



بررسی دز الکترونی در کراس لینک روکش کابل‌های فشار ضعیف تابش داده شده با شتاب‌دهنده الکترون

صادقی علیرضا^(۱)، رضایی محمدرضا^{(۱)*}، شیرمردی سید پژمان^(۲)، خضری پور سعیده^(۳)

^(۱) دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، دانشکده علوم و فناوری های نوین، گروه مهندسی هسته ای

^(۲) پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

^(۳) دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، دانشکده علوم و فناوری های نوین، گروه فوتونیک

چکیده:

پرتودهی الکترون روکش‌های کابل برق که به طور عمده از جنس پلی‌اتیلن سبک هستند موجب ایجاد پیوند عرضی و نهایتاً مقاومت بالای روکش کابل می‌شود. در بررسی ایجاد پیوندهای عرضی، روکش کابل دارای پلی‌اتیلن سبک نیز بر اثر پرتودهی الکترون، باید دارای توزیع یکنواخت دز باشد تا شرایط یک روکش مناسب برای آن فراهم گردد. در این مطالعه، با استفاده از کد شبیه‌سازی MCNPX شتاب‌دهنده الکترون به عنوان ابزار پرتودهی روکش کابل بدست آمده و با استفاده از شبیه‌سازی روش یک طرفه، نحوه توزیع دز بر روی روکش کابل بررسی شده است. با استفاده از روش یک طرفه میزان دز رسیده به روکش کابل ۲/۹ برابر و درصد توزیع دز در کل کابل به ۹۸/۵ درصد می‌رسد که بیان‌کننده یکنواخت‌تر شدن دز است.

کلمات کلیدی: پلی‌اتیلن سبک، توزیع یکنواخت، روش یک طرفه، شتاب‌دهنده، کد MCNPX

مقدمه :

پلی‌اتیلن سبک به عنوان یکی از پلیمرهای پرکاربرد در صنعت شناخته می‌شود. در صنعت برق نیز از این ماده به عنوان روکش کابل استفاده می‌گردد. جهت ایجاد پیوندهای عرضی در پلیمرها و به‌ویژه پلی‌اتیلن سبک، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از مهم‌ترین این روش‌ها، استفاده از پرتوهای یون‌ساز به‌ویژه پرتو الکترون است که با برخورد الکترون به پلی‌اتیلن، رادیکال‌های آزاد بر روی زنجیره اصلی و شاخه‌های جانبی تولید می‌شود و در صورت اتصال این شاخه‌های دارای رادیکال آزاد به هم دیگر، پیوند عرضی ایجاد می‌شود. دلایل برتری پلی‌اتیلن با پیوند عرضی به عنوان روکش نسبت به روکش‌های دیگر شامل مقاومت ویژه بسیار خوب، پایدار بودن در برابر گرما و توانایی رودرویی با رویدادهای ناگهانی نظیر اتصال کوتاه است [۱-۸]. در سال ۱۹۹۵ میلادی به بررسی ایجاد پیوند عرضی توسط پرتو الکترون در دماهای مختلف بر روی پلی‌اتیلن



توسط باژون کیو و همکاران پرداخته شد [۹]. در سال ۲۰۰۴ میلادی توسط آقای ضیائی^۱ و همکارانش تاثیر نرخ دز در ایجاد پیوند عرضی بر روی پلی اتیلن با چگالی کم توسط تابش پرتو الکترون انجام شد. در این تحقیق، تابش القاشده برای ایجاد پیوند عرضی بر روی نمونه‌های پلی اتیلن با چگالی کم با نرخ دز متفاوت در محدوده ۲۰ تا ۲۰۰ کیلوگری با شتاب‌دهنده الکترون ۵ مگا الکترون بررسی شد. نتایج نشان داد که درصد ژل با کاهش دادن مقدار نرخ دز، اندکی افزایش می‌یابد و با تغییر دادن جریان پرتو الکترون، نرخ دزهای متفاوتی ایجاد می‌شود که در مقدار دز جذب شده توسط ماده تاثیر می‌گذارد [۱۰]. در سال ۲۰۱۲ میلادی بهینه‌سازی ایجاد پیوند عرضی بر روی عایق سیم و کابل توسط زیگنیو زیمیک^۲ و همکاران انجام شد. در این تحقیق شبیه‌سازی براساس روش مونت کارلو و نرم‌افزار CEB در ارتباط با تابش پرتو الکترون برای ایجاد پیوند عرضی بر روی عایق سیم و کابل انجام شد. پیش‌بینی تئوری برای توزیع دز جذب‌شده در عایق الکتریکی به وسیله پرتو الکترون با نتایج روش تجربی که از طریق شتاب‌دهنده الکترون ILU 6 صورت گرفت مقایسه شد. شبیه‌سازی برای توزیع دز با استفاده از سیستم تابش دوطرفه در ابزار دایره‌ای چندلایه با تغییر پارامترهایی نظیر هندسه عایق و سیم کابل (ضخامت لایه‌های عایق و قطر سیم کابل)، نوع عایق پلیمر، انرژی الکترون، گسترش انرژی و هندسه پرتو الکترون در ناحیه تشعشع انجام شد [۱۱]. استفاده از کد MCNP یکی از ابزارهای مهم برای محاسبه دز بر روی کابل است. کد شبیه‌سازی MCNP یک کد چند منظوره است که می‌تواند برای ترابرد نوترون، فوتون، الکترون، پروتون و سایر ذرات، به تنهایی و با هم بکار برده شود [۱۲]. این مطالعه نشان دهنده این است که با عبور کابل بین دو قرقره ثابت تحت تابش، می‌توان به توزیع دز یکنواخت دست یافت.

