به نام خداوند جان و خرد

دانشکدهٔ مهندسی
گروه مکانیک

عنوان:

تأثیر ذرات نانو کربنات کلسیم بر کاهش سرعت پیش‌روی شعله بر روی پلی‌پروپیلن

مؤلف:
مجتبی مأموریان

ارائه شده جهت اخذ درجهٔ دکتری
در رشتهٔ مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

استاد راهنما:
دکتر جواد ابوالفضلی اصفهانی

اساتید مشاور:
دکتر محمد باقر آیانی
دکترسید مجتبی زبرجد

تابستان ۱۳۸۸

پایان نامهٔ حاضر تحت عنوان:

تأثیر ذرات نانو کربنات کلسیم بر کاهش سرعت پیش‌روی شعله بر روی پلی‌پروپیلن

که توسط مجتبی مأموریان تهیه و به هیأت داوران ارائه گردیده است مورد تأیید کمیتهٔ تحصیلات تکمیلی گروه می‌باشد.

تاریخ دفاع: ۱۳۸۸/۷/۲ **درجهٔ ارزشیابی:** عالی

اعضاء هیأت داوران:

نام و نام خانوادگی	هیأت داوران	مرتبهٔ علمی	دانشگاه
۱- دکتر جواد ابوالفضلی اصفهانی	استاد راهنما	دانشیار	فردوسی مشهد
۲- دکتر محمد باقر آیانی	استاد مشاور	استادیار	فردوسی مشهد
۳- دکتر سیدمجتبی زبرجد	استاد مشاور	دانشیار	فردوسی مشهد
۴- دکتر فرامرز افشار طارمی	عضو مدعو	استاد	صنعتی امیرکبیر
۵- دکتر صادق تابع جماعت	عضو مدعو	دانشیار	صنعتی امیرکبیر
۶- دکتر غلامحسین ظهوری	عضو ممتحن	استاد	فردوسی مشهد
۷- دکتر محمد مقیمان	عضو ممتحن	استاد	فردوسی مشهد
۸- دکتر محسن قاضی خانی	عضو ممتحن	دانشیار	فردوسی مشهد
۹- دکتر محسن کهرم	نمایندهٔ تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دانشیار	فردوسی مشهد

تقدیم به:

همسر دلسوز و فرزندان عزیزم

که با صبر و متانت و بردباری وافر و با ایجاد محیطی آرام در منزل، مشوق من بوده و من را در طول تحصیلات یاری نمودند.

تشکر و قدردانی:

سپاس خداوند والا مقام و عظیم الشأن را که به بندگانش قدرت تفکر و تعقل عطا نمود

بار الها، مرا به نعمت های بیکرانت توان شکر نیست. یاریم فرما تا معلوماتی را که به لطف و مرحمت اساتید ارزشمندم کسب نموده ام، گامی باشد برای تجلیل از تو و متعالی ساختن زندگی خود، خانواده ام و دیگران.

اکنون که به یاری ایزد منان مراحل انجام این پایان نامه به اتمام رسیده است بر خود لازم می دانم که بنا به فرمودهٔ مولای متقیان حضرت علی(ع): "من علمنی حرفا فقد صیرنی عبداً" و همچنین روایتی از معصومین (ع): "الآباء الثلاثة ابوالیوسیدوک، ابوالیعقوک و ابوالنیروجوک" که حق استاد را همانند حق پدر بر فرزند می دانند، از کلیهٔ افرادیکه در طول دوران تحصیلات تکمیلی علی الخصوص انجام این پژوهش به نحوی از محبت هایشان برخوردار بوده ام تشکر و قدردانی نمایم.

در ابتدا از زحمات و حمایت های بی دریغ استاد گرانقدر جناب آقای دکتر جواد ابوالفضلی اصفهانی استاد راهنمای این پژوهش که همواره مشوق و راهنمای من بودند قدر دانی می نمایم. بی شک بدون راهنمایی های ارزشمند ایشان انجام این پایان نامه غیر ممکن بود. از جناب آقای دکتر سید مجتبی زبرجد و دوست بسیار عزیز و استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محمد باقر آیانی اساتید مشاور این پایان نامه که همواره من را مدیون لطف، محبت و راهنمایی های خویش نموده اند سپاسگذارم.

