

بررسی عملکرد سوختن کف پوشها و مواد پلیمری به روش گرماسنجی مخروطی

Combustion Characteristics Studies of Flooring and Polymeric Materials by Cone Calorimetry

عبدالصمد زرین فلم^۱، محمدرضا رضایی^۲، محمود محراب زاده^۳

۲۰۹، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، ۳- مرکز تحقیقات پلیمر ایران

دریافت: ۹۵/۵/۹، پذیرش: ۷۵/۷/۳۰

چکیده

در این پژوهش، عملکرد سوختن چند نوع کف پوش (موکت فانتیگت، موکت نسبی، پارکت، فرش ماشینی و کفپوش پلیمری PVC) و چند نوع پلیمر (اسفنج پلی یورئان، پلی متیل متاکریلات، پلی پروپیلن و پلی اتیلن) همراه با ناخبرانه‌های اشتعال منیزیم هیدروکسید، آلومینیم هیدروکسید و آنتیموان اکسید بررسی شده است. آزمایشهای لازم با استفاده از دستگاه گرماسنج مخروطی به عمل آمده است. نتایج نشان می‌دهد که در بین کفپوشهای آزمایش شده از لحاظ ایمنی در برابر آتش، پارکت مناسبترین کفپوش است. همچنین، از میان ناخبرانه‌های اشتعال آزمایش شده نیز منیزیم هیدروکسید نتیجه بهتری دارد و با افزودن این ماده به دو پلیمر پلی پروپیلن و پلی اتیلن در درصدهای مختلف، تمام پارامترهای اشتعال بهبود می‌یابد. در مورد آلومینیم هیدروکسید وضع متفاوت است و آمردهای آن در درصدهای کم، زمان افروزش را کاهش می‌دهد. ولی در ترکیب درصدهای زیاد (حدود ۵۰٪) و بیشتر آلومینیم هیدروکسید باعث افزایش متفاوت گرمایی می‌شود و در نتیجه، زمان افروزش را طولانی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سوختن پلیمر، مازدارندگی اشتعال، آتش‌سوزی در ساختمان، روش گرماسنجی مخروطی، سرعت آزاد شدن گرما

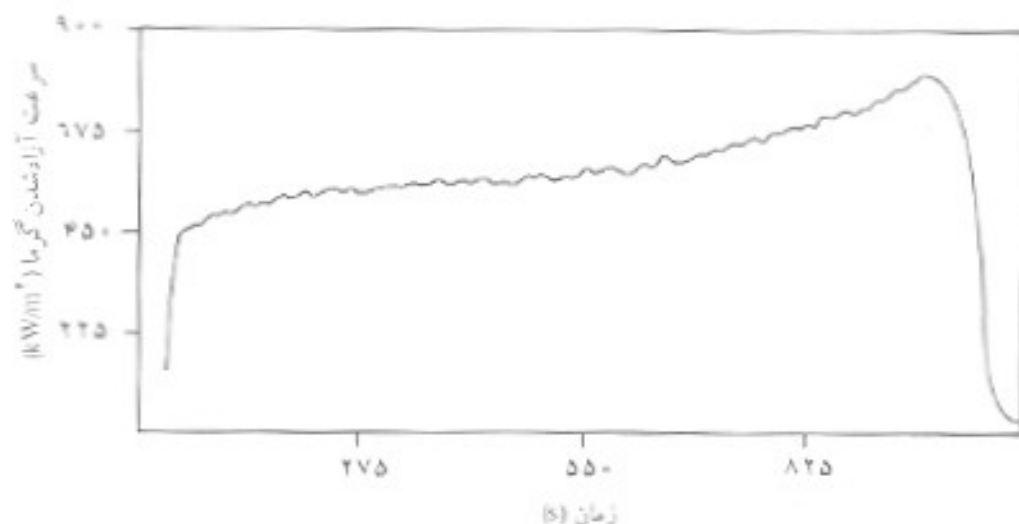
Key Words: polymer combustion, fire retardation, fire in building, cone calorimetry method, rate of heat release

مقدمه

مطالعه عملکرد سوختن مواد بکار رفته در ساختمان از این نظر اهمیت دارد که ارزیابی مواد اشتعال پذیر موجود به هنگام آتش‌سوزی را ممکن می‌سازد. چنانچه این مواد سرعت اشتعال زیادی داشته باشند، باعث گسترش سریع آتش به قسمتهای مختلف ساختمان می‌شوند و اگر سوختن این مواد انرژی زیادی نیز تولید کند، می‌تواند ستونهای اصلی ساختمان را تحت تاثیر گرما قرار دهد و باعث خمش و تخریب آنها شود. از این رو، در پیش‌بینی ایمنی در برابر آتش‌سوزی ساختمان، توجه به عملکرد سوختن مواد بکار رفته در آن یکی از موارد مهم است.

در حال حاضر، با گسترش صنایع و تولید محصولات متنوع سنتزی، بسیاری از وسایل درون ساختمان مانند مبلمان، دکوراسیون و کف پوشها از مواد پلیمری و پلاستیکی ساخته می‌شوند. با نگاهی گذرا به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این مواد براحتی می‌توان دریافت که همگی اشتعال پذیرند و سوختن آنها همراه با آزاد شدن مفادیر زیادی انرژی است. همچنین، اغلب این مواد علاوه بر خواص اشتعال پذیری، گازهای سمی نیز تولید می‌کنند که خطری جدی برای سلامتی به حساب می‌آید و تنها به همین دلیل در بسیاری از کشورها مصرف برخی از این مواد پلیمری در ساختمانها ممنوع شده است.

علوم تکنولوژی غیر
سال نهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۷۵



شکل ۱- نمودار سرعت آزاد شدن گرما از PMMA نسبت به زمان در شار گرمای 50 kW/m^2 .

- زمان افروزش (TTI, Time To Ignition).

- سرعت آزاد شدن گرما (RHR, Rate of Heat Release).

- سطح تیرگی ویژه (SEA, Specific Extinction Area).

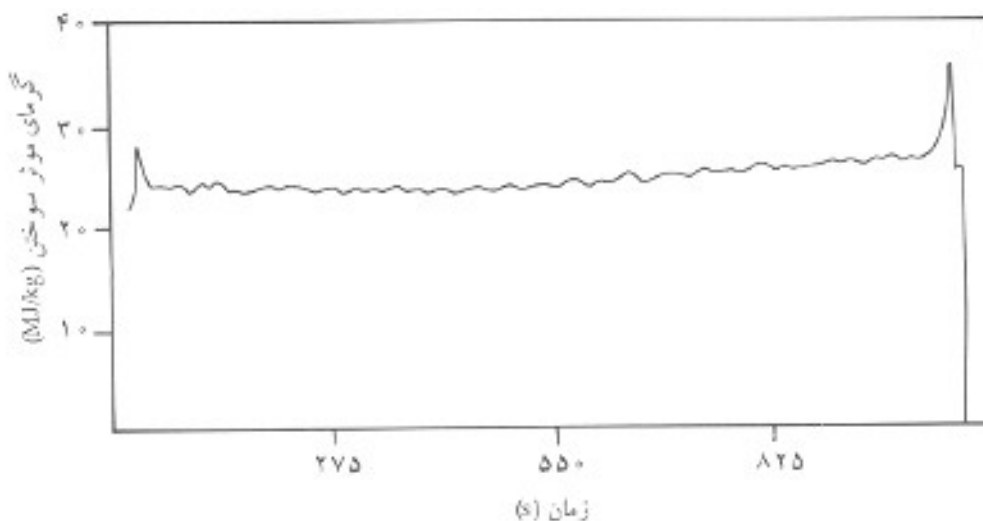
جدول ۱- فرمول شیمیایی و گرمای سوختن برخی از گازها، پلیمرهای مصنوعی و سوختهای طبیعی.

