



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

تخلیه آنتی اکسیدان در لوله های پلی اتیلن با چگالی بالا در معرض شیرابه

مصنوعی و هوا

چکیده

نرخ های تخلیه آنتی اکسیدان برای نمونه های یک پلی اتیلن خاص با چگالی بالا گزارش شده است که زمانی که در هوا و شیرابه مصنوعی مواد زائد جامد شهری غوطه ور شود، توسط اندازه گیری زمان القا اکسیداتیو (OIT) در دماهای ۲۲ درجه، ۴۰ درجه، ۷۰ درجه و ۸۵ درجه به دست می آید. از عوامل مورد بررسی، میزان تخلیه آنتی اکسیدان، با تخلیه بسیار سریع تر در درجه حرارت بالاتر، بیشتر تحت تاثیر درجه حرارت پیری قرار می گیرد. تخلیه آنتی اکسیدان زمانی زمان سریعتر بود که در شیرابه مصنوعی غوطه ور بود و نه در هوا، و برای لوله های نازک در مقایسه با یک لوله ضخیم سریع تر بود. چه لوله با کاهش ۱۰٪ در قطر لوله عمودی منحرف شود یا نشود، هیچ تفاوت معنی داری در تخلیه آنتی اکسیدان وجود نداشت. بنابراین پیش بینی های زمان برای تخلیه آنتی اکسیدان ها سپس از برون یابی Arrhenius از داده های گزارش شده صورت گرفت. تخمین زده می شود که تخلیه آنتی اکسیدان ها ممکن است از ۶۰۰ سال در ۱۰ درجه به کمتر از ۲۰ سال در ۵۰ درجه برسد، زمانی که در معرض هوا قرار می گیرد، و ممکن است از ۱۶۰ سال در ۱۰ درجه به ۱۰ سال در ۵۰ درجه برسد اگر در معرض شیرابه مصنوعی قرار گیرد. این نتایج برای لوله های خاص، فرمول آنتی اکسیدان و شرایط مورد بررسی قرار گرفته، قابل اجرا می باشند.

کلمات کلیدی: Geosynthetics، لوله های پلی اتیلن با چگالی بالا، تخلیه آنتی اکسیدان، دوام، محل های دفن

زباله

۱. مقدمه

محل های مدرن دفن زباله های جامد به طور معمول شامل یک سیستم جمع آوری شیرابه مهندسی (به عنوان مثال Rowe و همکاران ۲۰۰۴) برای کمک به مدیریت مایع آلوده تولید شده از زباله های جامد می شود. لوله های جمع

آوری شیرابه پلی اتیلن با تراکم بالا (HDPE) از اجزای مهم در این سیستم جمع آوری شیرابه می باشد. آنها یک فرصت برای جمع آوری و حذف شیرابه از محل دفن زباله را فراهم می کند و در نتیجه می توانند برای به حداقل رساندن سر هیدرولیک در پایه محل های دفن زباله و حذف آلاینده ها در سیستم مورد استفاده قرار گیرند. از آنجا که طول عمر آلوده کننده محل های دفن زباله مدرن می تواند از چند دهه تجاوز کند، و یا در برخی موارد به صدها سال می رسد، دوام طولانی مدت لوله های جمع آوری شیرابه موضوعی است که نیاز به بررسی دارد.

سه مکانیسم مهم که به طور منفی می تواند دوام لوله های HDPE را تحت تاثیر قرار دهد، تخریب نوری، تنش ترک خوردگی و تخریب اکسیداتیو (Mruk 1990) می باشد. تنزل نوری موضوع لوله های جمع آوری شیرابه نیست چرا که آنها به خاک سپرده می شوند و به دلیل اینکه رزین های لوله HDPE مدرن قبل از دفن شامل کربن سیاه برای حفاظت از لوله ها از خورشید می شود (Husan و Koerner 1998). استرس ترک خوردگی یک موضوع برای لوله های (به عنوان مثال خطوط گاز) تحت فشار گرفته در داخل است که در آن تنش های کششی در تمام دیواره لوله وجود دارند. این احتمالاً یک مشکل برای لوله های جمع آوری شیرابه نیست، چرا که آنها در داخل تحت فشار نیستند، بلکه در عوض تحت بارهای گرانش از دفن قرار می گیرند که منجر به تنش لوله داخلی می شود که ترکیبی از تنش و فشردگی از طریق ضخامت لوله می شود. با گذشت زمان این تنش ممکن است آرام شود، زمانی که لوله به شکل تغییر شکل یافته پایدار می رسد (Krushelnitzky 2006). فرض شده است که تنش ترک خوردگی یک موضوع مهم برای لوله های خاک سپرده است، چرا که آنها ممکن است در حالت استرس خمش آرام قرار گیرد، در مقابل تنش های کششی ثابت که در داخل لوله های تحت فشار تجربه می کنند (Mozer ۱۹۸۱، Johnson ۱۹۹۶). Johnson (۱۹۹۶) نوشته اند:

می توان گفت که فشار خمش ثابت که دیواره لوله در معرض آن قرار می گیرد تا زمانی که مواد لوله خواص اصلی خود را حفظ کنند، یعنی تا زمانی که سیستم تثبیت مواد دست نخورده باشد، باعث خرابی نمی شود. این سیستم پایدارسازی باید تا همیشه دست نخورده باقی بماند و بدین ترتیب خرابی مواد هرگز رخ نخواهد داد.

از آنجا که هیچ سیستم تثبیتی برای همیشه باقی نخواهد بود، کاهش احتمالی در خواص لوله های ناشی از اکسیداسیون انتظار می رود. بنابراین، مکانیسم های اصلی تجزیه و تخریب اکسیداتیو، بزرگترین تاثیر بالقوه بر دوام لوله جمع آوری شیرابه HDPE را خواهد داشت.

این مورد توسط Husan و Koerner (1998) فرض شده است که دوام HDPE را می توان با استفاده از سه مرحله مجزا (شکل ۱) اندازه گیری نمود:

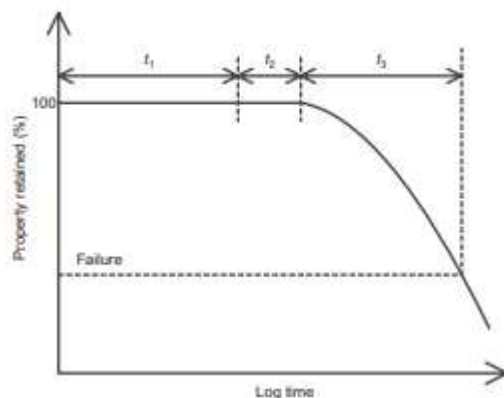
• T1، زمان مورد نیاز برای تخلیه آنتی اکسیدان ها.

• T2، زمان مورد نیاز برای القاء تخریب پلیمر و

• T3، زمان مورد نیاز برای ویژگی مهندسی مورد نظر در مورد تنزل تا حدی که دیگر عملکرد طراحی در نظر گرفته شده انجام نشود.

آنتی اکسیدان ها، تثبیت کننده های شیمیایی افزوده شده به HDPE برای محدود کردن اکسیداسیون در طی اکستروسیون و عمر طولانی مدت HDPE (Husan و Koerner 1998) می باشند. بنابراین آگاهی از زمان تخلیه آنتی اکسیدان های محافظ در لوله های HDPE می تواند برای به دست آوردن تخمین مرتبه اول از اینکه چه مدت آنها ممکن است عملکرد خود را (یعنی عمر) در محل های دفن زباله انجام دهند، استفاده شود. تخلیه آنتی اکسیدان ها برای geomembranes HDPE مورد توجه قرار گرفته است (به طور مثال، Hsuan and Koerner 1998; et al. 2004; Jeon et al. 2008; Rowe et al. 2008, 2009, Sangam and Rowe 2002; Gulec 2010; Rimal and Rowe 2009). هرچند، تعداد اندکی از داده ها در مورد تخلیه آنتی اکسیدان و نرخ تخریب اکسیداتیو لوله های HDPE زمانی که در معرض شیرابه محل دفن زباله قرار می گیرند، وجود دارد.

هدف از این مقاله، تعیین طول مرحله اول تخریب اکسیداتیو برای یک لوله HDPE خاص است. نتایج تجربی ارائه شده است که در آن تخلیه آنتی اکسیدان در نمونه های لوله HDPE اندازه گیری می شود وقتی که در معرض هوا و شیرابه مصنوعی در دمای ۲۲ درجه، ۴۰ درجه، ۷۰ درجه و ۸۵ درجه قرار می گیرد. سپس این اطلاعات برای ارائه تخمین زمان به تخلیه آنتی اکسیدان برای HDPE لوله های جمع آوری شیرابه تعمیم داده می شود.



شکل ۱. مدل مفهومی سه مرحله ای پیری شیمیایی HDPE (اصلاح شده از Hsuan and Koerner 1998)

۲. تخلیه آنتی اکسیدان و اکسیداسیون

میزان آنتی اکسیدان را در یک لوله HDPE زمانی کاهش می یابد که سن لوله به دلیل دو، مکانیسم اغلب همزمان کاهش می یابد: واکنش های شیمیایی و افت فیزیکی (Husan و Koerner 1998). واکنش های شیمیایی زمانی رخ می دهد که آنتی اکسیدان ها با اکسیژن، رادیکال های آزاد و یا پراکسید آلکیل (Luston 1986) واکنش نشان می دهند. میزان مصرف (پیشرفت از سطوح لوله به سمت داخل) بستگی به غلظت این مواد شیمیایی دارد. افت فیزیکی از انتشار، استخراج و یا تبخیر (Luston 1986) رخ می دهد. نوسانات و انتشار آنتی اکسیدان تابع درجه حرارت می باشند. درجه حرارت در افزایش تبخیر از تثبیت کننده های از سطوح لوله افزایش می یابد و انتشار تثبیت کننده از فضای داخلی را به سطح لوله افزایش می دهد. نوسانات نیز تابعی از حرکت از آنتی اکسیدان ها در فاز آمورف پلیمر هستند همانطور که غلظت بیشتری از آنتی اکسیدان ها را می توان در فاز آمورف (Husan و Koerner 1998) یافت. با این حال، تبخیر ممکن است در این زمینه قابل توجه باشد، زمانی که درجه حرارت در پایه محل های دفن زباله به ندرت بیش از ۶۰ درجه می شود (Rowe 2006; Koerner and Koerner 2005).