از اساتید محترم آقایان دکتر صادق تابع جماعت دانشیار دانشگاه امیرکبیر، دکتر فرامرز افشار طارمی استاد دانشگاه امیرکبیر، دکتر غلامحسین ظهوری استاد دانشگاه فردوسی مشهد، دکتر محمد مقیمان استاد دانشگاه فردوسی مشهد و آقای دکتر محسن قاضی خانی دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد، اعضای محترم ممتحن پایان نامه و آقایان دکتر محسن کهرم نمایندهٔ محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه و دکتر مهران کدخدایان مدیر محترم گروه مکانیک که با ارائهٔ پیشنهادات و نقطه نظرات ارزشمند خویش سبب ارتقاء کیفیت این پژوهش شده اند بسیار سپاسگذارم.

از کلیهٔ همکاران و دوستانی که سهمی در انجام این پژوهش داشته اند به خصوص دوست و همکار ارجمندم جناب آقای مهندس محمدرضا صامعی و همکاران ایشان در کارگاه های گروه مکانیک که در ساخت تجهیزات مورد نیاز کمک به سزایی نمودند کمال تشکر را داشته و برای تمام آن ها آرزوی موفقیت دارم.

در خاتمه بر خود واجب می دانم که از همسر صبور و فرزندان عزیزم که علیرغم تحمل تمامی مشکلات و سختی ها همواره مشوق و حامی من بودند تشکر خاص داشته باشم.

فهرست مطالب

فصل اول - پیشگفتار ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ رفتار پلیمر در قبال آتش ۴

