۶

نام نویسنده مسئول: تقی سامی

نشانی نویسنده مسئول: تبریز- ایران - جاده سنتو- میدان کارگر- مجتمع عالی و آموزشی آذربایجان - انستیتو مهندسی برق - صندوق پستی

۵۱۸۴۵/۱۳۹

۱- مقدمه

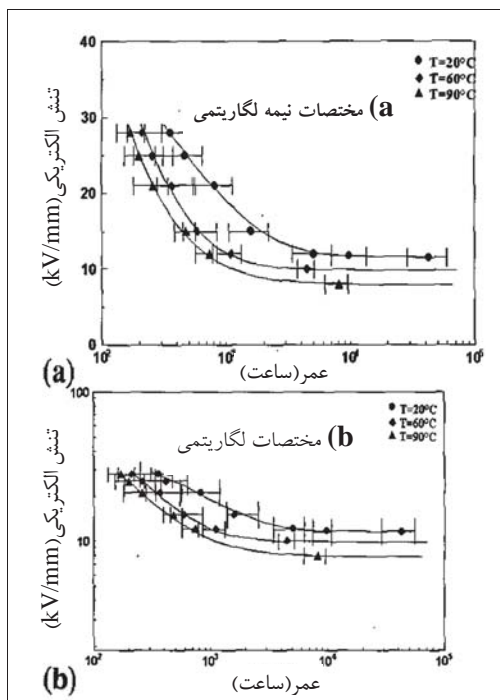
در بازار های برق رقابتی و غیر قابل پیش بینی، شرکت های برق از یک سو به بهبود کیفیت توان پرداخته و از سوی دیگر به سمت کاهش هزینه ها حرکت می کنند. با توجه به این موضوع، کاهش اضافه هزینه های مرتبط با نگهداری و تعویض تجهیزات معیوب مطلوب می باشد. اگر این امر از طریق کاهش نرخ از بین رفتن تجهیزات تحقق یابد، تاثیر مثبتی روی عملکرد شرکت های برق منطقه ای و توزیع نیروی برق خواهد گذاشت. با این حال، افزایش طول عمر تجهیزاتی مثل کابل های فشار قوی AC که کاربرد زیادی هم دارند به سادگی امکان پذیر نیست. بنابراین تجهیزات باید این قابلیت را داشته باشند که برای یک دوره طولانی تر از عمر حد انتظار و طراحی شده در سرویس باشند. در طراحی کابل های فشارقوی بیشترین حرارت مجاز برای کارکرد مداوم عایق انتخاب می شود. همچنین کابل های فشار قوی جریان و توان را اغلب کمتر از مقدار نامی خود حمل می کنند، لذا در دمای کمتر از حد مجاز خود کار می کنند. از این رو شانس وجود دارد که عمر آنها بیشتر از مقدار طراحی شده باشد، اما این شانس در صورتی ارزش دار می باشد که یک تحلیلی از شرایط بار کشیده شده توسط عایق در گذشته و یک تخمین صحیح درباره آینده داشته باشیم [۱].

یکی از دلایل اصلی اتصالی در کابلها پیری و فرسودگی آنها می باشد. با توجه به این مسئله و به منظور انتقال و توزیع برق بدون وقفه، ضروری است که طول عمر سپری شده یا باقیمانده کابل محاسبه شده تا قبل از وقوع عیب، اقدام لازم به عمل آید. برای تخمین عمر عایقی کابل اعم از عمر سپری شده یا باقیمانده روش ها و مدل های مختلفی از دیر باز استفاده شده است. در مراجع [۲-۷ و ۱۶] با استفاده از تست های عملی و آزمایشگاهی^۱ تخمین عمر عایقی و تاثیر دما روی تخلیه جزئی انجام گرفته، در حالیکه روش های آماری و احتمالی و طیف سنجی برای تخمین عمر و آنالیز نتایج تست های عملی کاربرد دارند [۴-۹].

