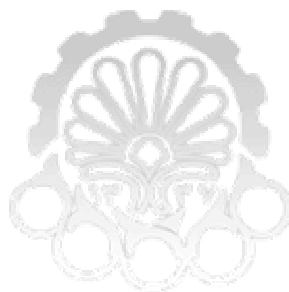


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی پلیمر

پایان نامه کارشناسی ارشد - گرایش پلیمر

تهیه و بررسی خواص ویسکوالاستیک نانوکامپوزیت بر پایه ترموپلاستیک  
الاستومرهای پخت شده دینامیکی EPDM/PP با استفاده از سیستم پخت

پراکسیدی

نگارش:

امیرجلال جلالی

استاد راهنما:

دکتر فاطمه گوهرپی

استاد مشاور:

دکتر حسین نازکدست

دکتر علی اصغر کتاب

اردیبهشت ۱۳۸۶

:  
:



( )

: □ □ ⊗ :  
:

:

EPDM/PP  
Preparation and melt viscoelastic study of Nanocomposites based on Dynamically :  
Vulcanized thermoplastic elastomers EPDM/PP Using Peroxide Crosslinking System

⊗ :

: // : // :  
:

Thermoplastic Elastomer , nanocomposite, Rheology

:  
:  
:  
:  
:  
:

:  
:

چکیده :

در کار تحقیقاتی حاضر، نانوکامپوزیت های بر پایه ترموپلاستیک الاستومرهای پخت شده دینامیکی ، TPV ، ( EPDM/PP با نسبت وزنی 60/40 ) حاوی 2,4,6 درصد وزنی از مونتموریلونیت اصلاح شده همراه با PP-MA و EPDM-MA به عنوان سازگارکننده تهیه گردید. سیستم پخت مورد استفاده شامل دی کیومیل پراکسید (DCP) و تری آلیل سیانورات (TAC) بوده است. در این مرحله نانوفیلر منحصر به فاز الاستومر تغذیه گردید. مورفولوژی نانوکامپوزیت ها توسط SEM, XRD و AFM مورد ارزیابی قرار گرفت. خواص ویسکوالاستیک مذاب خطی و غیر خطی نانوکامپوزیت ها با بررسی ویسکوزیته کمپلکس، مدول ذخیره ، تابع توزیع آسودگی از تنش و همچنین آزمون Stress growth مورد مطالعه قرار گرفت.

نتایج حاکی از تشکیل مورفولوژی ماتریس - دیسپرس شامل EPDM-MA/Clay به عنوان پوسته و EPDM به عنوان هسته بصورت فاز متفرق در فاز پیوسته PP/PP-MA می باشد. همچنین تشکیل ساختار شبکه ای از لایه های intercalated از Clay در ترکیب درصد 6 در پوسته EPDM نشان داده شده است.

در مرحله بعد نمونه هایی بر پایه 6 درصد وزنی از ارگانوفیلر با تغییر شرایط خوراک دهی متفاوت (افزودن Clay به فاز PP و افزودن آن به TPV) تهیه شدند. خواص رئولوژیکی و مورفولوژیکی نمونه ها بر اساس تغییر شرایط خوراک دهی با هم مورد مقایسه قرار گرفتند.

در پایان از آزمون خواص فیزیکی مکانیکی ، Tensile ، و آزمون حرارتی ، DSC ، به عنوان شاهد استفاده گردید.

# فصل اول

## ترمو پلاستیک الاستومر ها

## ۱-۱- آشنایی با ترموپلاستیک الاستومرها:

ظهور ترموپلاستیک الاستومرها (TPEs) در اواخر دهه‌ی 1950 افق جدیدی را در زمینه‌ی علوم و تکنولوژی پلیمرها ایجاد کرد. ترموپلاستیک الاستومرها، گروهی از مواد پلیمری هستند که ضمن برخورداری از بسیاری ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی لاستیک‌های پخت شده، از قابلیت فرآیند شدن همانند یک ترموپلاستیک برخوردارند [1]. ترموپلاستیک الاستومرها موادی هستند که:

۱. بعد از تغییر فرم‌های بالا، سریعاً به جای اول خود بازمی‌گردند.
۲. طبق تعریف استاندارد ASTM D 1566، تحت تغییر فرم‌های بالا، به بیش از ۱۰۰ درصد کشیده می‌شوند.
۳. میزان تغییر فرم برگشت‌ناپذیر (Set) در آنها کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد [2].

