

## اولین گزارش ترکیب ایزوتوپی سرب ذرات تشکیل دهنده گرد و غبار استان خوزستان در سال ۱۳۸۸ با تاکید بر تعیین خاستگاه و شاخص‌های زمین‌شناسی زیست‌محیطی

علیرضا زراسوندی<sup>۱\*</sup>، فرید مر<sup>۲</sup>، احد نظریور<sup>۳</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- بخش علوم زمین، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه شیراز

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

(دریافت مقاله: ۸۹/۱/۲۲، نسخه نهایی: ۸۹/۶/۲۷)

**چکیده:** یکی از نواحی ایران که تحت تاثیر پدیده‌ی نو ظهور گرد و غبار به دلیل شرایط خشکسالی‌های اخیر قرار گرفته، است استان خوزستان است. تداوم این توفان‌ها سبب بروز اثرهای نامطلوب زیستی و بروز خسارت‌های فراوان در زمینه‌های کشاورزی، صنعتی، حمل و نقل و سیستم‌های مخابراتی شده است. با توجه به عدم شناخت کافی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذرات تشکیل دهنده گرد و غبار در ایران، لزوم یک بررسی جامع و سیستماتیک روی این پدیده در کشور کاملاً احساس می‌شد. امروزه علاوه بر تعیین شاخص‌های ژئوشیمیایی ذرات گرد و غبار به منظور تعیین خاستگاه احتمالی ذرات، استفاده از بررسی‌های ایزوتوپی در تعیین خاستگاه توفان‌های گرد و غبار نیز به طور چشمگیری افزایش یافته است. یکی از این روش‌های ایزوتوپی روش ایزوتوپی سری U-Th-Pb می‌باشد. لذا در این تحقیق به منظور تعیین منشأ سرب موجود در گرد و غبار و نیز تعیین خاستگاه احتمالی مواد همراه دیگر، ۲۶ نمونه از نمونه‌های گرد و غبار خوزستان به روش ICP-MS برای تعیین ایزوتوپ‌های سرب مورد بررسی قرار گرفتند. ترکیب ژئوشیمیایی سرب و ایزوتوپ‌های وابسته به آن نشان می‌دهد که میانگین سرب در نمونه‌ها ۱۰/۹۵ ppm است که از استانداردهای موجود بالاتر بوده و مقدار ایزوتوپ‌های مختلف آن با ذرات در حد PM2.5 بیشتر است. همچنین مقایسه‌ی نسبت‌های ایزوتوپی سرب  $(^{206}pb / ^{204}pb, ^{207}pb / ^{204}pb, ^{208}pb / ^{204}pb, ^{207}pb / ^{206}pb)$  با میانگین این نسبت‌ها در پوسته‌ی فوقانی، ماهیت متفاوت این نسبت‌ها در گرد و غبار خوزستان را با ترکیب پوسته نشان می‌دهد. به طور کلی از مقایسه‌ی داده‌های به دست آمده در این پژوهش با داده‌های دیگر سرب محیط‌های طبیعی، نشان می‌دهد که یک ناهمبندی در نسبت‌های ایزوتوپی گرد و غبار خوزستان با محیط‌های یاد شده وجود دارد. این پیچیدگی می‌تواند احتمالاً به خاستگاه انسان‌زاد متفاوت دیگری از جمله فعالیت‌های نفتی وابسته باشد.

**واژه‌های کلیدی:** گرد و غبار، زمین‌شناسی زیست محیطی، ایزوتوپ سرب، استان خوزستان.

### مقدمه

گرد و غبار بسیار اهمیت یافته است [۱]. هر یک از ایزوتوپ‌های پایدار و پرتوزادها می‌توانند به تعیین خاستگاه ذرات گرد و غبار کمک شایانی نمایند، به طوری که ترکیب ایزوتوپی اکسیژن به

در سال‌های اخیر، بررسی‌های ایزوتوپی گوناگونی به عنوان ردیاب‌های بسیار مهم در شناسایی و تعیین خاستگاه توفان‌های

\* نویسنده مسئول، تلفن- نمابر: ۳۳۳۱۰۵۹ (۰۶۱۱)، پست الکترونیکی: Zarasvandi\_a@scu.ac.ir

پدیده کمک شایانی نمایند. لذا این پژوهش به عنوان اولین گزارش علمی در این زمینه در ایران به شناسایی خاستگاه سرب موجود در گرد و غبار خوزستان و نیز خاستگاه احتمالی مواد همراه دیگر می‌پردازد.

