

## مقایسه اثر پرتو گاما و باریکه الکترون بر صافی‌های دیالیز پلی‌کربناتی به منظور بررسی امکان سترون‌سازی پرتوی آن‌ها

مهرناز اصانلومهر<sup>۱</sup>، اعظم اخوان<sup>۲\*</sup> و میترا اطهری علاف<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده فنی مهندسی، تهران، ایران.

<sup>۲</sup>پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

\*تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها، صندوق پستی: ۱۴۳۹۹-۵۱۱۱۳.

پست الکترونیکی: azakhavan@aeoi.org.ir

### چکیده

سترون‌سازی صافی‌های دیالیز معمولاً از طریق روش‌های غیر پرتوی انجام می‌شود. از آن‌جا که این صافی‌ها در مقیاس بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند، سترون‌سازی آن‌ها به روش پرتوی به لحاظ بالا بودن سرعت فرآیند و اطمینان از عدم آلودگی اهمیت زیادی پیدا می‌کند. یکی از مواردی که ضروری است پیش از سترون‌سازی پرتوی این صافی‌ها لحاظ گردد شناخت اثر پرتو بر پلی‌کربنات مورد استفاده در ساخت بدنه آن‌ها است. از این نظر در این پژوهش تأثیر دو منبع تابش گاما ( $^{60}\text{Co}$ ) و باریکه الکترون در محدوده دز سترون‌سازی (۱۵، ۲۵ و ۳۷ کیلوگری) بر خواص فیزیکی-شیمیایی و مکانیکی پلی‌کربنات مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمون‌های FTIR، XRD و کشش برای هر دو نوع منبع تابش تقریباً مشابه بود و نشان داد که در این محدوده‌ی دز، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در ساختار شیمیایی و خواص مکانیکی پلی‌کربنات ایجاد نمی‌شود. نتایج حاصل از طیف UV-Vis نشان داد که جذب در نمونه‌های پرتودهی شده با هر دو منبع تابش در طول موج‌های بالاتر اتفاق می‌افتد. در حالی که مقدار جذب در ناحیه مذکور برای نمونه‌های پرتودهی شده با الکترون کم‌تر است. همچنین بر اساس نتایج آزمون رنگ‌سنجی، نمونه‌های تابش دیده با باریکه الکترون شاخص زردی کم‌تری نسبت به نمونه‌های پرتودهی شده با اشعه گاما داشته و این مقدار ناچیز تغییر رنگ نیز با قرار گرفتن نمونه‌ها در محیط به مرور زمان کاهش می‌یابد. بنابراین براساس نتایج حاصل، روش سترون‌سازی صافی‌های دیالیز با استفاده از باریکه الکترون می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژگان: پلی‌کربنات، سترون‌سازی، صافی دیالیز، اشعه گاما، باریکه الکترون.

### ۱. مقدمه

استفاده از گاز اتیلن اکساید برای سترون‌سازی صافی‌های دیالیز، روشی متداول در کارخانجات تولیدکننده‌ی این وسیله است. ولی امروزه سمیت و سرطان‌زا بودن گاز اتیلن اکساید به اثبات رسیده است و در صورت باقی ماندن مقادیر ناچیزی از این گاز در صافی دیالیز، صدمات جدی و جبران‌ناپذیری برای بیمار ایجاد می‌شود. بنابراین توجه سازندگان بر این است که بتوانند روش سترون‌سازی پرتوی را جانشین گاز اتیلن اکساید نمایند. مشکلی که در استفاده از روش سترون‌سازی پرتوی وجود دارد،

از آنجا که تغییرات ایجاد شده در خواص فیزیکی و شیمیایی پلیمرهای تابش دیده بسته به نوع تابش، شرایط تابش (دما، شدت تابش، محیط تابش)، ساختار شیمیایی و گرید پلیمر می‌تواند متفاوت باشد، بنابراین در این مطالعه امکان استریل نمودن پرتوی صافی‌های دیالیز بر اساس گرانول مورد استفاده توسط یک شرکت داخلی در ساخت این صافی‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور صفحات ساخته شده از این گرانول در برابر دو منبع تابشی گاما و الکترون در محدوده دز استریل قرار داده شدند و خواص فیزیکی- شیمیایی و مکانیکی آنها بررسی شد. همچنین تغییرات ایجاد شده در رنگ صافی‌های تجاری ساخته شده از این گرانول نیز برای مقایسه، در برابر دو منبع تابشی گاما و الکترون بررسی شد.

## ۲. تجربی

### ۱.۲ مواد

گرانول پلی‌کربنات Trirex FD شرکت سامیانگ کره با  $10 \text{ MFR} = \text{g}/10 \text{ min}$  از شرکت داخلی تهیه شد.

