

بررسی تاثیر پارامترهای تشعشی بر تجزیه حرارتی پلی اتیلن در محیط نیتروژن

جواد ابولفضلی اصفهانی^۱، علی قرایی عبدل آبادی^۲،

گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ص پ ۹۱۷۷۵-۱۱۱۱

Abolfazl@um.ac.ir

چکیده

در این مقاله، تجزیه حرارتی یک بعدی پلی اتیلن که در معرض شار حرارتی از یک منبع تشعشی بیرونی قرار گرفته است به صورت عددی مدل سازی شده، و در این مدل سازی تاثیر پارامترهای مختلف تشعشی نظیر ضرایب جذب، انعکاس، صدور بر این فرایند در یک محیط بدون اکسیژن بررسی شده است. فرایندهای مختلفی مانند انتقال حرارت هدایتی، تجزیه در عمق جسم، جابجایی گازهای فرار، جذب تشعشع در عمق جسم، تشعشع از سطح و انعکاس از سطح جسم که در تجزیه حرارتی پلیمرها موثر هستند در مدل سازی وارد شده اند. نتایج نشان می دهد که ضریب انعکاس موثرتر از ضرایب دیگر در تجزیه حرارتی پلی اتیلن می باشد. ضریب صدور تاثیر ضعیف ولی مشابه ضریب انعکاس دارد و ضریب جذب در عمق بیشترین تاثیر خود را در توزیع دمای داخل قطعه می گذارد. نتایج بدست آمده از حل عددی برای شار تشعشی $40 \text{ kW} / \text{m}^2$ تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی موجود دارد.

واژه های کلیدی: تجزیه حرارتی - پلی اتیلن - ضریب انعکاس - ضریب جذب - ضریب صدور.

۱- مقدمه

تنوع خواص و ویژگیهای منحصر به فرد پلیمرها از قبیل مقاومت بالا، سبکی وزن، قابلیت شکل پذیری به اشکال پیچیده، سهولت فرایند پذیری و سفارشی سازی از طریق ایجاد ساختمانهای شیمیایی مخصوص و استفاده از افزودنیها، منجر به افزایش روز افزون تقاضا نسبت به اینگونه مواد در بازارهای مصرف گردیده است. مواد پلیمری هم اکنون کاربردهای صنعتی گسترده ای در ساخت بدنه هواپیما، وسایل حمل و نقل، ساختمان سازی، لوازم منزل، بردهای الکتریکی، رنگهای روغنی و بسیاری مصارف گوناگون دیگر دارد. از آنجا که پلیمرها حاوی پتانسیل قابل توجهی از سوخت هستند، قابلیت اشتعال نسبتا بالایی دارند، بعلاوه بسیاری از فرایندهای مرتبط با پلیمرها درگیر حرارتها بالا است که باعث تسریع سازوکار احتراق می شود. گستردگی کاربرد این مواد لزوم تحقیق در مبحث ایمنی آتش را افزون گردانده است. در نتیجه هر گونه تلاشی در جهت فهم بیشتر چگونگی رفتار احتراقی اینگونه مواد نه تنها از لحاظ تئوریک ارزشمند است بلکه در توسعه و ساخت مواد مقاوم در برابر آتش و دستگاههای تشخیص و جلوگیری از نفوذ آتش موثر است. لذا تا کنون تحقیقات تجربی و مطالعات عددی بسیاری در جهت شناخت خواص، چگونگی آغاز احتراق و رفتار احتراقی پلیمرها، سوختن آنها در محیط آتش، پارامترهای موثر و سازوکارهای درگیر با پدیده احتراق صورت گرفته است. بطور مثال هالمن (Hallman) [۱] به مطالعه ضرایب جذب متوسط پلیمرها پرداخته و نشان داده است که این ضریب بر حسب نوع پلیمر و شدت منبع تشعشی خارجی تغییر می کند. یانگ ات

۱- دانشیار

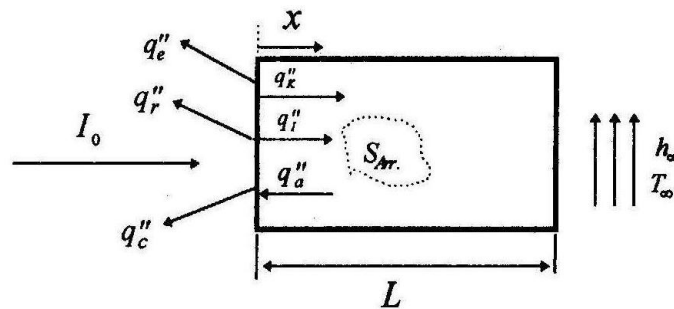
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، تبدیل انرژی

ال (Young et al) [۲] به بررسی خواص فیزیکی و تاثیر ترکیبات مختلف بر پلیمر PMMA پرداخته است. کاشیواگی (Kashiwagi) [۳] در یک تحقیق تجربی به مطالعه تاثیر شار تشعشعی برخوردی بر تجزیه حرارتی پلیمرها پرداخت. مداک (Modak) [۴] نیز نشان داد با باقی ماندنی خاکستر بر سطح پلیمر PMMA ضریب عبور تشعشع در عمق به تدریج کاهش یافته و بنابر این جذب سطحی افزایش پیدا می‌کند.

در این مقاله هدف بررسی تاثیر پارامترهای تشعشعی نظیر ضرایب جذب، انعکاس و صدور بر تجزیه حرارتی پلی اتیلن می باشد و همچنین تاثیر مقادیر مختلف شار تشعشعی نیز بررسی شده است. برای این منظور معادلات حاکم بر پدیده تجزیه حرارتی پلیمر نوشته شده است و به روش حجم کنترلی گسسته گشته و به دسته معادلات جبری تبدیل گردیده اند و سپس معادلات به روش ماتریس سه قطری محاسبه می گردند. نتایج حاصل از مدل سازی عددی برای شار $40kW/m^2$ و خواص پلی اتیلن با نتایج تجربی ارائه شده توسط کاشیواگی و اهلیملر (Kashiwagi and Ohlemiller) [۵] برای پلی اتیلن مقایسه شده و تطابق خوبی را نشان می دهد.

