



بررسی اثرهای تابش پرتو گاما در دزهای مختلف بر خواص مکانیکی و ساختاری تفلون

هادی صوفی^۱، میرمحمدرضا سید حبشی^{۲*}، مجتبی محمدیان کهل^۳، سعید گلشاه^۴

۱. گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، صندوق پستی: ۱۴۶۹۶۶۹۱۹۱، تهران- ایران
 ۲. پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۵۱۱۱۳-۱۴۳۹۹، تهران- ایران
 ۳. گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده علوم و فن‌آوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، اصفهان- ایران
 ۴. پژوهشکده مواد و انرژی، پژوهشگاه فضایی ایران، وزارت ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات، صندوق پستی: ۱۷۴-۸۱۹۵۵، اصفهان - ایران
- *Email: m.seyedhabashi@gmail.com

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۲/۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۷/۷

چکیده

با توجه به اهمیت تفلون در صنایع نظامی، به‌ویژه صنعت موشکی و هوافضا، بررسی تأثیر تابش‌های مختلف هسته‌ای بر روی خواص فیزیکی این پلیمر می‌تواند تا حد زیادی به فرایند ساخت و مهندسی قطعاتی که از این پلیمر در ساخت آن‌ها استفاده شده، کمک کند. در این پژوهش نوارهای تفلون با دزهای جذب‌ی مختلف تابش گاما از ۱ تا ۱۲ kGy پرتودهی شدند. در ادامه برای ارزیابی خواص مکانیکی، آزمون کشش و برای بررسی تغییرات در خواص ساختاری، طیف FTIR از نمونه‌های تفلون گرفته شد. در بررسی‌های ساختاری، تغییراتی هم‌چون تشکیل پیوند دوگانه در ساختار نوار تفلون پرتودهی شده، مشاهده شد. هم‌چنین در اندازه‌گیری پارامترهای مکانیکی، کاهش در مقدار تنش و کرنش در نقطه استحکام نهایی و نقطه پارگی به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مشخص شد که در ساختار نوار تفلون پرتودهی شده، پیوندهای دوگانه تشکیل می‌شود و این به معنای شکست زنجیره اصلی است. در خواص مکانیکی نیز بهبودی دیده نمی‌شود.

کلیدواژه‌ها: تفلون، ساختار شیمیایی، خواص مکانیکی، پرتودهی گاما

Investigation of the effects of gamma irradiation with different doses on the mechanical and structural properties of Teflon

H. Soofi¹, M.M.R. Seyedhabashi^{2*}, M. Mohammadian Kohal³, S. Golshah⁴

1. Department of Physics, Islamic Azad University Central Tehran Branch, P.O.Box: 14696691941, Tehran - Iran
2. Plasma and Nuclear Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O. Box: 14399-51113, Tehran -Iran
3. Nuclear Engineering Department, Faculty of Advanced Science and Technology, University of Isfahan, P.O.Box: 8486-11365, Isfahan -Iran
4. Materials and Energy Research Institute, Iran Space Research Institute, Ministry of Communications and Information Technology, P.O.Box: 174-81955, Isfahan -Iran

Research Article

Received 20.4.2020, Accepted 28.9.2020

Abstract

Due to the importance of Teflon in the military industries, especially the missile and aerospace industries, the study of the effect of different nuclear radiations on the physical properties of this polymer can greatly assist the fabrication and engineering process of the components used in its manufacture. In this study, Teflon tape was cut into six bands, then five bands were irradiated with different absorbed doses of gamma radiation up to 12 kGy. Moreover, the tensile test were obtained from Teflon samples to evaluate the mechanical properties, and the FTIR spectra to investigate the changes in the structural properties. Through the structural studies, variations such as the formation of double bond in the structure of irradiated Teflon strips were observed. Also, the reduction of the stress and the strain values at the final strength and rupture point were observed by studying the mechanical parameters of the Teflon strips. It was concluded that in the irradiated Teflon strip structure, double bonds are formed which are a sign of major chain failure. Furthermore, no improvement in the mechanical properties was observed.

Keywords: Teflon, Chemical structure, Mechanical properties, Gamma irradiation



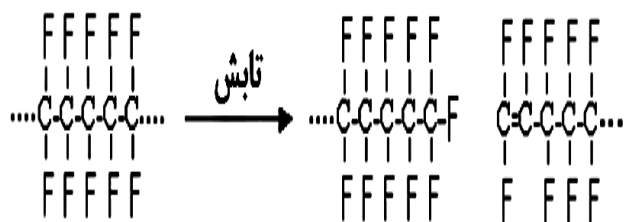
۱. مقدمه

اثر پرتو بر مواد پلیمری، باعث آغاز دو روند رقابتی شامل اتصال عرضی و تجزیه پیوندها می‌شود. پرتو دمی عوامل اتصال عرضی^۱ کننده (شبکه‌ای کننده) که معمولاً اتم‌های هیدروژن هستند از زنجیره‌های مجاور جدا شده و بین دو مکان رادیکال آزاد متمرکز شده روی کربن، پیوند حاصل می‌شود که این پیوند می‌تواند داخل زنجیری یا بین زنجیری باشد. هم‌چنین شکستن پیوندهای کوالانسی به وسیله تابش‌های هسته‌ای در دزهای بالا، برش یا شکست زنجیره نامیده می‌شود. این تجزیه پیوند کربن-کربن می‌تواند جرم مولکولی پلیمر را کاهش دهد. در شکل ۲ شکستن زنجیره‌های خطی طولانی پلی‌تترافلورو اتیلن به بخش‌های کوتاه‌تر در اثر پرتو دمی نشان داده شده است. نتیجه این شکستن، از دست رفتن مقاومت پلیمر است.

