

۱۲۹۹۹۸

دانشگاه یزد  
دانشکده فیزیک

پایان نامه  
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد  
فیزیک اتمی و مولکولی

اندازه گیری برخی خواص حرارتی پلی اتیلن سبک تابش دیده با  
باریکه الکترونی  $10\text{MeV}$

استادان راهنما:  
دکتر غضنفر میرجلیلی  
دکتر محمود برهانی

استاد مشاور:  
مهندس مهدی غفاری

پژوهش و نگارش:  
زهراالسادات میرباقری

۱۳۸۸/۲/۱

کتابخانه اطلاعیه مرکز علمی پژوهش  
تمیز باران

بهمن ماه ۱۳۸۷

۱۲۶۹۶۸

تقدیم بہ:

دریای مہر و محبت، مادرم

اسوہ صبر و استقامت، پدرم

اقیانوس بی کران عشق، ہمسرم

ستارہ امید و مہربانی، دخترم


## تقدیر و تشکر:

باسپاس بی کران به درگاه ایزدمنان، که دغدغه آموختن رادر وجود من نهاد و به من نیرو داد تا بحیون جوانی، جویای علم از فراز و نشیب ها گذر کنم و از مشاهدات خود توشه ای با ارزش برداشته و از آن جهت به برنامه زندگی ام مفهوم واقعی تر بخشم.

زحمات استاد عزیزم، جناب آقای دکتر میر جلیلی راج می نمم و از ایشان سپاسگزارم.

از جناب آقای دکتر برهانی که استاد راهنمای اینجانب در تمام مراحل این پروژه بوده اند، با تمام وجود سپاسگزاری می کنم. از جناب آقای مهندس غفاری که، همواره مرا از راهنمایی های ارزشمند خویش بهره مند ساخته اند، کمال تشکر را دارم. از جناب آقای دکتر بهجت، استاد مدعو داخل و جناب آقای دکتر ضیائی، استاد مدعو خارج به خاطر تفضل داورى این پایان نامه، قدر دانی می کنم.

از کلیه کارمندان مرکز پرتو فرآیندیزد مخصوصا، سرکار خانم انوری، سرکار خانم خیرخواه، سرکار خانم احمدیان، جناب آقای خیرخواه، جناب آقای مهدی زاده، جناب آقای غفور زاده، جناب آقای تقوی زاده، جناب آقای شجاعی و جناب آقای صباغ، که در تهیه نمونه ها و انجام آزمایشات به اینجانب یاری رسانده اند، کمال تشکر را دارم.

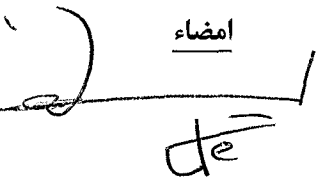
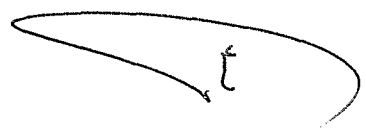

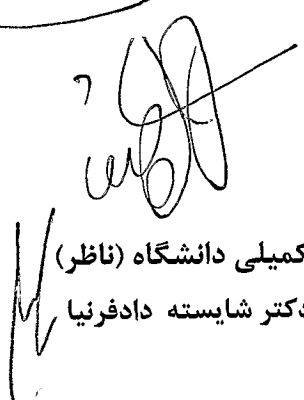
<p>شناسه: ب/ک/۳</p>	<p>صور تجلسه دفاعیه پایان نامه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد</p>	 <p>مدیریت تحصیلات تکمیلی</p>
---------------------	---	--

جلسه دفاعیه پایان نامه تحصیلی آقای / خانم: **زهرا السادات میر باقری فیروز آبادی** دانشجوی  
کارشناسی ارشد

رشته/گرایش: فیزیک اتمی مولکولی

تحت عنوان:

اندازه گیری برخی خواص حرارتی پلی اتیلن سبک تابش دیده با باریکه الکترونی  $10\text{MeV}$   
و تعداد واحد: ۶ در تاریخ ۸۷/۱۱/۱۵ با حضور اعضای هیأت داوران (به شرح ذیل) تشکیل گردید.  
پس از ارزیابی توسط هیأت داوران، پایان نامه با نمره: به عدد ۱۹/۵۰ به حروف نوزده و نیم  
و درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء	نام و نام خانوادگی	عنوان
	دکتر غضنفر میر جلیلی دکتر محمود برهانی	استاد / استادان راهنما:
	آقای مهدی غفاری	استاد / استادان مشاور:
	دکتر عباس پهبجت	متخصص و صاحب نظر داخلی:
	دکتر فرهود ضیائی	متخصص و صاحب نظر خارجی:
<p>نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (ناظر) نام و نام خانوادگی: دکتر شایسته دادفرنیا امضاء:</p>		

