



بررسی کارایی ترکیبات هالوژنه در میزان دی‌سوز کردن ABS به‌منظور تولید گریدهای بازدارنده شعله

بهزاد پورحسین علافی

گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران
Email: Bpha1@yahoo.com

بهناز معمارماهر*

گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران
Email: b_maher@iau-ahar.ac.ir

چکیده

پلیمرها بدلیل خواص خوب مکانیکی و شیمیایی، در موارد زیادی جایگزین فلزات شده‌اند، اما اشتعال‌پذیریشان کاربردشان را محدود کرده، طبق مطالعات بهبود بازدارندگی شعله پلیمرها، پیرولیز پلیمر در اثر گرما به تشکیل گونه‌های رادیکالی بسیار واکنش‌پذیر H^{\bullet} ، O^{\bullet} و OH^{\bullet} منجر می‌شود. دو گونه اول بطور عمده به رادیکال هیدروکسیل (OH^{\bullet}) تبدیل شده و با شرکت در واکنش گرمازا، گرمای لازم برای گسترش شعله را فراهم می‌کند. مهار (OH^{\bullet}) باعث ممانعت از پیش روی شعله می‌شود. بازدارنده‌های شعله هالوژن‌دار که هالوژن رادیکالی تولید می‌کنند، باعث مهار OH^{\bullet} می‌شوند. برای کاهش اشتعال‌پذیری پلیمرها، می‌توان ساختار پلیمر را دستکاری کرده یا با پوشش‌دهی سطحی پلیمر و منسوجات، لایه سدگری روی آن‌ها ایجاد کرد. بازدارنده شعله ممکن است از راه فازهای گازی یا متراکم و یا مخلوطی از هر دو عمل کند. مادر این پژوهش با انجام آزمایش بازدارندگی شعله عمودی دریافتیم که هرچه درصد ترکیبات هالوژنه بازدارنده شعله را در پلیمر افزایش دادیم، بازدارندگی شعله پلیمر نیز تقریباً به همان نسبت افزایش یافت. بوسیله دستگاه‌های آزمایشگاهی نظیر IZOD و MFI و TENSILE و RHD و VICAT و.. نمونه‌های حاصل از اکسترودرهای آزمایشگاهی مورد آزمایش قرار گرفتند، که ترکیبات هالوژنه بازدارنده شعله در نمونه‌های تولیدشده باعث تضعیف خواص مکانیکی نسبت به گرید شاهد شده است. جهت بهبود خواص مکانیکی در آزمایشات مرحله دوم با افزودن S50 (افزایش دهنده مقاومت مکانیکی) و S19 بمقدار زیادی ضعف خواص مکانیکی جبران شد که نتایج آزمایشات مرحله دوم نزدیک به گرید شاهد بود.

کلیدواژه: بازدارندگی شعله پلیمرها، بازدارنده‌های شعله هالوژن‌دار، پیرولیز پلیمر.

مقدمه

ABS از ترموپلاستیک‌هایی است که دارای خواص فیزیکی مناسبی می‌باشد. در میان اجزا ABS، آکریلو نیتریل جزئی است که مقاومت حرارتی، شیمیایی، استحکام مذاب و سختی سطح را در سیستم ایجاد می‌کند. جزء استایرن سبب سهولت فرآیندپذیری، سختی و استحکام می‌شود و جزء بوتادین آن منجر به چقرمگی در دمای پائین و مقاومت ضربه ABS می‌شود [۱]. ABS یک سیستم پلاستیکی دوفازی است. فاز استایرن آکریلونیتریل (SAN) فاز ماتریکس یکنواخت را تشکیل می‌دهد و فاز دوم شامل ذرات پلی بوتادی ان دیسپرس شده است که لایه SAN بر روی آن گرفت شده است این لایه SAN منجر به سازگاری دوفازی می‌شود. بنابراین خواص ABS، حاصل نسبت مونومرها و ساختار مولکولی دوفاز است و این منجر به انعطاف پذیری در طراحی محصولات حاصل از ABS می‌شود بطوریکه صدها محصول تجاری متنوع توسعه پیدا کرده است. مزایای این کوپلیمر شامل قیمت پایین، فرایندپذیری خوب و حساس نبودن به ناچ می‌باشد. از معایب آن که کاربردش را به تنهایی محدود کرده است، پایداری حرارتی پایین، عدم مقاومت در برابر شعله‌وری و مقاومت شیمیایی پایین می‌باشد [۲]. بنابراین محققین درصدد اصلاح این ضعف‌ها از روش‌هایی نظیر آلیاژسازی آن با دیگر پلیمرها و استفاده از ترکیبات بازدارنده شعله و... برآمدند [۳]. در مورد مواد پلیمری یک منبع خارجی حرارت جهت سوزاندن آن‌ها مورد نیاز است. گرمایی که پلیمر در مواجهه با آن قرار گرفته منجر به تجزیه حرارتی می‌شود و پلیمر ترکیبات فرار کوچک تر (رادیکال‌های آزاد OH^- و H^+) را که به عنوان سوخت آتش عمل می‌کنند آزاد می‌کند [۴]. این مواد با اکسیژن هوا مخلوط شده و مخلوط با قابلیت اشتعال‌پذیری را تشکیل می‌دهند. اکسیداسیون گرمای مواد فرار رخ داده و مواد می‌سوزند [۵-۶]. در اثر سوختن، نور و گرما بیش‌تری تولید می‌شود. این فرایند طبق سیکل مشاهده شده تحت عنوان مثلث آتش Emman ادامه می‌یابد [۱]. برخی افزودنی‌های پلیمرها

باعث افزایش مقاومت در برابر اشتعال و یا کاهش سرعت سوختن و جلوگیری از ادامه سوختن می‌شوند. این دسته از افزودنی‌ها را باز دارنده‌های شعله می‌نامند. عملکرد افزودنی‌های بازدارنده شعله به چند طریق صورت می‌گیرد.