۲- مدل فیزیکی

یک قطعه سوخت جامد پلیمری از جنس پلی اتیلن به طور عمودی قرار گرفته است و در معرض تشعشع حرارتی از سمت چپ خود می باشد. همزمان هر دو سوی نمونه با جریان جابجایی آزاد خنک می شود. علاوه بر دو سمت نمونه از طریق تشعشع بخشی از حرارت خود را به محیط می دهد. ضخامت نمونه ۱۵mm فرض شده و با فرض اثرات لبه ای ناچیز از سایر ابعاد صرف نظر گردیده است. در واقع از مدل فیزیکی گذرای یک بعدی در راستای ضخامت قطعه استفاده شده است. قطعه قبل از شروع تشعشع گرمایی در تعادل دمایی با هوای محیط قرار دارد. محیط کاملاً بدون اکسیژن فرض شده است. همچنان که قطعه توسط منبع خارجی گرم می شود، بخشی از انرژی تابشی در عمق جسم جذب می شود. زمانیکه دمای قسمتهای مختلف نمونه به حد معینی رسید تجزیه حرارتی آغاز می شود و گازهای تولید شده به شکل حباب به سطح جسم حرکت می کنند و محتوای خود را به محیط تخلیه می کنند. شکل زیر نمایی از مدل فیزیکی می باشد.



شکل ۱- نمایی از مدل فیزیکی

در شکل بالا I_0 مقدار شار تشعشعی ثابت است که از یک منبع گرم به جسم می تابد، q_e'' مقدار شار انرژی حرارتی است که از سطح جسم به واسطه ضریب صدور سطح (ϵ) صادر می شود، q_c'' مقدار شار انرژی حرارتی است که به واسطه جابجایی آزاد از سطح جسم خارج می شود q_r'' مقدار شار انرژی حرارتی است که از سطح جسم منعکس می شود، q_i'' مقدار شار تشعشعی است که در عمق جسم نفوذ می کند و مقدار آن از قانون بیر بدست می آید، q_k'' مقدار شار انرژی حرارتی است که به واسطه انتقال حرارت هدایتی در داخل جسم نفوذ می کند، q_a'' مقدار شار انرژی حرارتی است که به واسطه جابجایی گازهای فرار حاصل از تجزیه از سطح جسم خارج می شود. k_{Arr} مقدار برداشت انرژی است که توسط تجزیه حرارتی از جسم گرفته می شود که بر اساس انرژی واکنش در واحد جرم و میزان جرم رها شده توسط تجزیه، بیان می گردد. جرم تجزیه شده نیز توسط قانون آرهنیوس (Arrhenius) بیان می شود.

۳- فرضیات مدل ریاضی

در مدل ارائه شده از ذخیره جرم و انرژی، تجزیه نوری و اثرات ذوب صرفنظر شده است. بعلاوه فرض شده است که تمامی خواص حرارتی پلیمر جامد ثابت باشد. از تغییرات فشار در محیط بدلیل اعداد ماخ پایین و سرعت‌های کم چشم پوشی شده است. هیچگونه تغییر طولی برای قطعه اتفاق نمی افتد و از انبساط قطعه به علت تغییر دما چشم پوشی شده است.

۴- مدل ریاضی

با در نظر گیری یک حجم کنترل حول قطعه پلی اتیلنی معادله انرژی به شکل زیر در می آید که یک معادله با مشتقات جزئی می باشد.

$$-\frac{\partial q_l''}{\partial x} - \frac{\partial q_k''}{\partial x} + S_{Arr} = \frac{\partial \rho_s C_s T}{\partial t} + \frac{\partial m'' \cdot H}{\partial x} \quad (1)$$

q_l'' معرف مقدار حرارت تشعشعی نفوذ کرده در عمق جسم می باشد که مقدار آن از قانون بیر (beer) [۶] با رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$q_l'' = I_0 (1 - r) \exp(-\beta_s x) \quad (2)$$

در این رابطه ضریب انعکاسی و β_s نیز ضریب جذب عمقی ماده می باشد. q_k'' نیز طبق قانون فوریه [۷] معرف میزان گرمای منتقل شده توسط هدایت می باشد، که با رابطه زیر محاسبه می گردد و K در آن ضریب هدایت حرارتی قطعه پلیمری می باشد.

$$q_k'' = -K \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3)$$

مقدار انرژی مصرفی جهت فرایند تجزیه حرارتی نیز با S_{Arr} نشان داده شده است :

$$S_{Arr} = -m'' \cdot L \quad (4)$$

L در اینجا معرف گرمای واکنش است و m'' نیز معرف نرخ جرمی می باشد. علامت منفی در این رابطه بیانگر جذب انرژی است و مانند یک چاه حرارتی عمل می کند. نرخ واکنش طبق قانون آرنهنیوس (Arrhenius) [۸] دارای تعریف زیر است که در این رابطه A_s فاکتور فرکانسی، E_s انرژی فعال سازی واکنش و R نیز ثابت جهانی گازها می باشد.

$$m'' = A_s \rho_s \exp\left(-\frac{E_s}{RT_s}\right) \quad (5)$$

کاشیواگی (Kashiwagi) [۵] در نتایج تجربی خود نشان داد که نرخ واکنش علاوه بر دما تابعی از غلظت اکسیژن نیز می باشد. لذا رابطه فوق در این مدل سازی به صورت زیر اصلاح می شود که در آن a و n ثابت و Yo_{surf} غلظت اکسیژن روی سطح می باشد.