هر گاه HDPE در تماس با یک مایع قرار گیرد، استخراج آنتی اکسیدان ها می تواند نقش مهمی بازی کند. میزان استخراج توسط انحلال آنتی اکسیدان ها از سطح لوله و با میزان انتشار آنتی اکسیدان ها از داخل به سطوح کنترل می شود. باز هم انتظار می رود درجه حرارت و تحرک آنتی اکسیدان در فاز آمورف نقش مهمی در میزان استخراج

بازی کند (Husan و Koerner 1998). برای لوله های پلی اتیلن حمل کننده آب گرم، بر اساس مشاهدات آزمون لوله های در معرض آب داخلی و هوایی خارجی، مشاهده شده است که استخراج نقش بیشتری از تبخیر در تخلیه آنتی اکسیدان، بازی می کند (Smith et al.; Gedde and Ifwarson 1990; Karlsson et al. 1992, 1993; Gill et al 1999; al. 1992; Viebke and Gedde 1997, 1998; al. 1992). مشخص شد که مصرف آنتی اکسیدان ها در هوا بسیار سریع تر از آب است.

انتظار می رود میزان اکسیداسیون به نوع و ساختار پلیمر، به ویژه تبلور و تعداد شاخه های زنجیره ای آن (Kelen و Husan؛ 1983 و Koerner 1995)، و همچنین در فرمول آنتی اکسیدان بستگی داشته باشد. در نتیجه، برآورد طول عمر به مواد HDPE خاص و فرمول آنتی اکسیدان بستگی دارد.

میزان اکسیداسیون همچنین به غلظت اکسیژن بستگی دارد. برای محل های دفن زباله لوله های جمع آوری شیرابه، میزان اکسیژن آزاد ممکن است در قاعده محل های دفن زباله بسیار کوچک باشد که میزان اکسیداسیون لوله را کاهش می دهد. دلیل آن این است که شرایط بی هوازی به طور سنتی پس از ۳ تا ۵ سال از پوشش زباله غالب می شود (به عنوان مثال Pohland و Rowe et al. 2004 و Harper 1986). هر چند کم است، هنوز هم اکسیژن کافی برای اکسیداسیون، یک موضوع مهم است همانطور که در آزمون geomembranes HDPE در شرایط کم اکسیژن نشان داده شده است (Sangam و Rowe ۲۰۰۲؛ Rowe و همکاران ۲۰۰۸).

انتظار می رود محیط تماس مستقیم با HDPE نیز بر میزان اکسیداسیون تاثیر داشته باشد. تحقیقات اخیر در تخلیه آنتی اکسیدان در geomembranes HDPE نشان داده اند که میزان کاهش بستگی به سیالات در تماس با ژئوممبران دارد. به عنوان مثال، تخلیه آنتی اکسیدان ۲-۴ بار سریعتر در شیرابه زباله شهری نسبت به آب یا هوا وجود دارد (Sangam و Rowe ۲۰۰۲؛ Rowe و همکاران ۲۰۰۸). نشان داده شده است که سورفاکتانت تشکیل دهنده شیرابه شهری زباله های جامد است که بیشترین اثر را در تخلیه آنتی اکسیدان دارد (Rowe و همکاران ۲۰۰۹). این به کاهش اثرات کشش سطحی با سورفاکتانت نسبت داده شده است که منجر به استخراج بیشتر از آنتی اکسیدان هاست. علاوه بر این، مقداری خاک، اگر آنها حاوی مقدار قابل توجهی از فلزات واسطه و رطوبت

باشد، می تواند به انتشار فلزات واسطه در HDPE (Husan و Koerner 1995) منجر شود. Langenhove van (1990) نشان داد که فلزات واسطه خاص (مانند مس، آهن و منگنز) منجر به شتاب تخریب توسط یک عامل ۱۰ (برای مس و آهن) و یا یک عامل ۲ (برای منگنز) می شوند. برای لوله های جمع آوری شیرابه محل دفن زباله، شیرابه های حاوی فلزات واسطه ممکن است به تخریب اکسیداتیو سریع منجر شوند.

این امکان وجود دارد که ضخامت لوله نیز نقش مهمی در میزان اکسیداسیون ایفا می کند. Carlson و همکاران (۱۹۹۲) نتایج حاصل از مطالعات تخلیه آنتی اکسیدان را در میان تراکم لوله های پلی اتیلن مورد استفاده در برنامه های کاربردی آب گرم معرفی نموده اند. آنتی اکسیدان ها برای تخلیه سریع تر در سطح لوله نسبت به داخل =نشان داده شده اند. این را می توان فرض کرد که لوله های ضخیم تر مدت زمان طولانی تری را برای اکسیده شدن نیاز دارند، همانطور که نفوذ به بیرون آنتی اکسیدان های دیگر در این لوله ها اینگونه است. این فرضیه توسط مشاهدات صورت گرفته در geomembranes پشتیبانی شده است که در آن geomembranes نازک سریعتر از geomembranes ضخیم تر اکسیده می شوند (Kelen 1983).

زمان القا اکسیداتیو (OIT) یک آزمون شاخص است که می تواند برای اندازه گیری میزان آنتی اکسیدان های باقی مانده در یک پلیمر (به عنوان مثال Husan و گوان ۱۹۹۷) مورد استفاده قرار گیرد. روش آزمون استاندارد برای اندازه گیری OIT با استفاده از حرارت سنج اسکن دیفرانسیل (ASTM D 5885 ASTM D 3895) وجود دارد. تخلیه OIT با توجه به زمان به عنوان یک تابع نمایی به شکل زیر (Husan و Koerner 1998) بیان می شود:

$$OIT_t = OIT_0 e^{-st} \quad (1)$$

که در آن OIT_t مقدار OIT بر حسب دقیقه در زمان t در ماه است، OIT مقدار اولیه OIT بر حسب دقیقه، s نرخ تنزل آنتی اکسیدان در ۱ ماه است. این داده ها می توانند به عنوان تابع خطی از لگاریتم طبیعی OIT در مقابل زمان ارائه شود که در آن شیب تابع، نرخ تنزل OIT است.

۳. آزمایشات پیری سریع

۳.۱. نمونه های لوله

تمام نمونه های لوله آزمایش شده از تولید مشابه انجام شد و از همان نوع از HDPE، PE 345464C استفاده شد، زمانی که مطابق با ASTM D 3350 طبقه بندی شد. همانطور که در جدول ۱ شرح داده شد، دو ضخامت لوله مورد بررسی قرار گرفته به عنوان لوله های ضخیم و نازک نشان داده می شود. لوله های نازک از نمونه لوله های ضخیم به اندازه ماشین کاری شد. مگر در مواردی که خلاف آن ذکر شده است، نتایج در این مقاله به لوله ضخامت اشاره می کنند. خواص شاخص اولیه لوله های خاص مورد آزمایش قرار گرفته در جدول ۲ داده شده است.

طول نمونه ۳۰۰ میلیمتر برای تست مورد استفاده قرار گرفت زیرا (Janson 1996) پیشنهاد داد که طول نمونه باید حداقل برابر یا بزرگتر از شعاع لوله باشد تا از مقادیر کم استرس باقیمانده اجتناب شود (در مقایسه با مقادیر در میدان).

Type	Outside diameter (mm)	Thickness (mm)
Thick pipe	114.3	10.3
Thin pipe	107	2.5

جدول ۱. شعاع های لوله و ضخامت دیواره بررسی شده

خلاصه شرایط نمونه برای لوله های ضخیم پیر شده تا حدود ۲۴ ماه در جدول ۳ ارائه می شود. لوله های نازک برای دوره حدود ۱۰ هفته در شیرابه ساختگی در ۸۵ درجه بدون انحراف پیر شدند.

۳،۲ محیط های مواجهه

لوله های ضخیم با دو محیط مواجه شدند: هوا و شیرابه مصنوعی. لوله های نازک تنها با شیرابه مصنوعی مواجه شدند. جدول ۴، ترکیب شیرابه مصنوعی استفاده شده برای این آزمایشات را نشان می دهد.

Ageing time (days)	Melt flow index ^a (g/10 min)	Crystallinity ^b (%)	Flexural modulus ^c (MPa)
0	0.052	51.8	439
105	0.044	53.7	509
228	0.047	53.1	427
348	0.035	51.5	508
546	0.042	53.2	431
717	0.028	52.6	439

جدول ۲. ویژگی های شاخص اولیه و پیر شده از لوله خاص آزمایش شده HDPE؛ مقادیر پیر شده برای نمونه های لوله بدون تغییر شکل پیر شده در شیرابه مصنوعی در ۸۵ درجه.