اتصال عرضی (شکل ۲) باعث افزایش جرم مولکولی شده و در نتیجه محصولات غیر حلال و ذوب نشدنی که به صورت تک مولکول‌های بزرگ هستند، به دست می‌آید؛ این پدیده اغلب در دزهای پایین اتفاق می‌افتد [۲]. از طرفی شکست زنجیره‌ای جرم مولکولی را کاهش می‌دهد. هر دو فرایند به‌طور هم‌زمان رخ داده و نتیجه اصلی دو اندرکنش متضاد مشاهده می‌شود. بر این اساس اگر تعداد شکست‌های زنجیره اصلی بر واحد زمان بیش‌تر از تعداد تشکیل اتصال عرضی باشد، پلیمرها متحمل تجزیه می‌شوند و در غیر این صورت اتصال عرضی رخ می‌دهد که موجب افزایش جرم مولکولی می‌گردد. پلیمرهایی که حداقل یک اتم هیدروژن روی هر اتم کربن در زنجیره اصلی داشته باشند، به‌طور معمول اتصال عرضی انجام می‌دهند و آن‌هایی که حداقل یک اتم کربن چهارتایی در واحد مونومر داشته باشند، تجزیه می‌شوند.

مواد پلیمری در صنایع مختلف کاربردهای فراوانی دارند؛ پلیمر پلی‌تترافلورو اتیلن یا تفلون با کاربردهایی که در صنایع هوافضا و هسته‌ای دارد، همواره در معرض تابش‌های هسته‌ای است. شکل ۱ ساختار تکرار شونده تفلون را نشان می‌دهد. تفلون به‌عنوان واشر به دلیل مقاوم بودن در مقابل گاز بسیار خورنده هگزا فلوراید اورانیوم در اولین بمب اتمی استفاده شد. دو لایه پلیمر تفلون غیرقابل اشتعال برای محافظت از بدن در لباس‌های فضانوردی طرح آپولو به‌کار رفته است که از این دو لایه، یک لایه تفلون ورقه شده نسوز برای حفاظت از خراش و لایه دیگر، تفلون سفید نسوز استفاده شده است [۱]. ماده تفلون نوعی پوشش نجسب و عایق الکتریسیته است که علاوه بر مقاومت حرارتی بالا، مقاومت شیمیایی خوبی نیز در مقابل اسیدها و بازها دارد.

تقریباً همه پلیمرها سبک وزن بوده و دارای مقدار زیادی هیدروژن در ساختارشان هستند. همواره نیاز به بررسی اثرهای تخریبی تابش بر این مواد مورد توجه بوده است. در این پژوهش از بین تابش‌های یونیزان، تابش گاما به دلیل وجود مقدار قابل توجه در تشعشعات فضایی انتخاب شد. تابش گاما به دلیل قرار گرفتن در قسمت پرانرژی طیف الکترومغناطیس، برد بیش‌تری در مواد داشته و در فضا گسترش پیدا می‌کند و از این‌رو از اهمیت خاصی برخوردار است. فضا به دلیل برهم‌کنش‌هایی که در آن صورت می‌پذیرد، شامل فرایندهایی هم‌چون تابش حاصل از واپاشی هسته‌های رادیواکتیو در انفجارهای ابرنواختری و تشعشعات کیهانی بوده که باعث تغییر جهت ذره باردار به هنگام ورود در میدان‌های مغناطیسی بسیار قوی و برخورد ذرات ماده و ضد ماده، می‌شود. پرتو گاما با طول‌موج کوتاه و انرژی بالا، دارای نفوذ بسیار زیاد در مواد است. در فضا منابع اصلی تولید پرتو گاما، انفجارهای ابرنواختری، برخورد میان کهکشان‌ها، کوازارها، تپندها و واکنش‌های نزدیک به سیاه‌چاله‌ها هستند [۱].



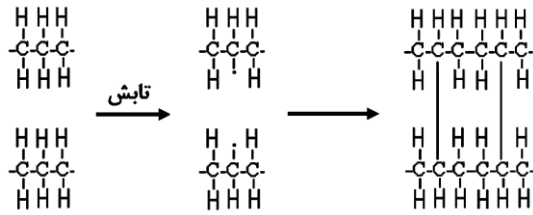
شکل ۲. اثر پرتو بر روی پلیمر پلی‌تترافلورو اتیلن، شکست زنجیره اصلی و ایجاد پیوند دوگانه.



شکل ۱. ساختار تکرار شونده پلی‌تترافلورو اتیلن (تفلون).

1. Cross Linking





شکل ۳. اثر پرتو بر روی پلیمر پلی اتیلن؛ ایجاد پیوند عرضی (شبکه‌ای شدن).

بسته به نوع پلیمر، نشانه‌های تخریب می‌تواند شامل ترک خوردن، خرد شدن، بی‌رنگ شدن، سخت شدن، شکننده شدن و نرم شدن باشد. تجزیه پیوند کربن-کربن می‌تواند رادیکال‌های آزاد نیز تشکیل دهد که ایجاد این رادیکال‌های آزاد می‌تواند به پیوند عرضی، شاخه‌ای شدن، پلیمریزاسیون یا تشکیل محصولات جانبی گازی منجر گردد. پایداری نسبی سیستم‌های پلیمری مختلف برای مدت‌های زیادی مورد بحث و بررسی بوده است تا پاسخی برای ناپایداری ذاتی پلیمرها پیدا شود. از آنجا که تخریب مولکولی و اکسایش پلیمرها باعث گسسته شدن زنجیره آن‌ها می‌شوند، یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده پایداری پلیمرها، پایداری پیوندهای اصلی آن‌ها می‌باشد؛ بنابراین هر چه پیوندهای شیمیایی یک پلیمر محکم‌تر باشند، آن پلیمر پایدارتر خواهد بود و این مسئله که سختی زنجیر مولکولی عامل مهمی در کنترل پایداری گرمایی پلیمرها می‌باشد عامل بسیار مهمی است. وجود حلقه آروماتیکی در زنجیر پلیمر تا حد زیادی ایجاد سختی کرده و از انعطاف‌پذیری زنجیر می‌کاهد [۶].

