

# نشر اترهای دی فنیل پلی برامینیتید (PBDEs) در استفاده وسایل الکترونیکی و الکتریکی و بازیافت پسماندهای الکترونیکی در کشور کره

## چکیده

در این مطالعه مقادیر نشر اترهای دی فنیل پلی برامینیتید از محصولات الکتریکی/الکترونیکی موقع استفاده و دفع شان محاسبه شد. پسماندهای الکترونیکی شامل تلوزیونها و یخچالها در مراکز بازیافت نیز مورد بررسی قرار گرفته و میزان نشر در آنها محاسبه شد. چگالیهای میانگین PBDE ها در پوشش پشت تلوزیون های تولیدی قبل و بعد سال 2000 بترتیب مقدار 145027 و 14049 میلی گرم بر کیلوگرم بود. چگالی PBDE ها در پوشش جلوی تلوزیونها کمتر از چگالی آنها در پوشش پشت تلوزیونها بود. چگالی در اجزای نمونه های یخچال از ND تا 445 میلی گرم بر کیلوگرم متغیر بود. نشر سالانه ی حاصل از پوشش های پشت تلوزیونهای تولیدی قبل از سال 2000 تقریبا 162.1 کیلوگرم و بعد از سال 2000 مقدار 18.7 کیلوگرم بود. یخچالها پایینترین مقدار سالانه ی نشر را داشتند. بیشترین چگالی 16.86 ng بر متر مکعب بود که از تلوزیونها در زمان ساخت نشر یافته بود. چگالی PBDE ها در پروسه ی تولید پلاستیک 2.05 تا 5.43 ng بر متر مکعب بود.

## 1. مقدمه

در ترکیب اکثر پلاستیک های مورد استفاده در تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی نظیر تلوزیون، ماشین لباسشویی و یخچالها انواع بازدارنده های اشتعال وجود دارد. بازدارنده های اشتعال به لحاظ فیزیکی و شیمیایی موادی مشتق هستند که حاوی اجزایی آلی از قبیل کربن، هیدروژن و اکسیژن هستند. مولکولهای اتر دی فنیل حاوی ده اتم هیدروژن هستند. استفاده از بازدارنده های اشتعال برومینیتید بدترین تاثیرات را بر محیط زیست میگذارد. از این جهت بود که اتحادیه اروپا تصمیم گرفت تولید و استفاده ی penta-BDE و octa-BDE را ممنوع کند. تولید و استفاده ی این دو BDE در دهه ی 1990 در سراسر جهان ممنوع شد. طبق قوانین اتحادیه ی اروپا استفاده ی از PBDE ها بعلت تاثیرات مضر آنها بر سلامتی انسان و محیط زیست قدغن شد. تا سال

2006 در مجموعه ی وسیعی از محصولات ساخت جمهوری کره نظیر کامپیوترها، تلوزیونها و خودروها از بازدارنده های اشتعال برامینیتید استفاده میشود.

وزارت محیط زیست کره نشر برخی از deca-BDE ها را فقط در طول مدت ساخت محاسبه کرد. داده های مربوط به نشر PBDE ها در اتمسفر در کشور کره خیلی محدود است. درحالیکه ژاپن داده های مربوط به نشر PBDE ها در طول عمر محصولات حاوی PBDE ها را از زمان تولید تا دفع ارائه کرده است. در تحقیق پیش رو تلوزیونها و ماشین های لباسشویی وسایل خانگی هستند که مورد بررسی قرار گرفته و مشخصات PBDE ها در آنها ارائه میشود. چگالی های اتمسفری نیز در مدت پروسه ی بازیافت پسماندهای الکترونیکی اندازه گیری شده و برای محاسبه ی فاکتورهای نشر استفاده شد.

## 2. مواد و روشها

### 2.1 جمع آوری و آماده کردن نمونه ها

پوشش جلو و عقب تلوزیونها در مقایسه با دیگر قسمتهای آن حاوی درصد بیشتری از بازدارنده های اشتعال بخصوص PBDE ها است. تلوزیونهای شکسته ی تولید اوایل دهه ی 1980 و اواسط دهه ی 2000 از مرکز بازیافت جمع آوری شدند.

فقط وسایل خانگی در مراکز بازیافت محلی بازیافت میشوند. در کره هفت مرکز بازیافت وجود دارد. وزن تلوزیونها، یخچالها، ماشینهای لباسشویی، و دستگاہهای تهویه ی هوا که از این مراکز بازیافت جمع آوری شد تقریباً  $15 \times 10^3$  و  $45.4 \times 10^3$  و  $23.6 \times 10^3$  تن بود.

نمونه های هوا از محلهایی نظیر تولید، جداسازی پلاستیک و حیاط هوای باز گرفته شد. نمونه ها طی دوره ی زمانی 48 ساعتی گرفته شدند.