Test series	Deflected (yes/no)	Temperature (°C)	Exposure medium
1	No	22	Air
2	No	40	Air
3	No	70	Air
4	No	85	Air
5	Yes	22	Air
6	Yes	40	Air
7	Yes	70	Air
8	Yes	85	Air
9	No	22	Synthetic leachate
10	No	40	Synthetic leachate
11	No	70	Synthetic leachate
12	No	85	Synthetic leachate
13	Yes	22	Synthetic leachate
14	Yes	40	Synthetic leachate
15	Yes	70	Synthetic leachate
16	Yes	85	Synthetic leachate

جدول ۳. شرایط آزمایش برای نمونه های لوله دیواره بندی شده ضخیم

Component	Formula	Amount/litre (mL)
Trace metal solution	See Table 5	1
Sodium sulfide nonahydrate (3% w/v) $E_h \approx -120$ mV	$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	-0.5-1
Sodium hydroxide (15 M) pH 6	NaOH	-0.1
Igepal® CA 720		4.5

جدول ۴. ترکیب شیرابه مصنوعی

این مورد مطابق با مطالعات قبلی در geomembranes HDPE انتخاب شد. شیرابه از یک حلال فلز انتقالی (جدول ۵ را ببینید) و ماده سطحی (Igepal1 CA 720) با سولفید سدیم برای عمل نمودن به عنوان عامل کاهنده

برای رسیدن به یک پتانسیل الکتریکی کمتر از ۱۲۰ میلی ولت کاهش می یابد) و هیدروکسید برای رسیدن به pH برابر با ۶,۰ تشکیل شده است. شیرابه هر شش هفته تغییر می یابد به غیر از نمونه های قرار گرفته در معرض ۸۵درجه، که هر ۱۰ روز تغییر می یابند. این کار به دلیل تبخیر سریع تر شیرابه در ۸۵درجه لازم است.

۳,۳ انحرافات لوله

استرس می تواند روی نرخ تخلیه آنتی اکسیدان تاثیر بگذارد (Bandyopadhyay et al. 1985; Rapoport and Zaikov 1986). به منظور بررسی تاثیر آرامش بخش تنش خمی (تنش فرض شده در لوله های جمع آوری شیرابه عمل می کند) در تخلیه آنتی اکسیدان، شرایط زیر مورد بررسی قرار گرفت: هیچ انحراف و منحرف با کاهش ۱۰٪ در قطر لوله عمودی خارجی. این مورد توسط فشرده سازی نمونه های لوله بین دو صفحه از جنس فولاد ضدزنگ موازی قرار گرفت تا زمانی که کاهش ۱۰٪ در قطر عمودی خارج از لوله رخ داد. این صفحات به منظور حفظ ۱۰٪ انحراف به محل پیچ شدند. این سطح از انحراف به این علت انتخاب شد که بیش از ۵-۷٪ (ASTM F 714) حداکثر معیار انحراف مجاز شد که نتیجه آن نمونه های لوله قرار گرفته در معرض شرایط دشوار بود، نسبت به آنچه به طور معمول در این زمینه رخ می دهد.

۳,۴ دماهای بالا رفته

دماهای بالا برای سرعت بخشیدن به تخلیه آنتی اکسیدان مورد استفاده قرار گرفت. مدل Arrhenius می تواند برای پیش بینی تخریب لوله در دمای پایین تر، بر اساس اندازه گیری افت نسبتا سریع به دست آمده از تست درجه حرارت بالا مورد استفاده قرار گیرد. این بر اساس این فرض است که رفتار ماده در محدوده درجه حرارت بالا مورد بررسی قرار گرفته می تواند به رفتار های پایین تر با درجه حرارت مورد علاقه تعمیم یابد. مدل Arrhenius برای شرایط مواجهه مواد مشابه و ژئوممبران HDPE مشابه (به عنوان مثال Sangam و رو ۲۰۰۲) استفاده می شود. سه دماهای بالا (۴۰درجه، 70درجه و ۸۵درجه) و درجه حرارت آزمایشگاه محیط ۲۲درجه برای پیری استفاده می شود.

دماهای بالا با قرار دادن نمونه ها در داخل کوره های هوا به دست آمد که به صورت الکترونیکی برای حفظ درجه حرارت در داخل ۰,۵ درجه کنترل می شود. در هنگام انتخاب درجه حرارت بالا، بالا نبردن درجه حرارت به حدی زیاد که ساختار مورفولوژیکی مواد در حال بررسی را تغییر دهد، مهم است. این نیز مهم است که درجه حرارت موثر آنتی اکسیدان های مورد استفاده در لوله زیاد نشود و یا نتایج حاصل از آزمون OIT احتمالا می تواند فریبنده باشد. تصور می شود درجه حرارت به تصویب رسیده برای استفاده با لوله های HDPE تست شده، بر اساس یک بررسی از نوشته های مرتبط با geomembranes HDPE و آزمون بالا بردن درجه حرارت لوله HDPE (به عنوان مثال Sangam و Rowe ۲۰۰۲) قابل قبول باشد.

۳,۵ آزمایشات انجام شده

نمونه های کنار گذاشته شده از نمونه های لوله تحت آزمون استاندارد OIT (ASTM D 3895) و آزمون OIT با فشار بالا (ASTM D 5885) با استفاده از کالریمترهای اسکن دیفرانسیل قرار گرفت. برای آزمون ارائه شده در این مقاله، دو کالریمتر اسکن دیفرانسیل متفاوت مورد استفاده قرار گرفت: ابزار DSC 2910 TA و ابزار DCS TA Q100. فرضیه آزمون T نشان داد که تفاوت معنی داری بین نتایج به دست آمده از دو دستگاه در سطح ۹۵٪ معنی دار وجود ندارد.

	Component	Formula	Amount/Litre (mg ± 0.1 mg)
1	Ferrous sulfate	FeSO ₄ .7H ₂ O	2000
2	Boric acid	H ₃ BO ₃	50
3	Zinc sulfate heptahydrate	ZnSO ₄ .7H ₂ O	50
4	Cupric sulfate, pentahydrate	CuSO ₄ .5H ₂ O	40
5	Manganous sulfate monohydrate	MnSO ₄ .H ₂ O	500
6	Ammonium molybdate tetrahydrate	(NH ₄) ₆ Mo7O ₂₄ .4H ₂ O	50
7	Aluminium sulfate 16-hydrate	Al ₂ (SO ₄) ₃ .16H ₂ O	30
8	Cobaltous sulfate heptahydrate	CoSO ₄ .7H ₂ O	150
9	Nickel (II) sulfate	NiSO ₄ .6H ₂ O	500
10	Sulfuric acid (+95% purity) (ml)	H ₂ SO ₄	1

جدول ۵. ترکیبات ردیابی حلال فلزات

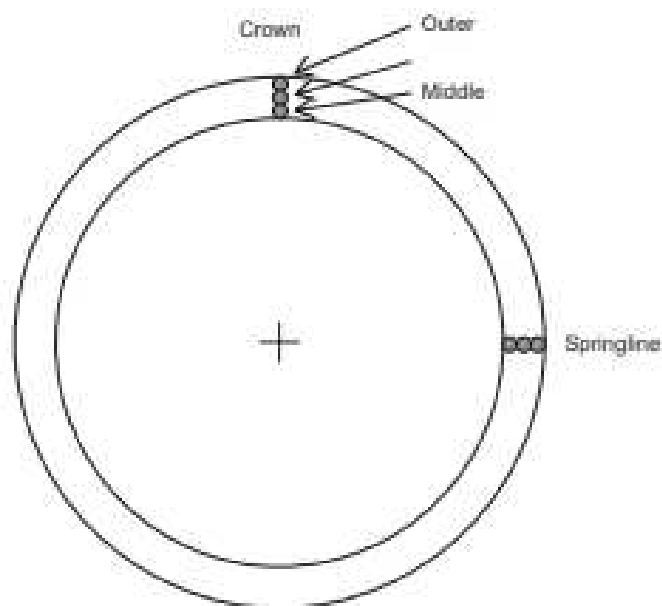
علاوه بر نظارت OIT برای لوله ها، شاخص جریان مذاب (ASTM D 1238) و تبلور (ASTM E 794) از نمونه های کهنه شده با زمان برای ارزیابی این مورد اندازه گیری شد که آیا هر پیری شیمیایی پلیمر وجود دارد یا خیر.

مدول خمشی، به دست آمده با فشرده سازی حلقه های لوله های زیر ASTM D 2412، نیز برای پیگیری یک ویژگی لوله های عمده ای با هم اندازه گیری شد.

۴. آزمایش OIT

۴,۱ نمونه های آزمایش OIT

برای نمونه لوله های ضخیم، نمونه ها از دو حلقه با ضخامت ۳ تا ۵ میلی متر پانچ شد: یک برش یافته از پایان نمونه های لوله و دیگری برش یافته از میانه (۱۵۰ میلی متر از هر انتها) نمونه های لوله. شکل ۲ محل نمونه ها را نشان می دهد که از حلقه پانچ شده است. نمونه ها از حلقه با استفاده از یک پانچ به قطر ۳,۱۷۵ متر پانچ شد. نمونه ها به طور معمول ۱,۵-۲,۰ میلی متر در طول، با جرم بین ۹ و ۱۵ میلی گرم بود. این مقدار جرم بیش از ۵ + ۱ نمونه میلی گرم جرم در ASTM D 5885 تعیین شده است. آزمون اعتبار سنجی هیچ تفاوت مشهودی در مقدار OIT 9- 15 نمونه میلی گرم را در مقایسه با ۵ نمونه میلی گرم نشان نداد. سه نمونه از بالای حلقه (تاج لوله) و سه نمونه از اطراف حلقه (خط فنری از لوله) پانچ شد.



شکل ۲. نمودار حلقه HDPE برش یافته از نمونه لوله مسن که نشان دهنده مکان های نمونه برای تست OIT است.

آزمون فرض آماری نشان داد که اختلاف معنی داری بین مقادیر OIT اندازه گیری شده بین دو حلقه در سطح ۹۵ درصد از معناداری برای هر دو نمونه لوله منحرف و غیر منحرف وجود نداشت.