روش کار :

در این تحقیق برای شبیه‌سازی نحوه توزیع دز بر روی روکش کابل، از شتاب‌دهنده پرتو الکترون رودوترون TT200 با انرژی ۱۰ MeV، توان ۱۰۰ kW و جریان حداکثر ۸ میلی‌آمپر استفاده شده است. با توجه به مشخصات کابل با سطح مقطع 16 mm^2 ، که دارای ۱۲۶ هادی و قطر هر هادی 0.41 mm ، شعاع استوانه داخلی کابل برابر 5.5 mm و ضخامت روکش 0.52 mm است به شبیه‌سازی کابل پرداخته شد. کابل شبیه‌سازی شده در شکل ۱-الف مشاهده می‌شود.

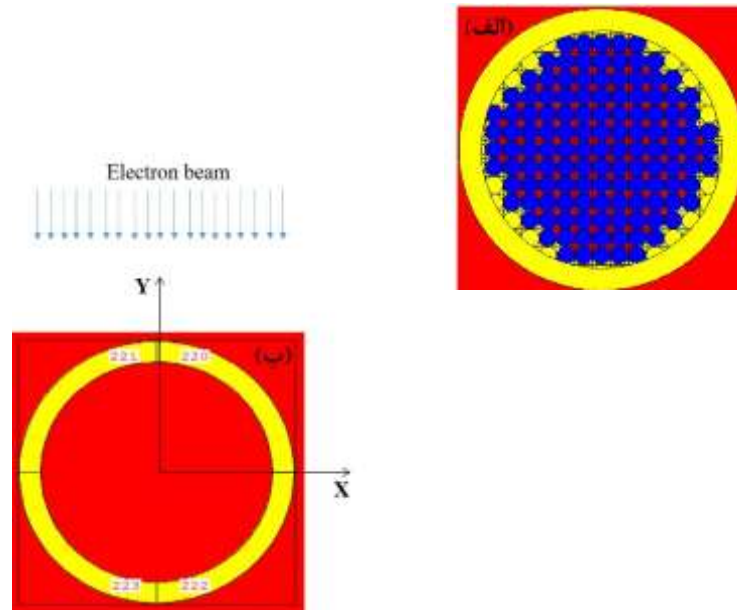
روکش کابل از ۸۳ درصد پلی اتیلن سبک، ۱۰ درصد اتیلن وینل استات، ۶/۵ درصد کربن بلاک و ۵ درصد آنتی‌اکسید تشکیل شده است. اتیلن وینل استات برای افزایش پیوند عرضی، کربن بلاک برای رنگ مشکی روی

^۱Baojun Qu

^۲Ziaie

^۳Zimek

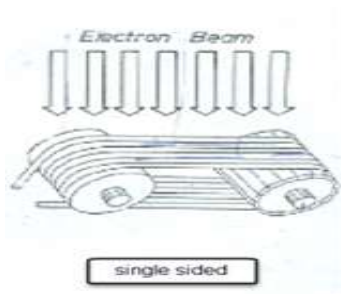
روکش و برای مقاومت در برابر اشعه ماورابنفش و آنتی اکسید برای جلوگیری از آتش گیری روکش استفاده می‌شود [۲]. هادی کابل هم از مس است. میزان جریان شتاب‌دهنده در این شبیه‌سازی، برابر ۴ میلی آمپر می‌باشد.



شکل شماره (۱): الف- سطح مقطع XY کابل شبیه‌سازی شده در کد MCNPX ب- چهار قسمت تقسیم شده شبیه‌سازی شده

روکش کابل را به چهار قسمت مطابق شکل ۱- ب تقسیم کرده که چهار قسمت روکش با اعداد ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۲۳ مشخص شده است. در این مرحله کابل را در ارتفاع‌های مختلف از دهانه شتاب‌دهنده قرار داده می‌شود و طول کابل برابر با طول موثر در هر ارتفاع است تا نحوه توزیع در هر چهار قسمت روکش کابل بررسی شود.