## چکیده

در این تحقیق تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه ( $C_p$ ) و هدایت حرارتی ( $k$ ) پلی اتیلن سبک (LDPE) خالص و آلیاژ LDPE/EVA با نسبت‌های ترکیب مختلف (۹۰/۱۰، ۸۰/۲۰ و ۷۰/۳۰) که در شرایط متفاوت فرآوری شده‌اند و سپس تحت تابش پرتو الکترونی پیرانرژی ۱۰ MeV (در محدوده ۲۵۰-۵۰ kGy) قرار گرفته است، مطالعه شده است. ظرفیت گرمایی ویژه و هدایت حرارتی به ترتیب، با تکنیک DSC و دستگاه هدایت حرارتی اندازه‌گیری شده‌اند. نشان داده شده است که هدایت حرارتی نمونه‌های LDPE سرد شده با سرعت‌های متفاوت، در دمای مشخص به طور متوسط، تا قبل از دز تابشی حدود ۱۵۰ kGy با افزایش دز، کاهش می‌یابد، اما از آن پس با افزایش دز، تغییر چندانی ندارد. با افزایش درصد کریستالینیتی، هدایت حرارتی LDPE افزایش می‌یابد. در صورتیکه، ظرفیت گرمایی ویژه LDPE با افزایش درصد کریستالینیتی، کاهش می‌یابد. برای آلیاژ LDPE/EVA، ظرفیت گرمایی ویژه و هدایت حرارتی به طور متوسط تا قبل از دز حدود ۱۵۰ kGy کاهش می‌یابد، اما از آن پس با افزایش دز، تغییر چندانی ندارد. ظرفیت گرمایی ویژه و هدایت حرارتی با افزایش درصد وزنی ماده افزودنی (EVA) نیز افزایش می‌یابند.

## فهرست مطالب

۱	تاریخچه
۶	فصل اول: ساختار پلیمر و پرتودهی
۷	۱-۱- مواد آلی
۷	۱-۲- پلیمر
۸	۱-۳- مونومر
۸	۱-۴- منبع تهیه
۹	۱-۵- واکنش پلیمریزاسیون
۱۰	۱-۶- ساختمان مولکولی
۱۰	۱-۷- واکنش حرارتی
۱۱	۱-۸- ساختمان کریستالی
۱۱	۱-۹- آلیاژ کردن
۱۱	۱-۱۰- مزایای پلاستیک‌ها
۱۱	۱-۱۱- معایب پلاستیک‌ها
۱۲	۱-۱۲- پلی‌اتیلن
۱۲	۱-۱۳- پلی‌اتیلن‌های فشار زیاد
۱۳	۱-۱۴- پلی‌اتیلن‌های فشار کم
۱۳	۱-۱۵- ویژگی‌ها
۱۴	۱-۱۵-۱- چگالی

۱۵	۱-۱۵-۲- نمایه مذاب
۱۶	۱-۱۵-۳- توزیع وزن مولکولی
۱۶	۱-۱۶-۱- مزایا و معایب پلی اتیلن
۱۶	۱-۱۷-۱- پرتو فرآوری
۱۷	۱-۱۷-۱- انواع پرتوها
۱۷	۱-۱۷-۲- کاربردهای پرتو دهی
۱۸	۱-۱۸-۱- مقایسه پیوند عرضی (کراسلینک) به روش شیمیایی و پرتو دهی
۱۸	۱-۱۹-۱- دز
۱۹	۱-۲۰-۱- اثرات پرتو دهی بر پلاستیکها و کمپوزیتها
۲۱	۱-۲۱-۱- مقایسه پرتو دهی الکترونی و پرتو دهی با اشعه گاما
۲۲	۱-۲۲-۱- شتاب دهندهها
۲۲	۱-۲۳-۱- کاربرد تابش دهی پلیمرها
۲۳	۱-۲۴-۱- پلی اتیلن وینیل استات (EVA)
۲۴	۱-۲۴-۱- مقایسه EVA با LDPE
۲۴	۱-۲۴-۲- کاربردهای EVA
۲۴	۱-۲۴-۳- برخی از دلایل افزودن EVA به پلی اتیلن
۲۵	<b>فصل دوم: خواص حرارتی اجسام</b>
۲۶	۱-۲-۱- خواص حرارتی اجسام
۲۶	۲-۲-۱- هدایت حرارتی
۲۹	۱-۲-۲- رسانندگی گرمایی عایقها
۳۳	۳-۲-۱- گرمای ویژه