جدول ۶ فهرست مقادیر مختلف OIT اندازه گیری شده در تاج و خط فنری برای نمونه های غیر منحرف لوله در سن ۲۶ روز، ۱۰۵ روز و ۳۴۸ روز در شیرابه مصنوعی در ۸۵ درجه است. مقادیر OIT برای نمونه ها در شیرابه در ۷۰ درجه، ۴۰ درجه و ۲۲ درجه ساله نشان داده نشده است، اما دارای روند مشابهی است. سه سنین مختلف برای تعیین اینکه آیا OIT با زمان بین تاج و خط فنر تغییر می کند، مورد بررسی قرار گرفت. فرضیه آماری آزمایش با استفاده از داده ها در جدول و توزیع t نشان داد که برای لوله های غیر منحرف مسن در شیرابه مصنوعی، اختلاف معنی داری در سطح اطمینان ۹۵٪ بین نمونه های گرفته شده از تاج و سر فنر آن وجود ندارد.

تست مشابه روی نمونه های لوله غیر منحرف و منحرف مسن هوا و نمونه های مسن در شیرابه انجام شد. آزمون فرضیه ها نشان داد که تفاوت معنی داری بین نمونه های گرفته شده از تاج و سر فنر در سطح ۹۵٪ معنی داری وجود ندارد.

برای نمونه های لوله های نازک، پانچ مشابه برای نمونه لوله های ضخیم برای گرفتن شش نمونه از تاج و شش نمونه از سر فنر از هر نمونه استفاده می شود. آزمون فرض آماری، با استفاده از t-توزیع، نشان داد که تفاوت معنی داری در سطح ۹۵٪ بین نمونه های گرفته شده در تاج و سر فنر برای لوله های نازک گرفته شده وجود ندارد.

۴.۲ . تست OIT با فشار بالا

این مهم است که اطمینان حاصل شود که درجه حرارت تست ۲۰۰ درجه از آزمون OIT استاندارد، آنتی اکسیدان های استفاده شده در فرمول HDPE را نابود نمی کند (Husan و Koerner 1998؛ Sangam و رو ۲۰۰۲). این کار را می توان با مقایسه اندازه گیری OIT استاندارد با مقادیر به دست آمده از آزمون OIT با فشار بالا (ASTM D 5885) انجام داد. تغییر خطی بین OIT استاندارد و OIT فشار بالا می تواند شواهدی را فراهم نماید که آمین ها یا thiosynergists (از انواع آنتی اکسیدان ها با حرارت مؤثر کمتر از ۲۰۰ درجه) در پلیمر (Husan و Koerner

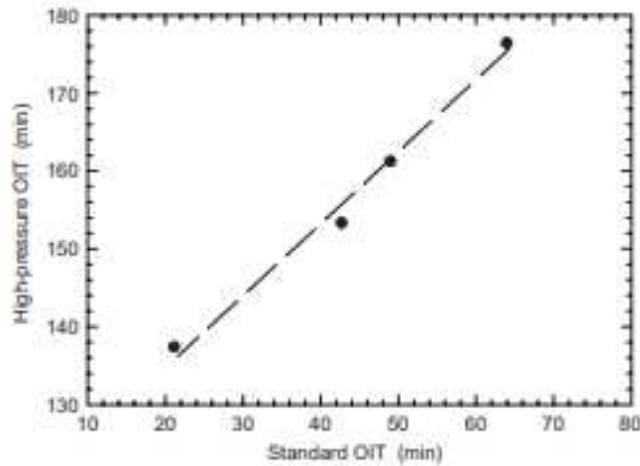
1998) حاضر نیست. اگر رابطه خطی باشد، آنتی اکسیدان های اصلی احتمالا از فسفات و فنلها (از انواع آنتی اکسیدان ها با درجه حرارت موثر به اندازه ۲۰۰درجه) (Husan و گوان ۱۹۹۷) تشکیل می شوند. شکل ۳ نمودار اندازه گیری های OIT استاندارد و OIT با فشار بالا گرفته شده از نمونه های بریده شده از تعدادی از نمونه های لوله های غیر منحرف مختلف برای زمان های مختلف در شیرابه در ۷۰درجه است. این ارتباط اساسا خطی است. این نشان می دهد که درجه حرارت تست ۲۰۰درجه برای آزمون OIT استاندارد قبل از موعد مقرر، تخریب آنتی اکسیدان ها را تسریع نمی کند، و در نتیجه استفاده از آزمون OIT استاندارد برای تعیین کمیت تخلیه آنتی اکسیدان منطقی است. برای باقی مانده این مقاله، مگر آنکه خلاف آن ذکر شده باشد، نتایج OIT از آزمون OIT استاندارد به دست آمده است.

Sample age	Crown			Springline		
	Mean OIT (min)	Standard deviation (min)	Number of data points	Mean OIT (min)	Standard deviation (min)	Number of data points
26 days	47.6	6.1	5	54.5	9.4	5
105 days	32.8	8.0	11	37.3	10.5	12
148 days	9.4	2.6	5	8.1	2.0	6

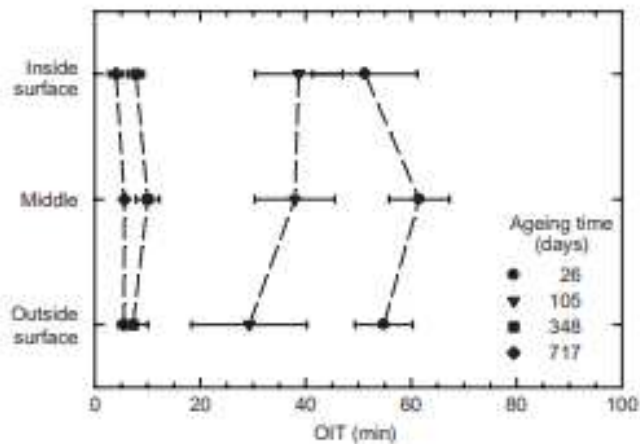
جدول ۶. مقادیر OIT اندازه گیری شده در تاج و سر فنری، مورد استفاده برای آزمون این فرضیه که OIT اندازه گیری شده در تاج و سر فنری یکسان هستند. مقادیر برای نمونه ها از لوله های غیر منحرف مسن در شیرابه مصنوعی در ۸۵درجه می باشند.

۴.۳. تغییرات ضخامت میانی OIT

تغییرات OIT از طریق ضخامت لوله با مقایسه نتایج حاصل از برش از داخل، سطح میانی و در خارج از دیواره لوله و همانطور که در شکل ۲ نشان داده است، مورد بررسی قرار گرفت .



شکل ۳. اندازه گیری OIT استاندارد و OIT فشار بالا برای نمونه لوله های غیر منحرف در شیرابه در ۷۰ درجه



شکل ۴. تنوع ضخامت میانی OIT برای نمونه لوله های غیر منحرف شیرابه در ۸۵ درجه

شکل ۴، نمودار OIT اندازه گیری شده برای نمونه در داخل، وسط و خارج از دیواره لوله، برش یافته از نمونه لوله های غیر منحرف مسن در شیرابه مصنوعی در ۸۵ درجه است. نتایج از نمونه ها در سن ۲۶ روز، ۱۰۵ روز، ۳۴۸ روز و ۷۱۷ روز در این شکل همراه با میله خطای نشان دهنده انحراف استاندارد اندازه گیری نشان داده شده است. شکل ۵ یک نمودار مشابه است، اما برای نمونه های بریده شده از یک نمونه لوله غیر منحرف مسن در شیرابه مصنوعی در ۷۰ درجه. از نظر بصری، از هر دو نمودار، به نظر می رسد که اندازه گیری های OIT تا حدودی از طریق ضخامت لوله تغییر می کند. در ۸۵ درجه، به طور کلی به نظر می رسد که آنتی اکسیدان ها در داخل و خارج از سطوح خالی

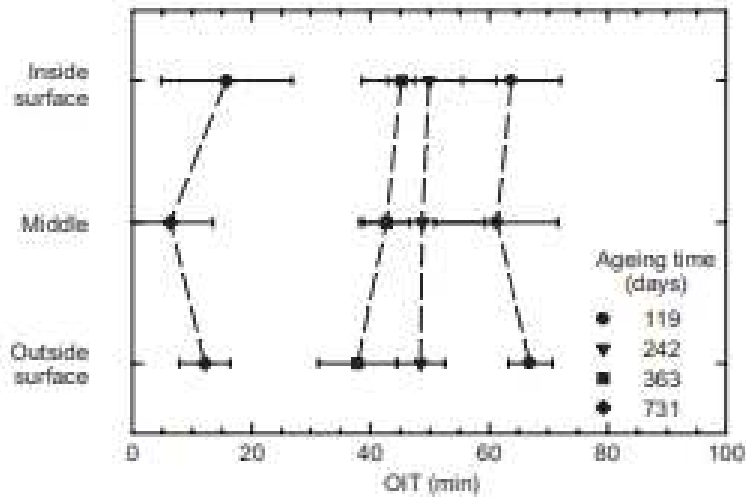
سریع تر از داخل لوله تخلیه می شوند. زمانی که لوله در معرض شیرابه در سطوح داخل و خارج قرار می گیرد، می توان فرض کرد که آنتی اکسیدان ها به دلیل بیشتر مواجهه شیرابه سریع تر تخلیه می شود. با این حال، این روند با نمونه های ۷۰درجه نشان داده شده در شکل ۵ آشکار نیست. همچنین با برش از نمونه مسن در ۴۰درجه و ۲۲درجه (Krushehnitzky 2006) قابل مشاهده نبود. آزمون فرض با استفاده از توزیع t نشان می دهد که تفاوت معنی داری در سطح اطمینان ۹۵٪ در OIT اندازه گیری شده در نمونه های جمع آوری شده در داخل، وسط و خارج از نمونه لوله های غیر منحرف مسن در شیرابه مصنوعی وجود ندارد. مقدار زیادی از تغییرات در اندازه گیری ها و نمونه با اندازه نسبتاً بزرگ OIT نسبت به ضخامت لوله برای عدم اختلاف ضخامت میانی از نظر آماری قابل توجه در نظر گرفته می شود. تغییرات در اندازه گیری ها می تواند نتیجه ممکن توزیع ناهمگن آنتی اکسیدان ها در HDPE به عنوان یک نتیجه از تولید باشد.