$$m'' = A_s \exp\left(-\frac{E_s}{RT_s}\right) \rho_s (a + Yo_s)^n \quad (۶)$$

که برای پلی اتیلن :

$$a = 1.5 \quad n = 8$$

$v_s H$ بیانگر مقدار انرژی انتقال یافته توسط جابجایی گازهای متصاعد شده می باشد. H آنتالپی گاز متصاعد شده و v_s نیز شار جرمی عبوری از عمق l پلیمر می باشد که با انتگرال گیری از نرخ جرمی واکنش در عمق قطعه محاسبه می شود.

$$H = C_{pg} . T \quad (۷)$$

$$v_s = -\int_{l_s}^l m'' . dx \quad (۸)$$

با جایگزینی روابط (۲) تا (۶) در معادله (۱) معادله دیفرانسیل زیر بدست می آید :

$$\frac{\partial \rho_s C_s T}{\partial t} + v_s C_{pg} \frac{\partial T}{\partial x} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + I_0 (1-r) \beta_s \exp(-\beta_s x) + m'' . L \quad (۹)$$

شرایط مرزی برای معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی بالا به صورت زیر می باشد :

$$x = 0 \quad -\kappa \frac{\partial T}{\partial x} + \varepsilon \sigma (T_{surf}^4 - T_{\infty}^4) + h_c (T_{surf} - T_{\infty}) = 0 \quad (۱۰)$$

$$x = l_s \quad -\kappa \frac{\partial T}{\partial x} = \varepsilon \sigma (T_{x=l_s}^4 - T_{\infty}^4) + h_c (T_{x=l_s} - T_{\infty}) \quad (۱۱)$$

$$t = 0 \quad T = T_{\infty} \quad (۱۲)$$

که در روابط بالا h_c ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد روی سطح قطعه، T_{∞} دمای محیط و T_{surf} دمای سطح قطعه پلیمری می باشد که در معرض شار تشعشعی می باشد. h_c از قانون سرمایش نیوتون برای صفحه تخت عمودی [۹] بدست می آید که با فرض ثابت بودن خواص هوا رابطه آن به شکل زیر بدست می آید :

$$h_c = 1.87 (T_s - T_{\infty})^{0.25} \quad (۱۳)$$

۵- مدل عددی

برای حل معادلات جبری بدست آمده از گسسته سازی معادلات بقا به روش حجم کنترل از الگوریتم حل ماتریس سه قطری (TDMA) که شرح آن در مرجع [۱۰] آمده استفاده شده و برنامه آن به زبان فرترن (Fortran) نوشته شده است. همچنین به منظور حذف خصلت غیر خطی ترمهای جابجایی و چشمه آرنیوس در معادله انرژی و تشعشع از سطح، این ترمها با استفاده از مقادیر قبلی خود به شکل مناسبی خطی گشته اند تا بتوان از الگوریتم حل سه قطری استفاده نمود. در هر گام زمانی معادلات تا رسیدن به معیار همگرایی مناسب با قرار دادن کمیات محاسبه شده از حل در معادلات گرهی و محاسبه میانگین مجموع خطاهای بدست آمده تعریف شده است که مقدار آن برای معادله انرژی ۰/۰۰۱ می باشد حل می گردند و سپس با جایگزینی مقادیر کمیات همگرایی بدست آمده بعنوان به مقادیر اولیه برای گام زمانی بعد، حل در طول زمان تا رسیدن به زمان توقف برنامه پیش می رود. تعداد گره در نظر گرفته شده ۲۰۱ و گام زمانی ۱ ثانیه می باشد.

۶- خواص پلی اتیلن

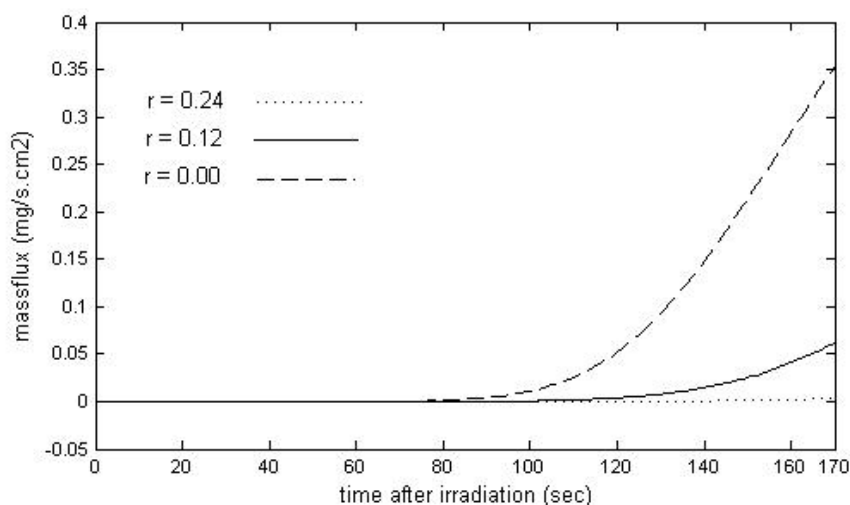
خواص ترموفیزیکی و هندسی پلی اتیلن در جدول زیر ارائه شده است و مقادیر این خواص از مرجع [۱۱] می باشند.