- از طریق فاز گازی (gas phase)

این افزودنی‌ها از طریق ترکیبات فراری که حین سوختن تولید می‌کنند در فاز گازی وارد عمل می‌شوند. به جهت عملکرد آن‌ها در فاز گازی، بازدارنده‌ها خود به مواد فرار تبدیل شده با گازهای سوختی وارد واکنش شده در نتیجه منجر به تولید محصولات غیر قابل اشتعال می‌شوند [۷-۸].

- از طریق فاز متراکم شده (condense phase)

بازدارنده‌های شعله که در فاز متراکم وارد عمل می‌شوند به شکل مایع بوده و فرایند سوختن را منقطع کرده و تشکیل گازهای آتش گیر و به دنبال آن فرایند اشتعال پذیر را کند می‌کنند [۹].

- از طریق اثرات فیزیکی

بازدارنده‌هایی که از طریق اثرات فیزیکی عمل می‌کنند. هم در فاز گازی و هم فاز متراکم دخیل هستند. این دسته از افزودنی‌ها تولید حرارت را از طریق واکنش کاهش داده و آب تولید می‌کنند و قادرند با تشکیل یک لایه زغالی غیرقابل سوختن از باقی پلیمر حفاظت کنند و می‌توانند از طریق تولید گازهایی همچون نیتروژن، گازهای سوختی را رقیق کنند. بطور کلی ترکیبات بازدارنده شعله، مسیر تجزیه حرارتی مواد پلیمری را متخلخل می‌کنند. دسته‌های متفاوت از این افزودنی‌ها به طور متفاوت با پلیمرهای مختلف وارد واکنش می‌شوند پس انواع متفاوتی از این افزودنی‌ها با ساختارهای متنوع می‌تواند وجود داشته باشد. مشخصات یک بازدارنده ایده‌آل به قرار زیر است [۱۰]. منجر به کاهش اشتعال‌پذیری تا حد استاندارد مورد نیاز شود، در دمای فرایند بکار رفته خود پایداری حرارتی داشته باشد، سازگاری طولانی مدت با ماتریکس پلیمر داشته باشد، باعث نگهداری

مواد و روش‌ها

جدول‌های ۱ و ۲ مخلوط‌های پودری گرید ABS\FRH جدید را آماده می‌کنیم. برای شروع کار مواد را با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۵ هزارم گرم، توزین می‌کنیم.

و یا بهبود خواص مکانیکی پلیمر شود، تهدیدی برای سلامتی نباشد، به لحاظ اقتصادی به صرفه باشد [۱].

انواع افزودنی‌های بازدارنده شعله

ترکیبات معدنی، ترکیبات هالوژنه، ترکیبات فسفردار، ترکیبات پفزا، ترکیبات هیدروکربنی اکسیژن‌دار، ترکیبات متوقف کننده دود، ترکیبات فلزی.

جدول ۱- تهیه مواد گریدهای بازدارنده شعله آزمایشات مرحله اول، مقادیر درصد وزنی هستند.

| GRADE | BASE POWDER | | Additive (PHR) | | | | |
|----------|-------------|-----------|----------------|-----|-------|-------|-------|
| | G-ABS (RB) | SAN (APH) | S32 | S40 | X10 | X20 | X32 |
| SD-0150 | 35 | 65 | 0.4 | 0.4 | ----- | ----- | ----- |
| ABS-FRH1 | 35 | 65 | 0.4 | 0.4 | 17 | 9 | 8 |
| ABS-FRH2 | 35 | 65 | 0.4 | 0.4 | 19 | 6 | 4 |
| ABS-FRH3 | 35 | 65 | 0.4 | 0.4 | 21 | 5 | 12 |
| ABS-FRH4 | 35 | 65 | 0.4 | 0.4 | 23 | 7 | 6 |
| ABS-FRH5 | 35 | 65 | 0.4 | 0.4 | 25 | 8 | 10 |

جدول ۲- تهیه مواد گریدهای بازدارنده شعله آزمایشات مرحله دوم، مقادیر درصد وزنی هستند.

| GRADE | BASE POWDER | | Additive (PHR) | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|----------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| | G-ABS (RB) | SAN (APH) | S19 | S32 | S40 | S50 | X10 | X20 | X32 |
| SD-0150 | 35 | 65 | ----- | 0.4 | 0.4 | ----- | ----- | ----- | ----- |
| ABS-FRH6 | 35 | 65 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.02 | 17 | 9 | 8 |
| ABS-FRH7 | 35 | 65 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.02 | 19 | 6 | 4 |
| ABS-FRH8 | 35 | 65 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.02 | 21 | 5 | 12 |
| ABS-FRH9 | 35 | 65 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.02 | 23 | 7 | 6 |
| ABS-FRH10 | 35 | 65 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.02 | 25 | 8 | 10 |

عملیاتی (دما، فشار، دورموتوراصلی، فیدروکاتر) بر اساس جدول ۳ تنظیم کرده و چند نمونه بازدارنده شعله با درصد‌های مختلف به صورت گرانول تهیه کرده و برای بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی و انجام تست‌های آزمایشگاهی در حدود ۱۵۰۰ گرم از گرانول هر گرید به آزمایشگاه واحد ABS پتروشیمی تبریز ارسال شد که نتایج کامل آزمایشات خواص فیزیکی و مکانیکی و تست‌های اشتعال‌پذیری عمودی گریدهای ABS\FRH بصورت نمودار در بخش اشکال و جداول آمده است.