۱-۳ پلیمرهای ذاتاً مقاوم در برابر آتش ۶

۱-۴ انواع افزودنی‌های تأخیر انداز شعله ۷

۱-۵ تجزیهٔ حرارتی پلیمرها ۱۱

۱-۶ هدف رساله ۱۳

فصل دوم - مروری بر ادبیات فن ۱۶

۲-۱ مقدمه ۱۶

۲-۲ روش‌های تئوری ۱۷

۲-۲-۱ تجزیهٔ حرارتی سوخت‌های جامد ۱۹

۲-۲-۲ فرایندهای فیزیکی و شیمیایی ۲۰

۲-۲-۳ سینیتیک ۲۱

۲-۳ ساز و کار کنترل افروزش ۲۲

۲-۳-۱ افروزش مشعلی ۲۳

۲-۴ پیش‌روی شعله بر روی سطح جامد ۲۴

۲-۴-۱ ساز و کار پیش‌روی شعله ۲۴

۲-۴-۲ خواص ماده و اندازه‌گیری آن‌ها در پیش‌روی شعله ۲۶

۲-۵ روش‌های آزمایشگاهی ۲۷

۲-۶ افزودنی‌های تأخیر انداز شعله ۳۲

۲-۷ پلی پروپیلن (پی‌پی) ۳۴

۲-۷-۱ خصوصیات پی‌پی ۳۵

۲-۷-۲ "اِف‌آر"های استفاده شده در پی پی ۳۷

فصل سوم - مدل‌های فیزیکی و ریاضی ۴۳

۳-۱ مقدمه ۴۳

۳-۲ مدل فیزیکی ۴۴

۳-۳ مدل ریاضی ۴۶

۳-۳-۱ مدل دیفرانسیلی ۴۶

۳-۳-۲ مدل کلی ۵۰

فصل چهارم - آزمایش تی‌جی‌ای و کالریمتر مخروطی ۵۶

۴-۱ مقدمه ۵۶

۴-۲ آزمایش تی‌جی‌ای و کاربرد آن ۵۶

۴-۲-۱ دستگاه تی‌جی‌ای و روش آزمایش ۵۷

۴-۲-۲ روش تجزیه و تحلیل ۵۹

۴-۳ آزمایش کالریمتر مخروطی ۶۸

۴-۳-۱ اندازه‌گیری نرخ حرارت آزاد شده (HRR) ۷۱

۴-۳-۲ کالیبراسیون و روش آزمایش ۷۳

۴-۴ عدم قطعیت در اندازه‌گیری ۷۶

۴-۴-۱ انواع خطاها ۷۷

۴-۴-۲ محاسبهٔ عدم قطعیت در اندازه‌گیری ۷۹

۴-۴-۳ عدم قطعیت توسعه یافته ۸۳

۴-۴-۴ چگونگی گزارش عدم قطعیت، طبقه بندی و کاهش آن ۸۳
۴-۴-۵ چگونگی محاسبهٔ عدم قطعیت و گزارش آن‌ها در پژوهش حاضر ۸۵
فصل پنجم - بررسی نتایج ۸۸
۵-۱ مقدمه ۸۸
۵-۲ نتایج آزمایش تی‌جی‌ای ۸۸
۵-۲-۱ مواد مورد آزمایش و دستگاه تی‌جی‌ای ۸۹
۵-۲-۲ اندازه‌گیری خواص ماده ۹۰
۵-۲-۳ پارامترهای دینامیکی حرارتی و چگونگی رفتار آن‌ها ۹۸
۵-۳ نتایج آزمایش کالریمتر مخروطی ۱۰۵
۵-۳-۱ خواص مواد مورد آزمایش ۱۰۵
۵-۳-۲ پیش‌گویی سرعت پیش‌روی شعله و تخمین مقیاس‌های طولی ۱۰۸
۵-۳-۳ نرخ حرارت آزاد شده ۱۱۵
۵-۳-۴ نرخ کاهش جرم (MLR) ۱۱۵
۵-۳-۵ محصولات احتراق ۱۱۷
۵-۳-۶ اثر ذرات نانو کربنات کلسیم در پی‌پی ۱۱۹
۵-۴ پیش‌گویی سرعت پیش‌روی شعله به وسیلهٔ حل تقریبی ۱۲۶
۵-۴-۱ روش انتگرالی ۱۲۷
۵-۴-۲ روش تحلیل مقیاسی ۱۲۸
فصل ششم - نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۳۸
۶-۱ نتیجه گیری ۱۳۸
۶-۲ پیشنهادات ۱۴۰
مراجع ۱۴۱

پیوست‌ها ۱۵۲

پیوست الف- جداول ۱۵۲

پیوست ب ۱- واژگان فارسی ۱۵۵

پیوست ب ۲- واژگان انگلیسی ۱۶۲

فهرست مقالات منتشر شده ۱۶۹

فهرست علائم

A	سطح مقطع
a	نسبت وزنی تبدیل (درجهٔ تجزیهٔ حرارتی)
A_s	ضریب فرکانس فاز جامد
c	گرمای ویژه
c_P	گرمای ویژه در فشار ثابت
E	انرژی فعال سازی
F_d	ضریب ریزش
f	نسبت جرمی (درصد جرمی) ذرات نانو کربنات کلسیم
f_i	نسبت جرمی هر جزء
G_c	عکس مقاومت حرارتی سطح تماس ذرات به ازای واحد سطح
H	نرخ تبدیل
h	انتالپی در واحد جرم
h_c	ضریب انتقال حرارت همرفت
h_p	گرمای تجزیهٔ حرارتی در واحد جرم
HRR	نرخ حرارت آزاد شده به ازای واحد سطح
K	ثابت نرخ واکنش
k	ضریب رسانش
k_u	فاکتور پوشش
L	مشخصهٔ طولی
L_f	انتالپی تبخیر
MLR	نرخ جرم کاهش یافته (سوخته شده)
$\dot{m}_e$	شدت جریان جرم گازهای خروجی از دودکش
$\dot{m}''$	نرخ جرم بخار سوخت آزاد شده از سطح جامد به ازای واحد سطح
n	درجهٔ واکنش
q	حرارت
q''	شار حرارتی
R	ثابت جهانی گازها
r	شعاع ذرات نانو کربنات کلسیم
S	چشمه یا چاه حرارتی

T	درجه حرارت
t	زمان
U	عدم قطعیت توسعه یافته
u	عدم قطعیت استاندارد
u_c	عدم قطعیت ترکیبی
V	سرعت
V_f	سرعت پیش‌روی شعله
W	وزن نمونه در لحظهٔ t
X_{O_2}	کسر مولی لحظه‌ای اکسیژن موجود در گازهای خروجی از دودکش
$\overset{o}{X}_{O_2}$	کسر مولی اولیه اکسیژن موجود در گازهای خروجی از دودکش

حروف یونانی

α	ضریب نفوذ حرارتی
β	نرخ گرمادهی
δ	ضخامت نمونه
ΔH_c	حرارت احتراق (انتالپی احتراق)
ρ	جرم مخصوص
σ	انحراف استاندارد تخمین زده شده
φ	نسبت حجمی ذرات نانو کربنات کلسیم
φ_i	نسبت حجمی هر جزء

زیر نویس

c	مادهٔ مرکب
Ca	کربنات کلسیم
d	رسانش
f	نهایی
F	شعله
g	فاز گازی
i	اولیه
ig	افروزش
m	ذوب
max	بیشینه
net	خالص
p	پیرولیز
pp	پلی پروپیلن
e	تابش
s	فاز جامد
st	ذخیره
v	بخار سوخت
$void$	فضای تهی
∞	شرایط محیط در دور دست

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ تلفات ناشی از آتش سوزی در سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۸۵ در کشور انگلستان ۳