جدول ۱- خواص ترموفیزیکی و هنسی پلیمر PE

واحد	مقدار	خاصیت
kg/m^3	۸۰۱	ρ_s
$J/kg.k$	۲۳۰۰	c_s
$W/m^2.k$	۰/۳۳	κ_s
$kJ/mole$	۴۱۴	L
$1/m$	۲۳۰۰	β_s
-	۰/۸۸	ε
-	۰/۱۲	r_0
$1/s$	۳ e۱۶	A_s
kJ/kg	۲۶۴۰	E_s
m	۰/۰۱۵	l_s

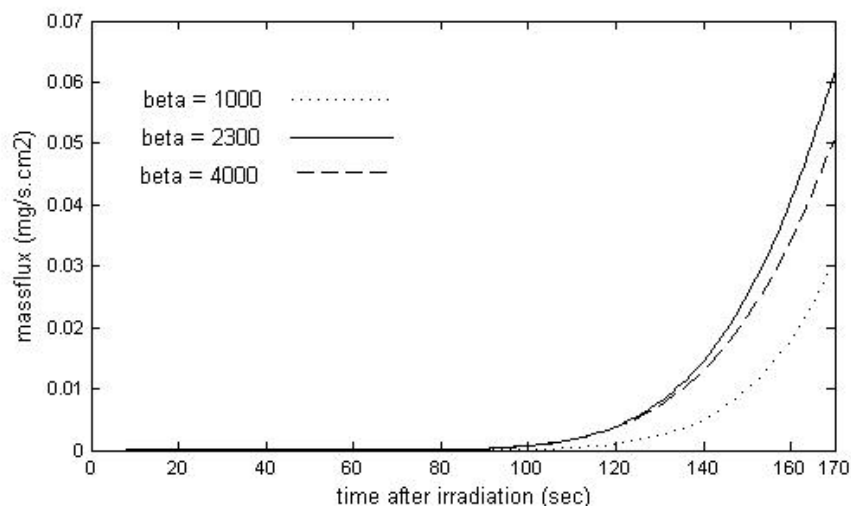
۶- نتایج

در این بخش نتایج به صورت نمودارهای شار گرمی و دمای سطح بر حسب زمان و برای مقادیر مختلف پارامترهای تشعشعی ارائه شده است. همچنین توزیع دمای داخل قطعه پلی اتیلن برای مقادیر مختلف این خواص مورد بررسی قرار گرفته است. شار گرمی، دمای سطح و توزیع دما در داخل قطعه برای شار تشعشعی $40 kW / m^2$ و خواص پلی اتیلن در جدول ۱ ارائه شده است، سپس برای دو مقدار مختلف پارامتر تشعشعی که یکی بزرگتر از مقدار داخل جدول ویکی کوچکتر از مقدار داخل جدول می باشد نتایج رسم شده اند تا تاثیر کاهش یا افزایش هر کدام از این پارامترها بر تجزیه حرارتی پلی اتیلن مشخص شود.



شکل ۲- نمودار تغییرات شار گرمی برداشت شده از سطح PE بر حسب زمان تشعشع برای مقادیر مختلف ضریب انعکاس

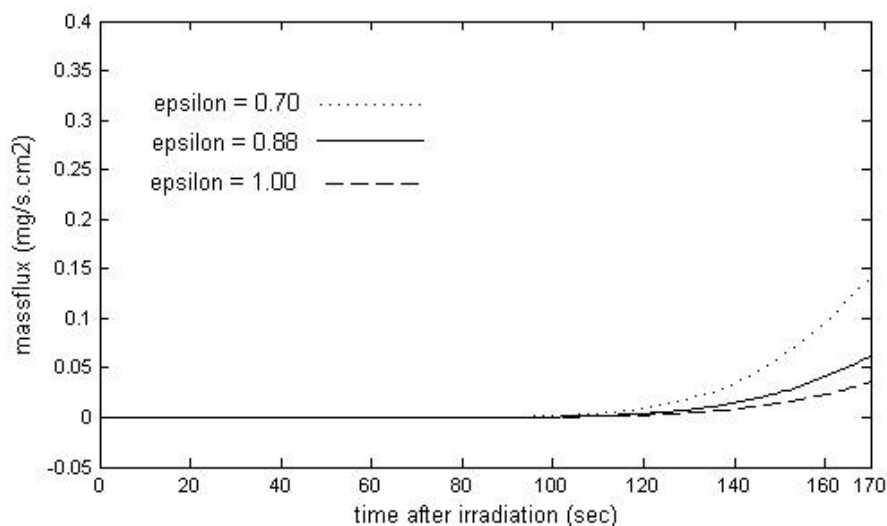
نتایج ارائه شده در نمودارهای ۲ تا ۵ نشان دهنده شار گرمی خارج شده از سطح قطعه پلی اتیلنی بر حسب زمان تشعشع بر حسب مقادیر مختلف پارامترهای تشعشعی می باشد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود نمودار شار گرمی بر حسب زمان برای سه مقدار مختلف ضریب انعکاس سطح رسم شده است و نشان می دهد که با کاهش ضریب انعکاس از ۰/۱۲ به ۰/۰ مقدار شار گرمی پس از ۱۷۰ ثانیه از ۰/۵۵ به ۰/۳۵ می رسد و با افزایش r از ۰/۱۲ به ۰/۲۴ شار گرمی از ۰/۵۵ به ۰/۰ می رسد این افزایش و کاهش در شار گرمی به دلیل افزایش و کاهش شار تشعشعی ورودی است که منجر به افزایش و کاهش دمای قطعه پلی اتیلنی شده و در نتیجه طبق رابطه آرنیوس که شار گرمی با دما رابطه مستقیم دارد شار گرمی افزایش و کاهش پیدا می کند.