به طور مشابه، برای نمونه لوله های غیر منحرف مسن در هوا، نمونه لوله منحرف مسن در هوا و نمونه لوله مسن در شیرابه مصنوعی منحرف، تفاوت آماری معنی داری در سطح ۹۵٪ معنی دار بین نمونه های برش یافته از خارج، وسط و در داخل لوله وجود نداشت.

این لزوماً به این معنا نیست که هیچ تغییرات ضخامت میان در تخلیه آنتی اکسیدان وجود ندارد، بلکه، با توجه به اندازه نمونه گرفته شده برای تست OIT (با مقیاس در شکل ۲ نشان داده شده است)، هر گونه تغییر با روش تشخیص نیست. مقادیر گزارش شده از OIT در ادامه این مقاله نشان دهنده میانگین برای هر دو حلقه از تمام نمونه های نشان داده شده در شکل ۲ است.

۴.۴. تخلیه آنتی اکسیدان برای نمونه لوله های ضخیم

نمونه های لوله ضخیم دارای مقدار اولیه OIT ۸۶ دقیقه با انحراف معیار ۲,۵ دقیقه بود.



شکل ۵. تنوع ضخامت میانی OIT برای نمونه لوله غیر منحرف در شیرابه در ۷۰ درجه

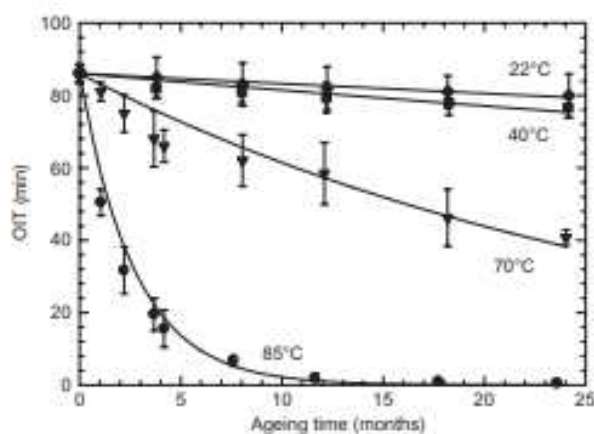
این مقدار از ۳۰ نمونه از پنج لوله غیرمسن (شش نمونه در هر لوله) برش یافته در محل نمونه نشان داده شده در شکل ۲ به دست آمد.

نمودارهای شکل ۶ و ۷ نشان دهنده اندازه گیری های OIT براس سری تست های انجام شده در هوا در نمونه لوله های غیرمنحرف (سری ۱ تا ۴) و منحرف (سری ۵ تا ۸) است. میانگین نتایج آزمون در ۲۲ درجه، ۴۰ درجه، ۷۰ درجه و ۸۵ درجه به عنوان داده های فردی در نمودارها نشان داده شده است، و انحراف استاندارد به صورت میله خطا نشان داده شده است. شکل ۸ یک نمودار مشابه برای سری (۹ تا ۱۲) آزمون ها در شیرابه بر روی نمونه های لوله غیرمنحرف انجام شده است، و شکل ۹ یک نمودار مشابه برای مجموعه (۱۳ تا ۱۶) آزمون ها در شیرابه بر روی نمونه های لوله های منحرف انجام شده است.

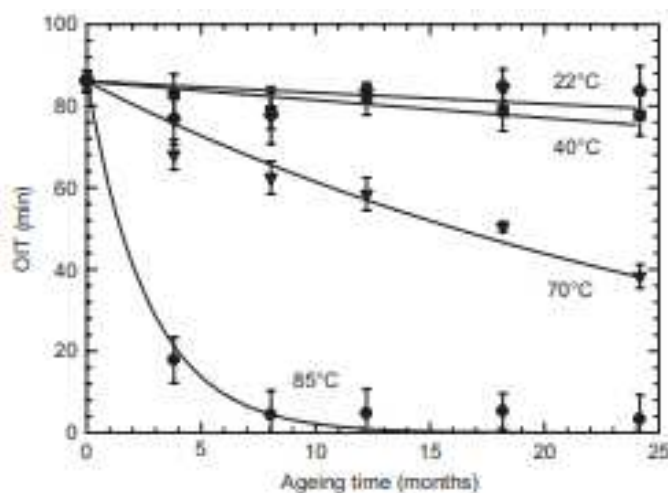
از شکل ۶-۹ مشاهده می شود که درجه حرارت بالاتر به نرخ های بیشتر تخلیه OIT منجر می شود و مواجهه شیرابه، تخلیه آنتی اکسیدان را نسبت به مواجهه هوا افزایش می دهد. برای لوله های مسن در هوا، بین لوله های منحرف و لوله های غیر منحرف، تفاوت معنی داری در OIT اندازه گیری، در سطح اطمینان ۹۵٪ با استفاده از t -توزیع وجود نداشت. با این حال، تفاوت بین مقدار اندازه گیری شده OIT در لوله های منحرف و لوله های غیر منحرف مسن در شیرابه در سطح اطمینان ۹۵٪ با استفاده از t -توزیع آماری، با لوله های غیر منحرف دارای مقدار

OIT پایین تر معنی دار بود. در مجموع، به نظر می رسد هیچ تفاوت قابل توجهی در تخلیه آنتی اکسیدان وجود ندارد آیا لوله با کاهش ۱۰٪ در حالت عمودی منحرف شده وجود دارد یا نه. آرامش استرس های لوله با زمان، هنگامی که تحت انحراف ثابت قرار می گیرد (Krushelnitzky و Brachman 2009) می تواند روی هر گونه کاهش استرس تاثیر می گذارد.

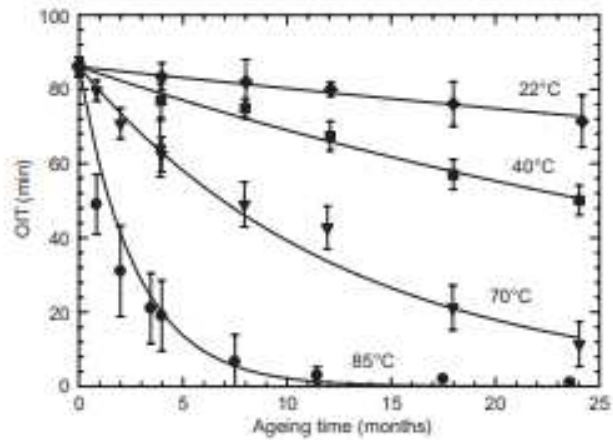
بهترین پارامترهای تناسب از رابطه ۱ با استفاده از روش حداقل مربعات برای شرایط دما و مواجهه مختلف در جدول ۷ ارائه شده است. سپس این پارامترها در معادله ۱ برای رسم منحنی نمایی بهترین نتیجه در شکل ۶-۹ مورد استفاده قرار گرفت.



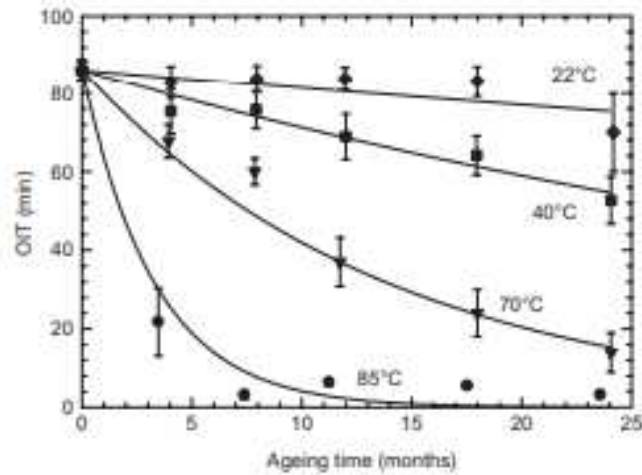
شکل ۶. OIT در برابر زمان برای لوله غیرمنحرف در هوا



شکل ۷. OIT در برابر زمان برای لوله منحرف در هوا



شکل ۸. OIT در برابر زمان برای لوله غیرمنحرف در شیرابه



شکل ۹. OIT در برابر زمان برای لوله منحرف در شیرابه

۴,۵. مدلسازی Arrhenius برای لوله های ضخیم

مدل Arrhenius می تواند برای پیش بینی نرخ تخلیه آنتی اکسیدان (Husan و Koerner 1998) استفاده شود.

معادله اساسی Arrhenius استفاده شده برای پیش بینی این کاهش عبارتست از

$$s = A \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (۲)$$

که در آن ها S ، میزان تخلیه آنتی اکسیدان (در واحد سطح) مورد استفاده در معادله ۱ است؛ A ، عامل برخورد است که وابسته به ماده و مواجهه است؛ E_a انرژی فعال سازی (J / مول)؛ R ثابت گاز (۸,۳۱۴ J / (مول K)) و T دمای مطلق (K) است.