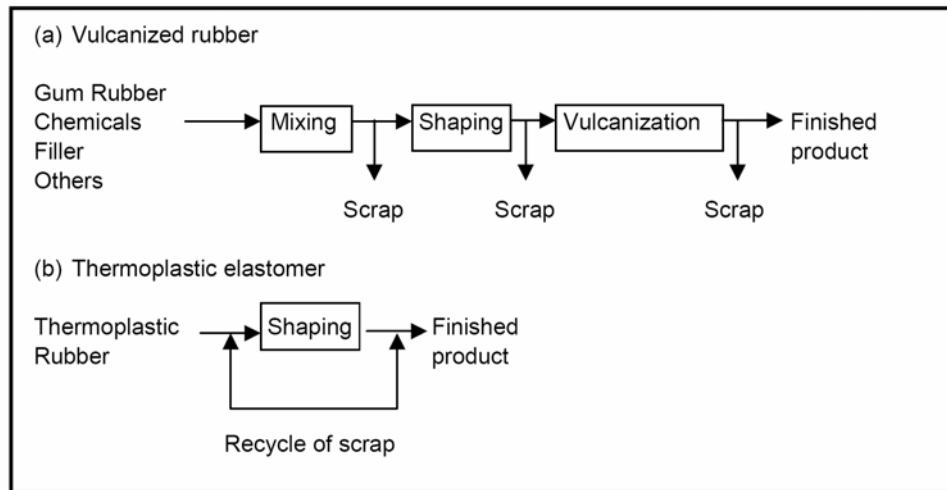
اکثر TPEها، از یک فاز نرم و انعطاف‌پذیر لاستیکی با دمای انتقال شیشه‌ای پایین ( $T_g$ ) و یک فاز سخت و شیشه‌ای با دمای ذوب  $T_m$  و یا  $T_g$  بالا تشکیل شده‌اند. محدوده درجه حرارت قابل استفاده ترموپلاستیک الاستومرها بین  $T_g$  فاز نرم و  $T_m$  فاز سخت می‌باشد. خواص ویژه و منحصر به فرد این دسته از پلیمرها، آنها را به عنوان جایگزینی مناسب نسبت به الاستومرها برای صنعت خودروسازی مطرح کرده است. با این حال، این مواد مزایا و معایب خاص خود را دارند. از مزایای آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. در مقایسه با الاستومرها، نیازی به ولکانیزاسیون یا پخت آنها وجود ندارد و نیز آمیزه‌سازی یا Compounding کمتری نیاز است.

۲. روش‌های مرسوم شکل‌دهی ترموپلاستیک‌ها نظیر قالب‌گیری تزریقی (Injection molding)، قالب‌گیری دمشی (Blow molding) و Thermoforming برای آنها قابل استفاده است.

۳. فرایندپذیری آنها راحت‌تر، سریع‌تر و همراه با مصرف انرژی کمتر بوده و در بسیاری مواقع نیاز به آمیزه کاری ندارند. شکل (۱-۱)

۴. این مواد بعد از شکل‌گیری از قابلیت بازیافت و شکل‌دهی مجدد برخوردارند.



شکل ۱-۱- مقایسه پروسه فرایند در الاستومرها و ترموپلاستیک الاستومرها

۵. کنترل کیفیت آنها راحت‌تر بوده و تolerانس قطعات تولید شده بسیار به هم نزدیک است.

۶. رنگ‌پذیری بهتر

از معایب آنها نیز میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. TPEها معمولاً در دماهای بالا نرم می‌شوند، به همین دلیل مقداری از خاصیت ارتجاعی

(Rubbery) خود را از دست می‌دهند.

۲. رفتار Creep (خزش) در زمان‌های طولانی مصرف نشان می‌دهند [3].

در مجموع سرعت و سهولت فرآیند شکل دهی ترموپلاستیک الاستومرها باعث صرفه جویی در وقت و هزینه تولید محصول میگردد.

## ۲-۱- انواع ترموپلاستیک الاستومرها

در حال حاضر ترموپلاستیک الاستومرهای مورد مصرف در صنایع مختلف را می توان از نقطه نظر روش تهیه و ساختار مولکولی و مورفولوژیکی آنها، به صورت زیر تقسیم بندی نمود.

### ۱-۲-۱- ترموپلاستیک الاستومرهای از نوع بلوک کوپلیمر

این گروه از ترموپلاستیک الاستومرها از ساختار بلوک کوپلیمر برخوردار می باشند، به طوری که زنجیر مربوطه از به هم پیوستن یکسری بلوکهای منعطف و بلوک تشکیل گردیده است و از سابقه ی طولانی تری نسبت به انواع دیگر ترموپلاستیک الاستومرها برخوردارند. این ساختار مولکولی باعث می شود تا این مواد در مسیر انتقال حالت مذاب به جامد، دچار جدایی فازی گردیده و یک ساختار دوفازی که از نظر ترمودینامیکی پایدارترین حالت می باشد، تشکیل دهند. بدین ترتیب که بخش سخت مولکولی تجمع یافته فاز سخت را تشکیل می دهد، در حالی که بخش انعطاف پذیر آنها را فاز نرم می سازند، که تشکیل یک شبکه ی سه بعدی فیزیکی را می دهند. این ساختار فازی عامل اصلی تعیین کننده ویژگی های این نوع مواد ترموپلاستیک الاستومر می باشد. بلوک کوپلیمر پلی استایرن - الاستومر، پلی اورتان - الاستومر، پلی اتر - الاستومر و پلی آمید - الاستومر از انواع ترموپلاستیک الاستومر بلوک کوپلیمری هستند.