شکل ۳- نمودار تغییرات شار گرمی برداشت شده از سطح PE بر حسب زمان تشعشع برای مقادیر مختلف ضریب جذب در عمق

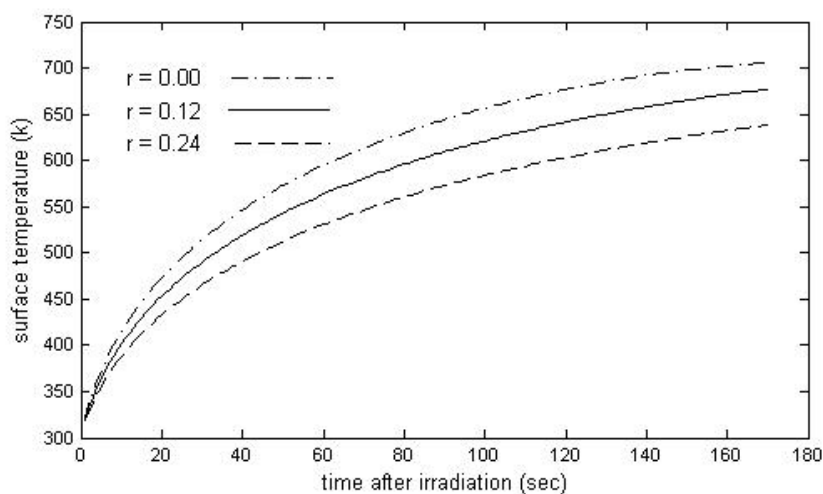
نمودار ۳ نشان دهنده تغییرات شار گرمی بر حسب زمان برای مقادیر مختلف ضریب جذب در عمق می باشد. با مشاهده شکل ۳ می توان دریافت که با افزایش و یا کاهش ضریب جذب در عمق شار گرمی کاهش پیدا می کند. اما میزان کاهش شار گرمی به واسطه افزایش β بیشتر می باشد. این امر بدان دلیل است که با افزایش β تشعشع تا عمق کمتری از جسم نفوذ می کند و لذا باعث می شود که در زمان ۱۷۰ ثانیه منطقه کوچکتری از قطعه پلیمری به دمای تجزیه و تولید

گازهای فرار برسد و در نتیجه شار گرمی به شدت کاهش پیدا می کند. اما با کاهش ضریب جذب در عمق از ۲۳۰۰ به ۱۰۰۰ باعث می شود که انرژی برخوردی به سطح جسم تا عمق بیشتری نفوذ و انرژی در طول قطعه پخش شود در نتیجه دمای قسمتهای مختلف قطعه مخصوصا نزدیک سطح افزایش کمتری نسبت به حالت قبل دارند، در نتیجه نرخ تجزیه کمتر خواهد بود و به طبع آن شار گرمی کاهش پیدا می کند.



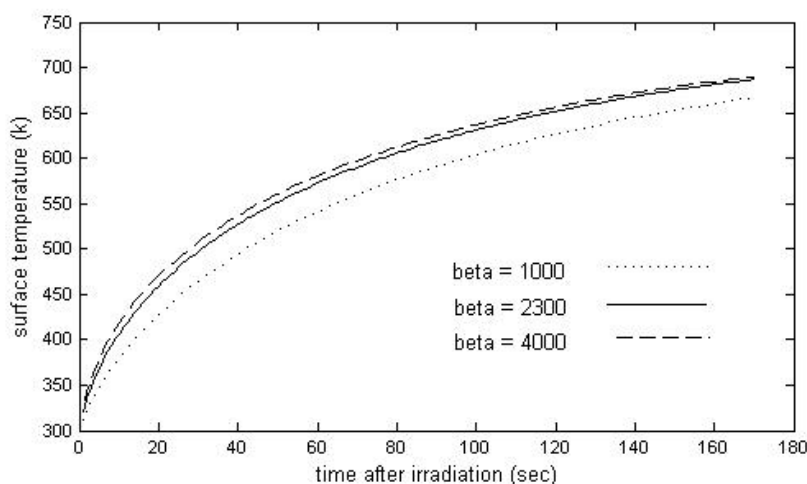
شکل ۴- نمودار تغییرات شار گرمی برداشت شده از سطح PE بر حسب زمان تشعشع برای مقادیر مختلف ضریب صدور

شکل ۴ نشان دهنده تغییرات شار گرمی بر حسب زمان برای مقادیر مختلف ضریب صدور می باشد. همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است مقدار ضریب صدور برای پلی اتیلن برابر ۰/۸۸ می باشد که شار گرمی ۰/۵۵ را بعد از ۱۷۰ ثانیه سبب می شود. با تغییر این ضریب از ۰/۸۸ به ۱ مقدار شار از ۰/۵۵ به ۰/۳۵ تغییر می کند و با کاهش آن از ۰/۸۸ به ۰/۷ مقدار شار گرمی از ۰/۵۵ به ۰/۱۴ افزایش پیدا می کند. با توجه به فیزیک مساله، با افزایش دمای سطح تشعشع از سطح به محیط اطراف انجام می شود. هر چه این تشعشع بیشتر باشد دمای قطعه پایینتر خواهد بود، لذا با افزایش ضریب صدور میزان تشعشع از سطح جسم افزایش پیدا می کند و دمای قطعه پایینتر می آید و منجر به کاهش شار گرمی می شود و بالعکس با کاهش ضریب صدور تشعشع از سطح کاهش و لذا دما و به طبع آن شار گرمی افزایش پیدا می کند.



