

## اندازه گیری تماس با PAH های سرطانزا در محیط زیست

مهندس علیرضا پرداختی

### کلمات کلیدی:

ترکیب هیدروکربنی چندحلقوی، سرطانزایی، دز پتانسیل، مقایسه غلظت ها.

### چکیده:

PAH های سرطانزا به طرق مختلف بدست انسان و یا طبیعت وارد محیط زیست می شوند. این مواد در غذا، هوا، آب و خاک موجود می باشند. در فعالیت روزانه انسانها، به نظر می رسد که غذا و هوا، اصلی ترین منابع PAH های سرطانزا باشند. جمعاً دز پتانسیل انسانها بین ۱ تا ۱۵  $\mu\text{g/day}$  می باشد. برای افرادی که یک یا چند پاکت سیگار بدون فیلتر در روز مصرف می کنند، این دز بین ۱۵-۲  $\mu\text{g/day}$  متغیر است. این تخمینهای دز پتانسیل می تواند یک حدود تقریبی برای مقایسه با منابع دیگر PAH ها باشد.

## سرآغاز

می رود، توجه بیشتری شده است و غلظت آنها در محیط زیست مورد مطالعه قرار گرفته است.

مقادیری از این ترکیبات سرطانزا، که انسانها روزانه با آن در تماس هستند در این مطالعه تخمین زده شده است. البته این تخمین مقادیر، شامل محیطهای کاری اشخاص نمی شود. دز پتانسیل با توجه به مقدار خاک، غذا، آب و هوایی که انسانها مصرف می کنند، تخمین زده شده است. مقدار پتانسیل تماس از طریق پوستی در این گزارش محاسبه نشده است، در صورتیکه این پتانسیل می تواند در بعضی موارد بسیار مهم باشد.

دز پتانسیل، مقدار ماده شیمیایی است که انسانها با آن در تماس هستند و می تواند وارد بدن شود، با فرض اینکه صددرصد ترکیباتی که وارد بدن شده اند، جذب بدن می شوند. ورود این ترکیبات به بدن انسان از راههای مختلف صورت می گیرد و همچنین بستر حامل این ترکیبات می تواند بسیار متغیر باشد که در نتیجه جذب دز پتانسیل متفاوت می شود. مثلاً بطور عمومی مواد شیمیایی که به صورت ذرات ریز یا افشانه (Aerosol) از طریق استنشاق وارد بدن می شوند و یا مستقیماً توسط نوشیدن آب وارد بدن می شوند، انتظار می رود که از قابلیت جذب بیشتری نسبت به ترکیباتی که از طریق مواد جامد مانند غذا و خاک هستند، برخوردار باشند، حتی قابلیت جذب این ترکیبات در بدن از غذا بیشتر از خاک است.

علاوه بر قابلیت جذب، راه ورود مواد به بدن، داربست حاوی ترکیبات، سمیت یا سرطانزایی مواد نیز می تواند بسیار متفاوت باشد. با وجود تمام متغیرهای فوق که شناخته شده اند، معیذا اندازه گیری کمی رابطه بین دز پتانسیل و مقدار تماس و مقدار جذب برای تماس واقعی روزانه بسیار مشکل می باشد. با وجود تمام این کاستی ها، تخمین زدن دز پتانسیل، یک بینش خوبی را برای اندازه گیری سهم هر یک از منابع این ترکیبات به ما می دهد.

برای بدست آوردن غلظت PAH ها در آب، غذا، خاک و هوا و رسوبات، از مقالات و اطلاعات موجود استفاده شده است. برای هوا و رسوبات و خاک، اطلاعات اولیه از برنامه های پایش ملی (National Monitoring Program) و تحقیقات ملی (Site Investigations) که در آن غلظت زمینه خاک برای PAH ها گزارش شده بود فقط اطلاعاتی را که حاوی غلظت تک تک PAH ها بود با توجه به حداقل حد اندازه گیری (Detection Limits) مطالعه

ترکیبات هیدروکربنی چند هسته ای آروماتیک Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAH) یا به عبارت دیگر ترکیبات هیدروکربنی چند حلقوی آروماتیک Polycyclic Aromatic Hydrocarbons، یک گروهی از ترکیبات هستند که از دو یا چند حلقه آروماتیک که به یکدیگر جوش خورده اند، تشکیل شده اند. آژانس حفاظت محیط زیست ۱۶ عدد از این ترکیبات را به عنوان آلاینده های مقدم (Priority Pollutants) شناسایی کرده است. بسیاری از این ترکیبات سرطان زا می باشند که در نتیجه تماس انسانها با این ترکیبات موضوع تحقیقات بسیاری را به خود اختصاص داده است (۱ و ۲). هشت عدد از این ترکیبات که احتمال بیشتری نسبت به سرطان زایی آنها می باشد، عبارتند از:

- chrysene
- benzo [a] anthracene
- benzo [k] fluoranthene
- benzo [b] fluoranthene
- benzo [a] pyrene
- (2,1) benzo (g,h,i) perylene
- dibenzo [a,h] anthracene
- indeno [1,2,3,c-d] pyrene

ترکیبات PAH از طریق طبیعی و یا از احتراقهایی که بدست انسان انجام می شود، وارد محیط می شوند. آتشفشانها و آتشفشانیهای جنگلها و علفزارها از منابع عمده تولید PAH ها هستند. منابع PAH ها که به دست انسان تولید و وارد محیط زیست می شوند، بطور وحشتناکی افزایش یافته است. غالب این ترکیبات از احتراق سوختهای فسیلی مانند اتومبیلها، پالایشگاهها، کارخانجات آسفالت و غیره بدست می آیند (۳ و ۴). PAH ها در خاک، آب، هوا و رسوبات مشاهده و اندازه گیری شده اند (۲ و ۵). PAH ها در بسیاری از مواد مصرفی و خوراک انسانها وارد شده اند (۶).