۳۵	۴-۲- عوامل مؤثر بر گرمای ویژه
۴۱	۵-۲- روش‌های اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی
۴۱	۱-۵-۲- کالریمتری
۴۱	۲-۵-۲- گرماسنجی روشی تفاضلی (DSC)
۴۳	۳-۵-۲- اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی در پلیمرها با استفاده از یک DSC: روش اندازه‌گیری سطح
۴۶	۴-۵-۲- DSC مدوله شده دمایی (TMDSC)
۴۷	۵-۵-۲- مدل TMDSC با نفوذ حرارتی قابل ملاحظه
۴۹	۶-۲- محاسبه هدایت حرارتی از روی منحنی DSC
۵۰	۷-۲- ضریب انبساط حرارتی
۵۰	۸-۲- درجه حرارت انتقال شیشه‌ای ( $T_g$ )
۵۰	۹-۲- دمای ذوب
۵۱	۱۰-۲- دمای کریستالینیتی (بلورینگی)
۵۲	<b>فصل سوم: بررسی برخی از خواص پلی‌اتیلن با رویکرد به کارهای انجام شده</b>
۵۳	۱-۳- بررسی برخی خواص حرارتی پلی‌اتیلن
۵۳	۲-۳- گرمای ویژه پلی‌اتیلن
۵۳	۱-۲-۳- بررسی وابستگی دمایی گرمای ویژه پلی‌اتیلن
۵۵	۲-۲-۳- بررسی ارتباط بین گرمای ویژه و دز
۵۶	۳-۳- هدایت حرارتی پلیمرها (k)
۵۷	۱-۳-۳- بررسی وابستگی دمایی هدایت حرارتی پلی‌اتیلن
۵۸	۲-۳-۳- بررسی وابستگی هدایت حرارتی به کشش

۵۹	۳-۳-۳- بررسی ارتباط بین هدایت حرارتی و دز
۶۰	۳-۴- دمای کریستالینیتی و دمای ذوب پلی اتیلن
۶۲	۳-۵- $\Delta H$ یا گرمای بلور شدن
۶۴	۳-۶- اثر آلیاژ کردن EVA با LDPE بر روی خواص LDPE
۶۹	<b>فصل چهارم: شرح مختصری از دستگاه های مورد استفاده در این پایان نامه</b>
۷۰	۴-۱- شتاب دهنده رودوترون
۷۲	۴-۲- دستگاه پرس گرم
۷۵	۴-۳- شرح دستگاه اکسترودر دوماردونه
۷۶	۴-۳-۱- مشخصه عمومی اکسترودرهای دو ماردونه
۷۷	۴-۳-۲- آمیزه سازی
۷۷	۴-۴- دستگاه گرماسنجی روبشی تفاضلی
۷۷	۴-۴-۱- قسمت های مختلف دستگاه DSC
۷۸	۴-۴-۲- شرایط نمونه گذاری در روش DSC
۷۸	۴-۴-۳- ظرف نگه دارنده نمونه
۷۹	۴-۴-۴- کاربردهای دستگاه DSC
۸۰	۴-۵- دستگاه اندازه گیری رسانایی حرارتی
۸۴	<b>فصل پنجم: انجام آزمایشات و نتایج</b>
۸۵	۵-۱- مقدمه
۸۵	۵-۲- گروه بندی نمونه ها، پارامترهای مؤثر
۸۵	۵-۲-۱- سرعت سرد کردن (Cooling)
۸۸	۵-۲-۲- افزایش EVA

۹۰	۳-۵- پرتودهی نمونه‌ها
۹۰	۴-۵- بخش تجربی
۹۵	<b>فصل ششم: تجزیه و تحلیل نتایج و نتیجه‌گیری</b>
۹۶	۱-۶- تحلیل نتایج تست DSC
۱۰۱	۲-۶- ظرفیت گرمایی ویژه
۱۰۱	۱-۲-۶- تأثیر پرتودهی روی ظرفیت گرمایی ویژه
۱۰۷	۲-۲-۶- تأثیر افزودنی بر روی ظرفیت گرمایی ویژه
۱۱۰	۳-۲-۶- تأثیر سرعت سرد کردن بر روی ظرفیت گرمایی ویژه
۱۱۲	۳-۶- ضریب هدایت حرارتی
۱۱۳	۱-۳-۶- تأثیر پرتودهی بر روی رسانایی حرارتی
۱۲۱	۲-۳-۶- تأثیر افزودنی بر روی رسانایی حرارتی
۱۲۲	۳-۳-۶- تأثیر سرعت سرد کردن نمونه بر روی هدایت حرارتی
۱۲۴	<b>نتیجه‌گیری</b>
۱۲۷	<b>پیشنهادات</b>
۱۲۸	<b>منابع و مأخذ</b>