### ۲.۲ دستگاه‌ها و روش‌ها

تغییرات ساختار شیمیایی در نمونه‌های PC (پلی‌کربنات) به وسیله طیف‌سنجی FTIR<sup>۲</sup> در محدوده طول‌موج  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$  بررسی شد. مشخصات ساختار بلوری نمونه‌ها از طریق طیف XRD<sup>۳</sup> و بر اساس الگوی پراش نمونه‌ها در محدوده  $2\theta$  از  $10$  تا  $80$  درجه به دست آمد. شاخص زردی نمونه‌ها توسط دستگاه رنگ‌سنج مطابق با استاندارد ۲۲۴۴ ASTM D در زاویه  $10$  درجه، با منبع نوری D65 تعیین شد. خواص کششی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کششی مدل Zwick در دمای اتاق اندازه‌گیری شده و مقاومت کششی و

تغییراتی است که ممکن است پس از پرتودهی در بدنه پلی‌کربناتی صافی ایجاد شود. پلی‌کربنات یک پلاستیک مهندسی است که به خاطر شفافیت، سختی، مقاومت حرارتی و پایداری ابعاد خوبی که دارد، در ساخت بسیاری از وسایل و تجهیزات پزشکی مانند فیلترهای خون، اکسیژن دهنده‌های خون و صافی دیالیز به کار گرفته می‌شود [۲،۱].

بر اساس مطالعات انجام شده عموماً خواص فیزیکی و مکانیکی پلی‌کربنات تابش دیده با پرتو گاما در محدوده دزهای پایین (تا  $50$  کیلوگری) تغییر چندانی نمی‌کند و تنها در اثر تابش، رنگ زردی در پلی‌کربنات ایجاد می‌گردد [۴،۳].

بررسی تغییرات جرم مولکولی در محدوده دزهای  $10^6 - 10$  Gy و در مجاورت هوا نشان داده است که در این محدوده، تخریب و شکست زنجیره‌های پلی‌کربنات اتفاق می‌افتد و پایداری حرارتی فیلم پلی‌کربنات در دز بالای پرتو گاما کاهش می‌یابد [۵،۶]. مطالعه‌ای در یزد انجام شده است که به بررسی اثر پرتو الکترون بر ساختار فیلم پلی‌کربنات پرداخته و هدف آن تعیین خواص کریستالینیت و دمای تخریب نمونه بوده است [۷]. در تحقیقی دیگر بیان شده که اثرات تابش روی پلی‌کربنات در دمای بالا بسیار متفاوت از تابش‌دهی در دمای اتاق است. تأثیر تابش بر روی پلی‌کربنات در درجه اول به عنوان شکست زنجیره‌ای گزارش شده که منجر به کاهش خواص مکانیکی و همچنین کاهش خاصیت نوری توسط تشکیل گروه‌های غیر اشباع شده است [۸]. علاوه بر این‌ها در مطالعه دیگری پرتودهی فیلم‌های پلی‌کربنات Lexan با ضخامت  $200$  میکرومتر نشان داد که به دلیل شکست زنجیره‌های پلیمری با افزایش دز، کریستالینیت کاهش می‌یابد و تخریب حرارتی در دزهای بالا اتفاق می‌افتد [۹].

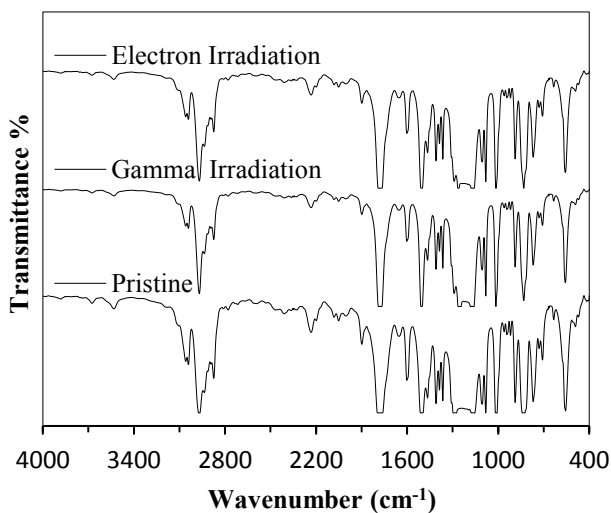
<sup>۲</sup> Fourier Transform Infrared Spectroscopy

<sup>۳</sup> X-Ray Diffraction

<sup>۱</sup> Melt mass Flow Rate

دو نوع پرتو گاما و الکترون بر یکدیگر منطبق بوده و کاملاً مشابه طیف نمونه‌ی پرتو ندیده است.

تطابق طیف‌های پلی‌کربنات پرتو ندیده و پرتو دیده نشان دهنده این است که ساختار شیمیایی پلی‌کربنات پس از پرتو دهی در محدوده‌ی دز سترونی تغییری نمی‌کند، که این نتیجه با تحقیقات انجام شده نیز مطابقت دارد. بر اساس تحقیقات انجام شده، تغییرات قابل توجه در شدت و مکان باندها خصوصاً باند مربوط به گروه کربنیل از دزهای بالاتر از ۱۰۰ کیلوگری آغاز می‌شود [۶].



شکل (۱): طیف مادون قرمز PC.