بر اساس قانون اولین انتشار Fick، عامل برخوردی، تابعی از گرادیان غلظت، مساحت سطح نمونه ها و شرایط مرزی (استخراج یا نوسان) است که روی نمونه ها عمل می کند.

Exposure medium	Antioxidant depletion rate (1/month)				E_a (kJ/mol)
	22°C	40°C	70°C	85°C	
Air (non-deflected and deflected)	0.0033	0.0055	0.0337	0.3676	61.9
Synthetic leachate (non-deflected)	0.007	0.0221	0.0785	0.3677	51.5

جدول ۷. نرخ های تخلیه آنتی اکسیدان ها و انرژی های فعالسازی

فرض می شود که معادله Arrhenius بالا، بیان کننده تخلیه آنتی اکسیدان ها به عنوان نتیجه انتشار آنتی اکسیدان ها و مصرف آنتی اکسیدان ها از واکنش ها با اکسیژن و دیگر فلزهای گذرا در شیرابه است. برای شرایط مواجهه هوا و شیرابه، میزان تخلیه آنتی اکسیدان در دمای داده شده از نظر تجربی تعیین می شود و می تواند در جدول ۷ یافت شود. در دو شرایط مواجهه، مقادیر E_a را می توانید از نمودار LN (ها) در برابر $1/T$ به دست آورید که در آن شیب خط E_a / R است. شکل ۱۰، نمودار Arrhenius برای لوله مسن در هوا و لوله غیرمنحرف مسن در شیرابه، همراه با حداقل معادلات بهترین تناسب مربعات مربوطه است که از تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی به دست آمده است. انرژی های فعال سازی برای دو شرط مواجهه در جدول ۷ ارائه شده است. از آنجا که تفاوت ها بین نمونه های منحرف و غیر منحرف در شیرابه زمانی که به صورت یک نمودار Arrhenius (تفاوت در انرژی های فعال سازی حساب کاربری ۹,۵٪) رسم شده است، بسیار کوچک بود، تنها داده های غیر منحرف ارائه شده است.

انرژی فعال سازی برای نمونه لوله های غیر منحرف مسن در شیرابه مصنوعی ۵۱,۵ کیلوژول / مول، و ۶۱,۹ کیلوژول / مول برای نمونه لوله مسن در هوا است. این امکان وجود دارد که تفاوت در انرژی فعال سازی یک تابع از تفاوت در

مصرف آنتی اکسیدان های اکسیژن (در هوا)، اکسیژن محلول (در شیرابه) و فلزات واسطه (در شیرابه) باشد. با این حال، با توجه به تنوع زیادی در داده های هوا، ممکن است که اختلاف آماری بین انرژی فعال سازی در هوا و شیرابه وجود داشته باشد. اگر این مورد وجود داشته باشد، بنابراین تفاوت عمده بین این دو شرایط مواجهه (عامل برخورد) تقاطعی است که تابعی از شیب غلظت، منطقه در معرض، و شرایط مرزی (استخراج یا نوسان) است. توجه به این که این عوامل در دو شرایط مواجهه متفاوت هستند، تفاوت در عوامل برخورد، نه انرژی فعال سازی، ممکن است علت نرخ افزایش تخلیه آنتی اکسیدان در شیرابه مصنوعی باشد.

شکل ۱۰ نشان می دهد که نمونه های لوله در معرض شیرابه مصنوعی دارای نرخ بالاتر تخلیه آنتی اکسیدان نسبت به هوا برای هر درجه حرارت داده شده هستند. تصور می شود که این تا حدی نتیجه فلزات واسطه و Igepal در شیرابه مصنوعی تسریع کننده تخلیه آنتی اکسیدان در نمونه های HDPE باشد. Igepal نیز می تواند روی شرایط مرزی عمل کننده در لوله تاثیر بگذارد که نتیجه آن، افزایش ترشوندگی و از این رو حل آنتی اکسیدان بیشتر و سریع تر از سطح و در نتیجه یک شیب بالای غلظت آنتی اکسیدان بین سطح لوله و هسته لوله، و استخراج سریع تر (Sangam و Rowe ۲۰۰۲) است. این مکانیزم سازگار با نفوذ و نظری مدل سازی پارتیشن بندی سطح تخلیه OIT از ژئوممبران HDPE توسط Rimal و Rowe (۲۰۰۹) است. تفاوت ها در نرخ تخلیه OIT می تواند از تفاوت در شیب غلظت آنتی اکسیدان ها در محیط های مختلف ایجاد شود که نتیجه آن، نرخ های مختلف انتشار آنتی اکسیدان ها است. در هوا، فرض می شود که زمانی که آنتی اکسیدان ها به خارج از لوله منتشر می شوند، آنها توسط جریان هوا در فر برده می شوند و در نتیجه هیچ تغییری در شیب غلظت به وجود نمی آید. در شیرابه، فرض می شود که شیب غلظت ممکن است با گذشت زمان کاهش یابد زمانی که آنتی اکسیدان های منتشر شده در کنار لوله با انتشار به خارج از لوله ساخته می شوند. همانطور که قبلا بحث شد، این مایع تلاش حفظ شیب غلظت به اندازه کافی بزرگ تغییر می یابد. سرعت بیشتر تخلیه آنتی اکسیدان در شیرابه مصنوعی می تواند به مکانیزم استخراج نسبت داده شود که در مایعات رخ می دهد، نه در هوا. ممکن است این مکانیزم استخراج منجر به انتشار سریعتر از آنتی اکسیدان ها نسبت به مکانیزم تبخیر شود. همچنین ممکن است که مناطق مواجهه لوله، مسئول برخی از این

تفاوت ها باشد. لوله های غیر منحرف در معرض هوا ایستاده در انتهاهای خود ذخیره می شوند که نتیجه آن، یک منطقه کوچکتر سطح موجود برای انتشار آنتی اکسیدان ها است. با این حال، نمونه های منحرف قرار گرفته در معرض هوا در انتها ذخیره نمی شوند و از نظر آماری اختلاف معنی داری بین نمونه های منحرف و غیرمنحرف در معرض هوا وجود ندارد. بنابراین تفاوت در این منطقه مواجهه احتمالا در مقایسه با گرادیان غلظت، مصرف و شرایط مرزی (استخراج یا تبخیر) کوچک است. با توجه به تنوع موجود در داده ها، صحبت در مورد مکانیزم دقیق مسئول این تفاوت ها دشوار است، اما می توان نتیجه گرفت که شیرابه به نرخ سریعتر از تخلیه آنتی اکسیدان از مواجهه هوا منجر می شود.

۴,۶. تخلیه آنتی اکسیدان برای لوله های نازک

شکل ۱۱، نمودار OIT اندازه گیری شده در طول زمان در نمونه لوله نازک مسن در شیرابه مصنوعی، همراه با خط نمایی بهترین تناسب است. پارامترهای بهترین تناسب از طریق استفاده از رگرسیون خطی حداقل مربعات در طرح لگاریتم طبیعی از OIT در برابر زمان به دست آمد. سپس این پارامترها در معادله ۱ برای رسم بهترین منحنی نمایی و تناسب مورد استفاده قرار گرفت. از بهترین خط برازش، میزان تخلیه آنتی اکسیدان در لوله های نازک، $1/4 \times 10^{-9.3}$ / ماه است. این میزان کاهش را می توان با همین مقدار برای لوله های ضخیم غیر منحرف مسن در شیرابه در ۸۵ درجه، که $1/0.3677 \text{ month}$ است، مقایسه نمود. میزان افت در لوله نازک به طور قابل توجهی متفاوت از میزان تخلیه لوله ضخیم در سطح ۹۵٪ معنی دار با استفاده از توزیع t است. این نشان می دهد که ضخامت لوله بر میزان تخلیه آنتی اکسیدان در مواد لوله تاثیر می گذارد. به نظر می رسد لوله های ضخیم تر نرخ کندتری از تخلیه آنتی اکسیدان از لوله های نازک و نازک تر دارند زمانی که در معرض شیرابه مصنوعی در ۸۵ درجه قرار گیرند. فرض بر این است که این تفاوت به این دلیل است که لوله های ضخیم تر دارای فاصله انتشار طویل تری برای انتشار آنتی اکسیدان، و در نتیجه نرخ استهلاک پایین تر هستند.

۴,۷. خواص دیگر

دیگر خواص اندازه گیری در طول زمان شامل شاخص جریان مذاب، تبلور و خواص مکانیکی می شود. جدول ۲ این مقادیر را برای نمونه لوله مسن بدون تغییر شکل در شیرابه مصنوعی در ۸۵ درجه نشان می دهد. Krushelnitzky (2006) نشان داد که این خصوصیات در هر شیوه آماری معنی دار در طول دوره آزمون دو ساله که نشان می دهد که تنها در مرحله اول تخریب (به عنوان مثال تخلیه آنتی اکسیدان) رخ داده است تغییر نمی کنند.