برای اینکه پوشش و توزیع مواد افزودنی بهتر انجام شود اول مواد افزودنی را خوب مخلوط می‌کنیم، اختلاط با مخلوط کن داخلی برقی صورت گرفته و به پودرهای مخلوط شده مقادیر پودرهای g-ABS و SAN را اضافه کرده (لازم بذکراست که پودر SAN مصرفی از نوع APH و پودر G-ABS مصرفی از نوع RB می‌باشد) و در چند مرحله کاملاً مخلوط می‌کنیم، از هر کدام پودرهای آمیزه‌کاری شده بعنوان گریدهای ABS\FRH نمونه‌ای به اندازه ۲ کیلوگرم آماده کرده و برای تولید گرانول از اکسترودر دو مارپیچه غیر همسو گرد با شرایط

جدول ۳- شرایط عملیاتی اکسترودر دو مارپیچه

| مداب (°C) | دمای مناطق اکسترودر(°C) | دور کاتر (rpm) | دور مارپیچه (rpm) | دور فیدر (rpm) | دور اکسترودر (rpm) |
|--------------|--------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| ۲۳۰ | ۱۵۰/۱۶۰/۱۸۰/۱۹۰ ۲۰۰/۲۱۰/۲۲۰ | ۴۰۰ | ۱۴۱ | ۳۲ | ۱۴۰ |

S50, S19 به ترکیب نمونه‌ها افزوده شده بود. با توجه به نمودارهای حاصل از نتایج مرحله دوم آزمایشات مشاهده می‌کنیم که تضعیف خواص فیزیکی و مکانیکی ایجاد شده در مرحله اول آزمایشات تا حد زیادی جبران شده و نتایج بدست آمده به نتایج گرید شاهد نزدیک شده است. با توجه به حفظ خواص برتر پلیمر ABS در نمونه‌های مرحله دوم، فقط از همین نمونه‌ها در آزمایشات مربوط به اشتعال-پذیری استفاده می‌کنیم.

- آزمون‌های بررسی میزان اشتعال‌پذیری

سه آزمون بررسی میزان اشتعال‌پذیری مواد که به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از [۹]:

۱- تست شاخص اکسیژن (ASTM D-2863)

۲- تست‌های اشتعال‌پذیری UL-94 (ASTM D-3801) شامل:

الف- آزمایش سوختن افقی، UL 94HB، ب- آزمایش سوختن عمودی 94 V-0, 94 V-1, 94 V-2، ج- آزمایش سوزاندن عمودی 500W، 94-5VA یا 94-5VB
۳- تست‌های کالریمتری مخروطی (ASTM E1)

ما از آزمایش سوختن عمودی 94 V-0, 94 V-1, 94 V-2 در این پژوهش استفاده نمودیم و نتایج مربوطه را با شاخص‌های لازم برای طبقه‌بندی مواد در سه گروه 94V طبق جدول ۴ مقایسه نموده و نمونه‌ها را از لحاظ بازدارندگی شعله طبقه‌بندی کردیم.

- آزمایش سوختن عمودی 94 V-0, 94 V-1, 94 V-2: در این آزمایش، نمونه‌ها بصورت عمودی قرار گرفته و مواد بر اساس میزان مقاومتشان در برابر شعله‌ور شدن، جزء یکی از سه گروه V-0, V-1, V-2 دسته‌بندی می‌شوند. در این دسته‌بندی 94 V-0 بالاترین میزان مقاومت را دارد و 94V-1 کم‌تر و 94 V-2 هم کم‌ترین میزان مقاومت در برابر اشتعال‌پذیری را دارد. همچنین اندازه نمونه ۵×۱۰ اینچ است. ارتفاع شعله ۱۰/۷۵ اینچ می‌باشد که بمدت ۱۰ ثانیه در زیر نمونه قرار می‌گیرد [۸]. در این آزمایش فاصله بین لبه پایینی نمونه و

- مرحله اول آزمایشات، بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های تولیدی دارای بازدارنده‌های شعله‌هالورنه

برای هر نمونه بازدارنده شعله ABS تولید شده یک شماره کد اختصاص دادیم. بنابراین نمونه‌های تولید شده طبق بند ۱ با کدهای مربوطه در جدول ۱ (نمونه‌های مرحله اول آزمایشات) و ۲ (نمونه‌های مرحله دوم آزمایشات) آمده است. آزمایشاتی نظیر شاخص کششی (TENSILE) و سختی سطح RHD(R-Scale) و رفتار دمایی پلیمر (VICAT) و رفتار ضربه‌پذیری پلیمر (IZOD) و شاخص ذوب پلیمر (MFI) با استفاده از دستگاه‌های مربوطه انجام شد و نتایج مربوطه با نتایج گرید شاهد مقایسه گردید.

بدلیل اینکه نتایج بدست آمده حاصل از نمونه‌های مرحله اول آزمایشات با نتیجه ایده‌آل مقداری فاصله داشت و افزایش مواد افزودنی بازدارنده شعله هالورنه باعث تضعیف خواص برتر فیزیکی و مکانیکی ABS و کاهش مطلوبیت آن شده بود، به همین سبب تصمیم به انجام مرحله دوم آزمایشات اینبار با افزودن جزیی مواد افزودنی بهبود دهنده خواص فیزیکی و مکانیکی نظیر S50 (بعنوان افزایش‌دهنده مقاومت ضربه) و S19 (بعنوان آنتی‌اکسیدان و افزایش‌دهنده مقاومت در برابر UV) به نمونه‌ها و مقایسه نتایج مربوطه گرفتیم.