### ۲.۳. آنالیز XRD

به منظور بررسی اثر پرتو دهی بر ساختار نیمه بلورین نمونه‌های PC، آزمون XRD بر روی آن‌ها انجام گرفت که نتایج حاصل از آن در شکل ۲ ارائه شده است. در تحلیل الگوی XRD، یکی از پارامترهای مهم پهنای پیک در نصف ارتفاع بیشینه (FWHM)<sup>۱</sup> است. برای به دست آوردن اندازه بلورک از رابطه شرر که به صورت زیر است، استفاده شد:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (1)$$

که در آن D اندازه بلورک (بر حسب نانومتر یا آنگستروم)،

درصد ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست آن‌ها ثبت شد. لازم به ذکر است که کلیه دستگاه‌ها کالیبره شده بودند.

### ۳.۲ ساخت نمونه‌ها

صفحات PC با ضخامت ۲mm و ابعاد ۹×۹ cm<sup>۲</sup> توسط پرس داغ، در دمای ۲۶۰°C ساخته شد. جهت آماده‌سازی نمونه برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی نیز از صفحات ساخته شده، نمونه‌های دمبل شکل توسط دستگاه پانچ استفاده شد. برای آزمون FTIR فیلم‌های PC با ضخامت حدود ۸۰-۳۰ میکرون ساخته شد.

### ۴.۲ پرتو دهی نمونه‌ها

نمونه‌ها در یک گاما سل آزمایشگاهی با منبع <sup>۶۰</sup>Co و همچنین یک شتاب‌دهنده‌ی رودوترون TT۲۰۰ با انرژی ۱۰ MeV، در مجاورت هوا به میزان ۱۵، ۲۵ و ۳۷ کیلوگری (محدوده دز استریل) پرتو دهی شدند. نمونه‌ها پس از پرتو دهی برای شناسایی خواص پلیمر مورد آزمون قرار گرفتند.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۱.۳ بررسی ساختار شیمیایی

جهت بررسی ساختار شیمیایی پلی‌کربنات پرتو دیده با گاما و باریکه الکترون، طیف‌های FTIR پلی‌کربنات قبل و بعد از پرتو دهی در دزهای ۱۵، ۲۵ و ۳۷ کیلوگری تهیه شدند (شکل ۱). باندهای جذبی شاخص طیف PC مربوط به باند کششی C-H گروه متیل در ۲۹۶۹ cm<sup>-۱</sup>، باند کششی کربنیل C=O در ۱۷۷۳ cm<sup>-۱</sup>، باند کششی C-O-C در ۱۲۰۶ cm<sup>-۱</sup> و باند جذبی C-H آروماتیک در ۹۹۹ cm<sup>-۱</sup> است. طیف‌های نمونه‌های پرتو دیده در دزهای ۱۵، ۲۵ و ۳۷ کیلوگری برای هر

<sup>۱</sup> Full Width at Half Maximum

با افزایش دز در ۳۷ kGy، مقدار FWHM افزایش می‌یابد. این نشان می‌دهد که جزء بی‌شکل در نمونه‌ها بعد از پرتودهی با دز بیش‌تر، افزایش یافته است. در نتیجه زنجیره‌ها در اثر واکنش‌های رادیکالی، شاخه‌ای یا شبکه‌ای شده و دیگر توانایی قرار گرفتن در سلول‌های بلوری را ندارند. بنابراین بلورینگی پلیمر کاهش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده با نتایج سایر منابع نیز هم‌خوانی دارد [۱۰].

جدول (۱): مقادیر FWHM و اندازه کریستال (D) نمونه‌های پلی‌کربنات.

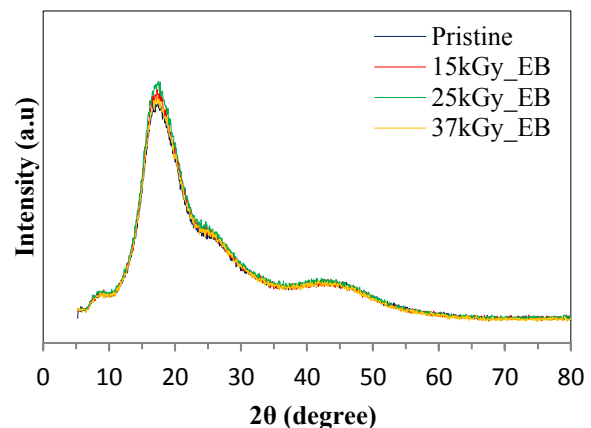
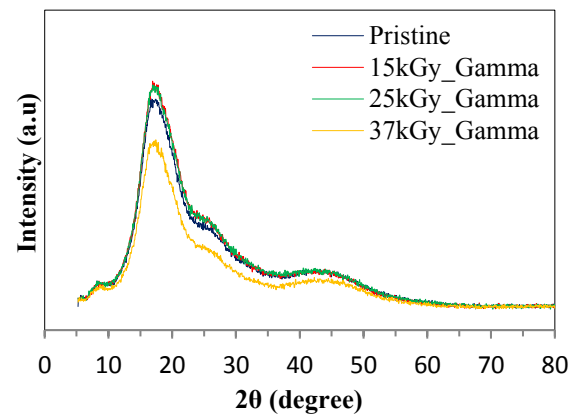
نمونه آزمون	$2\theta$ (درجه)	FWHM (درجه)	D (Å)
پرتودهی نشده	۱۶/۹۵	۰/۲۶	۳۳/۴۱
دز پرتودهی شده با اشعه گاما (kGy)	۱۵	۱۷/۱۵	۷/۳۹
	۲۵	۱۷/۲۷	۲۹/۷۵
دز پرتودهی شده با باریکه الکترون (kGy)	۳۷	۱۷/۱۸	۴/۶۶
	۱۵	۱۷/۲۹	۱/۶۵
دز پرتودهی شده با باریکه الکترون (kGy)	۲۵	۱۷/۴۷	۲۹/۷۶
	۳۷	۱۷/۳۰	۴/۸۷