## فهرست اشکال

- ۱۲ شکل (۱-۱): تشکیل پلی اتیلن از پلیمریزاسیون گاز اتیلن
- ۱۴ شکل (۲-۱): نمایی از ساختار HDPE
- ۱۵ شکل (۳-۱): نمایی از ساختار LDPE
- ۲۱ شکل (۴-۱): پرتودهی جسم عایق
- ۲۳ شکل ۱-۵: ساختار پلیمری پلی وینیل استات
- ۳۰ شکل (۱-۲): انتقال حرارت یک بعدی در یک دیواره مرکب و تشابه الکتریکی
- ۴۵ شکل (۲-۲): منحنی شار گرما بر حسب زمان برای حالت‌های مختلف
- ۴۵ شکل (۳-۲): ترموگرام همدمای برای ipj با آهنگ جاروب‌های متفاوت برای شروع دما در ۳۵۳ k و انتها در ۳۵۴ k
- ۴۶ شکل (۴-۲): سطح زیر هر کدام از منحنی‌های شکل ۲-۳ بر حسب آهنگ جاروب
- ۴۸ شکل (۵-۲): ساختار TMDSC
- شکل (۱-۳): نمودار گرمای ویژه پلی اتیلن سبک (LDPE) پرتودهی نشده با دانسیته
- ۵۳  $\rho=918\text{kgm}^{-3}$  بر حسب دما
- شکل (۲-۳): وابستگی دمایی گرمای ویژه پلی اتیلن دانسیته کم ( $\rho=918\text{kgm}^{-3}$ ) پرتودهی
- ۵۴ شده با اشعه گامای کبالت ۶۰ در سرعت دز  $7/5\text{ Gys}^{-1}$  در هوا با دز  $5\text{Mgy}$
- شکل (۳-۳): وابستگی دمایی گرمای ویژه پلی اتیلن دانسیته کم ( $\rho=918\text{kgm}^{-3}$ ) پرتودهی شده با اشعه گامای کبالت ۶۰ در سرعت دز  $7/5\text{Gys}^{-1}$  در هوا: 1 با دز  $1.0\text{MGy}$ ، 2 با دز  $3.0\text{MGy}$ ، 3 با دز  $5.0\text{MGy}$
- ۵۵ شکل (۴-۳): منحنی تغییرات گرمای ویژه بر حسب دز

- شکل (۳-۵): گرمای ویژه LDPE 0075 با دانسیته  $0.925 \text{ g/cm}^3$  بر حسب دز جذبی در  
 ۵۶ دمای اندازه‌گیری  $75^\circ\text{C}$  ،
- شکل (۳-۶): وابستگی دمایی هدایت حرارتی پلی‌اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا UHMW-PE با  
 ۵۷ و بدون اشعه گاما
- شکل (۳-۷): نفوذ حرارتی بر حسب میزان کشش برای LLDPE بسیار کشیده شده  
 ۵۸
- شکل (۳-۸): نسبت  $\lambda / \lambda_0$  بر حسب دز برای LDPE  
 ۵۹
- شکل (۳-۹): ترموگرام DSC مخلوط پلی‌اتیلن باز یافتی تابش ندیده  
 ۶۰
- شکل (۳-۱۰): خواص حرارتی مخلوط پلی‌اتیلن باز یافتی قبل و بعد از تابش اشعه گاما  
 ۶۱
- شکل (۳-۱۱): تغییرات دمای ذوب و کریستالینیتی بر حسب دز برای LDPE نوع  $L_1$  تابش دیده  
 ۶۱ با بیم الکترونی  $10 \text{ Mev}$
- شکل (۳-۱۲): تغییرات دمای ذوب و کریستالینیتی بر حسب دز برای HDPE نوع  $H_1$  تابش دیده  
 ۶۲ با بیم الکترونی  $10 \text{ Mev}$
- شکل (۳-۱۳): تغییرات گرمای بلور شدن بر حسب دز تابشی برای LDPE نوع  $L_1$  و  $L_C$  تابش دیده  
 ۶۳ با بیم الکترونی  $10 \text{ Mev}$
- شکل (۳-۱۴): تغییرات گرمای بلور شدن بر حسب دز تابشی برای HDPE نوع  $H_1$  تابش دیده با  
 ۶۳ بیم الکترونی  $10 \text{ Mev}$
- شکل (۳-۱۵): نمودار درصد تشکیل ژل برای LDPE و آلیاژهای LDPE-EVA بر حسب دز با  
 ۶۵ باریکه الکترونی  $10 \text{ Mev}$
- شکل (۳-۱۶): نمودار تغییرات دمای نقطه ذوب بر حسب دز جذبی  
 ۶۵
- شکل (۳-۱۷): نمودار تغییرات آنتالپی ذوب بر حسب دز جذبی  
 ۶۶