### ۱-۲-۲- ترموپلاستیک الاستومرهای آلیاژی

ترموپلاستیک الاستومرهای آلیاژی با روش آلیاژسازی تهیه می گردند و به دلایل مختلف به خصوص انعطاف پذیری در انتخاب مواد و به تبع آن در کنترل خواص و جنبه های اقتصادی، از رشد قابل ملاحظه ای نسبت به گروه اول برخوردار گردیده اند.



### ۱-۲-۲-۱- ترموپلاستیک الاستومرهای آلیاژی پلی الفینی (TPO)

این گروه از ترموپلاستیک الاستومرها از آلیاژسازی یک الاستومر با یک پلی الفین به دست می آیند و به همین دلیل TPO نامیده می شوند. از جمله این مواد آلیاژهای EPDM/PP ، NBR/PP و NR/PE را می توان نام برد. سختی قطعات ساخته شده از این مواد، معمولاً کمتر از 80 Shore A بوده و کاربرد آنها تا دمای محیط می باشد [4]. این مواد به دلیل دارا بودن خاصیت ضربه پذیری زیاد و مدول کم، جایگزین مواد ترموپلاستیکی می گردند. درصد فاز لاستیکی در این مواد محدود است و معمولاً از حد معینی نباید تجاوز نماید. افزایش جزء لاستیکی سبب تغییر در مورفولوژی آنها می گردد؛ زیرا که موجب وقوع پدیده‌ی معکوس شدن فازها شده و فاز ترموپلاست به عنوان فاز پیوسته، جای خود را به فاز لاستیکی داده و آلیاژ رفتار ترموپلاستیک خود را از دست می دهد.

### ۱-۲-۲-۲- ترموپلاستیک الاستومرهای ولکانیزه شده‌ی دینامیکی

این گروه از ترموپلاستیک الاستومرها از اختلاط مذاب مکانیکی یک یا چند پلیمر ترموپلاستیک با یک الاستومر در حضور سیستم ولکانیزه کننده تهیه می شوند و به TPV معروفند. از ویژگی این گروه از TPE ها، متفرق بودن فاز لاستیکی به صورت ذرات ریز پخت شده در بستر ترموپلاستیک می باشد. پخت دینامیکی باعث تقویت اتصال دو فاز در سطح مشترک آنها می گردد. مهم ترین انواع این گروه از آلیاژ پلی اتیلن یا پلی پروپیلن با الاستومر EPDM ، NR ، SBR ، و یا NBR با حضور سازگارکننده، حاصل می شود.

در تهیه‌ی ترموپلاستیک الاستومرهای پخت شده‌ی دینامیکی، اجزای آلیاژ در حالت مذاب در مخلوط کننده‌های دینامیکی مخلوط شده، سپس با افزایش یک سیستم پخت مناسب فاز الاستومری در حین اختلاط شبکه‌ای می گردد. دمای اختلاط معمولاً بالاتر از دمای ذوب فاز پلاستیکی است و باید این دما برای فعالیت سیستم پخت نیز مناسب باشد. درجه‌ی شبکه‌ای شدن فاز الاستومر در

یک TPV باید زیاد باشد تا خواص آن بهبود قابل توجهی را نسبت به خواص TPV از خود نشان دهد. فرآیند پخت دینامیکی نه فقط مورفولوژی ترموپلاستیک الاستومرها را پایدار می‌کند، بلکه موجب وارونگی فازی می‌گردد. بدین ترتیب که فاز الاستومری علی‌رغم آن که جزء اصلی آلیاژ را تشکیل می‌دهد، با این حال به صورت پخت شده، در فاز پیوسته متفرق می‌گردد [5].

خواص موادی که تحت فرآیند پخت دینامیکی قرار می‌گیرند، با مخلوط‌های مشابه پخت نشده، تفاوت زیادی دارد. با عمل پخت دینامیکی، خواص محصول نهایی به مقدار زیادی بهبود می‌یابد. به عنوان مثال می‌توان به کاهش مانایی فشاری و کششی، بهبود خواص نهایی ماده از قبیل مقاومت کششی، بهبود مقاومت خستگی، بهبود مقاومت در مقابل روغن‌ها و پایداری مورفولوژی در حالت مذاب اشاره نمود [6].

### ۱-۳- انواع سیستم‌های پخت

سیستم‌های پخت مورد استفاده در تهیه TPV ها، همان سیستم‌های معمول در پخت آمیزه‌های لاستیکی، نظیر سیستم پخت گوگردی، رزین فنولیک و پراکسید می‌باشد.