در پژوهش‌هایی که تاکنون انجام شده، تغییرات خواص مکانیکی نمونه‌ها در اثر تابش پرتوهای گاما در دزهای مختلف مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین در این پژوهش، اثرات تابش گاما بر خواص مکانیکی و به‌طور هم‌زمان بر روی خواص ساختاری تفلون مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، نمونه‌ها در دزهای مختلف پرتو دهی شد و از آن‌ها آزمون کشش گرفته شد. همچنین برای دزهای جذبی مختلف، پارامترهای مختلف مکانیکی از جمله تنش^۲ و کرنش^۳ در نقاط تنش بیشینه و پارگی محاسبه گردید. همچنین اثر دز جذبی ناشی از تابش گاما بر روی هر یک از این پارامترها بررسی شد.

اندرکنش فوتون با ماده به سه سازوکار کلی اثر فوتوالکتریک، پراکندگی کامپتون و تولید زوج الکترون و پوزیترون تقسیم می‌شود. پدیده تولید زوج مستلزم این است که انرژی تابش گامای فرودی بیش‌تر از 1.02 MeV بوده و پرتو گاما در نزدیکی اتم سنگین تبدیل به زوج الکترون و پوزیترون شود. با توجه به این‌که اتم‌های سازنده تفلون، هیدروژن و کربن هستند، احتمال رخ دادن پدیده تولید زوج الکترون و پوزیترون بسیار پایین است. بنابراین پدیده غالب در اندرکنش پرتو گاما با تفلون، پدیده فوتوالکتریک و پراکندگی کامپتون است. تاکنون پژوهش‌های مختلفی در زمینه بررسی اثرات تابش بر روی خواص تفلون انجام شده که به نتایج برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

۲. پیشینه

روزنبرگ و همکارانش در سال ۱۹۹۲ اثر دز پایین (۱ تا 20 Mrad) تابش گاما را بر روی پنج نوع فلئوروپلیمر، که در مقدار فلئور و ساختار زنجیر متفاوت هستند، مطالعه کرده‌اند. یکی از این مواد، کوپلیمر تفلون (اتیلن-کو-تترا فلئور و اتیلن) ETFE انتخاب شده است. در این گزارش بیان شده است که درجه کریستالی و استحکام کشش بسته به دز تابشی برای ETFE رقابت بین اتصال عرضی و شکست زنجیر را بیان می‌کند [۲]. اوشیما و همکارانش در سال ۲۰۰۱ ساختار شیمیایی و خواص فیزیکی تفلونی تحت تابش دارای اتصال عرضی شده را بررسی کرده‌اند. ساختار شیمیایی تفلون پرتو دهی شده با الکترون (EB) به‌وسیله روش‌های مختلف طیف‌سنجی FTIR، ESCA و $^{13}\text{C-NMR}$ مطالعه شده و مشخص شده است که اتصال عرضی نوع-Y به‌وسیله تابش تشکیل شده است. علاوه بر این، انواع مختلف ساختار پیوند دوگانه به‌علاوه مکان‌های اتصال عرضی ایجاد شده است. تفلونی که اتصال عرضی شده به سبب کاهش مقدار ترکیب کریستالی، شفاف شده و ویژگی‌های عایق الکتریکی و خواص مقاومت گرمایی آن حفظ شده است [۴]. مایر و همکارانش در سال ۲۰۰۴ رسانایی ایجاد شده در پلی‌اتیلن و تفلون توسط تابش پرتو ایکس و گاما را بررسی کرده‌اند. در بازه پارامترهای بررسی شده، مشاهده شد که فوتوجریان ایجاد شده، متناسب با آهنگ تابش و میدان الکتریکی اعمالی است. جریان به‌سبب واکنش فوتون‌های تک‌هدایتی^۱ ایجاد شده است که افزایش این جریان به‌دلیل میدان الکتریکی است. در طول پرتو دهی، رسانایی نمونه با ضریب 10^3 افزایش می‌یابد و در مجموع می‌توان گفت رسانایی تفلون بزرگ‌تر از پلی‌اتیلن است [۵] (شکل ۳).

2. Stress
3. Strain

1. Mono Directional



۳. بخش تجربی

در این پژوهش از نوار تفلون تجاری^۱ با ضخامت ۲۶۰ میکرون و با خواص آرایه شده در جدول ۱ استفاده شد. تعداد ۶ نمونه تفلون با ابعاد $2 \times 10 \text{ cm}^2$ برش داده شد. سپس نمونه‌ها با دزهای جذبی مختلف ۱، ۲، ۴، ۸ و ۱۲ kGy با چشمه گاما سل ۲۲۰ انرژی اتمی تهران (چشمه 5776 Ci کبالت ۶۰ با آهنگ پرتودهی $1/35 \text{ Gy.s}^{-1}$) پرتودهی شدند. یک نمونه از نوارها به عنوان نمونه خام کنار گذاشته شد.

آزمون کشش با استفاده از استاندارد ASTM D-۸۸۲ [۷] در دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. استاندارد مذکور مخصوص آزمون خواص کششی ورقه‌های نازک پلاستیکی می‌باشد. دستگاه مورد استفاده در این پژوهش مدل ۱۴۴۶-۶۰ از شرکت زویخ^۲ ساخت کشور آلمان می‌باشد و با نرم‌افزار تست اکسپرت^۳ کار می‌کند (شکل ۴).