- شکل (۳-۱۸): منحنی حجم ژل بر حسب حجم EVA ۶۷
- شکل (۳-۱۹) a, b: تصاویر SEM از آلیاژ LDPE/EVA ۶۸
- شکل (۳-۲۰): نمودار شار گرما بر حسب دما برای آلیاژ LDPE/EVA ۶۹
- شکل (۴-۱): شتاب دهنده رودوترون مرکز پرتو فرآیند یزد ۷۰
- شکل (۴-۲): مقطعی از حفره کواکسیال شتاب دهنده رودوترون ۷۲
- شکل (۴-۳): مسیر حرکت الکترون در حفره کواکسیال شتاب دهنده رودوترون ۷۲
- شکل (۴-۴): شمای کلی دستگاه پرس ۷۳
- شکل (۴-۵): بخش کنترل دستگاه پرس ۷۴
- شکل (۴-۶): طرح شماتیک دستگاه Twin Screw Extruder ۷۶
- شکل (۴-۷): نمایی از دستگاه DSC ۸۰
- شکل (۴-۸): یک نوع نوار PCB ۸۱
- شکل (۴-۹): شکل گرم کننده PCB ۸۲
- شکل (۴-۱۰): دستگاه اندازه گیری هدایت حرارتی ۸۳
- شکل (۶-۱): ترموگرام DSC برای نمونه سرد شده درآون بر حسب زمان ۹۰
- شکل (۶-۲): ترموگرام DSC برای نمونه سرد شده در نیتروژن مایع بر حسب زمان ۱۰۰
- شکل (۶-۳): تغییرات ظرفیت گرمائی ویژه آلیاژ LDPE/EVA (۹۰/۱۰) سرد شده توسط سیستم خنک کننده دستگاه پرس گرم بر حسب دز تابشی (اندازه گیری در دمای °C ۴۰). ۱۰۲
- شکل (۶-۴): تغییرات ظرفیت گرمائی ویژه آلیاژ LDPE/EVA (۸۰/۲۰) سرد شده توسط سیستم خنک کننده دستگاه پرس گرم بر حسب دز تابشی (اندازه گیری در دمای °C ۴۰). ۱۰۳
- شکل (۶-۵): تغییرات ظرفیت گرمائی ویژه آلیاژ LDPE/EVA (۷۰/۳۰) سرد شده توسط سیستم خنک کننده دستگاه پرس گرم بر حسب دز تابشی (اندازه گیری در دمای °C ۴۰). ۱۰۳

- شکل (۶-۶): تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه آلیاژهای LDPE/EVA سرد شده توسط سیستم خنک کننده دستگاه پرس گرم بر حسب دز تابشی (اندازه گیری در دمای  $40^{\circ}\text{C}$ ).  
۱۰۴
- شکل (۷-۶): تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه آلیاژ LDPE/EVA ( $90/10$ ) سرد شده توسط سیستم خنک کننده دستگاه پرس گرم بر حسب دز تابشی (اندازه گیری در دمای  $125^{\circ}\text{C}$ ).  
۱۰۵
- شکل (۸-۶): تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه آلیاژ LDPE/EVA ( $80/20$ ) سرد شده توسط سیستم خنک کننده دستگاه پرس گرم بر حسب دز تابشی (اندازه گیری در دمای  $125^{\circ}\text{C}$ ).  
۱۰۵
- شکل (۹-۶): تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه آلیاژ LDPE/EVA ( $70/30$ ) سرد شده توسط سیستم خنک کننده دستگاه پرس گرم بر حسب دز تابشی (اندازه گیری در دمای  $125^{\circ}\text{C}$ ).  
۱۰۶
- شکل (۱۰-۶): تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه آلیاژهای LDPE/EVA سرد شده توسط سیستم خنک کننده دستگاه پرس گرم بر حسب دز تابشی (اندازه گیری در دمای  $125^{\circ}\text{C}$ ).  
۱۰۶
- شکل (۱۱-۶): نمودار ظرفیت گرمایی ویژه آلیاژ پرتودهی شده توسط دز  $50\text{ kGy}$  بر حسب درصد مولفه EVA در دمای  $40^{\circ}\text{C}$ .  
۱۰۹
- شکل (۱۲-۶): نمودار ظرفیت گرمایی ویژه آلیاژ پرتودهی شده توسط دز  $50\text{ kGy}$  بر حسب درصد مولفه EVA در دمای  $125^{\circ}\text{C}$ .  
۱۰۹
- شکل (۱۳-۶): مقایسه نمودارهای ظرفیت گرمایی ویژه آلیاژ پرتودهی شده توسط دز  $50\text{ kGy}$  بر حسب درصد مولفه EVA در دماهای  $40^{\circ}\text{C}$  و  $125^{\circ}\text{C}$ .  
۱۱۰
- شکل (۱۴-۶): نمودار ظرفیت گرمایی ویژه بر حسب درصد بلورینگی برای LDPE  
۱۱۲
- شکل (۱۵-۶): تغییرات ضریب هدایت حرارتی آلیاژ LDPE/EVA ( $90/10$ ) (سرد شده توسط سیستم خنک کننده دستگاه پرس گرم) بر حسب دز تابشی.  
۱۱۴
- شکل (۱۶-۶): تغییرات ضریب هدایت حرارتی آلیاژ LDPE/EVA ( $80/20$ ) (سرد شده توسط سیستم خنک کننده دستگاه پرس گرم) بر حسب دز تابشی.  
۱۱۵
- شکل (۱۷-۶): تغییرات ضریب هدایت حرارتی آلیاژ LDPE/EVA ( $70/30$ ) (سرد شده توسط سیستم خنک کننده دستگاه پرس گرم) بر حسب دز تابشی.  
۱۱۵
- شکل (۱۸-۶): تغییرات ضریب هدایت حرارتی آلیاژهای LDPE/EVA (سرد شده توسط سیستم خنک کننده دستگاه پرس گرم) بر حسب دز تابشی.  
۱۱۶

