

## بررسی اثر پرتو الکترون بر روی جمع شدگی طولی قطعات تزریقی قابل انقباض حرارتی بر پایه پلی اتیلن و کسب دز بهینه پرتو دهی

یحیی خیرخواه\*، جواد امراللهی

بخش تحقیقات، مرکز تحقیقات و کاربرد پرتو فرآیند یزد، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۳۸۹-۸۹۱۷۵، تفت- یزد  
\*Y.Khairkhah@yrpc.ir

### چکیده:

سرکابل‌های مخابراتی قطعاتی هستند که برای مسدود ساختن انتهای کابلها به کار می‌روند و باعث جلوگیری از جذب خاک، گرد و غبار و رطوبت می‌شوند. در این تحقیق سعی شده تا با استفاده از پرتو الکترون در دزهای مختلف میزان جمع شدگی طولی قطعات تزریقی را بررسی نمایند. در ابتدا با آمیزه‌ای مناسب بر پایه پلی اتیلن توسط دستگاه تزریق، سرکابل تهیه شد. به منظور شبکه‌ای نمودن، قطعات با باریکه الکترونیهای  $10\text{MeV}$  پرتو دهی گردید، در ادامه خواص جمع شدگی طولی قطعات و خواص مکانیکی آمیزه قبل و پس از آزمون فرسودگی اندازه‌گیری شده و در نهایت دز پرتو دهی بهینه مشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: جمع شدگی طولی، باریکه الکترونی، شبکه‌ای شدن، سرکابل

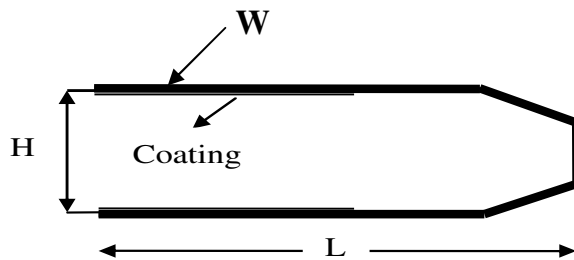
### مقدمه

امروزه استفاده از محصولات قابل انقباض حرارتی در صنایع کابل سازی و مخابرات، جهت عایقکاری محل اتصالات و محافظت آنها در برابر خوردگی افزایش یافته است. در فرآیند تولید این مواد، محصول شبکه‌ای شده در دمای بالا کشیده شده و در همان حالت سرد می‌گردد. در اثر جهت گیری مولکولی زنجیره‌های پلیمر، حافظه‌ای در ساختار ماده بوجود می‌آید که تنش اعمال شده در هنگام کشش را حفظ می‌کند. آزاد شدن این تنش محبوس در اثر اعمال حرارت، باعث برگشت این مواد به حالت اولیه می‌گردد که از همین ویژگی برای عایق کاری محل اتصالات استفاده می‌شود. پلی‌الفینها و کوپلیمرهای آنها به عنوان پلیمرهای حافظه‌دار برای تولید محصولات قابل انقباض توسط حرارت بکار می‌روند. وجود نواحی کریستالی در این مواد، باعث حفظ ساختار منبسط شده و ایجاد حافظه در به خاطر سپردن شکل اولیه این محصولات می‌شود [۱-۳]. ضعف پلی اتیلن در کاربردهای صنعتی دمای ذوب نسبتاً پایین آن است که با شبکه‌ای کردن می‌توان تاحدی بر آن غلبه نمود. سرکابل قطعه‌ای است که نصب آن در انتهای کابل‌های مخابراتی مانع از نفوذ رطوبت و گرد و غبار به درون کابل می‌شود. شکل ۱ نمونه‌ای از سرکابل را نشان می‌دهد. جهت تولید این محصول ابتدا با نصب قالب مورد نظر بر روی دستگاه تزریق و با استفاده از مواد پلی اتیلن فراهم شده از قبل فرآیند تزریق صورت گرفته و قطعه تزریق می‌گردد. در ادامه به منظور کراسلینک کردن، قطعات را با باریکه الکترونیهای  $10\text{MeV}$  در گستره دز جذبی  $120$  تا  $190$  کیلوگری پرتو دهی شد. سپس خواص جمع شدگی طولی<sup>۱</sup> نمونه‌ها و خواص مکانیکی آنها از قبیل استحکام کششی، درصد ازدیاد طول و سختی قبل و بعد از پرتو دهی، مورد بررسی قرار گرفت و دز بهینه پرتو دهی با در نظر گرفتن خواص مذکور تعیین گردید. جدول ۱ حداقل خواص لازم برای سرکابل را نشان می‌دهد.