با داشتن ابعاد نمونه و ضخامت آن، می‌توان با استفاده از نیروی کششی و تغییر طول حاصل از آن، دو پارمتر تنش و کرنش را محاسبه کرد. تنش به مقدار نیروی وارد بر واحد سطح گفته می‌شود و دارای انواع مختلفی است که در این جا نوع کششی آن مد نظر است. کرنش به تغییر طول جسم نسبت به طول اولیه آن در اثر اعمال نیرو گفته می‌شود. رابطه محاسبه تنش از نیروی کشش و سطح مقطع نمونه به صورت زیر است:

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ (Pa)} \quad (1)$$

برای محاسبه کرنش از تغییر طول و طول اولیه نمونه، داریم:

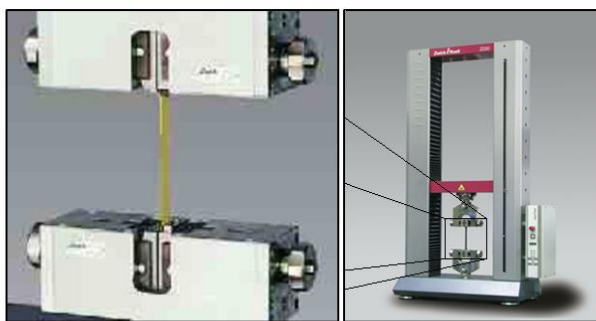
$$\varepsilon(\%) = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad (2)$$

آزمون‌های کشش بر روی نوارهای تفلون انجام شد. شکل ۵ مربوط به نمونه‌های نوار تفلون قبل و بعد از انجام آزمون کشش می‌باشد.

برای هر ۶ نمونه نوار تفلون آزمون کشش انجام شد و با استفاده از نتایج حاصل، نمودارهای تنش-کرنش به دست آمد. این نتایج در شکل‌های ۶ تا ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. برخی از خواص نوار تفلون تجاری

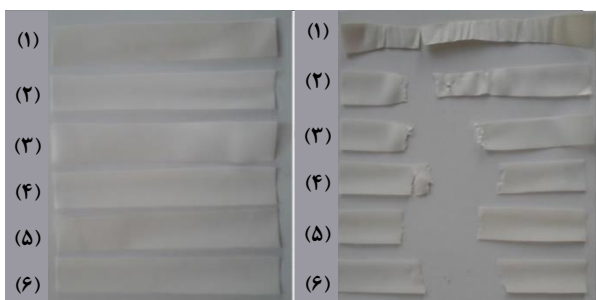
خواص	واحد	مقدار
وزن مخصوص	--	۲٫۳ - ۲٫۱
(کمینه مقدار) استحکام کششی	MPa	≥ 15.0
تغییر شکل در پارگی	%	≥ 15.0
مقاومت در فشار بالا	KV/MM	۱۰



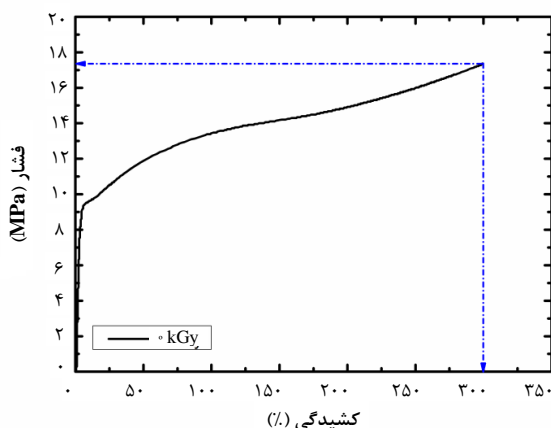
(ب)

(الف)

شکل ۴. الف) دستگاه آزمون کشش ساخت شرکت زویخ، ب) فک‌های تخت بدون عاج، مناسب برای آزمون کشش فیلم‌ها.



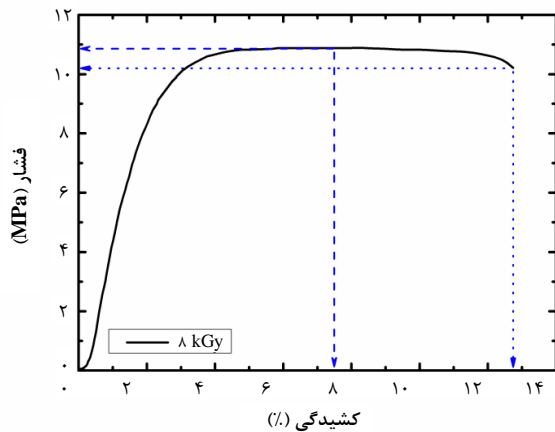
شکل ۵. تصاویر نوارهای تفلون قبل از انجام آزمون کشش و بعد از انجام آزمون کشش (به ترتیب شماره‌ها: (۱) نمونه خام، (۲) نمونه با دز جذبی ۱ kGy، (۳) نمونه با دز جذبی ۲ kGy، (۴) نمونه با دز جذبی ۴ kGy، (۵) نمونه با دز جذبی ۸ kGy، (۶) نمونه با دز جذبی ۱۲ kGy تحت تابش پرتوگاما).



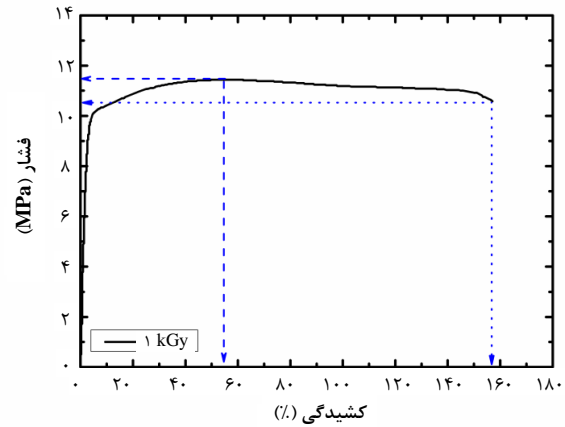
شکل ۶. نمودار تنش-کرنش نمونه نوار تفلون تابش نیدیده (نمونه خام).