### ۳.۳. خواص مکانیکی

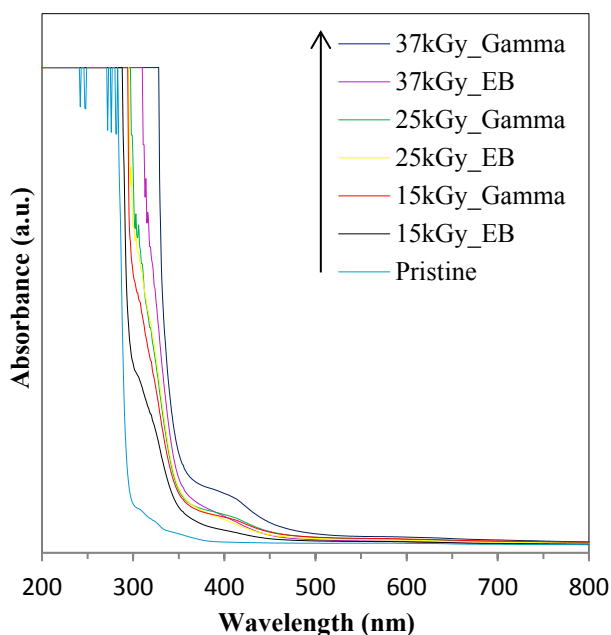
استحکام کششی و ازدیاد طول نمونه‌های پلی‌کربنات به‌صورت تابعی از دز و منبع پرتودهی در جدول ۲ نمایش داده شده است. با توجه به جدول، با افزایش دز، تغییر قابل ملاحظه‌ای در مقادیر استحکام کششی نمونه‌های پرتو دیده با اشعه گاما و باریکه الکترون مشاهده نمی‌گردد. تغییرات اندکی در مقادیر استحکام کششی با افزایش دز تا ۱۵ کیلوگری ملاحظه می‌شود که ممکن است در نتیجه‌ی کراس‌لینک شدن پلیمر در این دز باشد. همین روند در پرتودهی نمونه‌ها با باریکه‌ی الکترون نیز مشاهده می‌شود. همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌گردد، در هر دو نوع تابش با افزایش دز، ازدیاد طولی کاهش مختصری پیدا می‌کند. با افزایش دز تابش از یک طرف میزان اتصالات عرضی تا حدودی در پلی‌کربنات افزایش می‌یابد و از طرف دیگر شکست زنجیره‌ها اتفاق می‌افتد. بنابراین به نظر می‌رسد که اثر

K ضریب شکل بلور (K از ۰/۶۲ تا ۲/۰۸ تغییر می‌کند، اما در حالت گرد شده ۱ در نظر گرفته می‌شود)،  $\lambda$  طول موج تیوب تولید کننده پرتو ایکس (بر حسب نانومتر یا آنگستروم)،  $\beta$  پهنای پیک در نیمه ارتفاع بیشینه (FWHM) بر حسب درجه است که باید به رادیان تبدیل شود و  $\theta$  زاویه‌ی پراش (بر حسب درجه) است.

نتایج آزمون XRD (جدول ۱) نشان می‌دهد در هر دو نوع پرتودهی گاما و الکترون، FWHM با افزایش دز تا ۲۵ kGy کاهش یافته و در دز ۳۷ kGy مقدار آن افزایش می‌یابد. علت این پدیده را می‌توان به بازآرایی زنجیره‌های کوچک پر تحرک ایجاد شده بر اثر شکست ناشی از پرتودهی پلیمر نسبت داد که منجر به افزایش مناطق بلورین در دز ۲۵ kGy در پلیمر می‌گردد.



شکل (۲): طیف پراش اشعه ایکس PC پرتودهی شده با گاما و الکترون.



شکل (۳): مقایسه‌ی طیف فرابنفش-مرئی نمونه‌های پلی‌کربنات تابش دیده.