#### ۱-۳-۱- سیستم پخت گوگردی

ولکانیزاسیون EPDM و سایر الاستومرها معمولاً در حضور فعال‌کننده‌ها (نظیر ZnO و اسید استئاریک)، شتاب‌دهنده‌ها (MBTS: دی‌بنزوتیازول دی‌سولفاید) و TMTD (تترامتیل تیاروام دی‌سولفاید) انجام می‌گردد. مکانیسم پخت EPDM تقریباً مشابه مکانیسم پخت الاستومرهای پلی‌دی‌ان است.

یک نمونه سیستم پخت گوگردی که توسط Coran و Patel [7] برای پخت دینامیکی ترموپلاستیک الاستومرهای بر پایه EPDM/PP استفاده شده است، در جدول (۱-۱) آمده است.

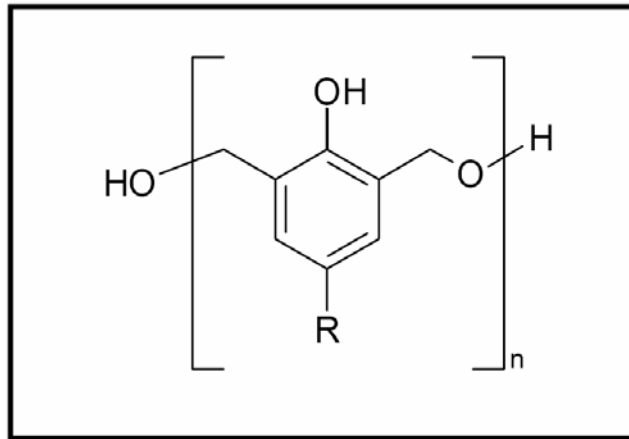
جدول ۱-۱- سیستم پخت گوگردی مورد استفاده در TPV های بر پایه EPDM/PP

Component	Amount (phr)*
EPDM	100
Polyolefin resin	X
ZnO	5
Stearic acid	1
Sulfur	Y
TMTD	Y/2
MBTS	Y/4

در این جدول، Phr X رزین پلی‌الفین و Phr Y گوگرد است که می‌تواند متغیر باشند. با افزایش میزان گوگرد از صفر تا 20 Phr، خواص الاستیک EPDM/PP در ترکیب درصد 60/40 به شدت افزایش می‌یابد. استحکام کششی از 4.9 تا 24.3 مگاپاسکال، ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست از 190 تا 530 درصد افزایش یافته و میزان Set از 66 تا 16 درصد کاهش می‌یابد. اندازه‌ی ذره در آلیاژهای پخت شده‌ی دینامیکی، تأثیر به‌سزایی در خواص مکانیکی دارد، به طوری که با کاهش اندازه‌ی ذره، میزان استحکام و ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست افزایش می‌یابد. علی‌رغم این، سیستم پخت گوگردی در تهیه TPV های تجاری EPDM/PP مطلوب نمی‌باشد، چراکه به علت دمای ذوب بالای PP و به تبع آن دمای فرایند بالا میزان اتصالات عرضی کاهش یافته و ناپایداری حرارتی نیز به نوبه‌ی خود کاهش می‌یابد. به علاوه، تولید و فرآیند این دسته از TPV ها در حضور سیستم پخت گوگردی متحمل بوی بد ناشی از مسمومیت گوگرد است [8]. مهم‌ترین سیستم‌های پخت متداول برای TPV های بر پایه‌ی EPDM/PP، سیستم فنولی و پراکسیدی می‌باشد.

۱-۳-۲- سیستم پخت فنولی

رزین‌های فنولیک از پلیمریزاسیون تراکمی فنول‌ها و آلدهیدها به دست می‌آیند. رزین‌های فنولیک به دو دسته‌ی اصلی رزول‌ها و نوالاک‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند. این دو گروه دارای ساختار شیمیایی و واکنش‌پذیری متفاوت هستند، که این خود ناشی از تفاوت در نسبت مولی فنول به فرمالدهید و نیز pH محیط تهیه‌ی رزین است. رزول‌ها معمولاً توسط گروه‌های فعال متیلول و دی‌متیلن - اتر شناخته می‌شوند، در حالی که نوالاک‌ها گروه‌های فعال و واکنش‌دهنده‌ی متیلول ندارند و به موجب آن نمی‌توانند به عنوان یک عامل پخت‌کننده، مورد استفاده قرار گیرند. ساختار کلی یک رزین رزولی در شکل (۱-۲) آورده شده است [9].



شکل ۱-۲- ساختار شیمیایی یک رزول فنولی

استفاده از رزول‌ها برای پخت فاز رابری در TPVها منجر به بروز خواص مناسب و قابل توجه حرارتی محصول می‌گردد. مکانیسم پخت EPDM حاوی ENB (به عنوان دی‌ان مونور) به صورت گسترده و وسیعی توسط Dvin و همکاران [10] مورد مطالعه قرار گرفته است.