شکل ۱-۲ نمای شمائی چرخهٔ احتراق پلیمرها ۵

شکل ۳-۱ نمای شمائی مدل فیزیکی ۴۵

شکل ۳-۲ نمای شمائی انواع انرژی در فصل مشترک فازهای گاز و جامد ۴۷

شکل ۳-۳ بقائ انرژی در یک حجم محدود در فاز جامد ۴۸

شکل ۳-۴ مدل ریاضی و حجم‌های کنترل در نواحی سه گانه ۵۲

شکل ۴-۱ نمای شمائی دستگاه تی‌جی‌ای ۵۸

شکل ۴-۲ منحنی نمونهٔ تی‌جی ودی‌تی‌جی ۶۰

شکل ۴-۳ نمونهٔ منحنی به روش ویازوکین ۶۳

شکل ۴-۴ نمونهٔ منحنی به روش اوِاف‌دبلیو ۶۵

شکل ۴-۵ نمای شمائی کالریمتر مخروطی ۷۰

شکل ۴-۶ دستگاه کالریمتر ساخته شده در دانشکدهٔ مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد ۷۵

شکل ۴-۷ نمونهٔ قرار گرفته بین دو گیره..... ۷۵

شکل ۴-۸ توزیع معمولی یا گوسی ۷۹

شکل ۴-۹ توزیع مربعی..... ۷۹

شکل ۴-۱۰ عدم قطعیت و محدوده‌های آن ۸۵

شکل ۵-۱الف عکس اِس‌ای اِم از مادهٔ مرکب پی‌پی (۱۰٪ ذرات نانو کربنات کلسیم) ۹۰

شکل ۵-۱ب نمایی از دستگاه تی‌جی‌ای ۹۰

شکل ۵-۲ تغییرات درصد جرم باقیمانده و نرخ جرم کاهش یافته نسبت به درجه حرارت ۹۱
در نرخ‌گرمادهی ۵ K/min (الف پی‌اِم‌اِم‌اِ، ب پی‌پی خالص)

شکل ۵-۳الف اثر نرخ گرمادهی بر تغییرات جرم باقیمانده نسبت به درجه حرارت ۹۴
برای پی‌اِم‌اِم‌اِ

شکل ۵-۳ب اثر نرخ گرمادهی بر تغییرات جرم باقیمانده نسبت به درجه حرارت ۹۴
برای پی‌پی خالص

شکل ۵-۴الف اثر نرخ گرمادهی بر تغییرات نرخ جرم کاهش یافته نسبت به درجه حرارت ۹۶
برای پی‌اِم‌اِم‌اِ

شکل ۵-۴ب اثر نرخ گرمادهی بر تغییرات نرخ جرم کاهش یافته نسبت به درجه حرارت ۹۶
برای پی‌پی خالص

شکل ۵-۵الف اثر نرخ گرمادهی بر تغییرات نرخ تبدیل نسبت به درجه حرارت ۹۷
برای پی‌اِم‌اِم‌اِ

شکل ۵-۵ب اثر نرخ گرمادهی بر تغییرات نرخ تبدیل نسبت به درجه حرارت ۹۷
برای پی‌پی خالص

شکل ۵-۶ تغییرات Lnβ بر حسب 1/T در نسبت‌های وزنی متفاوت برای پی‌اِم‌اِم‌اِ ۱۰۱

شکل ۵-۷ تغییرات Lnβ بر حسب 1/T در نسبت‌های وزنی متفاوت برای پی‌پی خالص ۹۹

شکل ۵-۸ تغییرات انرژی فعال سازی بر حسب نسبت وزنی برای پی‌اِم‌اِم‌اِ و پی‌پی خالص ۱۰۰

شکل ۵-۹الف تغییرات Lnβ برحسب $(H_{max})^{0.5}$ برای پی‌پی خالص ۱۰۲

شکل ۵-۹ب تغییرات Lnβ برحسب $(H_{max})^{0.5}$ برای پی‌اِم‌اِم‌اِ ۱۰۲

شکل ۵-۱۰الف اثر ذرات نانو کربنات کلسیم بر تغییرات جرم باقیمانده نسبت به ۱۰۴
درجه حرارت برای پی‌پی در نرخ گرما دهی ۵ K/min

شکل ۵-۱۰ب اثر ذرات نانو کربنات کلسیم بر تغییرات نرخ جرم کاهش یافته نسبت به.....۱۰۴
درجه حرارت برای پی‌پی در نرخ گرما دهی ۵ K/min

شکل ۵-۱۱الف تغییرات ارتفاع پیش‌روی شعله نسبت به زمان برای ۱۱۰
پی‌اِم‌اِم‌اِ (نسبت پهنا به ضخامت ۵)