با توجه به اینکه PAH ها تقریباً در همه جا پراکنده شده اند، انسانها در طول زندگی خود، روزانه مرتباً با این مواد شیمیایی در تماس هستند. در این مقاله، به تعدادی از این ترکیبات، که احتمال بیشتری نسبت به سرطان زایی آنها

\* این مقاله ترجمه "Exposure to Carcinogenic PAHs in the Environment" از مجله Environmental Science & Technology است. به خاطر بحرانی که این موضوع در سالهای اخیر در کشور به وجود آورده است، این ترجمه در این شماره گنجایده شده است. ارائه منابع مورد استفاده در متن، به ترتیب شماره هایی است که در متن اصلی آمده است. سردبیر

در مطالعه THEES بین سالهای ۱۹۸۷-۱۹۸۸، میانگین غلظت یکی از PAH ها (BaP) در ۵۸ غذای آماده شده،  $0.15 \mu g / Kg$  می باشد و حدود دامنه غلظتهای بدست آمده، بین  $0.05$  تا  $1.17 \mu g / Kg$  بوده است (۸). اگر این مقادیر برای کل PAH های سرطانزا تنظیم شود و اگر BaP را از  $0.1$  تا  $0.3$  از کل PAH ها، فرض کنیم، نتیجتاً این حدود بدست آمده، نزدیک به اعداد تخمین زده شده برای گروههای غذایی مختلف می باشد.

### -آب:

غلظت PAH های سرطانزا در آب در جدول ۲ برای آبهای طبیعی و آبهای آشامیدنی موجود تهیه شده است. اطلاعاتی برای آبهای تصفیه شده و تصفیه نشده در ۲۴ ایالت آمریکا از سال ۸۱-۱۹۷۸ برای ۱۰ ذخیره آبی در شرق آمریکا در دسترس می باشد.

یک مقدار محدودی از اطلاعات برای منابع آبهای زیرزمینی و سطحی دیگر نیز قابل دسترسی هستند. غلظت PAH های سرطانزا در آبهای سطحی  $829/6 ng / L$  تعیین شده است. در بعضی مواقع غلظت آبهای سطحی بین  $2$  تا  $50 ng / L$  مشاهده گردیده است. غلظت PAH ها در آبهای سطحی بیش از آبهای آشامیدنی یا غلظت آبهای زیرزمینی پیش بینی شده است. این افزایش غلظت بدلیل این است که ذرات معلق موجود در آبهای سطحی، حاوی مقادیری از PAH ها را که به خود جذب کرده اند، می باشند.

آبهای زیرزمینی به صورت طبیعی بین لایه های مختلف خاک فیلتر می شوند و PAH به خوبی جذب مواد آلی خاک می گردند. غلظت آبهای زیرزمینی در مطالعات مختلف از  $0.2$  تا  $6/9 ng / L$  و احتمالاً در بسیاری از آبهای زیرزمینی، پایین تر گزارش شده است. غلظت آبهای تصفیه شده (آشامیدنی) بین حدود  $0.1$  تا  $61/6 ng / L$  بوده و غلظت اکثر آبهای آشامیدنی بین  $1$  تا  $10 ng / L$  می باشد. در مطالعه THEES که در شهر فلیسبرگ انجام شده است، غلظت BaP در آب آشامیدنی زیر حد اندازه گیری ( $0.1 ng / L$ ) بوده است. معمولاً آبهای آشامیدنی که از شبکه آبرسانی با لوله های پوشش دار گذر کرده اند، از غلظت PAH های بالاتری برخوردارند (۵).

برای بدست آوردن غلظت PAH ها در شهرهای شیکاگو (Chicago) - لس آنجلس (Los-Angeles) - دیترویت (Detroit) - نیواورلئان (New Orleon) تلاش بسیاری شد، اما اداره های تهیه آب آشامیدنی شهرهای فوق، فاقد هر گونه سیستم پایش و اندازه گیری برای PAH ها در آب آشامیدنی خود

مورد استفاده قرار گرفت. این حداقل حد اندازه گیری با توجه به ماتریسهای مختلف، متفاوت می باشد. دز پتانسیل بر حسب جمعیتی که افراد آن از جنس مذکر و بین سنین ۱۹ تا ۵۰ سال می باشند، محاسبه گردیده است. حدس زده می شود که تماس خانمها و دز پتانسیل برای آنها کمتر از مردان باشد. زیرا که آنها به طور متوسط غذای کمتری را مصرف می کنند. کودکان نیز از دز پتانسیل غذایی کمتری برخوردارند، اما با توجه به بازی فعالانه کودکان، آنها از دز پتانسیل از طریق پوست و یا بلعیدن تصادفی خاک بیشتری برخوردارند.

در مطالعه تماس کلی انسانها با محیط که بین سال ۱۹۸۶-۱۹۸۷ انجام شد، Total Human Environmental Exposure Study (THEES)، کل تماس انسان با Benzo(a)Pyrene (Bap) که از طریق تنفس و تغذیه وارد بدن انسان می شود. در نیوجرسی (New Jersey) اندازه گیری شد (۸ و ۷)، این مطالعه نقش مهمی در تخمینهای ارائه شده را دارد.

### - PAH ها در محیط زیست:

با توجه به مطالعات انجام شده، غلظت PAH های سرطانزا در غذاهای مختلف در جدول ۱ گزارش شده است (۶ و ۹ و ۱۱)، اعدادی که در جدول آمده است، میانگین خیلی از اعداد بالا و پایین گزارش شده در غذا می باشند. غذاهایی که دارای بالاترین غلظتهای PAH ها هستند، شامل غذاهایی که روی ذغال کباب شده اند، گوشتهای دودی شده، سبزیجات پهن برگ، غلات، چربیها و روغنهای می باشند. برای این گروه از غذاها غلظت PAH ها معمولاً در حد دهها  $\mu g / Kg$  میکروگرم در کیلوگرم (ppb) می باشد. وجود PAH ها بر روی سبزیجات پهن برگ و غلات احتمالاً از طریق ته نشین شدن این ترکیبات از اتمسفر است.

تخمین غلظت ها در غذا نامطمئن می باشد. زیرا که اطلاعات محدودی در این زمینه موجود است. احتمال می رود که غلظت PAH ها بر روی سبزیجات و غلات، انعکاسی از موقعیت محلی تولید و تاریخ جمع آوری اطلاعات باشد.

بالاترین غلظتها از جدول یک حذف شده است و فقط سعی شده تا از اعدادی که در میانگین اطلاعات هستند، استفاده شود، در نتیجه، اطلاعات گزارش شده در این مطالعه فقط در حد متوسط غلظتهای موجود در گروههای غذایی می باشد.