1- Longitudinal shrinkage

جدول ۱: مشخصات فنی سرکابل

Property	Unit	Value
Tensile	Mpa	Min 10
Ultimate elongation	%	Min 300
Hardness		Min 45 shore D
Elongation after aging(at 136°C for 168 hrs)	%	Min 200
Longitudinal shrinkage	%	Max 5



شکل ۲: ترسیمی از مشخصات و ابعاد سرکابل



شکل ۱ نمونه هایی از سرکابل

## روش کار

در این تحقیق از پلی اتیلن سبک بعنوان ماده قابل تزریق برای تولید سرکابل استفاده شد. در ابتدا با نصب قالب تزریق سایز مورد نظر بر روی دستگاه تزریق و طی فرآیند تزریق به مقدار کافی سرکابل تزریق و یا عبارتی تهیه شد و در ادامه کراسلینک کردن نمونه‌ها با استفاده از باریکه الکترونیهای ۱۰ MeV حاصل از دستگاه شتابدهنده الکترون مدل Rhodotron TT200 انجام شد میزان استحکام کششی و درصد افزایش طول تا پارگی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کشش Instron 4411 در دمای محیط اندازه‌گیری شد. در ادامه سختی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سختی سنج، مطابق با Shore D تعیین گردید. و در ادامه جمع شونده‌گی با اندازه‌گیری طول نمونه تزریقی پس از پرتو دهی و قبل از گرمایش و تفاضل آن با طول نمونه تزریقی پس از پرتو دهی و گرمایش تقسیم بر طول نمونه تزریقی پس از پرتو دهی و قبل از گرمایش ضربدر ۱۰۰ انجام شد.

$$\% \text{Longitudinal Shrinkage} = (L_0 - L) / L_0 * 100$$

$L_0 =$  طول اولیه نمونه پس از پرتو و قبل از گرمایش.....

$L =$  طول ثانویه نمونه پس از پرتو و گرمایش.....

میزان شبکه‌ای شدن با آزمون ژل اندازه‌گیری شد. همچنین خواص مکانیکی نمونه‌ها پس از آزمون فرسودگی حرارتی<sup>۲</sup> در شرایط دمایی ۱۳۶°C به مدت ۱۶۸ h اندازه‌گیری گردید. در ابتدا سرکابلها را به تعداد کافی بر روی پنج پالت مخصوص پرتو دهی قرار داده و تحت تابش اشعه الکترون در محدوده دز دریافتی ۱۰۰ تا ۲۲۰ کیلو گری توسط دستگاه شتابدهنده الکترون قرار گرفت .

## 2- Thermal aging

در ادامه خواص مورد اشاره در جدول شماره ۱ مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۲ دز دریافتی پنج نمونه اولیه و خواص آنها را پس از پرتودهی نشان می‌دهد

جدول ۲: خاصیت جمع شدگی طولی و خواص مکانیکی سرکابل در دزهای مختلف

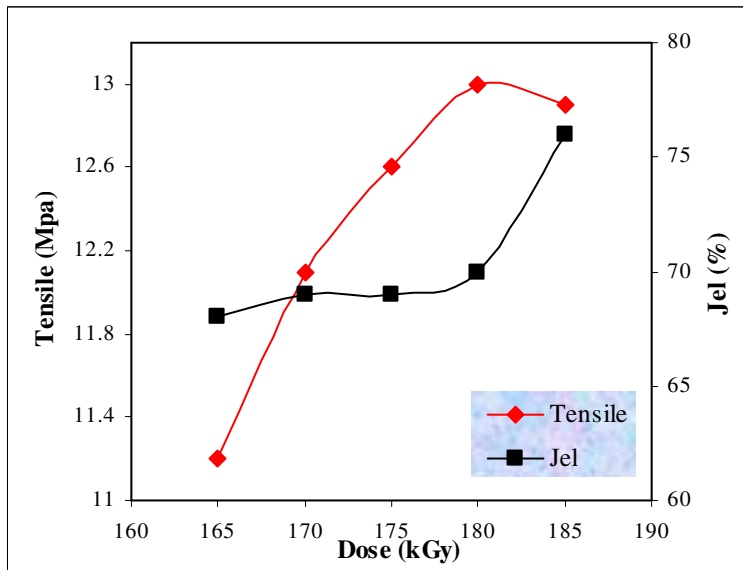
After aging Ultimate elongation (%)	Jel (%)	Ultimate elongation (%)	Tensile (Mpa)	Longitudinal shrinkage (%)	Dos(kGy)
۴۶۶	۵۸	۴۸۰	۱۱/۲	۱۳/۱	۱۰۰
۴۳۱	۶۱	۴۵۲	۱۲/۱	۷/۸	۱۳۰
۴۶۸	۶۶	۴۶۱	۱۲/۶	۶/۵	۱۶۰
۳۵۴	۷۱	۳۹۴	۱۳	۴/۲	۱۹۰
۳۲۱	۷۸	۳۱۴	۱۲/۹	۴	۲۲۰

جمع شدگی طولی قطعات تزریقی در اثر باقی ماندن تنش در حین فرآیند سرد شدن و شکل‌گیری کریستالهای مذاب می‌باشد که ناشی از عوامل ذیل است.