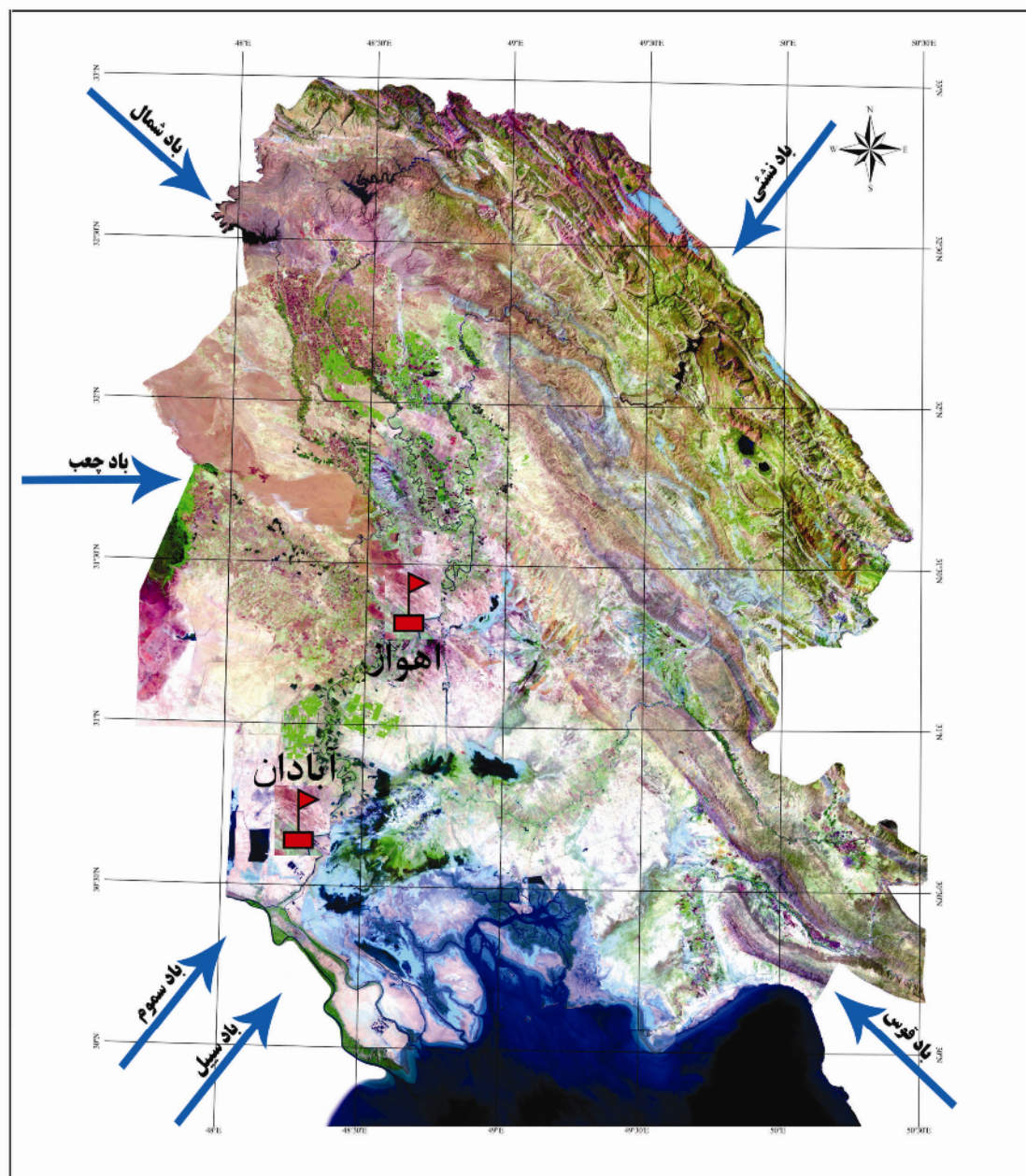
#### نمونه‌برداری و روش کار

نمونه برداری از ذرات گرد و غبار در بهار و تابستان ۱۳۸۸ از تاریخ ۸۸/۲/۳ تا ۸۸/۵/۲۲ که از سوی سازمان هواشناسی به عنوان روزهای گرد و غباری اعلام شده بود، صورت گرفت. در این پژوهش برای نمونه برداری، از دستگاه‌های نمونه‌گیر فعال با قدرت مکش بالا (High Volume Air Sampler) استفاده شد. این دستگاه‌ها با توجه به موقعیت و شرایط مناسب و دسترسی سریع، در ایستگاه‌های هواشناسی اهواز و آبادان مستقر شده‌اند (شکل ۱) و در استقرار آنها بدین نکته توجه شد که دستگاه‌ها در ارتفاع مشخصی از زمین قرار گیرند و از هرگونه فعالیت‌های انسان‌زادی به دور باشند. البته این دو ایستگاه با توجه به بحرانی بودن شرایط جوی گرد و غبار، چگالی بالای ذرات و کاهش شدید دید افقی به عنوان ایستگاه‌های مرجع انتخاب شدند و با اعلام سازمان هواشناسی استان مبنی بر ورود سامانه‌ی گرد و غبار فرا مرزی (کد ۰۶) نمونه‌گیری انجام گرفت. این نمونه‌گیرها با پمپاژ هوا با قدرت ۲۰ تا ۶۰ متر مکعب در دقیقه قادر به جمع‌آوری گرد و غبار با اندازه‌های (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) و با استفاده از جداسازی پی-درپی ذرات (Impactor) بوده و ذرات جمع‌آوری شده را روی فیلترهای سلولزی و تفلونی تعبیه شده در درون دستگاه‌ها قرار می‌دهند. در هر مرحله‌ی نمونه برداری، با توجه به ماندگاری پدیده‌ی گرد و غبار در استان، در هر سری نمونه‌برداری، دستگاه‌ها به مدت ۲۴ ساعت نمونه‌گیری می‌کردند (شکل ۲). نمونه‌های جمع‌آوری شده همراه با فیلترهایی که نمونه روی آن قرار داشتند درون ظروف مخصوص شیشه‌ای قرار گرفته و پس از کد گذاری به آزمایشگاه ارسال می‌شدند. طی ۱۴ روز رخداد پدیده‌ی گرد غبار تا تاریخ ۸۸/۵/۲۲ تعداد ۲۶ نمونه با اندازه‌های TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> از ایستگاه‌های اهواز و آبادان برداشت شدند. نمونه‌های آماده شده برای آنالیز ICP-MS در اندازه‌های PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> و TSP روی فیلترهای سلولزی و ظروف مخصوص برای پرهیز از هرگونه آلودگی ثانویه به آزمایشگاه ACME در ونکوور کانادا ارسال شدند. در این آزمایشگاه برای نمونه‌های ارسالی، کنترل کیفیت آزمایش