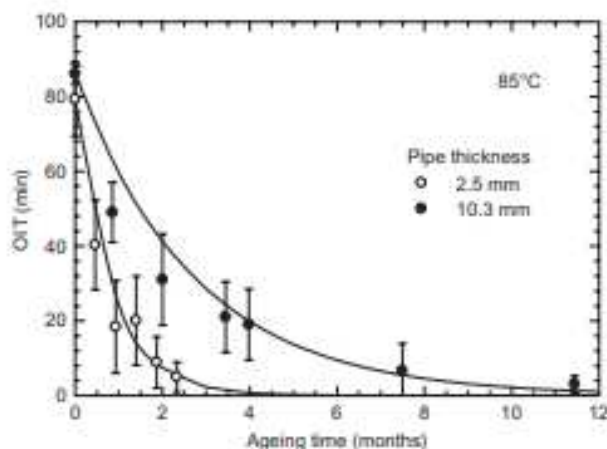
۵. بحث

زمان مورد نیاز برای مصرف آنتی اکسیدان ها را می توان با استفاده از نتایج تجزیه OIT به دست آمده از آزمایش های ارائه شده در این مقاله، محاسبه نمود. اگر فرض بر این باشد که یک مقدار OIT از ۰,۵ دقیقه نشان می دهد که تمام آنتی اکسیدان ها از پلیمر تخلیه شده است، بنابراین معادله (۱) را می توان برای تعیین زمان، t ، مورد نیاز برای یک مقدار OIT نهایی ۰,۵ دقیقه برای شرایط مواجهه مختلف استفاده نمود. مقدار اولیه OIT برای لوله های شناخته شده است (۸۶ دقیقه) و سرعت تخریب آنتی اکسیدان ها را می توان با استفاده از معادله ۲ و نمودار Arrhenius در شکل ۱۰ برای مواجهه با هوا و یا شیرابه در دماهای دلخواه به دست آورد.

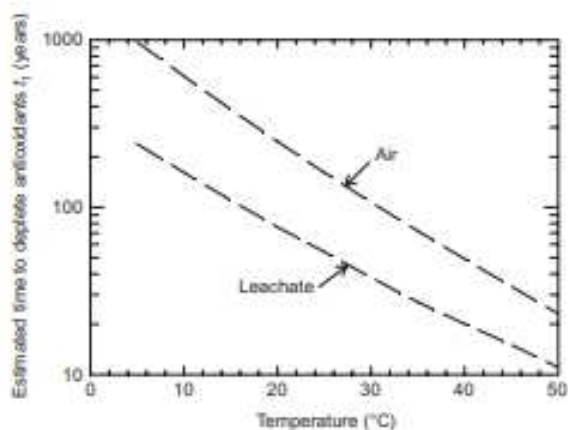
برآوردهای تخلیه آنتی اکسیدان برای مواجهه با هوا و شیرابه و ترکیبی از مواجهه هوا و شیرابه در درجه حرارت های مختلف از ۵ درجه به ۵۰ درجه محاسبه شده و در شکل ۱۲ رسم شده است. برای محاسبه مواجهه شیرابه، انرژی فعال سازی برای لوله های غیر منحرف در معرض شیرابه برای محاسبات مورد استفاده قرار گرفت، همانطور که لوله های غیر منحرف دارای سریع ترین میزان تخلیه آنتی اکسیدان در شیرابه مصنوعی بودند. محدوده بالای درجه حرارت مربوط به درجه حرارت که در محل های دفن زباله های شهری زباله های جامد، که معمولاً تا ۳۰ - ۴۰ درجه، اما به طور بالقوه ممکن است به عنوان بالا به عنوان ۵۰ - ۶۰ درجه (Rowe ۲۰۰۵؛ Koerner و Koerner 2006). شکل ۱۲ نشان می دهد، در ۵۰ درجه، پیش بینی شده است که آنتی اکسیدان ها پس از ۱۰ سال زمانی که در معرض هوا قرار گیرند و پس از ۲۰ سال زمانی که در معرض شیرابه قرار گیرند تخلیه خواهند شد. محدوده پایین تر از ۵ درجه مربوط به متوسط ممکن درجه حرارت آب های زیرزمینی در مناطق با متوسط درجه حرارت محلی از ۸ - ۱۰ درجه (Rowe ۲۰۰۵) می باشد. شکل ۱۲ نشان می دهد که در ۵ درجه، پیش بینی شده است که آنتی اکسیدان ها پس

از بیش از ۲۴۰ سال زمانی که در معرض شیرابه رقیق قرار گیرند و پس از ۹۷۰ سال زمانی که در معرض هوا قرار گیرند تخلیه می شوند.

بدیهی است، دمای بالا تاثیر قابل توجهی بر روی زمان تخلیه آنتی اکسیدان لوله ها می گذارد. به نظر می رسد که اگر درجه حرارت برای مدت زمان طولانی (به عنوان مثال برای یک سیستم جمع آوری شیرابه مسدود شده، یا احتمالاً جایی که در آن دفن زباله به عنوان یک راکتور با جریان خون شیرابه عمل می کند)، زمان تخلیه آنتی اکسیدان ممکن است در حدود دو دهه باشد و باید به ارزیابی دو مرحله بعدی عمر لوله در خدمات توجه شود (به عنوان مثال زمان القای تخریب پلیمر و هم خواص مهندسی مورد علاقه به حدی که آنها دیگر عملکرد خود را انجام نمی دهند).



شکل ۱۱. OIT با هم برای لوله های غیر منحرف نازک و ضخیم در شیرابه در ۸۵ درجه



شکل ۱۲. برآورد زمان برای تخلیه آنتی اکسیدان ها برای لوله های HDPE خاص مورد آزمایش قرار گرفته

تصور می شود پیش بینی تخلیه آنتی اکسیدان تنها برای لوله در معرض شیرابه مصنوعی تا حدودی به دلیل تعدادی از محدودیت ها در طرح آزمایشی محافظه کارانه باشد. پیش بینی های عمر خدمات برای شیرابه مصنوعی لوله به طور کامل در شیرابه فرض می کند که تمام قدرت برای عمر آن قرار دارد. در واقع لوله هایی که با شن احاطه شده اند سطحی را محدود می کند که در تماس با شیرابه قرار دارد. همچنین، در میدان، این لوله ها ممکن است خشک (بسته به نوع بهره برداری از سیستم جمع آوری شیرابه) شوند، به طوری که برخی از فضاهای ممکن است در داخل لوله در تماس با اتمسفر وجود داشته باشد.

اگر فرض بر این باشد که لوله به یک اندازه در مواجهه با شیرابه و هوا قرار گیرد، برآورد طول عمر لوله را می توان با در نظر گرفتن متوسط هوا و عمر خدمات شیرابه به دست آورد. این پیش بینی زمان تخلیه آنتی اکسیدان در حدود ۲۴۰ سال در ۵درجه، کاهش حدود ۲۰ سال در ۵۰درجه را فراهم می کند. انتظار می رود که این مقادیر در نرخ تخلیه آنتی اکسیدان دست کم گرفته شود، از آنجایی که آنها در اثر تماس با ذرات خاک سطح کاهش می یابد لوله، و فرض کنیم که فضای داخل یک لوله جمع آوری شیرابه محل دفن زباله شامل اکسیژن می شود، در حالی که در واقعیت به احتمال زیاد بی هوازی است، که در سرعت کندتر از اکسیداسیون در هوا اندازه گیری می شود. علاوه بر این، این پیش بینی های عمر خدمات برای لوله فرض می کند که شیرابه در طول زمان قدرت را کاهش نمی دهد، بلکه قدرت شیرابه در این میدان به احتمال زیاد با هم (Rowe و همکاران ۲۰۰۴) کاهش می یابد، که می تواند به عمر خدمات پیش بینی شده را طولانی تر نشان دهد.

۶. نتیجه گیری

نرخ تخلیه آنتی اکسیدان برای نمونه ها با چگالی زیاد از لوله های پلی اتیلن خاص به دست آمده است، زمانی که در معرض هوا و شیرابه شهری زباله های مصنوعی قرار دارد. شیرابه مصنوعی عمدتاً شامل آب با فلزات کم و سطحی، برای رسیدن به شرایط فاقد اکسیژن و دارای pH برابر ۶ است. زمان القا اکسیداتیو (OIT) در نمونه های لوله که در دمای ۲۲درجه، 40درجه، 70درجه و ۸۵درجه اندازه گیری شد برای تعیین کمیت تخلیه آنتی اکسیدان با هم

همسرن بودند. مقدار OIT برای نمونه گرفته شده در سراسر لوله ضخیم به دست آمد. اندازه این نمونه ها بیش از حد بزرگ می شود تا توانایی برای تشخیص تجربی تغییر ضخامت میانی در OIT به دست بیاید، اما برای ارائه یک مقدار OIT نماینده در تمام ضخامت دیواره نیز انتخاب می شود.

برای لوله های خاص، فرمول و شرایط مورد بررسی آنتی اکسیدان، نتایج زیر حاصل می گردد

• آنتی اکسیدان ها می تواند حتی سریع تر تحت شرایط کاهش یافته نسبت (به عنوان مثال کمبود اکسیژن) به هوا تخلیه شوند، زمانی که در شیرابه های مصنوعی خاص مورد آزمایش قرار گرفته غوطه ور شوند. این نشان می دهد که تخریب اکسیداتیو لوله های جمع آوری شیرابه HDPE در محل های دفن زباله هنوز هم ممکن است حتی در محیط هایی که در آن اکسیژن محدود است قابل توجه باشد.

• پس از پیری نمونه های لوله به مدت ۲ سال در درجه حرارت حدود ۸۵ درجه، تنها اولین مرحله از تخریب، بر اساس هیچ تغییر معنی داری در شاخص جریان مذاب، تبلور و یا مدول خمشی لوله مشاهده شد.

• از عوامل مورد بررسی، میزان تخلیه آنتی اکسیدان بیشتر از درجه حرارت افزایش، با تخلیه بسیار سریع تر در درجه حرارت بالاتر تحت تاثیر قرار می گیرد.

• تخلیه آنتی اکسیدان در شیرابه مصنوعی سریعتر بود و نه در هوا. این مورد مطابق با مطالعات قبلی بود که نشان داد که مواد سطحی در شیرابه منجر به پارتیشن بندی آنتی اکسیدان کمتر در رابط بین لوله و محیط اطراف، و از این رو منجر به تخلیه آنتی اکسیدان سریع تر می شوند.