جدول شماره ۱: غلظت PAHهای سرطانزا در غذاهای مختلف

| نوع غذا                           | معدل حداقل<br>اعداد گزارش شده $\mu\text{g} / \text{day}$ | معدل حداکثر<br>اعداد گزارش شده $\mu\text{g} / \text{day}$ | مراجع           |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------|
| غذاهایی که روی ذغال کباب نشده اند | ۰/۱۱                                                     | ۰/۶۹                                                      | ۱۰              |
| غذاهای کباب شده روی ذغال          |                                                          |                                                           |                 |
| گوشت گاو                          | ۲۶                                                       | ۳۵                                                        | ۶ و ۹           |
| گوشت خوک                          | ۱۲                                                       | ۲۶                                                        | ۶ و ۹           |
| گوشت مرغ                          | ۱۲                                                       | ۱۲                                                        | ۶ و ۹           |
| سوسیس                             | ۸                                                        | ۱۲                                                        | ۶ و ۹           |
| ماهی                              |                                                          |                                                           |                 |
| ماهی و صدف ماهی                   | ۰/۱                                                      | ۰/۱                                                       | ۹               |
| ماهی و صدف ماهی دودی              | ۹                                                        | ۳۶                                                        | ۱۲ و ۱۰ و ۹ و ۶ |
| سبزیجات                           |                                                          |                                                           |                 |
| گوجه فرنگی                        | ۱/۰۶                                                     | ۱/۰۶                                                      | ۶ و ۹           |
| سبزیجات پهن برگ                   | ۱۹                                                       | ۴۶                                                        | ۶ و ۹           |
| سیب زمینی و غیره                  | ۱۱                                                       | ۲۱                                                        | ۱۰ و ۹ و ۶      |
| غلات                              | ۰/۶۰                                                     | ۹                                                         | ۱۰ و ۹ و ۶      |
| میوه                              | ۰/۵۰                                                     | ۲/۴۰                                                      | ۱۰ و ۶          |
| نوشیدنی ها                        |                                                          |                                                           |                 |
| الکلی                             | ۲                                                        | ۲۷                                                        | ۶ و ۹           |
| غیرالکلی                          | ۰/۰۴                                                     | ۰/۰۸                                                      | ۶               |
| شیر                               | ۰/۰۱                                                     | ۰/۰۹                                                      | ۱۰              |
| غیره                              |                                                          |                                                           |                 |
| چربی و روغن                       | ۳/۴۰                                                     | ۶۶                                                        | ۱۰ و ۹ و ۶      |
| پنیر                              | ۱/۷۰                                                     | ۱/۷۰                                                      | ۱۰ و ۹          |

۷۰ درصدی اطلاعات بدست آمده از مطالعات NPN است (۸). نتایج تخمین زده شده از کل PAH های سرطانزا در هوای آزاد بین یک تا صدها  $ng/m^3$  می باشد (جدول ۲). متوسط غلظت PAH ها در مطالعه NPN  $2/6 ng/m^3$  است (۱۹) و ۷۲٪ از اعداد بدست آمده، زیر  $10 ng/m^3$  می باشد. اکثر غلظت های بالا بین ۷۰-  $12 ng/m^3$  است. متوسط غلظت بدست آمده از اطلاعات NPN  $2/6 ng/m^3$  بسیار شبیه به اطلاعات منتشر شده دیگر  $5/7 ng/m^3$  می باشد که در اطلاعات موجود برای شهر نیوجرسی (New Jersey)  $4/4 ng/m^3$  تخمین زده شده است.

غلظت PAH های سرطانزا در هوای داخل محیط های بسته (Indoor Air) مانند، ساختمان های مسکونی، اداری و ... انعکاسی از غلظت هوای آزاد بیرون و همچنین منابع داخلی می باشد. تقریباً ۵۰٪ غلظت ذرات معلق هوای آزاد بیرون به داخل این محیط های بسته راه می یابند (۸). غلظت های PAH در داخل منازل، با توجه به درجه حرارت و فضا متفاوت می باشند (۴۲ و ۲۰).

در یک مطالعه در ساختمان های نسبتاً بلند اداری، غلظت PAH ها حدوداً  $1/5 ng/m^3$  بوده است. میانگین غلظت ها در محیط های مسکونی به نظر می رسد نزدیک به  $8 ng/m^3$  باشد، که حداقل بین ۱ و حداکثر از ۳۰ تا  $80 ng/m^3$  می باشد.

غلظت PAH ها در هوا بصورت محلی می تواند توسط سوزاندن چوب و ذغال سنگ و تنباکو و شرایط ترافیکی، به راحتی افزایش پیدا کند، این فعالیت ها در تغییرات دمایی هوای داخل و بیرون تأثیر می گذارند. PAH ها می توانند به راحتی از اجاق گاز و یا شومینه در داخل منازل انتشار یابند (۲۱). مثلاً در یک مطالعه در ویسکانسین (Wisconsin)، غلظت PAH های اندازه گیری شده در هفت خانه، در موقعی که از اجاق های چوبی استفاده می کردند، تا ۱۰۰ برابر افزایش یافت.  $(1/7-12/6 ng/m^3)$  (۲۲).

دود تنباکو می تواند یک منبع اصلی برای تولید PAH های سرطانزا باشد. دود هر سیگار بدون فیلتر می تواند حاوی ۰/۱ تا ۰/۲۵  $\mu g$  PAH های سرطانزا باشد (۲۳). در منازلی که در آن سیگار کشیده می شود، غلظت های بین  $3-29 ng/m^3$  گزارش داده شده است (جدول ۲). این نشان دهنده اهمیت دود سیگار در بالابردن غلظت PAH ها در هوای داخل محیط های بسته می باشد (۴۳، ۲۳ و ۸).

در بعضی شرایط مخصوص ترافیکی غلظت های بسیار بالایی از PAH ها در هوا بوجود می آید. مثلاً غلظت متوسط ۲۵۳-  $58 ng/m^3$  در تونل بالتیمور (Baltimore) اندازه گیری شده

بودند. آژانس حفاظت محیط زیست، مؤسسه فعالیت آب و American Water Work Association (AWWA) فدراسیون کنترل آلودگی آب (Water Pollution Control Federation) نیز اطلاعاتی در رابطه با غلظت PAH ها در آب آشامیدنی این شهرها نداشتند.