1. Etched PTFE Sheet
2. Zwick
3. Test Xpert II

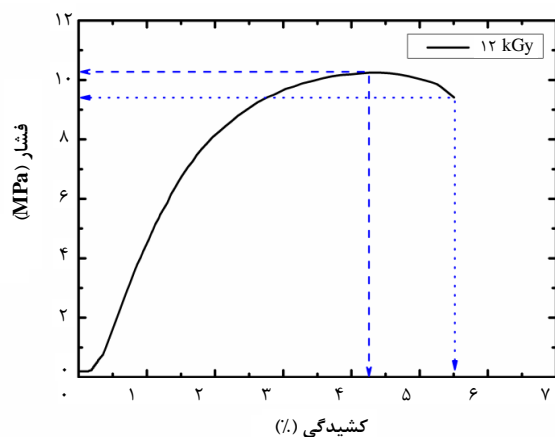




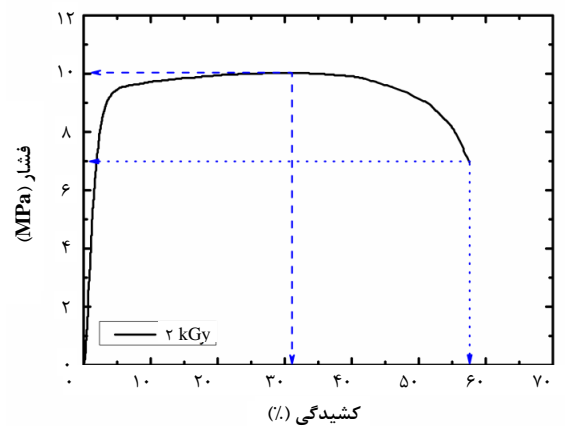
شکل ۱۰. نمودار تنش- کرنش نمونه نوار تفلون با دز جذبی ۸ kGy.



شکل ۷. نمودار تنش- کرنش نمونه نوار تفلون با دز جذبی ۱ kGy.

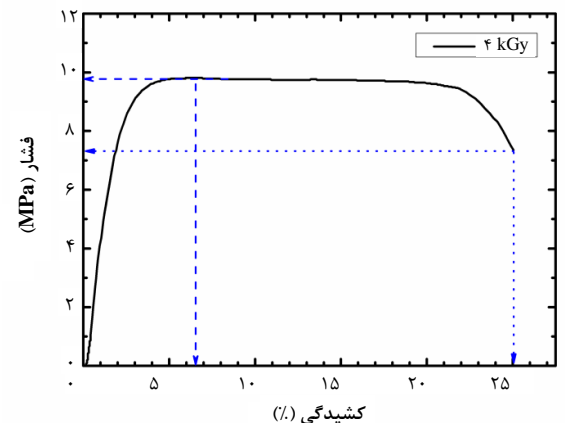


شکل ۱۱. نمودار تنش- کرنش نمونه نوار تفلون با دز جذبی ۱۲ kGy.



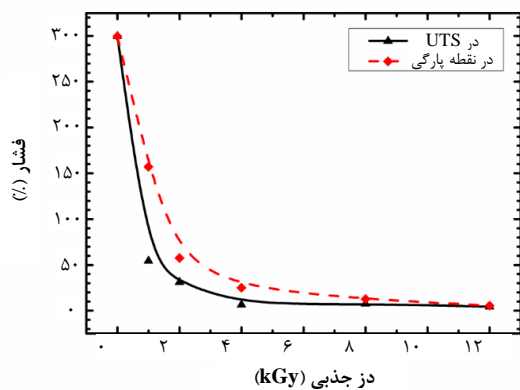
شکل ۸. نمودار تنش- کرنش نمونه نوار تفلون با دز جذبی ۲ kGy.

یکی از ویژگی‌های مواد که به هنگام آزمون کشش اندازه‌گیری می‌شود، استحکام کشش نهایی^۱ (UTS) یا استحکام نهایی است. این مقدار، حداکثر نیرویی است که نمونه می‌تواند طی آزمون کشش تحمل کند. همچنین استحکام شکست^۲ (یا پارگی)، مقدار تنشی است که باعث پارگی می‌شود. این که استحکام نهایی معادل استحکام در نقطه شکست باشد و یا نباشد، به این موضوع بستگی دارد که ماده تحت آزمون چه رفتاری را از خود نشان می‌دهد؛ بدان معنا که آیا رفتار آن ترد و شکننده، منعطف و یا ترکیبی از این دو است. با مشاهده نمودارهای تنش-کرنش تمام نمونه‌ها، مشخص شد دو نقطه استحکام نهایی و استحکام شکست برای نمونه خام یکسان بوده ولی برای نمونه‌های پرتودیده دو نقطه متفاوت هستند. در نقطه استحکام نهایی مقدار تنش و کشش برای هر نمونه محاسبه شده و در جدول ۲ گزارش شده است.



شکل ۹. نمودار تنش- کرنش نمونه نوار تفلون با دز جذبی ۴ kGy.

1. Ultimate Tensile Strength (UTS) or Ultimate Strength
2. Fracture or Breaking Strength



شکل ۱۳. تأثیر میزان دز دریافتی بر کرنش در نقطه استحکام نهایی و نقطه پارگی.

با توجه به شکل ۱۳ مشاهده می‌شود که مقدار کرنش در دو نقطه (استحکام نهایی و پارگی) با افزایش دز جذبی به سرعت به مقادیر زیر ۵۰٪ کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ مشاهده می‌شود، کاهش مقاومت ماده با افزایش دز دریافتی نشان‌دهنده اثر تخریب زنجیرها در اثر تابش گاما است [۸]. لازم به ذکر است در نقطه شکست عوامل جانبی هم‌چون نقص در برش فیلم و یا نقص‌های ایجاد شده در حین تهیه هم‌تأثیرگذار است؛ اما در نقطه استحکام نهایی، مدول فیلم پلیمری تأثیرگذارتر است که از خواص ذاتی پلیمر ناشی می‌شود. اختلاف بین استحکام نهایی و شکست برای نمونه‌ها در نمونه خام صفر است ولی با افزایش دز، این اختلاف ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد به طوری که در نمونه‌ای که دز ۱۲ kGy دریافت کرده است، این دو مقدار بر هم منطبق می‌شوند. علت این رفتار این است که نازک‌شدگی عرضی در نمونه خام رخ نمی‌دهد ولی افزایش دز جذبی باعث نازک‌شدگی عرضی در نوار هنگام انجام آزمون کشش می‌شود. افزایش بیش‌تر دز دریافتی باعث کاهش نازک‌شدگی عرضی می‌شود به طوری که در نمونه با دز جذبی ۱۲ kGy، رخ ندادن نازک‌شدگی عرضی دلیلی بر تأیید اثر تابش بر ترد کردن ماده می‌باشد. ترد شدن نمونه ششم کاملاً قابل لمس بود.