### ۵.۳. آنالیز رنگ‌سنجی

شکل ۴ تغییرات رنگ را در اثر پرتو دهی گاما و الکترون بیم در دزهای مختلف نشان می‌دهد. شکل ۵ نیز به‌طور کمی نشان می‌دهد که تغییر رنگ نمونه هنگامی که با گاما پرتو دهی می‌شود نسبت به پرتو دهی الکترون بیش‌تر است. بر اساس مطالعات گذشته این تغییر رنگ مطابق با مکانیزمی که در شکل ۶ آمده است، در اثر تولید رادیکال‌های فنیل و فنوکسی ایجاد می‌شود. با افزایش دز، این رادیکال‌ها بیش‌تر تشکیل شده و باعث افزایش شاخص زردی می‌شوند [۱۱]. این‌که چرا هنگام پرتو دهی با باریکه‌ی الکترون این تغییر رنگ کم‌تر است به نرخ دز مربوط می‌شود. نرخ دز گاما از الکترون کم‌تر است، از این‌رو ماده مدت زمان بیش‌تری در مجاورت پرتو و رادیکال‌های حاصل قرار دارد که این موجب تغییر رنگ بیش‌تری می‌شود.

پرتو دهی بر خواص مکانیکی، تابع شکست زنجیره و ایجاد اتصالات عرضی است که اثرات این دو نیز به محیط تابش بستگی دارند. بنابراین در پرتو دهی در دزهای بالاتر توسط اشعه گاما به دلیل زمان پرتو دهی بیش‌تر، تخریب اکسیداسیونی بیش‌تری نسبت به اشعه الکترونی رخ می‌دهد و در نتیجه تغییرات طول، کاهش بیش‌تری پیدا می‌کند که البته مقدار آن چندان قابل توجه نیست.

جدول (۲): خواص مکانیکی پلی‌کربنات.

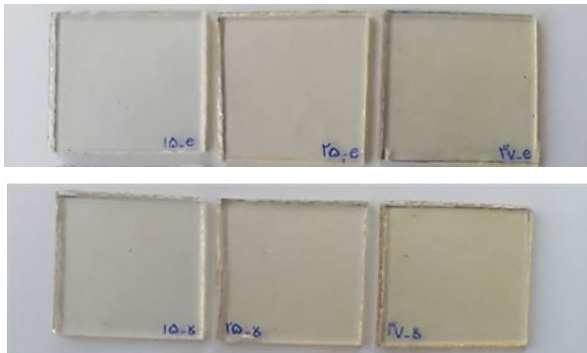
	دز (kGy)	استحکام کششی (Mpa)	ازدیاد طول در نقطه شکست (%)
	۰	۵۱/۵ ± ۲/۱	۲۲/۵ ± ۱/۱
اشعه گاما	۱۵	۵۵/۹ ± ۲/۷	۲۵/۰ ± ۱/۲۵
	۲۵	۵۷/۹ ± ۲/۹	۲۳/۴ ± ۱/۲۳
	۳۷	۵۲/۳ ± ۲/۰	۲۰/۶ ± ۰/۷۰
	۰	۵۱/۵ ± ۱/۵	۲۲/۵ ± ۱/۰۱
باریکه الکترون	۱۵	۵۴/۲ ± ۳/۲	۲۶/۷ ± ۱/۳۸
	۲۵	۵۸/۲ ± ۲/۳	۲۴/۰ ± ۱/۴۷
	۳۷	۵۵/۳ ± ۱/۹	۲۱/۳ ± ۰/۸۰

### ۴.۳. آنالیز طیف UV-Vis

میزان جذب برای پلی‌کربنات خالص پرتو ندیده و نیز پرتو دهی شده با تابش گاما و الکترون در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، جذب در نمونه‌های پرتو دیده در طول موج‌های بالاتر اتفاق افتاده است. این امر نشان‌دهنده ایجاد رنگ در پلی‌کربنات پرتو دیده می‌باشد. رنگ ایجاد شده بعد از پرتو دهی بر میزان نور جذب شده اثر می‌گذارد. هرچه نمونه شفاف‌تر باشد، میزان عبور نور بیش‌تر شده و در نتیجه میزان جذب کاهش می‌یابد [۹]. در هر دو تابش با افزایش دز تابش، میزان جذب نیز افزایش می‌یابد. سپس مشاهده می‌شود در مقادیر یکسان دز، شیت PC مورد تابش الکترون قرار گرفته، جذب کم‌تری در آن رخ داده است.

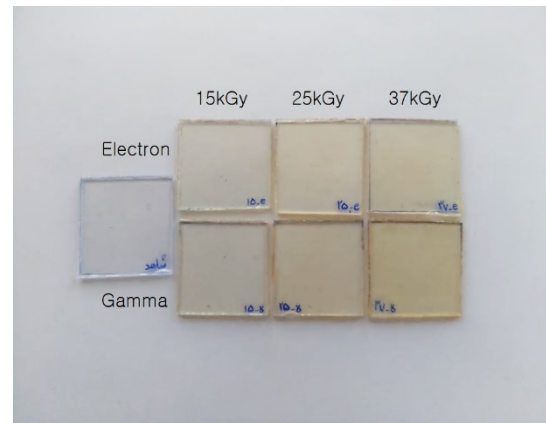
محیط تاریک و روشن نگهداری شدند. ملاحظه می‌گردد که رنگ زرد نمونه‌های پرتودهی شده با هر دو نوع تابش پس از گذشت ۲۸ روز در هر دو محیط کمتر شده است. شکل ۷ بیانگر کم‌رنگ‌تر شدن زردی نمونه‌ها در محیط تاریک است.