عنوان یک ایزوتوپ پایدار در بسیاری از صحرها توانسته است خاستگاه ذرات کوارتز تشکیل دهنده‌ی گرد و غبار را به خوبی نمایان سازد. مهم‌ترین ایزوتوپ‌های موجود در خاستگاه‌یابی ذرات گرد و غبار عبارتند از O, Hf, OS, Nd و Pb که هر یک به صورتی خاص و روی کانی‌ها و عناصر خاص قابل اندازه‌گیری هستند [۲]. البته باید خاطرنشان کرد که هدف از تعیین خاستگاه ذرات و عناصر تشکیل دهنده‌ی گرد و غبار در استفاده از این روش‌ها بسیار اهمیت دارد. براین اساس تعیین خاستگاه ژئوشیمیایی گرد و غبارها از دو جنبه‌ی مختلف شناخت عناصر سازای ذرات گرد و غبار، و یا واکنش‌های انسان زاد می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. به عنوان مثال در نگاه اول منشاء برخاست و محیط تشکیل ذرات گرد و غبار و تفکیک هر یک از این محیط‌ها با تلفیقی از بررسی‌های ایزوتوپی <sup>144</sup>Nd، <sup>143</sup>Nd، <sup>207</sup>Pb، <sup>206</sup>Pb، <sup>86</sup>Sr، <sup>87</sup>Sr، قابل اندازه‌گیری است. ولی عنصر Pb بعنوان یکی از مهمترین عناصر آلاینده‌ی هوا جزء اصلی بسیاری از توفان‌های گرد و غبار در دنیاست که بیشتر خاستگاه انسان زادی را برای آن در نظر می‌گیرند که استفاده از نسبت‌های مختلف ایزوتوپ‌های سرب از قبیل <sup>208</sup>Pb، <sup>204</sup>Pb، <sup>207</sup>Pb به خوبی گونه‌گونی خاستگاه‌های انسان‌زادی را برای پراکندگی عنصر سرب و حتی عناصر هم‌زایشی با آن را نشان می‌دهند [۲-۴]. سرب با خاستگاه طبیعی ناشی از مواد تشکیل دهنده‌ی پوسته‌ی فوقانی به خصوص رسوب‌های تخریبی یا خاستگاه انسان‌زادی به خصوص دود خروجی از اتومبیل‌ها و یا صنایع برای آن متصور است. امروزه استفاده از ایزوتوپ‌های مختلف سرب به عنوان یک روش بسیار کارساز برای تعیین خاستگاه سرب در گرد و غبارها قابل بررسی است [۵-۷]. از طرف دیگر U و Th به عنوان دو عنصر رادیواکتیو و خطرناک برای محیط زیست که همراه با بسیاری از توفان‌های گرد و غبار به خصوص خاستگاه‌هایی که این دو عنصر را به صورت غیرطبیعی حمل می‌کنند به وسیله‌ی ایزوتوپ‌های سرب قابل شناسایی هستند [۲-۴]. یکی از نواحی ایران که مانند بخش‌های دیگر خاورمیانه [۸-۹] تحت تاثیر پدیده‌ی نو ظهور گرد و غبار، به دلیل شرایط خشکسالی‌های اخیر، قرارگرفته است استان خوزستان است. ماهیت ژئوشیمیایی ذرات گرد و غبار استان خوزستان از ابهام‌های اساسی این پدیده در کشور است. سرب و ایزوتوپ‌های وابسته، به عنوان آلاینده‌های مهم می‌توانند به شناخت خاستگاه این

داشت. در این روش عناصر Ultra trace به جرم تقریبی 0.5gr پس از حل شدن در تیزاب سلطانی آنالیز شدند. یکی از این ایزوتوپ‌های مختلف Pb ( $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ) برای ردیابی عنصر U و Th در نمونه‌های برداشته شده از گرد و غبار است. نتایج حاصل از آنالیزهای نمونه‌های برداشته شده در این پژوهش که به این روش آنالیز شدند در جدول (۱) آورده شده‌اند.

(QC) نیز در نظر گرفته شدند. با تماس‌های مکرر با آزمایشگاه، معلوم شد که برای آنالیز مرسوم و انحلال به روش معمولی در آنالیز ICP-MS را نمی‌توان در این نمونه‌ها در نظر گرفت. دلیل اصلی پایین بودن وزن ذرات و قرارگیری آنها روی فیلتر-های سلولزی بوده است. البته باید خاطر نشان کرد که وجود فیلترهای یاد شده با توجه به بدون خاکستر بودن آنها هیچ‌گونه تاثیری روی نتایج حاصل از انحلال و آنالیز نمونه‌ها نخواهد



شکل ۱ تصویر ماهواره‌ای، موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری به همراه بادهای غالب در استان خوزستان.



شکل ۲ نمائی از Pump دیجیتالی و تنظیمات دستگاه TECORA (سمت راست) و نمائی از جمع کننده، دستگاه TECORA (سمت چپ) در ایستگاه اهواز.

جدول ۱ نتایج حاصل از آنالیز ایزوتوپ‌های سرب در گرد و غبار خوزستان (AH نمونه‌های شهر اهواز و AB نمونه‌های شهر آبادان) در سال ۱۳۸۸.