EPDM موجود در TPVها، عموماً توسط رزین فعال آلکیل فنولیک با نام تجاری (Bchenectady sp 1045) و آمیزه‌های حاوی گروه‌های هالوژنی پخت می‌شود. هالیدهای فلزی

مشتق از اسیدهای کمپلکس برونستد نظیر کلرید قلع هیدراته، کلرید آهن و یا کلرید روی به عنوان کاتالیست مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ابتدا پل اتری شکافته شده و واحدهای تکی فنولیک حاوی کاتیون بنزیلیک تولید می‌گردند. سپس این کاتیون‌های بنزیلیک با گروه‌های غیراشباع الاستومر EPDM وارد واکنش می‌شوند تا واکنش پخت را به پیش ببرند [11]. Abdou-Sabet و Fath [12] نشان داده‌اند که خواص رابری TPV های EPDM/PP با استفاده از عامل پخت‌کننده دی‌متیلول‌اکتیل فنول بهبود می‌یابد. فرآیندپذیری، مقاومت در برابر روغن و Set نیز در نمونه‌ها، بهبود قابل ملاحظه‌ای یافته است. این بهبود در خواص می‌تواند ناشی از تشکیل در جای (in-situ) یک کوپلیمر پیوندی باشد که بین ذرات رابر و ماتریس PP تشکیل می‌شود. این کوپلیمر از واکنش بین PP عامل دار شده توسط دی‌متیلول‌اکتیل فنول و EPDM می‌باشد.

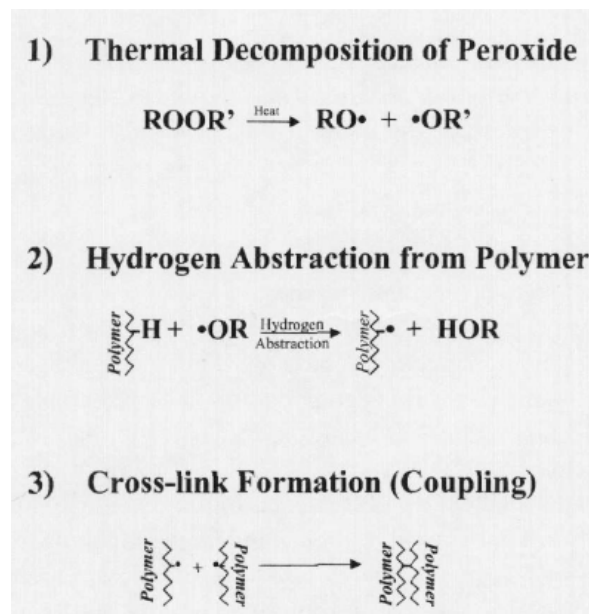
سیستم پخت فنولی نیز معایب خاص خود را دارد. یکی از بزرگترین مشکلات آن Hygroscopicity (یعنی جذب رطوبت)، حتی در دمای محیط می‌باشد، به طوری که قبل از فرآیندهای شکل‌دهی مراحل خشک کردن باید در دمای بالا صورت پذیرد. از دیگر مشکلات آن، وجود رنگ قهوه‌ای تیره است که بعضاً پوشاندن آن مشکل بوده و باید از دو یا چند Pigment برای رسیدن به رنگ دلخواه استفاده نمود. با توجه به این نکات، راه تقاضا برای یک سیستم پخت جایگزین باز می‌شود [13].

### ۱-۳-۳- سیستم پخت پراکسیدی

ولکانیزاسیون الاستومرها توسط سیستم پخت پراکسیدی نزدیک به ۱۰۰ سال است که شناخته شده می‌باشد. در سال 1915، Ostromyslenski گزارش داد که NR یا همان لاستیک طبیعی بعد از واکنش بادی بنزوئیل پراکسید به حالت شبکه‌ای درمی‌آید. با این حال، استفاده از دی‌کیومیل

پراکسید (DCP) برای استفاده‌ی تجاری محصولات رابری از سال ۱۹۵۰، شتاب عجیبی به خود گرفت. [14]

مکانیسم ایجاد اتصالات عرضی (EPDM Crosslinking) توسط پراکسید از پیچیدگی کمتری نسبت به سیستم گوگردی برخوردار است. در حالت کلی، پخت الاستومرهای با جرم مولکولی بالا توسط پراکسید به سه مرحله‌ی متوالی تقسیم‌بندی می‌شود. مکانیزم عمومی و کلی عملکرد پراکسید در شکل ۳-۱ دیده می‌شود.