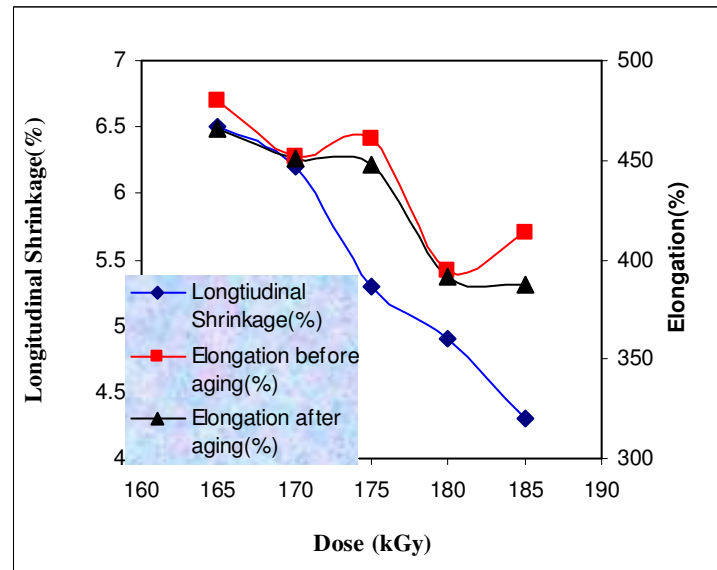
- نوع ماده، هرچه ماده از نظر خواص رئولوژیکی مناسب با فرآیند تزریق باشد یا عبارتی دارای ویسکوزیته پایین تری باشد، محصول جمع‌شدگی طولی کمتری دارد.
  - نوع قالب، چنانچه طراحی قالب از نظر طول و عمق راه‌گاه متناسب با جرم و اندازه قطعه نباشد با جمع‌شدگی طولی بیشتری روبرو هستیم.
  - شکل قطعه، هرچه نسبت طول به قطر قطعه بیشتر باشد با جمع‌شدگی طولی بیشتری روبرو هستیم.
  - فرآیند تزریق، در فرآیند تزریق با افزایش پارامترهای دمای زونهای حرارتی ماشین تزریق، زمان خنک شدن محصول و کاهش فشار و سرعت تزریق با جمع‌شدگی طولی کمتری روبرو هستیم.
  - میزان دز جذبی، با افزایش میزان شبکه‌ای شدن محصول از جمع‌شدگی طولی کمتری برخورداریم.
- در این تحقیق سعی شده با ثابت قرار دادن موارد فوق از قبیل نوع ماده، نوع قالب، شکل قطعه و فرآیند تزریق اثر پرتو الکترون در دزهای متفاوت بر روی جمع‌شدگی طولی بررسی شود. همانطور که از نتایج جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود درصد جمع‌شدگی طولی در دزهای پایین از حد استاندارد ۵ درصد، جدول شماره ۱ بیشتر است، همچنین میزان شبکه‌ای شدن تنها برای دز جذبی ۱۰۰ کیلوگری از ۶۰٪ کمتر است. اما خواص مکانیکی تحت شرایط قبل و پس از پرتودهی در حد قابل قبول می‌باشد.
- در ادامه برای رسیدن به دز بهینه با جمع‌شدگی طولی کمتر از ۵ درصد برای محصول نمونه‌ها را تحت شرایط جدید در معرض تابش قرار گرفتند. که نتایج آنها در جدول شماره ۳ آمده است.

جدول ۳: خاصیت جمع شدگی طولی و خواص مکانیکی در دزهای نهایی

After aging Ultimate elongation (%)	Jel (%)	Ultimate elongation (%)	Tensile (Mpa)	Longitudinal shrinkage (%)	Dos(kGy)
۴۶۶	۶۸	۴۶۲	۱۲/۷	۶/۵	۱۶۵
۴۵۱	۶۹	۴۵۳	۱۲/۶	۶/۲	۱۷۰
۴۴۸	۶۹	۴۵۷	۱۲/۸	۵/۳	۱۷۵
۳۹۱	۷۰	۴۴۴	۱۳	۴/۹	۱۸۰
۳۸۷	۷۶	۴۱۴	۱۲/۹	۴/۳	۱۸۵



شکل ۳: میزان شبکه‌ای شدن و استحکام کششی در دزهای مختلف



شکل ۲: میزان جمع شدگی طولی و درصد افزایش طول (قبل و پس از فرسودگی) در دزهای مختلف