## هوا:

اطلاعات مربوط به هوا از تحقیقات انجام شده در سال های دهه ۱۹۷۰ (۱۳ و ۱۲) و ۱۹۸۰ (۴۳، ۴۲، ۲۵ و ۱۴) راجع به PAH های سرطانزا جمع آوری شد، که در جدول ۲ نشان داده شده است. غلظت ها در سراسر کشور بسیار متفاوت می باشد. در نزدیکی دریاچه میشیگان، غلظت ها بین ۰/۲ تا  $3 ng/m^3$  بوده است (۱۴ و ۱۳). غلظت های مشابهی از PAH ها در حدود  $3/5 ng/m^3$  در مناطق مسکونی شهر لاس و گاس نیز مشاهده شده است (۱۵). در مناطق روستایی مینوسوتا (Minnesota)، غلظت کل PAH های سرطانزا در هوا حدود  $5/7 ng/m^3$  گزارش شده است (۱۶). در شهر های پیشرفته تر، غلظت های بین ۱۵-  $50 ng/m^3$  مشاهده گردیده است (۳۲ و ۱۷ و ۱۵).

مقداری از اطلاعات در رابطه با غلظت BaP در هوا، از برنامه ذرات شبکه ملی (National Particulate Network) (program گردآوری شده است. اطلاعات راجع به BaP از آنالیز کل ذرات معلق فیلتر شده از ۶۵ محل مشخص که در ناحیه های روستایی و شهری قرار داشته اند (۱۸)، تهیه گردیده است. البته ممکن است غلظت های بدست آمده کمتر از غلظت های حقیقی باشد، زیرا احتمال دارد مقداری از BaP از فیلتر عبور کرده باشد. غلظت میانگین سالانه BaP برای هر یک از این مناطق با توجه به مقادیر اندازه گیری شده تخمین زده شد. با توجه به اینکه در مطالعات دیگر (جدول ۲) غلظت BaP بین ۵٪ تا ۳۰٪ از کل PAH های سرطانزا در هوای آزاد می باشد، لذا عدد ۱۰٪ (در عدد ۱۰ ضرب می کنیم)، را انتخاب نموده و این نسبت برای تخمین غلظت کل PAH های سرطانزا در مطالعه NPN استفاده شده است.

در مطالعه THEES در نیوجرسی (New Jersey) PM-10 (ذرات معلق بالای ۱۰ میکرون) جمع آوری شده، نشان می دهد که غلظت BaP،  $5/9 ng/m^3$  می باشد که این عدد در حدود

است (۲۴).

### - خاک:

اطلاعات در رابطه با غلظت PAH های خاک از مرور اطلاعات و آنالیزهای تحقیقات محلی (Site Investigation) که غلظتهای زمینه را ارائه داده بودند، بدست آورده شد (۳۲، ۲۶، ۹ و ۲). این اندازه گیری ها از سالهای آخر دهه هفتاد و دهه هشتاد بدست آمده است. سایر اطلاعات دیگر از برنامه های هدایت شده، توسط مؤسسه تحقیقاتی گاز (Gas Research Institute) و مؤسسه تحقیقات نیروی برق (Electric Power Research Institute) بدست آمده است.

PAH های سرطانزا در تمام خاکهای سطحی مشاهده شده اند. نوعاً غلظتها در خاک جنگلها بین ۵ تا ۱۰۰  $\mu g / Kg$  می باشد. غلظتهای فوق نشانگر این است که این آلودگی شامل منابع طبیعی و هم دست ساز بشر می باشد. تولید PAH ها توسط گیاهان و آتش سوزی جنگلها و دشتهای فعالیتهای آتشفشانی، هر یک در غلظت زمینه آن سهمی دارند. افزایش غلظتهای PAH در جنگلهایی که نزدیک به بزرگراهها و مراکز صنعتی قرار دارند، می تواند به خاطر آلودگی هوا باشد. خاک بعضی جنگلها، غلظت بسیار بالا و سرطانزایی از PAH در حدود ۱۰۰۰  $\mu g / Kg$  را دارا می باشند. مقدار زیادی از PAH ها توسط ریزش اجزاء مختلف گیاهان مانند برگهای پهن و سوزنی که این ترکیبات را از هوا به خود جذب کرده اند، پس از ریزش فصلی بر روی زمین وارد خاک می شوند (۳۰).

خاکهای روستایی نوعاً حاوی PAH های سرطانزا می باشند. در ایستگاه آزمایشی روتامستد (Rothamsted) در جنوب شرقی انگلیس، ریزش جوی، مهمترین منبع آلودگی PAH های سرطانزا به خاکهای روستایی می باشد (۲۹). بسیار واضح است که در قرن ۲۰ غلظت PAH ها در خاکهای کشاورزی در مناطق صنعتی افزایش یافته است (۲۷).

حدود غلظت PAH ها در خاکهای کشاورزی بین ۱۰-۱۰۰  $\mu g / Kg$  می باشد. بالاترین غلظت PAH های سرطانزای گزارش شده در خاکهای کشاورزی حدود هزار میکروگرم در کیلوگرم یعنی شبیه به خاکهای جنگلی است. پیش بینی می شود که در محیطهای شهری، خاکها از

غلظت PAH های سرطانزای بالاتری نسبت به خاکهای کشاورزی و جنگلها برخوردار باشند، زیرا که به منابع احتراق سوختههای فسیلی نزدیکتر هستند. غلظت اکثر خاکهای شهری بین ۳۰۰۰-۶۰۰  $\mu g / Kg$  می باشد. در خیابانهای پر رفت و آمد و یا مناطق صنعتی احتمال غلظتهای بالاتری می رود. به نظر ما غلظتهای زمینه خاکهای شهری حداکثر بین ۳۰۰۰-۱۰۰۰  $\mu g / Kg$  (۳-۳PPM) می باشد. بالاترین غلظت PAH های سرطانزا در گردوغبار جاده ها، بین ۳۳۶۰۰۰-۸۰۰۰  $\mu g / Kg$  (۸-۳۳۶PPM) گزارش شده اند. غلظتهای بالایی که از خاک مناطق شهری در بعضی تحقیقات گزارش شده است (۲۰۰ PPM)، به نظر می رسد که احتمالاً ناشی از گرد و غبار جاده ها باشند.