شکل ۳-۱- مراحل اصلی سیستم پخت پراکسیدی

در مرحله‌ی اول، شکست متقارن یا Homolytic در پراکسید رخ داده و رادیکال‌های آزاد ایجاد می‌شوند. این مرحله تعیین‌کننده‌ی سرعت اصلی کلی واکنش است. در مرحله‌ی دوم، رادیکال آزاد به زنجیر پلیمر حمله کرده و اتم هیدروژن را از آن جدا می‌کند، که این خود منجر به تولید یک ماکرورادیکال پلیمری می‌شود. در مرحله‌ی نهایی دو ماکرورادیکال پلیمری توسط اتصال عرضی کربن-کربن (C-C) به هم متصل می‌شوند [15]. بعضی اوقات، واکنش‌های غیرمطلوب نظیر تسهیم

نامتناسب (Disproportionation) یا  $\beta$ -Chain Scission هم در حین واکنش پخت روی می دهند،

که در قسمت های بعد به آن خواهیم پرداخت [16].

هنگامی که پراکسید به آلیاژ EPDM/PP افزوده می شود، دو واکنش به صورت رقابتی رخ می دهد. فاز پیوسته PP تمایل به تخریب توسط مکانیسم  $\beta$ -Scission دارد و فاز EPDM توسط عامل پراکسیدی پخت می گردد. بنابراین نکته مهم این است که با به کار بردن سیستم پخت مناسب و آمیزه های مختلف واکنش تخریب را به حداقل رسانده و راندمان یا Efficiency پخت را به حداکثر میزان خود رساند. مهم ترین پارامترهایی که راندمان پخت سیستم پراکسیدی را برای EPDM تعیین می کنند، عبارتند از: نوع و میزان ترمونومر، نسبت اتیلن به پروپیلن، جرم مولکولی پلیمر و توزیع جرم مولکولی آن. به طور مثال، با افزایش نسبت اتیلن به پروپیلن، میزان دانسیته ی اتصالات عرضی در EPDM افزایش می یابد [17].

با توجه به نکات گفته شده در بالا و نیز احتمال انجام واکنش های جانبی و از آنجایی که سیستم پخت مورد استفاده در پروژه ی حاضر از نوع پراکسیدی است، در فصل بعد به طور مفصل در مورد مکانیسم، واکنش های احتمالی و طراحی یک سیستم پخت مناسب پراکسیدی برای آلیاژهای ترموپلاستیک الاستومری EPDM/PP اشاره خواهد شد.

مورفولوژی یک ماده در حالت مولکولی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد که در شکل (Form)، اندازه، آرایش یافتگی بلورچه‌ها، نواحی و ساختار گروه‌های مولکولی اجزای تشکیل دهنده، سطح‌ها، مرزها و سطح مشترک بین اجزا مشخص می‌شوند. مطالعات مختلفی بر روی مورفولوژی آلیاژهای پلیمری صورت گرفته است، که اکثر آنها بر روی موارد زیر بوده است: [18,19,20]

۱. ویسکوزیته‌ی اجزا و نسبت بین ویسکوزیته‌ها
۲. الاستیسیته‌ی اجزاء و نسبت الاستیسیته‌ها
۳. کشش بین سطحی بین اجزای پلیمری آلیاژ
۴. حضور مواد گوناگون در آمیزه، نظیر پایدارکننده‌ها، روان‌کننده‌ها و ...
۵. شرایط فرآیند نظیر دما، زمان اختلاط، نوع میدان جریان (برشی یا کششی) و نوع مخلوط‌کننده

براساس قوانین حاکم بر مورفولوژی سیستم‌های دوفازی ناسازگار، مورفولوژی آلیاژهای ترموپلاستیک الاستومر حاوی مقادیر کم از فاز لاستیکی به صورت متفرق - پیوسته است. بدین معنی که فاز رابر به صورت ذرات متفرق در بستر پیوسته‌ی فاز پلاستیک پراکنده می‌باشد. با افزایش غلظت رابر در ترکیب درصدهای 40 تا 60، به علت بالا رفتن احتمال برخورد ذرات و ائتلاف آنها با یکدیگر، مورفولوژی هر دو فاز پیوسته (Co-Continuous) حاصل می‌گردد و بالاخره در غلظت‌های نسبتاً زیاد فاز رابر به صورت پیوسته و فاز پلاستیک به صورت ذرات متفرق درمی‌آیند. این پدیده را معکوس شدن فازی یا وارونگی فازی (Phase Inversion) می‌گویند. مقالات منتشر شده توسط Paul و Barlow نشان می‌دهد که دستیابی به مورفولوژی هر دو فاز پیوسته برای آلیاژهای از نوع TPO زمانی امکان‌پذیر است، که نسبت غلظت فازها معادل نسبت ویسکوزیته‌ها باشد [21].