طیف فروسرخ (FT-IR) برای نوار خام تفلون در گستره طول موج $9.67 \times 10^5 - 1.79 \times 10^5$ آنگستروم گرفته شد. قله‌های موجود در طیف فروسرخ (شکل ۱۴) شناسایی شده و در جدول ۴ گزارش شده است. تمام قله‌ها با قله‌های موجود در پژوهش‌های قبلی سازگاری دارند [۹]. از جمله قله‌های مشخص ظاهر شده شامل قله‌های 5.24×10^5 و 5.50×10^5 آنگستروم می‌باشند که مربوط به ارتعاشات کششی متقارن در CF_2 هستند.

طیف فروسرخ برای نمونه‌های نوار تفلون خام و پنج نمونه دیگر تابش دیده، در شکل ۱۴ نمایش داده شده است.

در این جدول برای نمونه‌های S1 تا S6 مقادیر دز جذبی برحسب کیلوگری، بیشینه نیرو برحسب نیوتون، مقدار کشش در بیشینه نیرو برحسب میلی‌متر، فشار در UTS برحسب مگاپاسکال و کشش برحسب درصد بیان شده است.

با استفاده از داده‌های جدول‌های ۲ و ۳، نمودار تأثیر میزان دز جذبی بر مقدار تنش و کرنش در دو نقطه UTS و پارگی رسم شد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

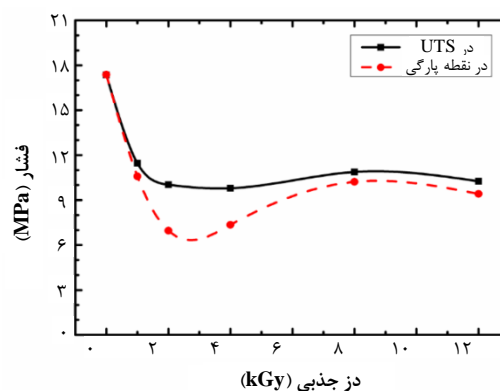
با توجه به شکل ۱۲، مشاهده می‌شود که با افزایش دز جذبی، مقدار تنش در هر دو نقطه (استحکام نهایی و پارگی) به مقدار ۱۰ Mpa میل می‌کند. نقطه استحکام نهایی در دزهای اولیه اتفاق می‌افتد و این در حالی است که نقطه شکست در دزهای بالاتر به مقدار ۱۰ Mpa نزدیک می‌شود.

جدول ۲. نتایج حاصل از آزمون کشش در نقطه استحکام کشش نهایی

نمونه	دز جذبی (kGy)	نیروی بیشینه (N)	کشش در نیروی بیشینه (mm)	فشار در UTS (MPa)	تنش در UTS (%)
S1	۰	۹۰۲۷۷	۱۴۹٫۹۵	۱۷٫۳۶	۲۹۹٫۸۹
S2	۱	۵۹٫۵۵۸	۲۷٫۲۴	۱۱٫۴۵	۵۴٫۴۸
S3	۲	۵۲٫۱۶۴	۱۵٫۵۷	۱۰٫۰۳	۳۱٫۱۴
S4	۴	۵۰٫۹۱۸	۳٫۲۳	۹٫۷۹	۶٫۴۶
S5	۸	۵۶٫۵۶۶	۳٫۷۲	۱۰٫۸۸	۷٫۴۴
S6	۱۲	۵۳٫۲۸۴	۲٫۱	۱۰٫۲۵	۴٫۲۱

جدول ۳. نتایج حاصل از آزمون کشش در نقطه پارگی

نمونه	دز جذبی (kGy)	فشار در نقطه پارگی (MPa)	تنش در نقطه پارگی (%)
S1	۰	۱۷٫۳۶	۲۹۹٫۸۹
S2	۱	۱۰٫۵۸	۱۵۷٫۰۳
S3	۲	۶٫۹۶	۵۷٫۵۷
S4	۴	۷٫۳۵	۲۵٫۰۵
S5	۸	۱۰٫۲۱	۱۲٫۷۴
S6	۱۲	۹٫۴۱	۵۵۰

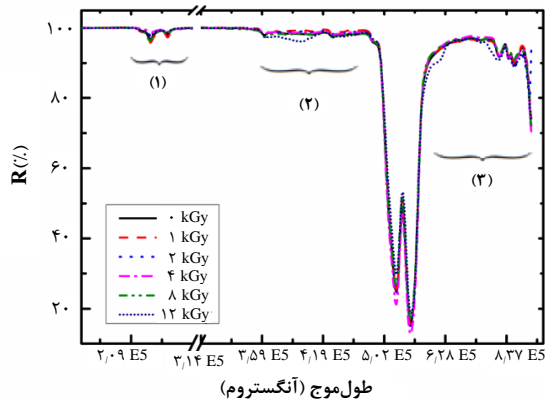


شکل ۱۴. تأثیر میزان دز جذبی بر تنش در استحکام نهایی و نقطه پارگی.