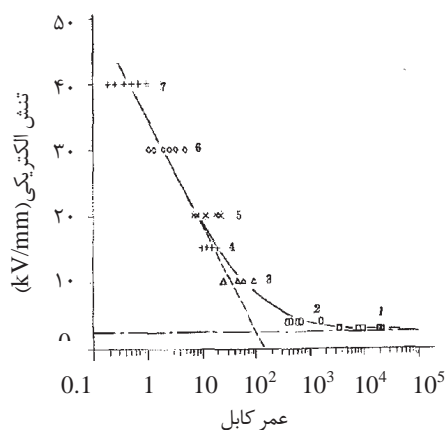
در این مقاله تخمین عمر عایقی کابل های فشارقوی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی انجام می گیرد. پیش بینی عمر عایق و کابل در شرایط مختلف با ورودی های متنوع، تحت تنش های حرارتی، الکتریکی و همزمان^۲، به وسیله شبکه های عصبی مصنوعی، با دقت مناسب انجام می گیرد.

۲- تست های عملی برای تخمین عمر کابل

روش تست عملی مناسب ترین روش برای تخمین عمر عایق کابل های فشارقوی می باشد که از اهمیت ویژه ای نیز برخوردار است. مهمترین تنش ها در عمر کابل ها، تنش های حرارتی و الکتریکی می باشند. نتایج تست های عملی عمر کابل با عایق XLPE تحت تنش های مذکور در شکل های (۱) و (۲) نشان داده شده است.



شکل (۱): خطوط عمر کابل XLPE تحت مقادیر مختلف دما ۶۰، ۲۰ و ۹۰ درجه سانتیگراد و تنش الکتریکی ثابت [۱۰]

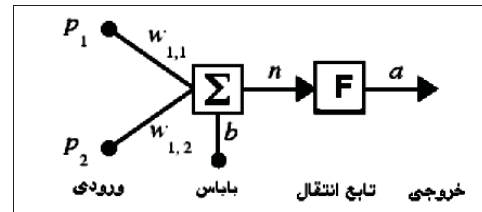


شکل (۲): منحنی عمر عایق تحت تنش الکتریکی [۱۱]

۳. شبکه های عصبی مصنوعی

ساختار شبکه های عصبی برگرفته از مدل هایی است که بشر برای مغز انسان و سلول های عصبی آن متصور است. این شبکه ها از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه میانی (مخفی) و یک لایه خروجی تشکیل می گردند. در هر یک از لایه ها تعدادی نرون جای گرفته است. به نرون های لایه ورودی فقط بردار ورودی اعمال می شود، اما به نرون های دیگر لایه ها، خروجی های لایه پیشین و یک ورودی که آستانه نرون

را توصیف می کند اعمال می شود. شکل (۳) ساختار یک شبکه عصبی ساده را نشان می دهد.



شکل (۳): ساختار یک شبکه عصبی ساده

با توجه به شکل (۳) داریم:

$$a = F(Wp + b) \quad (1)$$

هر نرون سیگنال های ورودی خود را دریافت کرده و سپس به آنها یک تابع بنام تابع تبدیل اعمال می شود. لازم به ذکر است، تعداد نرونها در لایه های ورودی و خروجی، به تعداد ورودی و خروجی های لایه پنهان، مربوط به طراحی شبکه عصبی است. شبکه های عصبی مکانیزمی برای یادگیری دارند که وزن های مربوطه را طوری تغییر می دهد تا خروجی مطلوب بدست آید [۱۱-۱۲].

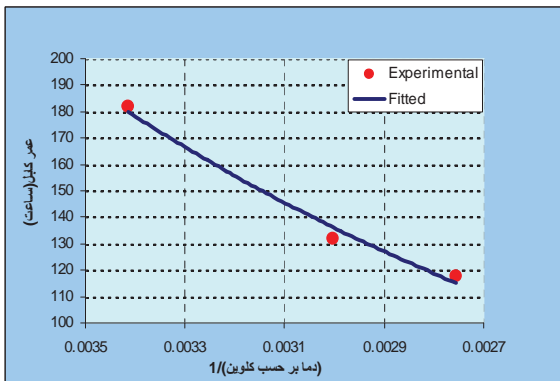
۴- تخمین عمر کابل به روش شبکه عصبی

برای تخمین عمر کابل ها به روش شبکه عصبی، با استفاده از مراجع [۹-۱۰]، عمر عایقی کابل ها تحت تنش های حرارتی، الکتریکی و همزمان استخراج شده و سپس با طراحی شبکه های عصبی مناسب و با توجه به ورودی های مختلف، پیش بینی عمر عایق و کابل انجام شده است.

