

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

## ساخت و بهینه سازی کامپاندهای پلیمری مختلف با استفاده از روش پرتو فرآیندی

عسگری، سعید<sup>(۱)</sup> - نداف، ساجده<sup>(۲)</sup> - بیات، اسمعیل \*<sup>(۳)</sup>

<sup>(۱)</sup> دانشگاه امیر کبیر، دانشکده فیزیک و مهندسی هسته ای

<sup>(۲)</sup> دانشگاه الزهراء، دانشکده فیزیک

<sup>(۳)</sup> سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

### چکیده:

در این تحقیق روشی جدید برای مراحل پخت و پیش پخت لایه های مختلف تایر با استفاده از لامپ ایکس و چشمه کبالت ۶۰ مورد بررسی قرار گرفت که باعث تولید محصولات با کیفیت بهتر و ارزان تر نسبت به روش های پخت شیمیایی می شود. این فرآیند بر روی شش نمونه کارکاس و آج تایر در دزهای 20, 40, 60 kGy انجام شد. نمونه های پرتو دهی شده تحت تست های استحکام خام، ترک خوردگی ازن، استحکام بعد از پخت و دیگر تست ها قرار گرفت. نتایج نشان دهنده کاهش ۳۵ درصدی استفاده از مواد اولیه، کاهش ۱۶ درصدی زمان پخت و همینطور کاهش حدود ۲۰ برابری ترک خوردگی ازن برای نمونه های مختلف بود.

**کلمات کلیدی:** کامپاندهای پلیمری، مولدهای پرتوی، اتصالات عرضی

### مقدمه:

امروزه در حوزه پرتو فرآیند، اقدامات بسیار مناسبی برای بهینه سازی محصولات مختلف و یا حتی ساخت محصولات جدید بر روی فلزات، سرامیک ها، بافت های معدنی و بافت آلی مانند پلیمرها و ... صورت می گیرد که در صنایع مختلف از جمله صنایع پلیمری، کشاورزی، شیمیایی، خودرو، ساختمان و پزشکی دارای کاربردهای فراوان می باشد. در حدود دو دهه است که از این روش در کشورهای صنعتی استفاده شده و منجر به تولید محصولات جدید و یا محصولات قبلی با کیفیت بسیار بالاتر شده است. در زمینه فعالیت های پرتو فرآیندی در صنایع پلیمر نیز اقدامات بسیار زیادی در آژانس بین المللی انرژی اتمی و مراکز تحقیقاتی مختلف صورت گرفته است. از جمله به منظور جلوگیری از آتش گیری پلیمرهایی که برای ساخت یونولیت های ساختمانی استفاده می شوند و یا ضد آتش کردن پلیمرهایی که در ساخت مبلمان بکار می روند، با استفاده از روش پرتو فرآیندی، کشورهای ژاپن، امریکا و بلژیک اقدامات مناسبی انجام داده و اقدام به تجاری سازی محصولات خود کرده اند. همچنین شرکت های بزرگ تولید کننده تایر مانند Continental، Goodrich، Goodyear و ... که بیشترین سهم بازار جهانی از تولید تایر و قطعات لاستیکی را دارند از

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

روش پرتوفر آیندی برای پیش پخت و پخت لایه های لاستیکی خود به صورت کاملاً صنعتی استفاده می کنند. کشور ما نیز که صنعت لاستیک خودرو را از سال ۱۳۳۸ به صورت تکنولوژی تولید تایر وارد کرد از همان زمان شروع به تولید تایرهای بایاس کرد و در سپس در سال های ۱۳۷۸ شروع به ساخت تایرهای لاستیکی با تکنولوژی رادیال کرد. اما از آن سال ها تاکنون روش تولید تایرها در ایران با استفاده از روش ها و تجهیزات قدیمی می باشد که به روز نشده اند. این روش ساخت تایر منجر به تولید تایر با کیفیت بسیار پایین و افزایش هزینه های تولید و در نهایت افزایش قیمت تمام شده محصول نهایی می شود. با استفاده از روش پرتودهی، میزان استفاده از سوخت و مواد اولیه تا حد بسیار مطلوبی پایین آمده و محصول نهایی با حفظ و افزایش خصوصیات لازم، سبک تر نیز خواهد بود. همچنین میزان ترک خوردگی با ازن به میزان بسیار چشمگیری پایین تر آمده و با حفظ Elongation استحکام خام نمونه افزایش می یابد. این مقاله بخشی از یک تحقیق گسترده سه ساله در زمینه بهبود کیفیت تایرها و کاهش هزینه تولید آنها توسط پرتودهی می باشد. در این مقاله بررسی بر روی روش جدید پیش پخت ارایه گردیده است که منجر به تولید محصولات اولیه لایه های لاستیکی به روش پرتوفر آیندی نیز شده است.