|    | نمونه   | PM     | $^{204}\text{Pb}$ | $^{206}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}$ | $\Sigma \text{Pb}$ |
|----|---------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| ۱  | AH-۱۲   | PM-۲٫۵ | ۱                 | ۲٫۱۴              | ۲٫۱۸              | ۵٫۰۹              | ۱۰٫۴۱              |
| ۲  | AH-۱۰   | TSP    | ۰٫۲۲              | ۳٫۸۲              | ۳٫۵۲              | ۸٫۲               | ۱۵٫۷۶              |
| ۳  | AH-۷    | PM-۲٫۵ | ۰٫۴۱              | ۶٫۹               | ۶٫۴۸              | ۱۴٫۷۹             | ۲۸٫۵۸              |
| ۴  | AH-۹    | PM-۱۰  | ۰٫۱۸              | ۳٫۱               | ۲٫۹۳              | ۶٫۵۴              | ۱۲٫۷۵              |
| ۵  | AH-۱۳   | TSP    | ۰٫۱۳              | ۲٫۲۵              | ۲٫۰۷              | ۴٫۵۶              | ۹٫۰۱               |
| ۶  | AH-۴    | PM-۱۰  | ۰٫۱               | ۱٫۶۸              | ۱٫۵۱              | ۳٫۳۱              | ۶٫۶                |
| ۷  | AH-۵    | TSP    | ۰٫۱۲              | ۲٫۰۸              | ۱٫۷۳              | ۴٫۱۲              | ۸٫۰۵               |
| ۸  | AH-۶    | PM-۲٫۵ | ۰٫۱۸              | ۳٫۰۹              | ۲٫۶۲              | ۵٫۸۸              | ۱۱٫۷۷              |
| ۹  | AH-۱۶   | TSP    | ۰٫۱۷              | ۳٫۲               | ۲٫۶۲              | ۵٫۹۸              | ۱۱٫۹۷              |
| ۱۰ | AH-۸    | PM-۱۰  | ۰٫۱               | ۱٫۸۷              | ۱٫۶۱              | ۳٫۶۱              | ۷٫۱۹               |
| ۱۱ | AH-۲۹   | PM-۱۰  | ۰٫۱۲              | ۲٫۱۶              | ۱٫۷۹              | ۴٫۳۵              | ۸٫۴۲               |
| ۱۲ | AH-۱۵   | PM-۱۰  | ۰٫۱۱              | ۲٫۰۷              | ۱٫۷۸              | ۴٫۴۳              | ۸٫۳۹               |
| ۱۳ | AH-۱    | TSP    | ۰٫۱۷              | ۳٫۱۲              | ۲٫۶۸              | ۶٫۵۶              | ۱۲٫۵۳              |
| ۱۴ | AH-۲۸   | TSP    | ۰٫۱۵              | ۲٫۴۷              | ۲٫۳۶              | ۵٫۷۶              | ۱۰٫۷۴              |
| ۱۵ | AH-۲۱   | PM-۱۰  | ۰٫۰۸              | ۱٫۴۹              | ۱٫۲۵              | ۳٫۲۴              | ۶٫۰۶               |
| ۱۶ | AH-۳۰   | TSP    | ۰٫۱۷              | ۲٫۹۸              | ۲٫۵۳              | ۶٫۱۷              | ۱۱٫۸۵              |
| ۱۷ | AH-۲۶   | PM-۱۰  | ۰٫۱۲              | ۲٫۰۱              | ۱٫۷۶              | ۴٫۵               | ۸٫۳۹               |
| ۱۸ | AH-۲۵   | PM-۲٫۵ | ۰٫۳۳              | ۵٫۶۳              | ۵٫۱               | ۱۲٫۷۵             | ۲۳٫۸۱              |
| ۱۹ | AB-۳-۸۸ | TSP    | ۰٫۰۵              | ۰٫۹۳              | ۰٫۸۲              | ۲٫۰۲              | ۳٫۸۲               |
| ۲۰ | AH-۲۴   | PM-۲٫۵ | ۰٫۳۷              | ۶٫۶۱              | ۵٫۹۴              | ۱۴٫۳۳             | ۲۷٫۲۵              |
| ۲۱ | AB-۲-۸۸ | TSP    | ۰٫۱۴              | ۲٫۴۶              | ۲٫۲۹              | ۰٫۶۴              | ۱۰٫۵۳              |
| ۲۲ | AB-۱-۸۸ | PM-۲٫۵ | ۰٫۰۱              | ۰٫۰۱              | ۰٫۱۱              | ۰٫۲۷              | ۰٫۳۸               |
| ۲۳ | AH-۲۲   | TSP    | ۰٫۰۸              | ۱٫۳۹              | ۱٫۲۹              | ۳٫۲۴              | ۶                  |
| ۲۴ | AH-۱۹   | TSP    | ۰٫۰۹              | ۱٫۴               | ۱٫۳۹              | ۳٫۳۲              | ۶٫۲                |
| ۲۵ | AH-۱۸   | PM-۱۰  | ۰٫۱۱              | ۱٫۹۹              | ۱٫۹۱              | ۴٫۴۱              | ۸٫۴۲               |
| ۲۶ | AH-۲۸   | TSP    | ۰٫۱۵              | ۲٫۴۷              | ۲٫۳۶              | ۵٫۷۶              | ۱۰٫۷۴              |

#### بحث و بررسی

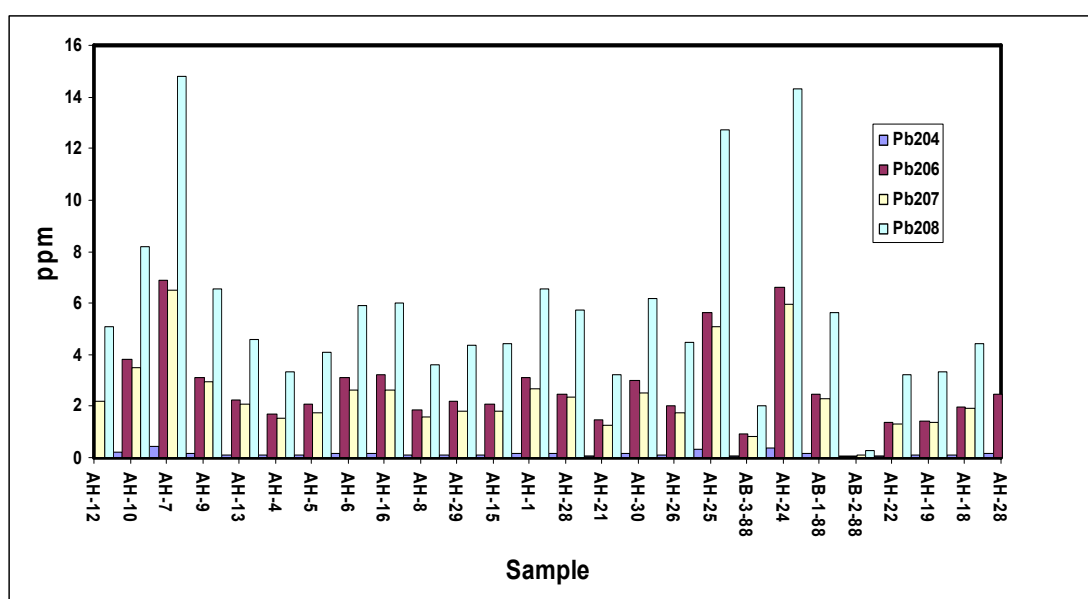
#### ترکیب ایزوتوپی سرب در گرد و غبار خوزستان