## نتایج و بحث

از آنجایی که محصول در دمای بالای نقطه ذوب پلیمر مورد استفاده قرار می‌گیرد و در این دما کریستالها ذوب شده و چنانچه تنشی در محصول از قبل باقی مانده باشد آزاد شده و سبب تغییر شکل محصول می‌گردد و در نتیجه با کاهش طول روبرو شده و طول محصول از طول مورد نظر کمتر و کارایی خود را از دست می‌دهد لذا افزایش دز جذبی سبب افزایش میزان شبکه‌ای شدن پلیمر شده و این پیوندهای عرضی مانعی هستند بر سر راه تغییر شکل طولی محصول [۱۰، ۲]. شکل ۲ میزان جمع‌شدگی طولی و درصد افزایش طول نمونه‌ها قبل و پس از آزمون فرسودگی و شکل ۳ میزان شبکه‌ای شدن و استحکام کششی نمونه‌ها را در دزهای مختلف نشان می‌دهد. طبق این نمودارها با افزایش دز جذبی استحکام کششی و درصد ژل افزایش یافته است. و درصد جمع‌شدگی طولی به همراه افزایش طول تا پارگی کاهش یافته است. مقایسه نتایج با داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد که استحکام کششی، درصد افزایش طول تا پارگی و درصد ژل نمونه‌ها در حد قابل قبولی قرار دارد. اما نمونه در دزهای جذبی ۱۸۰ و ۱۸۵ کیلو گری از درصد جمع‌شدگی طولی قابل قبولی برخوردار است. بنابراین دز ۱۸۰ kGy بعنوان دز جذبی بهینه و مناسب انتخاب گردید.

## نتیجه‌گیری نهایی

با افزایش دز جذبی میزان استحکام کششی و درصد شبکه‌ای شدن افزایش می‌یابد این در حالیست که با تشکیل اتصالات عرضی درصد ازدیاد طول و جمع‌شدگی طولی کاهش یافته است. بنابراین با انتخاب مواد، افزودنیها و دز جذبی مناسب امکان کسب حداقل خواص لازم مطابق جدول ۱ جهت تولید سرکابل‌های حرارتی فراهم می‌شود. چنانچه در اثر عواملی تنش باقی مانده‌ای در محصول وجود داشته باشد که سبب جمع‌شدگی محصول شود می‌توان با افزایش دز جذبی از آزاد شدن تنشهای باقی مانده جلوگیری بعمل آورد و در نهایت جمع‌شدگی را کنترل کرد.

## مراجع

1. H.A. Khonakdar, J. Morshedian, U. Wagenknecht, "An Investigation of Chemical Crosslinking Effect on Properties of High-Density Polyethylene", Polymer, Vol. 44, PP. 4301-4309, 2003.
2. S. Dadbin, M. Frounchi, M. Haji Saeid, F. Gangi, "Molecular Structure and Physical Properties of E-Beam Crosslinked Low-Density Polyethylene for Wire and Cable Insulation Applications", Journal of Applied Polymer Science, Vol.86, No. 8, pp. 1959-1969, 2002.
3. Gheysari, J., Behjat, A., "Radiation Crosslinking of LDPE and HDPE with 5 and 10 MeV Electron Beams", European Polymer Journal, 37, PP. 2011-2016, 2001.
4. A.A. Basfar, "Flammability of radiation cross-linked low density polyethylene as an insulating material for wire and cable", Radiation Physics and Chemistry, Vol. 63, PP. 505-508, 2002.
5. S.R. Chowdhury, J.K. Mishra, C.K. Das, "Study of Heat Shrinkability and Flame Retardancy of Poly(ethylene vinyl acetate) /Epichlorohydrin Blends", Macromol. ater. Eng. 286, 243-247, 2001.
6. L. Yu, W. Wang, W. Xiao, "The effect of decabromodiphenyl oxide and antimony trioxide on flame retardation of ethylene-propylene-diene copolymer/polypropylene blends", Polymer Degradation and Stability, Vol. 86, PP. 69-73, 2004.
7. F. Carpentier, S. Bourbigot, M. L. Bras, R. Delobel, M. Foulon, "Charring of fire retarded ethylene vinyl acetate copolymer-magnesium hydroxide/zinc borate formulations", Polymer Degradation and Stability, Vol. 69, PP. 83-92, 2000.
8. ASTM D1238, "Standard Test Method for Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer", 1995.

۹. مواد پلاستیک جی. ای. بریدسون ترجمه حسین امیدیان، مهدی وفائیان

۱۰. پرتو فرآوری پلیمرها. اسینگ و ج. سیلورمن ترجمه حسن نورکجوری و معصومه شربتداران