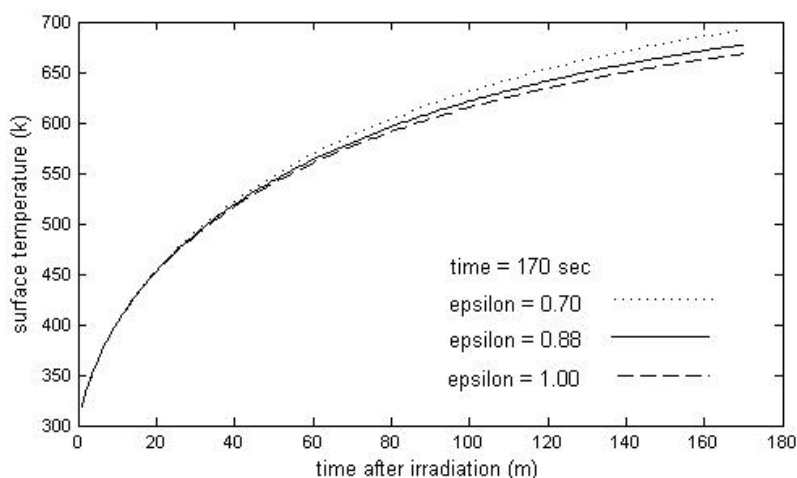
شکل ۵- نمودار تغییرات دمای سطح PE بر حسب زمان تشعشع برای مقادیر مختلف ضریب انعکاس

شکل ۵ تغییرات دمای سطح پلی اتیلن را که در معرض تشعشع است بر حسب زمان برای مقادیر مختلف ضریب انعکاس نشان می دهد. تغییر این ضریب از ۰/۱۲ به ۰/۱۰ باعث افزایش دمای سطح از ۶۷۵ درجه کلوین به ۷۰۵ درجه کلوین می شود و افزایش ضریب انعکاس از ۰/۱۲ به ۰/۲۴ منجر به کاهش دمای سطح از ۶۷۵ به ۶۴۰ درجه کلوین پس از ۱۷۰ ثانیه می شود. همانطور که اشاره شد با افزایش ضریب انعکاس سطح میزان انرژی نفوذ کننده به داخل قطعه پلی اتیلنی کاهش پیدا می کند لذا دمای سطح پلی اتیلن کاهش پیدا می کند و بالعکس در صورت کاهش ضریب انعکاس انرژی نفوذی به داخل جسم افزایش پیدا کرده و به طبع آن دمای سطح پلی اتیلن افزایش پیدا می کند.



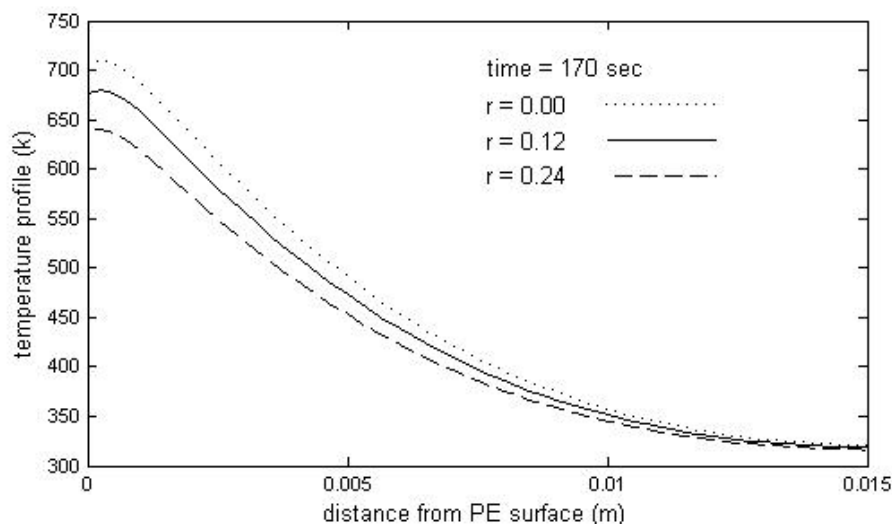
شکل ۶- نمودار تغییرات دمای سطح PE بر حسب زمان تشعشع برای مقادیر مختلف ضریب جذب در عمق

تأثیر ضریب جذب در عمق بر روی دمای سطح پلی اتیلن در شکل ۶ مشاهده می شود. دمای سطح برای ضریب جذب در عمق $2300 m^{-1}$ پس از ۱۷۰ ثانیه ۶۷۵ درجه کلوین می باشد. با افزایش ضریب جذب از $2300 m^{-1}$ به $4000 m^{-1}$ انرژی جذب شده در لایه نزدیک سطح افزایش پیدا کرده و در نتیجه دمای سطح افزایش پیدا می کند و به ۶۸۰ می رسد. دلیل افزایش ناچیز دمای سطح این است که با افزایش دمای سطح تشعشع از سطح نیز افزایش پیدا کرده که با فرایند جذب بیشتر در سطح مقابله می کند و از افزایش زیاد دما جلوگیری می کند. کاهش ضریب جذب در عمق از $2300 m^{-1}$ به $1000 m^{-1}$ باعث می شود که دمای سطح در حدود ۲۵ درجه کاهش پیدا کند زیرا انرژی ورودی به قطعه به عمق بیشتری نفوذ می کند و در طول بیشتری از قطعه توزیع می شود.