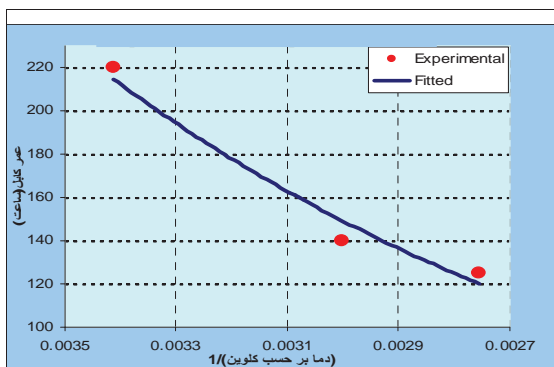
۴-۱- تخمین عمر عایقی تحت تنش حرارتی

با استفاده از شکل (۱)، می توان عمر عایقی کابل را بازای دماهای مختلف در شدت میدان ثابت، استخراج کرد. با استخراج عمر نسبت به دما و برازش منحنی با دقت مناسب، عمر کابل در هر دمای بهره برداری بدست می آید. در شکل های (۴) الی (۶) عمر کابل نسبت به دما و به همراه منحنی های برازش شده، نشان داده می شوند.

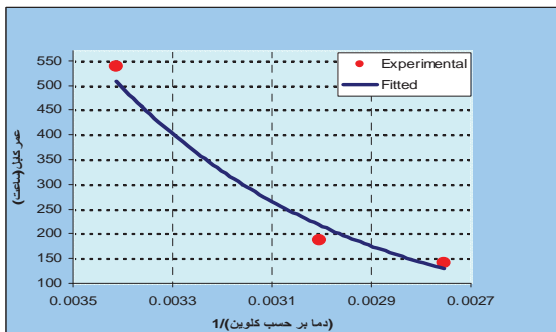
برای تخمین عمر کابل ها، ورودی های شبکه عصبی، دما و مقاومت حرارتی خاک انتخاب شدند و در ادامه مقاومت حرارتی دیگر لایه های کابل و تعداد رشته های آن به عنوان ورودی اضافه شدند. با استفاده از روش سعی و خطا، آموزش و تست چندین شبکه عصبی، از یک شبکه عصبی چهار لایه پیشخور^۲ (با احتساب لایه ورودی)، دارای دو نرون برای لایه ورودی، شش و ده نرون به ترتیب برای لایه های میانی (مخفی)، یک نرون در لایه خروجی استفاده شد. شکل (۷) ساختار شبکه عصبی انتخابی را نشان می دهد.



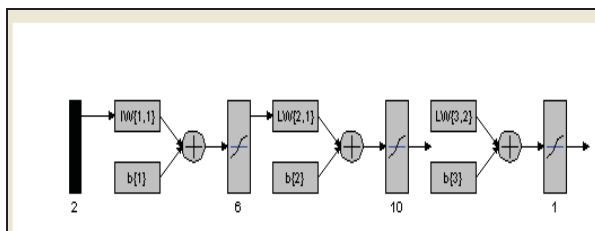
شکل (۴): منحنی عمر - دما بازای تنش الکتریکی 28kV/mm



شکل (۵): منحنی عمر - دما بازای تنش الکتریکی 25kV/mm



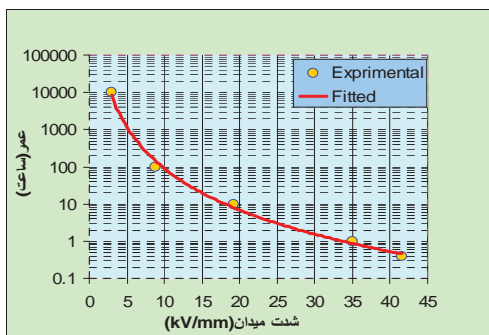
شکل (۶): منحنی عمر - دما بازای تنش الکتریکی 21kV/mm