ترکیب ژئوشیمیایی گرد و غبار خوزستان نشان می‌دهد که میانگین میزان سرب در نمونه‌های برداشت شده در سال ۱۳۸۸

برابر ۱۰٫۹۵ ppm بوده است. این میزان در نمونه‌ی AH-7 بیشترین (۲۸٫۵) و در نمونه‌ی AB-2 کمترین (۰٫۳) است. چنانکه مشاهده می‌شود این میزان در ذرات با اندازه‌ی کوچکتر، بالاتر است. نمونه‌ی AH-1 به عنوان نمونه‌ی زمینه از هوای

تنها تفاوت موجود جهت جریان باد بوده است. اطلاعات سازمان هواشناسی مربوط به گرد و غبارهای فرا محلی (کد ۰۶) نشان می‌دهد که نمونه‌های برداشت شده در منطقه‌ی آبادان در تاریخ ۲۸ و ۲۹ خرداد ماه سال ۱۳۸۸ به جریان گرد و غباری وابسته بوده است که از عربستان و با روند شمالی- جنوبی و یا شمال شرقی- جنوب شرقی در حال وزیدن بوده‌اند و نمونه‌ی AH-7 از اهواز با روند و سرعت 360/7m/s بیشترین و 90/2m/s کمترین از عراق بوده است. این اطلاعات و ترکیب میانگین سرب و ایزوتوپ‌های آن نشان می‌دهد که ذرات گرد و بار ورودی عربستان به طور کلی دارای غلظت‌های کمتری از ایزوتوپ‌های سرب‌اند و گرد و غبار ریشه گرفته از عراق دارای مقادیر بالاتری هستند، که می‌تواند (۱) ناشی از رسوبی بودن و ترکیب غالب ذرات رسی ذرات ورودی از کشور عربستان و (۲) جذب بخش بیشتر این ذرات پس از عبور از روی خلیج فارس و در نتیجه کاهش غلظت سرب در این ذرات باشد. شکل (۳) نشان می‌دهد که تمام ایزوتوپ‌های سرب به خصوص  $Pb^{208}$  همراه با ذرات  $PM_{2.5}$  فراوان‌تر و بسیار بیشتر است که این مسئله احتمالاً ناشی از تمایل ذرات با اندازه‌ی رس و به صورت کلی تکتوسیلیکات‌هایی از قبیل فلدسپات‌ها و فیلسیلیکات‌ها (رس‌ها) در جذب فلزات دو ظرفیتی به خصوص Pb است. از طرف دیگر خود این ترکیب‌ها نیز به دلیل جایگاه تشکیل آنها که بیشتر از پوسته‌ی فوقانی است ذاتاً از این عنصر غنی هستند [۳].

عادی شهر اهواز گرفته شد که به عنوان نمونه‌ی مرجع برای بررسی‌های ایزوتوپی سرب مورد استفاده قرار گرفت. غلظت ایزوتوپ‌های سرب در این نمونه به ترتیب ۰/۱۷، ۳/۱۲، ۲/۶۸ و ۶/۵۶ برای ایزوتوپ‌های  $Pb^{204}$  تا  $Pb^{208}$  است. در تمامی نمونه‌های برداشت شده میانگین غلظت ایزوتوپ  $Pb^{204}$ ، برابر با  $AH-7 = 0.41$  (ppm) و کمترین مقدار در نمونه‌ی ۰/۰۵ ppm = AB-3 است. برای ایزوتوپ  $Pb^{206}$  میانگین برابر با ۲/۷۷، بیشترین در نمونه‌ی  $AH-7 = 6.9$  ppm و کمترین در نمونه‌ی  $AB-3 = 0.93$  ppm بوده است. ترکیب ایزوتوپی  $Pb^{207}$ ، میانگینی برابر با ۲/۴ ppm بیشینه‌ای برابر با ۶/۴ ppm در نمونه‌ی AH-7 و کمینه‌ای برابر با ۰/۱۱ ppm = AB-2 از خود نشان می‌دهد. این غلظت‌ها برای ایزوتوپ  $Pb^{208}$  به ترتیب ۵/۷ ppm، ۱۴/۷ ppm در نمونه‌ی AH-7 و ۰/۲۷ ppm در نمونه‌ی AB-3 است. با توجه به اینکه تقریباً تمام نمونه‌هایی که برای تعیین ایزوتوپ‌های سرب آنالیز ICP-MS انتخاب شدند از شهرهای اهواز و آبادان بودند چنین به نظر می‌رسد که نمونه‌های آبادان دارای غلظت‌های پایین‌تری از ایزوتوپ‌های سرب در ذرات گرد و غبار خود هستند. با نگاهی به نمونه‌های مورد بررسی می‌توان دریافت که نمونه‌ی AH-7 از اهواز و نمونه‌ی AB-3 از آبادان بیشترین و کمترین ترکیب-های ایزوتوپی سرب را دارند. بررسی شرایط نمونه‌برداری در دو شهر و برای این دو نمونه نشان می‌دهد که شرایط پمپاژ، سرعت باد، شرایط دما و رطوبت منطقه تقریباً یکسان بوده‌اند و



شکل ۳ پراکندگی ایزوتوپ‌های سرب در نمونه‌های برداشت شده با اندازه‌های مختلف از گرد و غبار خوزستان در سال ۱۳۸۸.