مقایسه شرایط نگهداری در تاریکی و نور نشان داده که قرارگیری پلی‌کربنات پرتو دیده در معرض نور، موجب افزایش سرعت کم‌رنگ شدن می‌گردد. شرایط نگهداری، اختلافی در خواص فیزیکی ایجاد نمی‌نماید. علت کاهش رنگ پس از گذشت زمان این است که پدیده‌ی تغییر رنگ پلی‌کربنات که در اثر تشکیل رادیکال‌های آزاد ایجاد می‌شود به عنوان یک پدیده برگشت‌پذیر شناخته می‌شود. از این رو ممکن است زمان بسیار زیادی طول بکشد تا رنگ نمونه به رنگ قابل قبول برسد.

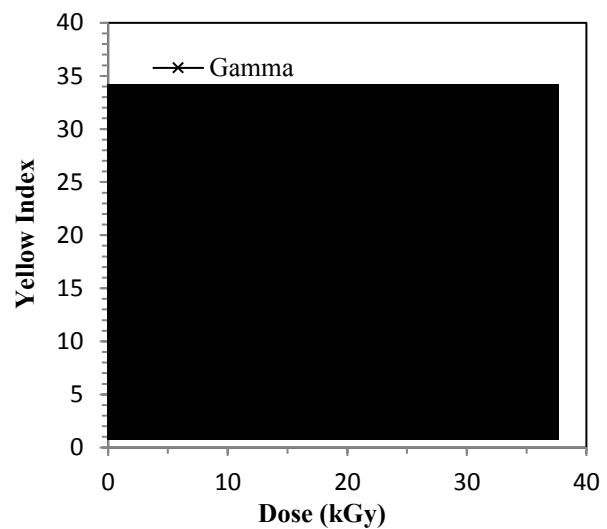


شکل (۷): نمونه‌های PC پرتودهی شده با گاما و الکترون پس از ۲۸ روز نگهداری در محیط تاریک.

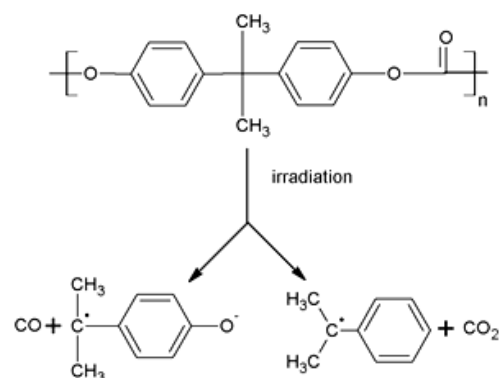
نتایج شاخص‌های زردی نمونه‌ها پس از گذر ۲۸ روز از زمان پرتودهی در شرایط نگهداری متفاوت در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل (۸): نمونه‌های PC پرتودهی شده با گاما و باریکه الکترون.



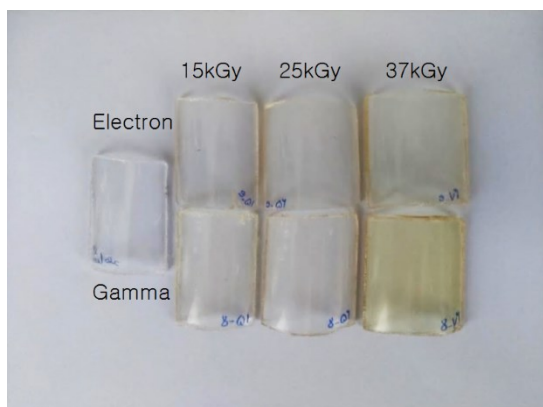
شکل (۹): مقایسه شاخص زردی PC تابش‌دیده با گاما و الکترون.



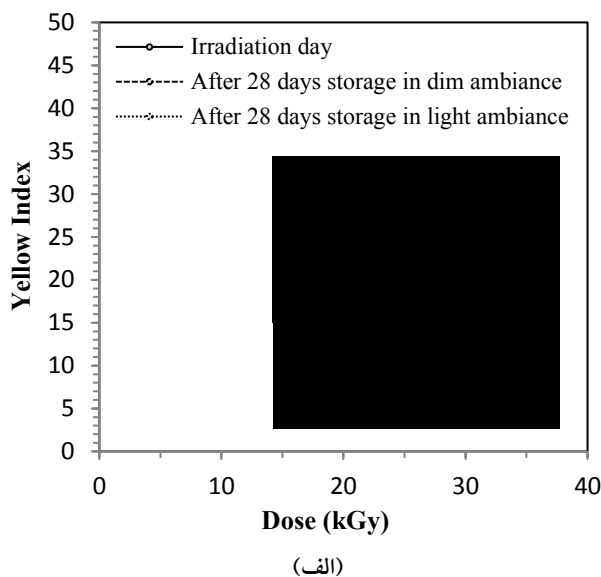
شکل (۱۰): نمایش شماتیک واکنش اصلی ایجاد شده در پلی‌کربنات پس از تابش باریکه‌ی الکترون یا تابش گاما [۹].