شکل (۷): ساختار شبکه عصبی انتخاب شده

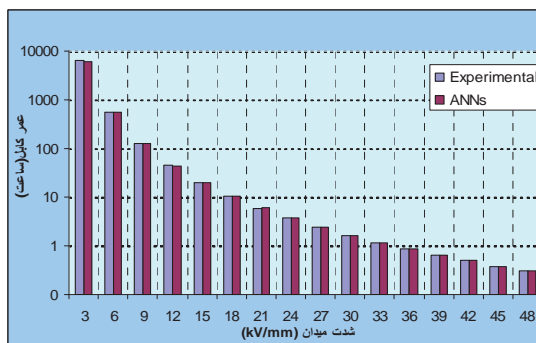
۲-۴- تخمین عمر عایقی تحت تنش الکتریکی

با استفاده از شکل (۲) می توان عمر عایقی کابل را بازای شدت میدان های مختلف استخراج کرد. با استخراج عمر نسبت به شدت میدان الکتریکی و برازش منحنی، عمر عایقی کابل در هر شدت میدان الکتریکی بدست می آید. در شکل (۱۱) عمر کابل نسبت به شدت میدان الکتریکی به همراه منحنی برازش شده، نشان داده می شود.

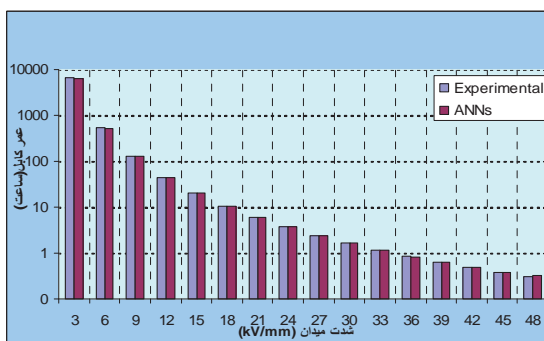


شکل (۱۱): منحنی عمر بر حسب شدت میدان الکتریکی

نتایج آموزش و تست شبکه عصبی برای تنش الکتریکی در شکل های (۱۲) و (۱۳) ارائه می گردند.

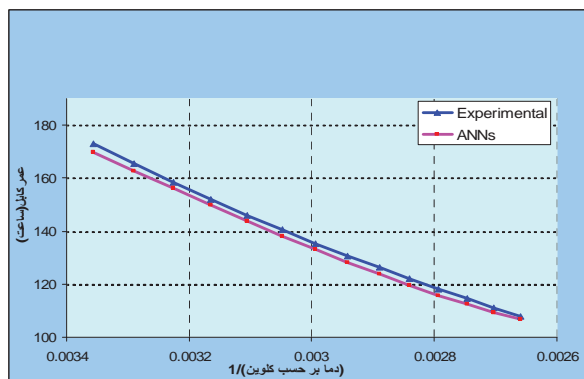


شکل (۱۲): مقایسه نتایج شبکه عصبی و مقادیر واقعی عمر الکتریکی تحت خاک با مقاومت حرارتی 1°K.m/w