گرمای سوختن		فرمول شیمیایی	سوخت
(kJ/g)	(kJ/g)		
-۱۲/۵۴	-۵۰/۰۱	CH_4	متان
-۱۲/۷۵	-۴۷/۴۸	C_2H_6	اتان
-۱۲/۷۸	-۴۵/۷۲	C_3H_8	پروتان
-۱۳/۷۸	-۴۷/۱۶	C_4H_{10}	بوتان
-۱۲/۶۵	-۴۳/۲۸	$(-\text{C}_7\text{H}_{16}-)_n$	پلی اتیلن
-۱۲/۶۶	-۴۳/۳۱	$(-\text{C}_8\text{H}_{18}-)_n$	پلی پروپیلن
-۱۲/۸۴	-۱۶/۴۳	$(-\text{C}_7\text{H}_7\text{Cl}-)_n$	پلی وینیل کلراید
-۱۲/۹۷	-۳۹/۸۵	$(-\text{C}_8\text{H}_8-)_n$	پلی استیرن
-۱۲/۹۸	-۲۴/۸۹	$(-\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_7-)_n$	پلی متاکریلات
-۱۳/۱۲	-۲۹/۷۲	$(-\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_4-)_n$	پلی کربنات
-۱۳/۶۰	-۳۰/۶۰	$(-\text{C}_6\text{H}_6\text{N}-)_n$	پلی آکریلونیتریل
-۱۲/۶۷	-۲۹/۵۸	-	ناپلئون ۶۶
-۱۳/۵۹	-۱۶/۰۹	-	سلولوز
-۱۳/۶۱	-۱۵/۵۵	-	کتان
-۱۳/۴۰	-۱۸/۴۰	-	روزانه
-۱۲/۵۱	-۱۷/۷۶	-	چوب آفرا
-۱۳/۵۱	-۳۵/۱۷	-	زغال سنگ

در کشور های صنعتی، برای مقابله اساسی با سبب آتش سوزی هنداسیر ایمنی زیادی بکار گرفته شده است. از جمله اینکه پارامتر های مختلف اشتعال برای مواد گوناگون تعریف شده و آزمایشهای لازم جهت اندازه گیری دقیق این پارامترها پیش بینی شده است که در این میان آزمایشگاهها و اداره استاندارد نقش عمده ای دارند.

سرعت آزاد شدن گرما از مهمترین پارامترهایی است که برای توصیف یک آتش سوزی بکار می رود. در واقع، این پارامتر تعیین کننده وسعت یا شدت آتش سوزی است و عاملی اساسی برای تعیین اشتعال پذیری مواد است. در دو دهه اخیر قانونی جدید و کامل برای اندازه گیری سرعت آزاد شدن گرما پیشنهاد شده است که عبارت از اصل اکسیژن مصرف شده است. معمولاً، برای تمام سوختهای معمولی که در آتش سوزی با آنها مواجه هستیم می توان نشان داد که گرمای سوختن بر واحد جرم اکسیژن مصرف شده تقریباً مقدار یکسانی دارد. مقدار نمونه برای تعدادی از گازها، پلیمرهای مصنوعی و سوختهای طبیعی انتخاب و در جدول ۱ ارائه شده است [۱۱،۱۲].

در سال ۱۹۸۶ موسسه بین المللی استاندارد و نکتولوژی (NIST) دستگاه جدیدی برای اندازه گیری سرعت آزاد شدن گرما ارائه کرد که دستگاه گرماسنج مخروطی نام دارد و به این علت به آن مخروطی می گویند که همان گرم کننده آن به شکل مخروط ناقص است. این دستگاه آزمون اشتعال، اطلاعات استاندارد برای مواد مورد نظر که در معرض آفرزی ناشی کنترل شده و معین (شار گرمایی صفر تا ۱۱۰ کیلووات بر متر مربع) بطور واقعی یا عمودی قرار گرفته اند، بدست می دهد. پارامترهایی که با استفاده از این دستگاه در آزمایش نمونه ها بدست می آید، به ترتیب زیر است [۲،۴]:



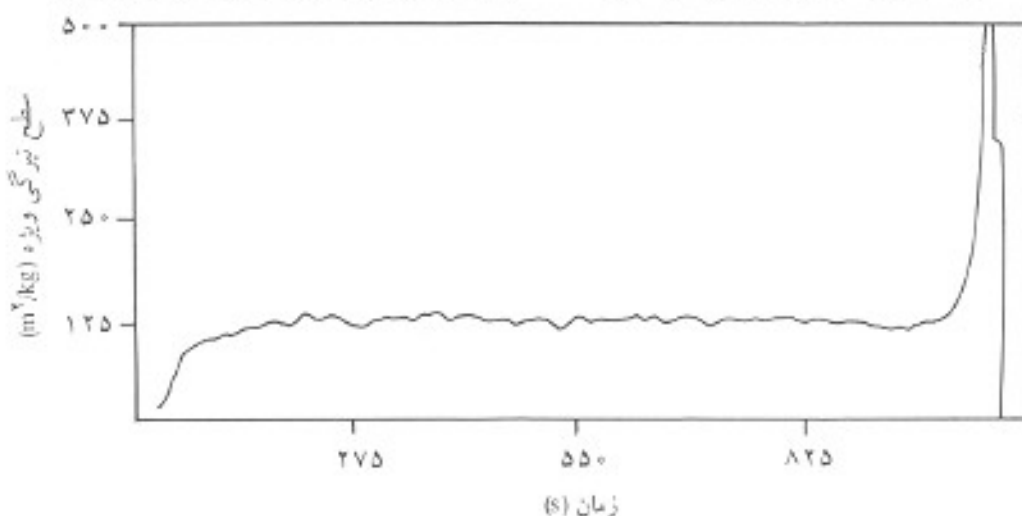
شکل ۲- نمودار تغییر گرمای موثر سوختن PMMA نسبت به زمان در شار گرمای 50 kW/m^2 .

مقدار ثابتی است. فرض می‌شود که این مقدار ثابت برابر $1/13$ (kJ/gO_2) باشد که این مقدار یا خطای کمتر از ۵ درصد برای بیشتر مواد قابل قبول است. این واقعیت اساس روش گرماسنجی بر مبنای اکسیژن مصرفی است و برای اندازه‌گیری سرعت آزاد شدن گرما از آن استفاده می‌شود.

با توجه به مطالب یادشده، سرعت آزاد شدن گرما (q) را می‌توان از معادله زیر بدست آورد [۱، ۵]:

$$q = E(m_0 - m) \quad (1)$$

که در این معادله E گرمای احتراق بر واحد جرم اکسیژن و m_0 و m به ترتیب دبی جرمی اکسیژن ورودی و خروجی است.

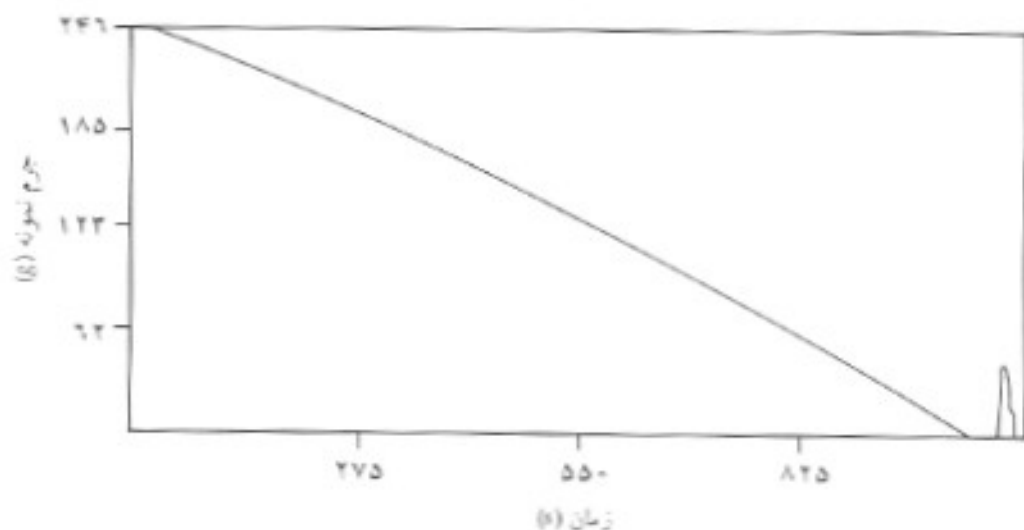


شکل ۳- نمودار تغییر سطح تیرگی ویژه PMMA نسبت به زمان در شار گرمای 50 kW/m^2 .