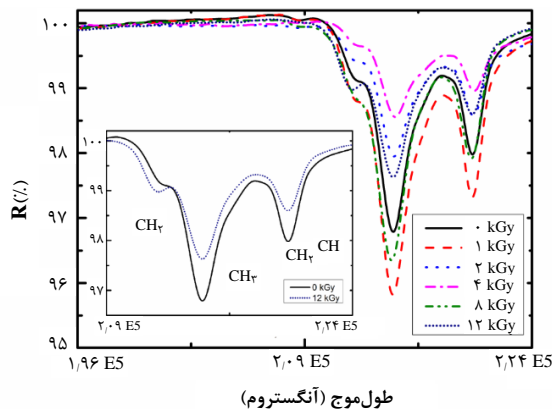


این تغییر این است که با جدا شدن هم‌زمان دو هیدروژن یا دو فلئور از مولکول‌های مجاور هم، امکان تشکیل پیوند دوگانه کربن = کربن در انتهای مولکول‌ها فراهم می‌شود.

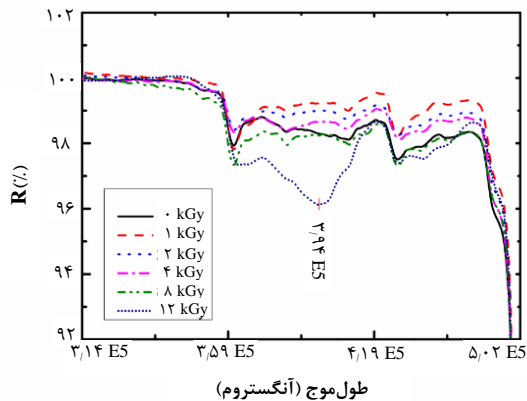
ناحیه سوم تغییرات در محدوده $۵,۷۱ \times 10^5 - ۹,۶۶ \times 10^5$ آنگستروم می‌باشد (شکل ۱۸). در این ناحیه قله $۶,۱۶ \times 10^5$ آنگستروم ایجاد شده است که طبق جدول ۵، آن را نیز می‌توان به تشکیل پیوند C-O و C-C نسبت داد.



شکل ۱۵. طیف فروسرخ نمونه‌های نوار تفلون تابش دیده و خام.



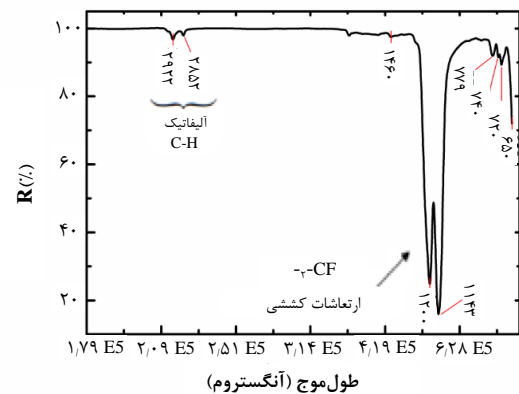
شکل ۱۶. طیف فروسرخ دو نمونه با دز جذبی ۰ و ۱۲ kGy در ناحیه (۱)، محدوده $۱,۹۶ \times 10^5 - ۲,۲۴ \times 10^5$ آنگستروم.



شکل ۱۷. طیف فروسرخ نمونه‌های نوار تفلون در ناحیه (۲)، محدوده $۳,۱۴ \times 10^5 - ۵,۰۲ \times 10^5$ آنگستروم.

جدول ۴. قله‌های شناسایی شده مرتبط با پیوندهای موجود در نوار تفلون [۱۰]

پیوند مرتبط با قله	قله موجود در طیف فروسرخ (آنگستروم)
کششی CH_2, CH_3	$2,15 \times 10^5$
	$2,20 \times 10^5$
تغییر شکل CH_2, CH_3	$4,30 \times 10^5$
کششی متقارن CF_2	$5,23 \times 10^5$
	$5,50 \times 10^5$
برشی CF_2	$8,07 \times 10^5$
	$8,49 \times 10^5$
	$8,72 \times 10^5$
تغییر شکل CF	$9,67 \times 10^5$



شکل ۱۴. طیف فروسرخ نمونه خام نوار تفلون.

همان‌طور که در شکل ۱۵ قابل مشاهده است، در سه ناحیه، که در ادامه بررسی خواهند شد، تغییرات مشاهده می‌شود. ناحیه اول تغییرات در محدوده $۲,۲۸ \times 10^5 - ۲,۰۳ \times 10^5$ آنگستروم می‌باشد (شکل ۱۶). این ناحیه همیشه مرتبط با پیوندهای C-H آلیفاتیک است و تغییرات فقط برای دو نمونه خام و پرتودیده با دز جذبی ۱۲ kGy قابل بررسی است. افزایش نسبت قله CH_2 (سمت چپ شکل ۱۶) به قله CH_3 (قله مرکزی)، نشان‌دهنده افزایش گروه CH_2 نسبت به گروه CH_3 در نمونه با دز جذبی ۱۲ kGy می‌باشد. این تغییر می‌تواند

به دلیل جدا شدن هیدروژن چسبیده به گروه CH_3 و تشکیل پیوند کربن-کربن در زنجیره اصلی باشد. کربن‌های زنجیره اصلی $-CH_2-$ دارای دو هیدروژن می‌باشند.

ناحیه دوم تغییرات در محدوده $۳,۱۴ \times 10^5 - ۵,۰۲ \times 10^5$ آنگستروم است (شکل ۱۷)، تغییر ایجاد شده در شکل مذکور شامل ایجاد قله $۳,۹۴ \times 10^5$ آنگستروم در نمونه با دز جذبی ۱۲ kGy می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، این قله می‌تواند مربوط به پیوندهای دوگانه کربن = کربن باشد و چنان‌که در مقدمه به صورت کامل توضیح داده شده، ایجاد پیوندهای دوگانه نشانه شکست در زنجیره اصلی است. علت

نوار تفلون با روش FT-IR، و ایجاد قله جدید در ناحیه $3,94 \times 10^5$ آنگستروم که مربوط به پیوند دوگانه کربن= کربن می باشد، مشاهده شد که ایجاد پیوند دوگانه کربن= کربن می تواند دلیلی بر شکست زنجیر اصلی باشد و تخریب نوار تفلون را تأیید می کند.