- ۱۱۷ شکل (۶-۱۹): تغییرات مقاومت حرارتی آلیاژهای LDPE/EVA بر حسب دز تابشی
- ۱۱۷ شکل (۶-۲۰): تغییرات مقاومت سطحی بر حسب دز تابشی
- ۱۱۸ شکل (۶-۲۱): تغییرات مقاومت حجمی بر حسب دز تابشی
- ۱۱۹ شکل (۶-۲۲): تغییرات ضریب هدایت حرارتی LDPE سرد شده در هوا بر حسب دز تابشی
- ۱۱۹ شکل (۶-۲۳): تغییرات ضریب هدایت حرارتی LDPE سرد شده با کاست بر حسب دز تابشی
- ۱۲۰ شکل (۶-۲۴): تغییرات ضریب هدایت حرارتی LDPE سرد شده در نیتروژن مایع بر حسب دز تابشی
- ۱۲۰ شکل (۶-۲۵): تغییرات ضریب هدایت حرارتی LDPE سرد شده با سرعت های سرد کردن متفاوت  
بر حسب دز تابشی
- ۱۲۱ شکل (۶-۲۶): تغییرات ضریب هدایت حرارتی آلیاژ LDPE/EVA پرتودهی نشده بر حسب درصد EVA
- ۱۲۳ شکل (۶-۲۷): نمودار ضریب هدایت حرارتی LDPE بر حسب درصد بلورینگی



## فهرست جداول

- جدول (۱-۲): ارتباط بین رسانایی گرمایی و سرعت صوت و فاصله بین ذرات ۳۲
- جدول (۱-۳): دمای ذوب و بلورینگی آلیاژ LDPE/EVA با درصدهای متفاوت پلی اتیلن وینیل استات ۶۶
- جدول (۱-۵): جدول فشار- زمان برای تهیه نمونه‌ها ۸۷
- جدول (۲-۵): ظرفیت گرمائی ویژه نمونه‌های آلیاژ 90/10 از LDPE/EVA در  $40^{\circ}\text{C}$  ۹۱
- جدول (۳-۵): ظرفیت گرمائی ویژه نمونه‌های آلیاژ 80/20 از LDPE/EVA در  $40^{\circ}\text{C}$  ۹۱
- جدول (۴-۵): ظرفیت گرمائی ویژه نمونه‌های آلیاژ 70/30 از LDPE/EVA در  $40^{\circ}\text{C}$  ۹۱
- جدول (۵-۵): ظرفیت گرمائی ویژه نمونه‌های LDPE تهیه شده با سرعت های سرد کردن متفاوت در  $40^{\circ}\text{C}$  ۹۲
- جدول (۶-۵): ظرفیت گرمائی ویژه نمونه‌های آلیاژ 90/10 از LDPE/EVA در  $125^{\circ}\text{C}$  ۹۲
- جدول (۷-۵): ظرفیت گرمائی ویژه نمونه‌های آلیاژ 80/20 از LDPE/EVA در  $125^{\circ}\text{C}$  ۹۲
- جدول (۸-۵): ظرفیت گرمائی ویژه نمونه‌های آلیاژ 70/30 از LDPE/EVA در  $125^{\circ}\text{C}$  ۹۲
- جدول (۹-۵): ظرفیت گرمائی ویژه نمونه‌های LDPE0075 تهیه شده با سرعت های سرد کردن متفاوت در  $125^{\circ}\text{C}$  ۹۳
- جدول (۱۰-۵): هدایت حرارتی آلیاژهای LDPE/EVA با درصدهای جرمی متفاوت از EVA ۹۳
- جدول (۱۱-۵): هدایت حرارتی برحسب  $\text{Watt}/(\text{m.k})$  برای نمونه‌های تهیه شده با سرعت های سرد کردن متفاوت ۹۴
- جدول (۱۲-۵): هدایت حرارتی برای نمونه‌های تهیه شده با سرعت های سرد کردن متفاوت ۹۴
- جدول (۱-۶): ظرفیت گرمائی ویژه و درصد بلورینگی برای نمونه‌های تهیه شده با سرعت های سرد کردن متفاوت ۱۰۵
- جدول (۲-۶): هدایت حرارتی و درصد بلورینگی برای نمونه‌های تهیه شده با سرعت های سرد کردن متفاوت ۱۱۵