- مرحله دوم آزمایشات، بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های تولیدی دارای بازدارنده‌های شعله‌هالورنه و افزودنی‌های S50، S19

مرحله دوم آزمایشات دقیقاً مثل آزمایشات مرحله اول و با همان روش‌ها و دستگاه‌ها انجام شد با این تفاوت که مقداری

نوک شعله ۱۰ mm است. در ابتدا شعله بمدت $10 \pm 0/5$ ثانیه در زیر نمونه قرار می‌گیرد. اگر نمونه شروع به چکه کردن یا شعله ور شدن کرد، مشعل را با زاویه ۴۵ درجه کج کرده تا مواد وارد سیلندر نشوند. بعد از این مدت زمان و با کنار کشیدن شعله، زمان t_1 (after flame) اندازه‌گیری می‌شود. بعد از متوقف شدن زمان t_1 ؛ فوراً مشعل در زیر نمونه با همان شرایط قبلی قرار می‌گیرد. بعد از مدت مشخص شده ($10 \pm 0/5$ ثانیه)، شعله را از زیر نمونه جابجا کرده و زمان t_2 (after flame) و زمان t_3 (after glow) ثبت می‌شود.

After flam: میزان دوام شعله و ماندن مواد پس از آنکه منبع آتش از آن دور می‌شود.
After flame tim: زمانی که طول می‌کشد تا ماده به شعله ور ماندن در شرایط ویژه ادامه دهد (پس از آنکه منبع آتش از آن دور شود).

After glow: مقدار دوام برافروخته ماندن یک ماده پس از دور شدن منبع آتش از نمونه.
After glow time: مقدار زمانی که طول می‌کشد تا ماده در شرایط ویژه پس از دور شدن منبع آتش به قرمز و برافروخته ماندن خود ادامه دهد.

دستگاه‌های مورد استفاده

- اکسترودر دو مارپیچه همسوگرد
از دستگاه اکسترودر دو مار پیچه همسوگرد با $L/D=36$ ساخت کشور کره CMM-403 برای تهیه گرانول از پودرهای کامپوزیتی که به طریق آمیزه کاری تهیه شده بود، استفاده شد که شرایط عملیاتی آن در جدول (۱) موجود است.

- دستگاه Izod، آزمون مقاومت ضربه پذیری پلیمر
دستگاه Izod موجود در آزمایشگاه ABS برای انجام آزمون مقاومت ضربه‌پذیری نمونه‌های تولید شده با روش تست ASTM D-256 به کار برده شد.

- دستگاه آزمون کششی پلیمر

جهت تعیین خواص مکانیکی نمونه‌ها از دستگاه کشش ZWICK مدل ۲/۵ HIS: ۱۵۰۸۸۸ WN: مجهز به اعمال بار با ظرفیت‌های ۰/۰۵ و ۵۰ کیلونیوتن و سرعت قابل تغییر در محدوده ۱۰۰۰-۰/۰۰۱ mm/min استفاده شد. این دستگاه نرم‌افزار ویژه‌ای برای ثبت نتایج دارد. سرعت کشش ۵۰۰ mm/min و فاصله اولیه بین فک‌ها ۵۰ mm انتخاب شد [۱۱]. برای اطمینان از نتایج حاصل، این آزمون بر روی هر نمونه حداقل پنج بار تکرار شد و میانگین نتایج بعنوان نتیجه نهایی گزارش شد که برای انجام آزمون کششی نمونه‌های تولید شده، روش تست ASTM D-638 به کار برده شد.

- دستگاه شاخص ذوب پلیمری

برای اندازه‌گیری شاخص ذوب پلیمرها باروش ASTM D-1238 از دستگاه ساخت شرکت BRANSON مدل ۵۵۱۰ استفاده کردیم.

- دستگاه اندازه‌گیری سختی سطح

برای اندازه‌گیری سختی سطح نمونه‌های تولید شده باروش تست ASTM D-785 از دستگاه ساخت شرکت WILSON ROCKWALL-Series2000 استفاده شده است.

- دستگاه اندازه‌گیری رفتار دمایی (دمای نقطه نرمی)

برای اندازه‌گیری رفتار دمایی پلیمر در مقیاس درجه سانتیگراد (تعیین نقطه نرمی) و باروش ASTM D-1526 از دستگاه شرکت EPNSEH مدل HD-PC استفاده کردیم.

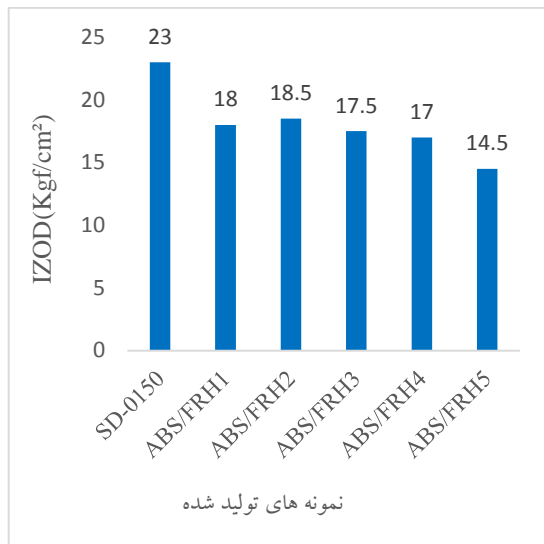
- دستگاه تست سوختن عمودی 94V

جهت بدست آوردن میزان بازدارندگی شعله نمونه‌های تولید شده با ترکیبات هالوژنه از این دستگاه استفاده کردیم.