### - رسوبات:

اطلاعات راجع به PAH های سرطانزا در تحقیقات موجود (۲) و آنالیز اطلاعات بدست آمده دهه ۱۹۸۰، توسط اداره هواشناسی و اقیانوس شناسی ملی (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)، جمع آوری شده است (۳۳) (جدول شماره ۲). نتیجه گزارشات چاپ شده به شدت متفاوت می باشد و از حدود ۰/۰۰۳ mg/Kg برای محیطهای مرجانی تا ۲۳۲ mg/Kg برای بندر بوستون (Boston) متغیر است.

غلظت PAH های سرطانزا را برای ۶۱۲ نمونه رسوب، که از ۲۰۰ محل ساحلی و دریایی که در سرتاسر اقیانوس اطلس و آرام و سواحل خلیجی بود، محاسبه کردیم. معیار پراکندگی این اطلاعات نشانگر این است که متوسط غلظت، ۰/۱ mg/Kg (PPM) و ماکزیم غلظت ۱۳/۲ mg/Kg بوده است.

### - دز پتانسیل:

تخمین دز پتانسیل برای یک مرد بین سنین ۱۹ تا ۵۰ ساله محاسبه گردید. در این تخمین کل وزن بدن مورد محاسبه قرار گرفته و واحد آن  $\mu g / day$  (میکروگرم در روز) می باشد.

### از منابع غذایی:

آمار استفاده شده از اداره کشاورزی آمریکا (۳۴ و ۳۵) جهت بدست آوردن نوع و مقدار غذای یک مرد آمریکایی، تهیه شد. پتانسیل غذاهای حاوی PAH های سرطانزا در شکل یک نشان داده شده است. هر یک از ستونهای این شکل توسط علامت کم یا زیاد

جدول شماره ۲: غلظت PAH های سرطانزای مختلف در محیط زیست

| مواد                                   | تعداد محلهای مطالعه شده | میانگین غلظت        | حدود مشاهده شده غلظتها | مراجع       |
|----------------------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|-------------|
| آب                                     |                         | ng/L                | ng/L                   |             |
| آبهای سطحی (b)                         | ۲۵                      | ۸                   | ۰/۱-۸۳۰                | ۵۱۲ و ۱۴    |
| آبهای زیرزمینی                         | ۱۰                      | ۱/۲                 | ۰/۲-۶/۹                | ۵۱۲         |
| آبهای آشامیدنی                         | ۱۰                      | ۲/۸                 | ۰/۱-۶۲                 | ۹۱۲         |
| هوا                                    |                         | ng / m <sup>3</sup> | ng / m <sup>3</sup>    |             |
| هوای آزاد                              |                         |                     |                        |             |
| مطالعات منتشر شده                      | ۲۸                      | ۵/۷                 | ۰/۲-۶۵                 | ۲۱۳-۱۷ و ۲۴ |
| مطالعه NPN بر روی TSP                  | ۸۵                      | ۲/۶                 | ۱/۰-۱۴۸/۰(a)           | ۱۸          |
| مطالعه نیوجرسی روی TSP                 | ۲۷                      | ۴/۴                 | ۲-۹                    | ۲۵          |
| کلمبوس - اهایو(c)                      | ۱۲                      | ۱۳/۰                | ۲-۷۵                   | ۴۲          |
| هوای داخل فضاهای بسته                  |                         |                     |                        |             |
| دفتر تمیز                              | ۱                       | ۱/۵                 |                        | ۱۹          |
| منازل در ایالت اهایو                   | ۹                       | ۸                   | ۰/۶-۲۹                 | ۴۲          |
| منازل در ایالت نیوجرسی                 | ۱۰                      | ۹(a)                | ۱/۰-۸۰(a)              | ۷           |
| منازلی که در آن سیگار کشیده می شود     | ۴                       | ۱۳/۰                | ۷-۲۹                   | ۴۲          |
| اتاقهایی که در آن سیگار کشیده می شود   |                         |                     | ۳-۲۳                   | ۲۳          |
| اتاقهایی که در آن اجاقهای چوبی می سوزد | ۷                       | ۳/۸                 | ۲-۱۳                   | ۲۲          |
| اتاقهایی که در آن بخاری نفتی می سوزد   | ۱                       | ۱۵/۰                |                        | ۴۳          |
| اتاقهایی که در آن بخاری نفتی نیست      | ۱                       | ۱/۶                 |                        | ۴۳          |
| خاک                                    |                         | mg/kg (dry wt.)     |                        |             |
| جنگل                                   | ۱۶                      | ۰/۰۵                | ۰/۰۱-۱/۳               | ۲ و ۲۶-۳۲   |
| روستایی                                | ۸                       | ۰/۰۷                | ۰/۰۱-۱/۰۱              | ۲ و ۲۶-۳۲   |
| شهری                                   | ۱۵                      | ۱/۱۰                | ۰/۰۶-۵/۸               | ۲ و ۲۶-۳۲   |
| گردوغبار جاده ها                       | ۷                       | ۱۳۷/۰               | ۸-۳۳۶                  | ۲ و ۲۶-۳۲   |
| رسوبات                                 |                         |                     |                        |             |
| مطالعات منتشر شده                      | ۶۵                      | ۱/۴                 | ۰/۰۰۳-۲۳۲              | ۲           |
| مطالعات NOAA                           | ۱۴۸                     | ۰/۱                 | ۰/۰۰۲-۱۳/۲۱            | ۳۳          |

a - غلظت کل PAH ها از طریق غلظت BaP تخمین زده شده است (غلظت BaP در عدد ۱۰ ضرب شده است)

b - غلظتها در منابع آلوده بیشتر بوده است.

c - مربوط به برنامه پایش آلودگی هوا در ایالت اهایو

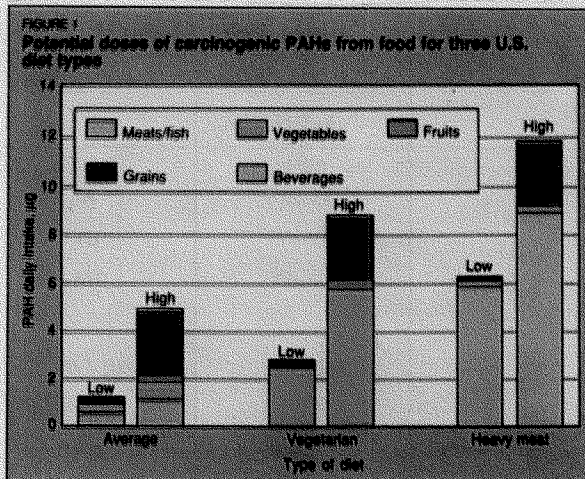
مشخص شده است. این علائم مربوطه به حدود غلظت PAH ها در هر یک از گروههای غذایی مربوطه می باشد. به طور متوسط بین یک تا  $5 \mu\text{g/day}$  PAH ها از طریق غذا وارد بدن یک فرد آمریکایی می شود که گوشتهای پخته شده و غلات، حاوی بالاترین غلظت این ترکیبات هستند.