- گرمای موثر سوختن (Effective Heat of Combustion, ΔH_{eff})
 - سرعت کاهش جرم (Mass Reduction Rate, MRR)
 - نسبت جرم کربن مونوکسید تولید شده از سوختن به جرم جسم و
 - نسبت جرم کربن دیوکسید تولید شده از سوختن به جرم جسم.
 تغییرات همه پارامترها، به غیر از زمان آفرزش، به صورت تابعی از زمان ثبت می‌شود که در شکل‌های ۱ تا ۶ نتایج آزمایش‌های انجام شده روی پلی‌متیل متاکریلات (PMMA) در شار گرمای 50 کیلووات بر مترمربع نشان داده شده است.

اساس نظری

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ براحتی می‌توان دریافت که گرمای آزاد شده بر واحد جرم اکسیژن مصرفی برای بیشتر مواد تقریباً



شکل ۴. نمودار تغییر جرم نمونه PMMA نسبت به زمان در شار گرمای 5 kW/m^2 .

که در آن X_A و X_{A_0} به ترتیب کسر مولی اکسیژن هوای ورودی و خروجی از سیستم در تجزیه کننده و M_{O_2} و M_A به ترتیب جرم مولکولی اکسیژن و هواست.

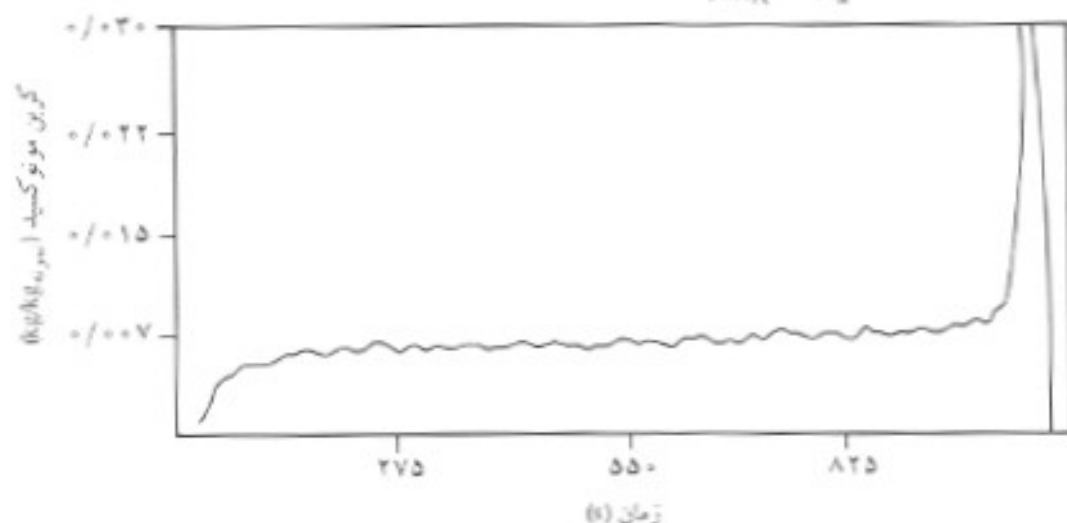
در معادله (۲) دبی جرمی هوای ورودی به سیستم (m_a) را نمی توان اندازه گیری کرد. در ضمن، مقدار آن با دبی جرمی گازهای خروجی از سیستم (m_c) نیز برابر نیست، ولی با توجه به ضریب اکسیژن کاهش یافته (ϕ) و ضریب انبساط هوای ورودی به سیستم (α) می توان نشان داد که رابطه بین این دو پارامتر چنین است:

$$m_a = \frac{m_c}{1 + \phi(\alpha - 1)} \quad (3)$$

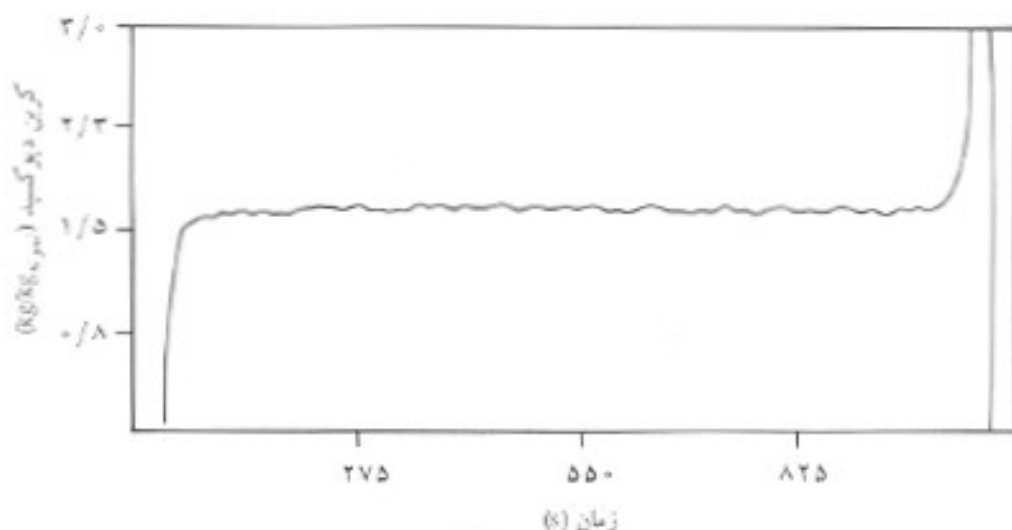
با جایگزین کردن معادله ۳ در معادله ۲ و ساده کردن آن معادله زیر

اندازه گیری دبی جرمی اکسیژن ورودی به سیستم و خروجی از آن امکان پذیر نیست، ولی کسر مولی اکسیژن در گازهای ورودی و خروجی به راحتی قابل اندازه گیری است. بنابراین، در معادله ۱ به جای دبی جرمی اکسیژن باید از مقادیر کسر مولی استفاده کرد. در ضمن، گاز کربن دیوکسید و بخار آب هوای ورودی به سیستم و خروجی از آن، قبل از ورود به دستگاه تجزیه کننده اکسیژن، جداسازی می شوند. چون مقدار گاز کربن مونوکسید نیز ناچیز است از آن صرف نظر می شود. پس، نمونه گزاری که وارد دستگاه تجزیه کننده اکسیژن می شود، تنها شامل اکسیژن و نیتروژن است. با توجه به این شرایط می توان نشان داد که [۵، ۶]

$$q = E \frac{(X_{A_0} - X_A)}{1 - X_A} \frac{M_{O_2}}{M_A} m_a \quad (4)$$



شکل ۵. نمودار تغییر میزان گرمون مونوکسید حاصل از سوختن PMMA نسبت به زمان در شار گرمای 5 kW/m^2 .



شکل ۶- نمودار تغییر میزان کربن دی‌اکسید حاصل از سوختن PMMA نسبت به زمان در شار گرمای ۵۰ kW/m².

حاصل می‌شود: که در این معادله C ثابت درجه‌بندی و ΔP اختلاف فشار گازهای خروجی در دو طرف صفحه سوراخدار و T_c دمای گازهای خروجی در محل صفحه سوراخدار است.

با جایگزینی معادله ۵ در ۴ و قراردادن مقادیر عددی X_A و α (به ترتیب ۰/۲۰۹۵ و ۱/۱۰۵) معادله زیر حاصل می‌شود [۷]:

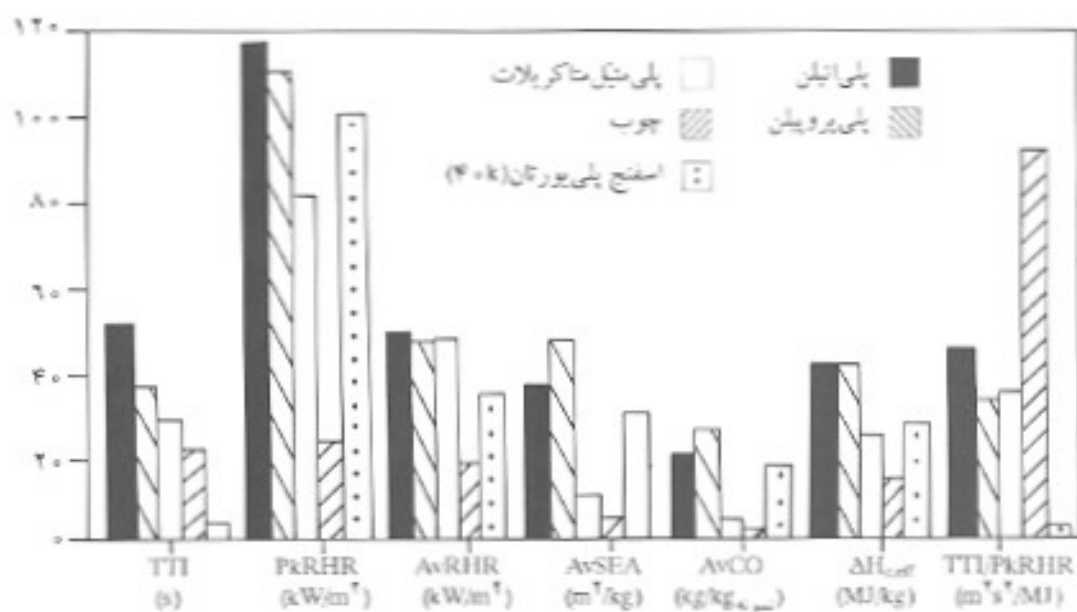
$$q = \frac{\Delta H_c}{T_c} (1/10) C(\Delta P/T_c)^{1/2} \left(\frac{X_{A,0} \cdot X_A}{1/105 - 1/5 X_A} \right) \quad (1)$$

که معادله گرماسنجی مخروطی برای اندازه‌گیری و محاسبه

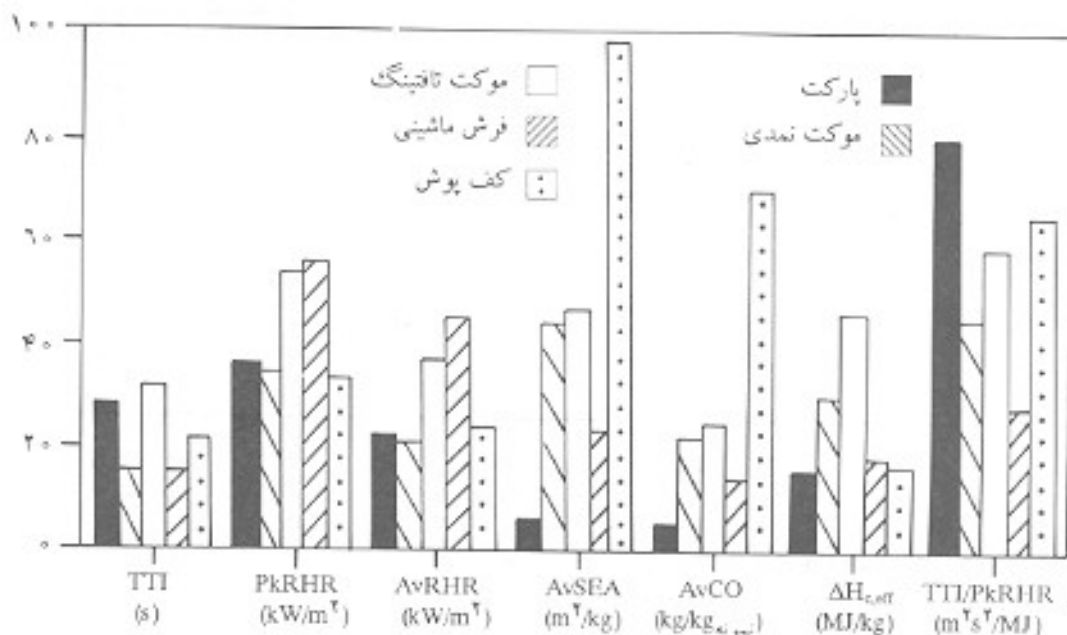
$$q = 1/10 E \left(\frac{m_c}{1 + \phi(\alpha - 1)} \right) m_c X_{A,0} \quad (4)$$

دبی جرمی گازهای خروجی از سیستم با استفاده از معادله برنولی و محاسبات مربوط به افت فشار در دو طرف صفحه سوراخدار از معادله زیر بدست می‌آید:

$$m_c = C(\Delta P/T_c)^{1/2} \quad (5)$$



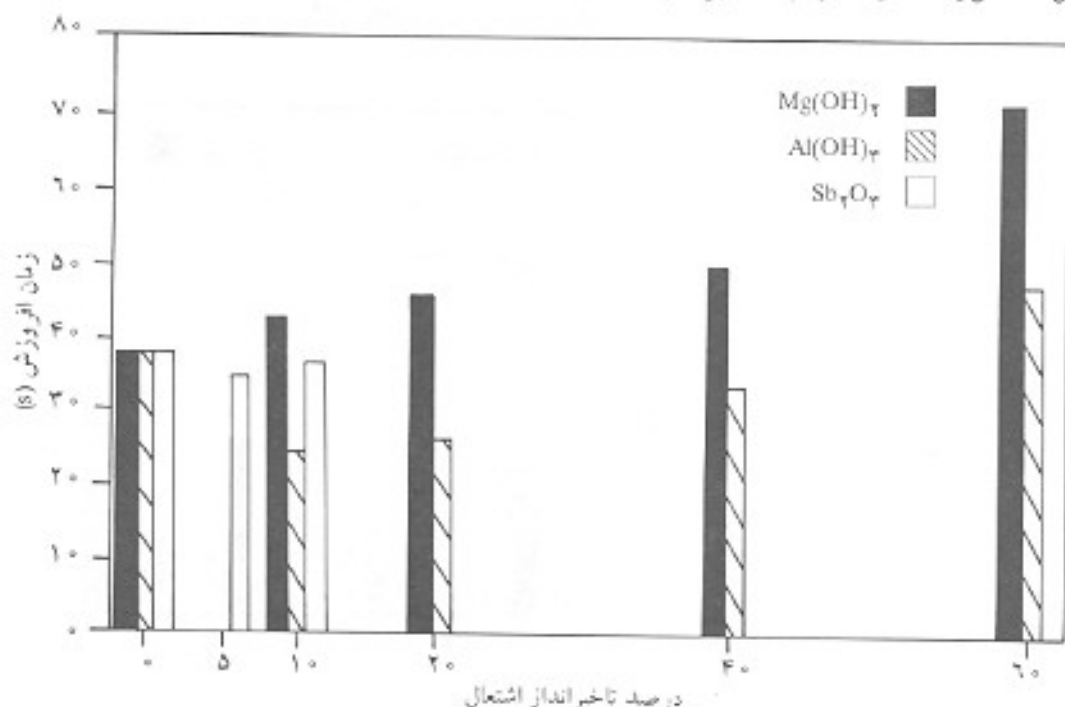
شکل ۷- پارامترهای اشتعال PE، PMMA، PP، چوب و اسفنج PU در شار گرمای ۵۰ kW/m².



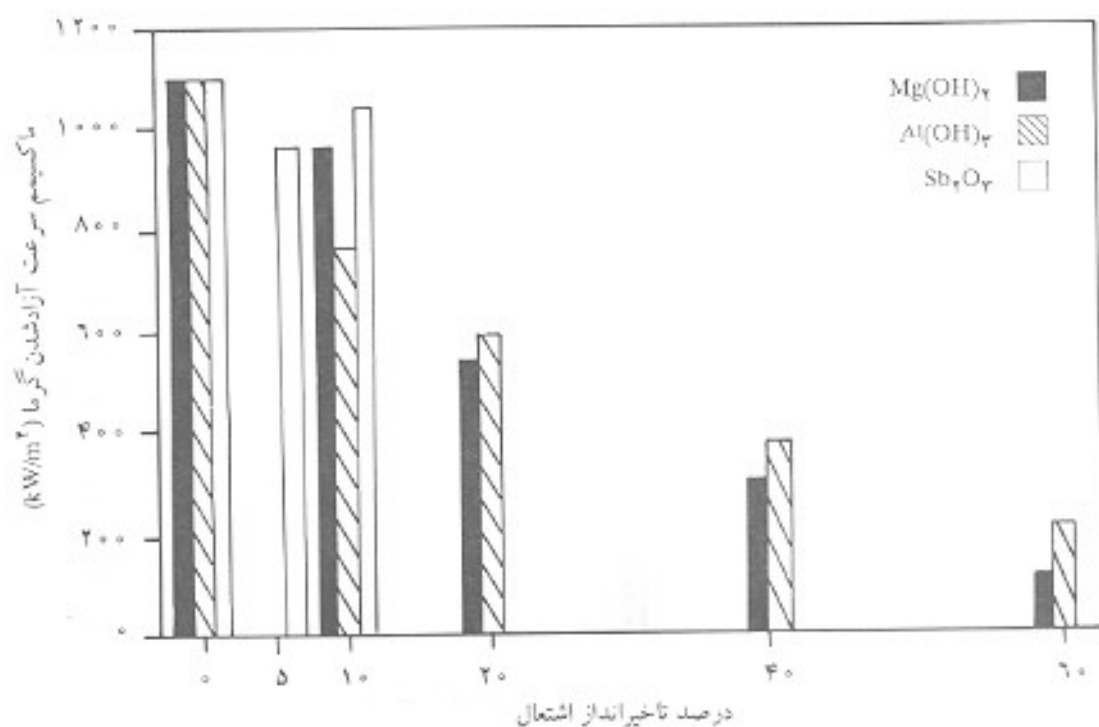
شکل ۸- پارامترهای اشتعال برای چند نوع کفپوش متداول در ایران در شار گرمای 5 kW/m^2 .