## روش کار:

دو لایه کارکاس و آج لاستیک پس از بررسی های مختلف بر روی فرمولاسیون های مختلف به منظور یافتن نمونه های بهتر با استفاده از فرمولاسیون منتخب مورد سستز قرار گرفتند. پس از چندین بار میکس کردن در دستگاه بنبوری و اکسترودر، لایه های با ضخامت محدود به دست آمد. ابتدا قبل از فرآیند پیش پخت، این نمونه در آزمایشگاه مورد آنالیز قرار گرفته و استحکام خام آن ها به دست آمد. سپس بر اساس مطالعات صورت گرفته هر نمونه به صورت جداگانه با استفاده از دو مولد پرتوی ایکس ۴۰۰۰ وات و چشمه کبالت -۶۰، ۳۹۹۷ Ci، در فواصل مختلف، نیم متری، ۱ متری و ۲ متری تحت پرتو در زمان های مختلف قرار گرفتند تا نمونه ها میزان دز جذبی تجمعی لازم را دریافت کنند. جهت سنجش میزان دز ناشی از مولد پرتو ایکس و کبالت -۶۰، دستگاه PTW (فارمر) با اتاقک یونش CC ۰,۶ استفاده گردید. از هر کدام از لایه های کارکاس و آج سه نمونه پرتودهی شده ۲۰ kGy، ۴۰ kGy و ۶۰ kGy آماده شد. سپس هر ۶ نمونه در مرکز تحقیقات آنالیز جهت تست های لازم و دارای اهمیت مورد آنالیز قرار گرفتند که در ذیل به دو آزمون اشاره می کنیم.

۱۶ و ۱۷ شهریور ماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

آزمون کشش خام : تست کشش متداول ترین تست برای مشخص کردن خواص مکانیکی مواد نظیر استحکام، چکشخواری، چقرمگی و مدول الاستیسیته است. در این تست ابتدا نمونه ای به فرم دمبلی آماده می شود. این نمونه با توجه به استاندارد سازمانهای مرتبط هر کشور آماده می شود [۱]. معمولاً نمونه دارای اندازه اولیه،  $L_0$ ، معمولاً 50 میلیمتر و مساحت سطح مقطع اولیه،  $A_0$ ، معمولاً 12.5 میلیمتر است. نمونه بین دو فک ماشین تست کشش قرار داده می شود. این ماشین ها مجهز به کنترل هایی هستند تا نمونه در نرخهای متفاوت تغییر شکل و دما مورد بررسی قرار گیرد [۲]. در این آزمون شش نمودار برای هر نمونه گزارش شده است که میانگین اعداد مد نظر قرار می گیرد.

منحنی های تنش - کرنش

نسبت تنش به کرنش در منطقه الاستیک به عنوان مدول الاستیسیته  $E$ ، مدول یانگ، نامیده می شود:

$$E = \sigma / \epsilon$$

مدول الاستیسیته مقیاسی است از شیب منطقه الاستیک منحنی و در نتیجه سفتی ماده. هرچه مقدار  $E$  بزرگتر باشد، میزان باری که کشیدن نمونه لازم است به همان اندازه بیشتر می شود و در نتیجه ماده سفت تر است [۳، ۴].  
آزمون رئومتر:

در این آزمون پارامترهای مهم عبارتند از کمترین میزان گشتاور (ML) و بالاترین میزان گشتاور (MH). برای اکستروژن کردن قطعات لازم است این مقادیر را بدانیم. با انجام آزمون رئومتر در دمای ثابت تغییرات گشتاور را نسبت به زمان بررسی می کنند. گشتاور نماینده ای از ویسکوزیته است. با افزایش اتصالات عرضی بر اثر پرتودهی، ویسکوزیته افزایش می یابد و در نتیجه نیروی بیشتری جهت چرخش دستگاه نیاز است [۵]. این اندازه گیری در دمای حدود ۱۷۰ درجه سانتیگراد برای نمونه های آج انجام گردید.