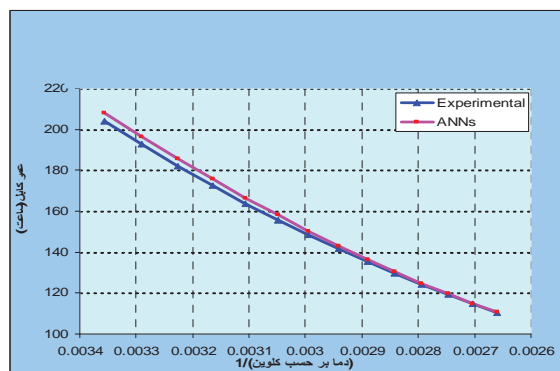


شکل (۱۳): مقایسه نتایج شبکه عصبی و مقادیر واقعی برای تنش الکتریکی بازای شش ورودی

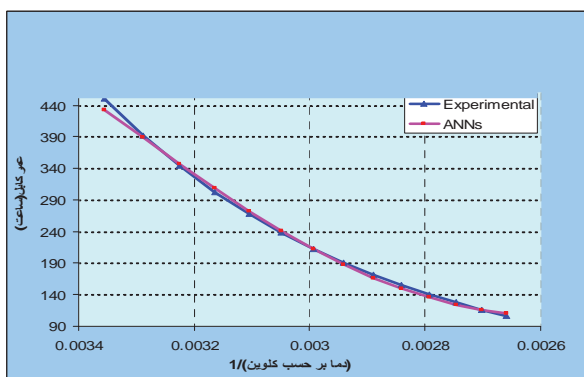
الگوریتم بکار رفته، الگوریتم پس انتشار خطا بوده و از تابع آموزشی لونیبرگ-مارکوارت^۹ استفاده شده است. توابع انتقال^{۱۰} لایه های میانی و خروجی، لگاریتم سیگموئید (غیر خطی) انتخاب شده است. برای جلوگیری از اشباع شبکه عصبی، داده ها در بازه [0 1] نرمالیزه شده اند. هشتاد درصد داده ها برای آموزش و بیست درصد آنها برای تست شبکه بکار رفته است. نتایج در شکل های (۸) الی (۱۰) ارائه می شوند.



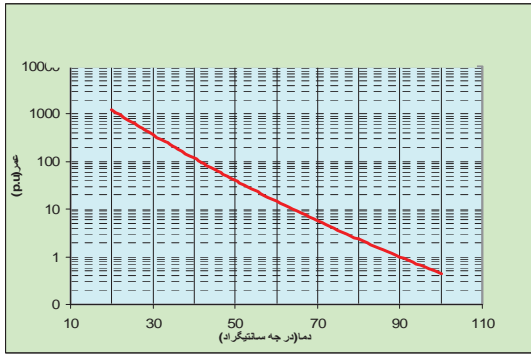
شکل (۸): مقایسه نتایج شبکه عصبی و مقادیر واقعی عمر حرارتی تحت خاک با مقاومت حرارتی 1°K.m/w و شدت میدان 28kV/mm



شکل (۹): مقایسه نتایج شبکه عصبی و مقادیر واقعی عمر حرارتی تحت خاک با مقاومت حرارتی 1°K.m/w و شدت میدان 25kV/mm

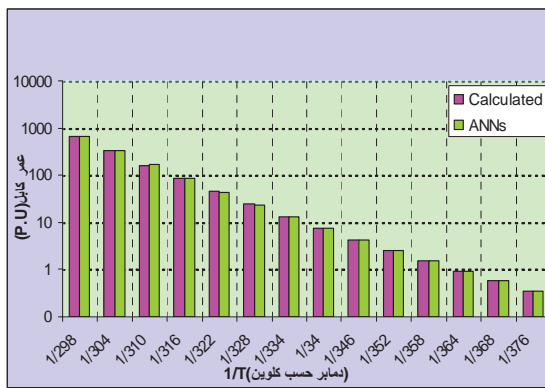


شکل (۱۰): مقایسه نتایج شبکه عصبی و مقادیر واقعی عمر حرارتی تحت خاک با مقاومت حرارتی 1°K.m/w و شدت میدان 21kV/mm



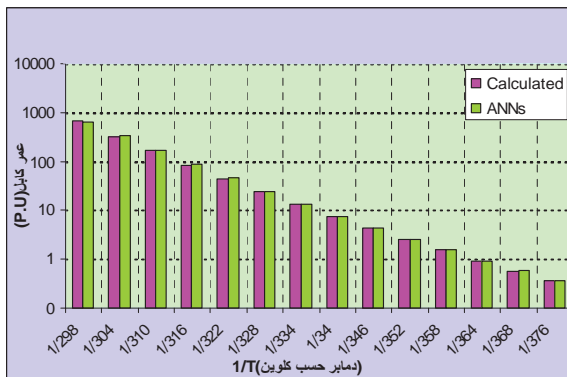
شکل (۱۴): منحنی عمر الکتریکی - حرارتی کابل بازای شدت میدان
ماکزیمم 7.2 kV/mm

نتایج تست و آموزش شبکه عصبی برای تنش همزمان در شکل های (۱۵) و (۱۶) ارائه می شوند.