در پایان می توان نتیجه گرفت که در ساختار نوار تفلون تابش دیده، پیوندهای دوگانه تشکیل شده و این نشانه شکست زنجیره اصلی می باشد و همانند پژوهش های گذشته، در خواص مکانیکی (کاهش در مقاومت در برابر پارگی) بهبودی دیده نمی شود. در این پژوهش به طور خاص به پیوندهای تشکیل شده در ساختار تفلون پرداخته شد که در مطالعات گذشته، این بررسی ها برای دزهای دیگری به طور خاص انجام شده است.

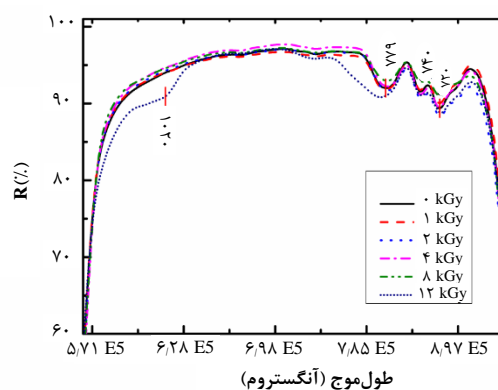
مراجع

1. Karl Tate, *Space Radiation Threat to Astronauts Explained (Infographic)*, (2013), <http://www.space.com/21353-space-radiation-mars-mission-threat.html>.
2. A. Smedberg, T. Hjertberg, B. Gustafsson, *Crosslinking reactions in an unsaturated low density polyethylene*. *Polymer*, **38**(16), 4127-4138 (1997).
3. Y. Rosenberg, et. Al, *Low dose γ -irradiation of some fluoropolymers: effect of polymer chemical structure*. *Journal of Applied Polymer Science*, **45**(5), 783-795 (1992).
4. A. Oshima, et. al, *Chemical structure and physical properties of radiation-induced crosslinking of polytetrafluoroethylene*, *Radiation Physics and Chemistry*, **62**(1), 39-45 (2001).
5. R. Meyer, F. Bouquet, R. Alger, *Radiation induced conductivity in polyethylene and teflon*. *Journal of Applied Physics*, **27**(9), 1012-1018 (1956).
6. D. Sinha, *Structural modifications of gamma irradiated polymers: an FT-IR study*. *Advances in Applied Science Research*, **3**(3), 1365-1371 (2012).
7. *ASTM: Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting-D882-02*. *Annual book of American standard testing methods* (2002).
8. A. Maxwell, et. al, *Review of accelerated ageing methods and lifetime prediction techniques for polymeric materials*. (2005).
9. J. Mihály, et. al, *FTIR and FT-Raman spectroscopic study on polymer based high pressure digestion vessels*. *Croatica Chemica Acta*, **79**(3), 497-501 (2006).
10. G.M. Lampman, G.S. Kriz, J. Vyvyan, *Introduction to spectroscopy: A guide for students of organic chemistry*, *Harcourt College Publishers*, (2001).

جدول ۵. نواحی تقریبی جذب طیف فرسرخ برای پیوندهای مختلف (فقط ارتعاشات کششی) [۱۰]

O-H	C-H	C≡C	تعداد	C=O	C=N	C-Cl
N-H		C≡N	بسیار		C-O	C-N
		X=C=Y (C,O,N,S)	اندکی از پیوندها		C=C	C-C
						$\begin{matrix} \text{C} \\ \parallel \\ \text{N}=\text{O} \\ \parallel \\ \text{N} \end{matrix}$
$1,57 \times 10^5$	$2,51 \times 10^5$	$3,14 \times 10^5$	$3,49 \times 10^5$	$3,81 \times 10^5$	$4,05 \times 10^5$	$9,66 \times 10^5$

آنگستروم



شکل ۱۸. طیف فرسرخ نمونه های نوار تفلون در ناحیه (۳)، محدود ۶۵۰-۱۱۰۰.

۴. نتیجه گیری

داده های آزمون کشش برای ارزیابی عملکرد مکانیکی پلیمرها به کار می رود، در واقع گاهی برای استفاده از یک پلیمر خاص در قسمتی از یک بدنه بزرگ تر، لازم است اطلاعات جامع و کاملی از آن پلیمر در دسترس باشد تا عملکرد کلی سیستم دچار اختلال نشود؛ بنابراین در این پژوهش، برای ارزیابی بیش تر خواص مکانیکی، آزمون کشش فیلم های پلیمری تحت تابش قرار داده شده انجام گرفت. مقدار تنش و کرنش در نقاط استحکام نهایی و شکست از پرکاربردترین اطلاعات مکانیکی برای نمونه های پلیمری هستند که در پژوهش های قبلی، خواص مذکور مورد بحث و بررسی قرار نگرفته بودند. بررسی مکانیکی نمونه های نوار تفلون نشان می دهد افزایش دز جذبی گاما باعث کاهش تنش و کرنش در استحکام نهایی و نقطه پارگی می شود و می توان نتیجه گرفت اگرچه در ماده تخریب صورت گرفته ولی پرتو دهی گاما باعث افزایش سختی آن شده است. همچنین نمودار تنش- کرنش نمونه ی با دز ۱۲ kGy نشان می دهد که نمودار مذکور فاقد نقطه استحکام تسلیم می باشد؛ این نمودار با سایر نمودارها کاملاً متفاوت بوده و این نشانه تخریب ماده می باشد. با استفاده از بررسی های ساختاری

استناد به این مقاله

هادی صوفی، میرمحمد رضا سید حبشی، مجتبی محمدیان کهل، سعید گلشاه (۱۴۰۰)، بررسی اثرهای تابش پرتو گاما در دزهای مختلف بر خواص مکانیکی و ساختاری تفلون، ۹۶، ۱۹-۲۶

DOI: 10.24200/nst.2021.1196

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1196.html