### 2.2 تجزیه و تحلیل

نمونه های پلاستیک انتخاب شده برای تجزیه و تحلیل اندازه هایی در حدود 5 میلی متر در 5 میلی متر داشتند. آنالیز ابزاری بر نمونه انجام گرفت.

تجزیه و تحلیل نمونه های اتمسفری با روش EPA صورت پذیرفت و روش استاندارد اداری برای تست POP ها در کره بکار گرفته شد. طی پروسه ی عصاره گیری نمونه های گازی و ذره ای حاصل شدند. بعد از افزایش میزان

عصاره تا 2 میلی لیتر با محلولهای سولفات و n-هگزان شسته شد. مقدار نهایی محلول خشک شده با استفاده از سیلیکا ژل چند لایه تلخیص شد.

### 2.3 کنترل کیفی

decachlorobiphenyl حاصله ی PBDE های موجود در وسایل الکتریکی و الکترونیکی از 92 درصد تا 105 درصد بود.

### 2.4 محاسبه ی نشرها

در خیلی از موارد فاکتورهای نشر استفاده شده در مطالعات قبلی مبتنی بر تخصص و آزمایشات بود. فاکتورهای نشر بر اساس مطالعات میدانی نبود چراکه این مطالعات همیشه اطلاعات کافی جهت حصول فاکتور نشر فراهم نمیکند. در این مطالعه دو روش برای محاسبه ی نشر PBDE ها از وسایل الکتریکی و الکترونیکی و در بازیافت پسماندهای الکتریکی استفاده شد.

در وهله ی اول برای محاسبه ی نشر طی استفاده ی وسایل خانگی فشار بخار PBDE ها مدنظر واقع شد. برای برآورد نشر در بازیافت پسماندهای الکترونیکی فاکتور نشر را محاسبه کردیم. فاکتورهای نشر را با استفاده از چگالی PBDE اندازه گیری شده از پروسه ی بازیافت بدست آوردیم.

### 3. نتایج و بحث

چگالی PBDE های موجود در پوشش پشت تلوزیون ها بعد از سال 2000 بطور قابل توجهی کاهش داشت. اتحادیه ی اروپا و کشورهای زیادی استفاده ی penta-BDE و octa-BDE و deca-BDE را در اوایل سال 2004 محدود و قدغن کردند. تحت اثر مقررات بین المللی چگالی PBDE ها در محصولات تولید شده در اوایل دهه ی 2000 پایین بود. در سال 1989 تولید کننده ها در آلمان و هلند بطور داوطلبانه شروع به محدود کردن استفاده ی PBDE ها کردند. فعالیتهای و اقداماتی از این نوع در سطح جهان بر استفاده ی از PBDE ها در کشور کره تاثیر گذار بوده است. اگرچه همه ی نمونه ها از یک جنس بودند ولی چگالی PBDE ها در پوشش پشت تلوزیون ها بطور قابل توجهی از دیگر قسمتها بالاتر بود. قبل از سال 2000 چگالی BDE-209 از همه ی دیگر ایزومرها بالاتر بود.

چگالی برخی از PBDE ها در برخی قسمتهای نمونه های یخچال از ND تا 445 میلی گرم بر کیلوگرم متغیر بود. انتظار داشتیم که پوشش متراکم کننده ی یخچالها بسبب تولید گرما PBDE های با چگالی بالا داشته باشند. همچنین مشاهده کردیم که پوشش قسمت بالای یخچالها چگالی بالایی از PBDE ها دارد. داده های ما حاکی از آن بود که پلاستیک مورد استفاده در پوشش متراکم کننده معمولا حاوی ABS معمولی است.

### 3.2 PBDE های تولید شده در پروسه ی بازیافت پسماندهای الکترونیکی

جدول 2 نتایج حاصل برای چگالیهای اتمسفری حاصله از مراکز بازیافت را نشان میدهد. A-RC منطقه ی ساخت دستی محصولات بالاترین چگالی را داشت و بعد از آن حیاط هوای باز چگالی بالایی داشت. محصولات penta-BDE حاوی مقادیر بالاتری از tetraBDE در مقایسه با penta-BDE بودند. اگرچه محصولات octa-BDE در شرکتهای مختلفی تولید میشدند عمدتا حاوی hepta-BDE, octa-BDE و nona-BDE بودند. محصولات فنی حاوی BDE- تاثیر بالایی بر PBDE های تولید شده در پروسه ی بازیافت پسماندهای الکترونیکی دارند.

### 3.3 محاسبه ی نشرهای PBDE ها در مدت استفاده و بازیافت پسماندهای الکترونیکی

#### 3.3.1 نشرهای PBDE ها در زمان استفاده

از روش فشار بخار برای محاسبه ی مقدار PBDE ها استفاده شد.

این محاسبات فقط برای نمونه محصولات مورد مطالعه ی ما انجام گرفت. طبق مطالعه ای که توسط وزارت محیط زیست درباره ی بازدارنده های اشتعال صورت گرفت تقریبا 7834 تن deca-BDE از سال 2003 به بعد در کره استفاده شده بود.