از آن‌جا که این تغییر رنگ تا حدودی در شرایط محیطی نور یا تاریکی برگشت‌پذیر است، نمونه‌ها به مدت ۲۸ روز در دو

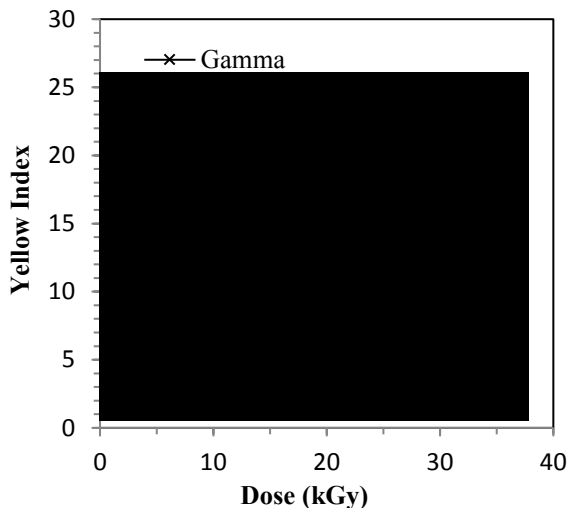
شاخص زردی قطعات تجاری به صورت کمی نیز تأیید می‌گردد (شکل ۱۰).



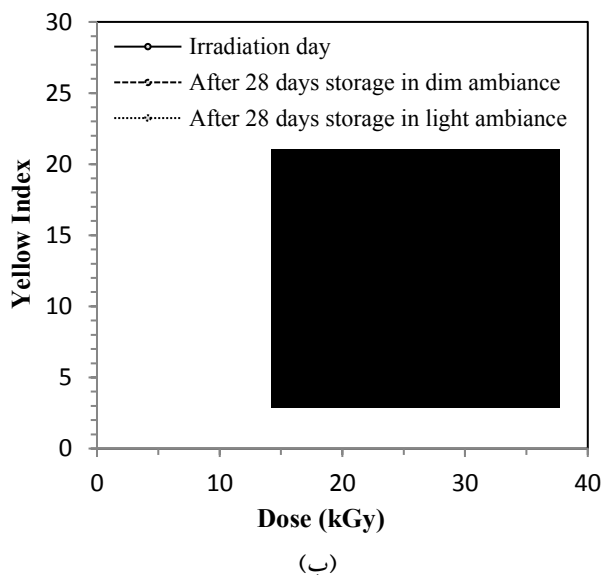
شکل (۹): نمونه‌های PC تجاری پرتو دهی شده.



(الف)



شکل (۱۰): مقایسه شاخص زردی PC تجاری تابش دیده توسط دو تابش گاما و الکترون.



(ب)

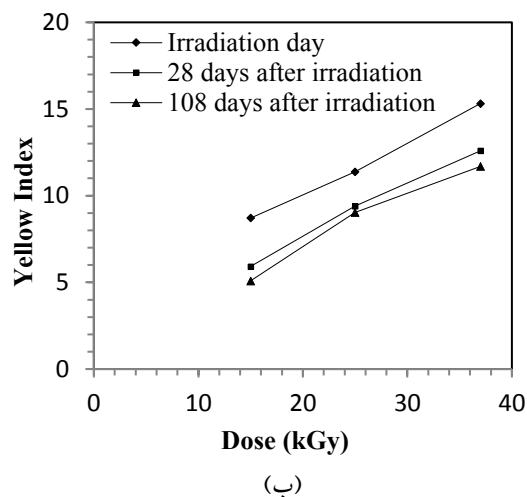
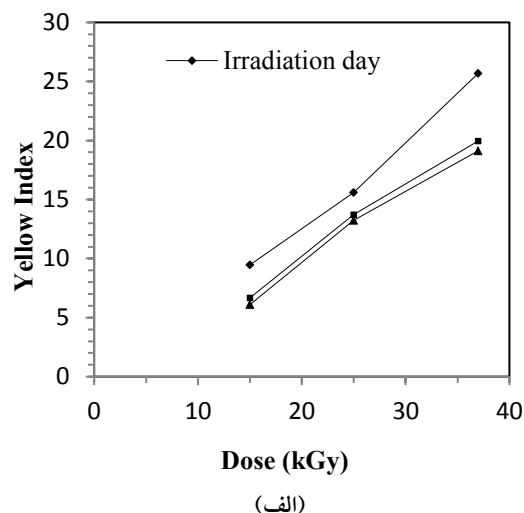
شکل (۸): مقایسه شاخص زردی PC تابش دیده پس از ۲۸ روز نگهداری در محیط تاریک و روشن، الف) گاما و ب) الکترون.