شکل (۱۵): مقایسه نتایج شبکه عصبی و مقادیر واقعی بازای تنش
همزمان

شش ورودی، شدت میدان الکتریکی، دما، مقاومت حرارتی خاک، مقاومت حرارتی عایق، مقاومت حرارتی پرکننده و روکش خارجی می باشند.



شکل (۱۶): مقایسه نتایج شبکه عصبی و مقادیر واقعی بازای تنش
همزمان برای شش ورودی

شش ورودی، شدت میدان الکتریکی، مقاومت حرارتی خاک، مقاومت حرارتی عایق، مقاومت حرارتی پرکننده، مقاومت حرارتی روکش و تعداد رشته های کابل می باشند. مقادیر شش ورودی شبکه عصبی، شدت میدان الکتریکی (از 0.5 الی 50 کیلوولت بر میلی متر)، مقاومت حرارتی خاک 1.2 k.m/w ، مقاومت حرارتی عایق 3.5 K.m/w ، مقاومت حرارتی پرکننده 5 K.m/w ، مقاومت حرارتی روکش 5 K.m/w و تعداد رشته های کابل (کابل دارای سه رشته هادی) می باشند [۱۳-۱۵].

۴-۳- تخمین عمر عایقی تحت تنش همزمان

برای بدست آوردن عمر کابل تحت تنش همزمان حرارتی و الکتریکی، از مدل (۲) استفاده شده است [۴].

$$L = L_0 (E/E_0)^{-(no-bcT)} \exp(-BcT) \quad (2)$$

که در آن E شدت میدان الکتریکی حداکثر، $cT = 1/T_0 - 1/T$ ، تنش حرارتی متعارف (T دمای حداکثر و T_0 دمای محیط)، n_0 ضریب پایداری ولتاژ، و مقدار E_0 شدت میدان الکتریکی که کمتر از آن فرسایش الکتریکی قابل نظر کردن است. B برابر $\Delta w/k$ ، انرژی فعال سازی k ثابت بولتزمن هست) و b پارامتری است که نقش همزمانی بین تنش الکتریکی و حرارتی را بازی می کند. پارامترهای مدل (۲) در جدول (۱) ارائه می شود.

جدول (۱): پارامترهای عمر الکتریکی - حرارتی [۴]

پارامتر	مقدار
$B [^\circ \text{K}]$	۱۲۴۳۰
$b [^\circ \text{K mm/kV}]$	۴۴۲۰
n_0 [بدون دیمانسیون]	۱۵
$E_0 [\text{kV/mm}]$	۵
$E [\text{kV/mm}]$	۷.۲
T	90°C
T_0	20°C
عمر طراحی (نامی)	۳۰ سال

عمر الکتریکی - حرارتی برای دمای 20 الی 100 درجه سانتیگراد (293 الی 373 درجه کلوین) و شدت میدان ماکزیمم 7.2 kV/mm محاسبه شده و منحنی عمر الکتریکی - حرارتی در شکل (۱۴) ارائه می شود.

۵- نتیجه گیری

با توجه به گسترش روزافزون سیستم های انتقال و توزیع کابلی در شهرهای بزرگ و با در نظر گرفتن مباحث قابلیت اطمینان و همچنین وقت گیر بودن عیب یابی و تعمیر کابل ها، پیش بینی عمر کابل ها ضروری است. در این مقاله، ابتدا با استفاده نتایج تست های عملی مراجع [9-10]، عمر کابل تحت تنش های حرارتی، الکتریکی و همزمان استخراج شده و با برازش منحنی با دقت بالا، عمر عایق و کابل در دمای بیست الی صد درجه سانتیگراد و شدت میدان الکتریکی یک الی چهل کیلو ولت بر میلیمتر محاسبه گردید. سپس برای هر یک از تنش های مذکور، شبکه عصبی مناسبی طراحی شده و بازای ورودی های متنوع (شدت میدان الکتریکی، دما، مقاومت حرارتی خاک، مقاومت حرارتی عایق، مقاومت حرارتی پرکننده و تعداد رشته های کابل) و در حالت های مختلف آموزش و تست شبکه های عصبی انجام گرفت. با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی عمر کابل در هر دما و شدت میدان با دقت بسیار خوبی تخمین زده شد.