## تعیین خاستگاه پرتوزادی ذرات گرد و غبار خوزستان

امروزه استفاده از نسبت‌های ایزوتوپی سرب کاربرد فراوانی در تعیین خاستگاه سرب موجود در ذرات گرد و غبار و در نتیجه از خود این ذرات دارد. لذا در این پژوهش نسبت‌های مختلف ایزوتوپی سرب برای داده‌های حاصل از جدول (۱) به دست آمدند. مهم‌ترین نسبت‌های مورد استفاده در بررسی‌های ژئوشیمیایی توفان‌های گرد و غبار در دنیا عبارتند از نسبت‌های  $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ ،  $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ ،  $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$  و در نهایت  $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ . در این میان دو نسبت  $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$  برای تعیین خاستگاه و جدایش سرب بنزین و سرب حاصل از صنایع و  $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$  برای تعیین خاستگاه سرب پرتوزاد حاصل از واپاشی  $^{232}\text{Th}$  با خاستگاه‌های طبیعی و یا غیرطبیعی کاربرد بسیار گسترده دارند. جدول (۲) نسبت‌های مختلف ایزوتوپی سرب در نمونه‌های گرد و غبار خوزستان در سال ۱۳۸۸ را

نشان می‌دهد. چنانکه در جدول آمده است، میانگین نسبت‌های ایزوتوپی  $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ ،  $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ ،  $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$  به ترتیب ۱۶/۱، ۱۵/۰۰، ۳۵/۷۱ و ۱/۰۶ است. با مقایسه‌ی این مقادیر با میانگین نسبت‌های ایزوتوپی سرب پسته‌ی فوقانی، چنین به نظر می‌رسد که ترکیب ایزوتوپی سرب ذرات گرد و غبار خوزستان دارای ماهیت متفاوت از ترکیب پسته‌ی و یا به عبارتی ترکیب طبیعی پسته دارند. از طرف دیگر ترکیب میانگین ایزوتوپی سرب محیط‌های زمین‌شناسی دیگر که می‌توانند به عنوان تأمین کننده‌ی سرب آلاینده (پرتوزاد) در نظر گرفته شوند نیز نشان می‌دهد که محیط‌هایی شبیه به آن نیز نمی‌توانند تأمین کننده‌ی سرب‌های پرتوزاد موجود در نمونه‌ها و نسبت‌های وابسته برآورد کرد. البته محیط‌های طبیعی از قبیل واحدهای رسوبی مسیر جریان گرد و غبار را نیز نباید از نظر دور داشت.

جدول ۲ نسبت‌های مختلف ایزوتوپی سرب در نمونه‌های گرد و غبار خوزستان (AH نمونه‌های اهواز و AB نمونه‌های آبادان) در سال ۱۳۸۸.

|    | نمونه   | PM     | $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ | $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ |
|----|---------|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| ۱  | AH-۱۲   | PM-۲,۵ | ۲,۱۴                                | ۲,۱۸                                | ۰,۹                                 | ۵,۰۹                                |
| ۲  | AH-۱۰   | TSP    | ۱۷,۲۷                               | ۱۶                                  | ۱,۰۸                                | ۳۷,۲                                |
| ۳  | AH-۷    | PM-۲,۵ | ۱۷,۲۵                               | ۱۵,۸                                | ۱,۰۶                                | ۳۶,۰۷                               |
| ۴  | AH-۹    | PM-۱۰  | ۱۷,۲۲                               | ۱۶,۲۷                               | ۱,۰۵                                | ۳۶,۳                                |
| ۵  | AH-۱۳   | TSP    | ۱۷,۳                                | ۱۵,۹۲                               | ۱,۰۸                                | ۳۵,۱                                |
| ۶  | AH-۴    | PM-۱۰  | ۱۶,۸                                | ۱۵,۱                                | ۱,۱۱                                | ۳۳,۱                                |
| ۷  | AH-۵    | TSP    | ۱۷,۳                                | ۱۴,۴۱                               | ۱,۲                                 | ۳۴,۳                                |
| ۸  | AH-۶    | PM-۲,۵ | ۱۷,۱۶                               | ۱۵,۴۱                               | ۱,۱۷                                | ۳۲,۶                                |
| ۹  | AH-۱۶   | TSP    | ۱۸,۸۲                               | ۱۵,۴۱                               | ۱,۲                                 | ۳۵,۱                                |
| ۱۰ | AH-۸    | PM-۱۰  | ۱۸,۷                                | ۱۶,۱                                | ۱,۱۱                                | ۳۶,۱                                |
| ۱۱ | AH-۲۹   | PM-۱۰  | ۱۸                                  | ۱۴,۹۱                               | ۱,۲                                 | ۳۶,۲                                |
| ۱۲ | AH-۱۵   | PM-۱۰  | ۱۸,۸                                | ۱۶,۱                                | ۱,۱۶                                | ۴۰,۲                                |
| ۱۳ | AH-۲    | TSP    | ۱۸,۳۵                               | ۱۵,۷۶                               | ۱,۱۶                                | ۳۸,۵                                |
| ۱۴ | AH-۲۸   | TSP    | ۱۶,۴۶                               | ۱۵,۷۳                               | ۱,۰۴                                | ۳۸,۴                                |
| ۱۵ | AH-۲۱   | PM-۱۰  | ۱۸,۶۲                               | ۱۵,۶۲                               | ۱,۱۹                                | ۴۰                                  |
| ۱۶ | AH-۳۰   | TSP    | ۱۷,۵۲                               | ۱۴,۸۸                               | ۱,۱۷                                | ۳۶,۲                                |
| ۱۷ | AH-۲۶   | PM-۱۰  | ۱۱,۸۲                               | ۱۴,۶                                | ۱,۱۴                                | ۳۷,۵                                |
| ۱۸ | AH-۲۵   | PM-۲,۵ | ۱۷,۰۶                               | ۱۵,۴۵                               | ۱,۱                                 | ۳۸,۶                                |
| ۱۹ | AB-۳-۸۸ | TSP    | ۱۸,۶                                | ۱۶,۴                                | ۱,۱۳                                | ۴۰,۴                                |
| ۲۰ | AH-۲۴   | PM-۲,۵ | ۱۷,۸۶                               | ۱۶,۰۵                               | ۱,۱۱                                | ۳۸,۷                                |
| ۲۱ | AB-۲-۸۸ | TSP    | ۱۷,۵۷                               | ۱۶,۳۵                               | ۱,۰۷                                | ۴۰,۲                                |
| ۲۲ | AB-۱-۸۸ | PM-۲,۵ | ۱                                   | ۱۱                                  | ۰,۰۹                                | ۲۷                                  |
| ۲۳ | AH-۲۲   | TSP    | ۱۷,۳۷                               | ۱۶,۱                                | ۱,۰۷                                | ۴۰,۵                                |
| ۲۴ | AH-۱۹   | TSP    | ۱۵,۵                                | ۱۵,۴                                | ۱,۰۰۷                               | ۳۶,۸                                |
| ۲۵ | AH-۱۸   | PM-۱۰  | ۱۸,۰۹                               | ۱۷,۳۶                               | ۱,۰۴                                | ۴۰,۰۹                               |
| ۲۶ | AH-۲۸   | TSP    | ۱۶,۴۶                               | ۱۵,۷۳                               | ۱,۰۴                                | ۳۸,۴                                |
|    | میانگین |        | ۱۶,۱۱                               | ۱۵,۰۰                               | ۱,۰۶۴                               | ۳۵,۷۱۷                              |