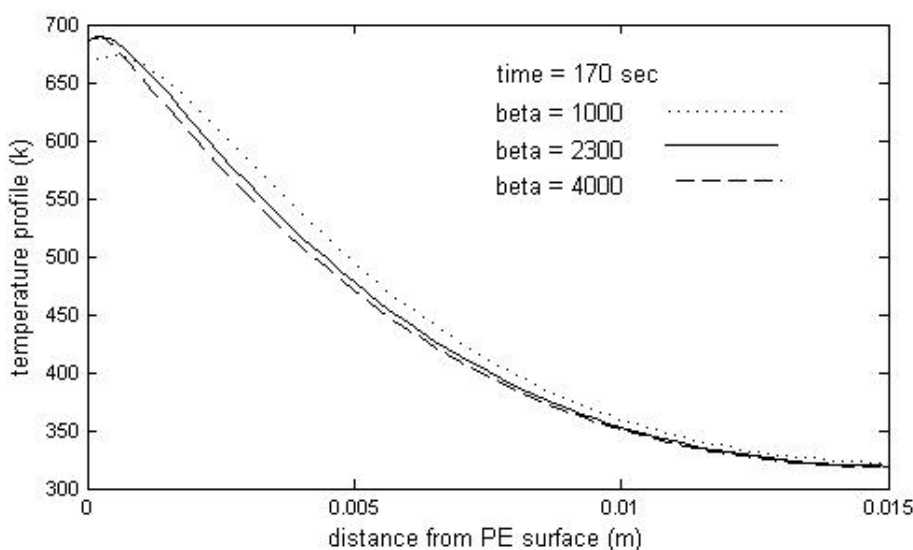
شکل ۷- نمودار تغییرات دمای سطح PE بر حسب زمان تشعشع برای مقادیر مختلف ضریب صدور

شکل ۷ نشان دهنده نتایج برای دمای سطح و بر حسب مقادیر مختلف ضریب صدور رسم شده است. ضریب صدور بر روی میزان تشعشع از سطح تاثیر می گذارد و با کاهش یا افزایش آن در یک اختلاف دمای ثابت میزان تشعشع از سطح به ترتیب باعث کاهش و افزایش تشعشع از سطح می شود. لذا همانطور که در نمودار ۷ مشاهده می شود با افزایش این ضریب از ۰/۸۸ به ۱ دمای سطح به دلیل افزایش انرژی تشعشعی خروجی از سطح از ۶۷۵ به ۶۶۵ کاهش پیدا می کند و بالعکس با کاهش ضریب صدور از ۰/۸۸ به ۰/۷ دمای سطح را حدوداً ۲۰ درجه افزایش می دهد.



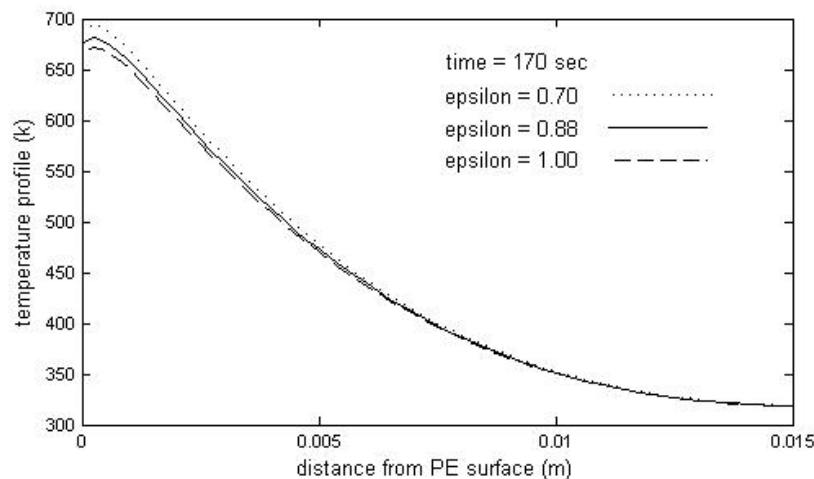
شکل ۸- نمودار توزیع دما در داخل قطعه PE برای مقادیر مختلف ضریب انعکاس

تغییرات توزیع دمای داخل پلی اتیلن برای مقادیر مختلف ضریب انعکاس در شکل ۸ نشان داده شده است. با افزایش ضریب انعکاس به علت کاهش انرژی تشعشعی ورودی به قطعه دمای کلیه نقاط داخل قطعه کاهش پیدا می کند. که این کاهش دما در سطح ماکزیم می باشد و هرچه به سمت انتهای قطعه پیش برویم کمتر می شود. همچنین با کاهش ضریب انعکاس به علت افزایش انرژی ورودی به داخل قطعه دمای قطعه افزایش پیدا می کند. ماکزیم اختلاف دمای ایجاد شده در سطح و در حدود ۳۰ درجه کلین می باشد.



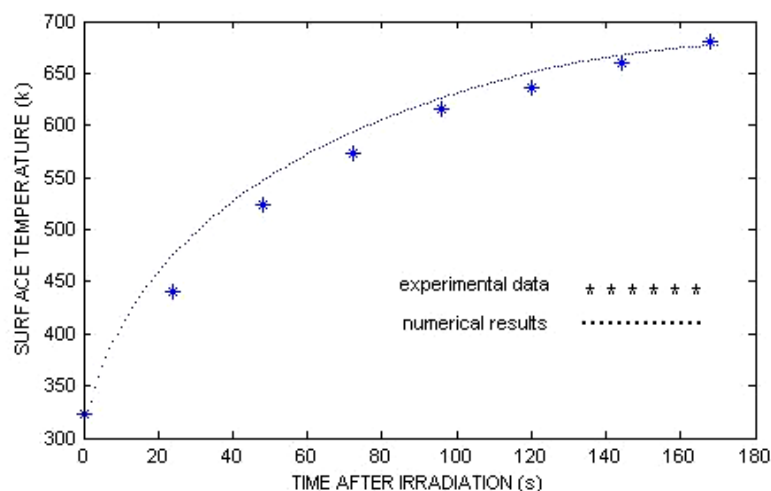
شکل ۹- نمودار توزیع دما در داخل قطعه PE برای مقادیر مختلف ضریب نفوذ در عمق