رئوسبات جوی صورت می گیرد (۳۸). گیاهان پهن برگ، دارای PAH بیشتری نسبت به گیاهان سوزنی برگ می باشند. این امر نشانگر رابطه مستقیم بین سطح برگ و جذب PAH از طریق جو می باشد. ما نمی دانیم که در اطلاعات گزارش شده آیا سبزیجات قبل از آنالیز به صورت سطحی شسته شده اند و یا خیر! و در صورتیکه شسته می شدند چه مقدار PAH بر روی سطح برگ باقی می ماند. همانطوریکه ذکر شد، مقدار زیادی PAH ها از طریق غلات وارد بدن انسان می شود. اما پالایش و به عمل آوردن غلات، قبل از مصرف، می تواند غلظت PAH های سرطانزا را کاهش دهند. بعضی مطالعات دیگر نشان می دهد، با وجود این که گروه غلات از حداکثر غلظت PAH ها نسبت به گروه های غذایی دیگر برخوردار نیستند، اما با توجه به وزن بالایشان در رژیم غذایی از مهمترین منابع PAH ها بشمار می روند.

#### از هوا:

در این مطالعه جهت تخمین دز پتانسیل PAH های سرطانزا که توسط تنفس وارد بدن می شود، محاسبات را بر مبنای دو گروه انسانهای غیرسیگاری و سیگاریهایی که روزی یک پاکت سیگار مصرف می کنند، محاسبه کرده ایم (شکل شماره ۲). دز پتانسیل PAH های سرطانزا از طریق تنفس هوای آزاد با فرضیه اینکه هر شخص  $20 \text{ m}^3 / \text{day}$  هوا مصرف می کند، [استاندارد ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست امریکا (EPA)]، تخمین زده شده است (۳۹). این مقدار هوا در عدد  $148 \text{ ng} / \text{m}^3$  (بالاترین غلظت تخمین زده شده برای هوای آزاد و هوای داخل فضاهای بسته)، ضرب شده است [  $8 \text{ ng} / \text{m}^3$  (متوسط غلظت هوای داخل فضاهای بسته) و  $1 \text{ ng} / \text{m}^3$  (نوعاً حداقل غلظت هوای آزاد و فضاهای بسته)]. این حدود غلظتها در فضاهای بسته، در بعضی مواقع شامل افرادی می شود که در معرض دود سیگار ( $29-3 \text{ ng} / \text{m}^3$  و دود تولید شده از اجاقهای چوب سوز ( $12/6-17 \text{ ng} / \text{m}^3$ ) قرار گرفته باشند. پس اعداد انتخاب شده برای تماس افراد مختلف با PAH ها از طریق هوا مناسب می باشد. عدد تخمین زده شده برای دز پتانسیل از طریق تنفس  $0.2-3 \text{ } \mu\text{g} / \text{day}$  است. متوسط این دز پتانسیل  $0.16 \text{ } \mu\text{g} / \text{day}$  است. با توجه به اینکه افراد در امریکا بیش از ۷۰٪ اوقات خود را در فضاهای بسته می گذرانند و افراد شاغل نیز کمتر از ۴۵ دقیقه در روز را در هوای آزاد می گذرانند. به نظر می رسد تنفس هوای فضاهای بسته نقش مهمی را در تماس انسانها با PAH های سرطانزا داشته باشد (۲۰).



#### شکل شماره ۱: پتانسیل غذاهای حاوی PAH های سرطانزا

فردی که دارای رژیم غذایی با گوشت فراوان می باشد، از بالاترین دز پتانسیل PAH های سرطانزا، برخوردار می باشد (۹-۶  $\mu\text{g} / \text{day}$ ). غذاهای کباب شده بر روی ذغال اصلی ترین منبع PAH های سرطانزا هستند.

تخمین ما از دز پتانسیل PAH های سرطانزا، از طریق رژیم غذایی، به مطالعات گزارش شده، بسیار نزدیک می باشد (۴۴، ۳۷، ۳۶ و ۱۰). چندین نقطه نامطمئن در تخمین ما وجود دارد که شامل گروههای مختلف با دریافت کالریهای متنوع و نوع و روش آماده سازی غذاهای متفاوت است. در یک موقعیت ایده آل، آنالیز PAH ها در غذای آماده شده برای یک گروه مشخص، جهت بدست آوردن دز پتانسیل PAH های سرطانزا برای افراد همان گروه استفاده می شود. همانطوریکه در THEES برای BaP انجام شده است (۸). در این مطالعه، متوسط روزانه BaP از طریق خوردن غذا، حدوداً  $0.1-0.002 \text{ } \mu\text{g} / \text{day}$  بوده است. البته حدود مقادیر بین  $0.002-0.1 \text{ } \mu\text{g} / \text{day}$  بود. اگر این اعداد برای کل PAH ها تصحیح شوند، اعداد بدست آمده به حدود پایینی تخمین زده شده در این گزارش، نزدیک می شوند.