شکل ۵-۱۱ب چگونگی پیش‌روی شعله در پی‌اِم‌اِم‌اِ ۱۱۰

شکل ۵-۱۲ تغییرات ارتفاع پیش‌روی شعله نسبت به زمان در ناحیهٔ پایدار برای ۱۱۱
پی‌اِم‌اِم‌اِ به ازای نسبت پهنا به ضخامت مختلف

شکل ۵-۱۳الف تغییرات سرعت پیش‌روی شعله بر حسب ضخامت برای نمونهٔ پی‌اِم‌اِم‌اِ ۱۱۳

شکل ۵-۱۳ب تغییرات سرعت پیش‌روی شعله بر حسب عکس ضخامت برای نمونهٔ پی‌اِم‌اِم‌اِ ۱۱۳

شکل ۵-۱۴الف تغییرات درجه حرارت نسبت به فاصله در ضخامت‌های مختلف (پی‌اِم‌اِم‌اِ) ۱۱۴

شکل ۵-۱۴ب تغییرات درجه حرارت نسبت به فاصله در درصدهای مختلف وزنی ذرات (پی‌پی) ۱۱۴

شکل ۵-۱۵ تغییرات نرخ حرارت آزاد شده نسبت به زمان برای پی‌پی خالص ۱۱۶

شکل ۵-۱۶ تغییرات نرخ کاهش جرم نسبت به زمان برای پی‌پی خالص ۱۱۶

شکل ۵-۱۷ تغییرات گازهای موجود در محصولات احتراق خروجی از دودکش ۱۱۸
نسبت به زمان برای پی‌پی خالص

شکل ۵- ۱۸ اثر ذرات نانو کربنات کلسیم بر روی تغییرات ارتفاع پیش‌روی شعله نسبت به ۱۱۹
زمان برای مادهٔ مرکب پی‌پی (با استفاده از روش فیلم برداری توسط توسط دوربین)

شکل ۵-۱۹ تغییرات سرعت پیش‌روی شعله نسبت به درصد وزنی ذرات نانو کربنات کلسیم ۱۲۰
برای مادهٔ مرکب پی‌پی (با استفاده از روش فیلم برداری توسط توسط دوربین)

شکل ۵-۲۰ اثر ذرات نانو کربنات کلسیم بر روی نرخ حرارت آزاد شده برای مادهٔ مرکب پی‌پی ۱۲۱

شکل ۵- ۲۱ تغییرات گازهای محصولات احتراق خروجی از دودکش نسبت به زمان ۱۲۳
برای مادهٔ مرکب پی‌پی با ۵٪ ذرات نانو کربنات کلسیم (الف CO، ب CO_2، ج O_2)

شکل ۵- ۲۲ تغییرات گازهای محصولات احتراق خروجی از دودکش نسبت به زمان ۱۲۴
برای مادهٔ مرکب پی‌پی با ۱۰٪ ذرات نانو کربنات کلسیم (الف CO، ب CO_2، ج O_2)

شکل ۵- ۲۳ تغییرات گازهای محصولات احتراق خروجی از دودکش نسبت به زمان ۱۲۵
برای مادهٔ مرکب پی‌پی با ۱۵٪ ذرات نانو کربنات کلسیم (الف CO، ب CO_2، ج O_2)

شکل ۵-۲۴ تغییرات سرعت پیش‌روی شعله برای نمونهٔ پی‌اِم‌اِم‌اِ ۱۳۵
الف) برحسب ضخامت ورق، ب) برحسب عکس ضخامت ورق

شکل ۵-۲۵ نحوهٔ توزیع ذرات نانو کربنات کلسیم داخل پلیمر ۱۳۶

شکل ۵-۲۶ تغییرات سرعت بی‌بعد پیش‌روی شعله نسبت به درصد ذرات ۱۳۷
برای مادهٔ مرکب پی‌پی با ذرات نانو کربنات کلسیم

چکیده

با توجه به کاربرد و استفادهٔ گستردهٔ پلی‌پروپیلن (پی‌پی) در زندگی روزانه و قابلیت اشتعالی بالایی که دارد، لزوم مطالعهٔ دقیق رفتار احتراقی آن اجتناب ناپذیر است. مواد پلیمری در اثر جذب حرارت تجزیه شده و گازهای قابل احتراقی تولید می‌کنند که در صورت قرار گرفتن در شرایط مناسب شعله‌ور می‌شوند. نتایج پژوهش‌های متعدد آزمایشگاهی و تئوری نشان داده است که نرخ تجزیهٔ حرارتی و یا به عبارت دیگر نرخ تولید گازهای قابل احتراق مهم‌ترین عامل در فرایند افروزش پلیمرها می‌باشد. ایمنی مواد در برابر آتش را می‌توان به قدر کافی با افزایش مقاومت افروزش، کاهش سرعت پیش‌روی شعله، کاهش نرخ حرات آزاد شده و کاهش تولید گازهای خطرناک و محصولات احتراق و ترجیحاً بکار بستن تمام موارد افزایش داد.