فاکتورها/پارامترهای زیادی را در نظر گرفتیم چون اندازه گیری در این زمینه تا حدی محدودیت داشت. محاسبه ی نشرها تحت اثر عدم قطعیت های این مطالعه است چراکه (1) فاکتورهای نشر بسته به شرایط محیط کاری، سال تولید وسایل خانگی و غیره میتواند کاملا متغیر باشد؛ (2) ممکن است اطلاعات ناکافی باشد مثلا داده های مربوط به مقدار مصرف PBDE در کره و داده های محاسبه ی فاکتور نشر در RC ها. از اینرو باید این مطالعه تا حدی بهتر انجام شود تا مقادیر دقیق تر فاکتورهای نشر حاصل شود. اکنون ما در حال بررسی بقیه ی RC ها و دیگر وسایل خانگی شامل WEEE های کوچک هستیم تا فاکتورهای نشر دقیق تری را حاصل کنیم. طی چند

سال انتظار می‌رود که عدم قطعیت های مقادیر مرتبط با PBDE در مدت استفاده و بازیافت وسایل خانگی را کاهش دهیم.

فاکتور نشر برای محاسبه ی نشرهای صورت پذیرفته طی پروسه ی بازیافت استفاده شد. در سال 2008 تعداد 550602 دستگاه تلوزیون، 761185 یخچال و 444884 ماشین لباسشویی به هفت مرکز بازیافت در کره منتقل شدند. با توجه به فاکتورهای نشر که در جدول 5 ارائه شده اند نشر صورت گرفته از این دستگاههای تلوزیون تقریباً  $90.3 - 0.3 \times 10^{-1}$  کیلوگرم از PBDE ها در هر سال بود. امکان وجود چگالیهای بیشتر در حیات هوای باز B-RC میتواند همچنین بسبب بازیافت تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی مختلفی غیر از یخچالها نظیر ماشینهای لباسشویی و دستگاههای تهویه ی هوا باشد. در این مطالعه چگالی PBDE ماشین لباسشویی و دستگاههای تهویه ی هوا را حاصل کردیم. صرفاً یخچالها علت نشر بالاتر نیستند. در سال 2003 وزارت محیط زیست ژاپن چگالی deca-BDE را در اتمسفر در مدت زمان پروسه ی بازیافت حدود 9.24 کیلوگرم بر سال محاسبه کرده بود. در این مطالعه نشر مواد موردنظر را فقط برای دستگاههای تلوزیون و یخچالها محاسبه کردیم. اگر مطالعه ی مفصلی راجع به نشرهایی که طی پروسه های بازیافت همه ی انواع پسماندهای الکترونیکی صورت میگیرند انجام بگیرد میتوان بدقت کل نشرهای اتمسفری را محاسبه کرد.

#### 4. نتیجه گیری

این مطالعه برای آگاهی از میزان چگالی نشرهای PBDE از تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی زائد در کره انجام شد. هدف محاسبه و اندازه گیری چگالیهای اتمسفری در حین پروسه ی بازیافت بود. نتیجه:

(1) چگالی میانگین PBDE ها در پوشش پشت تلوزیونهای تولید شده قبل از سال 2000 مقدار 148027 میلی گرم بر کیلوگرم بود درحالیکه چگالی میانگین PBDE ها در پوشش پشت تلوزیونهای تولید شده بعد از سال 2000 مقدار 14079 میلی گرم بر کیلوگرم بود. نشر صورت پذیرفته از پوشش پشت تلوزیونهای تولید شده قبل و بعد از سال 2000 بترتیب مقادیر 162.1 کیلوگرم و 18.7 کیلوگرم در سال بود. چگالی های PBDE های موجود در اجزای نمونه های یخچال و نشرهای صورت گرفته از آنها کمتر از دستگاههای تلوزیون بود.

(2) دریافتیم که بیشترین چگالی نشر در حین پروسه ی ساخت دستگاههای تلوزیون بود.

3) در این مطالعه ما مشاهده کردیم که قسمت ذخیره ی B-RC در مقایسه با قسمت مرزی خیلی بزرگ است. ذخیره در فضای باز میتواند دلیلی بر بالا بودن چگالی باشد. از این جهت توصیه میشود که محصولات در محیطی بسته ذخیره شوند و دما ثابت بوده، از تبخیر PBDE ها ممانعت شود. همچنین در این مطالعه نتیجه گرفتیم که دستگاههای تلوزیونی که قبل از سال 2000 ساخته شده اند دارای چگالی بالایی از PBDE ها هستند از اینرو در مراکز بازیافت نمیتوان نشر اتمسفری را کاهش داد. از این جهت دولت میتواند در این مراکز(حین بازیافت تلوزیونهای ساخت قبل از 2000) اقدامات لازم جهت کنترل تبخیر PBDE را انجام دهد.