۵ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

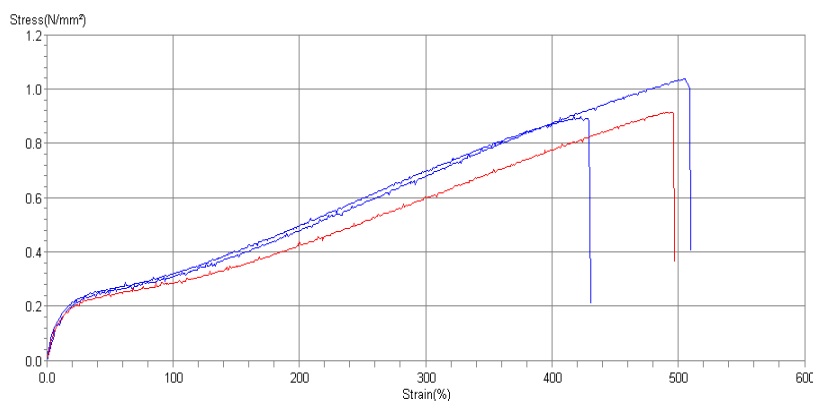
نتایج:

منحنی های تنش - کرنش برای نمونه های آج در ذیل آورده شده است.

جدول (۱) مقادیر تنش و کرنش برای آج پرتودهی نشده

Test No.	Stress @ Peak (N/mm <sup>2</sup> )	Strain @ Peak (%)	Load @ Peak (N)	Stress @ 100.000 % (N/mm <sup>2</sup> )	Stress @ 300.0 % (N/mm <sup>2</sup> )	Stress @ Peak (lbf/in <sup>2</sup> )	Stress @ Peak (kgf/mm <sup>2</sup> )
1	0.231	609	3.01	0.166	0.171	35.6	0.045
2	0.271	629.03	3.08	0.165	0.203	42.143	0.04
3	0.255	637.252	3.3	0.132	0.172	36.944	0.036
Min	0.232	612	2.8	0.146	0.167	35.1	0.026
Mean	0.249	625.761	2.91	0.162	0.173	38.062	0.037
Max	0.280	637.252	3.08	0.178	0.203	42.143	0.02
S.D.	0.125	14.427	0.193	0.013	0.01	3.652	0.003
C. of V.	9.664	2.265	6.637	6.398	10.795	9.596	9.789
L.C.L.	0.3	589.405	2.43	0.139	0.132	28.978	0.03
U.C.L.	0.326	659.116	3.39	0.192	0.241	48.135	0.037

آج پرتودهی شده:



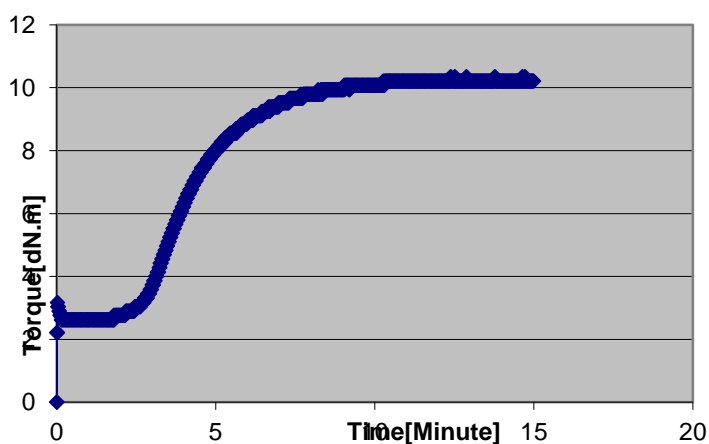
شکل (۲) منحنی تنش و کرنش برای آج پرتودهی شده