یافته‌ها و بحث

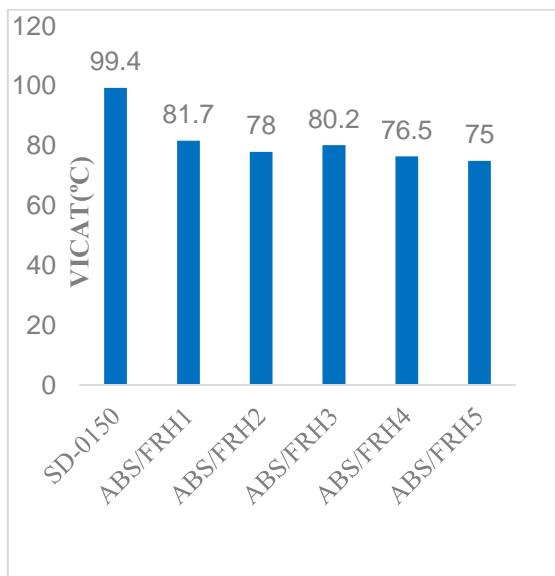
با توجه به اینکه هدف از این پژوهش تولید محصول پلیمری با اثر بازدارندگی شعله بر پایه پلیمر ABS بوده و از ترکیبات هالوژنه جهت این کار استفاده نمودیم. برای حفظ کیفیت و

افزایش درصد مواد بازدارنده شعله هالوژنه رابطه عکس دارد. در واقع افزایش ترکیبات بازدارنده شعله هالوژنه ضربه پذیری پلیمر را به شدت کاهش می‌دهد.



نمودار ۲: تست ضربه پذیری، مرحله اول

- آزمون دمای نقطه نرمی پلیمر (VICAT)، مرحله اول
مقادیر دمای نقطه نرمی پلیمر در نمودار ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش ترکیبات هالوژنه بازدارنده شعله دمای نرم شدگی کاهش محسوسی داشته است.

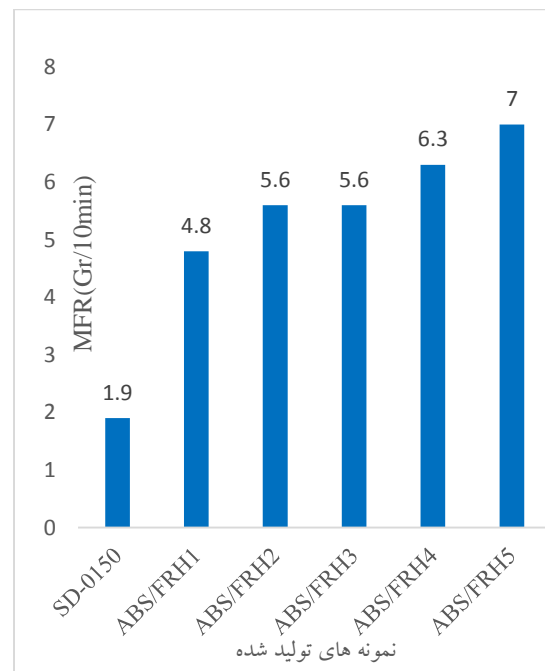


نمودار ۳: آزمایش نقطه نرمی، مرحله اول

عملکرد این نوع محصول پلیمری در طول سرویس دهی، ویژگی های خاصی برای آن تعریف می شود. خواص فیزیکی و مکانیکی و اثر بازدارندگی شعله مهم ترین این ویژگی ها می باشند. جهت بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی هم از افزودنی های مختلف مانند S19 و S50 استفاده نمودیم. لذا در این قسمت یافته های حاصل از آزمون های فیزیکی، مکانیکی و اثر بازدارندگی شعله بر روی نمونه های تولید شده مورد بررسی قرار گرفته است

- آزمون شاخص ذوب پلیمر، مرحله اول

مقادیر آزمون MFR که در نمودار ۱ نشان داده شده است. شاخص ذوب پلیمر (MFR) با افزایش درصد مواد افزودنی بازدارنده شعله هالوژنه رابطه مستقیم دارد. در واقع مواد افزودنی بازدارنده شعله شاخص ذوب پلیمری را در نمونه ها افزایش داده است.

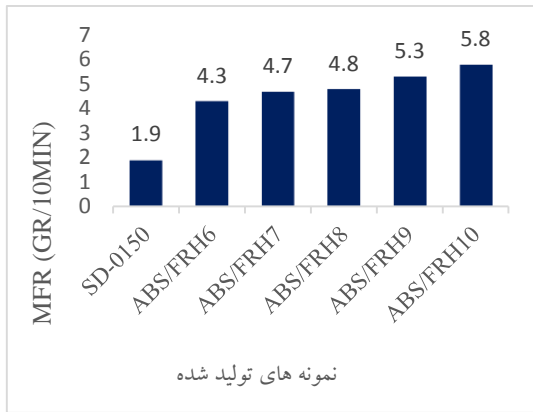


نمودار ۱: آزمایش شاخص ذوب پلیمر، مرحله اول

- آزمون ضربه پذیری

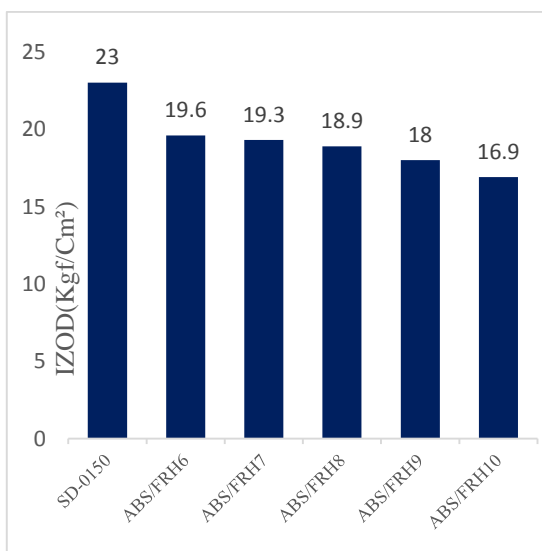
هامر با توجه به نوع نمونه انتخاب می شود مثلاً در پلیمر ABS ۵/۵ ژول هامر استفاده می شود. نتایج تست ضربه پذیری در نمودار ۲ نشان داد که رفتار ضربه پذیری مواد پلیمری با

می‌دهد که با افزایش درصد مواد افزودنی بازدارنده شعله به همراه S19, S50 مقداری افزایش می‌یابد. نتایج آزمایشات مرحله دوم MFR در نمودار ۵ مشاهده می‌شود.



نمودار ۵: مقادیر آزمایش شاخص ذوب، مرحله دوم

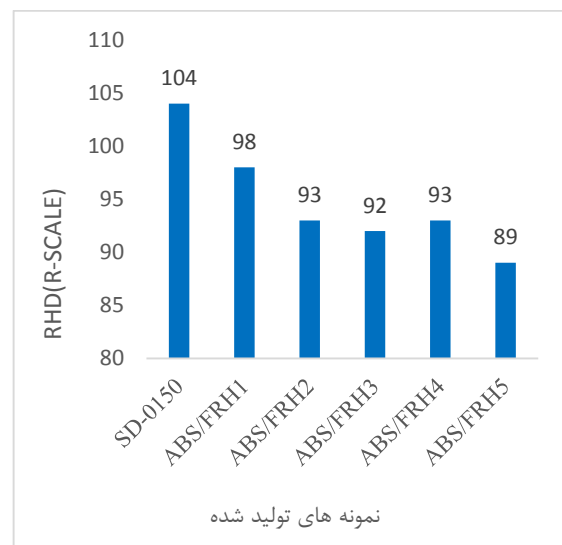
- آزمون ضربه پذیری، مرحله دوم -
افزایش ترکیبات بازدارنده شعله، هالوژنه ضربه پذیری پلیمر را به شدت کاهش می‌دهد که در مرحله دوم آزمایشات با افزایش S50 و S19 این نقیصه تا حدود زیادی جبران گردید. نتایج آزمون‌های مرحله دوم در نمودار ۶ آمده است.



نمودار ۶: آزمون مقاومت ضربه IZOD، مرحله دوم

- آزمون سختی سطح، مرحله اول -
مقادیر سختی در نمودار ۴ نشان می‌دهد که نمونه‌های ABS/FRH در مقایسه با گرید شاهد کاهش چند واحدی داشته است. افزایش مواد بازدارنده شعله هالوژنه سختی سطح نمونه‌ها را مقداری کاهش داده است.

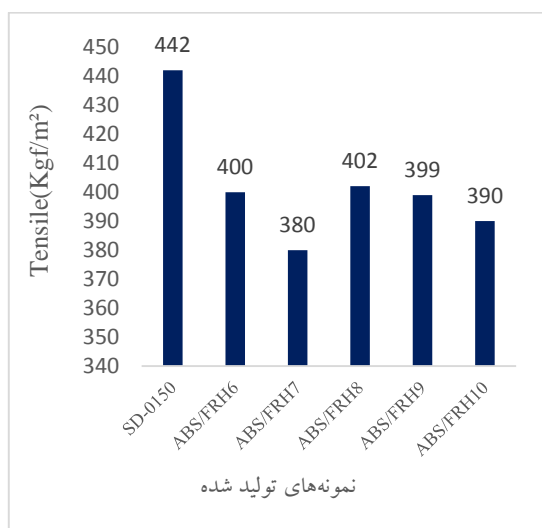
با توجه به نتایج بدست آمده از نمونه‌هایی که در ساخت آن‌ها تنها ترکیبات بازدارنده شعله به گرید شاهد افزوده شده است در می‌یابیم که افزودن این ترکیبات به تنهایی باعث کاهش و تضعیف خصوصیات مکانیکی و فیزیکی و کاهش میزان مطلوبیت محصول تولیدی می‌گردد، بنابراین جهت بهبود عملکرد و خصوصیات مکانیکی و... در حد گرید شاهد مرحله دوم آزمایشات را این بار با افزودن ترکیبات بهبود دهنده خواص مکانیکی، بویژه مقاومت ضربه (S50) و ترکیبات آنتی اکسیدان (S19) جهت افزایش عمر و دوام و پایداری پلیمر علاوه بر بازدارنده‌های شعله انجام دادیم.



نمودار ۴: آزمایش سختی سطح، در مقیاس راکول، مرحله اول

- آزمون شاخص ذوب پلیمر، مرحله دوم -
(MFR) اکستروژن شدن پلیمر در مدت ۱۰ دقیقه تحت بار (5kg) در دمای ثابت ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد را نشان

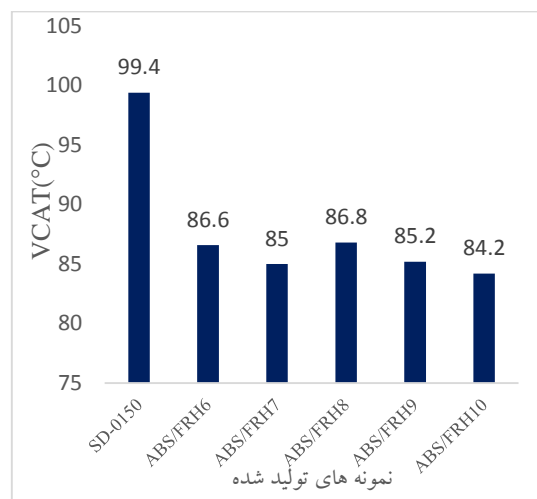
- آزمون استحکام کششی پلیمرهای ABS/FRH در نقطه تسلیم، مرحله دوم
برای اطمینان از نتایج حاصل، این آزمون بر روی هر نمونه حداقل پنج بار تکرار شد و میانگین نتایج به عنوان نتیجه نهایی گزارش گردید. نتایج در نمودار ۹ مشاهده می‌شود.



نمودار ۹: مقادیر استحکام کششی نمونه‌های ABS/FRH، مرحله دوم

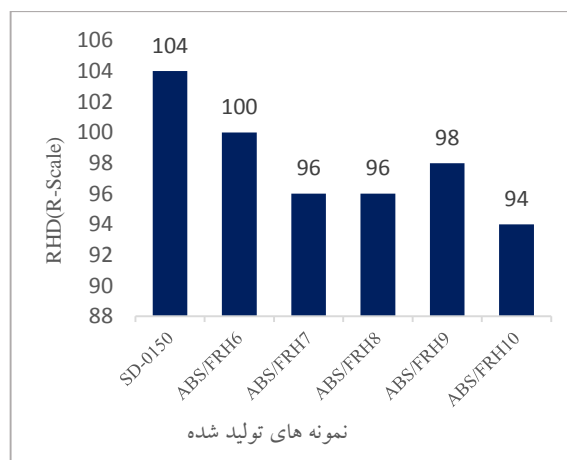
- نتایج تست سوختن عمودی UL94V
- آزمایش سوختن عمودی 94 V-2, 94 V-1, 94 V-0:
با توجه به اینکه آزمایشات مرحله دوم با افزایش S19 و S50 تکرار گردید و نتایج مطلوب‌تری بدست آمد در این آزمایش تنها از نمونه‌های استفاده شده در مرحله دوم آزمایشات استفاده نمودیم که نتایج مربوطه در جدول ۴ نشان داده شده است.

- آزمون دمای نقطه نرمی پلیمر (VICAT)، مرحله دوم
دمای نرم‌شدگی نمونه در مرحله دوم آزمایش‌ها با افزودن S50 و S19 افزایش یافته و به نتایج گرید شاهد نزدیکتر شده است. نتایج مرحله دوم وایکت در نمودار ۷ نشان داده شده است.



نمودار ۷: آزمایش رفتار دمای پلیمر در نقطه نرمی VICAT، مرحله دوم

- آزمون سختی سطح، مرحله دوم
مقادیر سختی آزمایشات مرحله دوم در نمودار ۸ نشان می‌دهد که نمونه‌های ABS/FRH به همراه افزودنی‌های S50 و S19، در مقایسه با گرید شاهد، کاهش چند واحدی داشته ولی در نزدیکی گرید شاهد می‌باشد.



نمودار ۸: آزمایش سختی سطح، راکول، مرحله دوم

جدول ۴- نتایج مربوط به تست سوختن عمودی، UL94-V

| SAMPLE | زمان afterflame برای هر نمونه، t_1 یا t_2 | زمان کل afterflame برای هر شرایطی (t_1+t_2) برای ۵ ثانیه) | زمان after flame به اضافه afterglow برای هر نمونه بعد از اعمال شعله مرحله دوم (t_2+t_3) | شعله ور شدن کتان با قطرات ماده در حال آتش | طبقه بندی مواد در سه گروه 94V طبق معیارهای جدول ۳-۱۵ و بر اساس نتایج بدست آمده |
|---------------|---|---|---|---|--|
| (SD0150 شاهد) | 28.8 | $28.2+28.8=57$ | $28.8+16=44.8$ | YES | 94V-2 |
| ABS/FRH6 | 10 | $9.8+10=19.8$ | $10+8=18$ | NO | 94V-0 |
| ABS/FRH7 | 25.9 | $25.5+25.9=51.4$ | $25.9+12=37.8$ | NO | 94V-1 |
| ABS/FRH8 | 8 | $7.2+8=15.2$ | $8+6.5=14.5$ | NO | 94V-0 |
| ABS/FRH9 | 9.3 | $8.8+9.3=18.1$ | $9.3+7=16.3$ | NO | 94V-0 |
| ABS/FRH10 | 5.1 | $4.8+5.1=9.9$ | $5.1+4.2=9.3$ | NO | 94V-0 |

جدول ۵- شاخص های لازم برای طبقه بندی مواد در سه گروه ۹۴ V

| 94V-2 | 94V-1 | 94V-0 | معیارها |
|-------------|-------------|------------|--|
| $\leq 30S$ | $\leq 30S$ | $\leq 10S$ | زمان afterflame هر کدام از دو مرحله برای هر نمونه، t_1 یا t_2 |
| $\leq 250S$ | $\leq 250S$ | $\leq 50S$ | زمان کل afterflame برای هر شرایطی ($t_1 + t_2$) برای پنج ثانیه) |
| $\leq 60S$ | $\leq 60S$ | $\leq 30S$ | زمان afterflame به اضافه afterglow برای هر نمونه بعد از اعمال شعله مرحله دوم (t_2+t_3) |
| Yes | NO | NO | شعله ور شدن کتان با قطرات ماده در حال آتش |

جدول ۶- دسته بندی مواد در دو گروه ۹۴ HB

| 94-5VB | 94-5V | شاخص‌ها |
|--------|-------|---|
| ≤60s | ≤60s | زمان after flame به اضافه after glow برای هر نمونه بعد از اعمال شعله مرحله پنجم (t_2+t_3) |
| No | No | شعله ور شدن کتان با قطرات ماده در حال احتراق |
| Yes | No | Burn-through(hole) برای نمونه صفحه‌ای |

همچنین شاخص سختی سطح پلیمر نیز کمی کاهش داشته ولی نزدیک گرید شاهد هستند و دمای نقطه نرمی نیز روند کاهشی داشته است که در مرحله دوم آزمایشات با افزایش ترکیبات بهبوددهنده خواص مکانیکی و ضربه‌پذیری و ترکیبات آنتی اکسیدان آثار جانبی نامطلوب را تا حد بسیار زیادی کاهش دادیم. گریدهای بازدارنده شعله نهایی همه خواص برتر ABS را حفظ کرده و مزیت بازدارندگی شعله را هم به آن اضافه نموده‌اند.

منابع

- [۱] باقری، ر.، ۱۳۸۱، مبانی خواص مکانیکی پلاستیک‌ها، چاپ اول، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، مرکز انتشارات، اصفهان.
- [۲] رحیمی اقدم، ط.، شریعتی‌نیا، ز.، ۱۳۹۶، مروری کوتاه بر بازدارندگی شعله در مواد پلیمری، بسپارش، ۲۵، ۳۸-۴۷.
- [3] prisan, G., Taranu, N., Munteanu, V., Entuc, I., 2010, Application of Modern Polymeric Composite Materials in Industrial Construction, (Buletinul Institutului Politehnic Din Iași) Bull. Polytech. Ins., 56, 121-131.
- [4] Bar, M., Alagirusamy, R., Das, A., 2015, Flame Retardant Polymer Composites, Fibers Polym, 16, 705-717.
- [5] Kiliaris, P., Papaspyrides, C., 2010, Polymer/Layered silicate (clay) Nanocomposites: An Overview of Flame Retardancy, prog.polym.Sci, 35, 902-958.
- [6] Papaspyrides C.D, and Kiliaris P., 2014, Polymer Green Flame Retardants, Elsevier, Netherlands, 3-6.
- [7] Weil, E.D., Levchik, S.V., 2015, Flame Retardants for Plastic's and Textiles Practical Applications, Hanacr, Germany, 303-333.
- [8] Weil E.D., Choudhary V., 1995, Flame-Retarding Plastics and Elastomers with Melamine, J. Fire Sci., 13, 104-126.
- [9] Horrocks A.R. and Price D., 2001, Fire Retardant Materials, Woodhead, England, 1-51.
- [10] Luo J., Yang S., Lei L., Zhao J., and Tong Z., 2017, Toughening, Syn crgistic Fire Retardation and Water Resistance of Polydimethylsiloxane Grafted Graphene Oxide to Epoxy Nanocomposites with Trace Phosphorus, Composites Part A, 100, 275-284.

با بررسی نتایج بدست آمده متوجه می‌شویم که گرید شاهد جزو دسته‌بندی 94V-2 قرار گرفته و کم‌ترین میزان مقاومت در برابر آتش را نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. نمونه ABS/FRH7 جزو گروه 94V-1 بوده و مقاومت در برابر شعله بیش‌تری نسبت به نمونه شاهد داشته ولی نسبت به سایر نمونه‌ها مقاومت کم‌تری از خود نشان می‌دهد. سایر نمونه‌ها همانطور که در جدول ۴ مشخص است در گروه 94V-0 قرار گرفته و از مقاومت در برابر شعله بالایی برخوردارند.

نتیجه‌گیری

ما وقتی ترکیبات هالوژنه بازدارنده شعله به پلیمر ABS افزودیم بصورت موثری بازدارندگی شعله ایجاد کردیم و افزایش درصد وزنی این نوع از بازدارنده‌ها مقدار بازدارندگی شعله نیز افزایش یافت. ولی افزایش بازدارنده‌های شعله هالوژنه باعث تضعیف خواص برتر فیزیکی و مکانیکی می‌شود که با افزودن S50 و S19 این خواص برتر را نیز حفظ کردیم. بنابراین در این پژوهش توانستیم با حفظ خواص برتر ABS خاصیت بازدارندگی شعله را نیز به آن اضافه کنیم. در گریدهای تولیدی ABS/FRH در مرحله اول آزمایشات با افزایش مواد بازدارنده شعله به پلیمر شاخص‌های ذوب پلیمر افزایش یافته ولی مقاومت ضربه‌ای افت محسوسی داشته است در مقابل استحکام کششی پلیمر کاهش نشان می‌دهد.

[11] Guo W., Yu B., Yuan Y., Song L., and Hu Y., 2017, In Situ Preparation of Reduced Graphene Oxide/DOPO-Based Phosphonamidate Hybrids Towards High-Performance Epoxy Nanocomposites, Composites Part B, 123, 154-164.