استفاده از افزودنی های تأخیرانداز شعله بیشترین روش مشترک برای افزایش ایمنی در برابر آتش در محدودهٔ وسیعی از محصولات پلیمری می باشد. به همین دلیل بررسی اثر مواد افزودنی جهت کنترل نرخ تجزیهٔ حرارتی پلیمرها به گونه‌ای که بر روی خواص فیزیکی و قیمت محصول تمام شده حداقل تأثیر را داشته باشد از اهمیت بالایی برخوردار است.

کربنات کلسیم مادهٔ نسبتاً ارزانی است که در طبیعت به وفور وجود دارد و باعث پایداری حرارتی و تقویت کردن برخی خواص مکانیکی پلی‌پروپیلن می‌شود. یکی از کاربردهای مهم فناوری نانو بالا بردن مقاومت پلیمرها در برابر آتش و درنتیجه دیرسوز کردن آن‌ها می‌باشد.

در این پژوهش اثر ذرات نانو کربنات کلسیم بر روی سرعت پیش‌روی شعله، نرخ حرارت آزاد شده، مقاومت افروزش و تولید گازهای سمی از قبیل منو اکسید کربن در پلی‌پروپیلن به دو روش آزمایشگاهی و تئوری انجام شده است.

نتایج روش آزمایشگاهی (انجام شده بر روی یک ورق قائم) نشان می‌دهند که افزایش درصد وزنی ذرات نانو کربنات کلسیم به پلی‌پروپیلن سرعت پیش‌روی شعله (حرکت شعله به سمت پایین)، نرخ حرارت آزاد شدهٔ بیشینه و منواکسید کزبن تولید شده را کاهش می‌دهد در حالیکه باعث افزایش مقاومت افروزش می‌گردد.

نتایج روش تئوری نشان می‌دهند که سرعت پیش‌روی شعله با عکس ضخامت نمونه، خواص حرارتی ماده، ضریب ریزش ماده و درصد مادهٔ افزودنی متناسب است. با مقایسه کردن نتایج تئوری و آزمایشگاهی با یکدیگر ضریب تناسب استخراج شده است.

Abstract

Due attention to application and wide used of polypropylene (PP) in daily life and to have a high flammability, the exact study of behavior of its combustion is avoidance. The polymeric materials is degraded with absorption the heat and released volatiles that to be flaming if to settle in the suitable conditions. The results of experimental and theoretical researches show that the rate of degradation (on the other hand the rate of release volatiles) is the most important factor in ignition processes of polymers. The fire safety of materials can be significantly enhanced by increased ignition resistance, reduced flame spread rates, reduced heat release rates, and reduced amount of toxic and smoke products, preferably simultaneously.

The most common approach to enhance fire safety performance is the use of flame retardant additives in large volume commodity polymers. For this reason, study of the effect of additives to be important for control the thermal degradation of polymers, so that they have minimum impact on physical properties and product cost.

Calcium carbonate ($CaCO_3$) is the relatively cheap mineral that exist an abundant in the earth's crust and it cause to improve some mechanical properties and thermal stability of PP. One of the important applications of Nano techniques is increased resistance of polymers against of fire and therefore decreased the flammability of them.

In the present work the effect of the $CaCO_3$ Nano particles in the polypropylene is studied on the flame spread rate, heat release rate, ignition resistance, and toxic and smoke production such as carbon mono oxide (CO) by experimental and theoretical model.

Experimental results (to be down on the vertical sheets) shows that the increase of the weight percentage of the $CaCO_3$ Nano particles in the PP/ $CaCO_3$ Nano composites decrease the flame spread rate (downward flame spread), maximum heat release rate, the carbon mono oxide while increased ignition resistance.

Theoretical results shows that the flame spread rate proportional to the inverse thicknesses of the sheet, thermal properties of the composites, the dropping factor, and the weight percentage of the additives. The proportion factor is obtained from comparison the experimental method with theoretical method.

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱ مقدمه

بطور کلی آتش در زندگی بشر از دو منظر اثر مفید و اثر تخریبی آن قابل بررسی است.