• تخلیه آنتی اکسیدان برای لوله های نازک مورد بررسی نسبت به یک لوله قطور بسیار سریعتر بود. این مورد مطابق با مطالعات قبلی بود که نشان داد که تخلیه آنتی اکسیدان ها با نفوذ به سمت بیرون صورت می گیرد: از این رو لوله نازک، مسیر نفوذ کوتاه تر و تخلیه سریع تر آنتی اکسیدان را موجب می شود.

• تفاوت معنی داری در تخلیه آنتی اکسیدان وجود داشت که آیا لوله با کاهش ۱۰٪ در قطر لوله عمودی خارج منحرف می شود یا نمی شود

• پیش بینی های زمان برای تخلیه آنتی اکسیدان ها از برون یابی Arrhenius از اطلاعات گزارش شده نشان می دهد که تخلیه آنتی اکسیدان ها ممکن است از زمان ۶۰۰ سال در ۱۰ درجه به کمتر از ۲۰ سال در ۵۰ درجه برسد زمانی که در معرض هوا قرار می گیرد، و ممکن است تا ۱۶۰ سال در ۱۰ درجه و یا ۱۰ سال در ۵۰ درجه کاهش یابد اگر در معرض شیرابه مصنوعی قرار گرفته باشد.

تقدیرنامه ها

این تحقیقات توسط علوم طبیعی و تحقیقات مهندسی شورای کانادا (NSERC) تامین شده بود. حمایت اضافی از طریق کمک هزینه تحصیلی از بنیاد NSERC، Teagle، و دولت انتاریو RP Krushelnitzky ارائه شد. نمونه لوله های KWH لوله کانادا ارائه شد.

یادداشتی

یکاهای پایه SI در پرانتز داده شده است.

A عامل برخورد، در معادله Arrhenius (۱ / s)

Ea انرژی فعال سازی (J / مول)

Eh پتانسیل الکتریکی (V)

OIT زمان القای اکسیداتیو (s)

OITt مقدار OIT در زمان t (s)

R ثابت گازها (J / (مول K))

OIT میزان تخریب ها (1 / s)

T دمای (K)

t زمان (s)

TS عمر نمونه لوله (s)

T1 مرحله 1 طول عمر (S)

T2 مرحله 2 طول عمر (S)

T3 مرحله 3 طول عمر (S)

REFERENCES

- ASTM D 1238. *Standard Test Method for Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer*, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 2412. *Standard Test Method for Determination of External Loading Characteristics of Plastic Pipe by Parallel-Plate Loading*, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 3350. *Standard Specification for Polyethylene Plastics Pipe and Fittings Materials*, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 3895. *Standard Test Method for Oxidative Induction Time of Polyolefins by Differential Scanning Calorimetry*, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 5885. *Standard Test Method for Oxidative Induction Time of Polyolefin Geosynthetics by High-Pressure Differential Scanning Calorimetry*, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM E 794. *Standard Test Method for Melting and Crystallization Temperatures by Thermal Analysis*, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM F 714. *Standard Specification for Polyethylene (PE) Plastic Pipe (SDR-PR) Based on Outside Diameter*, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Bandyopadhyay, P. K., Shaw, M. T. & Weiss, R. A. (1985). Detection and analysis of aging and degradation of polyolefins: a review of methodologies. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, **24**, No. 2/3, 187–241.
- Gedde, U. W. & Ifwarson, M. (1990). Molecular structure and morphology of crosslinked polyethylene in an aged hot-water pipe. *Polymer Engineering and Science*, **30**, No. 4, 202–210.
- Gill, T. S., Knapp, R. J., Bradley, S. W. & Bradley, W. L. (1999). Long term durability of crosslinked polyethylene tubing used in chlorinated hot water systems. *Plastics, Rubber and Composites*, **28**, No. 6, 309–313.
- Gulec, S. B., Edil, T. B. & Benson, C. H. (2004). Effect of acidic mine drainage on the polymer properties of an HDPE geomembrane. *Geosynthetics International*, **11**, No. 2, 60–72.
- Hsuan, Y. G. & Guan, Z. (1997). Evaluation of the oxidation behavior of polyethylene geomembranes using oxidative induction time tests. *Oxidative Behavior of Materials by Thermal Analytical Techniques*, ASTM STP 1326, Riga, A. T. & Patterson, G. H., Editors, ASTM, Philadelphia, PA, pp. 76–90.
- Hsuan, Y. G. & Koerner, R. M. (1995). *Long Term Durability of HPDE geomembrane. Part I. Depletion of Antioxidant*, GRI Report 16, Geosynthetic Institute, Folsom, PA, USA.
- Hsuan, Y. G. & Koerner, R. M. (1998). Antioxidant depletion lifetime in high-density polyethylene geomembranes. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **12**, No. 6, 532–541.
- Janson, L. (1996). *Plastics Pipes: How Long Can They Last?* Report No. 4, Kontrollradet for Plastiror Council (Swedish Council for Quality Control of Plastics Pipes), Stockholm, Sweden.
- Jeon, H. Y., Bouazza, A. & Lee, K. Y. (2008). Depletion of antioxidants from an HPDE geomembrane upon exposure to acidic and alkaline solutions. *Polymer Testing*, **27**, No. 4, 434–440.
- Karlsson, K., Smith, G. D. & Gedde, U. W. (1992). Molecular structure, morphology and antioxidant consumption in medium density polyethylene pipes in hot-water applications. *Polymer Engineering and Science*, **32**, No. 10, 649–657.
- Karlsson, K., Eriksson, P.-A., Hedenqvist, M., Ifwarson, M., Smith, G. D. & Gedde, U. W. (1993). Molecular structure, morphology, and antioxidant consumption in polybutene-1 pipes in hot-water applications. *Polymer Engineering and Science*, **33**, No. 5, 303–310.
- Kelen, T. (1983). *Polymer Degradation*, Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
- Koerner, G. R. & Koerner, R. M. (2006). Long-term temperature monitoring of geomembranes at dry and wet landfills. *Geotextiles and Geomembranes*, **24**, No. 1, 72–77.
- Kruselnitzky, R. P. (2006). *Investigation of Physical, Temperature and Chemical Effects of the Short Term and Long Term Performance of High Density Polyethylene Pipe*, PhD thesis, Department of Civil Engineering, Queen's University, Kingston, Canada.
- Kruselnitzky, R. P. & Brachman, R. W. I. (2009). Measured deformations and calculated stresses of high-density polyethylene pipes under very deep burial. *Canadian Geotechnical Journal*, **46**, No. 6, 650–664.
- Lanton, J. (1986). Physical loss of stabilizers from polymers. *Developments in Polymer Stabilization 2*, G. Scott, Editor, Applied Science Publishers, London, UK, pp. 183–240.
- Moser, A. P. (1981). Strain as a design basis for PVC pipes. *Proceedings of the International Conference on Buried Plastic Pipes*, ASCE, New York, NY, pp. 89–103.
- Mruk, S. A. (1990). The durability of polyethylene piping. *Buried Plastic Pipe Technology*, ASTM STP 1093, Buczala, G. S. & Cassidy, M. J., Editors, ASCE, pp. 21–39.
- Pohlman, F. G. & Harper, S. R. (1986). *Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production from Landfills*, EPA/600/2–86/073, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- Rapoport, N. Y. & Zaikov, G. E. (1986). Kinetics and mechanism of the oxidation of stressed polymer. *Developments in Polymer Stabilization 4*, Scott, G. E., Editor, Applied Science Publishers, London, UK, pp. 207–258.
- Rimal, S. & Rowe, R. K. (2009). Diffusion modelling of OIT depletion from HPDE geomembrane in landfill applications. *Geosynthetics International*, **16**, No. 3, 183–196.
- Rowe, R. K. (2005). Long-term performance of contaminant barrier systems. *Geotechnique*, **55**, No. 9, 631–678.
- Rowe, R. K., Quigley, R. M., Brachman, R. W. I. & Booker, J. R. (2004). *Barrier Systems for Waste Disposal Facilities*, Spon Press, London.
- Rowe, R. K., Islam, M. Z. & Hsuan, Y. G. (2008). Leachate chemical composition effects on OIT depletion in HPDE geomembranes. *Geosynthetics International*, **15**, No. 2, 136–157.
- Rowe, R. K., Rimal, S. & Sangam, H. (2009). Ageing of HPDE geomembrane exposed to air, water and leachate at different temperatures. *Geotextiles and Geomembranes*, **27**, No. 2, 137–151.
- Rowe, R. K., Islam, M. Z., Brachman, R. W. I. & Arneppalli, D. N. (2010). Antioxidant depletion from an HPDE geomembrane under simulated landfill conditions. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **136**, No. 7, 930–939.
- Sangam, H. P. & Rowe, R. K. (2002). Effects of exposure conditions on the depletion of antioxidants from high-density polyethylene (HPDE) geomembranes. *Canadian Geotechnical Journal*, **39**, No. 6, 1223–1230.
- Smith, G. D., Karlsson, K. & Gedde, U. W. (1992). Modeling of antioxidant loss from polyolefins in hot-water applications. I: Model and application to medium density polyethylene pipes. *Polymer Engineering and Science*, **32**, No. 10, 658–667.
- van Langenhove, L. (1990). Conclusions of extensive BRITE research programme on ageing. *Proceedings of the 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, The Hague, The Netherlands, pp. 403–706.
- Viehke, J. & Gedde, U. W. (1997). Antioxidant diffusion in polyethylene hot-water pipes. *Polymer Engineering and Science*, **37**, No. 5, 896–911.
- Viehke, J. & Gedde, U. W. (1998). Assessment of lifetime of hot-water polyethylene pipes based on oxygen induction time data. *Polymer Engineering and Science*, **38**, No. 8, 1244–1250.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی