اثر تاخیرانداز شعله ملامین بر خواص اشتعال‌پذیری فوم پلی‌یورتان انعطاف‌پذیر

دانیال ابراهیم‌زاده[۱]، غلامحسین ظهوری[۱*]، محمد نورمحمدی[۲]، امید جاوید[۲]

۱- گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- شرکت عایق خودروتوس (گروه صنعتی پارت لاستیک)، مشهد، ایران.

چکیده

به منظور بررسی تاثیر افزودن بازدارنده شعله ملامین با درصد وزنی متفاوت (۰، ۵، ۱۰، ۱۵) در فوم‌های پلی‌یورتان انعطاف‌پذیر سرعت اشتعال‌پذیری و مقدار خاکستر باقیمانده فوم‌ها مورد آزمون قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که با افزایش درصد ملامین (از ۰٪ تا ۱۵٪) به دلیل گرماگیر بودن مکانیسم و کاهش گازهای قابل اشتعال حاصل از تجزیه ملامین سرعت سوختن فوم‌ها کاهش یافته است و فوم پلی‌یورتان با مقدار ۱۵ درصد وزنی ملامین کم‌ترین سرعت سوختن ۴۴/۴ میلی‌متر بر دقیقه را داشته است. همچنین با افزایش درصد ملامین (از ۰٪ تا ۱۵٪) درصد خاکستر باقیمانده فوم‌ها پس از قرار گرفتن تحت حرارت (از ۱۱٪/۷ به ۲۲/۵٪) افزایش یافت که نشان دهنده افزایش مقاومت حرارتی فوم‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی: فوم پلی‌یورتان، بازدارنده شعله، انعطاف‌پذیری، ملامین، خاکستر.

۱. مقدمه

پایداری پلیمرها در برابر اشتعال‌پذیری با درک چگونگی واکنش آن‌ها نسبت به منبع اشتعال در محیطی که در آن استفاده می‌شوند مانند ساختمان‌ها، مکان‌های صنعتی و حمل و نقل تعیین می‌شود و استفاده از مواد پلیمری برای اقلام سازه‌ای، دکوراسیون داخلی، اثاثیه و غیره مشکل اشتعال‌پذیری بالقوه و افزایش خطر آتش‌سوزی آن‌ها را مطرح می‌نماید [۱]. فوم‌های پلی‌یورتان انعطاف-پذیر به دلیل ویژگی‌هایی که دارند از جمله چگالی کم، انعطاف‌پذیری بالا، نفوذپذیری هوای بالا، ساختار سلول باز و غیره کاربرد گسترده‌ای در صنعت مبلمان، تشک و صندلی، خودروسازی و بسته‌بندی دارند. فوم‌های پلی‌یورتان مستعد آتش‌سوزی هستند که دلیل آن تخلخل بالا است و نفوذ هوا را به درون ساختار پلیمر سرعت اشتعال را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، عوامل فوم‌زا مورد

* نویسنده مسئول: zohuri@um.ac.ir

استفاده در تولید فوم‌های PU که عمدتاً هیدروکربن‌هایی مانند سیکلوپنتان، n-پنتان، متیلن کلرید و کلروفلوروکربن‌ها هستند که می‌توانند منجر به خطر آتش‌سوزی شوند. بر اساس این عوامل، نیاز به بهبود مقاومت در برابر شعله فوم‌های PU بدون به خطر انداختن خواص ذاتی آن‌ها وجود دارد و برای این منظور از بازدارنده‌های شعله به عنوان اجزای افزودنی یا واکنش‌دهنده معرفی می‌شوند [۳,۲].

بازدارنده‌های شعله افزودنی عمدتاً شامل ترکیبات فسفر، ملامین، گرافیت قابل انبساط، آلومینیوم هیدروکسید و غیره هستند که افزودنی از طریق اختلاط فیزیکی و مکانیکی ساده وارد فوم می‌شوند که تأثیر اندکی بر فرمولاسیون فوم دارد و بازدارندگی شعله خوبی از خود نشان می‌دهند. بازدارنده‌های شعله واکنش دهنده عمدتاً شامل پلی‌ال‌ها و ایزوسیانات‌های بازدارنده شعله هستند که در واکنش پلیمریزاسیون شرکت نموده و اثر بازدارندگی شعله را ایجاد می‌نمایند. همچنین اگر دو بازدارنده شعله زمانی که با هم در یک پلیمر وجود دارند، اثر فعالیت تاخیراندازی شعله بیشتری را نسبت به حضور جداگانه دارند، مثلا اگر ترکیبی از نیتروژن و فسفر به عنوان بازدارنده شعله استفاده شوند اثر بیشتری نسبت به استفاده هر یک به تنهایی دارند که به این اثر هم‌افزایی گفته می‌شود [۴,۱].

۲. بخش تجربی

۲-۱. مواد مورد استفاده

از پلی‌ال پلی‌اتری و متیلن دی‌فنیل دی‌ایزوسیانات (Toluene diisocyanate,TDI) به عنوان دو جز اصلی در ساخت فوم پلی‌یورتان انعطاف‌پذیر استفاده شد. افزودنی‌ها مثل عامل فعال سطحی سیلیکونی، عامل گسترش‌دهنده زنجیر پلیمری، کاتالیست آلی-فلزی (Dibutyltin dilaurate,DBTDL)، کاتالیست آمینی (1,4-diazabicyclo[2.2.2]octane,DABCO)، دوده به عنوان رنگدانه و پر کننده، آب دیونیزه شده به عنوان عامل فوم‌زا شیمیایی و ملامین به عنوان بازدارنده شعله و پر کننده استفاده شد.

۲-۲. روش آماده‌سازی

به منظور ساخت فوم‌های پلی‌یورتان انعطاف‌پذیر از ۲ جز استفاده شد. پلی‌ال پلی‌اتری همراه با دیگر افزودنی‌ها از جمله عامل فعال سطحی سیلیکونی، عامل گسترش‌دهنده زنجیر پلیمری، کاتالیست آلی-فلزی (DBTDL)، کاتالیست آمینی (DABCO)، دوده، آب دیونیزه شده و همچنین ملامین با درصد وزنی‌های متفاوت (۰، ۵، ۱۰، ۱۵) به عنوان جز A مخلوط نموده و توسط همزن مکانیکی به مدت ۱۵ دقیقه همزده شدند. در ادامه دی‌ایزوسیانات (TDI) به عنوان جز B با جز A که پلی‌ال آماده شده می‌باشد، ترکیب نموده و به مدت ۱۰ ثانیه توسط همزن مکانیکی با دور ۱۵۰۰ rpm همزده شد و در قالب مورد نظر قرار داده شدند. پس از گذشت چند دقیقه فوم پلی‌یورتان بالا آمده و پس از پخت و خشک شدن فوم آن را برش زده و آزمون‌های مورد نظر انجام شدند. فرمولاسیون مواد استفاده شده برای ساخت فوم پلی‌یورتان در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- فرمولاسیون استفاده شده برای ساخت فوم پلی‌یورتان انعطاف‌پذیر.

مواد	مقدار (g)
پلی‌ال	۱۰۰
عامل گسترش‌دهنده زنجیر	۱/۸
کاتالیست آلی-فلزی	۰/۱۱
کاتالیست آمینی	۰/۶
دوده	۰/۲
آب مقطر	۱/۵
ایزوسیانات	۳۹
بازدارنده شعله	۰، ۵، ۱۰، ۱۵ (درصد وزنی)

۳-۲. اشتعال‌پذیری فوم‌ها

به منظور بررسی اشتعال‌پذیری فوم‌ها بر طبق استاندارد UL94 (ASTM D635) افقی مکعب‌هایی با ابعاد ۱۰×۱۳×۱۲۵ میلی‌متر برش داده شد سپس نمونه‌ها به صورت افقی در معرض شعله قرار گرفته شدند و سرعت سوختن آن‌ها بررسی شد.

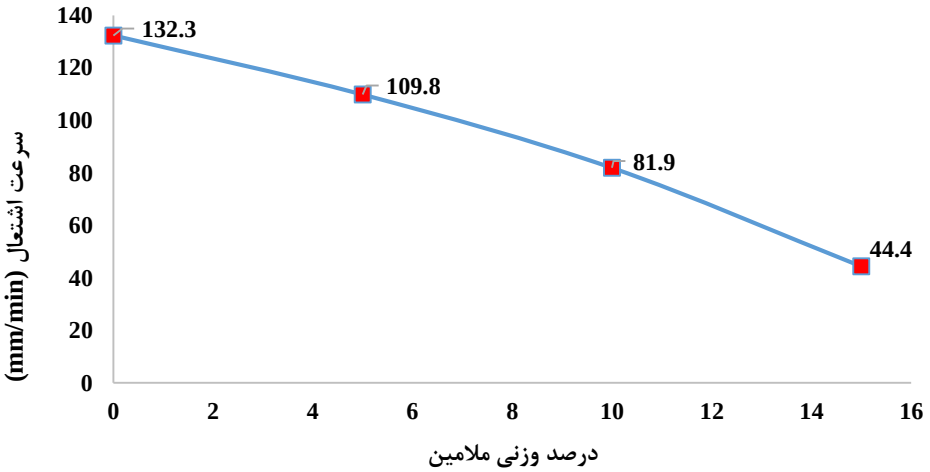
۴-۲. درصد خاکستر

به منظور اندازه‌گیری درصد خاکستر باقیمانده، فوم‌ها طبق استاندارد ISIRI 10237 به مدت ۴۵ دقیقه در کوره تحت حرارت ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

۳. نتایج و بحث

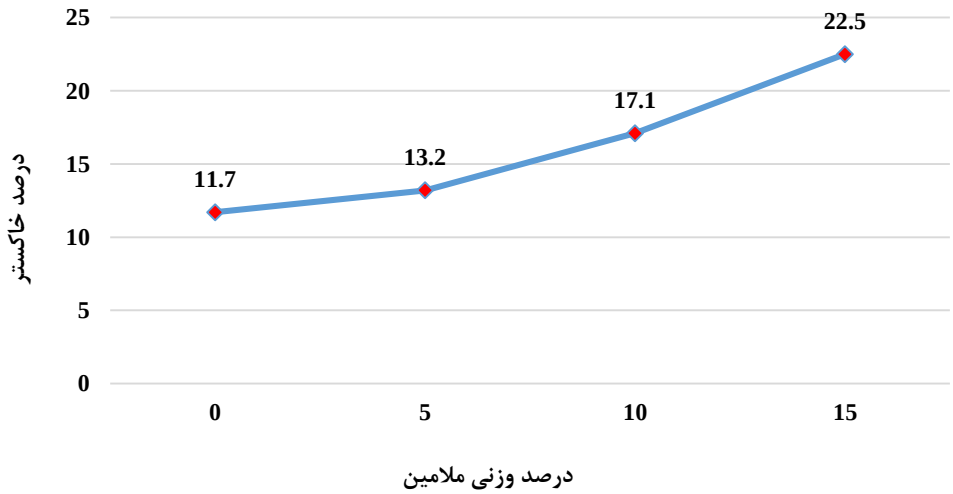
فوم‌های پلی‌یورتان انعطاف‌پذیر با درصد وزنی (۰، ۵، ۱۰، ۱۵) ملامین سنتز شد و اشتعال‌پذیری آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت (شکل۱). مشاهده شد که با افزایش درصد ملامین به عنوان افزودنی تاخیرانداز شعله به فرمولاسیون، سرعت سوختن فوم‌ها روند کاهشی یافت. نمونه با ۱۵ درصد وزنی ملامین دارای کم‌ترین سرعت اشتعال‌پذیری ۴۴/۴ میلی‌متر بر دقیقه است. ملامین ماده‌ای با پایداری حرارتی بالا است و ۶۷٪ آن را نیتروژن تشکیل می‌دهد. ساز و کار بازدارندگی اشتعال ملامین به شکلی است که همانند یک چاه گرمایی عمل نموده و گرما را در خود ذخیره می‌نماید. ملامین در واقع در دمایی $350\ ^{\circ}C$ شروع به تصعید نموده که در طی فرایند تصعید انرژی زیادی را جذب می‌نماید و این فرآیند گرماگیر است با جذب گرما دما را پایین می‌آورد که منجر به رقیق شدن گازهای قابل اشتعال و اکسیژن در ناحیه احتراق می‌شود. در نتیجه به خنک شدن ماتریس پلیمری کمک می‌نماید. بدین

صورت افزودن ملامین باعث کاهش اشتعال‌پذیری فوم‌های پلی‌یورتان می‌شود. همچنین تجزیه ملامین آب، کربن دی‌اکسید و آمونیاک را به عنوان گازهای غیر قابل اشتعال آزاد نموده با رهاسازی آمونیاک غلظت گازهای قابل اشتعال و اکسیژن کاهش می‌یابد.



شکل ۱- تاثیر افزودنی ملامین بر سرعت اشتعال‌پذیری فوم‌های پلی‌یورتان انعطاف‌پذیر.

همچنین با توجه به شکل ۲ می‌توان مشاهده نمود که با افزودن تاخیرانداز شعله ملامین، اشتعال‌پذیری فوم‌های پلی‌یورتان مقاومت حرارتی بیشتری پیدا نمودند. با افزایش درصد ملامین (از ۰٪ تا ۱۵٪) مقدار خاکستر باقیمانده فوم‌ها پس از قرار گرفتن تحت حرارت ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره از ۱۱/۷٪ به ۲۲/۵٪ افزایش یافت که نشان دهنده تاثیر ملامین بر کاهش اشتعال‌پذیری ماتریس پلیمری فوم می‌باشد. ملامین به عنوان یک بازدارنده شعله بر پایه نیتروژن در هنگام تصعید انرژی گرمایی فوم پلی‌یورتان را جذب نموده و باعث تاخیر سوختن فوم می‌شود.



شکل ۲- تاثیر افزودنی ملامین بر اشتعال‌پذیری فوم‌های پلی‌یورتان انعطاف‌پذیر.

۴. نتیجه‌گیری

فوم‌های پلی‌یورتان انعطاف‌پذیر با درصد وزنی (۰، ۵، ۱۰، ۱۵) بازدارنده شعله تهیه شدند. سرعت اشتعال‌پذیری نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد با افزایش درصد وزنی تاخیر انداز شعله ملامین تا ۱۵درصد با یک مکانیسم گرماگیر باعث کاهش سرعت سوختن فوم‌ها تا ۴۴/۴ میلی‌متر بر دقیقه شد. همچنین با افزایش درصد وزنی ملامین (از ۰٪ تا ۱۵٪) درصد خاکستر باقیمانده فوم‌ها پس از حرارت از ۱۱/۷٪ به ۲۲/۵٪ افزایش یافت که نشان دهنده افزایش مقاومت حرارتی فوم‌ها می‌باشد.

۵. قدردانی

از گروه شیمی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد (کد طرح: ۵۹۲۶۴) و شرکت عایق خودرو توس (گروه صنعتی پارت لاستیک) مشهد جهت همکاری و پشتیبانی فنی و مالی در انجام پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. مراجع

[1] Horrocks, A. R. (2022). Fundamentals: Flammability, ignition, and fire spread in polymers. In *Analysis of Flame Retardancy in Polymer Science* (pp. 1-72). Elsevier.

[2] Ming, G., Chen, S., Sun, Y., & Wang, Y. (2017). Flame retardancy and thermal properties of flexible polyurethane foam containing expanded graphite. *Combustion Science and Technology*, *189*(5), 793-805.

[3] Yadav, A., de Souza, F. M., Dawsey, T., & Gupta, R. K. (2022). Recent advancements in flame-retardant polyurethane foams: a review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *61*(41), 15046-15065.

[4] Ma, S., Xiao, Y., Zhou, F., Schartel, B., Chan, Y. Y., Korobeinichev, O. P., ... & Hu, Y. (2020). Effects of novel phosphorus-nitrogen-containing DOPO derivative salts on mechanical properties, thermal stability and flame retardancy of flexible polyurethane foam. *Polymer Degradation and Stability*, *177*, 109160.