بسیاری از نمونه‌ها خاستگاه‌های انسان‌زادی دیگر همچون فعالیت‌های شیمیایی را در کشور همسایه (عراق) منظور می‌کنند. همچنین باتوجه به تشخیص سه نوع ایزوتوپ سرب پرتوزاد در محیط و هوای خوزستان، وجود ذرات و پرتوهای  $\alpha$  و  $\beta$  نیز که از واپاشی بسیاری از این ذرات ریشه می‌گیرند نیز دور از ذهن نیست [۳-۵]. جدول (۳) مقایسه‌ی نسبت‌های ایزوتوپی سرب گرد و غبار خوزستان با منابع دیگر را نشان می‌دهد [۳-۵].

### برداشت

۱. ترکیب ژئوشیمیایی سرب و ایزوتوپ‌های وابسته به آن نشان می‌دهد که میانگین سرب در نمونه‌ها ۱۰/۹۵ ppm است که از استانداردهای موجود بالاتر است.
۲. همراهی سرب و ایزوتوپ‌های مختلف آن با ذرات در حد PM2.5 بیشتر است.
۳. اینکه ترکیب میانگین نمونه‌های مورد بررسی آبادان که در تاریخ ۲۸ و ۲۹ خرداد ۱۳۸۸ نمونه برداری شد نسبت به اهواز دارای ترکیب ایزوتوپی پایین تری است، شاید به این دلیل باشد که با توجه به اطلاعات سازمان هواشناسی، در آن تاریخ باد از سمت عربستان می وزید.

براین اساس مقایسه‌ی نسبت اصلی ایزوتوپی سرب نمونه‌ها ( $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ ،  $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ ،  $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ ) با خروجی گازهای اگزوز اتومبیل‌ها و صنایع نیز در بسیاری از کشورها، بنزین‌های سرب‌دار در آمریکا (لس‌آنجلس) و ذرات گرد و غبار شهری در لس‌آنجلس آمریکا نشان می‌دهد که تفاوت‌هایی در مقادیر این نسبت‌ها در گرد و غبار خوزستان با این مراجع دیده می‌شود [۵]. بررسی نسبت  $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$  نیز نشان می‌دهد که این نسبت در گرد و غبار خوزستان نزدیک به ۱/۰۶ است.

با توجه به اینکه این نسبت نشان دهنده‌ی خاستگاه بنزینی و یا صنعتی برای سرب است، در بسیاری از نمونه‌های مورد بررسی این نسبت نزدیک به مقادیر گاز خروجی از اتومبیل‌ها در چین (۱/۱۶)، آمریکا (۱/۲۱)، کانادا (۱/۱۴) و استرالیا (۱/۰۴) است [۴، ۵] که البته این میزان بستگی به نوع بنزین و تتراتیل سرب مصرفی آن دارد که از کدام ناحیه تأمین شده باشد. با این حال چنین به نظر می‌رسد که اختلاف نسبتاً زیاد مقادیر گفته شده در بالا در نمونه‌های مورد بررسی با محیط، و مواد دیگر در دنیا یک پیچیدگی خاص را برای تعیین خاستگاه این سرب‌های پرتوزاد در گرد و غبار خوزستان پدید آورده است. این مقادیر متفاوت همراه با مقدار متفاوت  $^{208}\text{Pb}$  که ناشی از واپاشی  $^{232}\text{Th}$  و نیز مشخص شدن وجود Th در

جدول ۳ مقایسه ترکیب میانگین نسبت‌های ایزوتوپی سرب گرد و غبار خوزستان در سال ۱۳۸۸ با سایر مواد و محیط‌ها.