الف- اثر مفید : بشر از قدیم‌الایام آتش را به عنوان یک عنصر مقدس، مرموز و هولناک شناخته است. ولیکن اندک‌اندک بر ترس خود غلبه پیدا کرد و توانست از انرژی حرارتی و نور آن به نحو مطلوب برای مسائلی از قبیل روشنائی، گرم کردن، طبخ غذا، ساختن ابزار و آلات و .... بهره برداری کند.

ب-اثر مخرب : از زمانی که انسان آتش را به عنوان یک عنصر شناخت با اثرات مخرب آن نیز مواجه شد و خود را برای مقابله با آن آماده نمود. خطرات آتش سوزی به گونه‌ای بود که گاهاً یک قوم و یا یک تمدن را از بین می‌برد.

آتش سوزی‌های غیر مترقبه در مدت زمان طولانی برای بشر مشکل آفرین بوده است. در جامعه مدرن کنونی محیط اطراف بوسیله مواد قابل اشتعال بسیاری احاطه شده است. این مواد شامل مواد طبیعی (سلولوزی) و یا پلیمرهای ساخته شده دست بشر است. خطرات بسیاری در اثر آتش‌سوزی در ساختمان‌های مختلف از منازل مسکونی تا ساختمان‌های اداری و استادیوم‌های بزرگ، وسایل حمل و نقل، صنایع و ..... وجود دارد که نتیجه آن‌ها ایجاد صدمات مالی، جسمی، و روحی و روانی فراوانی می‌باشد. در قرن اخیر سازمان‌ها و ارگان‌های استاندارد جهانی از قبیل ایزو، ای‌اِس‌تی‌اِم و اِن‌اِف‌پی‌اِی توجه بسیار زیادی به مقابله در برابر تهدید آتش‌سوزی نشان‌داده‌اند. طی دو دهۀ اخیر مقررات اجرایی بین‌المللی ساختمان و آتش نشانی در کشورهای زیادی اجرا شده است که در نتیجه احتمال آتش‌سوزی وتلفات جانی و مالی ناشی از آن کاهش یافته است.

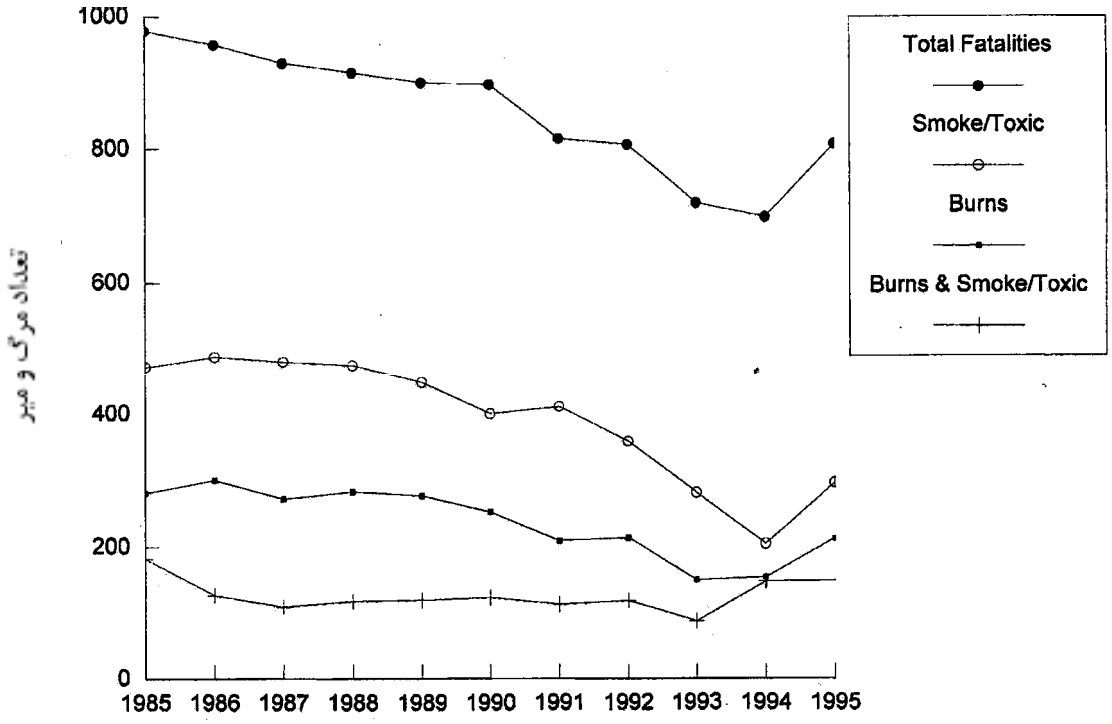
اجرای این مقررات ایمنی آتش (اِف‌اِس‌ای) بیشتر از یک دهه در نیوزیلند، استرالیا، کانادا، انگلستان، ژاپن و ..... وجود داشته است (باکوسکی[۱] و بابراسکاس[۲] ۱۹۹۰- ریچاردسون[۳] ۱۹۹۴). اما هنوز راه طولانی برای کامل شدن این مقررات در پیش روی بشر وجود دارد.