سرعت آزاد شدن گرماست. در این معادله ΔH_c گرمای استاندارد احتراق، τ نسبت جرم اکسیژن به جرم سوخت است. ثابت درجه‌بندی C با استفاده از گاز درجه‌بندی متان معین می‌شود. نکته قابل توجه این است که برای مواد با ترکیب نامعین، یعنی موادی که مقدار $\Delta H_c/\tau$ برای آنها بطور دقیق مشخص نیست، در معادله بالا به جای این نسبت مقدار

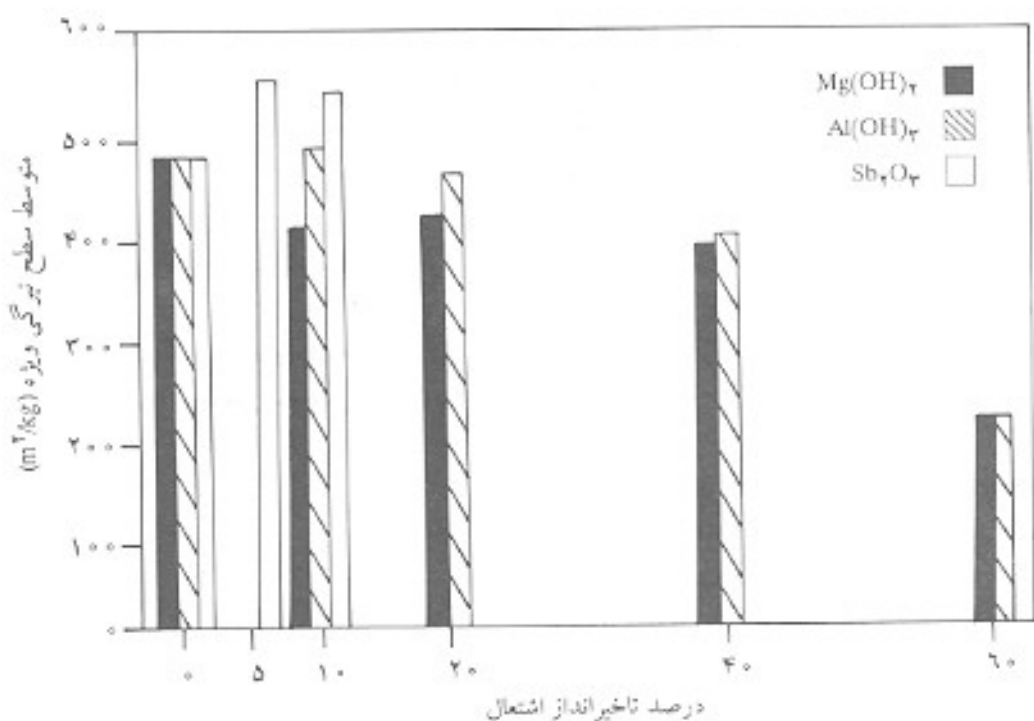
مقدار $13/1 \times 10^3 \text{ (kJ/kg)}$ قرار می‌گیرد و برای موادی که مقدار دقیق این جمله مشخص است، عدد مربوط جایگزین می‌شود. مثلاً، برای گاز درجه‌بندی متان مقدار آن برابر $12/54 \times 10^3 \text{ (kJ/kg)}$ است. همان‌طور که اشاره شد، سرعت آزاد شدن گرما بطور نظری از روی اکسیژن مصرف شده با استفاده از معادله ۶ حساب می‌شود.



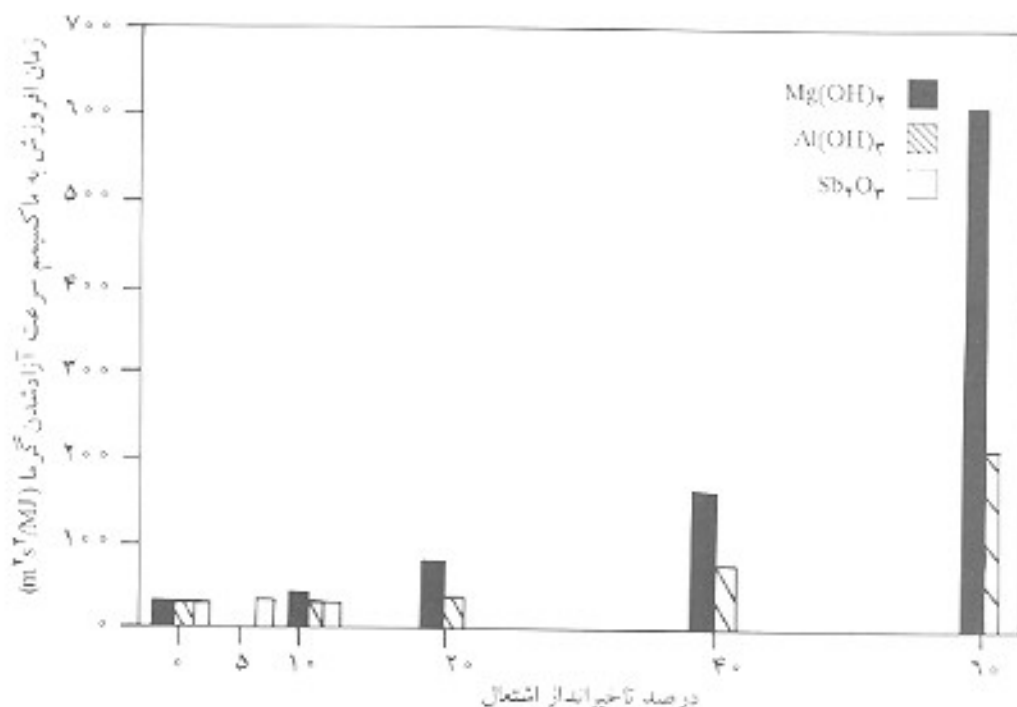
شکل ۹- زمان افروزش اندازه‌گیری شده برای PP خالص و آمیزه آن با تاخیر اندازهای اشتعال در شار گرمای 5 kW/m^2 .



شکل ۱۰- ماکسیمم سرعت آزادشدن گرما برای PP خالص و آمیزه آن با تأخیراندازهای اشتعال در شار گرمای ۵۰ kW/m².



شکل ۱۱- متوسط سطح تیرگی ویژه برای PP خالص و آمیزه آن با تأخیراندازهای اشتعال در شار گرمای ۵۰ kW/m².



شکل ۱۲- نسبت زمان افروزش به ماکسیمم سرعت آزادشدن گرما برای PP خالص و آمیزه آن با تاخیراندازهای اشتعال در شار گرمای ۵۰ kW/m².