| منبع                     | $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ | $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ | محیط/مواد                           |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Faure.G(1986)            | —                                   | ۳۸/۶۳                               | ۱۵/۶۲                               | ۱۸/۷۰                               | ترکیب پوسته فوقانی                  |
| Groussetand Bicaie, 2005 | —                                   | ۳۸/۶۹                               | ۱۵/۶۷                               | ۱۸/۵۴                               | فلدسپار موجود در گرانیت‌ها          |
| Zhu et al.,2001          | —                                   | ۳۸/۶۹                               | ۱۵/۶۷                               | ۱۸/۵۴                               | معادن pb-zn                         |
| Faure.G(1986)            | —                                   | ۳۸/۰۱                               | ۱۵/۶۳                               | ۱۸/۰۴                               | گردو غبار لس‌آنجلس                  |
| Zhu et al.,2001          | ۱/۱۶                                | ۳۷/۷۴                               | —                                   | ۱۸/۰۹                               | اگزوز سه نوع اتومبیل در چین         |
| Faure.G(1986)            | —                                   | ۳۷/۹۰                               | ۱۵/۶۵                               | ۱۷/۹۲                               | بنزین سرب‌دار در آمریکا در سال ۱۹۷۵ |
| Zhu et al.,2001          | ۱/۲۱                                | —                                   | —                                   | —                                   | اگزوز ماشین در آمریکا در سال ۲۰۰۱   |
| Zhu et al.,2001          | ۱/۱۴                                | —                                   | —                                   | —                                   | اگزوز ماشین در کانادا در سال ۲۰۰۱   |
| Zhu et al.,2001          | ۱/۰۴                                | —                                   | —                                   | —                                   | اگزوز ماشین در استرالیا در سال ۲۰۰۱ |
| این تحقیق                | ۱/۰۶                                | ۳۵/۷۱                               | ۱۵/۰۰                               | ۱۶/۱۱                               | گردو غبار خوزستان                   |

### قدردانی

این کار پژوهشی حاصل حمایت‌های بی‌دریغ اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان است. لذا از مدیریت محترم و کلیه کارشناسان اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان قدردانی می‌شود.

### مراجع

- [۱] رئیس‌پور، کوهزاد، "تحلیل آماری و هم‌دید پدیده گرد و غبار در استان خوزستان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، (۱۳۸۷) ۱۸۹ صفحه.
- [2] Honda M., Yabuki S., Shimizu H., "Geochemical and isotopic studies of Aeolian sediments in China." *Sedimentology* 51, (2004) 211-230.
- [3] Grousset F. E, Biscaye P. E, "Tracing dust sources and Transport patterns using Sr, Nd and Pb isotopes", *Chemical Geology*, 222, (2005) 149-167.
- [4] Zhu B. Q, Chen Y-W, Peng J-H, "Lead isotope geochemistry of the Urban environment in the pearl River Delta", *Applied Geochemistry*, 16, (2001) 409-417.
- [5] Faure G, Mensing T.M, "Isotopes: Principles and Applications", Third Edition, John Wiley and Sons, INC, (2005) 897P.
- [6] Turekian KK, Cochran JK., "210Pb in surface air at Eniwetok and the Asian dust flux in the Pacific.", *Nature* 292 (1981) 522-524
- [7] Abouchami W, Zable M., "Climate forcing of the Pb isotope record of terrigenous input into the Equatorial Atlantic." *Earth Planet Sci Lett* 213 (2003) 221-234
- [8] Modaihsh AS., "Characteristics and composition of the falling dust sediments on Riyadh City", Saudi Arabia. *J Arid Environ* 36 (1997) 211-223.
- [9] Abdulaziz AO., "A study of three types of wind-blown dust in Kuwait: duststorms, rising dust and suspended dust." *J Meteorol* 19 (1994) 19-23.

۴. پایین بودن میزان ایزوتوپ‌های سرب در بادهای ورودی از کشور عربستان نسبت به عراق به استان خوزستان ناشی از (۱) رسوبی بودن و ترکیب غالب ذرات رسی از عربستان و (۲) جذب بخش بزرگ ذرات پس از عبور از روی خلیج فارس و (۳) وجود فعالیت‌های انسان‌زاد بیشتر از جمله فعالیت‌های نفتی در عراق است.

۵. مقایسه‌ی نسبت‌های ایزوتوپی سرب  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  با میانگین این نسبت‌ها در پوسته‌ی فوقانی، ماهیت متفاوت این نسبت‌ها در گرد و غبار خوزستان را با ترکیب پوسته نشان می‌دهد.

۶. مقایسه‌ی نسبت‌های ایزوتوپی سرب نمونه‌های مورد بررسی با محیط‌های دیگر زمین‌شناسی مانند معادن سرب ورودی نیز خاستگاه متفاوت آنها را تأیید می‌کند.

۷. مقایسه‌ی نسبت  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  در نمونه‌های مورد بررسی با گازهای خروجی از اگزوز اتومبیل‌ها و سرب‌های افزودنی به بنزین نشان می‌دهد که خاستگاه سرب در بعضی از این نمونه‌ها می‌تواند صنعتی و با آلاینده‌های وسایل نقلیه بنزینی همخوانی دارند.

۸. بطور کلی از روش‌هایی که می‌توان به خاستگاه سرب موجود در ذرات گرد و غبار پی برد و مقایسه‌ی آنها با داده‌های سرب محیط‌های طبیعی و غیرطبیعی در جدول (۳) دیده می‌شوند و نتایج این جدول نشان می‌دهد که یک ناهمسانی مشخص در نسبت‌های ایزوتوپی گرد و غبار خوزستان با محیط‌های یاد شده وجود دارد. این پیچیدگی می‌تواند احتمالاً با خاستگاه انسان‌زاد متفاوت دیگری از جمله فعالیت‌های نفتی وابسته باشد.

۹. با توجه به فراوانی ایزوتوپ‌های مختلف سرب در محیط که ناشی از واپاشی از U و Th مادر و آزاد شدن ذرات متفاوت  $\alpha$  و  $\beta$  است، وجود این ذرات نیز در گرد و غبار خوزستان دور از ذهن نیست.