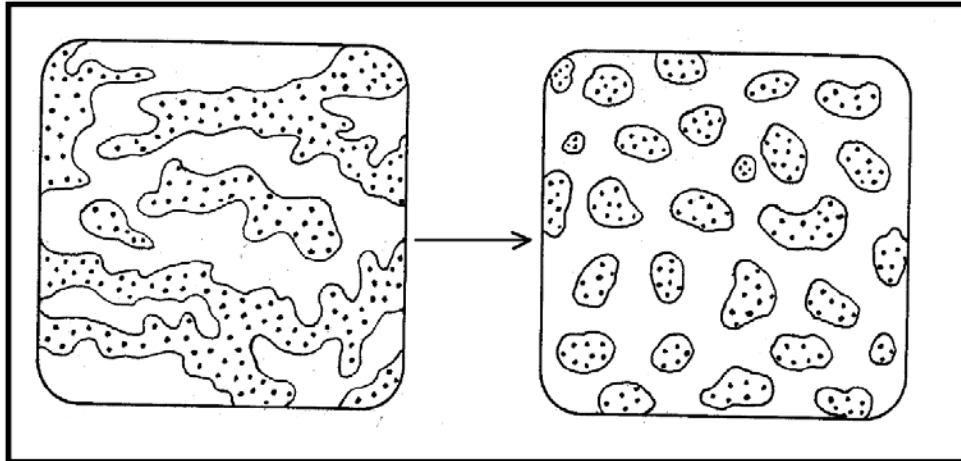


$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\phi_1}{\phi_2} \quad (1-1)$$

خواص مکانیکی آلیاژ نه تنها بستگی به نوع و میزان اجزای تشکیل دهنده آلیاژ دارد، بلکه به مورفولوژی و برهم کنش بین فازها نیز وابسته است. شکل گیری مورفولوژی، سازگاری ترمودینامیکی بین اجزای پلیمری آلیاژ و رفتار پخت آمیزه‌ی الاستومری خواص نهایی TPV را مشخص می‌کند. [22] Kresge، مورفولوژی آلیاژهای EPDM/PP با سیستم پخت گوگردی را مطالعه نمود و مشاهده کرد که اختلاط اجزای پلیمری و پخت فاز الاستومری به طور همزمان منجر به ایجاد پراکنده شدن فاز رابری در بستر PP شده، که اندازه‌ای بین ۰.۵ تا ۵ μm دارند [23].

Radusch مورفولوژی نهایی از TPVهای بر پایه‌ی EPDM/PP پخت شده توسط فنول را بررسی کرده و اعلام نمود که پخت دینامیکی لازمی ایجاد رفتار ترموپلاستیک الاستومری در TPVهاست که شامل ایجاد ذرات بسیار ریز رابر و در حد زیاد ( $0.5\mu\text{m}$ )، که توسط فاز ترموپلاستیک احاطه شده است می باشد [21]. فاز با ویسکوزیته بالاتر در حین فرآیند اختلاط تمایل به تشکیل فاز متفرق را دارد. بنابراین با شبکه‌ای نمودن فاز الاستومر، ویسکوزیته این فاز افزایش یافته و تنش برشی سبب شکست فاز الاستومر در حین فرآیند اختلاط می‌گردد. لذا تبدیل فازی صورت گرفته و مورفولوژی از صورت پیوسته / پیوسته به متفرق / پیوسته تبدیل می‌شود. از طرفی تصاویر SEM به دست آمده از آلیاژهای مذکور نشان می‌دهد که ذرات الاستومر EPDM به شکل بیضوی و صاف در ماتریس پیوسته‌ی PP متفرق هستند و در نتیجه، مکانیسم شکست ذرات (Particle fracture) نمی‌تواند به عنوان یک عامل تعیین کننده در تشکیل مورفولوژی در شرایط اختلاط عمل نماید.

نحوه شکل گیری مورفولوژی از پیوسته / پیوسته به متفرق / پیوسته در شکل (۱-۴) نشان داده می‌شود. [24]



شکل ۱-۴- تغییر مورفولوژی از هردو فاز پیوسته به ماتریس دیسپرس در TPV ها قابل ذکر است ، که مزیت آلیاژهای پخت شده بر نمونه‌های پخت نشده در آن است، که مورفولوژی در حالت پخت شده تثبیت می‌شود و با فرآیندهای مختلف تغییر نمی‌کند.

مورفولوژی ماتریس - دیسپرس به کمک تکنیک‌ها و رشوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. Kanauzova [25] نشان داد که در دماهای بالا، کریستالیزاسیون PP از نوع  $\gamma$  بوده و ناشی از برهمکنش بین مولکول PP و EPDM در سطح مشترک بین آنها است. D'orazio مورفولوژی TPVهای بر پایه‌ی EPDM/PP را توسط DSC ، SEM ، TEM ، WAXS و SAX مورد مطالعه قرار داد و تشکیل Interface را بین EPDM و PP در حضور ماده‌ی پخت‌کننده و تثبیت مورفولوژی ناشی از پخت دینامیکی را اثبات نمود [26]. شکل‌گیری مورفولوژی، رئولوژی و خواص مکانیکی ترموپلاستیک الاستومرهای بر پایه‌ی EPDM/PP پخت شده با سیستم گوگردی که با دوده پر شده، توسط Katbab و همکاران [27] مورد مطالعه قرار گرفت. مورفولوژی نمونه‌ها از نوع متفرق / پیوسته بود که ذرات رابر در بستر پیوسته‌ی PP متفرق شده اند. توزیع فیلر در هر فاز و رفتار اتلافی (Damping) بسته به شرایط اختلاط بوده و نوع خوراک‌دهی (Feeding) دوده