در یک رژیم غذایی سبزی خاوری، مقدار PAH لاتیاری وارد بدن می شود. به شرط آنکه از سبزیجات پهن برگ مانند کاهو و اسفناج و غلات استفاده شود. پیشنهاد شده است که غذاهای خام می توانند منابع اصلی PAH ها به جای غذاهای کباب شده باشند. به نظر می رسد که آنالیزها، این پیشنهاد را تأیید می کنند. عمده ترین روش آلوده شدن سبزیجات از طریق



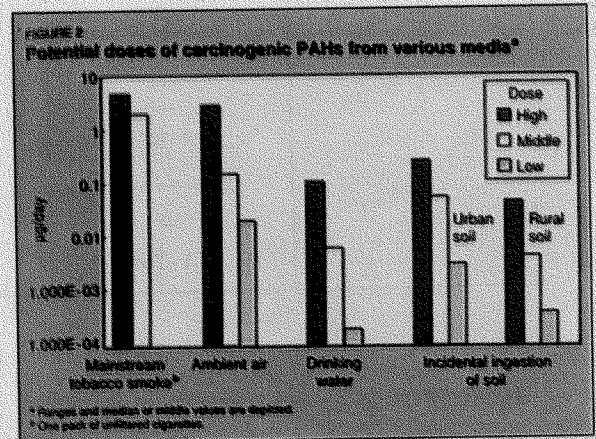
پتانسیل PAH های سرطانزا توسط بلعیدن غیر عمدی  $mg/50$  خاک در روز در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. تخمینها همگی بر اساس حداکثر، متوسط و حداقل غلظتهای PAH های سرطانزا در جدول شماره ۲ برای خاکهای شهری و روستایی بوده است. برای جمعیتهای شهری دز پتانسیل PAH های سرطانزا بین  $0.3-0.03 \mu g/day$  می باشد. متوسط این حدود  $0.06 \mu g/day$  است. در صورتیکه مقداری از خاک بلعیده شده، گرد و غبار جاده ها باشد، نتیجتاً دز پتانسیل افزایش می یابد.

### مقایسه منابع هوای آزاد:

غذا احتمالاً برای افراد غیرسیگاری عمده ترین منبع PAH های سرطانزا می باشد که از ۱۰ تا ۱۰۰ برابر بیشتر از هر منبع دیگری حاوی PAH ها است (جدول ۳). در صورتیکه هوای آزاد شهری دارای غلظت بالایی از PAH ها باشد، هوا اصلی ترین منبع PAH ها می شود. در مطالعه THEES اهمیت راههای ورود BaP به بدن، از طریق بلعیدن و تنفس کردن، مقایسه می شود. در این مقایسه نشان داده شده است که حدود و مقدار تماس از طریق غذا بسیار بیشتر است تا از طریق تنفس. با تمام این اوصاف، مواردی مشاهده شده که افراد از طریق تنفس در تماس بیشتری با BaP بوده اند. آب آشامیدنی و خاک، منبع فرعی (جزئی) این مواد می باشند. اهمیت خاک به عنوان یک منبع، بستگی به مقدار بلعیدن تصادفی خاک دارد و ما فرض کرده ایم که یک انسان بزرگ  $mg/day 50$  خاک را بصورت ناخودآگاه می بلعد.

کل دز پتانسیل PAH های سرطانزا برای یک مرد بزرگسال غیرسیگاری تخمین زده شده است که به طور متوسط  $3 \mu g/day$  و تا حداکثر  $15 \mu g/day$  می باشد. دود سیگار، مقدار قابل توجهی PAH را به دز پتانسیل اضافه می کند. سیگاریهایی که سیگار بدون فیلتر مصرف می کنند می توانند دز پتانسیل شان تا دو برابر دز پتانسیل غیرسیگاریها باشد. تخمینهای دز پتانسیل در این مطالعه شامل تماس از طریق اشتغال و یا استفاده از لوازم آرایشی که بر روی پوست مالیده می شود و یا مواد آسفالتی که بر روی پشت بامها و خیابانها کشیده می شود، نمی باشد. استفاده از مواد نامبرده در بالا باعث افزایش دز پتانسیل از طریق پوست و تنفس می شود.

برای شخصی که روزی یک پاکت سیگار بدون فیلتر می کشد، دز پتانسیل PAH های سرطانزا به خاطر استعمال دخانیات ۲ تا  $5 \mu g/day$  اضافه تر می شود. پس دود سیگار در تخمین دز پتانسیل از طریق تنفس سهم بسیار زیادی دارد. مثلاً شخصی که روزی سه پاکت مصرف می کند، می تواند بین  $15-6 \mu g/day$  های سمی از طریق استعمال دخانیات، وارد بدن خود کند.



شکل شماره ۲: تخمین دز پتانسیل PAH های سرطانزا که توسط تنفس وارد بدن می شود

### از آب:

اگر فرض کنیم که هر شخص در روز ۲ لیتر آب مصرف می کند (۳۹)، دز پتانسیل های سرطانزا از طریق نوشیدن آب (شکل شماره ۲) بین  $0.002-0.012 \mu g/day$  می باشد. متوسط این حدود  $0.006 \mu g/day$  است (محاسبات فوق با توجه به غلظتهای جدول ۲ صورت گرفته است).

### از بلعیدن خاک به صورت غیر عمدی:

تخمین زده می شود که انسانها روزانه  $mg 50$  خاک را به صورت غیر عمدی می بلعند [LaGoy (۴۰)]. اما این تخمین نامطمئن است و احتمالاً کمتر از مقدار واقعی می باشد. کودکان نیز حداقل در روز  $mg 50$  خاک را به صورت تصادفی می بلعند (۴۱).

جدول شماره ۳: مقایسه دز پتانسیل PAH های سرطانزا

| مقادیر اعداد |                          | مقادیر اعداد |                          | منابع PAH ها     |
|--------------|--------------------------|--------------|--------------------------|------------------|
| درصد از کل   | مقدار تماس در روز ng/day | درصد از کل   | مقدار تماس در روز ng/day |                  |
| ۷۹           | ۱۲                       | ۹۶/۲         | ۳                        | غیرسیگاری ها     |
| ۱۸           | ۲/۷۰                     | ۱/۶          | ۰/۰۵                     | غذاها            |
| ۱            | ۰/۱۲۴                    | ۰/۲          | ۰/۰۰۶                    | هوا              |
| ۲            | ۰/۴                      | ۱/۹          | ۰/۰۶                     | آب               |
| ۱۰۰          | ۱۵/۲۲                    | ۱۰۰/۰۰       | ۳/۱۲                     | خاک              |
|              |                          |              |                          | کل               |
|              | ۶-۱۵                     |              | ۲-۵                      | سیگاری ها        |
|              | (سه پاکت در روز)         |              | (یک پاکت در روز)         | دود سیگار        |
|              | ۱۵                       |              | ۳                        | تمامی منابع دیگر |
|              | ۲۱-۳۰                    |              | ۵-۸                      | کل               |