مواد

مشخصات مواد بکاررفته عبارتند از: پلی اتیلن (LDPE، ۷۵، LFO)، پلی پروپیلن (PP، ۳۰ S)، اسفنج پلی یورتان (۴۰ K)، پلی متیل متاکریلات (ماده‌ای سپاه رنگ که نمونه استاندارد گرماسنج مخروطی است)، پلی وینیل کلراید (PVC نوع ۳، قابل سفت شدن در برابر گرما)، فرش ماشینی (تولید کارخانه‌های داخلی، ۳۵۰ شانه)، موکت (تولید کارخانه‌های داخلی، تافتینگ و نمدی)، پارکت (چوب گردو)، کف پوش پلیمری PVC (خارجی)، پلی اتیلن (PE) و پلی پروپیلن (PP) همراه با تاخیراندازهای اشتعال منیزیم هیدروکسید (Mg(OH)₂) صنعتی مرکب، پودر با مش ۶۰ و کوچکتر از آن، آلومینیم هیدروکسید (Al(OH)₃) آزمایشگاهی مرکب، پودر ریز خالص و آنتی‌مون اکسید (Sb₂O₃) با درصدهای متفاوت.

دستگاهها

از دستگاه گرماسنج مخروطی مدل استانتون ردکرافت طبق استاندارد (ASTM E-۱۳۵۹-۹۰ و ISO/DIS ۵۶۶۰) برای مطالعه پارامترهای اشتعال نمونه‌ها استفاده شد. با این دستگاه می‌توان نمونه‌ها را در ابعاد کوچک آزمایش کرد و از نتایج حاصل برای مطالعه رفتار نمونه در ابعاد واقعی استفاده کرد.

روشها

تاخیراندازهای اشتعال طی یک فرآیند فیزیکی ساده (اختلاط) به PE و PP

در ضمن، در گرماسنج مخروطی برای تعیین سرعت تولید دود ضریب تیرگی اندازه‌گیری می‌شود که معادله آن مطابق قانون بیرلامبرت چنین است [۴]:

$$I = I_0 e^{-KL}$$

(۷)

$$K = \left(\frac{1}{I}\right) \ln \frac{I_0}{I}$$

که I_0 شدت نور اولیه، I شدت نور خروجی، K ضریب تیرگی و L طول مسیر دوده است.

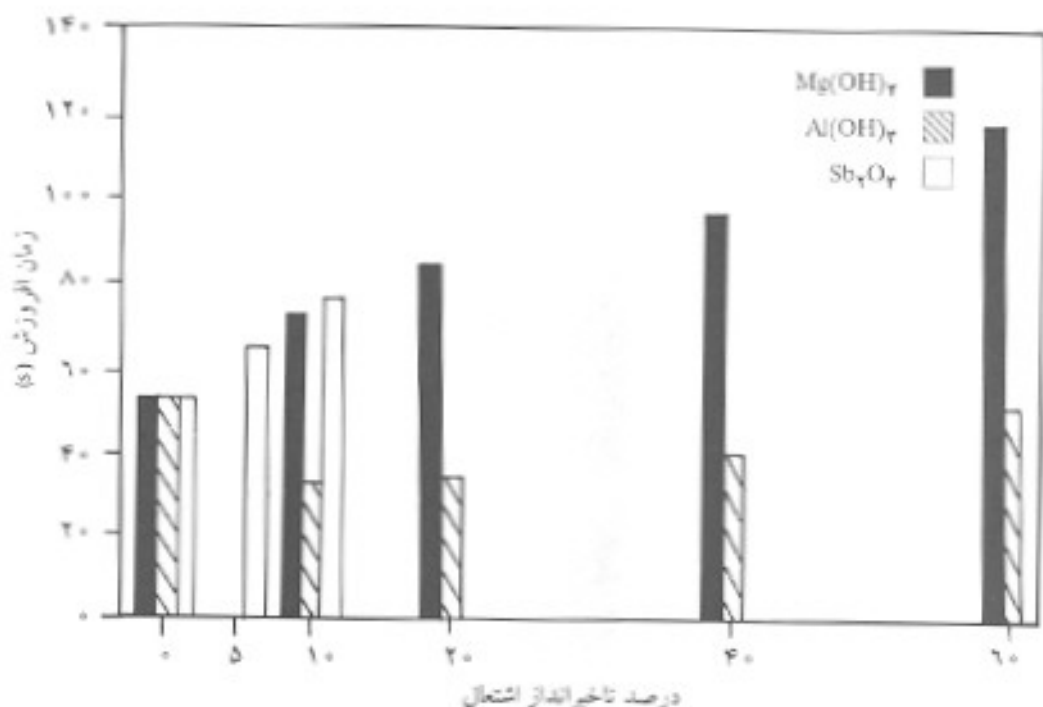
ضریب تیرگی با دبی حجمی گازهای خروجی (۷) و سرعت کاهش جرم جسم (m) ارتباط دارد. بدین منظور سطح تیرگی ویژه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$SEA = \frac{KV}{m}$$

(۸)

تجزیه

در این بخش مشخصات پلیمرها، تاخیراندازهای اشتعال بکار رفته و دستگاههای آزمون اشتعال مواد و محصولات صنعتی و در نهایت روش تهیه نمونه‌ها ارائه می‌شود.



شکل ۱۳- زمان افروزش اندازه گیری شده برای PE خالص و آمیزه آن با تاخیر اندازهای اشتعال در شار گرمای ۵۰ kW/m².

خاموش می‌شود و بعد از افروزش دوباره متورم می‌گردد و بطور مرتب ضخامت آن زیادتر می‌شود که در چنین حالتی نتایج بدست آمده معتبر و قابل قبول نیست [۸].

در این پژوهش نمونه‌ها در شار گرمای ۵۰ کیلووات بر مترمربع، که شرایط یکت اشتعال متوسط است، آزمایش شدند. در ضمن، دبی حجمی هوای خروجی از سیستم برابر ۲۵ لیتر بر ثانیه بود.

در شکل ۷ پارامترهای مختلف اشتعال برای مواد PE، PP، PMMA، چوب و اسفنج PU مقایسه شده است. در شکل ۸ پارامترهای اشتعال برای انواع کفپوشهای مختلف ارائه شده است.

در شکل‌های ۹ تا ۱۶ اثر تاخیر اندازهای اشتعال Mg(OH)₂، Al(OH)₃ و Sb₂O₃ در ترکیب درصدی متفاوت روی پارامترهای اشتعال PE و PP نشان داده شده است.

بررسی نتایج بدست آمده روی کفپوشها و مواد پلیمری خالص و بدون تاخیر اندازهای اشتعال در شار گرمای ۵۰ کیلووات بر مترمربع نشان می‌دهد که اسفنج PU دارای کمترین زمان افروزش است و از این رو، از نظر ایمنی در برابر آتش‌سوزی غیرمقاوم است و بیشترین خطر آتشگیری را در بین این مواد داراست.

ماکسیمم سرعت آزاد شدن گرما (PKRHR) برای چوب از همه مواد دیگر کمتر است که از برتریهای آن به حساب می‌آید.

متوسط سطح تیرگی ویژه (AVSEA) چوب کمتر از پلیمرهای مورد آزمایش است. یادآور می‌شود که هرچه این پارامتر کوچکتر باشد

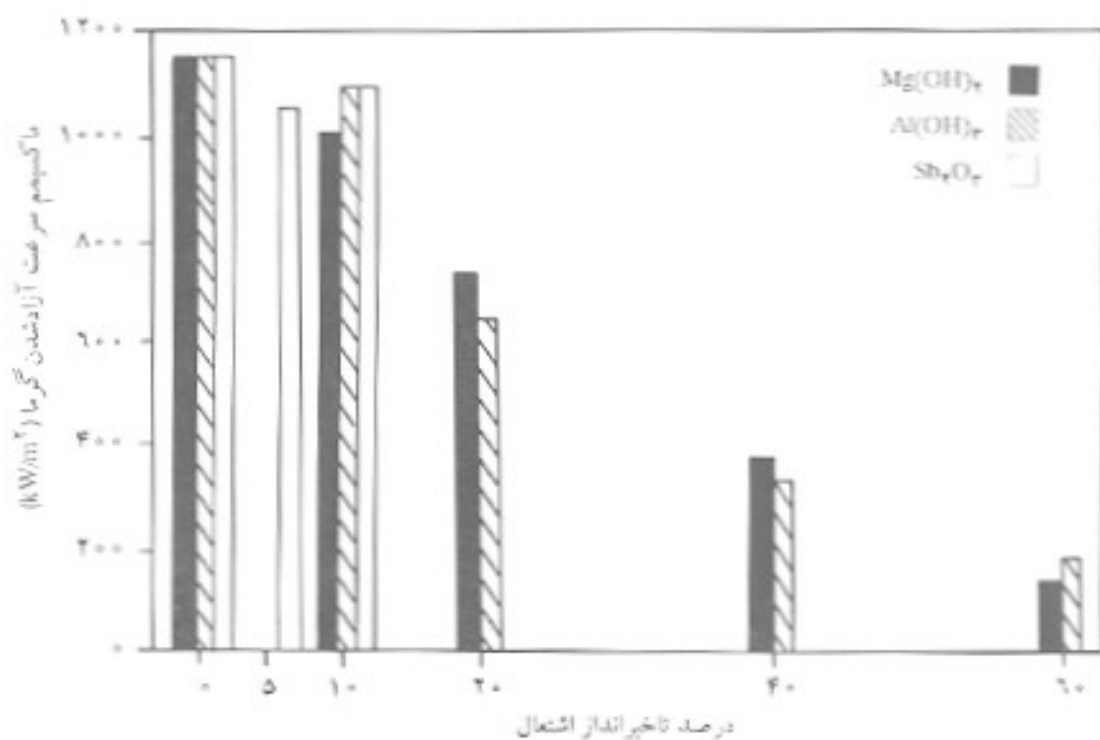
افزوده شده‌اند. برای اختلاط این دو پلیمر با تاخیر اندازهای اشتعال از مخلوط‌کن هکسه مدل سیستم ۹۰ استفاده شد. شرایط عمل اختلاط به قرار زیر است:

نمونه	دما (°C)	دور موتور (rpm)	زمان اختلاط (min)
PE	۱۵۰	۶۰	۵
PP	۱۹۰	۶۰	۵

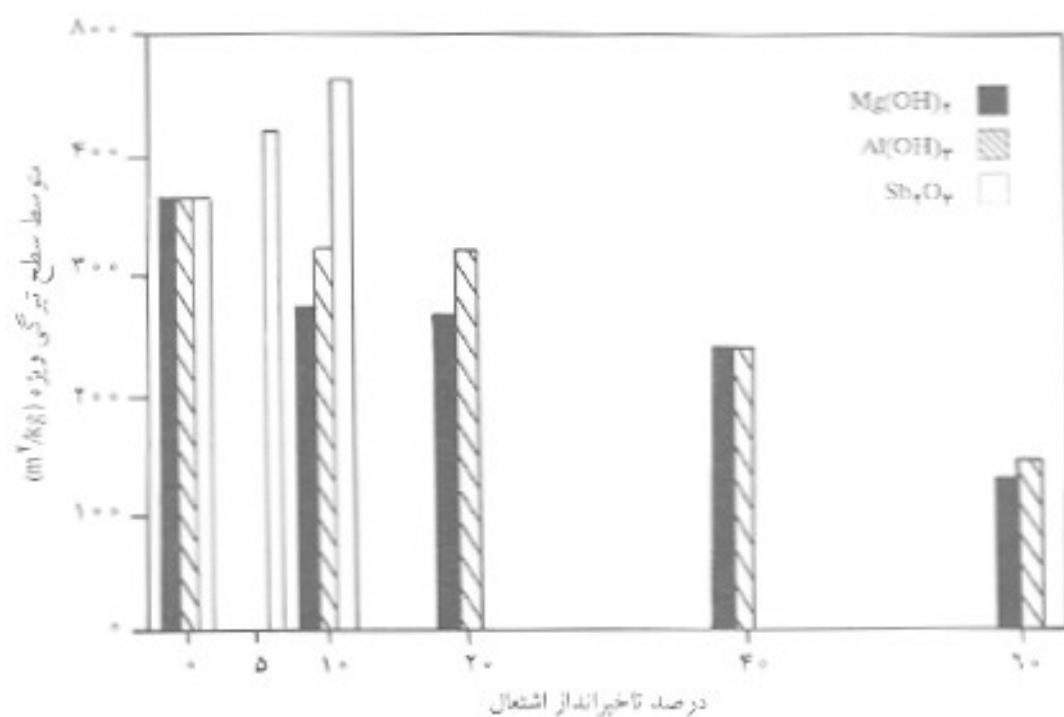
پس از انجام اختلاط برای شکل دادن نمونه‌ها (ورقه‌هایی به ابعاد ۶، ۱۰۰، ۱۰۰ میلی‌متر) از پرس گرم با فشار ۱۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع استفاده شد که دمای پرس برای PE، ۱۵۰ درجه سانتیگراد و برای PP، ۱۹۰ درجه سانتیگراد بود.

نتایج

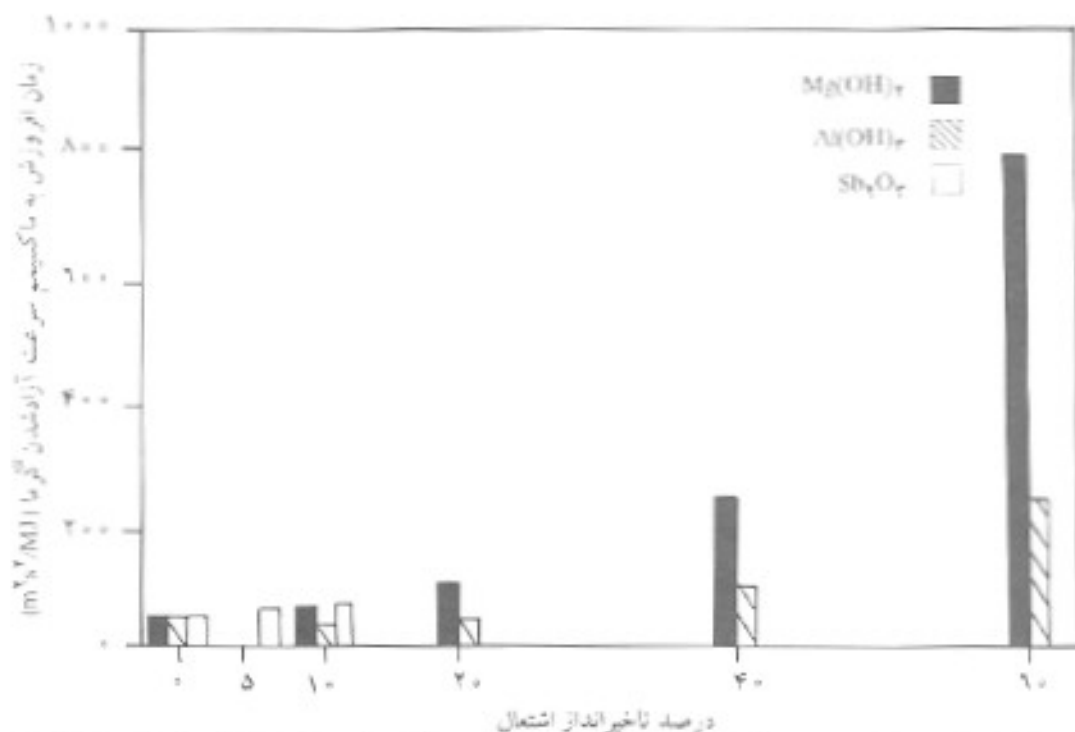
از میان نمونه‌های پلیمری آزمایش شده PE در برابر انرژی گرمایی نرم می‌شود و به صورت سیال درمی‌آید. در واقع، وقتی که این نمونه‌ها در معرض انرژی تابشی قرار می‌گیرند، پس از افروزش ذوب می‌شوند و به سوختن خود ادامه می‌دهند. همچنین، در حین آزمایش PVC این ماده پس از افروزش فقط حدود ۳۰ ثانیه به سوختن ادامه می‌دهد و سپس



شکل ۱۴. ماکسیمم سرعت آزاد شدن گرما برای PI خالص و آمیزه آن با تاخیر اندازهای اشتعال در شار گرمای 50 kW/m^2 .



شکل ۱۵. متوسط سطح تیرگی ویژه برای PI خالص و آمیزه آن با تاخیر اندازهای اشتعال در شار گرمای 50 kW/m^2 .