نیز مؤثر می‌باشد. با این حال، دوده تمایل دارد که در فاز رابر باقی بماند، که این منجر به افزایش نسبت ویسکوزیته شده و اندازه‌ی ذرات رابر هم افزایش می‌یابد. استحکام کششی و میزان انرژی لازم برای پارگی با افزایش درصد فیلر هم افزایش می‌یابد.

مورفولوژی EPDM/PP در ترکیب درصد 60/40 قبل از پخت و بعد از پخت توسط Goharpey و همکاران [28] مورد بررسی قرار گرفت. آنها نشان دادند که مورفولوژی نمونه‌های پخت نشده در حالت مذاب هم حتی از نوع ماتریس - دیسپرس می‌باشد. آنها از روش بکارگیری نیتروژن مایع برای منجمد کردن نمونه‌ها حین اختلاط استفاده نمودند و اعلام کردند که ذرات EPDM در بستر PP متفرق می‌باشد، و اندازه‌ی ذرات تابع نسبت ویسکوزیته دو فاز در شرایط اختلاط بوده و توسط دو پدیده‌ی شکست قطرات (Droplet break up) و به هم پیوستگی آنها (Coalescence) کنترل می‌شود، حال آن که سرد کردن آلیاژ در این مرحله در دمای محیط به دلیل به هم پیوستن مجدد قطرات پخت نشده‌ی EPDM منجر به تشکیل مورفولوژی پیوسته / پیوسته خواهد شد. Ellul و همکاران [29] از STEM برای مطالعه‌ی مورفولوژی TPV بهره گرفتند. در سال‌های اخیر، استفاده از AFM (Atomic force microscopy) برای بررسی ساختار ترموپلاستیک الاستومرها رواج یافته است. [30]

این که چرا ترموپلاستیک الاستومرها (TPV) ها در رفتار مکانیکی خود شبیه به الاستومرها عمل می‌کنند، مسئله‌ای است که هنوز بسیاری از محققین در حال بررسی و کاوش درمورد آن می‌باشند. در یکی از نظریات، از مدل المان‌های محدود (Finite element) برای توجیه رفتار مکانیکی TPVها استفاده شده است. این مدل دارای نقیصه‌های زیادی است؛ چراکه برای حل معادلات از فرضیاتی استفاده شد که نتیجه‌ی آن، نادیده گرفتن تأثیر مورفولوژی بر روی خواص است. Soliman و همکاران [31] نیز رفتار TPVهای بر پایه‌ی EPDM/PP پخت شده با سیستم

فنولی را مورد مطالعه قرار دادند. مطابق با نظریه‌ی آنها، فاز PP همانند چسب بین ذرات EPDM عمل می‌کند، که در حین کشش، دچار تغییر فرم می‌شوند. تنها جزء بسیار کوچکی از PP به طور غیرقابل برگشت تغییر فرم پیدا کرده و دچار تسلیم می‌شوند. در حین برگشتن (بعد از برداشتن تنش) همین جزء از زنجیرهای PP همراه با EPDM به جای اول خود برمی‌گردند. این مدل در شکل (۵-۱) آورده شده است.

Boyce و همکاران [32,33] نیز میکرومکانیک این دسته از TPVها را با ارائه‌ی مدل‌های میکرومکانیکی بررسی کرده‌اند و براین اساس برای تنش - تغییر فرم آنها، نظریاتی ارائه کرده‌اند. در مدل دیگری، از تشکیل ساختار خوشه‌ای بین ذرات رابر و ایجاد ساختار ثانویه (Agglomerates) با مکانیزم Joint Shell در حین پخت دینامیکی توسط Goharpey و همکاران [34] سخن به میان آمده است. اگر برهمکنش بین سطحی ماتریس و الاستومر به اندازه کافی بالا باشد مولکولهای ماتریس از طریق جذب بر روی سطح الاستومر تشکیل یک لایه Interface داده که بصورت یک پوسته (Shell) اطراف ذره را احاطه نموده، که به آن مورفولوژی (Core-Shell) گویند. ذرات الاستومری پوشش داده شده توسط لایه پلیمری در اثر برخورد و تماس با یکدیگر تحت مکانیسم نفوذ (interdiffusion) به یکدیگر متصل شده که منجر به تشکیل aggregate ها و سپس agglomerate میگردد. این مکانیسم را Joint Shell گویند.