برای رسیدن به حالت توزیع یکنواخت یعنی اینکه هر چهار قسمت روکش کابل به یک اندازه دز دریافت کنند باید هر چهار قسمت در مقابل شتاب‌دهنده قرار گیرند. به همین دلیل نیاز به حرکت کابل و دورزدن حول دو قرقه ثابت دارد که به روش یک طرفه شناخته می‌شود که نحوه قرار گرفتن کابل در شکل ۲ مشاهده می‌شود.



شکل شماره (۲): روش یک طرفه برای رسیدن به توزیع یکنواخت

برای شبیه‌سازی از روش یک طرفه طبق شکل (۲) استفاده شده است که طول کابل برابر ۱۵۰ cm است. دهانه شتاب‌دهنده دو بعد دارد که محور کابل در راستای بعد بزرگ دهانه شتاب‌دهنده قرار داده می‌شود. در عمل، کابل از یک شیار وارد می‌شود و پس از دور زدن تمام شیارهایی که تحت تابش قرار دارد از شیار انتهایی خارج می‌شود. در شبیه‌سازی با فرض اینکه پرتو به قرقه‌ها نمی‌رسد و در کد MCNPX تا ۱۹ عدد شیار می‌توان تعریف کرد، در نتیجه ۱۹ کابل در قسمت بالایی و ۱۹ کابل در قسمت پایین قرار می‌گیرد. برای بررسی نحوه توزیع دز در هر شیار قرقه، ابتدا با قرار دادن صفحات مجازی به نام سگمنت در فاصله ۴ cm از یکدیگر بر روی محور کابل، به ۳۸ قسمت مساوی تقسیم می‌شود و توسط کد، مقدار دز دریافت شده در هر قسمت بدست می‌آید. سلول وقتی در شیار بالا یا در قسمت پایین قرار می‌گیرد مکانش به خاطر دور زدن کابل از لحاظ کد جابه‌جا می‌شود. توسط کد، مقدار دزی که هر چهار قسمت روکش در هر شیار در واحد زمان بدست می‌آورد مشخص می‌شود. در نهایت مقدار دزی که یک کابل ۱۵۰ cm در ۱۹ شیار در هر قسمت روکش دریافت کرده است جمع می‌شود و نحوه توزیع دز در روش یک طرفه بحث خواهد شد. فاصله شیار بالا از شیار پایین ۵۰ سانتی متر است.

نتایج:

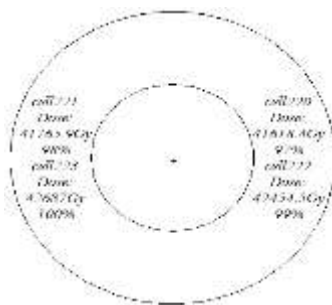
برای دست یافتن به توزیع یکنواخت دز از روش یک طرفه استفاده می‌شود. میزان دز جذب شده در هر شیار بررسی می‌شود که برابر با مجموع میزان دز جذب شده در قسمت شیار بالایی و قسمت پایینی شیار است. هر شیار نسبت به مکانی که نسبت به مرکز شتاب‌دهنده دارد میزان دز جذب شده خاص خود را دارد. چشمه در فاصله ۷۵ سانتی متر از شیار بالا و ۱۲۵ سانتی متر از شیار پایین قرار دارد. در صد توزیع دز، نسبت دز هر سلول به دز بیشینه سلول‌ها در هر شیار بیان شده است. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود در صد توزیع دز سلول در هر شیار نسبت به دز جذبی بیشینه متفاوت است.



جدول (۱): میزان دز جذب شده برحسب (Gy) و درصد توزیع در هر سلول تشکیل دهنده کابل در هر شیار

سلول ۲۲۳		سلول ۲۲۲		سلول ۲۲۱		سلول ۲۲۰		شیار
دز (Gy)	%	دز (Gy)	%	دز (Gy)	%	دز (Gy)	%	
۱۵۷/۳	۱۰۰	۱۳۱/۲۳	۸۳	۱۱۸/۶۴	۷۵	۳۷,۷	۲۴	۱
۴۱۱۲	۴۴	۶۹۷۴/۷	۷۴	۹۳۸۴/۶	۱۰۰	۷۰۰۷/۵	۷۵	۹
۱۵۰۷۳	۹۳	۱۴۹۱۹/۱	۹۲	۱۶۲۸۴	۱۰۰	۱۶۲۲۹/۹	۹۹	۱۰
۷۰۲۵/۱	۷۵	۹۲۵۵/۶	۹۸	۷۰۵۹/۷	۷۵	۹۳۹۱/۷	۱۰۰	۱۱
۵۸۴/۷۴	۸۶	۶۸۱/۴۱	۱۰۰	۳۹۵/۴	۵۸	۵۹۷/۶۶	۸۸	۱۴
۱۵۱/۴۸	۸۵	۱۷۷/۹۸	۱۰۰	۵۴/۲۸	۳۱	۱۳۴/۰۳	۷۵	۱۸