مراجع

- [8] G. Mazzanti*, G. Passarelli, "A Probabilistic Life Model for Reliability Analysis of Power Cables Feeding Electric Traction Systems", SPEEDAM 2006 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, S3017-S3022
- [9] G. Mazzanti, "Analysis of the Combined Effects of Load Cycling, Thermal Transients and Electro-thermal Stress on Life Expectancy of High-Voltage AC Cables", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No. 4, October, 2007
- [10] G. Montanari, G. Mazzanti, L. Simoni, "Progress in Electro thermal Life Modeling of Electrical Insulation during the Last Decades", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 9 No. 5, October 2002
- [۱۱] محمد باقر منهج، "مبانی شبکه های مصنوعی"، هوش محاسباتی، جلد اول، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ سوم، ۸۴
- [۱۲] محمد باقر مهدیزاده، "شبکه های عصبی مصنوعی"، تبریز، انتشارات علمیران، چاپ اول، ۸۳
- [13] R. Bartnikas, K.D. Srivastava, "Power and Communication Cables Theory and Application", IEEE Press Series of Power Engineering, Wiley Interscience, 1999
- [14] G.J. Anders, "Rating of Electric Power Cable in Unfavorable Thermal Environment", IEEE Press Series of Power Engineering, Wiley Interscience, 2005
- [۱۵] محمد اسماعیل بانکیان، "کتاب کابل (دانشنامه صنعت کابل)"، ناشر شرکت سیم و کابل اهر، چاپ اول، ۱۳۸۲
- [۱۶] منصور رفیعی، حیدرعلی شایانفر، "بررسی تاثیر دما روی شاخص های آماری تخلیه الکتریکی جزئی ناشی از دو نوع عیب سطحی در شیشه های ژنراتور فشار قوی"، مجله انجمن مهندسين برق و الکترونیک ایران، سال دوم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۸۴
- [1] G. Mazzanti, "Effects of the Combination of Electro-thermal Stress, Load Cycling and Thermal Transients on Polymer-insulated High Voltage ac Cable Life", Power Engineering Society General Meeting, 2005. IEEE, 12-16 June 2005 Page(s):95 - 102 Vol
- [2] M. L. Dyer, S. B. Dalal, R. S. Gorur, "Prediction of performance of in-service XLPE cables", 2002 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Conf., Oct. 2002, pp. 421-424.
- [3] A. Cavallini, D. Fabiani, G. Mazzanti, G. C. Montanari, "Life Model Based on Space-Charge Quantities for HVDC Polymeric Cables Subjected to Voltage-Polarity Inversions", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 9, No. 4; August 2002
- [4] S. B. Dalal, R. S. Gorur, M. L. Dyer, "Aging of Distribution Cables in Service and Its Simulation in the Laboratory", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 12, No. 1; February 2005
- [۵] علی. نادریان چهارمی، گئورگ قره پتیان، حسین محسنی، "بررسی عمر و رفتار عایق جامد برای سیستم های HVDC کابلی"، یازدهمین کنفرانس مهندسی برق، می ۲۰۰۳، شماره ۴
- [6] G. Mazzanti, G. C. Montanari, "A Comparison between XLPE and EPR as Insulating Materials for HV Cables", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No. 1, January 1997.
- [۷] منصور رفیعی، حیدر علی شایانفر، "بررسی تأثیر دما روی شاخص های آماری تخلیه الکتریکی جزئی ناشی از دو نوع عیب سطحی در شیشه های ژنراتور فشارقوی"،

زیر نویس ها

- ¹ Experimental
- ² Electro-Thermal
- ³ Feed-Forward
- ⁴ Error Back Propagation
- ⁵ Levenberg-Marquardt
- ⁶ Transfer Function