## تاریخچه:

با پرتودهی می توان خواص مکانیکی، شیمیایی، حرارتی و ... اجسام را تغییر داد. تا کنون مطالعات زیادی در این خصوص انجام شده است که در این جا سعی می شود برخی مطالعات مربوط به خواص حرارتی پلی اتیلن در اثر تابش ارائه شود.

B.A.Briskman، اثرات پرتودهی به وسیله اشعه گامای کبالت ۶۰ در هوا روی هدایت حرارتی، ظرفیت گرمایی، نفوذ حرارتی، ضریب انبساط خطی، چگالی، درجه بلورینگی (کریستالینیتی) و انتقال فاز حرارتی و گرمائی را فقط برای پلی اتیلن چگالی کم و زیاد با استفاده از خلاصه کردن ۲۷ مقاله معرفی کرده است. افزایش گرمای ویژه بین ۲۹۳K تا ۳۴۳K خطی است. بین ۳۴۳K تا ۳۸۳K این افزایش گرمای ویژه سریعتر است و این بر شروع ذوب فاز کریستالی اشاره دارد. در محدوده دمایی ۳۸۳K تا ۳۸۶K یک اثر همدمای مشاهده می شود و گرمای ویژه از ۱۱ به  $1/6 \text{ kJ(Gk)}^{-1}$  افت می کند. در اثر پرتودهی و در نتیجه کراسلینک شدن گرمای ویژه کاهش می یابد. برای LDPE، با افزایش دز در دماهای اندازه گیری زیر نقطه نرم شدگی، هدایت حرارتی کاهش می یابد و اما با افزایش دز در دماهای اندازه گیری بالاتر از نقطه ذوب، هدایت حرارتی افزایش می یابد [۱]. D. D.B.Mergentaler و همکاران با تحقیق روی پلی اتیلن بسیار کشیده شده به این نتیجه رسیدند که نفوذ حرارتی (که معادل است با هدایت حرارتی/ ظرفیت گرمائی) در جهت عمود بر کشش با افزایش میزان کشش، کاهش می یابد اما در جهت موازی با کشش با افزایش میزان کشش، افزایش می یابد [۲]. Atsuhiko Yamanaka و همکاران برای بررسی سهم طول زنجیر مولکولی روی هدایت حرارتی در فیبر پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا (UHMW-PE)، هدایت حرارتی در محدوده دمایی پایین را برای فیبر پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا (UHMW-PE) بسیار کشیده شده پرتودهی شده توسط پرتو  $\gamma$  (که باعث برش زنجیر مولکولی می شود) را مورد بررسی قرار دادند. ملاحظه شده است که ظرفیت گرمایی به طور جزئی

با تابش اشعه گاما کاهش می‌یابد. همچنین، هدایت حرارتی با و بدون تابش اشعه گاما با کاهش دما، کاهش می‌یابد، که کاهش هدایت حرارتی با تابش پرتو گاما قابل ملاحظه است. کاهش هدایت حرارتی توسط برش زنجیر مولکولی و در نتیجه کاهش مسافت آزاد میانگین فونون‌ها توجیه شده است [۳].