شکل ۱۶- نسبت زمان افروزش به ماکسیمم سرعت گرمای آزاد شده برای PE خالص و آمیزه آن با تاخیراندازهای اشتعال در شار گرمای ۵-۶۰ kW/m²

ایمنی در برابر آتش سوزی، آزمون استاندارد اشتعال روی مواد متفانونی انجام گرفت که نتایج بدست آمده در نمودارهایی ارائه شده است. با توجه به این نتایج می‌توان چنین استنباط کرد که در بین کفپوشهای آزمایش شده (موکت تافتینگ و نمدی، پارکت، فرش ماشینی و کفپوش پلیمری) پارکت از لحاظ ایمنی در برابر آتش سوزی مناسبترین کفپوش است. این کفپوش بیشترین مقدار زمان افروزش را دارد و ماکسیمم سرعت آزاد شدن گرمای آن نیز در بین کفپوشها مقدار متوسطی است. افزون بر این، کمترین مقدار دود و گاز رسمی کربن مونوکسید را در حین سوختن تولید می‌کند. همچنین، از بیشترین مقدار پارامتر زمان افروزش به ماکسیمم سرعت آزاد شدن گرما نیز برخوردار است که همه از برتریهای این کفپوش به حساب می‌آید.

مقایسه زمان افروزش پلیمرهای آزمایش شده نشان می‌دهد که پلیمرهای با شاخه جانبی زمان افروزش کمتری دارند. در واقع، مولکول پلیمرهای شاخه‌دار تندتر از مولکولهای پلیمری بدون شاخه در برابر گرما تجزیه می‌شود.

بررسی نتایج بدست آمده (مقایسه پارامترهای اساسی سوختن) برای پلی‌اتیلن-پلی‌پروپیلن و اسفنج پلی‌اورتان در حالت خالص نشان می‌دهد که این پلیمرها از نظر آتش سوزی از چوب نیز خطرناکترند و از ایمنی کافی و مناسبی برخوردار نیستند. به همین دلیل، برای بهبود خصوصیات سوختن پلیمرهای پلی‌اتیلن (که کاربرد زیادی در تهیه روکش کابلهای برق دارد) و پلی‌پروپیلن (که پلک لایه از این ماده در زیر

ماده موردنظر از لحاظ ایمنی در برابر آتش سوزی بهتر و مطمئنتر است. مقدار متوسط جرم CO تولید شده (AVCO) چوب نیز کمتر از بقیه موارد است. نکته قابل توجه دیگر، عملکرد سوختن اسفنج PU است، که کاربرد وسیعی در صنایع ساختن مبلمان و تشک داخل اومبیل کشور دارد و به نظر می‌رسد که بجز PU از اسفنج دیگری استفاده نمی‌شود. زمان افروزش این ماده در نایب ضعیف بطور متوسط حدود ۳ تا ۷ ثانیه است. در واقع، این ماده فوراً مشتعل می‌شود و پس از اشتعال دارای ماکسیمم سرعت آزاد شدن گرمای بسیار زیادی است (حدود ۱۰۹۰ کیلووات بر مترمربع) که در مقایسه با مواد تندسوز (flaming materials) دیگر مانند فرش ماشینی (حدود ۵۵۰ کیلووات بر مترمربع) بسیار زیاد است. نسبت گاز CO تولید شده از این ماده زیاد است (۰.۲۵ - کیلوگرم بر کیلوگرم PU) در مقایسه با ۰.۱۳ = کیلوگرم بر کیلوگرم برای فرش ماشینی). اگر عامل تندسوزی و در نتیجه سرعت آزاد شدن این گاز در نظر گرفته شود، غلظت گاز حسی بیشتر خواهد بود. علاوه بر این گاز، سیانور یکی از محصولات شناخته شده سوختن این ماده است که در این پژوهش قابل اندازه گیری نبود. در بسیاری از کشورها علت این خصوصیات استفاده از PU سوخت شده است.

بحث و نتیجه گیری

در این مقاله، به دلیل اهمیت میزان اشتعال پذیری مواد در اتخاذ تدابیر

یادشده خواص مکانیکی آنها از جمله استحکام کششی، درصد ازدیاد طول و مدول کم می‌شود. بنابراین، با توجه به کاربرد مورد نظر برای این پلیمرها، افزودن تاخیراندازهای اشتعال یادشده به این پلیمرها باید در حدودی باشد که بین عملکرد سوختن و خصوصیات مکانیکی آنها بک حالت بهینه و ایده آل برقرار شود.

با توجه به عملکرد غیراستاندارد اسفنج پلی‌یورتان در اشتعال پیشنهاد می‌شود تا پیش از بهینه‌سازی پارامترهای اشتعال آن، بکارگیری این ماده در ساختارهای پرنجم محدود شود.

قدردانی

بدین وسیله از همکاری و مساعدت همه جانبه مرکز تحقیقات پلیمر ایران و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در ایجاد امکانات برای انجام این پژوهش قدردانی می‌شود.

مراجع

- 1- رضایی محمدرضا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، ۱۳۷۵.
- 2 Redfern J. P.; *Int. J. Mater. Prod. Tech.*; 5, 4, 349-366, 1990.
- 3 Clayton H.; *J. Fire Mater.*; 4, 2, 1980.
- 4 ASTM E-1354-90a, 1990.
- 5 Sundstrom B.; *J. Fire Tech.*; in press.
- 6 Parker W. J.; *J. Fire Sci.*; 2, Sep.-Oct., 1984.
- 7 ISO 5660, May 1990.
- 8 NFPA 264A, 1990.
- 9 Costa L. and Camino G.; *J. Fire Mater.*; 19, 133-142, 1995.
- 10- بختیاری سعید، منطقیان مهرداد، زرین قلم مقدم عبدالصمد، نشریه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، صفحه ۲۱۰، آبان ۱۳۷۳.

موکتهای تفتیگ قرار می‌گیرد و در ایاف این موکتهای نیز از آن استفاده می‌شود. تاخیراندازهای اشتعال منیزیم هیدروکسید، آلومینیم هیدروکسید و آنتیموان اکسید به آنها اضافه شده است تا اثر مثبت و منفی این مواد ارزیابی شود.

با مقایسه پارامترهای اساسی سوختن و بدون در نظر گرفتن خصوصیات فیزیکی دیگر برای دو پلیمر پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن به همراه تاخیراندازهای اشتعال یادشده، راحتی می‌توان دریافت که در بین این تاخیراندازهای اشتعال، منیزیم هیدروکسید برای هر دو پلیمر بهترین افزودنی است. این ماده همه پارامترهای مورد نظر را در تمام درصدها بهبود بخشیده است، ولی در مورد آلومینیم هیدروکسید وضع متفاوت است و در درصدهای کم تمام پارامترها را بجز زمان فروزش از زمان فروزش کمتر شده است) بهبود بخشیده است. در درصدهای زیاد این مسئله نیز برعکس می‌شود. بدین معنی که برای این دو پلیمر، افزودنی آلومینیم هیدروکسید در درصدهای زیاد (تقریباً در محدوده ۵۰ درصد و بیشتر از آن) همه پارامترهای اندازه‌گیری شده را بهبود می‌بخشد. در مورد افزودنی آنتیموان اکسید وضع چنین است که وقتی این ماده به هر دو پلیمر یادشده در محدوده صفر تا ۱۰ درصد اضافه می‌شود، روی هم رفته در ۵ درصد نتیجه بهتری بدست می‌آید. اما، در این درصد پارامترهای سطح تیرگی ویژه و میزان کرن مونوکسید تولید شده بیشتر از حالت خالص است که از معایب آن محسوب می‌شود. بطور کلی، زمانی که آنتیموان اکسید به تنهایی به این پلیمرها اضافه می‌شود تاخیرانداز اشتعال مناسبی نیست. ولی، وقتی این ماده همراه با تاخیراندازهای اشتعال هالوژن‌دار مصرف می‌شود، اثر مثبت و شایان توجهی دارد. در ضمن، چون آنتیموان اکسید بک ماده شیمیایی گران قیمت است، اضافه کردن آن در درصدهای زیاد به عنوان تاخیرانداز اشتعال از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

در مورد افزودن تاخیراندازهای اشتعال منیزیم هیدروکسید و آلومینیم هیدروکسید به PE و PP مشاهده می‌شود که هر چه درصد این مواد در دو پلیمر بیشتر شود، عملکرد سوختن این دو پلیمر بهتر می‌شود. ولی، نکته جالب توجه این است که با افزایش این مواد به پلیمرهای