وقتی یک کابل از ۱۹ شیار عبور می‌کند دز جذبی روکش کابل برابر مجموع دز جذبی تمام ۱۹ شیار است. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود نحوه توزیع دز در هر سلول روکش به یکنواختی نزدیک می‌شود که چنانچه اگر تعداد شیارها از ۱۹ بیشتر شود یکنواخت‌تر می‌شود. در روش یک طرفه، میزان دز جذبی در روکش کابل به طور متوسط برابر $42/13 \text{ kGy}$ می‌باشد.



شکل شماره (۳): میزان دز جذبی و درصد توزیع دز بعد از عبور کابل از ۱۹ شیار قرقره



بحث و نتیجه گیری :

برای بهبود پیوند عرضی ایجادشده بر روی روکش، باید هم دز جذبی روکش افزایش یابد و هم توزیع دز یکنواخت شود تا مقاومت و استحکام روکش کابل بهبود یابد.

با استفاده از روش یک طرفه، هم توزیع دز یکنواخت حاصل می شود و هم مقدار دز جذب شده توسط روکش کابل افزایش می یابد. یک تفاوت مهم بین شیارهای بالا و پایین قرقره وجود دارد. شیارهای پایین نسبت به شیارهای بالا دارای توزیع یکنواخت بیشتری است و دارای مقدار دز جذب شده بیشتری می باشد. الکترونهایی که از شتاب دهنده با انرژی بالا خارج می شوند به شیارهای بالا برخورد می کنند و مقدار زیادی انرژی از دست می دهند و پراکنده می شوند و وقتی به شیار پایین می رسند دارای انرژی کمتر می باشند و جذب می شوند. در نتیجه نسبت به شیارهای بالا، شیارهای پایین دارای توزیع یکنواخت بیشتر و همچنین میزان دز جذبی بیشتری می باشند. وقتی کابل از ۱۹ شیار بالا و پایین بگذرد میزان دز جذبی ۲/۹ برابر شده است که برای رسیدن به روکش محکم و مقاوم مناسب است.

مراجع:

- [1]. Bandyopadhyay M N, Electrical Power Systems: Theory and Practice, PHI Learning, 2006.
- [2] Tamboli S, Mhaske S and Kale D, Crosslinked polyethylene. Indian journal of chemical technology, 2004, 11, 853-864.
- [3] Kuriyama I, Hayakawa N, Nakase Y, Kawawata S, Ogura J, Kasai K and Onishi T, Radiation resistance of cable insulating materials for nuclear power generating stations. IEEE Transactions on Electrical Insulation, 1978, 164-171.
- [4] Oda E, Wire and cable. Radiation Physics and Chemistry (1977), 1981, 18, 241-252.
- [5] Mason L, Doyle T and Reynolds A, Oxidation induction time correlations with radiation dose and antioxidant concentration in EPR and XLPE polymers. Journal of applied polymer science, 1993, 50, 1493-1500.
- [6] Qu B and Rårby B, Radiation crosslinking of polyethylene with electron beam at different temperatures. Polymer Engineering & Science, 1995, 35, 1161-1166.
- [7] Reynolds A, Bell R, Bryson N, Doyle T, Hall M, Mason L, Quintric L and Terwilliger P, Dose-rate effects on the radiation-induced oxidation of electric cable used in nuclear power plants. Radiation physics and chemistry, 1995, 45, 103-110.



- [8] Qi X and Boggs S, Thermal and mechanical properties of EPR and XLPE cable compounds. IEEE electrical insulation magazine, 2006, 22, 19-24.
- [9] Qu B and Rårby B, Radiation crosslinking of polyethylene with electron beam at different temperatures. Polymer Engineering & Science, 1995, 35, 1161-1166.
- [10] Ziaie F, Anvari F, Ghaffari M and Borhani M, Dose rate effect on LDPE cross-linking induced by electron beam irradiation. Nukleonika, 2005, 50, 125-127.
- [11] Zimek Z, Przybytniak G and Nowicki A, Optimization of electron beam crosslinking of wire and cable insulation. Radiation physics and chemistry, 2012, 81, 1398-1403.

[۱۲]. کاربرد کد شبیه سازی MCNP در محاسبات هسته‌ای / گردآوری و ترجمه پژمان شیرمردی، علی طاهری، حماد

امیری