جدول (۲) مقادیر تنش و کرنش برای آج پرتودهی شده

Test No.	Stress @ Peak (N/mm <sup>2</sup> )	Strain @ Peak (%)	Load @ Peak (N)	Stress @ 100.000 % (N/mm <sup>2</sup> )	Stress @ 300.0 % (N/mm <sup>2</sup> )	Stress @ Peak (lbf/in <sup>2</sup> )	Stress @ Peak (kgf/mm <sup>2</sup> )
1	1.07	506.54	18.38	0.314	0.683	150.902	0.106
2	0.908	422.491	16.75	0.323	0.701	130.965	0.082

۵ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

3	0.818	493.2	16.45	0.289	0.435	134.093	0.094
Min	0.903	389.565	15.98	0.278	0.436	130.965	0.092
Mean	0.964	472.377	16.48	0.306	0.663	139.32	0.097
Max	1.25	504.54	17.37	0.425	0.711	150.902	0.106
S.D.	0.075	43.802	1.051	0.026	0.052	10.948	0.008
C. of V.	7.879	9.275	6.379	4.754	7.845	7.265	7.658
L.C.L.	0.767	353.365	13.868	0.263	0.534	111.123	0.123
U.C.L.	1.16	582.283	18.054	0.362	0.832	165.516	0.125



شکل (۴) نمودار گشتاور بر حسب زمان، آج، 20KGy

## بحث و نتیجه گیری

هر ۶ نمونه مورد بررسی در واقع تحت پیش پخت پرتوی قرار گرفتند. پس از انجام آزمایش رئولوژی مشخص شد که به طور میانگین نمونه ها تا ۱۶ درصد زمان پخت کمتری را نشان می دهد. بدین معنی که هنگامی که این نمونه ها برای فرآیند پخت ار سال می شود چون فرآیند پیش پخت انجام گرفته است، در فرآیند پخت استفاده از مواد سوختی مانند گاز به میزان تقریبی ۶ درصد کمتر می شود.

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

همچنین استحکام خام آن‌ها مورد آنالیز قرار گرفت که برای نمونه‌های تا  $20\text{ kGy}$  پرتو دیده تا ۲ برابر و برای نمونه‌های تا  $40\text{ kGy}$  تا ۵ برابر افزایش استحکام خام مشاهده می‌شود. این مهم بدین دلیل است که در هنگام دریافت انرژی توسط ماده از پرتوهای گاما در شبکه پلیمری لایه‌های لاستیکی اتصالات عرضی ایجاد می‌شود. همچنین پس از انجام آنالیز استحکام پس از پخت نمونه‌های پرتو دهی شده مشخص شد که تا ۳۵ درصد نمونه پرتو دهی شده نسبت به نمونه بدون پیش پخت شده به روش پرتو دهی ضخامت بیشتری را در عین حفظ خصوصیات قبلی و همچنین افزایش آن‌ها نشان می‌دهد.

میزان ترک خوردگی با ازن نیز با قرار دادن نمونه به مدت ۹۴ ساعت در اتاقک ازن و تحت کشش با دستگاه کشش مورد سنجش قرار گرفت که میزان مقاومت متوسط ۲۰ برابری را نشان می‌دهند.

## مراجع:

- [1] Yasin, N., Effect of acrylonitrile content on physical properties of electron beam irradiated acrylonitrile-butadiene rubber, Elsevier, Reactive & Functional Polymers 57 (2003) 113–118
- [2] Datta, R.N., The Effect of 1,3 Bis (citraconimidomethyl) benzene in Silica Containing Compounds, Hondeveld (The Netherlands).
- [3] Datta, R.N., High Temperature Curing of Passenger Tires by Using 1,3 Bis (Citraconimidomethyl) Benzene, Hondeveld (The Netherlands).
- [4] Datta, R.N., Rubber Curing Systems, Volume 12, Number 12, 2002.
- [5] Bassfar A.A., Influence of different curing systems on the physico-mechanical Properties and stability of SBR and NR rubbers, Radiation Physics and Chemistry 63 (2002) 81–87.