Dj.Gheysari و همکاران با تحقیق بر روی پلی‌اتیلن چگالی کم و زیاد با پرتو الکترونی  $10\text{ MeV}$  به این نتیجه رسیدند که دمای بلورینگی و گرمای بلورشدن نمونه تابش دیده به آرامی با افزایش دز تابشی کاهش می‌یابد که این کاهش به خاطر کراسلینک شدن است [۴]. Mariam Al-Ali با تحقیق بر روی مخلوط پلی‌اتیلن چگالی زیاد و چگالی کم در درصد‌های متفاوت پرتو دهی شده توسط پرتو الکترونی پرتو گامای کبالت  $60$ ، گزارش کردند که شدت پیک ذوب مربوط به مولفه پلی‌اتیلن چگالی کم با افزایش دز جذبی کاهش می‌یابد اما شدت پیک ذوب مربوط به مولفه پلی‌اتیلن چگالی زیاد با افزایش دز جذبی افزایش می‌یابد و به دماهای پایینتر انتقال می‌یابد [۵]. Joao Carlos Miguez Suarez و همکاران با تحقیق بر روی مخلوط LDPE/HDPE 75/25 بازیافتی تحت تاثیر دزهای پایین تابش پرتو گامای کبالت  $60$  به این نتیجه رسیدند که دمای ذوب و دمای بلورینگی با افزایش دز تابشی کاهش می‌یابد [۶].

G.Kalapasrad و همکاران با تحقیق بر روی پلی‌اتیلن تقویت شده با سیسال (SRP) و پلی‌اتیلن تقویت شده با شیشه (GRP) به این نتیجه رسیدند که هدایت حرارتی GRP تفاوت قابل ملاحظه‌ای با هدایت حرارتی LDPE دارد. در صورتیکه که هدایت حرارتی SRP تفاوت قابل ملاحظه‌ای با هدایت حرارتی LDPE ندارد. این رفتار مشاهده شده به دلیل حضور یون‌های  $\text{Fe}^{2+}$  در فیبر شیشه‌ای است، همچنین مشاهده شد که هدایت حرارتی در LDPE، مخلوط GRP و LDPE و مخلوط SRP و LDPE با افزایش دما افزایش می‌یابد [۷].

H.A.Khonakdar و همکاران با تحقیق بر روی پلی اتیلن چگالی کم و پلی اتیلن چگالی زیاد کراسلینک شده به روش شیمیایی و با تابش به این نتیجه رسیدند که کراسلینک شیمیایی که در فاز مذاب اتفاق می افتد، مانع از فرآیند کریستالی شدن می شود و درجه کریستالینیتی را کاهش می دهد. همینطور اندازه سایز کریستال را کاهش می دهد. اما کراسلینک ناشی از تابش که در فاز جامد اتفاق می افتد هیچ اثر مشخصی روی ناحیه کریستالی ندارد. LDPE در مقایسه با HDPE، به دلیل حضور اتم های کربن نوع سوم و شاخه دار برای کراسلینک شدن مستعدتر است [۸].

S.X.Xu بدست آوردند یک حل تحلیلی تقریبی و یک مدل عددی که برای تحلیل اثرات نفوذ حرارتی روی توزیع حرارتی داخل نمونه و ظرفیت گرمایی اندازه گیری شده به روش DSC مدوله شده دمایی (TMDSC) قابل استفاده است [۹]. F.Hernandez-Sanchez یک روش برای اندازه گیری ظرفیت گرمایی با استفاده از سطح زیر منحنی DSC ( که این روش نیازی به ماده مرجع ندارد) بدست آورد [۱۰].

Jamaliah Sharif و همکاران با تحقیق بر روی مخلوط پلی اتیلن چگالی کم و اتیلن وینیل استات به افزایش حجم ژل اندازه گیری شده، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول در اثر تابش پرتو الکترونی پی بردند [۱۱]. S.M.A.Salehi و همکاران با مطالعه کراسلینک شدن مخلوط پلی - اتیلن چگالی کم با درصدهای مختلف پلی اتیلن وینیل استات با اندازه گیری حجم ژل، خواص مکانیکی و حرارتی به این نتیجه رسیدند که این مخلوط ها می توانند با یک پرتو الکترونی پراثرژی کراسلینک شوند و خواص مکانیکی و حرارتی نمونه ها به طور مؤثر تغییر می کند. در این مخلوط ها به واسطه وجود حجم پلی اتیلن وینیل استات، حساسیت نسبت به دزهای پایین بیشتر بوده است [۱۲]. H.A.Khonakdar و همکاران پی بردند به این که مخلوط های پلی اتیلن چگالی کم و اتیلن وینیل استات کراسلینک نشده بیان می کنند دو پیک ذوب تغییر نمی کند، اما درجه کریستالینیتی کاهش می یابد. کراسلینک کردن به روش شیمیایی کریستالینیتی را کاهش می دهد