References<sup>1</sup>

1. Evaluation and Estimation of Potential Carcinogenic Risks of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons; Carcinogen Assessment Group, Office of Health and Environmental Assessment. Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, 1985.
2. Gas Research Institute. Management of Manufactured Gas Plant Sites: Risk Assessment; Gas Research Institute: Chicago, IL, 1987; Vol. III, GRI-87/0260.3.
3. Locating and Estimating Air Emissions From Sources of Polycyclic Organic Matter; Office of Air Quality Planning and Standards. U.S. Environmental Protection Agency: Research Triangle Park, NC, 1987.
4. Sources and Emissions of Polycyclic Organic Matter, Pollutant Assessment Branch. Office of Air Quality Planning and Standards. U.S. Environmental Protection Agency: Research Triangle Park, NC, 1983.
5. Basu, D.K.; Saxena, J. Chemosphere 1987, 16, 2595-612.
6. Bjorseth, A. Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; Marcel Dekker: New York, 1983.
7. Liroy, P. L. et al. Arch. Environ. Health 1988, 43, 304-12.
8. Waldman, J. M. et al. J. Exp. Anal. Environ. Epid. 1991, 1, 193-225.
9. Crosby, N. T. et al. Analyst 1981, 106, 135-45.
10. Dennis, M. J. et al. Food Chem. Toxicol. 1983, 21, 569-74.

<sup>1</sup> - استاندارد ارائه منابع همانند مجله ای است که این مقاله از آن ترجمه شده است. سردبیر

11. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Draft); Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Public Health Service; Atlanta, GA, 1989.
12. Ambient Water Quality Criteria for Polynuclear Aromatic Hydrocarbons; Office of water. U.S. Environmental Protection Agency; Washington, DC, 1980.
13. Eisenreich, S. Environ. Sci. Technol. 1981, 15, 30-38.
14. Baker, J.; Eisenreich, S. Environ. Sci. Technol. 1990, 24, 342-52.
15. Preliminary Clark County, Nevada Special Monitoring and Emission Testing Report for 1989-1990; Department of Transportation: Las Vegas; NV.
16. Hennepin County Preoperational Incinerator Siting Report form 1987-1989; Radian Corporation, Minnesota Pollution Control Agency; St. Paul, MN, 1989.
17. Data Summary Report on the Air Toxics Monitoring Program for the Denver Metropolitan Area Integrated Environmental Management Project; U. S. Environmental Protection Agency Region VIII. Environmental Services Division. Air & Toxics Division. Air Toxic Branch; Denver, Co, 1989.
18. U.S. Environmental Protection Agency. Air Toxic Clearinghouse. Aerometric Information Retrieval System Quick Look Report, National Particulate Network, Benzo[a] pyrene/Total Suspended Particulate Data 1986-1989.
19. Wilson, N. K. et al. Environ. Sci. Technol. 1989, 23, 1112-16.
20. Lioy, P. J.; Panitz, E. New Jersey Medicine 1988, 85, 921-26.
21. McCrillis, R.; Burnet, P. "Effects of Operating Variables on Emissions from Wood Stoves"; Proceedings of 1988 EPA/APCA International Symposium Measurement of Toxic and Related Air Pollutants; Research Triangle Park, NC.
22. Daisey, J. Environ. Int. 1989, 15, 435-42.
23. Hoffman, D.; Hecht, S. S. In Chemical Carcinogenesis and Mutagenesis I; Cooper, C. S.; Grover, P.L., Eds.; Springer Verlag: New York; pp. 63-102.
24. Benner, B.; Gorden, G.; Wise, S. A. Environ. Sci. Technol. 1989, 23, 1269-78.
25. Harkov, R. et al. Environ. Sci. Technol. 1984, 18, 287-91.
26. "How Clean is Clean? Clean-up Standards for Groundwater and Soil", Prepared by Dames & Moore Co.; Electric Edison Institute: Annapolis, MD, 1986.
27. Edwards, N. J. Environ. Qual. 1983, 12, 427-41.
28. Gas Research Institute/Electric Power Research Institute Database for PAHs in Freshwater Sediment and Soil from Site Investigations; Chicago, IL (unpublished).
29. Jones, K. C. et al. Environ. Sci. Technol. 1989, 23, 95-101.
30. Mzner, E. Water, Air Solid Pollut. 1984, 21, 425-34.
31. Pucknat, A. W. Characteristics of PNA in the environment. Health impacts of polynuclear aromatic hydrocarbons; Noyes Data Corporation: Park Ridge, NJ, 1981; pp. 78-122.
32. Smith, M. A. Tentative Guidelines for Acceptable Concentrations of Contaminants in Solids; Issued by CDEP, England, 1981; ICRCL 47/81.
33. A Summary of Selected Data on Chemical Contaminants in Sediments Collected During 1984, 1985, 1986 and 1987; National Status & Trends

- Program for Marine Environmental Quality. National Oceanic and Atmospheric Administration: Rockville, MD, 1988.
34. Pao, E. M. et al. Home Economics Research Report No. 44; U.S. Department of Agriculture: Washington, DC, 1982.
35. Nationwide Food Consumption Survey: Continuing Survey of Food Intakes by Individuals, Men 19-50 years, 1 Day, 1985; United States Department of Agriculture. Human Nutrition Information Service. Nutrition Monitoring Division; United States Department of Agriculture: Washington, DC, 1986; Report No. 86-1.
36. Vaessen, H. A. et al. Toxicol. Environ. Chem. 1988, 16, 281-94.
37. Speer, K; Montag, A. Oelen. Fat Sci. Technol. 1988, 90, 163067.
38. Jones, K.C.; Grimmer, J.; Johnston, A. E. Science of the Total Environment 1989, 78, 117-30.
39. Exposure Factors Handbook; U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, 1989; EPA/600/8-89/043.
40. LaGoy, P. Risk Analysis 1987, 7, 35559.
41. Thompson, K. M.; Burmaster, D. E. Risk Analysis 1991, 11, 339-42.
42. Chuang, J. C. et al. Pilot Study of Sampling and Analysis for Polynuclear Aromatic Compounds in Indoor Air; Washington, DC, December 1986; EPA/600/4-86/036, NTIS PB87-129524.
43. Mumford, J. L. et al. Environ. Sci. Technol. 1991, 25, 1732-38.
44. Santodonato, J. et al. J. Environ. Path. Toxicol. 1981, 54, 1-364.