شکل ۹ توزیع دمای داخل قطعه پلی اتیلن را در زمان ۱۷۰ ثانیه پس از شروع تشعشع بر حسب مقادیر مختلف ضریب جذب در عمق نشان می دهد. با افزایش ضریب جذب از $2300\ m^{-1}$ به $4000\ m^{-1}$ جذب انرژی در سطح افزایش یافته و ماکزیمم دمای قطعه در سطح اتفاق می افتد، که مقدار آن 680 درجه کلوین می باشد. با کاهش ضریب جذب ماکزیمم دما به سمت عمق جسم حرکت می کند. هر چه این ضریب بیشتر کاهش پیدا می کند ماکزیمم دما در عمق بیشتری از قطعه اتفاق می افتد زیرا انرژی به عمق بیشتری از جسم نفوذ پیدا می کند و چون از سطح جسم تشعشع و جابجایی به محیط انجام می شود دما در سطح جسم پایینتر از لایه های مجاور می آید. همچنین با مشاهده شکل ۹ می توان دریافت که با کاهش ضریب جذب از $2300\ m^{-1}$ به $1000\ m^{-1}$ دمای داخل قطعه تا عمق $1\ mm$ کاهش و از عمق $1\ mm$ به بعد افزایش پیدا می کند و همچنین با افزایش ضریب از $2300\ m^{-1}$ به $4000\ m^{-1}$ دما تا عمق $0.5\ mm$ افزایش و از آن به بعد کاهش پیدا می کند.



شکل ۱۰- نمودار توزیع دما در داخل قطعه PE برای مقادیر مختلف ضریب صدور

در شکل ۱۰ که تغییرات توزیع دمای داخل قطعه را بر حسب مقادیر مختلف ضریب صدور نشان می دهد می توان مشاهده کرد که کاهش ضریب صدور از 0.88 به 1 باعث کاهش توزیع دمای داخل قطعه می شود و ماکزیمم اختلاف دمایی در حدود 10 درجه کلوین را که در سطح اتفاق می افتد ایجاد می کند. با کاهش این ضریب از 0.88 به 0.7 توزیع دمای داخل قطعه افزایش پیدا می کند. همچنین با کاهش ضریب صدور به علت کاهش تشعشع از سطح ماکزیمم دما به سطح نزدیکتر می شود.



شکل ۱۱- نمودار تغییرات دمای سطح بر حسب زمان تشعشع مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی [۵]

در شکل ۱۱ تغییرات دمای سطح پلی اتیلن بر حسب زمان تشعشع بدست آمده از مدلسازی عددی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. نتایج نشان می دهد که ماکزیمم اختلاف دما در زمانهای بین ۲۰ تا ۶۰ ثانیه و مقدار آن برابر ۲۵ درجه کلونین می باشد.

۷- نتیجه گیری

نتایج نشان می دهند که افزایش ضریب انعکاس سطح باعث کاهش قابل ملاحظه دمای سطح و همچنین کاهش دما در عمق جسم می شود که منجر به کاهش شدید شار گرمی خروجی از سطح پلی اتیلن می شود و کاهش ضریب انعکاس باعث افزایش دما در قطعه و به طبع آن افزایش شار گرمی می شود. همچنین مشاهده شد که با افزایش ضریب صدور دمای سطح و دمای عمق قطعه کاهش پیدا می کند که این امر باعث کاهش شار گرمی می شود و همچنین موجب می شود که دمای ماکزیمم در فاصله بیشتری از سطح قطعه اتفاق بیافتد. با کاهش ضریب صدور دما و شار گرمی خروجی از سطح افزایش می یابد. افزایش مقدار ضریب جذب در عمق پلی اتیلن باعث افزایش دمای سطح و کاهش دما در عمق می شود و همچنین موجب نزدیک شدن دمای ماکزیمم به سطح می شود. از سوی دیگر کاهش ضریب جذب منجر به نفوذ انرژی تشعشعی به عمق بیشتر، کاهش دمای سطح و افزایش دما در عمق می شود. با نگاهی به کل نتایج می توان مشاهده کرد که تغییر در ضریب انعکاس تاثیر بیشتری بر توزیع دما و شار گرمی پلی اتیلن نسبت به ضرایب مورد بررسی دیگر می گذارد، که علت آن تاثیر مستقیم این ضریب بر میزان شار تشعشعی ورودی به قطعه پلی اتیلنی می باشد.

مراجع

- 1 - Hallman J., Wellker J.R., Slipcevic C.M., "Ignition of polymers", SPE Journal, 28, pp 43-47 (1972)
- 2- Young R., Dukat M., Malmasi L., " Stimulus properties of PMMA: effect of optical isomers and conformational restriction", Pharmocology Biochemistry and Behavior, 64, No. 2, pp 449-453 (1999)
- 3 - Kashiwagi T., "Effect of sample orientation on radiative ignition", Combustion and Flame, 44, pp 223-245 (1982)
- 4 - Modak A.T., and Croce P.A., "Plastic pool fire", Combustion and Flame, 30, pp 251-265 (1997)
- 5 - Kashiwagi T., and Ohlemiller T.J., "A study of oxygen effects on nonflaming transient gasification of PMMA and PE during thermal degradation", Nineteenth Symposium (International) on Combustion/The Combustion Institute, pp 815-823 (1982)
- 6 - Michael M.F., "Heat - Radiation and absorption", NewYork, McGraw-Hill (1993)
- 7 - Benjamin G., "Heat conduction and absorption", NewYork, McGraw-Hill (1993)
- 8 - Glassman I., "Combustion", 3th Edition, Academic Press (1993)
- 9 - Kreith F., and Bohn M.S., "Principle of heat transfer", 5th Edition, PWS Publishing co., Minneapolis (1997)
- 10- Patankar S.V., "Numerical heat transfer and fluid flow", Hemisphere (1980)
- ۱۱ - برناک م.، "تجزیه و تحلیل عددی تاثیر اکسیژن بر فرایند تجزیه حرارتی پلیمرها"، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مکانیک تبدیل انرژی، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۰)