ارزش‌های مستقیم انسانی به علت از دست دادن خصوصیات فردی و یا مخارجی که به علت مقابله با آتش‌سوزی وارد شده است از نقطه نظر مادی غیر قابل محاسبه است و فقط می‌توان تا حدودی آن را تخمین‌زد. در دهه ۱۹۹۰ در انگلستان صدمه وارده به صورت مستقیم و به علت از دست‌دادن دارایی‌های شخصی، مخارج آتش‌نشانی و هزینه مربوط به مداوای صدمه دیدگان حدود ۴۵۰ میلیون پوند در سال تخمین زده‌شده است و ارزش های غیر مستقیم بالغ بر ۱۹۰ میلیون پوند به این لیست اضافه خواهد شد (اروین[۴] ۲۰۰۰). شکل (۱-۱) تعداد و علت مرگ و میر سالانه در انگلستان را نشان‌می دهد که طی سال‌های ۱۹۸۵ الی ۱۹۹۵ روند کاهشی داشته است. با توجه به شکل واضح است که عمده تلفات به علت تأثیر ترکیب گازهای سمی و دوده در اثر آتش سوزی می باشد (اروین ۲۰۰۰).

همچنین طبق گزارش انجمن کانادایی آتش، در سال ۲۰۰۰ تعداد۵۳۷۲۰ آتش‌سوزی در کانادا اتفاق افتاده که در اثر آن ۳۲۷ نفر فوت شده و ۲۴۹۰ نفر آسیب دیده‌اند (ترل فال[۵] ۲۰۰۵) و در سال ۲۰۰۱ تعداد ۵۵۳۲۳ آتش‌سوزی اتفاق افتاده که در اثر آن ۳۳۸ نفر فوت شده و ۲۳۱۰ نفر آسیب دیده‌اند و بیش از یک بیلیون دلار خسارت مالی به‌بار آورده‌است (کلینک[۶] ۲۰۰۶). جدول (۱-۱) آمار مربوط به خسارات ناشی از آتش سوزی را در سال‌های ۱۹۹۴ الی۱۹۹۸ در کشور آمریکا نشان می‌دهد (کلینک ۲۰۰۶). داده‌های موجود در جدول حاکی از این است که درصد بالایی از مرگ و میر در اثر آتش‌سوزی در منازل اتفاق می‌افتد. بنابر پژوهش‌های انجام شده حدوداً ۲۰٪ افرادی که در اثر سقوط هواپیما کشته شده اند به علت آتش‌سوزی چندین تن مواد پلیمری بکار رفته در صندلی‌ها، درب‌ها، پنجره‌ها و سایر تجهیزات هواپیما بوده است (ژانگ[۷] ۲۰۰۴).

---

[1] - Bukowski
[2] - Babrauskas
[3] - Richardson
[4] - Irvine
[5] -Threlfall
[6] -Klinck
[7] - Zhang



شکل۱- ۱ تلفات ناشی از آتش سوزی در سال های ۱۹۹۵-۱۹۸۵ در کشور انگلستان

بنابراین ضمن استفاده از تجهیزات مقاوم در برابر آتش، بایستی آگاهی‌های عمومی را نسبت به روش‌های مقابله با آتش بالا برد. در ۲۰ سال اخیر حدود ۵۰٪ از آتش‌سوزی‌ها کاسته شده است که مهم‌ترین دلایل آن عبارت است از:

جدول ۱-۱ آمار خسارات ناشی از آتش سوزی در سالهای ۱۹۹۴ الی ۱۹۹۸ در کشور آمریکا

محل	درصد مرگ و میر	درصد آتش سوزی
منازل و تعمیرگاه ها	۸۰	۲۲
حمل و نقل	۱۳/۴	۲۱/۲
ساختمان های عمومی	۲/۸	۳/۷
سایر سازه ها (پل ها و .....)	۱/۷	۱/۸
خارج از شهرها (جنگل ها، مراتع و ....)	۱/۳	۴۱/۴
محیط های صنعتی	۰/۸	۲/۱
سایر	-	۷/۸