سپس مشابه کار قبل، نمونه‌های تجاری پلی‌کربنات پرتو دهی شده به مدت ۲۸ روز در محیطی تاریک قرار داده شد. با این تفاوت که با گذشت ۱۰۸ روز دیگر و نگهداری در محیط تاریک دوباره شاخص زردی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با گذشت زمان بیش‌تر، شدت رنگ در این نمونه‌ها نیز کم‌تر می‌گردد لیکن این تغییرات نسبت به ۲۸ روز اول کمتر است. (شکل ۱۱).

جهت مقایسه‌ی عملی‌تر، قطعاتی از محصول تجاری صافی دیالیز، مشابه نمونه‌های قبل با سه دز ۱۵، ۲۵ و ۳۷ کیلوگری با دو نوع تابش گاما و الکترون پرتو دهی شده و شاخص‌های زردی آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. با توجه به شکل ۹ قطعاتی که با الکترون پرتو دهی شده‌اند، نسبت به آن‌هایی که پرتو گاما دیده‌اند، تغییر رنگ کم‌تری داشته‌اند و این نتیجه با مقایسه

#### ۴. نتیجه گیری

نتایج حاصل از بررسی تأثیر دو منبع تابش گاما ( $^{60}\text{Co}$ ) و باریکه‌ی الکترون در محدوده‌ی دز سترون‌سازی (۱۵، ۲۵ و ۳۷ کیلوگری) بر خواص پلی‌کربنات نشان داد که در مجموع تغییرات قابل ملاحظه‌ای در ساختار شیمیایی و خواص مکانیکی پلی‌کربنات در اثر پرتودهی با هر دو نوع منبع ایجاد نمی‌شود. لیکن به دلیل این‌که نرخ دز و یا میزان تابش در واحد زمان برای پرتودهی با باریکه‌ی الکترون در مقایسه با اشعه گاما بیشتر است، به دلیل کاهش تخریب ناشی از شکست زنجیره و اکسیداسیون در حین فرآیند پرتودهی، تغییر رنگ کم‌تر رخ می‌دهد. بر این اساس روش سترون‌سازی صافی‌های دیالیز با استفاده از باریکه الکترون می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب مورد توجه قرار بگیرد.



شکل (۱۱): مقایسه‌ی شاخص زردی PC تجاری تابش‌دیده پس از ۲۸ و ۱۰۸ روز نگهداری در محیط تاریک، الف) گاما و ب) الکترون.

#### ۵. مراجع

1. C. Weckle, *Polycarbonate Remains Proven and Preferred for Medical Applications*, (Tech Briefs: Medical Design Medicine, Second Edi. 2011. gn Briefs., MEdical Design Briefs, (2013. [Online]. Available: <https://www.medicaldesignbriefs.com/component/content/article/mdb/features/17693>)
2. B. P. Fairand, *Radiation Sterilization for Health Care Products X-Ray, Gamma, and. Electron Beam*, CRC, Boca Raton, 2002.
3. R. L. Clough, K. T. Gillen, G. M. Malone, J. S. Wallace. Color formation in irradiated polymers. *Radiat. Phys. Chem.* 48 (5) (1996) 583-594.
4. E. S. Araújo, H. J. Khoury, S. V. Silveira. Effects of gamma-irradiation on some properties of durolon polycarbonate. *Radiat. Phys. Chem.* 53 (1) (1996) 79-84.
5. J. H. Golden, E. A. Hazell. Degradation of a polycarbonate by ionizing radiation. *J. Polymer Sci. A* 1 (5) (1963) 1671-1686.
6. D. Sinha, K. L. Sahoo, U. B. Sinha, T. Swu, A. Fink, Gamma-induced modifications of polycarbonate polymer. *Radiat. Effects Defects Solids* 159 (10) (2004) 587-595.
7. B. Jaleh, P. Parvin, N. Sheikh, F. Ziaie, M. Haghshenas, L. Bozorg. Evaluation of physico-chemical properties of electron beam-irradiated polycarbonate film. *Radiat. Phys. Chem.* 76 (2007) 1715-1719.



8. T. Zhongfeng, Y. Chen, M. Wang. Specific properties improvement of polycarbonate induced by irradiation at elevated particular temperature. *Radiat. Phys. Chem.* 96 (2014) 171-175.
9. K. Hareesh, S. Ganesh. 8 MeV electron induced changes in structural and thermal properties of lexan polycarbonate. *Mater. Sci. Appl.* 2 (2011) 1682-1687.
10. K. Dawes, L. C. Glover, D. A. Vroom. *The Effects of Electron Beam and Gamma Irradiation on Polymeric Materials, Physical Properties of Polymers*. James E. Mark (ed.) Handbook, 2 ed., Springer Sci. 2007.
11. F. Hacıoğlu. Degradation of polycarbonate, bentonite, barite, carbon fiber and glass fiber filled polycarbonate via gamma irradiation and possible use of polycarbonate in radioactive waste management. PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2015.